

Dr Branka Žarković

Dr Vesna Radovanović

# Agrikulturna hemija



UNIVERZITET EDUKONS  
Sremska Kamenica, 2022

Dr Branka Žarković

Dr Vesna Radovanović

# Agrikulturna hemija

UNIVERZITET EDUKONS

Sremska Kamenica, 2022

# AGRIKULTURNA HEMIJA

## Autori:

Dr Branka Žarković  
Dr Vesna Radovanović

## Recenzenti

Prof. dr Ljubinko Jovanović  
Prof. dr Gordana Racić

## Glavni i odgovorni urednik:

Prof. dr Olivera Nikolić

## Dizajn:

Dr Branka Žarković  
Dr Vesna Radovanović

## Izdavač:

Univerzitet Edukons

ISBN: 978-86-82088-09-7

Odobrenje na sednici Senata SN 129/22, 23.11. 2022. godine.

## Sadržaj

1.1. Građa materije.....	2
1.2. Građa atoma.....	4
1.3. Radioaktivnost, radioizotopi, nuklearne reakcije.....	8
1.4. Hemijski simboli, formule i jednačine.....	11
1.5. Osnovni zakoni hemije.....	14
1.6. Periodni sistem elemenata.....	15
1.7. Hemijske veze.....	17
1.7.1. Jonska veza.....	17
1.7.2. Kovalentna veza.....	18
1.7.3. Metalna veza.....	20
1.8. Hemijske reakcije.....	21
1.8.1. Brzina hemijskih reakcija.....	21
1.8.2. Toplotni efekat hemijskih reakcija /osnovi termohemije/.....	23
1.8.3. Nepovratne i povratne hemijske reakcije.....	24
1.9. Agregatno stanje materije.....	26
1.10. Rastvori.....	31
1.10.1. Pojam rastvora i vrste rastvora.....	31
1.10.2. Osobine rastvora.....	33
1.10.3. Elektroliti.....	35
1.10.4. Vodonikov eksponent /pH/.....	37
1.10.5. Hidroliza soli.....	38
1.10.6. Puferi.....	39
1.10.7. Koloidni rastvori.....	40
1.11. Oksidacija i redukcija.....	43
1.12. Osnovi elektrohemije.....	45
1.12.1. Elektroдни potencijal i galvanski elementi.....	45
1.12.2. Elektroliza.....	49
2. HEMIJA NEKIH ELEMENATA I NJIHOVIH JEDINJENJA.....	55
2.1. Vodonik i jedinjenja.....	56
2.2. Ugljenik i jedinjenja.....	60
2.3. Silicijum i jedinjenja.....	64
2.4. Azot i jedinjenja.....	69
3. HEMIJA NEKIH VAŽNIJH ORGANSKIH JEDINJENJA.....	73
3.1. Uvod u organsku hemiju.....	74
3.2. Ugljovodonici /alkani, alkeni i alkini/.....	75
3.2.1. Alkani.....	75
3.2.2. Alkeni.....	77
3.2.3. Alkini.....	78
3.3. Alkoholi, aldehidi i ketoni.....	79
3.3.1. Alkoholi.....	79
3.3.2. Aldehidi.....	82

3.3.3. Ketoni.....	83
3.4. Karbonske kiseline i estri .....	84
3.4.1. Monokarbonske kiseline .....	84
3.4.2. Estri .....	85
3.5. Sintetska visokomolekularna jedinjenja.....	86
4. HEMIJSKI SASTAV BILJNIH I ŽIVOTINJSKIH ORGANIZAMA.....	90
4.1. Hemijski sastav živih bića.....	91
4.2. Ugljeni hidrati .....	94
4.3. Organske kiseline .....	101
4.4. Lipidi.....	103
4.5. Amino-kiseline.....	106
4.6. Belančevine /proteini/ .....	111
4.7. Složene belančevine /proteidi/ .....	113
4.8. Nukleinske kiseline .....	114
4.9. Enzimi .....	118
4.10. Vitamini .....	120
4.11. Alkaloidi i glikozidi .....	124
4.12. Biljni hormoni .....	126
5. OSNOVNI FIZIOLOŠKI PROCESI U ORGANIZMU BILJAKA.....	131
5.1. Građa i fiziologija biljne ćelije.....	132
5.2. Voda u biljkama .....	136
5.2.1. Sadržaj vode u biljkama .....	137
5.2.2. Značaj vode za život biljaka.....	137
5.2.3. Usvajanje vode .....	138
5.2.4. Odavanje vode.....	140
5.2.5. Metabolizam ugljenika.....	141
5.3. Fotosinteza .....	143
5.4. Disanje biljaka.....	147
5.5. Apsorpcija mineralnih soli korenovima biljaka .....	149
5.6. Uloga makro- i mikrohranljivih elemenata u ishrani biljaka.....	151
5.6.1. Makroelementi .....	151
Sumpor.....	154
5.6.2. Mikroelementi.....	156
6. Zemljište .....	163
6.1. Zemljište i plodnost zemljišta .....	164
6.2. Činioci nastajanja zemljišta.....	166
6.3. Sastav zemljišta .....	171
6.3.1. Zemljište kao višefazni sistem .....	171
6.3.2. Elementarni sastav zemljišta .....	172
6.3.3. Mineraloški sastav zemljišta .....	173
6.3.4. Organska materija zemljišta.....	177
Sadržaj i sastav organske materije zemljišta .....	177

Odnos ugljenik:azot u organskoj materiji .....	180
Bilans organske materije zemljišta.....	181
6.4. Sadržaj i oblici makro- i mikrohranljivih elemenata u zemljištu .....	181
6.4.1. Azot.....	182
6.4.2. Fosfor .....	184
6.4.3. Kalijum.....	185
6.4.4. Kalcijum.....	185
6.4.5. Magnezijum .....	186
6.4.6. Sumpor .....	187
6.4.7. Mangan.....	188
6.4.8. Bakar .....	188
6.4.9. Cink.....	189
6.4.10. Bor.....	190
6.4.11. Kobalt.....	190
6.4.12. Molibden .....	191
6.5. Reakcija zemljišta .....	191
6.5.1. Vrste zemljišne kiselosti .....	191
6.5.2. Značaj reakcije zemljišta za biljke .....	193
6.5.3. Kiselost zemljišta i đubriva .....	194
6.5.4. Puferna sposobnost zemljišta .....	195
6.6. Zemljišni koloidi i adsorptivna sposobnost zemljišta .....	196
6.7. Oksido-redukциони procesi u zemljištu.....	199
7. ĐUBRIVA I ĐUBRENJE.....	206
7.1. Đubriva i njihova podela.....	207
7.2. Organska đubriva .....	208
7.2.1. Stajsko đubrivo .....	208
7.2.2. Zeleno đubrivo .....	210
7.2.3. Kompost.....	211
7.2.4. Osoka .....	211
7.3. Mineralna đubriva .....	211
7.3.1. Azotna đubriva .....	212
7.3.1.1. Nitratna đubriva .....	213
7.3.1.2. Amonijačna đubriva .....	214
7.3.1.3. Amonijačno-nitratna đubriva .....	216
7.3.1.4. Amidna đubriva.....	217
7.3.2. Fosforna đubriva .....	219
7.3.3. Kalijumova đubriva.....	224
7.3.4. Kalcijumova (krečna) đubriva.....	225
7.3.5. Magnezijumova đubriva.....	228
7.3.6. Mikrođubriva .....	228
7.3.7. Mešana đubriva .....	230
7.3.8. Složena đubriva.....	231

7.4. Mikrobiološka (bakterijalna đubriva).....	233
7.5. Način i vreme upotrebe đubriva .....	234
8. Ekologija.....	239
8.1. Ekosistem.....	240
8.2. Negativne promene u ekosistemu .....	241
8.2.1. Efekat staklene baste i globalno zagrevanje.....	242
8.2.2. Oštećenje ozonskog omotača .....	244
8.2.3. Kisele kiše.....	247
8.2.4. Uticaj industrije i energetske postrojenja na životnu sredinu .....	254
8.2.5. Uticaj đubriva na životnu sredinu .....	258
8.2.6. Uticaj pesticida na životnu sredinu .....	260
8.3. Alternativni izvori energije .....	262
8.3.1. Solarna energija.....	263
8.3.2. Hidroenergija .....	266
8.3.3. Energija vetra .....	268
8.3.4. Geotermalna energija .....	270
8.3.5. Biomasa.....	272
8.3.6. Mogućnosti - Alternativni izvori energije u Srbiji .....	275

*„Biti predan svojoj nauci istinski i istraživati naučne istine savesno jesu osobine univerzitetskog građanina kao naučnika, a biti karakteran nepokolebljivo i gajiti vrline stalno jesu osobine univerzitetskog građanina kao čoveka.“*  
Sima Lozanić (1847-1935)



## **Predgovor**

Značaj hemije u našim životima je bez presedana. Iako ima svoju važnost u širem smislu u okviru fotosintetičke aktivnosti koja je direktno odgovorna za vazduh koji udišemo, hemija takođe ima ogroman potencijal da pruži praktična rešenja za naše živote, i da pružajući više pogodnosti promeni način na koji živimo.

Poljoprivreda se laički, u širem smislu, posmatra kao čisto biološka aktivnost. Međutim, agronomija je sinergija više nauka poput hemije, biologije, pedologije, ekologije i ekonomije.

Agrikulturna hemija se može definisati kao nauka o hemiji i biohemiji primenjena u poljoprivredi i poljoprivrednoj praksi sa ciljem poboljšanja kvaliteta zemljišta i ishrane biljaka, povećanja prinosa i očuvanja životne sredine.

Sima Lozanić (1847-1935) bio je hemičar, ministar inostranih dela, predsednik Srpske kraljevske akademije, ministar privrede i prvi rektor Beogradskog univerziteta. Lozanić je, po ugledu na evropske univerzitete, predstavio hemiju kao moderni i egzaktni predmet. Primenjujući najnovija naučna saznanja stečena tokom studija u inostranstvu osavremenio je nastavu i bio pionir krupnih promena. Uvidevši značaj hemije u agronomiji predstavio je našem Univerzitetu predmet Agrikulturna hemija i kao prvi profesor ovog predmeta započeo je istoriju njegovog razvoja.

Danas, Agrikulturna hemija omogućava sticanje znanja i razumevanja opšte, neorganske i organske hemije, hemijskog sastava živih bića, hemije zemljišta, osnovnih fizioloških procesa u biljci, podeli i primeni đubriva i pesticida. Takođe, upoznaje nas sa negativnim efektima primene đubriva i pesticida na životnu sredinu usmeravajući naša



razmišljanja ka obnovljivim izvorima energije sa aspekta održivosti u proizvodnji zdravstveno bezbedne hrane. Očigledno je, da ovakav predmet obuhvata obiman materijal koji se odlikuje raznolikošću. Na primer, studenti će uvideti osnove procesa fotosinteze, ali i prethodno o hemiji ugljenika, o puferskoj sposobnosti zemljišta, ali i prethodno o načinu izražavanja kiselosti rastvora.

Ovaj udžbenik predstavlja adekvatnu literaturu za studente Fakulteta ekološke poljoprivrede i Fakulteta zaštite životne sredine, Univerziteta Edukons.

Sadržaj svakog poglavlja omogućava istovremeno podsećanje čitaocu sa prethodnim znanjem o datoj oblasti ili upoznavanje i upućivanje u, baš zdatim poredkom, predstavljene naučne discipline.

# 1. OSNOVI OPŠTE HEMIJE



Cilj ovog poglavlja je upoznavanje studenata sa osnovima opšte hemije. Upoznavanje građe materije, hemijskih pojmova, poznavanje zakonitosti i razumevanje hemijskih reakcija kroz spoznaju uticaja međumolekulskih interakcija nastajanja materije.

## 1.1. Građa materije

**Materija** je stvarna sadržina prostora ili jednog dela prostora, ono što ispunjava određeni prostor. Ona predstavlja objektivnu stvarnost koja postoji nezavisno od naše svesti. Mi putem svojih čula osećamo njeno postojanje. Od materije je sastavljeno sve što nas okružuje. Osnovne osobine svake materije su masa, energija, prostor i vreme. Materija se nalazi u stanju stalnog kretanja. Ona se menja, ali se ne menja njena količina, već uvek ostaje ista.

Jedan od najstarijih zakona, formulisan još u antičkoj Grčkoj, je Zakon održanja materije koji glasi : *Materija se ne može uništiti, niti ni iz čega stvoriti, ona može samo da se menja i da prelazi iz jednog oblika u drugi.*

**Hemija** je prirodna nauka koja proučava građu materije, njene promene, zakone i uslove pod kojima se te promene odigravaju.

Prve civilizacije koje su imale razvijenu nauku, a samim tim i hemiju, bile su arapska, egipatska, kineska i vavilonska civilizacija. Poreklo imena hemije je još uvek predmet diskusije. U zavisnosti od izvora, postoje tvrdnje da naziv hemija potiče od egipatske reči *khem* što znači crna zemlja, a odnosi se na plodnu zemlju u blizini Nila.

Neki autori navode da je data reč arapskog porekla i znači Egipat, dok se ponegde može naći objašnjenje da znači "egipatska umetnost" a označava sve postupke koje su Egipćani sprovodili, a koji pripadaju domenu današnje hemije.

Predmet njenog proučavanja su hemijske supstance, njihove osobine i promene. Inače, supstanca se definiše kao vrsta materije karakterističnih osobina i po pravilu određenog sastava koji je nezavistan od načina na koji je dobijena.

Tri osnovna tipa hemijskih supstanci su: elementi, jedinjenja i smeše. Sve supstance se sastoje od elemenata, a većina njih od dva ili više elemenata.

**Element** se definiše kao materija koja se ne može razdvojiti u jednostavnije materije hemijskom reakcijom. Postoji nešto više od 100 elemenata koji su svrstani u periodnom sistemu. Elementi su građevne jedinice svih jedinjenja. Na sobnoj temperaturi većina elemenata je u čvrstom ili u gasovitom stanju.

**Jedinjenje** predstavlja kombinaciju dva ili više elemenata međusobno povezanih na određeni način. Fizičke i hemijske osobine su mu različite od elemenata od kojih je izgrađen. Proporcija svakog od elemenata u jedinjenju je konstantna. Na primer, voda je uvek izgrađena

od dva atoma vodonika i jednog atoma kiseonika. Jedinjenja se mogu razdvojiti u elemente putem hemijskih reakcija.

**Smesa** /smeša/ je mešavina od dva ili više elemenata i/ili jedinjenja koji nisu hemijski vezani. Proporcije elemenata ili jedinjenja u smesi nisu fiksirane, što znači da svaki od njih zadržava svoje vlastite osobine. Obično se smesa može lako razdvojiti u svoje elemente ili jedinjenja fizičkim putem.

**Element**  
-materija koja se ne može razdvojiti u jednostavnije materije hemijskom reakcijom. Postoji 116 elemenata koji su svrstani u periodnom sistemu. Elementi su građevne jedinice svih jedinjenja.

**Jedinjenje**  
-kombinacija dva ili više elemenata međusobno povezanih na određeni način. Fizičke i hemijske osobine su mu različite od elemenata od kojih je izgrađen. Proporcija svakog od elemenata u jedinjenju je konstantna. Jedinjenja se mogu razdvojiti u elemente putem hemijskih reakcija.

**Smeša**  
-mešavina od dva ili više elemenata i/ili jedinjenja koji nisu hemijski vezani. Proporcije elemenata ili jedinjenja u smesi nisu fiksirane, što znači da svaki od njih zadržava svoje vlastite osobine. Obično se smeša može lako razdvojiti u svoje elemente ili jedinjenja fizičkim putem.

The diagram illustrates the classification of substances. It shows the periodic table entries for Oxygen (O, atomic number 1, atomic weight 15,999) and Hydrogen (H, atomic number 1, atomic weight 1,008). A ball-and-stick model of a water molecule (H<sub>2</sub>O) is shown. Below, a diagram shows the combination of NaCl (Table Salt) and H<sub>2</sub>O (Water) to form a mixture, represented by a glass of water and a glass of ice.

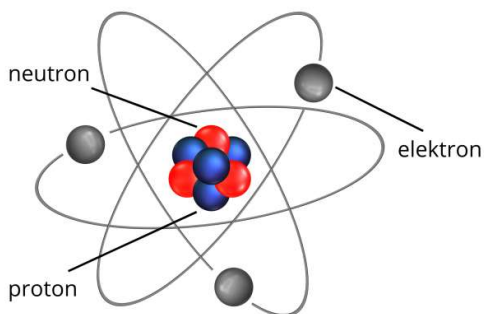
Slika 1.1. Definicije tri osnovna tipa hemijskih supstanci

## 1.2. Građa atoma

Pre više od 2000 godina stari Grci su smatrali da se sve supstance sastoje od malih čestica, koje su nazvali atomi. Dugo vremena se smatralo da su atomi nedeljivi, tj. da se ne sastoje od sitnijih čestica. Džon Dalton (*John Dalton*, 1766-1844), engleski fizičar i hemičar, nastavio je rad grčkih filozofa i preuzeo pojam atom, od grčke reči *atomos* što znači nedeljiv. Takođe, nastavio je i rad Lavoazjea (*Antoine-Laurent de Lavoisier*, 1743-1794), Prusta (*Joseph Louis Proust*, 1754-1826) i Rihtera (*Jeremias Benjamin Richter*, 1762-1807). Svoji proširenu teoriju (Daltonova atomska teorija) objavio je 1808. Godine. Ova teorija može se predstaviti sa sledećih šest postulata:

1. Najmanje čestice nekog elementa koje mogu učestvovati u hemijskim reakcijama su atomi.
2. Atomi istog elementa imaju jednake mase i ista svojstva.
3. Atomi različitog elementa imaju različite mase i svojstva.
4. Atomi jednog elementa ne mogu se prevesti u atome drugog elementa
5. Spajanjem atoma različitih elemenata putem hemijskih reakcija nastaju nove čestice koje se nazivaju molekuli.
6. Jedinjenje ima stalan odnos broja različitih atoma.

Dakle, prema ovoj teoriji atomi su nedeljivi i ne mogu graditi, razoriti ili cepati. Međutim, eksperimentalno je dokazano da atom sadrži manje čestice, koje se zovu subatomskim česticama. Danski naučnik Nils Bor (*Niels Bohr*, 1885-1962) 1913. godine predstavio je model atoma prema kome se atomi sastoje iz pozitivno naelektrisanog jezgra i negativno naelektrisanih elektrona koji kruže oko jezgra poput kruženja planeta oko Sunca (slika 1.2).



Slika 1.2. Borov atomski model

Tako je nova slika atoma zamenila staru i pokazalo se da je atom deljiv i da postoje neke od njega još sitnije čestice. Tri glavne subatomske čestice su protoni i neutroni, koji čine jezgro atoma, i elektroni, koji su raspoređeni oko jezgra.

**Proton** je subatomska čestica koja se nalazi u jezgru atoma. Relativna atomska masa mu je jedan, i on je pozitivno naelektrisan. U atomu je broj protona jednak broju elektrona, pa je atom električki neutralan.

**Neutron** je subatomska čestica koja se nalazi u jezgru atoma zajedno sa protonima. Neutroni i protoni se privlače jakim nuklearnim silama tako da su potrebne ogromne energije da bi se oni razdvojili. Njegova masa je jednaka masi protona i on ne poseduje električno naelektrisanje. Broj neutrona u atomima istog elementa može biti različit.

**Elektron** je subatomska čestica koja se okreće oko jezgra atoma unutar elektronske ljuske ili putanje. Njegova masa je veoma mala, svega 1/1840 deo mase protona. Elektron je negativno naelektrisan po veličini jednak naelektrisanju protona, ali suprotnog znaka. U atomu je broj elektrona jednak broju protona.

Atomi su toliko mali da ih je vrlo teško meriti. Njihova masa je oko  $10^{-22}$  grama, dok im je prečnik oko  $10^{-7}$  milimetara. Da bi se dobile pogodne vrednosti, njihova masa se meri u odnosu na neku dogovorenu masu. Od 1962. godine kao osnova za merenje mase atoma uzeta je jedna dvanaestina mase atoma ugljenika-12 /vidi tekst o izotopima/. Ranije su se za merenje koristili atomska masa vodonika /kao najlakšeg elementa/ i jedna šesnaestina mase atoma kiseonika. Prosečna masa, uzimajući u obzir relativnu masu izotopa i odnos izotopa, jednog atoma supstance podeljena jednom dvanaestinom mase atoma ugljenika-12 predstavlja **relativnu atomsku masu** /Ar/. Ona nema jedinica, jer se radi o odnosu.

U jezgru je skoncentrisana gotovo celokupna masa atoma, ali je jezgro po veličini vrlo malo u odnosu na ukupnu veličinu atoma. Kao što smo ranije istakli elektroni se nalaze u elektronskim ljuskama ili putanjama - **energetski nivoi**- koji predstavljaju imaginarni sferni prostor oko jezgra atoma. Što je ljuska dalja od jezgra to je veća energija njenih elektrona, otuda naziv energetski nivo. Postoji niz ljuski rastućeg radijusa, a u svakoj se može nalaziti određeni broj elektrona. Elektronske ljuske se obeležavaju slovima K, L, M, N, O, P, Q itd. i one odgovaraju različitim energetskim nivoima elektrona.

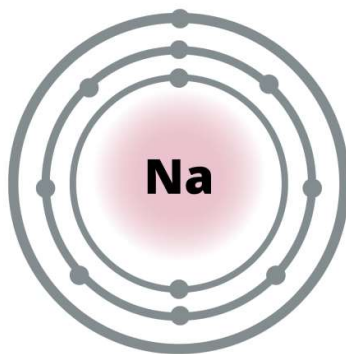
Prva ljuska (K) može da sadrži jedan ili dva elektrona. Ona se popunjava prva. Druga ljuska (L) može da sadrži do osam elektrona. Elektroni ulaze u nju samo nakon što se popuni prva ljuska. Treća ljuska može da sadrži do 18 elektrona. Elektroni ulaze u nju samo nakon

ispunjenja druge ljuske. Maksimalan broj elektrona koji se nalazi u nekoj ljusci (M) izračunava se po sledećem obrascu:

$$M = 2n^2$$

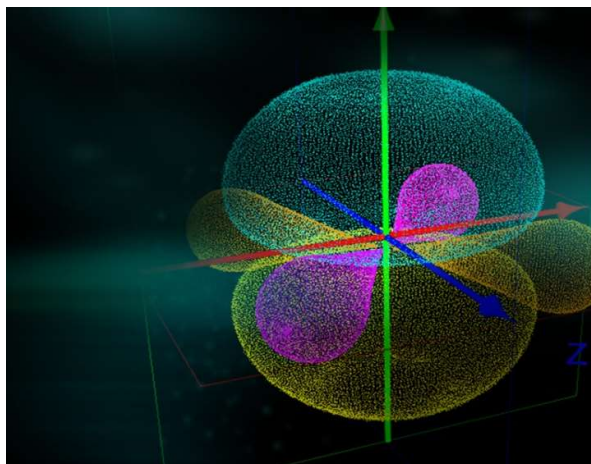
gde n predstavlja glavni kvantni broj ljuske. Prva ljuska ima kvantni broj 1, druga 2 itd.

Raspored elektrona u atomu po elektronskim ljuskama predstavlja *elektronsku konfiguraciju atoma*. Tako, na primer, atom natrijuma ima elektronsku konfiguraciju: 2, 8, 1 (slika 1.3).



Slika 1.3. Elektronska konfiguracija natrijuma

Svaka elektronska ljuska sastoji se od jedne ili više orbitala, različitog oblika. Orbitala se definiše kao prostor u kojem se mogu nalaziti jedan ili dva elektrona. Inače, orbitale se obeležavaju slovima s, p, d, f.



Slika 1.4. Izgled orbitala

Broj elektrona u poslednjoj ljusci određuje reaktivnost elementa i grupu kojoj element pripada /vidi periodni sistem elemenata/.

Iz godine u godinu otkrivaju se sve neobičnije i zagonetnije subatomske čestice, čije je vreme postojanja, uglavnom, veoma kratko. Tako ih se brzo nakupilo i više od 100. To su čestice neobičnih imena i još čudnijih osobina: pozitroni, neutrimi, mioni, pioni, itd. Na primer, **pozitron** predstavlja česticu koja ima masu jednaku masi elektrona, ali koja je pozitivno naelektrisana.

U tekstu koji dalje sledi govorićemo o atomskom i masenom broju elementa. **Atomski broj** predstavlja broj protona u jezgru atoma. Element atoma je određen atomskim brojem. Na primer, bilo koji atom sa šest protona je ugljenik (slika 6), bez obzira na broj neutrona u atomskom jezgru.

**Maseni broj** predstavlja ukupan broj protona i neutrona u jednom atomu elementa. On je obično dva puta veći od atomskog broja datog elementa.

Ovo pravilo se može lako uočiti na primeru ugljenika.

Naime, ugljenik ima atomski broj 6, dok mu je maseni broj 12. Međutim, atomi nekog elementa mogu imati različit broj neutrona u svom jezgru, a samim tim i različite masene brojeve. Takvi atomi nazivaju se izotopima.

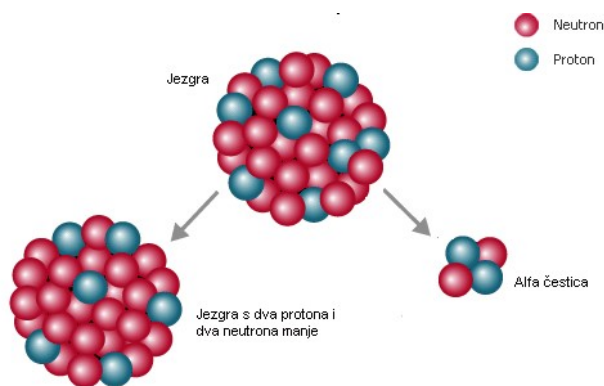
Izotopi se označavaju pisanjem masenog broja u gornjem levom uglu simbola elementa. Ugljenik ima tri izotopa / $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  i  $^{14}\text{C}$ /.



### 1.3. Radioaktivnost, radioizotopi, nuklearne reakcije

Izotopi mogu da budu stabilni i radioaktivni. Da bi razumeli šta su radioaktivni izotopi neophodno je da se upoznamo sa pojmom radioaktivnosti. **Radioaktivnost** se javlja kada se rascepi jezgro nekog atoma, stvarajući čestice ili talase pri čemu nastaje jezgro nekog drugog elementa. Elementi čija se jezgra postepeno cepaju na ovaj način nazivaju se radioaktivnim. Prema tome, **radioizotop** je izotop nekog elementa čija su jezgra nestabilna i usled toga podležu cepanju /dezintegraciji/. Obično su nestabilna ona jezgra koja imaju velike masene brojeve ili neuravnotežen broj protona i neutrona. Pri cepanju jezgra nekog radioizotopa emituju se čestice /alfa i beta čestice/ ili gama zraci.

**Alfa čestica** / $\alpha$ -čestica/ je po svom sastavu jezgro helijuma, koje se sastoji od dva protona i dva neutrona, relativne atomske mase 4 i naelektrisanja +2. Kreće se sporo i ima slabu moć prodiranja. Zaustavlja je list hartije (slika 1.5).

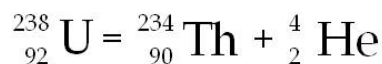


Slika 1.5. Alfa raspad

**Beta čestica** / $\beta$ -čestica/ je elektron velike brzine koji se emituje iz jezgra. Nastaje kada se neutron raspadne na proton i elektron. Beta čestice mogu prodirati kroz predmete male gustine i/ili debljine, npr. papir. Međutim, njih zaustavlja list aluminijuma.

**Gama zraci** / $\gamma$ -zraci/ su elektromagnetni talasi, kao i svetlost, koji se emituju iz jezgra radioaktivnog atoma zajedno sa alfa i beta česticama. Oni imaju veliku moć prodiranja, pa prolaze kroz list aluminijuma. Zaustavlja ih olovo.

**Dezintegracija** ili cepanje jezgra nekog radioizotopa obično se predstavlja nuklearnom reakcijom. Dezintegracija uranijuma-238 (izotop urana sa masenim brojem 238) do torijuma-234 (izotop torijuma sa masenim brojem 234) prikazana je sledećom nuklearnom reakcijom:



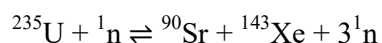
Pri pisanju nuklearnih reakcija broj u gornjem levom uglu predstavlja maseni broj, dok onaj u donjem levom uglu predstavlja atomski broj elementa. Jednačine nuklearnih reakcija, uključujući i reakcije radioaktivnog raspada, moraju zadovoljiti pravila jednakosti zbira indeksa: a) zbir masenih brojeva čestica reaktanata jednak je zbiru masenih brojeva čestica proizvoda reakcije; b) zbir naelektrisanja čestica reaktanata i zbir naelektrisanja čestica proizvoda je međusobno jednak.

Kao što se vidi iz gornje jednačine zbog promene atomskog broja nastaje novi element /torijum/. Ovo se naziva **transmutacija**. Dezintegracija prestaje kada nastane stabilni atom, tj. atom čije jezgro ne podleže daljem raspadanju. Ako se to ne desi, novi atom se takođe dezintegriše i tako dezintegracija traje sve dotle dok ne nastane stabilni atom.

Vreme koje je potrebno za dezintegraciju polovine atoma /jezgara/ uzorka radioaktivnog elementa do stabilnih atoma naziva se **vremenom poluraspada,  $t_{1/2}$**  (poluživota). Vreme poluraspada zavisi od vrste jezgra, kreće se u veoma širokim granicama, od dela sekunde do milijarde godina. Na primer, za uranijum-238 ono iznosi 4,5 milijardi godina, dok je za radijum-221 vreme poluraspada svega 30 sekundi. Jedinica radioaktivnog raspada je bekerel (Bq). Jedan bekerel odgovara dezintegraciji jednog jezgra u sekundi.

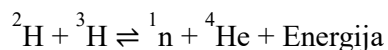
Pored nuklearnih reakcija gde se jezgra radioizotopa dezintegrišu (razlažu) do lakših jezgara u radiohemiji su poznate i nuklearne reakcije fisije i fuzije.

**Nuklearna fisija** predstavlja dezintegraciju /cepanje, raspadanje, razlaganje/ jezgra atoma koje je prouzrokovano njegovim bombardovanjem neutronom. Jezgro se cepa stvarajući jezgra drugih, lakših elemenata i novu količinu neutrona. Ovo ćemo ilustrovati na primeru **fisije uranijuma-235** koja se može predstaviti sledećom jednačinom :



Sudarom sa neutronom jezgro urana se raspada uz stvaranje dva druga elementa, stroncijuma-90 i ksenona-143 i tri neutrona. Oslobođeni neutroni prouzrokuju fisiju ostalih atoma urana, uz koje se dalje, oslobađa još više neutrona /lančana reakcija/. Nuklearna fisija u nuklearnim elektranama je kontrolisana, dok je u nuklearnim bombama ona nekontrolisana.

**Nuklearna fuzija** predstavlja građenje većeg jezgra iz dva lakša jezgra:



Za razliku od nuklearne fisije, fuzijom ne nastaju radioaktivni proizvodi. Ona se odigrava na veoma visokim temperaturama /milion stepeni Celzijusa/, uz oslobađanje ogromnih količina energije. Ova reakcija se u prirodi dešava samo na Suncu i sličnim zvezdama. U hidrogenskoj /vodoničnoj/ bombi odigrava se nuklearna fuzija. Oslobođena energija je oko 30 puta veća od energije bombe iste veličine.

Na kraju ćemo našu diskusiju o radioaktivnosti završiti sa nekim značajnijim aspektima njene primene. Zračenje koje emituju radioaktivne supstance /radioizotopi/ može imati različitu primenu, naročito u medicini, industriji, poljoprivredi i arheološkim istraživanjima.

Primena radioaktivnog zračenja :

- a) **Radioaktivno praćenje** predstavlja metodu praćenja supstance pomoću radioizotopa unesenih u tu supstancu. Upotrebljeni radioizotop se zove pratilac, a za supstancu se kaže da je označena. Kod medicinskih dijagnoza visok nivo radioizotopa u nekom organu može označiti prisustvo malignih /kanceroznih/ ćelija.
- b) **Datiranje** /određivanje starosti/ radioaktivnim ugljenikom je metoda kojom se izračunava vreme proteklo od smrti nekog organizma, merenjem emitovane radijacije. Sva živa bića sadrže malu količinu radioizotopa ugljenika-14 koji se nakon njihove smrti postepeno smanjuje.
- c) **Radioterapija** je primena zračenja koje emituju radioizotopi za lečenje obolenja. Ćelije raka su osetljive na radijaciju, pa se rak može tretirati malim dozama radioaktivnog zračenja.

## 1.4. Hemijski simboli, formule i jednačine

Hemijski simboli, formule i jednačine služe da bi se predstavili elementi, jedinjenja kao i hemijske reakcije koje se između njih odvijaju. Na ovaj način je eliminisana jezička barijera koja postoji među brojnim narodima sveta.

**Hemijski simbol** je skraćeni način predstavljanja elemenata u formulama i jednačinama. Obično je to prvo ili prva dva slova latinskog ili grčkog imena elementa. Na primer, simbol za element kiseonik, O, izveden je od njegovog latinskog imena oxygenium, vodonik, H, od njegovog latinskog imena hydrogenium itd.

Hemijske simbole je predložio 1813. godine švedski hemičar Berzelijus (*Jöns Jacob Berzelius*, 1779-1848). Berzelijus se smatra jednim od osnivača moderne hemije. Iako je započeo svoju karijeru kao lekar, njegov trajni doprinos je u oblastima elektrohemijske, hemijskih veza i stehiometrije.

Kod elemenata čija imena počinju istim slovom Berzelijus je predložio da se samo jedan od njih obeleži tim slovom, a da se prvom slovu doda kod ostalih drugo slovo po redu, ili neko od istaknutih u njegovom imenu. Primeri ove smernice predstavljeni su u tabeli 1.1.

Tabela 1.1. Nazivi i simboli pojedinih hemijskih elemenata

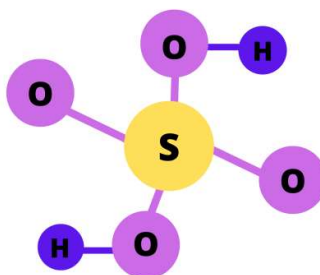
latinsko ime	simbol	ime
Sulfur	S	sumpor
Selenium	Se	selen
Silicium	Si	silicijum
Stibium	Sb	antimon

Simbol svakog elementa ima kvalitativno i kvantitativno značenje. Tako svaki znak predstavlja samo jedan element, jedan atom tog elementa, pa prema tome i njegovu relativnu atomsku masu. Na primer, simbol S predstavlja element sumpor, jedan njegov atom, a samim tim i njegovu relativnu atomsku masu /32/.

**Hemijske formule** služe radi predstavljanja kvalitativnog i kvantitativnog sastava molekula, odnosno pokazuju vrstu i broj atoma koji čine neki molekul. **Molekul** predstavlja najmanju česticu jedinjenja ili elementa koja postoji sama za sebe i zadržava svoje osobine. Molekul se sastoji od 2 ili više međusobno povezanih atoma - neki sadrže i hiljade atoma. Tri glavna tipa hemijskih formula su: molekulska, empirijska i strukturna formula.

**Molekulska formula** ukazuje na to koji se elementi i u kom broju nalaze u sastavu molekula jedinjenja ili elemenata.

Na osnovu molekulske formule sumporne kiseline  $/\text{H}_2\text{SO}_4/$  (slika 1.6.) može se zaključiti da u jednom molekulu ove kiseline ima dva atoma vodonika, jedan atom sumpora i četiri atoma kiseonika. Međutim, o tome kako su ovi atomi međusobno vezani molekulska formula ne pruža nikakvu informaciju. Raspored i način povezivanja atoma u molekulu pokazuju **strukturne formule** koje nalaze veliku primenu u organskoj hemiji.



Slika 1.6. Molekulska i strukturna formula,  $\text{H}_2\text{SO}_4$

Na osnovu strukturne formule jasno je da je sumpor sa dve dvogube veze vezan za dva kiseonikova atoma i sa dve proste veze za dve hidroksilne grupe. Prema tome, sumpor je u ovom jedinjenju šestovalentan, dok je kiseonik dvovalentan a vodonik jednovalentan.

I na kraju da kažemo nešto o **empirijskoj formuli**. Ova formula daje najprostiji odnos celih brojeva između atoma elemenata u molekulu. U slučaju sumporne kiseline empirijska formula je identična molekulskej formuli. Međutim, kod velikog broja jedinjenja to nije slučaj.

Šećer glukoza ima molekulsku formulu  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ . Na šest ugljenikovih atoma u molekulu dolazi 12 atoma vodonika i šest atoma kiseonika. To nije najprostiji odnos celih brojeva između atoma u molekulu. Najprostiji odnos između ugljenika, vodonika i kiseonika je 1:2:1. Ovaj odnos se dobija deljenjem broja atoma svakog od konstitutivnih elemenata u molekulu sa šest pošto je to najmanji broj atoma koji se nalazi u molekulu glukoze. Prema tome, empirijska formula glukoze je  $\text{CH}_2\text{O}$ .

**Hemijske jednačine** su najkraći i najpogodniji način za predstavljanje hemijskih reakcija /procesi pri kojima dolazi do pretvaranja jednih supstanci u druge/ i to pomoću hemijskih formula i simbola. Na levoj strani jednačine pišu se simboli i formule supstanci koje reaguju (reaktanti), a na desnoj strani simboli i formule supstanci koji su proizvodi reakcije. Leva i desna strana jednačine vezuju se znakom jednakosti (=) ili strelicom (→). Broj atoma nekog elementa koji se nalazi sa leve strane mora biti jednak broju atoma tog elementa sa desne strane jednačine. Drugim rečima, jednačina mora da bude uravnotežena, tj. da se pokorava zakonu o očuvanju masa.

Sve formule u jednoj hemijskoj jednačini moraju da predstavljaju tačan sastav svih supstanci koje reaguju i supstanci koje postaju pri reakciji.

Brojevi koji se pišu ispred formula reaktanata i proizvoda reakcije ukazuju na broj molekula supstanci koje učestvuju i koje se stvaraju u dotičnoj hemijskoj reakciji. Tako, na primer, jednačina koja predstavlja hemijski proces pri kome se dobija voda piše se na sledeći način:  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$

Broj 2 ispred formule vodonika ukazuje da u toj reakciji učestvuju 2 molekula vodonika, dok broj 2 ispred formule vode ukazuje na stvaranje 2 molekula ovoga jedinjenja.

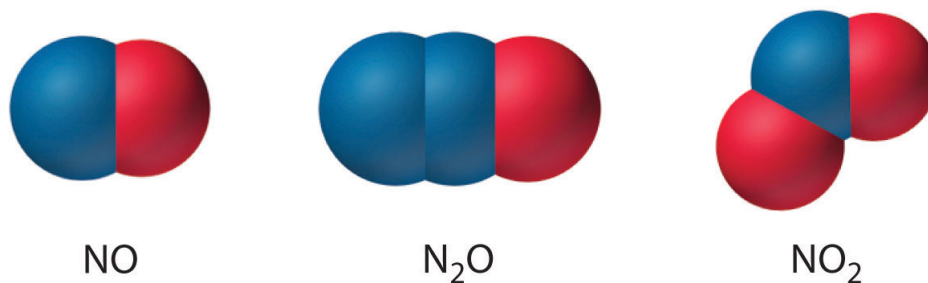
## 1.5. Osnovni zakoni hemije

Krajem 18-og i početkom prošloga veka otkrivena su tri hemijska zakona: *zakon o očuvanju mase*, *zakon konstantnog sastava* i *zakon umnoženih proporcija*. Prva dva zakona datiraju pre Daltonove atomske teorije, dok je treći proizašao iz nje. Sva tri zakona su odigrala važnu ulogu u razvoju atomske teorije.

**Zakon o očuvanju mase** je otkrio 1774. godine francuski hemičar Antoan Lavoazje (*Antoine-Laurent Lavoisier*, 1743-1794). Prema ovom zakonu u toku hemijske reakcije materija se ne može stvoriti ni uništiti. Drugim rečima, količina nekog elementa posle reakcije ne može da bude manja ili veća od njegove količine pre reakcije.

**Zakon konstantnog sastava** navodi da svi čisti uzorci istog hemijskog jedinjenja sadrže iste elemente spojene (kombinovane) u istoj masenoj proporciji. Ovaj zakon je otkrio francuski hemičar Žozef Prust (*Joseph Proust*, 1754-1826).

**Zakon umnoženih proporcija** glasi: Ako dva elementa grade više jedinjenja onda količine jednog elementa koje se jedine sa jednom te istom količinom drugog elementa stoje u odnosu prostih celih brojeva. Ovaj zakon ćemo ilustrovati na primeru azotovih oksida (slika 14). Naime, azot gradi sledeće okside sa kiseonikom:  $N_2O$  /azot suboksid/,  $NO$  /azot monoksid/,  $N_2O_3$  /azot trioksid/,  $NO_2$  /azot dioksid/ i  $N_2O_5$  /azot pentoksid/ (slika 1.7).



Slika 1.7. Oksidi azota

Broj atoma kiseonika po atomu azota u navedenim jedinjenjima iznosi 1/2; 1; 1,5; 2 i 2,5. Prema tome, mase kiseonika su u odnosu:  $8 : 16 : 24 : 32 : 40 = 1 : 2 : 3 : 4 : 5$ .

Zakon umnoženih proporcija je nastavak Daltonove atomske teorije.

## 1.6. Periodni sistem elemenata

Ruski hemičar Dimitri Mendeljejev (*Дмитрий Иванович Менделеев*, 1834 – 1907) je 1869. godine objavio svoj rad koji čini osnovu modernog periodnog sistema. Pored njega mnogi hemičari su pokušavali da poređaju elemente po nekom redosledu, koji je zasnovan na veličini atoma.

Mendeljejev je bio najuspešniji među njima i on je formulisao zakon koji glasi: *Osobine elemenata, a isto tako osobine jedinjenja elemenata se nalaze u periodičnoj zavisnosti od veličine atomskih masa elemenata.*

Periodni sistem elemenata predstavlja raspored elemenata na osnovu njihovih atomskih brojeva. Fizičke i hemijske osobine elemenata su povezane sa položajem tog elementa u periodnom sistemu. Inače, periodni sistem je podeljen u grupe i periode (slika 1.8).

Grupa →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
↓ Perioda																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
Lantanoidi	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
Aktinoidi	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			

Slika 1.8. Periodni sistem elemenata

**Perioda** se definiše kao horizontalni niz elemenata u periodnom sistemu. Ukupno postoji sedam perioda. Prva perioda sadrži samo dva elementa. To su vodonik i inertni gas helijum. Druga i treća perioda sadrže po osam elemenata i nazivaju se kratke periode. Četvrta, peta, šesta i sedma perioda sadrže od 18 do 32 elemenata i one se zovu dugim periodama.



Idući sleva nadesno atomski broj elementa u periodi se povećava za jedinicu. Naime, svaki naredni element sadrži po jedan elektron više u spoljašnjoj ljusci svojih atoma. Elementi koji se nalaze u istoj periodi imaju isti broj ljusaka /putanja/ u sastavu svojih atoma. Kako idemo sleva nadesno uzduž periode opada težnja za otpuštanjem elektrona, a istovremeno raste težnja za primanjem elektrona. Na levoj strani periode se nalaze tipični **metali**, dok su na desnoj strani tipični **nemetali**. Atomi elemenata koji se nalaze s leve strane periode imaju veći prečnik u odnosu na atome elemenata s desne strane.

**Grupa** predstavlja vertikalnu kolonu elemenata u periodnom sistemu. Sve grupe su numerisane /izuzev grupa prelaznih metala/ rimskim brojevima, a neke imaju imena. Prva grupa se zove grupom **alkalnih metala**, druga grupom **zemno-alkalnih**, sedma grupom **halogenih elemenata** i osma ili 0-ta grupa grupom **plemenitih gasova**. Elementi u istoj grupi imaju isti broj elektrona u svojoj spoljašnjoj ljusci, pa tako imaju iste hemijske osobine. Elementi koji se nalaze u prvoj grupi /alkalni metali/ imaju po jedan elektron u spoljašnjoj putanji. Idući od vrha grupe nadole raste težnja za otpuštanjem elektrona i stvaranjem katjona. Takođe se povećava veličina atoma /poluprečnik/ elemenata.

Elementi se mogu klasifikovati kao metali ili nemetali na osnovu njihovih fizičkih svojstava, ove razlike predstavljene su u tabeli 1.2.

Elementi koji nisu potpuni metali ili nemetali, nazivaju se **metaloidi**. U metaloide spadaju bor, silicijum, germanijum, arsen, selen, telur i astat. Elementi koji se nalaze desno od metaloida su nemetali.

Na kraju treba ponoviti da se osobine i reakcije elemenata mogu predvideti na osnovu mesta koje zauzimaju idući od vrha prema dnu grupe, odnosno uzduž periode.

Tabela 1.2. Fizička svojstva metala i nemetala

Svojstvo	Metal	Nemetal
Fizičko stanje	čvrste materije /osim žive/	čvrst, tečan /brom/ i gasovit
Pojavljivanje	sjajan	većinom nisu sjajni /osim joda/
Provodljivost	dobra	loša
Elastičnost	dobra	loša
Kovnost	dobra	loša
Tačka topljenja	uglavnom visoka	uglavnom niska
Tačka ključanja	uglavnom visoka	uglavnom niska

## 1.7. Hemijske veze

Kada supstance međusobno reaguju, njihovi atomi primaju, otpuštaju ili dele elektrone, tako da svaki od njih ostvari stabilnu elektronsku konfiguraciju /elektronska konfiguracija najbližeg inertnog gasa - element koji se nalazi u nultoj grupi periodnog sistema i koji je hemijski inertan/. Pri tome, atomi se ili privlače ili vežu.

Prilikom stvaranja hemijske veze atomi otpuštaju ili primaju elektrone sve dok broj elektrona u spoljašnjem energetskom nivou ne bude 2 ili 8 kao kod najbližeg plemenitog elementa. Na ovaj način se dobija stabilno stanje sa niskim sadržajem energije.

Tri osnovna tipa hemijske veze su: jonska veza, kovalentna veza i metalna veza.

### 1.7.1. Jonska veza

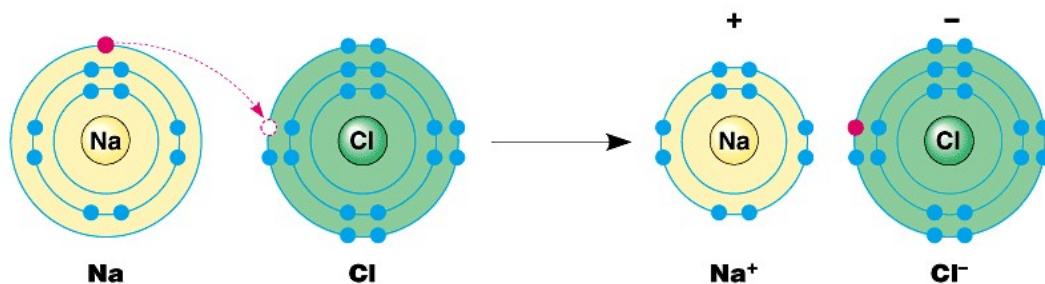
Pre nego što detaljnije objasnimo ovaj tip veze neophodno je da se upoznamo sa sledećim pojmovima: jon, katjon i anjon. **Jon** je naelektrisana čestica koja se stvara kada atom otpusti ili primi jedan ili više elektrona stvarajući tako stabilnu spoljašnju ljusku. Joni mogu biti katjoni ili anjoni.

**Katjon** je pozitivno naelektrisan jon koji nastaje otpuštanjem elektrona u reakciji, tada atom poseduje višak protona u odnosu na elektrone. Vodonik i metali imaju tendenciju za stvaranjem katjona. Njihovi atomi imaju jedan, dva ili tri elektrona u spoljašnjoj ljusci. Oni lakše postižu stabilnost ljuske otpuštanjem elektrona nego primanjem barem pet novih elektrona.

**Anjon** je negativno naelektrisan jon, koji nastaje kad atom primi elektrone u reakciji, tada on ima više elektrona nego protona. Nemetali naginju stvaranju anjona. Njihovi atomi imaju pet, šest ili sedam elektrona u spoljašnjoj ljusci, pa je njima lakše da prime elektrone, i tako dobiju stabilnu ljusku, nego da izgube najmanje pet elektrona.

Kada dva elementa reaguju uz stvaranje jona, nastali katjoni i anjoni se privlače jer su suprotnog naelektrisanja. Zbog tog privlačenja, koje je elektrostatičke prirode, oni ostaju zajedno. Ovaj tip vezivanja se naziva jonsko vezivanje, a nastale elektrostatičke veze se nazivaju **jonske veze**.

Jonskom vezom se vezuju elementi sa suprotnih krajeva periodnog sistema gradeći jonska jedinjenja. Natrijum i hlor grade natrijum-hlorid (slika 1.9), a magnezijum i kiseonik magnezijum-oksidi.



Slika 1.9. Stvaranje natrijum-hlorida

Jedinjenje čiji se konstituenti drže jonskim vezama naziva se *jonsko jedinjenje*. Jonska jedinjenja imaju visoke tačke topljenja i ključanja, a to je zbog toga što su veze u jedinjenju jake, pa su potrebne velike količine energije za njihovo raskidanje. Ona grade gusto zbijene kristale, koji se rastvaraju u vodi i u polarnim rastvaračima.

U rastopljenom stanju i u vodenom rastvoru provode struju zbog postojanja naelektrisanih čestica /jona/ koje se slobodno kreću.

### 1.7.2. Kovalentna veza

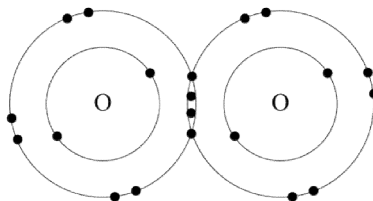
Kovalentna veza nastaje deljenjem elektrona između atoma tako da svaki od atoma poprima stabilnu elektronsku konfiguraciju. Zajednički elektroni čine elektronske parove. Jedan par elektrona čini jednu kovalentnu vezu. Razlikujemo sledeće tipove kovalentne veze: jednostruka veza /jednoguba/, dvostruka veza /dvoguba/ i trostruka veza /troguba/.

**Jednostruka veza** nastaje stvaranjem jednog zajedničkog elektronskog para /2 elektrona/ između dva atoma. Kao primer za ovaj tip kovalentne veze navodimo molekul hlora (slika 1.10). U formulama se jednostruka veza prikazuje jednom crticom: Cl-Cl



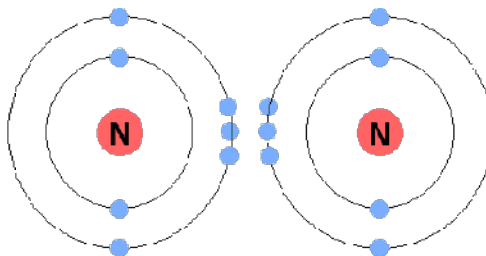
Slika 1.10. Molekul hlora

Dvostruka veza je kovalentna veza koja je nastala stvaranjem dva zajednička para elektrona /4 elektrona/ između dva atoma. Kao primer za ovaj tip kovalentne veze navodimo molekul kiseonika (slika 1.11). U formuli se dvostruka veza prikazuje sa dve crtice:  $O=O$



Slika 1.11. Molekul kiseonika

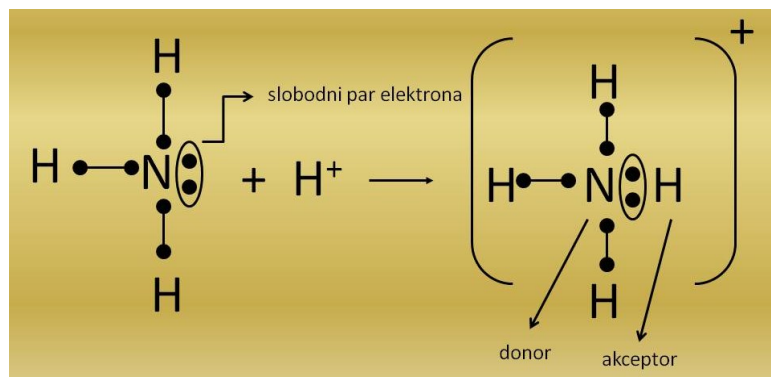
Trostruka veza nastaje stvaranjem tri zajednička elektronska para /6 elektrona/ između dva atoma. Kao primer za ovaj tip kovalentne veze navodimo molekul azota (slika 1.12). U formuli se trostruka veza prikazuje sa tri crtice:  $N\equiv N$



Slika 1.12. Molekul azota

Kovalentne veze između atoma su jake. Međutim, jedinjenja sa kovalentnom vezom, koja su na sobnoj temperaturi tečnosti ili gasovi, imaju niske tačke topljenja i ključanja jer se molekuli slabo privlače, pa je za njihovo razdvajanje dovoljna mala energija. Ova jedinjenja ne provode električnu struju, a razlog tome je nepostojanje naelektrisanih čestica /jona/.

Poseban tip kovalentne veze predstavlja donorsko-akceptorska ili koordinativna veza. Ova veza nastaje kada oba elektrona u vezi potiču od jednog atoma. Ovaj tip veze postoji kod amonijačnog jona  $/NH_4^+ /$ .



Slika 1.13. Koordinativna veza kod amonijačnog jona

Kao što se iz slike 1.13. vidi atom azota je taj koji svojim usamljenim /slobodnim/ elektronskim parom omogućava stvaranje koordinativne veze. Slobodni elektronski par predstavlja par elektrona u spoljašnjoj ljusci koji ne pripada kovalentnoj vezi. U navedenom primeru atom azota je donator, a jon vodonika akceptor elektrona.

### 1.7.3. Metalna veza

Kao što se iz samog naziva ove veze može zaključiti ona je prisutna kod metala. Ovde se radi o privlačenju čestica u gigantskoj /velikoj/ metalnoj rešetki. Rešetka se sastoji od pozitivnih metalnih jona, između koji se slobodno kreću valentni elektroni. Slobodni ili delokalizovani elektroni stvaraju veze između jona metala. Između elektrona i jona postoje jake sile. S obzirom da su elektroni pokretljivi, metali provode električnu struju i toplotu. Metali imaju visoke tačke topljenja i ključanja, jer je za razgradnju metalne veze potrebna velika količina energije.

## 1.8. Hemijske reakcije

Hemijske reakcije su procesi pri kojima dolazi do pretvaranja jednih supstanci u druge. Drugim rečima, pri ovim procesima stvaraju se supstance koje se razlikuju, kako po sastavu tako po osobinama i strukturi, od polaznih supstanci reakcije. Kao što smo istakli u prethodnom poglavlju hemijske reakcije se prikazuju pomoću hemijskih jednačina.

### 1.8.1. Brzina hemijskih reakcija

Vreme trajanja hemijske reakcije varira od manje od milionitog dela sekunde, do dana, sedmice ili godine. Ova činjenica ukazuje da se hemijske reakcije odvijaju različitim brzinama. Brzina reakcije se definiše kao promena koncentracije supstance u jedinici vremena. Ona se izračunava merenjem brzine trošenja reaktanata ili stvaranja proizvoda.

Oblast hemije koja se bavi izučavanjem brzina hemijskih reakcija zove se **hemijska kinetika**. Prema teoriji sudara, da bi između dve čestice došlo do reakcije, one se moraju sudariti, pa se sa povećanjem broja sudara brzina reakcije povećava. Međutim, ne dovode svi sudari do hemijske reakcije, pošto sve čestice nemaju dovoljno energije da bi reagovala.

Minimalna energija koju moraju posedovati čestice da bi reagovala pri sudaru zove se **energija aktivacije** / $E_a$ /. U mnogim reakcijama čestice već poseduju tu energiju, pa direktno reaguju. Međutim, ima dosta reakcija gde se česticama mora dovesti energija da bi dostigle energiju aktivacije. Tek posle toga će one da reaguju pri sudaru.

Brzina hemijske reakcije zavisi od prirode reaktanata /supstanci koje reaguju/ i njihove koncentracije, kao i od uslova u kojima se odvija reakcija /temperatura, pritisak, prisustvo katalizatora/. U tekstu koji dalje sledi razmotrićemo uticaj koncentracije, temperature, pritiska i prisustva katalizatora na brzinu hemijske reakcije.

#### **Koncentracija**

Sa povećanjem koncentracije jednog ili više reaktanata doći će do povećanja brzine reakcije. Razlog za ovo leži u činjenici da pri većim koncentracijama imamo više molekula u istom prostoru što neminovno ima za posledicu i veći broj sudara. Prema zakonu o dejstvu masa brzina hemijske reakcije je direktno proporcionalna proizvodu koncentracije reaktanata.

Ako imamo reakciju:  $A + B = C + D$ , brzina reakcije ( $v$ ) se izračunava po sledećem obrascu:  $v = k \cdot [A] \cdot [B]$

gde su:  $k$  = konstanta brzine hemijske reakcije, a  $[A]$  i  $[B]$  koncentracije reaktanata.

## Temperatura

Brzina reakcije raste sa porastom temperature. Pod uticajem toplotne energije veći broj čestica poprima energiju koja je veća od aktivacione energije. Čestice se sudaraju energičnije pa ih više reaguje. Prema pravilu *van't Hoffa* pri povećanju temperature za  $10^{\circ}\text{C}$  brzina hemijske reakcije se povećava 2-3 puta.

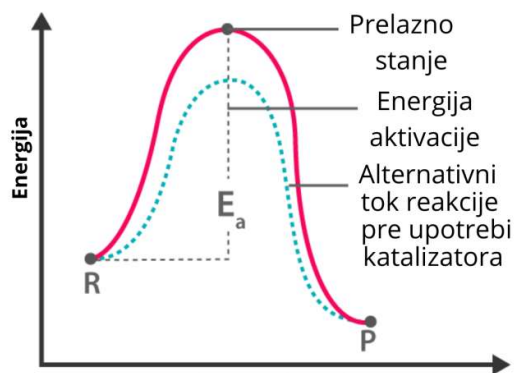
## Pritisak

U reakcijama u kojima učestvuju gasovi brzina reakcije raste sa povećanjem pritiska. S porastom pritiska raste temperatura, a opada zapremina gasa. Usled toga će se čestice gasa energičnije i češće sudarati što za posledicu ima povećanje brzine hemijske reakcije.

## Katalizator

Katalizatori su supstance koje imaju sposobnost da menjaju brzinu hemijske reakcije kada se dodaju reakcionoj smeši pri čemu ostaju hemijski neizmenjeni u odnosu na njihovu količinu i hemijski sastav.

Katalizatori deluju na principu smanjenja energije aktivacije (slika 1.14). Katalizator koji povećava brzinu jedne reakcije ne mora delovati i na drugu reakciju. Razlikujemo homogene i heterogene katalizatore. **Homogeni katalizator** je onaj koji je istog agregatnog stanja kao i reaktanti, dok je **heterogeni katalizator** drugačijeg agregatnog stanja od reaktanata. Prema tome postoje dva tipa katalize: homogena i heterogena kataliza. Kao primer *homogene katalize*, u kojoj ulogu katalizatora igraju vodonikovi joni kiseline, može da posluži reakcije hidrolize saharoze. Dejstvom vode saharoza se razlaže na dva prosta šećera: glukozu i fruktozu. Stvaranje amonijaka iz azota i vodonika u prisustvu gvožđa kao katalizatora je primer heterogene katalize.

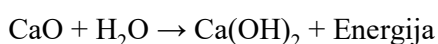


Slika 1.14. Aktivaciona energija uz primenu katalizatora

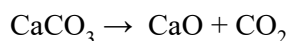
Kada govorimo o katalizatorima i katalizi često se susrećemo sa pojmovima kao što su promotor i inhibitor. *Promotor* je supstanca koja povećava jačinu katalizatora i time ubraza reakciju. *Inhibitor* je supstanca koja usporava reakciju. Neki inhibitori deluju tako da smanjuju jačinu katalizatora.

### 1.8.2. Toplotni efekat hemijskih reakcija /osnovi termohemije/

Hemijske reakcije su uvek praćene oslobađanjem ili vezivanjem /utroškom/ energije, najčešće u vidu toplote. Prve se nazivaju *egzotermnim*, a druge *endotermnim* reakcijama. Kao primer za egzotermnu reakciju navodimo stvaranje gašenog kreča iz kalcijum-oksida i vode:

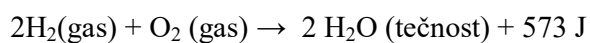


Razlaganje kalcijum-karbonata je primer za endotermnu reakciju:



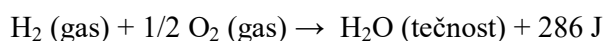
Količina toplote, koju oslobađa ili apsorbuje reagujući sistem naziva se toplotni efekat reakcije. On se obično izražava u džulima /J/ i to za jedan mol /molekulska masa izražena u gramima/ reagujuće supstance. U zavisnosti od vrste hemijske reakcije razlikuju se toplotni efekti: nastajanja, sagorevanja, neutralizacije i dr.

Proučavanjem toplotnih promena koje prate hemijske reakcije bavi se termohemija. Hemijske jednačine, koje prikazuju neku hemijsku reakciju i koje sadrže vrednost toplotnog efekta date reakcije, nazivaju se termohemijske jednačine. Tako termohemijska jednačina nastajanja tečne vode sjedinjavanjem gasova vodonika i kiseonika glasi:



Ova termohemijska jednačina pokazuje da je nastajanje 2 mola /36 g/ tečne vode iz 2 mola /4 g/ vodonika i 1 mola /32 g/ kiseonika praćeno oslobađanjem 573 J toplotne energije i da je to jedna egzotermna reakcija.

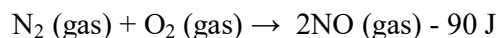
Kako u termohemijskim jednačinama hemijski simboli i formule označavaju takođe i težinske količine supstanci izražene u molovima, to se one mogu skraćivati. Tako skraćena gornja jednačina ima sledeći oblik:



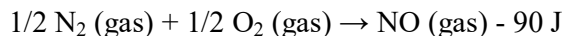
Vidi se da je nastajanje 1 mola /18 g/ tečne vode praćeno oslobađanjem 286 J toplotne energije.



Termohemijska jednačina endotermne reakcije nastajanja gasa azot-monoksida /NO/ iz azota i kiseonika izgleda ovako:

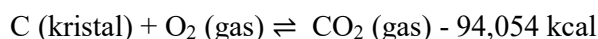


ili skraćeno:

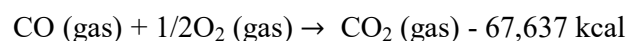
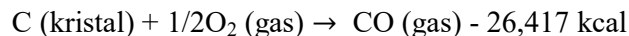


Iz ove jednačine se vidi da je nastajanje 1 mola /30 g/ gasa azot-monoksida praćeno apsorbovanjem 90 J toplotne energije.

Na kraju ćemo našu diskusiju o toplotnom efektu hemijskih reakcija završiti sa definicijom **Hesovog zakona** /German Hese, 1800-1875/. Po ovome zakonu toplotni efekat hemijskih reakcija zavisi samo od početnog i krajnjeg stanja supstanci koje učestvuju u reakciji, a ne zavisi od puta njihovog prelaza od početnog do krajnjeg stanja. Hesov zakon se može ilustrovati na primeru izračunavanja toplote nastajanja ugljen-dioksida iz ugljenika i kiseonika. Ova reakcija se predstavlja sledećom jednačinom:



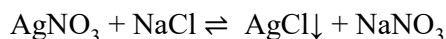
Prema Hesovom zakonu toplota nastajanja ugljen-dioksida je ista, bez obzira da li se on dobija prema gornjoj jednačini ili se njegovo dobijanje odvija u dva stepena kao što je prikazano sledećim jednačinama:



Zbir toplotnih efekata gore prikazanih jednačina je - 94,054 kcal.

### 1.8.3. Nepovratne i povratne hemijske reakcije

Mnoge hemijske reakcije se nastavljaju sve dok se ne potroši jedan ili svi reaktanti, pri čemu njihovi proizvodi ne reaguju međusobno. Za ovakve reakcije se kaže da su **nepovratne** ili **ireverzibilne**. Na primer, ako se pomešaju rastvori srebro-nitrata /AgNO<sub>3</sub>/ i kuhinjske soli /NaCl/ nastaje teško rastvorljivo jedinjenje srebro-hlorid /AgCl/ i natrijum-nitrat /NaNO<sub>3</sub>/.



Srebro-hlorid i natrijum-nitrat neće reagovati da bi stvorili srebro-nitrat i natrijum-hlorid.

Međutim, u hemiji postoji veliki broj reakcija koje nikad ne idu do kraja. One se nazivaju **povratne** ili **reverzibilne** reakcije. Prema tome, reverzibilna reakcija se može definisati kao reakcija koja se odvija u oba smera.  $A + B = C + D$

Naime, proizvodi međusobno reaguju stvarajući polazne reaktante. Ovi ponovo reaguju stvarajući proizvode, i tako dalje. U početku je brzina reakcije s leva u desno mnogo veća od brzine reakcije s desna u levo. Međutim, kako vreme odmiče ta razlika u brzini između ove dve reakcije se smanjuje da bi se u jednom momentu brzine izjednačile i postigla hemijska ravnoteža. Prema tome, u stanju hemijske ravnoteže brzina reakcije s leva u desno ( $v_1$ ) je jednaka brzini reakcije s desna u levo ( $v_2$ ). Korišćenjem zakona o dejstvu masa napisaćemo odgovarajuće izraze za brzine ovih reakcija.

$$v_1 = k_1 \cdot [A] \cdot [B]$$

$$v_2 = k_2 \cdot [C] \cdot [D]$$

gde su:  $k_1$  i  $k_2$  konstante brzina reakcija, a  $[A]$ ,  $[B]$ ,  $[C]$  i  $[D]$  koncentracije reaktanata i proizvoda.

U stanju hemijske ravnoteže  $v_1 = v_2$

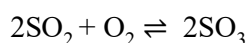
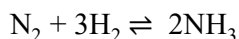
Prema tome,  $k_1 \cdot [A] \cdot [B] = k_2 \cdot [C] \cdot [D]$

Prebacivanjem konstanti na jednu stranu, a koncentracija na drugu stranu dobijamo sledeći izraz:

$$K = \frac{k_1}{k_2} = \frac{[C] \cdot [D]}{[A] \cdot [B]}$$

Odnos  $k_1/k_2$  predstavlja **konstantu ravnoteže** date reverzibilne reakcije koja se obeležava sa  $K$ .

Stvaranje amonijaka iz azota i vodonika, kao i sumpor-trioksida iz sumpor-dioksida i kiseonika, su primeri za reverzibilne reakcije.



Na kraju ćemo diskusiju o reverzibilnim reakcijama završiti sa **le Šateljovim principom** koji kaže da ako se u ravnoteži sistema dese promene sistem će se ponašati u pravcu smanjenja efekata promene. Ovaj princip ćemo ilustrovati na primeru reakcije **stvaranja amonijaka** iz azota i vodonika. Reakcija s leva u desno je egzotermna, dok je reakcija razlaganja amonijaka endotermna. Ako se poveća temperatura sistem će težiti da anulira efekat ove promene. On će to ostvariti tako što će doći do razlaganja amonijaka koje troši toplotu /endotermna reakcija/. Drugim rečima ravnoteža se pomera ulevo. Pri smanjenju temperature brzina egzotermne reakcije raste, i stvara se više amonijaka /ravnoteža se pomera udesno/.

## 1.9. Agregatno stanje materije

Materija se javlja u četiri agregatna stanja. To su gasovito, tečno, čvrsto i plazmatično stanje. Agregatno stanje neke supstance zavisi od količine energije koju sadrži jedinica njegove mase.

Najmanji sadržaj energije neka supstanca ima u čvrstom stanju, a postepenim dovođenjem energije ona se prvo pretvara u tečno stanje /na temperaturi topljenja/, a zatim u gasovito stanje /na temperaturi ključanja/.

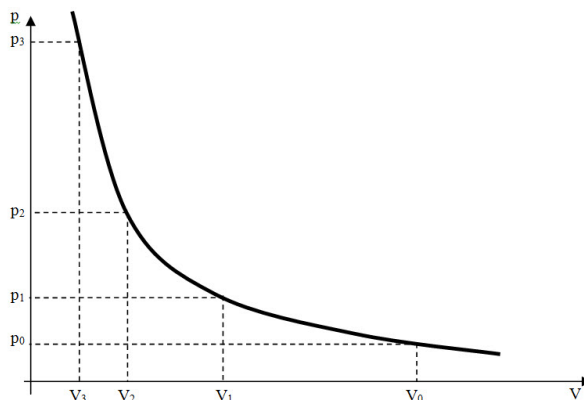
### Gasovito stanje

Za gasovito stanje materije je karakteristično da su molekuli gasa dosta udaljeni i da se kreću u svim smerovima na haotičan način. Zbirna zapremina svih molekula gasa je mnogo manja od zapremine koju zauzima gas, jer su međumolekulske sile privlačenja veoma slabe. Ovo je tačno za sve gasove, jer se svi gasovi ponašaju na isti način. Za gasno stanje materije primenjuju se sledeći zakoni:

**Bojl-Mariotov zakon** (slika 1.15) → Pri konstantnoj temperaturi zapremina gasa opada sa povećanjem pritiska. Drugim rečima, zapremina je obrnuto proporcionalna pritisku. Matematički se ovaj zakon izražava na sledeći način :

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \text{ ili } PV = k$$

gde P predstavlja pritisak, V zapreminu, a k konstantu.



Slika 1.15. Bojl-Mariotov zakon

**Šarlov zakon** (slika 1.16.) → Pri konstantnoj zapremini gasa pritisak raste sa temperaturom. Pritisak je direktno proporcionalan temperaturi izraženoj u kelvinima.

Matematički se ovaj zakon izražava na sledeći način:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \text{ ili } \frac{P}{T} = k$$

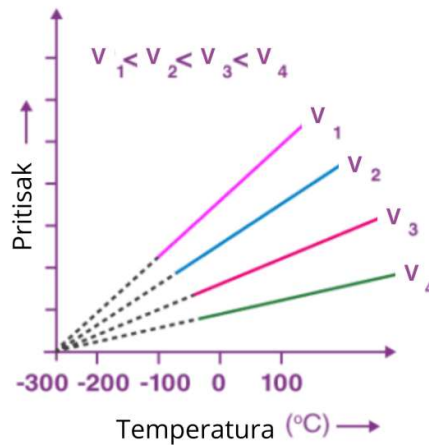
gde P predstavlja pritisak, T temperaturu u kelvinima,

jedan kelvin ima istu veličinu kao i jedan stepen Celzijus, ali je najniža tačka na skali 0 K ili apsolutna nula - 273 °C, a k konstantu.

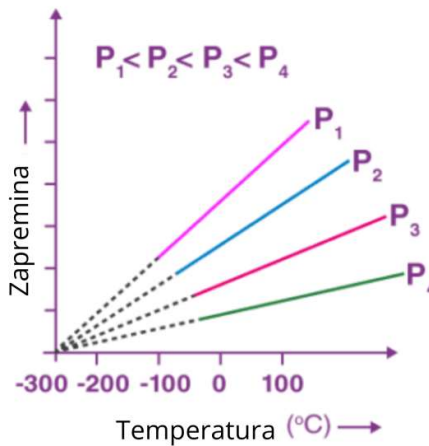
**Gej Lisakov zakon** (slika 1.16) → Ako je pritisak na gas konstantan gas se širi sa povećanjem temperature. Drugim rečima, zapremina je direktno proporcionalna temperaturi.

Matematički se ovaj zakon izražava na sledeći način :  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$  ili  $\frac{V}{T} = k$

gde V predstavlja zapreminu, T temperaturu, a k konstantu.



Slika 1.16. Šarlov zakon



Slika 1.17. Gej-Lisakov zakon

Jednačina koja pokazuje odnos između zapremine, pritiska i temperature određene mase gasa zove se opštom gasnom jednačinom ili *jednačinom idealnog gasa*. Ona ima sledeći oblik :

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \text{ ili } P \cdot V = R \cdot T$$

gde je R gasna konstanta koja je ista za sve gasove (8,31 J/mol· K).

Pored pomenutih zakona za gasovito stanje materije su od značaja i sledeći zakoni:

- a) **Daltonov zakon parcijalnih pritisaka.** Ukupan pritisak smeše gasova /koji međusobno ne reaguju/ jednak je zbiru parcijalnih pritisaka pojedinačnih gasova u smeši. Parcijalni pritisak se definiše kao pritisak svakog od gasova u smeši kad bi sam ispunio zapreminu koju zauzima smeša.
- b) **Avogadrov zakon.** Prema ovome zakonu jednake zapremine svih gasova na istoj temperaturi i istom pritisku sadrže isti broj molekula.
- c) **Gremov zakon difuzije.** Brzina difuzije gasa pri konstantnoj temperaturi i pritisku je obrnuto proporcionalna drugom korenu njegove gustine. Gustina gasa je velika ako su njegovi molekuli teški i mala ako su mu molekuli lagani. Lakši molekuli se kreću brže od teških, pa gas manje gustine difunduje brže od gasa manje gustine.

### Tečno stanje

Tečnosti nemaju sopstveni oblik već zauzimaju oblik suda u kome se nalaze. Sile privlačenja između molekula tečnosti su mnogo jače od sila privlačenja između molekula gasa. Zapremina tečnosti je skoro konstanta.

Potrebno je primeniti vrlo velike pritiske da bi se zapremina tečnosti malo smanjila. Da bi se zapremina vode smanjila samo za 1% potrebno je izložiti pritisku od 200 atmosfera. Za tečno stanje karakteristično je postojanje površinskog napona i viskoznost.

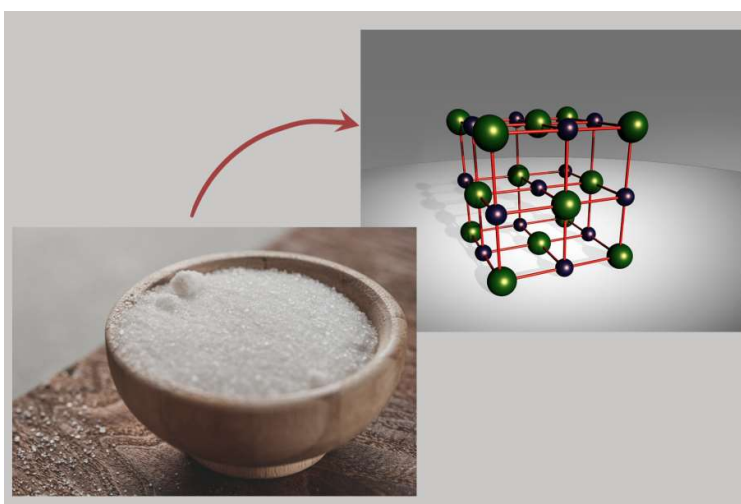
**Površinski napon** je odgovoran što se površina tečnosti ponaša kao zategnuta opna. On je uslovljen postojanjem jakih sila privlačenja između molekula površinskog sloja koji su malo udaljeniji od onih u unutrašnjosti tečnosti. Usled postojanja površinskog napona tečnost teži da zauzme oblik kapljice. Neke materije menjaju a druge uopšte ne deluju na površinski napon. Prve se zovu površinski aktivne, a druge površinski neaktivne materije.

Tečnosti pokazuju i unutrašnje trenje /**viskoznost**/ koje predstavlja otpor koji se javlja kada se jedan sloj kreće u odnosu na drugi. Kao primer za veoma viskoznu tečnost navodimo sirup /teče sporo/. Voda nije mnogo viskozna i ona teče brzo. Jedinice za viskoznost su poazi.

### Čvrsto stanje

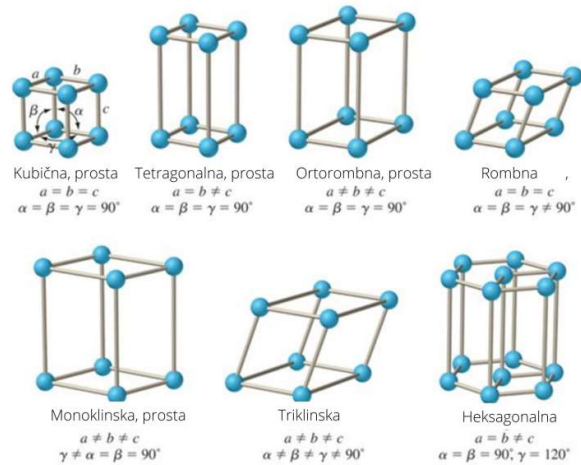
Materije koje imaju svoj sopstveni oblik i koje se suprotstavljaju promeni tog oblika nazivaju se čvrstim telima. Ova tela mogu da budu *kristalna* i *amorfna*.

**Kristali** su čvrste supstance sa pravilnim geometrijskim oblicima, koji su nastali pravilnim rasporedom čestica. Čestice mogu biti atomi /dijamant, grafit/, joni /natrijum-hlorid/ ili molekuli /jod/. Inače, kristali postoje u mnogim različitim oblicima i veličinama. Raspored čestica u prostoru i način na koji su one povezane naziva se kristalnom rešetkom (slika 1.18).



Slika 1.18. Kristalna rešetka NaCl

Oblik određenog kristala zavisi od njegove kristalne rešetke i načina na koji se rešetka može rascepiti uzduž ravni rascepa. Ravan rascepa se definiše kao ravan uzduž koje se kristal može rascepiti a da pri tome ostane ravna površina. Ako se kristal ne cepa uzduž ravni rascepa dolazi do njegovog lomljenja. Glavni kristalni oblici prikazani su na slici 1.19.



Slika 1.19. Glavni kristalni oblici

Međutim, mnoge čvrste supstance nemaju pravilan oblik tj. ne grade kristale. Takve supstance se nazivaju **amorfnim**. Kao primer za amorfnu supstancu navešćemo drveni ugalj koji je jedan od oblika ugljenika. Inače, ugljenik se javlja u dva kristalna oblika a to su dijamant i grafit.

### Plazmatično stanje materije

Naziva se još i četvrtim agregatnim stanjem materije, koja po jedinici mase sadrži najveću količinu energije. Nastaje prilikom zagrevanja gasa na vrlo visokoj temperaturi /više hiljada stepeni/ i sastoji se od naelektrisanih čestica /pozitivnih jona i elektrona/ zbog čega se odlikuje sposobnošću da provodi električnu struju. Materija u ovom stanju jeste u stvari delimično ili potpuno jonizovan gas. Prema procenama astrofizičara preko 99% materije u kosmosu je u stanju plazme.

## 1.10. Rastvori

### 1.10.1. Pojam rastvora i vrste rastvora

Rastvor se definiše kao homogeni sistem koji se sastoji od dve ili više komponentata. Ukoliko broj komponentata ograničimo na dve onda možemo dati sledeću definiciju rastvora. Rastvor je sistem u kome je jedna komponenta fino i ravnomerno raspodeljena u drugoj tako da one zajedno čine homogenu celinu.

U svakom rastvoru razlikujemo *rastvarač* i *rastvorenu materiju*. Rastvarač je ona komponenta rastvora u kojoj se rastvorena materija raspodeljena u obliku sitnih čestica. Voda je jedan od najboljih i najkorisnijih rastvarača. Osim vode, postoje i drugi rastvarači kao što su alkohol, etar, hloroform, benzin i dr.

Rastvori mogu biti čvrsti /legura/, tečni /rastvor kuhinjske soli u vodi/ i gasoviti /vazduh/. Međutim, za hemiju su najznačajniji tečni rastvori jer se najveći broj hemijskih reakcija vrši upravo u njima. Moguće su razne kombinacije agregatnih stanja rastvarača i rastvorene materije. Rastvorena materija može biti u čvrstom, a rastvarač u tečnom stanju /rastvor kuhinjske soli u vodi/; rastvorena materija i rastvarač mogu biti u tečnom stanju /rastvor alkohola u vodi ili obrnuto/; rastvorena materija u gasovitom, a rastvarač u tečnom stanju /gazirana pića/; rastvorena materija i rastvarač u gasovitom stanju /vazduh/ itd.

Prema veličini čestica rastvorene materije razlikujemo sledeće vrste rastvora: pravi, koloidni, suspenzije, odnosno emulzije. **Pravi** su oni kod koji su čestice rastvorene materije veličine jona ili molekula. Veličina čestica pravog rastvora manja je od  $1 \text{ nm} / 10^{-7} \text{ cm}$ . U slučaju **koloidnih rastvora** čestice rastvorene materije su većih dimenzija /od 1 do 100 nm/ i zbog toga ovi rastvori imaju neke specifične osobine u odnosu na prave rastvore. O ovim osobinama će biti govora nešto kasnije u tekstu. Rastvori sa česticama većim od 100 nm nazivaju se **suspenzije**, odnosno **emulzije**.

Neka supstanca se ne može neograničeno rastvarati u određenom rastvaraču na određenoj temperaturi. Jednog momenta će se dostići granica kada se rastvorena materija ne može više rastvarati u rastvaraču. Rastvor koji sadrži maksimalnu količinu rastvorene supstance na određenoj temperaturi i koji je pri tome u ravnoteži sa talogom naziva se zasićen rastvor.

Nezasićen rastvor je onaj koji sadrži manju količinu rastvorene supstance od zasićenog rastvora i koji je kao takav u stanju da rastvori još supstance. Rastvor koji sadrži više



rastvorene materije od zasićenog rastvora na istoj temperaturi naziva se prezasićenim rastvorom. Ovakav rastvor je nestabilan, jer "suvišna" rastvorena materija gradi kristale ako se u rastvor dodaju kristali ili u njega uđe prašina.

Sa povećanjem temperature povećava se rastvorljivost čvrstih supstanci u tečnostima, dok se rastvorljivost gasova smanjuje.

Kada govorimo o rastvorima često se susrećemo sa pojmom koncentracije rastvora. Koncentracija rastvora predstavlja količinu rastvorene materije u jedinici zapremine ili težine rastvora. Prema načinu izražavanja koncentracije razlikujemo sledeće vrste rastvora:

1. procentni rastvori
2. molarni rastvori
3. molalni rastvori i
4. normalni rastvori

Kod procentnih rastvora količina rastvorene supstance se izražava brojem grama te supstance u 100 g rastvora. Na primer, 10%-ni rastvor NaCl sadrži 10 g NaCl /kuhinjske soli/ u 100 g rastvora. Količina vode je  $100 - 10 = 90$  g.

Molarni rastvori su oni koji sadrže određeni broj molova rastvorene supstance u jednom kubnom decimetru rastvora. Jedan mol neke supstance je njena molekulska masa izražena u gramima. Broj molova neke supstance u jednom kubnom decimetru rastvora predstavlja molaritet tog rastvora i obeležava se slovom M. Na primer, 3M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> je rastvor koji u jednom kubnom decimetru sadrži 3 mola sumporne kiseline ( $3 \cdot 98 = 294$  g).

Kod molalnih rastvora se količina rastvorene supstance izražava brojem molova te supstance u 1000 g rastvarača. Molalna koncentracija ili molalitet označava se slovom m.

Normalni rastvori su oni kod kojih se količina rastvorene supstance izražava brojem mol ekvivalenata te supstance u jednom kubnom decimetru rastvora. Jedan mol ekvivalent neke supstance je količina te supstance koja sadrži ili je ekvivalentna 1 gramu vodonikovog atoma ili 17 g hidroksidnog jona. Broj mol ekvivalenata rastvorene supstance u jednom kubnom decimetru rastvora predstavlja normalitet tog rastvora i obeležava se slovom N. Tako, na primer, 2N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> je rastvor koji u jednom kubnom decimetru sadrži 2 mol ekvivalenta sumporne kiseline. Mol ekvivalent sumporne kiseline se izračunava tako što se njena molekulska masa podeli sa 2 /jedan molekul sumporne kiseline sadrži 2 atoma vodonika/.

## 1.10.2. Osobine rastvora

Rastvori se po sledećim osobinama razlikuju od rastvarača:

- mrznu na nižim temperaturama;
- ključaju na višim temperaturama;
- pritisak para rastvora je niži i
- rastvori pokazuju osmotski pritisak.

Prve tri osobine se mogu objasniti postojanjem solvatnih opni rastvarača oko molekula ili jona rastvorene materije. Naime, molekuli rastvarača stvaraju jednu vrstu okruženja oko jona ili molekula rastvorene materije. Usled toga molekuli vode pri isparavanju moraju, pored privlačnih sila drugih molekula vode, da savladaju i sile koje potiču usled prisustva čestica rastvorene materije.

Zbog smanjenja parcijalnog pritiska pare rastvarača nad rastvorom dolazi do sniženja temperature mržnjenja i povećanje tačke ključanja.

Gore navedene osobine rastvora ne zavise od hemijskih niti fizičkih osobina rastvorene supstance, već direktno zavise od broja rastvorenih čestica prisutnih u rastvoru. Takve osobine nazivaju se **koligativnim osobinama** tečnih rastvora.

Poznavajući koncentraciju rastvorene materije mi možemo da izračunamo sniženje tačke mržnjenja, povećanje tačke ključanja, smanjenje parcijalnog pritiska rastvarača nad rastvorom i osmotski pritisak rastvora.

*Sniženje tačke mržnjenja*  $|\Delta t_m|$  se izračunava po sledećem obrascu:

$$\Delta t_m = K \cdot c$$

gde je **K krioskopska konstanta** rastvarača, a  $c$  molalna koncentracija rastvorene supstance.

Krioskopska konstanta pokazuje za koliko stepeni se snižava tačka mržnjenja rastvora koji sadrži 1 mol rastvorene supstance u 1000 g rastvarača. Za vodu ona iznosi  $1,86^\circ\text{C}$ .

*Povećanje tačke ključanja*  $|\Delta t_{klj}|$  se izračunava po sledećem obrascu:

$$\Delta t_{klj} = E \cdot c$$

gde je **E ebulioskopska konstanta** rastvarača, a  $c$  molalna koncentracija rastvorene supstance.

Ebulioskopska konstanta pokazuje za koliko stepeni se povećava tačka ključanja rastvora koji sadrži 1 mol rastvorene supstance u 1000 g rastvarača. Za vodu ona iznosi  $0,52^\circ\text{C}$ .

Sniženje pritiska pare rastvarača nad rastvorom  $\Delta p$  izražava se sledećom jednačinom:  $\Delta p = p_0 \cdot \frac{n_2}{n_1+n_2}$

gde je  $p_0$  pritisak zasićene pare čistog rastvarača,  $n_1$  broj molova rastvarača a  $n_2$  broj molova rastvorene supstance.

Pre nego što objasnimo šta je to osmotski pritisak i kako se on izračunava kazaćemo nešto o procesu osmoze.

**Osmoza** predstavlja kretanje /prolazak/ molekula rastvarača kroz polupropustljivu /semipermeabilnu/ membranu iz rastvora sa nižom u rastvor sa višom koncentracijom rastvorene materije. Drugim rečima, ukoliko dva rastvora različitih koncentracija razdvojimo polupropustljivom membranom, rastvarač će prolaziti kroz membranu sa mesta niže koncentracije u rastvor više koncentracije sve dok se koncentracije rastvora ne izjednače. Pritisak koji se javlja na membrani i zidovima suda naziva se osmotski pritisak.

Svaki rastvor ima određeni osmotski pritisak, čija je veličina za razblažene rastvore proporcionalna koncentraciji rastvorene supstance i apsolutnoj temperaturi. Izračunava se prema sledećem obrascu:

$$P = c \cdot R \cdot T$$

gde je  $P$  osmotski pritisak u kPa;  $c$  molarna koncentracija;  $R$  gasna konstanta /8,31 J/mol·K/ i  $T$  apsolutna temperatura /Kelvinovi stepeni/.

Prema zakonu *Van't Hoff-a* osmotski pritisak rastvora je jednak onom pritisku koju bi vršila rastvorena supstanca kada bi se na datoj temperaturi nalazila u gasovitom stanju i zauzimala zapreminu koja je jednaka zapremini rastvora.

Osmoza ima veliki značaj za biljni, životinjski i ljudski organizam. Osmotski pritisak je od velikog značaja u raspodeli vode i raznih supstanci koje prolaze kroz membranu kako kod biljaka tako i životinja.

Na kraju ćemo našu diskusiju o osobinama rastvora završiti sa difuzijom. **Difuzija** predstavlja kretanje čestica rastvorene supstance iz područja veće u područje niže koncentracije. Ovo se lako može videti na primeru rastvaranja **kalijum-permanganata**.

U početku su samo gornji slojevi tečnosti obojeni ljubičasto. Međutim, vremenom boja se postepeno širi da bi na kraju celokupna zapremina rastvora bila obojena ljubičasto. Uzrok tome je kretanje čestica kalijum-permanganata /rastvorene supstance/ iz područja više u područje niže koncentracije.

### 1.10.3. Elektroliti

Elektroliti se definišu kao jedinjenja koja su podložna elektrolitičkoj disocijaciji. **Elektrolitička disocijacija** je proces kod koga se molekuli neke supstance rastvorene u rastvaraču razlažu na jone, usled uzajamnog dejstva sa rastvaračem. Kvantitativni pokazatelj disocijacije je **stepen disocijacije**,  $\alpha$ , koji predstavlja odnos između broja disosovanih molekula /molekula rastvorene supstance koji su se razložili na jone/ i ukupnog broja molekula rastvorene supstance.

Vrednost za  $\alpha$  se kreće od 0 do 1 /ili ako se izrazi u procentima od 0 do 100%/ i zavisi od prirode rastvorene supstance i rastvarača, kao i od koncentracije rastvora.

Prema stepenu disocijacije elektroliti se dele u tri grupe: jaki elektroliti / $\alpha > 30\%$ /, elektroliti srednje jačine / $\alpha$  je od 2 do 30%/ i slabi elektroliti / $\alpha < 2\%$ /.

Elektrolitička disocijacija se povećava sa razblaživanjem rastvora tj. sa smanjenjem njegove koncentracije. Povećanjem temperature rastvora dolazi do povećanja disocijacije.

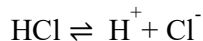
Rastvori elektrolita provode električnu struju zbog prisustva naelektrisanih čestica /jona/ u njima. Osim elektrolita kao što su kiseline, baze i soli elektrolitičkoj disocijaciji su podložne i neke druge supstance /npr. voda/, ali u znatnoj manjoj meri.

**Kiseline** su klasa hemijskih jedinjenja koja sadrže vodonik i u vodenom rastvoru disosuju stvarajući  $H^+$  jone /vodonični ili tačnije hidronijum jon/. Prema broju vodonikovih atoma u molekulu razlikuju se **jednobazne** /azotna,  $HNO_3$ , hlorovodonična,  $HCl$  i dr), **dvobazne** /sumporna,  $H_2SO_4$  i dr/, **trobazne** kiseline /ortofosforna,  $H_3PO_4$  i dr).

Kiseline koje u razblaženim vodenim rastvorima potpunu disosuju / $HCl$ ,  $HNO_3$ ,  $H_2SO_4$ / nazivaju se jakim, a one koje disosuju u neznatnom stepenu /ugljena,  $H_2CO_3$ / slabim kiselinama.

Kiseline se u vodenom rastvoru jonizuju na ovaj način, npr:

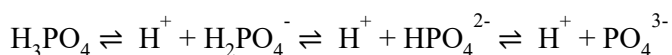
a) hlorovodonična kiselina, HCl



b) sumporna kiselina, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

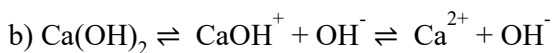
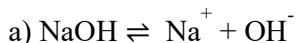


c) fosforna kiselina, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>



**Baze** su jedinjenja koja u vodenom rastvoru od anjona sadrže isključivo hidroksilne jone /OH<sup>-</sup>/. Prema broju hidroksilnih grupa koje se nalaze u njihovoj formuli dele se na **jednokisele**, **dvokisele** i **polikisele** baze. Tako, na primer, natrijum-hidroksid /NaOH/ je jednokisela, a kalcijum-hidroksid /Ca(OH)<sub>2</sub>/ dvokisela baza itd. I kod baza kao i kod kiselina imamo podelu na jake i slabe baze /amonijum-hidroksid, NH<sub>4</sub>OH/.

Baze alkalnih i zemnoalkalnih metala su jake baze. Baze se u vodenom rastvoru jonizuju na ovaj način, npr:

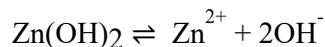


Reakcijom između kiselina i baza nastaju **sol**i, koje se definišu kao posebna klasa hemijskih jedinjenja sa kristalnom rešetkom jonskog tipa. Drugim rečima, u ovim jedinjenjima je prisutna jonska veza pa ona imaju visoke tačke topljenja i ključanja.

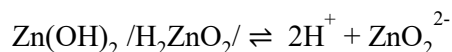
U rastvorima polarnih rastvarača kao što je, na primer, voda, soli disosuju u pozitivno naelektrisane metalne (ili amonijačne) jone i negativno naelektrisane jone /anjone/. Soli se dele u sledeće grupe:

- ✧ normalne /neutralne/: Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgCl<sub>2</sub> i dr.
- ✧ kisele: NaHSO<sub>4</sub>, NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>
- ✧ bazne /hidroksi/: Mg(OH)Cl, CuCO<sub>3</sub> · Cu(OH)<sub>2</sub>
- ✧ dvojne /dvogube/: KCr(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 12H<sub>2</sub>O
- ✧ mešanog tipa CaCl(OCl)

Jedinjenja koja u zavisnosti od uslova sredine pokazuju kisele ili bazne osobine nazivaju se amfoternim elektrolitima ili **amfolitima**. Ova jedinjenja su po svom hemijskom sastavu hidroksidi metala kao što su aluminijum, hrom i cink. Na primer, cink-hidroksid /Zn(OH)<sub>2</sub>/ u prisustvu jakih kiselina ponaša se kao baza disosuje na sledeći način:



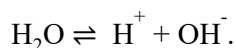
Međutim, u prisustvu jakih baza on se ponaša kao kiselina.



I u jednom i u drugom slučaju nastaju soli samo što su one različitog hemijskog sastava. Reakcijom cink-hidroksida sa hlorovodoničnom kiselinom nastaje cink-hlorid /ZnCl<sub>2</sub>/, dok se pri reakciji ovoga jedinjenja sa natrijum-hidroksidom stvara so natrijum-cinkat /Na<sub>2</sub>ZnO<sub>2</sub>/.

#### 1.10.4. Vodonikov eksponent /pH/

Kao što smo ranije istakli voda je vrlo slab elektrolit koji u vrlo maloj meri disosuje na vodonikove i hidroksilne jone. Disocijacija vode se može predstaviti sledećom jednačinom:



Koncentracija vodonikovih i hidroksilnih jona u čistoj vodi je vrlo mala, tj. ona iznosi 10<sup>-7</sup> mol/dm<sup>3</sup>. U njoj su uglavnom prisutni nedisosovani molekuli vode pa je zbog toga ona izrazito loš provodnik električne struje. Međutim, ako u vodu sipamo neku kiselinu koncentracija vodonikovih jona će biti veća od 10<sup>-7</sup> mol/dm<sup>3</sup>. S druge strane dodavanje baze ima za posledicu da je koncentracija vodonikovih jona manja od 10<sup>-7</sup> mol/dm<sup>3</sup>.

Mnogo pogodniji način za izražavanje kiselosti ili bazičnosti /alkalnosti/ nekog rastvora je njegova **pH vrednost**. pH predstavlja negativan logaritam od koncentracije vodonikovih jona u rastvoru /pH = - log[H<sup>+</sup>]/.

Vrednosti za pH se obično nalaze u intervalu od pH 0 do pH 14. Pri **pH 7** koncentracija vodonikovih jona je jednaka koncentraciji hidroksilnih jona i rastvor je neutralan. Međutim, pri pH vrednostima koje su **manje od 7** koncentracija vodonikovih jona je veća od koncentracije hidroksilnih jona i rastvor je kiseo. Rastvori čije su pH vrednosti **veće od 7** imaju veću koncentraciju hidroksilnih od vodonikovih jona. Takvi rastvori su bazni ili alkalni. Proizvod koncentracije vodonikovih i hidroksilnih jona u nekom rastvoru je konstantna veličina koja na sobnoj temperaturi ima vrednost od 10<sup>-14</sup>. Ova konstanta se zove

**jonski proizvod vode /Kw/** i koristi se za izračunavanje pH vrednosti rastvora u slučajevima kada je poznata koncentracija hidroksilnih jona.

Na primer, ako je koncentracija hidroksilnih jona  $10^{-3}$  mol/dm<sup>3</sup> pH se izračunava na sledeći način:

$$[H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14}$$

$$[H^+] = 10^{-14} / [OH^-]$$

$$\text{Pošto je } [OH^-] = 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$[H^+] = 10^{-14} / 10^{-3} = 10^{-11} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = -\log(10^{-11}) = 11$$

### 1.10.5. Hidroliza soli

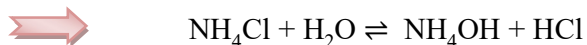
Pod hidrolizom se podrazumeva reakcija razlaganja različitih jedinjenja pod uticajem vode. Hidrolizi su podložne mnoge supstance, kako organske tako i neorganske.

Soli mogu da nastanu reakcijom kiselina i baza i prema njihovoj jačini razlikujemo sledeće vrste soli:

- I. soli jakih baza i jakih kiselina /natrijum-hlorid - so natrijum-hidroksida i hlorovodonične kiseline/;
- II. soli slabih baza i jakih kiselina /amonijum-hlorid - so amonijum-hidroksida i hlorovodonične kiseline/;
- III. soli jakih baza i slabih kiselina /natrijum-acetat - so natrijum-hidroksida i sirćetne kiseline/;
- IV. soli slabih baza i slabih kiselina /amonijum-acetat - so amonijum-hidroksida i sirćetne kiseline/;

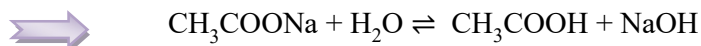
U vezi sa hidrolizom soli kazaćemo sledeće. Soli jakih baza i jakih kiselina ne podležu hidrolizi dok sve ostale vrste soli hidrolizuju.

Hidrolizu soli slabe baze i jake kiseline prikazaćemo na sledećem primeru

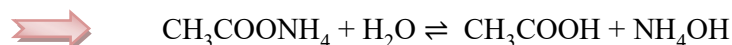


Pošto je HCl jaka kiselina, a NH<sub>4</sub>OH slaba baza u rastvoru će biti mnogo više vodonikovih od hidroksilnih jona pa će rastvor imati pH koje je manje od 7 /kiselina sredina/.

So jake baze i slabe kiseline kada se rastvori u vodi imaće pH koje je veće od 7. Razlog za ovo leži u činjenici da se usled hidrolize stvara više hidroksilnih od vodonikovih jona. Ovo ćemo ilustrovati na primeru hidrolize natrijum-acetata.



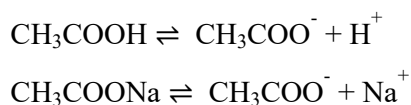
I na kraju da kažemo nešto o hidrolizi soli slabih kiselina i slabih baza. Ove soli takođe podležu hidrolizi, a pH vrednosti njihovih rastvora zavise od toga da li je nastala kiselina jača od nastale baze. Ako su kiselina i baza podjednake jačine, kao što je to slučaj sa hidrolizom amonijum-acetata, pH vrednost rastvora će biti oko 7 /neutralna sredina/.



### 1.10.6. Pufferi

U hemiji su poznati rastvori čije se pH vrednosti ne menjaju prilikom dodavanja malih količina kiselina ili baza. Takvi rastvori se nazivaju **pufferima** i oni imaju značajnu ulogu u brojnim hemijskim ispitivanjima. Kao pufferi se obično koriste rastvori slabih kiselina i njihovih soli sa jakim bazama, rastvori slabih baza i njihovih soli sa jakim kiselinama, rastvor primarnog i sekundarnog natrijum-fosfata /fosfatni puffer/ i dr.

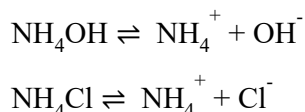
U pufferu koji se sastoji iz **slabe kiseline i njene soli sa jakim bazom, acetatni puffer**, odigravaju se sledeći procesi:



Acetatni joni / $\text{CH}_3\text{COO}^-$ / koji se nalaze u ovom rastvoru potiču uglavnom od natrijum-acetata pošto je on jak elektrolit, dok je sirćetna kiselina slaba kiselina.

Acetatni joni su ti koji se opiru promeni pH prilikom dodavanja vodonikovih jona /kiseline/ u rastvor, vezujući vodonikove jone grade sirćetnu kiselinu koja je slab elektrolit. Na ovaj način se pH vrednost rastvora održava konstantnim. Sirćetna kiselina je ona komponenta pufere koja sprečava povećanje pH vrednosti prilikom dodavanja malih količina baze /hidroksilnih jona/ u puffer.

U pufferu koji se sastoji iz **slabe baze i njene soli sa jakim kiselinom, amonijačni puffer**, dešavaju se sledeći procesi:



Amonijačni joni / $\text{NH}_4^+$ / koji se nalaze u ovom rastvoru potiču uglavnom od amonijum-hlorida pošto je on jak elektrolit, dok je amonijum-hidroksid slaba baza.



Amonijačni joni su ti koji se odupiru promeni pH prilikom dodavanja hidroksilnih jona /baze/ u rastvor, oni su ti koji vezuju hidroksilne jone stvarajući amonijum-hidroksid koji je slab elektrolit. Na taj način oni sprečavaju povećanje pH vrednosti rastvora.

Amonijum hidroksid koji se nalazi u puferu sprečava snižavanje pH prilikom dodavanja malih količina kiselina /H<sup>+</sup> jona/ u puferni rastvor.

Ovo se objašnjava reakcijom neutralizacije pri čemu se stvara voda. Međutim, treba napomenuti da se neki puferni rastvor ne može neograničeno opirati promeni pH prilikom dodavanja kiselina ili baza. Svaki puferni rastvor ima određeni kapacitet, **puferni kapacitet**, koji se definiše kao broj mol-ekvivalenata kiseline ili baze koji se moraju uneti u 1 dm<sup>3</sup> pufernog rastvora da bi se vrednost pH rastvora promenila za jednu pH jedinicu.

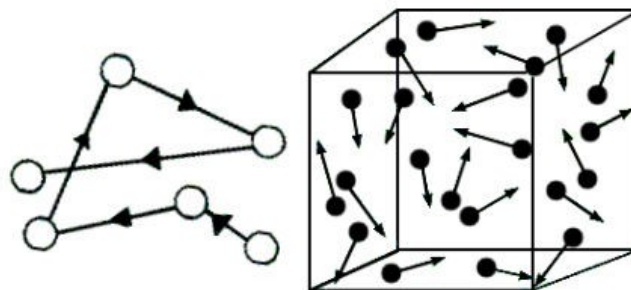
Puferi igraju veoma značajnu ulogu u živom organizmu. Krv i krvni serum imaju pH vrednost, koja se kreće u intervalu od 7,35 do 7,45, a ako bi se ona smanjila ispod 7,0 prestale bi životne funkcije organizma. Stalnu pH vrednost krvi održavaju puferi koji se nalaze u organizmu : NaHCO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> + Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, aminokiseline itd.

#### 1.10.7. Koloidni rastvori

Kao što smo ranije istakli koloidni rastvori su oni kod kojih se veličina čestica rastvorene materije kreće u granicama od 1 do 100 nm. Koloidni rastvori imaju znatno veći disperzitet /stepen usitnjenosti/ od suspenzija i emulzija pa se zato ni pod običnim mikroskopom čestice ne mogu videti iako su znatno većih dimenzija od čestica pravih rastvora. Oni poseduju niz karakterističnih osobina koje nisu svojstvene pravim rastvorima. U tekstu koji dalje sledi navešćemo neke od karakterističnih osobina koloidnih rastvora:

##### ☆ **Braunovo kretanje**

Čestice koloidnih rastvora se nalaze u stanju stalnog haotičnog kretanja koje je prouzrokovano njihovim sudarom sa pokretnim molekulima rastvarača. Ovo kretanje se naziva Braunovo kretanje i ono se može posmatrati pod ultramikroskopom (slika 1.20).



Slika 1.20. Šematski prikaz Braunovog kretanja

### ☆ Naelektrisanje

Čestice dispergovane materije su istoimeno naelektrisane i međusobno se odbijaju, zbog čega je koloid /koloidni rastvor/ stabilan.

### ☆ Difuzija i osmoza

Koloidne čestice su znatno većih dimenzija od čestica pravih rastvora tako da je i brzina njihove difuzije manja. Osmoza u koloidnim sistemima predstavlja kretanje koloidnih čestica kroz polupropustljivu membranu radi izjednačavanja koncentracije. Usled ovoga koloidni rastvori poseduju osmotski pritisak, koji je znatno manji u odnosu na osmotski pritisak pravih rastvora.

### ☆ Ultrafiltracija

Koloidni rastvori prolaze kroz običnu hartiju za ceđenje /filter papir/, jer je veličina pora običnog filter papira znatno veća nego što su dimenzije koloidnih čestica. Naime, srednja veličina pora običnog filter papira iznosi oko 1000 nm. Za odvajanje koloidnih čestica koriste se posebni filteri čija je srednja veličina pora 10 nm. Ovakvi filteri nazivaju se ultrafiltri, a sam postupak ultrafiltracija. Kroz ove filtere prolaze molekuli ili joni pravih rastvora.

### ☆ Sedimentacija i ultracentrifugiranje

Koloidne čestice /čestice rastvorene materije/ u koloidnim rastvorima postepeno se talože pod uticajem sile Zemljine teže. Ovakav proces spontanog taloženja koloidnih čestica se odvija malom brzinom i on se naziva sedimentacija. Da bi se ubrzalo taloženje koloidnih čestica koriste se posebni aparati koji se nazivaju centrifuge. U njima je sila Zemljine teže zamenjena znatno jačom centrifugalnom silom što se postiže jako velikim brojem obrtaja u minuti /preko 60.000 obrtaja u minuti/. Sam postupak taloženja koloidnih čestica u ovakvim centrifugama se naziva ultracentrifugiranje.

### ☆ **Optičke osobine**

Karakteristična osobina koloidnih rastvora je njihova sposobnost da rasprše svetlost, pravi rastvori tu osobinu ne poseduju. Ako se kroz koloidni rastvor propusti uzan snop svetlosti, i koloidni rastvor posmatra sa strane u njemu će se zapaziti svetleći konus koji je posledica **Tindalovog efekta**. Pojava Tindalovog efekta se može objasniti raspršenjem svetlosti u koloidnom rastvoru, jer koloidne čestice usled disperzije postaju novi izvori svetlosti i vide se kao svetle tačkice.

### ☆ **Adsorpcija**

Dispergovane čestice u koloidnim rastvorima poseduju na graničnoj površini višak slobodne energije koji se može izraziti preko površinskog napona. Površinski napon je taj koji uslovljava sposobnost koloidnih čestica da na svojoj graničnoj površini adsorbuju /vezuju/ molekule ili jone drugih supstanci. Adsorpcija predstavlja vezivanje odnosno koncentrovanje čestica neke supstance na površini ili u površinskom sloju druge supstance. Supstanca koja vrši adsorpciju naziva se **adsorbent**, a supstanca koja se vezuje-adsorbuje, naziva se **adsorptiv**.

Sposobnost adsorpcije pokazuju kako tečnosti, tako i čvrste supstance. Od većeg praktičnog značaja je adsorpcija na površini čvrstih supstanci. Adsorpcija hranljivih elemenata od strane koloidnih čestica u zemljištu čini zemljište pogodnim supstratom za gajenje raznih poljoprivrednih kultura. Ova adsorpcija sprečava da hranljivi elementi budu isprani u dublje slojeve zemljišta i tako postanu nedostupni za biljke.

### ☆ **Elektroforeza**

Kao što smo ranije istakli koloidne čestice, za razliku od jona elektrolita, naelektrisane su istom vrstom elektriciteta, pozitivno ili negativno. Kretanje koloidnih čestica pod dejstvom spoljašnjeg električnog polja u pravcu suprotno naelektrisane elektrode naziva se elektroforeza. Pravac kretanja koloidnih čestica u električnom polju omogućuje određivanje njihovog naelektrisanja. U pozitivne koloide spadaju koloidi metalnih hidroksida / $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  i dr./, hemoglobin krvi itd, dok u negativne koloide spadaju koloidi metala, metalnih sulfida, koloidni sumpor itd.

### ☆ **Koagulacija**

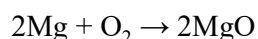
Proces spajanja koloidnih čestica u krupnije agregate naziva se koagulacija. On se najčešće izvodi dodavanjem elektolita ili nekog drugog koloida suprotnog naelektrisanja. Nastali agregati padaju na dno suda kada im se dimenzije povećaju do određene granice.

Koloidni sistemi su široko rasprostranjeni u prirodi kao u neorganskom tako i u organskom svetu. Kao što smo ranije istakli prisustvo koloidnih čestica u zemljištu je od velikog značaja za njegovu **plodnost** /osobina zemljišta koja omogućava rastenje i razviće poljoprivrednih kultura/. Opšti značaj koloida za živi svet proizilazi iz činjenice da se u živim organizmima nalaze složeni koloidni sistemi i da su mnogi životni procesi vezani za koloidne sisteme.

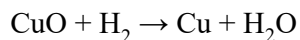
Poljoprivredne nauke, kao što su pedologija, agrohemija, fiziologija biljaka, fiziologija domaćih životinja i dr., su u tesnoj vezi sa naukom o koloidima /koloidna hemija/. Koloidi imaju veliki značaj za prehrambenu industriju, industriju sapuna, tekstila, plastičnih masa, veštačkog kaučuka i razne druge delatnosti.

### 1.11. Oksidacija i redukcija

U početku su se termini oksidacija i redukcija odnosili na primanje i otpuštanje kiseonika od strane supstance. Sledeće reakcije ilustruju prvobitno značenje procesa oksidacije i redukcije.



/oksidacija magnezijuma do magnezijum oksida/

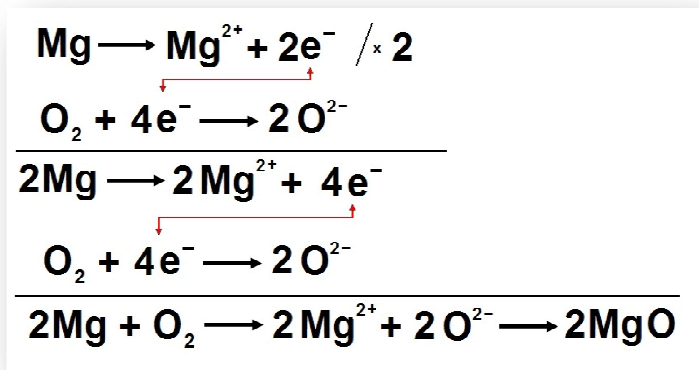


/redukcija bakar oksida do bakra/

Međutim, sada im je značenje prošireno na procese pri kojima dolazi do otpuštanja /**oksidacija**/ i primanja elektrona /**redukcija**/.

U procesima oksidacije i redukcije uvek postoji prelaz /transfer/ elektrona, pri čemu dolazi do promene oksidacionog stanja elemenata koji učestvuju u ovim procesima.

**Oksidaciono stanje** se definiše kao broj elektrona koji je atom nekog elementa otpustio ili primio prilikom nastajanja jedinjenja. Oksidaciono stanje elementa se povećava prilikom njegove oksidacije, a smanjuje njegovom redukcijom. Na primer, u reakciji između magnezijuma i kiseonika pri kojoj se stvara magnezijum-oksidi, magnezijum prelazi iz oksidacionog stanja 0 u oksidaciono stanje +2 **\*oksiduje se\***, dok je kiseonik iz oksidacionog stanja 0 prešao u stanje -2 **\*redukuje se\***.

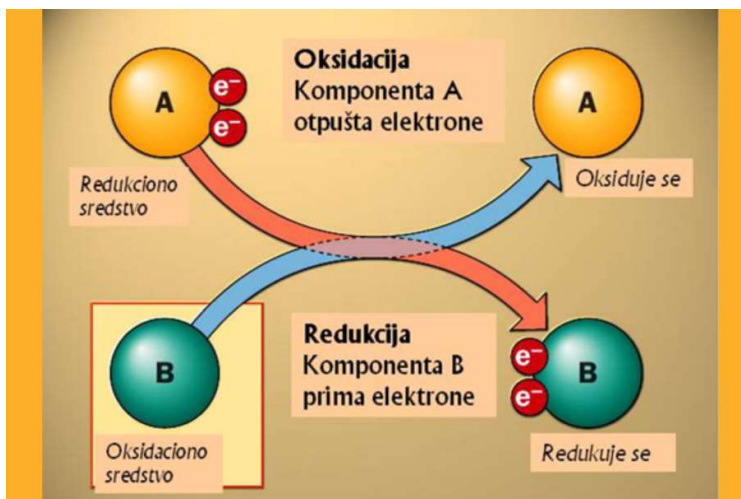


Procesi oksidacije i redukcije uvek idu zajedno. Naime, neki element se ne može oksidovati, a da se pri tome drugi ne redukuje. Broj elektrona koji atom nekog elementa otpusti mora da bude jednak broju elektrona koji atom drugog elementa primi. Prilikom izračunavanja oksidacionog stanja elementa treba se pridržavati sledećih pravila:

Oksidaciono stanje slobodnog elementa /koji ne pripada jedinjenju/ jednako je nuli.

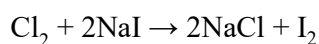
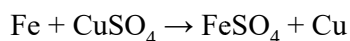
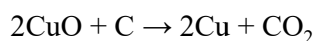
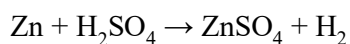
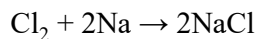
1. Oksidaciono stanje elementa u jonskom jedinjenju jednako je električnom naboju njegovog jona.
2. Oksidaciona stanja elemenata u kovalentnim jedinjenjima se određuju tako što se polazi od pretpostavke da u jedinjenju postoji jonska veza pa se uzimaju naboji koji bi imali joni.
3. Zbir oksidacionih stanja svih elemenata u jedinjenju iznosi nula.
4. Oksidaciono stanje kiseonika u jedinjenju najčešće je -2, ali u peroksidima, npr. u vodonik-peroksidu, iznosi -1.
5. Oksidaciono stanje vodonika je +1, osim u metalnim hidridima, gde iznosi -1.

U reakcijama oksidacije i redukcije često se susrećemo sa pojmom oksidacionog i redukcionog sredstva. *Oksidaciono sredstvo* se definiše kao supstanca koja prima elektrone i time dovodi do oksidacije druge supstance. Oksidaciono sredstvo se u reakciji uvek redukuje. Supstanca koja otpušta elektrone i time dovodi do redukcije druge supstance naziva se redukcionim sredstvom. *Redukciono sredstvo* se u reakciji uvek oksiduje.



Slika 1.21. Oksidacija, redukcija šematski prikaz

Brojni su primeri za reakcije oksidacije i redukcije u hemiji:



Najpoznatija i najvažnija oksidaciona sredstva u hemiji su: kiseonik, kalijum-permanganat, kalijum-dihromat, sumporna kiselina, azotna kiselina, hlor i dr. Od redukcionih sredstava navešćemo sledeće: vodonik, ugljenik, ugljen-monoksid, amonijum-ferosulfat /Morova so/ i dr.

## 1.12. Osnovi elektrohemije

*Elektrohemija* se kao posebna nauka bavi izučavanjem onih hemijskih reakcija koje se dešavaju na račun utroška električne energije ili koje služe kao izvor električne energije. Ove se reakcije nazivaju **elektrohemijske reakcije**.

Elektrohemija takođe izučava zakonitosti po kojima hemijski i električni oblik energije prelazi jedan u drugi.

### 1.12.1. Elektrodni potencijal i galvanski elementi

U tekstu koji dalje sledi prvo ćemo razmotriti osnovne principe na kojima se zasniva transformacija hemijske u električnu energiju.

Kada se komad nekog metala uroni u rastvor njegove soli javiće se razlika u električnom potencijalu na granici metala i rastvora. Ova razlika u potencijalu je posledica prelaženja katjona sa površine metala u rastvor. Ovo prelaženje se dešava usled elektrostatičkog privlačenja od strane molekula vode. U metalu se javlja višak elektrona koji uslovljava njegovo negativno naelektrisanje.

Sistem, koji se sastoji od metala uronjenog u rastvor, naziva se **elektroda**. Skok ili razlika potencijala, koja se uspostavlja na granici između metala uronjenog u rastvor i rastvora njegovih katjona /njegove soli/, naziva se **elektrodni potencijal**. Vrednost elektrodnog potencijala izražava se u voltima.

Ne odvajaju svi metali podjednake količine katjona u rastvor. Zbog toga elektrodni potencijali različitih metala nisu isti.

Kako vrednost naelektrisanja metala uronjenog u rastvor njegove soli zavisi od koncentracije njegovih katjona u rastvoru to je u elektrohemiji uveden pojam **normalnog potencijala** koji se definiše kao potencijal elektrode kada je koncentracija katjona  $1 \text{ mol/dm}^3$ . Vrednost normalnog potencijala određena je za većinu metala. Ovi potencijali su određeni u odnosu na potencijal vodonika  $\rightarrow \text{H}_2/2\text{H}^+ \leftarrow$  čija je vrednost jednaka nuli.

Određivanje potencijala vrši se pomoću posebnih elektrohemijskih metoda. Ako se metali poređaju prema vrednosti njihovih normalnih potencijala, dobija se niz normalnih potencijala metala ili **elektrohemijski niz napona metala**. U tabeli 1.3 prikazane su vrednosti normalnih potencijala najvažnijih metala na temperaturi od  $25^\circ \text{C}$ .

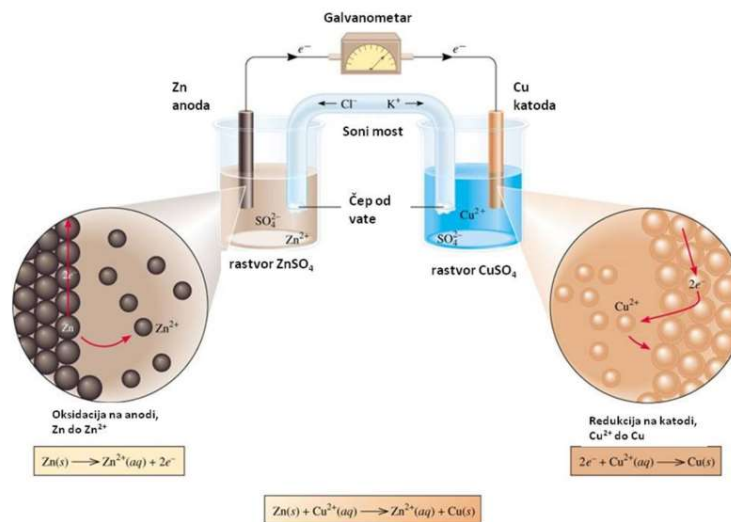
Naponski niz metala pokazuje njihovu relativnu hemijsku aktivnost. Najaktivniji je onaj metal čiji normalni potencijal ima najveću negativnu brojčanu vrednost /kalijum/, dok je najmanje aktivan onaj metal, čiji normalni potencijal ima najveću pozitivnu brojčanu vrednost /zlato/. Metali koji se u naponskom nizu elemenata nalaze ispred vodonika su neplemeniti. Oni se rastvaraju u kiselinama uz istiskivanje elementarnog vodonika. Metali, koji dolaze posle vodonika, su poluplemeniti i plemeniti. Oni ne mogu da istiskuju vodonik iz kiselina, već se rastvaraju u njima na drugi način i pod određenim uslovima.

Tabela 1.3. Vrednosti normalnih potencijala

Metal	Katjoni u rastvoru	Potencijal /V/	Metal	Katjoni u rastvoru	Potencijal /V/
Kalijum	K <sup>+</sup>	-2,92	Kobalt	Co <sup>2+</sup>	-0,28
Barijum	Ba <sup>2+</sup>	-2,90	Nikal	Ni <sup>2+</sup>	-0,25
Kalcijum	Ca <sup>2+</sup>	-2,87	Kalaj	Sn <sup>2+</sup>	-0,136
Natrijum	Na <sup>+</sup>	-2,71	Olovo	Pb <sup>2+</sup>	-0,126
Magnezijum	Mg <sup>2+</sup>	-2,34	Vodonik	H <sup>+</sup>	0,000
Aluminijum	Al <sup>3+</sup>	-1,67	Bizmut	Bi <sup>3+</sup>	+0,226
Mangan	Mn <sup>2+</sup>	-1,05	Bakar	Cu <sup>2+</sup>	+0,345
Cink	Zn <sup>2+</sup>	-0,76	Srebro	Ag <sup>+</sup>	+0,799
Gvožđe	Fe <sup>2+</sup>	-0,44	Živa	Hg <sup>2+</sup>	+0,854
Kadmijum	Cd <sup>2+</sup>	-0,40	Zlato	Au <sup>3+</sup>	+1,42

Razlike koje postoje u elektrodnim potencijalima između različitih metala mogu se koristiti za dobijanje električne struje. Ovo se radi u posebnim uređajima koji se zovu galvanski elementi. U njima se vrši transformacija hemijske u električnu energiju.

Kao primer najjednostavnijeg galvanskog elementa može da posluži Danijelov galvanski element, čija je šema prikazana na slici 1.22.



Slika 1.22. Danijelov galvanski element



Ovaj galvanski element sastoji se od dva suda povezana sonim mostom. Jedan sud napunjen je rastvorom cink-sulfata / $\text{ZnSO}_4$ / u koji je uronjena elektroda od cinka. U drugom sudu nalazi se rastvor bakar-sulfata / $\text{CuSO}_4$ / u koji je uronjena elektroda od bakra. Soni most onemogućava direktno mešanje dva rastvora difuzijom, ali ne sprečava prolaz električne struje.

Kad se dve elektrode spoje bakarnom žicom zapaža se protok električne struje pomoću uređaja koji se zove **galvanometar**. Za vreme rada galvanskog elementa katjoni cinka sa cinkove elektrode stalno prelaze u rastvor, a sama elektroda se naelektriše negativno od otpuštenih elektrona. Oslobođeni elektroni prelaze na bakarnu elektrodu, a sa nje na katjone bakra u rastvoru koji ih primaju, prelaze u neutralne atome bakra i talože se u obliku elementarnog bakra na bakarnu elektrodu. Bakarna elektroda se pri tome naelektriše pozitivno. Između cinkove i bakarne elektrode javlja se razlika potencijala ili električni napon koji predstavlja elektromotornu silu galvanskog elementa. Elektromotorna sila Danijelovog galvanskog elementa iznosi 1,1 V.

## 1.12.2. Elektroliza

Elektroliza je proces razlaganja neke supstance pod uticajem električne struje. Da bi došlo do ovoga razlaganja neophodno je da budu ispunjeni sledeći uslovi:

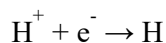
1. supstanca mora da bude elektrolit /u vodenom rastvoru ili u rastopljenom stanju/ i
2. u rastvor ili rastop elektrolita mora da budu uronjene dve elektrode od kojih jedna nosi pozitivno naelektrisanje /anoda/, a druga je negativno naelektrisana /katoda/. Obe elektrode su povezane za izvor jednosmerne struje /baterija ili akumulator/.

Elektroda predstavlja komad metala ili grafitu /alotropna modifikacija ugljenika/, kroz koji ulazi ili odlazi struja. Posuda koja sadrži elektrolit i elektrode naziva se elektrolitska ćelija.

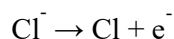
Pri elektrolizi neke supstance /elektrolita/ u elektrolitskoj ćeliji se dešavaju sledeći procesi. Anjoni /negativno naelektrisani joni/ u elektrolitu se kreću ka anodi, kojoj predaju elektrone, dok se katjoni /pozitivno naelektrisani joni/ kreću ka katodi, na kojoj primaju elektrone. Za jone koji reaguju na elektrodi se kaže da se oslobađaju. Elektroni teku od anode ka polovima i od polova ka katodi.

Na primer, u slučaju elektrolize hlorovodonične kiseline u elektrolitskoj ćeliji se dešavaju sledeći procesi:

Hlorovodonična kiselina disosuje dajući vodonikove i hloridne jone. Vodonikovi joni se kreću ka katodi, a hloridni joni ka anodi. Svaki vodonikov jon prima od katode jedan elektron usled čega prelazi u neutralno stanje H-atoma:



Na anodi, pak, jon hlora predaje svoj "suvišni" elektron anodi i pritom prelazi u neutralno atomsko stanje Cl:



Kao što se iz gore navedenog primera vidi prilikom elektrolize se na katodi odvija proces redukcije /jon prima elektron/, a na anodi proces oksidacije /jon gubi elektron/. Katoda, prema tome, predstavlja reducirajuću, a anoda oksidirajuću graničnu površinu.

Kvantitativni odnosi između količine elektriciteta koja prođe kroz elektrolit i količina supstanci koje se na elektrodama izdvajaju dati su Faradejevim zakonima elektrolize.

## Prvi Faradejev zakon elektrolize

Masa supstance koja se pri elektrolizi izdvoji na elektrodama proporcionalna je količini elektriciteta koji prođe kroz elektrolit.

Količina elektriciteta predstavlja proizvod između jačine struje u amperima i vremena za koje je protekla struja u sekundama. Izražava se u kulonima /C/. Matematički se ovaj zakon izražava na sledeći način:

$$m = k \cdot Q$$

gde je:  $m$  = masa supstance koja se izdvaja na elektrodi u kg

$k$  = elektrohemijski ekvivalent date supstance /kg/C/

$Q$  = količina elektriciteta u kulonima

## Drugi Faradejev zakon elektrolize

Za izdvajanje jednog mol ekvivalenta /gram ekvivalenta/ bilo koje supstance neophodno je utrošiti istu količinu elektriciteta i to 96 500 kulona /*Faradejev broj* ili *Faradejeva konstanta*/.

Mol ekvivalent /gram ekvivalent/ nekog jona se izračunava tako što se njegova atomska masa izražena u gramima podeli sa naelektrisanjem toga jona. Na primer, da bi odredili mol ekvivalent bakra mi ćemo njegovu atomsku masu izraženu u gramima podeliti sa dva pošto svaki jon bakra nosi dva pozitivna naelektrisanja / $\text{Cu}^{2+}$ /. Mol ekvivalent aluminijuma se određuje deljenjem atomske mase sa 3 pošto je aluminijum pozitivno trovalentan / $\text{Al}^{3+}$ ).

Na kraju ćemo našu diskusiju o elektrolizi završiti sa nekim važnim aspektima njene primene. Elektroliza se koristi za:

### ↪ **ekstrakciju metala**

Metali se mogu dobiti elektrolizom rastopina njihovih ruda. Na ovaj način se dobijaju metali kao što su aluminijum i natrijum.

### ↪ **elektro-rafinaciju**

To je metoda prečišćavanja metala elektrolizom. U elektrolizi učestvuju samo metalni joni, a nečistoće se gube. Na ovaj način se dobija čisti bakar.

### ↪ **elektropresvlačenje** /galvanizacija/

Presvlačenje metalnog predmeta tankim slojem drugog metala pomoću elektrolize se zove galvanizacija. Predmet koji se presvlači je katoda, na koju se talože joni drugog metala iz elektrolita. Svrha galvanizacije je zaštita metalnih predmeta od korozije /rđanja, razaranja/ koja se javlja kao posledica njihovog hemijskog ili elektrohemijskog reagovanja sa spoljnom sredinom. Inače, korozija metala, a posebno korozija gvožđa i njegovih legura, donosi vrlo velike gubitke privredi. Zbog toga se u nauci i tehnici posebna pažnja posvećuje proučavanju korozije i problemima zaštite metala i legura od nje.

### ↪ **anodiziranje**

Anodiziranje predstavlja proces presvlačenja metalnog predmeta tankim slojem njegovog oksida. Prilikom elektrolize razblažene sumporne kiseline na metalnoj anodi se oslobađaju kiseonik i voda / $4\text{OH}^- \rightarrow 2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$ /. Kiseonik zatim vrši oksidaciju metala do oksida. Tako, na primer, aluminijum-oksidi štiti aluminijum od korozije. Za vreme anodiziranja mogu se dodati razne boje radi bojenja površine.

## Rezime

U ovom poglavlju upoznali smo se sa istorijom otkrivanja građe materije i atoma, zaključno sa pojmom elektronegativnosti atoma. Pregledno su predstavljeni procesi radioaktivnosti sa objašnjenjem radioizotopa.

Spoznali smo hemijske reakcije kroz prethodno proučavanje hemijskih simbola i formula. Kao i osnovne zakone u hemiji. Predstavljene su osnovne osobine elemenata i zakonitost na osnovu kojih su poređani u periodnom sistemu elemenata.

Naučili smo način vezivanja atoma kroz objašnjenje tri osnovna tipa hemijskih veza (jonska, kovalentna i metalna).

Brzinu hemijske reakcije i kako se ona sve može menjati spoznali smo kroz osnovne termohemije i hemijske kinetike.

Deo ovog poglavlja posvećeno je agregatnom stanju materije (čvrsto, tečno, gasovito i plazmatično) i osnovnim osobinama i zakonitostima ovih stanja.

Posvetili smo se pojmom pravih rastvora, osobinama i osvetlili specifičnost koloidnih rastvora. Upoznali smo se sa pH vrednošću kako bi spoznali hidrolizu soli i pufere.

U poslednjem segmentu ovog poglavlja prešli smo na pojmove oksidacije i redukcije kroz upoznavanje sa osnovima elektrohemije zaključno sa procesom elektrolize, osnovnim zakonima i praktičnom primenom.

## Pitanja

1. Element i jedinjenje
2. Glavne subatomske čestice
3. Elektronska konfiguracija atoma
4. Atomi i maseni broj elementa
5. Izotopi i radioaktivnost
6. Nuklearna fisija
7. Nuklearna fuzija
8. Hemijske formule
9. Hemijske jednačine
10. Zakon o očuvanju mase i zakon konstantnog sastava
11. Perioda u periodnom sistemu
12. Grupa u periodnom sistemu
13. Jonska veza
14. Kovalentna veza
15. Uticaj temperature i koncentracije na brzinu hemijske reakcije
16. Katalizatori
17. Hesov zakon
18. Karakteristike gasovitog stanja materije i Bojlov zakon
19. Šarlov i Gej Lisakov zakon
20. Karakteristike tečnog stanja materije
21. Karakteristike čvrstog stanja materije
22. Podela rastvora prema veličini čestica
23. Podela rastvora prema zasićenosti
24. Osmoza i osmotski pritisak
25. Kiseline i baze
26. Vodonikov eksponent (pH)
27. Osobine koloidnih rastvora – Braunovo kretanje i ultrafiltracija
28. Osobine koloidnih rastvora – Difuzija i osmoza
29. Osobine koloidnih rastvora – Adsorpcija
30. Osobine koloidnih rastvora – Koagulacija
31. Oksidaciono i redukciono sredstvo
32. Elektroda i elektrodni potencijal
33. Normalni potencijal i naponski niz metala

34. Danijelov galvanski element
35. Elektroliza
36. Zakoni elektrolize

#### Literatura

1. Filipović, S. Lipanović: Opća i anorganska hemija. Školska knjiga, Zagreb, 1990.
2. M. Dragojević, M. Popović, S. Stević, V. Šćepanović: Opšta hemija, TMF, Beograd, 2003.
3. Srećko R. Trifunović, Tibor J. Sabo: "Opšta hemija" , PMF, Kragujevac, Treće izdanje, 2004.
4. Zoran Miodragović, Tibor J. Sabo: "Zbirka zadataka iz Opšte hemije", Hemijski fakultet, Beograd, 2003.
5. T. Todorović, V. Medaković: Praktikum iz neorganske hemije (u redakciji prof. dr Sofije Sovilj), Hemijski fakultet, Beograd, 2013.
6. K. Mackay, R. Mackay, W. Henderson: Introduction to Modern Inorganic Chemistry, N. Thornes, 2002.

## 2. HEMIJA NEKIH ELEMENATA I NJIHOVIH JEDINJENJA



Cilj ovog poglavlja je upoznavanje studenata sa osnovima hemije elemenata kroz predstavljanje osobina pojedinih jedinjenja vodonika, ugljenika, silicijuma i azota.



## 2.1. Vodonik i jedinjenja

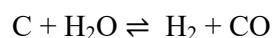
Simbol za vodonik je H i on potiče od latinskog naziva za ovaj element /*hydrogenium*/. Vodonik je prvi element u periodnom sistemu /atomski broj 1/ i od svih elemenata najviše zastupljen u svemiru. Prirodni vodonik, pored lakog vodonika  $^1\text{H}$  /**protijum**/, sadrži i teški, **deuterijum**  $^2\text{H}$  /D/, a u nuklearnim reaktorima nastaje i radioaktivni izotop vodonika, **tricijum**  $^3\text{H}$ .

Pod normalnim uslovima vodonik je u gasovitom agregatnom stanju. Nije otrovan. Zapaljiv je, a granica eksplozivnosti u vazduhu od 4-94%. Iako je vodonik najzastupljeniji element u vasioni, na Zemlji se javlja u malim količinama /0,9% u gornjim slojevima/, uglavnom u obliku hemijskih jedinjenja /vode/. Male količine slobodnog vodonika nalaze se u vazduhu.

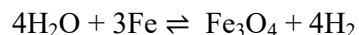
Vodonik je prvi u laboratoriji proizveo Teofrat Bombast fon Hoenhajm mešanjem metala i kiseline, ali on nije bio svestan da je eksplozivan gas koji je dobio bio vodonik. Zvanično vodonik je otkrio 1766. godine Henri Kevendiš.

Za industrijsko dobijanje vodonika kao sirovina služi voda, koja ga sadrži u količini od oko 11%. Vodonik se iz vode može dobiti na nekoliko načina.

- i. prevođenjem vodene pare preko užarenog koksa pri čemu nastaje smeša dva gasa: vodonika i ugljen-monoksida, koja se zove **vodeni gas**. Reakcija se odvija prema jednačini:

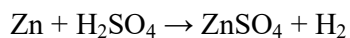


- ii. prevođenjem vodene pare preko užarenih strugotina gvožđa. Gvožđe na visokoj temperaturi reaguje sa vodenom parom pri čemu nastaje vodonik i feroferioksid  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

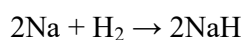


- iii. elektrolizom vode kojoj je prethodno dodata izvesna količina sumporne kiseline ili natrijum-hidroksida jer je čista voda izuzetno loš provodnik električne struje. U procesu elektrolize vodonik se izdvaja na katodi, dok se na anodi izdvaja kiseonik. Elektroliza voda se primenjuje za dobijanje vodonika naročito u slučajevima kada se raspoložuje jeftinom električnom energijom.

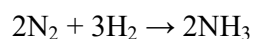
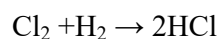
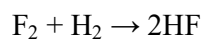
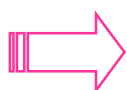
U laboratorijskim uslovima vodonik se obično dobija dejstvom razblažene sumporne ili hlorovodonične kiseline na metale, kao što su gvožđe, cink i aluminijum. Kao primer predstavimo jednačinu reakcije cinka i sumporne kiseline :



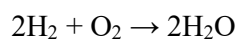
Vodonik ima najmanju gustinu među gasovima,  $0,09 \text{ kg/m}^3$ , 14,4 puta manju od vazduha. Gas je bez boje, ukusa i mirisa koji se slabo rastvara u vodi. Na uobičajenim /sobnim/ temperaturama vodonik nije mnogo reaktivan, sem kada je u atomskom /nascentnom/ stanju. Vodonik reaguje sa većinom elemenata /metala i nemetala/. Tako u reakciji sa alkalnim i zemno-alkalnim metalima nastaju jedinjenja koja se zovu **hidridi**. Hidridi su jonska jedinjenja koja sadrže  $\text{H}^-$  jon.



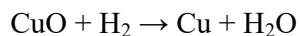
Vodonik reaguje pod pogodnim uslovima sa većinom nemetala pri čemu se stvaraju kovalentni hidridi, koji su uglavnom gasovi na sobnoj temperaturi.



Vodonik burno reaguje sa **kiseonikom** pri čemu se stvara voda i oslobađa velika količina toplote. Smeša vodonika i kiseonika se naziva praskavi gas ili praskavac koja kada se zagreje eksplodira.



Vodonik je **redukciono sredstvo** pa se koristi za dobijanje mnogih metala iz njihovih oksida. Tako, na primer, prevodenjem vodonika preko užarenog bakar (II) oksida nastaje elementarni bakar.



Vodonik se koristi za dobijanje **amonijaka** /značajna sirovina za proizvodnju azotnih đubriva/ i mnogih organskih jedinjenja /metanol, najlon/, kao raketno gorivo, za zavarivanje, u procesu dobijanja margarina itd.

## Jedinjenja vodonika → voda i vodonik peroksid

### Voda /H<sub>2</sub>O/

Najvažnije i najrasprostranjenije jedinjenje vodonika u prirodi. Pokriva 3/4 Zemljine kore. Ukupna količina vode na našoj planeti procenjuje se na oko 1.400 miliona kubnih kilometara, od čega se samo 2.5% odnosi na slatku vodu, od te količine samo 20% pogodno da se uz relativno malu popravku /prečišćavanje i dezinfekciju/ iskoristi za ljudske potrebe. Najveće količine vode su u okeanima i morima. Voda ulazi u sastav svih živih bića. Naš organizam sadrži oko 65% vode. Bez vode je život nezamisliv. Mnoge hemijske reakcije se mogu odvijati samo u prisustvu vode.

Voda se javlja u sva tri agregatna stanja materije: čvrsto, tečno i gasovito. Između tačke mržnjenja /0°C/ i tačke ključanja /100°C/ voda je bistra tečnost bez boje, mirisa i ukusa. Najveću gustinu, 1 g/cm<sup>3</sup>, voda ima na 4°C, što je od značaja za život u rekama, jezerima i morima.

Zimi hladnija voda i led plivaju na površini i štite donje slojeve od zamrzavanja. Neke osobine vode, posebno relativno visoka tačka ključanja, objašnjavaju se spajanjem /**asocijacijom**/ molekula vode usled stvaranja **vodoničnih veza**.

Vodonična veza predstavlja privlačenje između polarnog molekula koji sadrži vodonik i usamljenog elektronskog para /par elektrona u spoljašnjoj putanji atoma koji ne pripada kovalentnoj vezi/ na drugom molekulu. Molekul vode je **polaran** jer u njemu postoji nejednaka raspodela naelektrisanja.

Pored obične vode imamo i **tešku vodu** koja predstavlja jedinjenje izotopa vodonika deuterijuma, D, sa kiseonikom. Teška voda je pratilac obične vode u prirodi, ali je u njoj zastupljena u vrlo malim količinama /oko 0,02%/. Fizičke osobine teške vode se razlikuju od osobina obične vode. U tabeli 2.1 prikazane su neke fizičke osobine obične i teške vode.

Tabela 2.1. Fizičke osobine obične i teške vode

Osobine	H <sub>2</sub> O	D <sub>2</sub> O
Molekulska masa	18	20
Gustina na 20°C	0,9982	1,1056
Temperatura maksimalne gustine	4°C	11°C
Tačka mržnjenja	0°C	3°C
Tačka ključanja	100°C	101,4°C

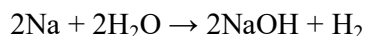
Rastvorljivost mnogih soli u teškoj vodi je mnogo manja nego u običnoj vodi. Brzina mnogih hemijskih reakcija je u teškoj vodi znatno manja.

Teška voda se koristi u atomskim reaktorima kao sredstvo za usporavanje nuklearnih procesa.

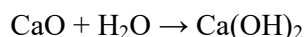
Kao što je već naglašeno, hemijski čista voda praktično ne provodi električnu struju, jer je u njoj vrlo mala koncentracija vodonikovih i hidroksilnih jona  $/10^{-7} \text{ mol/dm}^3/$ .

Međutim, i pored svoje stabilnosti i neutralnog karaktera voda reaguje sa mnogim supstancama /alkalnim i zemnoalkalnim metalima, ugljenikom, oksidima raznih elemenata, solima osim soli jakih baza i jakih kiselina, razlaže mnoge složene supstance, i dr./

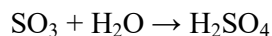
☒ Pri reakciji vode sa alkalnim i zemnoalkalnim metalima stvara se odgovarajuća baza i oslobađa se elementarni vodonik.



☒ S oksidima nekih metala voda stvara baze, npr.:



dok s oksidima nekih nemetala voda daje kiseline, npr.:



Ograničeni obim ovoga kursa nam ne omogućava da razmotrimo i mnoge druge reakcije u kojima učestvuje voda. Neke od reakcija, kao što je na primer hidroliza soli, su već ranije razmotrene, dok će o nekima biti govora kasnije u toku kursa.

**Tvrdoća vode** jedna je od značajnih osobina vode i ona predstavlja ukupan sadržaj kalcijumovih i magnezijumovih soli u njoj. Prema sadržaju ovih soli vode se dele na tvrde i meke.

Tvrde vode su one koje sadrže veće količine kalcijumovih i magnezijumovih soli. Tvrda voda ne gradi penu sa sapunom, jer se stvara prljavi talog. Zbog toga ona nije pogodna za pranje, za razliku od kišnice koja ne sadrži kalcijumove i magnezijume soli.

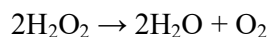
Postoje dve vrste tvrdoće - **prolazna** i **stalna** tvrdoća. **Prolazna** tvrdoća je ona koja je uslovljena rastvorenim kalcijum-bikarbonatom  $/\text{Ca(HCO}_3)_2/$  i koja se uklonja ključanjem, pri čemu se stvara nerastvorni kalcijum-karbonat  $/\text{CaCO}_3/$ . Stalna tvrdoća je ona koja je uslovljena rastvorenim solima kalcijuma i magnezijuma /hloridima i sulfatima/. Ne može se ukloniti ključanjem, ali se može odstraniti **destilacijom** ili **jonskom izmenom**.

Ogromne količine vode se svakodnevno koriste u domaćinstvu i industriji, na primer u proizvodnim procesima i za hlađenje hemijskih pogona. Poljoprivreda je takođe veliki potrošač vode. Naime, u uslovima suve i tople klime javlja se potreba za navodnjavanjem

poljoprivrednih zemljišta da bi se biljkama obezbedile neophodne količine vode za njihovo rastenje i razviće.

### **Vodonik-peroksid /H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/**

Vodonik-peroksid je bezbojna sirupasta tečnost koja ključa na 151°C, ali se obično destiluje u vakumu jer inače lako eksplodira. Ovo jedinjenje se ponaša kao vrlo slaba dvobazna kiselina/ sadrži dva atoma vodonika u molekulu/ čije se soli zovu peroksidi /npr. barijum-peroksid, BaO<sub>2</sub>/. Vodonik-peroksid je nestabilno jedinjenje koje se razlaže na vodu i kiseonik prema jednačini:



Drugim rečima, vodonik-peroksid se ponaša kao oksidaciono sredstvo. Ova osobina vodonik-peroksida omogućava njegovu primenu za dezinfekciju i deodorizaciju /uklanjanje neprijatnih mirisa/ vode i vazduha, kao i za beljenje kože, vune, pamuka, svile i kose.

Njegova molekulska masa je 34. Industrijski se dobija na sledeće načine:

1.  $\text{BaO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{BaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$
2.  $\text{Na}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{NaOH}$

## **2.2. Ugljenik i jedinjenja**

Ugljenik je tipičan nemetal koji se nalazi u četvrtoj grupi periodnog sistema. Njegov hemijski simbol je C i on potiče od latinskog naziva *carbonium*. Atomski broj ugljenika je 6, dok mu je maseni broj 12. Pored običnog ugljenika sa masenim brojem 12 /on je najzastupljeniji/ poznati su i izotopi sa masenim brojevima 13 i 14.

Ugljenik se javlja u prirodi kako u elementarnom stanju, tako i u svojim mnogobrojnim jedinjenjima. Od neorganskih jedinjenja ugljenika pomenućemo sledeće: ugljen-dioksid, različiti oblici kalcijum-karbonata, CaCO<sub>3</sub>, dolomit, CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub>, siderit, FeCO<sub>3</sub>, kalcijum i magnezijum bikarbonat, i dr. Ugljenik ulazi u sastav nafte, ugljeva, asfalta.

Značaj i uloga ugljenika u prirodi je izuzetno velika, jer njegova mnogobrojna organska jedinjenja ulaze u sastav svih biljnih i životinjskih organizama. Ta jedinjenja su belančevine, ugljeni hidrati, masti i ulja, hormoni, vitamini i dr.

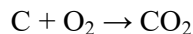
Ugljenik se u prirodi javlja u **dva kristalna oblika** /dijamant i grafit/ i u **amorfnom** /neuređenom/ obliku kao drveni ugalj. Različiti kristalni oblici nekog elementa nazivaju se **alotropskim modifikacijama**.

**Dijamant** je kristalni, prozirni oblik ugljenika. On je najtvrdja supstanca koja se javlja u prirodnom obliku. U dijamantu su svi atomi ugljenika vezani jakim kovalentnim vezama, koje su prostorno raspoređene tako da grade **tetraedar**. Ovim se objašnjava njegova tvrdoća i visoka tačka topljenja /3750°C/. Dijamant se koristi za izradu glava gramofona, abrazivnih sredstava, nakita, sekača stakla i glava bušilica.

Grafit je sivi, kristalni oblik ugljenika kod koga su atomi ugljenika u slojevima vezani jakim kovalentnim vezama. Međutim, između samih slojeva ugljenika sile privlačenja su slabe, što im omogućava da klize jedan preko drugog, čineći tako grafit mekim i ljuskavim. Grafit je jedini nemetal koji dobro provodi električnu struju. Koristi se za izradu olovaka, u elektrolizi /kao elektrode/, za kontakte u električnim motorima i sl. Izlaganjem grafita vrlo visokom pritisku i temperaturi dobijaju se dijamanti. Međutim, ovo je vrlo skup proces pa se i ne koristi u praksi.

Kao što smo ranije istakli ugljenik se javlja i u amorfnom obliku /drveni ugalj/. Drveni ugalj se dobija zagrevanjem organskog materijala u odsustvu vazduha. Koristi se kao bezdimno gorivo, a slikari ga upotrebljavaju za crtanje.

◇ Ugljenik nije veoma reaktivan element. Zagrevanjem na vazduhu ugljenik će se zapaliti, pri čemu će se stvoriti **ugljen-dioksid**.

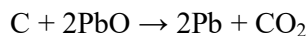


Međutim, ako nema dovoljno vazduha nastaje **ugljen-monoksid**.

◇ Ugljenik reaguje sa koncentrovanom sumpornom ili azotnom kiselinom. Reakcija sa **azotnom kiselinom** se odvija na sledeći način:



◇ Ugljenik je **redukciono sredstvo** koje se koristi u metalurgiji za redukciju ruda metalnih oksida do metala.



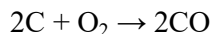
◇ Ugljenik reaguje sa **vodenom parom** u zagrejanom stanju i pri tome se stvara smeša gasova koja se sastoji iz ugljen-monoksida i vodonika.

### **Jedinjenja ugljenika**

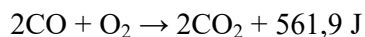
U tekstu koji dalje sledi kazaćemo nešto o oksidima ugljenika, ugljenoj kiselini, karbidima, ugljen-disulfidu, ugljen-tetrahloridu i freonima. O nekim važnijim organskim jedinjenjima ugljenika biće govora u sledećem poglavlju /poglavlje 3/.

Ugljenik sa kiseonikom obrazuje dva oksida. To su ugljen-monoksid i ugljen-dioksid.

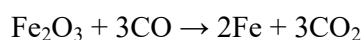
**Ugljen-monoksid /CO/** nastaje pri **zagrevanju uglja** i raznih organskih supstanci uz nedovoljan pristup kiseonika odnosno vazduha.



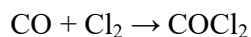
Ugljen-monoksid je gas bez boje, ukusa i mirisa, koji se ne rastvara u vodi. Vrlo je otrovan jer se vezuje za hemoglobin krvi. Ugljen-monoksid gori na vazduhu plavičastim plamenom. Kao proizvod reakcije nastaje ugljen-dioksid i oslobađa se velika količina toplote, što je od značaja za njegovo korišćenje u gorivima kao što je **vodeni gas**.



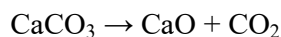
Ugljen-monoksid je redukciono sredstvo koje se koristi u metalurgiji za dobijanje metala iz njihovih ruda /oksida/:



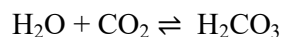
Ugljen-monoksid na svetlosti reaguje sa hlorom pri čemu se obrazuje **fozgen**,  $COCl_2$ . Fozgen je otrovan gas koji se koristi kao bojni otrov. Reakcija dobijanja fozgena se predstavlja sledećom jednačinom:



**Ugljen-dioksid /CO<sub>2</sub>/** se javlja u prirodi. On je stalan sastojak vazduha, u kome je zastupljen sa oko 0,03 zapreminskih %. Smatra se da je ugljen-dioksid odgovoran za povećanje prosečne temperature na našoj planeti. Naime, usled sagorevanja fosilnih goriva u atmosferu se emituju velike količine ugljen-dioksida, koji zajedno sa još nekim drugim gasovima dovodi do efekta staklene bašte. Ugljen-dioksid se industrijski dobija zagrevanjem kalcijum-karbonata u krečnim pećima.

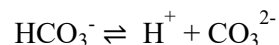


Ugljen-dioksid je gas bez boje i mirisa, koji je 1,5 puta teži od vazduha. U vodi se rastvara /0,88 zapremina CO<sub>2</sub> u 1 zapremini vode na 20°C/. Pod pritiskom od 6 MPa i na običnoj temperaturi on prelazi u tečnost, koja se čuva u čeličnim bocama. U hemijskom pogledu ugljen-dioksid je prilično stabilna supstanca. Ne podržava gorenje što se lako može zaključiti iz činjenice da se plamen u njegovoj atmosferi odmah gasi. Njegov vodeni rastvor pokazuje slabo kiselu reakciju, jer delimično reaguje sa vodom i stvara nestabilnu ugljenu kiselinu.



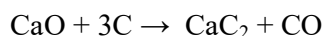
Ugljen-dioksid se koristi u aparatima za gašenje požara. Iznad plamena stvara zaštitni sloj, koji onemogućava pristup vazduha. Takođe se koristi za dobijanje gaziranih pića.

**Ugljena kiselina /H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/** je nestabilno jedinjenje i lako se razlaže na ugljen-dioksid i vodu, kao što to pokazuje prethodna jednačina. Ona se jonizuje u dva stepena, jer je dvobazna kiselina:



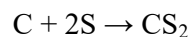
Kao dvobazna kiselina ona stvara dve vrste soli: karbonate i bikarbonate. Kao primer za karbonate navešćemo natrijum-karbonat, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, dok je natrijum-bikarbonat /NaHCO<sub>3</sub>/ ili soda bikarbona predstavnik bikarbonata. Zbog toga što je ugljena kiselina slaba, njene soli sa alkalnim metalima usled hidrolize pokazuju alkalnu reakciju u vodenim rastvorima.

**Karbidi** su jedinjenja ugljenika sa **metalima**. Nastaju zagrevanjem ugljenika sa metalima ili njihovim oksidima u električnim pećima. Tako se, na primer, kalcijum karbid dobija zagrevanjem koksa sa kalcijum oksidom na visokoj temperaturi.



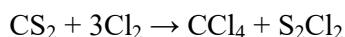
Kalcijum karbid se koristi za dobijanje kalcijum cijanamida /CaCN<sub>2</sub>/, koji spada u grupu amidnih azotnih đubriva.

**Ugljen-disulfid /CS<sub>2</sub>/** je jedinjenje ugljenika sa sumporom. Dobija se direktnom sintezom iz elemenata, pri propuštanju sumporne pare kroz sloj užarenog koksa.



Ugljen-disulfid je bezbojna lako isparljiva tečnost koja se koristi kao rastvarač za razne neorganske i organske supstance /beli fosfor, sumpor, brom, jod, masti, smole, vosak i dr./.

**Ugljen-tetrahlorid /CCl<sub>4</sub>/** je najznačajnije jedinjenje ugljenika sa **halogenim elementima**. Dobija se dejstvom elementarnog hlora na ugljen-disulfid u prisustvu pogodnog katalizatora. Ovo dobijanje se predstavlja sledećom jednačinom:



Drugi proizvod ove reakcije je sumpor-monohlorid, od koga se ugljen-tetrahlorid odvaja destilacijom.

Ugljen-tetrahlorid je bezbojna tečnost karakterističnog mirisa koja ne može da gori. Koristi se kao rastvarač u organskoj hemiji i za hemijsko čišćenje odela. Takođe se upotrebljava kao sredstvo za gašenje lokalnih požara, jer se vatra odmah gasi u atmosferi njegove pare.

**Freoni** su jedinjenja ugljenika sa fluorom i hlorom. Zovu se još **hlor-fluor-karboni** i smatraju se derivatima metana /ugljovodonik formule CH<sub>4</sub>/.

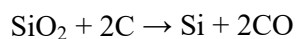
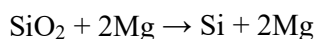


hemijskom sastavu dihlor-difluor-metan. Koriste se kao sredstva za hlađenje u rashladnim uređajima i u raznim sprejevima. Freoni nisu zapaljive ni eksplozivne supstance. Međutim, pošto je utvrđeno da su oni odgovorni za oštećenje ozonskog omotača njihova upotreba je drastično smanjena.

### 2.3. Silicijum i jedinjenja

Silicijum je hemijski element koji se nalazi u četvrtoj grupi i trećoj periodu u periodnom sistemu. Njegov atomski broj je 14, dok mu je maseni broj 28. Posle kiseonika on je najrasprostranjeniji element u Zemljinoj kori, gde je zastupljen sa oko 26% /masenih/. Silicijum se ne javlja u prirodi u elementarnom stanju već u obliku silicijum-dioksida i kao sastojak mnogobrojnih silikatnih stena i minerala. On se takođe nalazi u biljkama i životinjama ali u vrlo malim količinama.

**Elementarni silicijum** se dobija redukcijom silicijum-dioksida pomoću magnezijuma ili uglja na visokoj temperaturi. U prvom slučaju nastaje **amorfni** silicijum, dok se pri redukciji sa ugljem stvara **kristalni** oblik silicijuma.



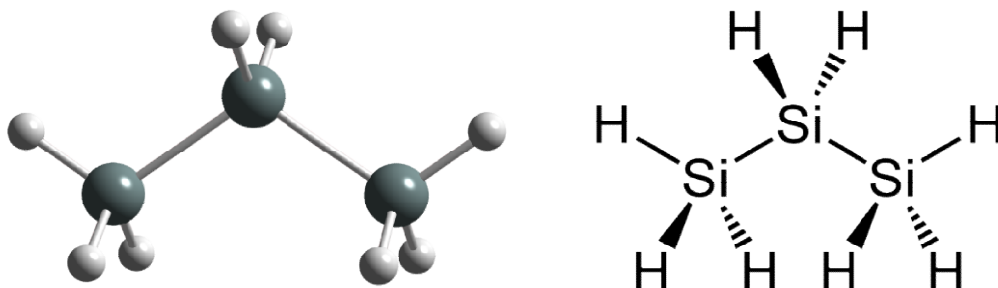
Amorfni silicijum je tamno mrki prah koji ne provodi električnu struju. Kristalni silicijum se javlja u obliku neprozirnih igličastih kristala ili kristala u obliku oktaedarskih pločica. Slabo provodi električnu struju, a toplotu prilično dobro.

Elementarni silicijum je na običnoj temperaturi hemijski malo reaktivan. Amorfni silicijum je reaktivniji od kristalnog oblika ovoga elementa. Na sobnoj temperaturi silicijum se sjedinjuje samo sa fluorom i gradi silicijum-tetrafluorid, SiF<sub>4</sub>. Na povišenoj temperaturi amorfni silicijum reaguje sa kiseonikom, azotom, sumporom, halogenim elementima i mnogim metalima.

Silicijum je poluprovodnik i koristi se u elektrotehnici za izradu silikonskih čipova. Pored ovoga silicijum se koristi za izradu posebnih vrsta čelika, koje su otporne na dejstvo agresivnih hemijskih supstanci, i za dobijanje silikona.

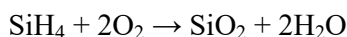
## Jedinjenja silicijuma

U tekstu koji sledi govorićemo o sledećim jedinjenjima silicijuma: silani, silicidi, silicijum-karbid, jedinjenja silicijuma sa halogenim elementima, silicijum-dioksid, silicijumove kiseline i silikoni.



Slika 2.1. Struktura silikopropana /trisilana/

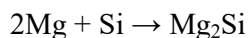
**Silani** su jedinjenja silicijuma sa vodonikom. Dobijaju se indirektnim putem /ne sintezom iz vodonika i silicijuma/ i spadaju u otrovne supstance. Po svom sastavu silani su analogni sa jednostavnim ugljovodicima opšte formule  $C_nH_{2n+2}$ , alkanima. Međutim, za razliku od alkana silani su nestabilna jedinjenja koja lako podležu oksidaciji pri čemu se stvara silicijum-dioksid i vodena para.



Od jedinjenja silicijuma sa vodonikom pomenućemo sledeće:

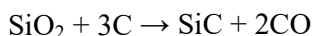
- ✧ silikometan ili monosilan,  $SiH_4$ ,
- ✧ silikoetan ili disilan,  $Si_2H_6$ , i
- ✧ silikopropan ili trisilan,  $Si_3H_8$  /slika 2.1/.

**Silicidi** su jedinjenja silicijuma sa metalima kao što su **magnezijum, mangan i hrom**. Dobijaju se rastvaranjem silicijuma u rastopljenom metalu. Kao primer predstavimo stvaranje magnezijum-silicida,  $Mg_2Si$ , sledećom jednačinom:



Silicidi se odlikuju velikom tvrdoćom i visokom termostabilnošću. Pri razlaganju nekih silicida pod uticajem kiselina nastaju silani.

**Silicijum-karbid /SiC/** je jedino jedinjenje silicijuma sa ugljenikom. Zove se još **karborundum** i dobija se žarenjem smeše silicijum-dioksida i koksa u električnoj peći na temperaturi od  $3000^\circ C$ .

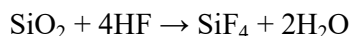
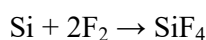


Karborundum je vrlo tvrda supstanca. Jedino je dijamant tvrdi od njega. Prilično dobro provodi električnu struju i ima vrlo visoku tačku topljenja. Silicijum-karbid je vrlo otporan prema dejstvu kiselina.

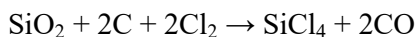
### **Jedinjenja silicijuma sa halogenim elementima.**

Silicijum stvara sa halogenim elementima izvestan broj jedinjenja od kojih su najvažniji silicijum-tetrafluorid,  $\text{SiF}_4$ , silicijum fluorovodonična kiselina,  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  i silicijum-tetrahlorid,  $\text{SiCl}_4$ .

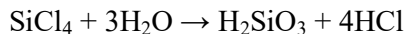
**Silicijum-tetrafluorid** je bezbojan gas, oštrog mirisa koji se puši na vazduhu. Njegovo dobijanje se može izvršiti na dva načina: direktnim sjedinjavanjem silicijuma sa fluorom i dejstvom fluorovodonične kiseline na silicijum-dioksid /ili na neki silikat/.



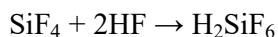
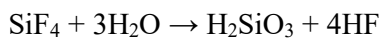
**Silicijum-tetrahlorid** se dobija zagrevanjem silicijum-dioksida pomešanog sa ugljenikom u struji hlora:



Silicijum-tetrahlorid je bezbojna tečnost koja se puši na vazduhu. Lako se hidrolizuje pri dodiru sa vodom, pri čemu se stvara silicijumova kiselina i hlorovodonik:



**Silicijum fluorovodonična kiselina** nastaje dejstvom vode na silicijum-tetrafluorid. Pri tome se odigravaju sledeće reakcije:



Oslobodeni fluorovodonik reaguje sa viškom prisutnog silicijum-tetrafluorida i gradi s njim silicijum fluorovodoničnu kiselinu.

Soli silicijum fluorovodonične kiseline nazivaju se **silikofluoridi** ili **fluorosilikati**. Kalijum-silikofluorid ili kalijum-fluorosilikat / $\text{K}_2\text{SiF}_6$ / se koristi u analitičkoj hemiji.

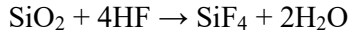
**Silicijum dioksid** je jedinjenje silicijuma sa **kiseonikom**. U prirodi se javlja u vrlo velikim količinama i u različitim oblicima, kako kristalnim tako i amorfnim, bezvodnim ili hidratanim. Kvarc /slika 2.2/, kremen, ahata, opal, biljur različiti su oblici silicijum-dioksida.



Slika 2.2. Kvarc

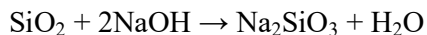
Od kristalnih oblika najvažniji je **kvarc** koji je prilično tvrd i može da grebe staklo. Topi se na 1713°C.

U hemijskom pogledu silicijum-dioksid je neaktivan. On ne reaguje sa vodom, kiseline na njega ne dejstvuju, izuzetak je fluorovodonična kiselina, reaguju prema sledećoj jednačini:

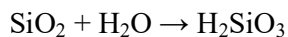


Baze reaguju sa silicijum-dioksidom na visokoj temperaturi.

Pri topljenju silicijum-dioksida sa čvrstim **natrijum-hidroksidom** nastaje natrijum-silikat /natrijumova so silicijumove kiseline/:



Iako silicijum-dioksid ne reaguje sa vodom jer se u njoj ne rastvara on se smatra **anhidridom metasilicijumove kiseline**. Anhidridi su oksidi nemetala koji sa vodom grade kiseline. Formalno reakcija silicijum-dioksida sa vodom trebalo bi da se vrši prema jednačini:



**Metasilicijumova kiselina /H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>/** se često naziva silicijumova kiselina. Soli silicijumove kiseline nazivaju se **silikati** i veoma su rasprostranjene u prirodi. Natrijum i kalijum silikati su rastvorljivi u vodi i njihov vodeni rastvori se zovu vodeno staklo. Vodeno staklo se koristi kao lepak u industriji.

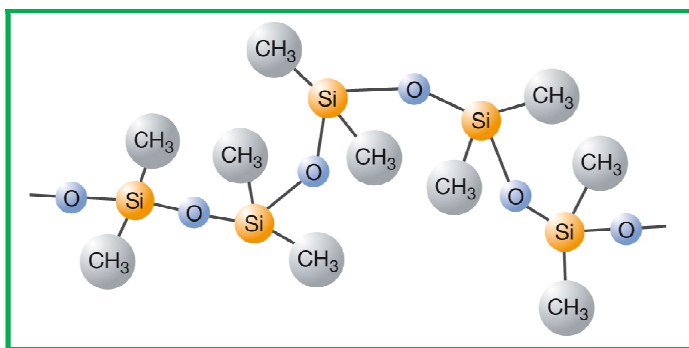
**Ortosilicijumova kiselina /H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>/** nije nađena u slobodnom stanju, poznate soli njene soli. Kao primer za so koja se izvodi iz ortosilicijumove kiseline navešćemo **magnezijum-ortosilikat**.

**Metadisilicijumova kiselina** / $H_2Si_2O_5$ / nije poznata u slobodnom stanju, poznate su njene soli kao što je **mineral talk**.

**Ortodisilicijumova kiselina** / $H_6Si_2O_7$ / takođe nije poznata u slobodnom stanju, ali su zato njene soli, kao što je mineral **torfajtit** /skandijum-ortodisilikat,  $Sc_2Si_2O_7$ / nađene u prirodi.

Silikati koji se nalaze u prirodi dele se na proste i složene silikate. **Prosti silikati** se dele na metasilikate /soli metasilicijumove kiseline/ i ortosilikate /soli ortosilicijumove kiseline/. U **složene silikate** spadaju soli polisilicijumovih kiselina /npr. meta- i ortodisilicijumova kiselina/.

**Silikoni** su grupa polimernih jedinjenja /jedinjenja kod kojih se određena grupacija atoma elemenata ponavlja više puta/ u kojima su silicijumovi atomi delimično vezani preko kiseonikovih atoma, a ostatak valenci je zasićen ugljovodoničnim radikalima. Od ugljovodoničnih radikala /alkil grupa, opšte formule  $C_nH_{2n+1}$ , gde je n broj od 1 pa na više/ uglavnom su zastupljene metil grupe /- $CH_3$ /, dok se etil /- $C_2H_5$ /, propil /- $C_3H_7$ / i druge grupe ređe javljaju. Silikoni imaju opštu formulu  $(R_2SiO)_n$  gde je R oznaka za alkil grupu. Drugim rečima, molekuli se sastoje od lanca izgrađenog od naizmenično vezanih atoma silicijuma i kiseonika:



Slika 2.3. Struktura silikona

U hemijskom pogledu silikoni imaju specifičan položaj u smislu osnovne klasifikacije. Naime, oni se nalaze između izrazito neorganskih jedinjenja /silikata/ i tipično organskih jedinjenja /ugljovodonika/. Silikoni imaju sledeće karakteristične osobine: postojani su pri zagrevanju, hidrofobni su /odbijaju vodu/, ne provode struju i nisu štetni po zdravlje ljudi. Primenuju se u obliku silikonskih ulja i lakova.

Na kraju ćemo našu diskusiju o silicijumu i njegovim jedinjenjima završiti sa razmatranjem hemijske prirode i dobijanja **stakla**, materijala bez koga se ne može zamisliti

savremeni život. Obično ili "normalno" staklo je čvrsta koloidna masa, koja se sastoji od smeše **kalcijum-silikata, natrijum-silikata i silicijum-dioksida**.

Staklo se dobija topljenjem smeše čistog kvarcnog peska,  $\text{SiO}_2$ , krečnjaka,  $\text{CaCO}_3$ , i natrijum-karbonata,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , u posebnim pećima. Hemijski sastav običnog stakla približno odgovara formuli /oksidni oblik/:  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$ . Reakcija pri kojoj se stvara staklo se može predstaviti sledećom jednačinom:  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaCO}_3 + 6\text{SiO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 + 2\text{CO}_2$

**Vatrostalno** staklo sadrži u sebi element bor /B/, dok se za dobijanje **obojenog** stakla dodaju u reakcionu smešu oksidi raznih metala /kobalta, hroma, mangana/ prilikom njenog topljenja u pećima.

## 2.4. Azot i jedinjenja

Azot se nalazi u petoj grupi periodnog sistema. Njegov atomski broj je 7, dok mu je maseni broj 14.

U prirodi se nalazi kako u elementarnom stanju, tako i u obliku svojih brojnih jedinjenja. Elementarni azot se nalazi u atmosferskom vazduhu, gde njegov sadržaj iznosi 78 zaprem. % ili 75,5 mas. %. Azot je sastojak **čilske šalitre** / $\text{NaNO}_3$ /, čija se ogromna ležišta nalaze u državi Čile. Čilska šalitra je poznato azotno đubrivo koje sadrži oko 16% azota. Inače, ukupan sadržaj azota u Zemljinoj kori iznosi oko 0,04 mas. %.

Azot je neophodan element za sve žive organizme. On je integralni sastojak belančevina, gde je zastupljen sa oko 17 mas. %. O njegovoj ulozi u ishrani biljaka biće govora u poglavlju iz fiziologije biljaka.

Azot je gas bez boje i mirisa koji se u vodi slabije rastvara od kiseonika. Na običnoj temperaturi prilično je inertan, jer su njegovi molekuli stabilno građeni. Industrijski se ovaj element dobija frakcionom destilacijom tečnog vazduha u posebnim postrojenjima, gde se odvaja od kiseonika. Koristi se za dobijanje amonijaka i azotne kiseline.

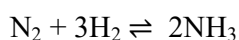
### Jedinjenja azota

**Nitridi** su jedinjenja azota sa metalima. Na primer, jedinjenje azota sa kalcijumom se naziva **kalcijum-nitrid**. Inače, nitridi se dobijaju reakcijom metala sa azotom na povišenoj temperaturi.

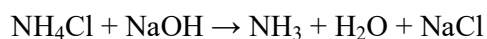
## Jedinjenja sa vodonikom

Najznačajnije jedinjenje azota sa vodonikom je **amonijak**. To je bezbojan gas koji ima karakterističan oštar miris. On se dobro rastvara u vodi /710 zapremina amonijaka u 1 zapremini vode na 20°C/. U prirodi nastaje procesom truljenja organskih supstanci /belančevina/.

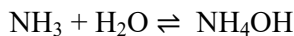
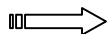
Industrijski se dobija prema **Haber-Bošovom postupku**, koji se zasniva na direktnom sjedinjavanju azota i vodonika na temperaturi od 400°C i pritisku od 30 Mpa. Kao katalizator se koristi gvožđe.



U laboratoriji se dobija delovanjem neke jake baze na amonijačnu so

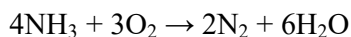


Amonijak sa vodom gradi alkalni rastvor poznat pod imenom amonijum-hidroksid.



Ova reakcija je povratna a ravnoteža je pomerenjena znatno s desna na levo, jer amonijum-hidroksid nije stabilan i vrlo lako se razlaže na slobodni amonijak i vodu.

Amonijak gori u čistom kiseoniku dajući azot i vodu:



## Rezime

U ovom poglavlju upoznali smo se sa pojedinim elementima kroz sagledavanje osobina njihovih jedinjenja.

Voda kao najvažnije jedinjenje vodonika preduslov je za nastajanje i opstajanje života na planeti Zemlji. Upoznali smo se sa njenom građom i osobinama, kao i sa razlikom osobina između obične i teške vode.

Ugljenik se javlja u prirodi kako u elementarnom stanju, tako i u svojim mnogobrojnim jedinjenjima /ugljen-dioksid, različiti oblici kalcijum-karbonata,  $\text{CaCO}_3$ , dolomit,  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ , siderit,  $\text{FeCO}_3$ , kalcijum i magnezijum bikarbonat, i dr./, takođe ulazi u sastav nafte, ugljeva, asfalta.

Značaj i uloga ugljenika u prirodi je izuzetno velika, jer njegova mnogobrojna organska jedinjenja /belančevine, ugljeni hidrati, masti i ulja, hormoni, vitamini i dr./ ulaze u sastav svih biljnih i životinjskih organizama. U prirodi se javlja u **dva kristalna oblika** /dijamant i grafit/ i u **amorfnom** /neuređenom/ obliku kao drveni ugalj.

Silicijum se ne javlja u prirodi u elementarnom stanju već u obliku silicijum-dioksida i kao sastojak mnogobrojnih silikatnih stena i minerala /kvarc, kremen, ahat, opal, biljur idr./

Elementarni azot se nalazi u atmosferskom vazduhu, gde njegov sadržaj iznosi 78 zaprem. % ili 75,5 mas. %. Neophodan je element za sve žive organizme jer je integralni sastojak belančevina /17 %/.



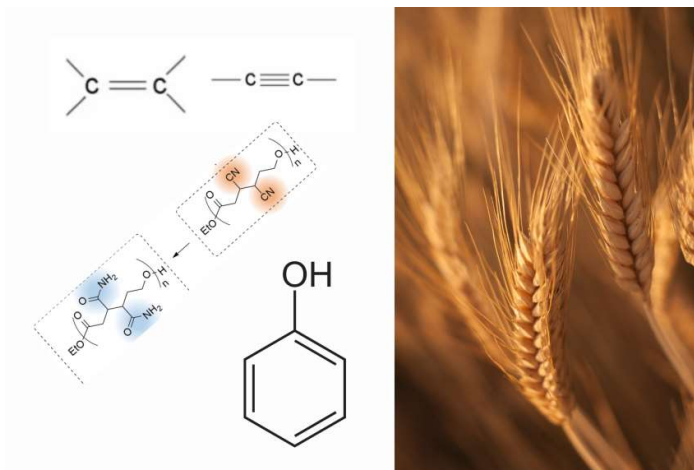
## Pitanja

1. Industrijsko dobijanje vodonika
2. Hemijske osobine vodonika
3. Teška voda
4. Tvrdoća vode
5. Vodonik-peroksid
6. Dijamant
7. Grafit
8. Ugljen-monoksid
9. Ugljen-dioksid
10. Ugljena kiselina
11. Karbidi i ugljen-disulfid ( $\text{CS}_2$ )
12. Ugljen-tetrahlorid ( $\text{CCl}_4$ )
13. Elementarni silicijum (oblici i dobijanje)
14. Silicijum-karbid ( $\text{SiC}$ )
15. Jedinjenja silicijuma sa halogenim elementima
16. Silicijum dioksid
17. Metasilicijumova kiselina
18. Silikoni
19. Dobijanje stakla
20. Jedinjenja azota

## Literatura

1. Filipović, S. Lipanović: Opća i anorganska hemija. Školska knjiga, Zagreb, 1990.
2. M. Dragojević, M. Popović, S. Stević, V. Šćepanović: Opšta hemija, TMF, Beograd, 2003.
3. Srećko R. Trifunović, Tibor J. Sabo: "Opšta hemija" , PMF, Kragujevac, Treće izdanje, 2004.
4. T. Todorović, V. Medaković: Praktikum iz neorganske hemije (u redakciji prof. dr Sofije Sovilj), Hemijski fakultet, Beograd, 2013.
5. K. Mackay, R. Mackay, W. Henderson: Introduction to Modern Inorganic Chemistry, N. Thornes, 2002.

### 3. HEMIJA NEKIH VAŽNIJIH ORGANSKIH JEDINJENJA



Cilj ovog poglavlja je upoznavanje studenata sa osnovima organske hemije kroz predstavljanje osobina ugljovodonika, zatim alkohola, aldehida, ketona, karbonskih kiselina i estra.

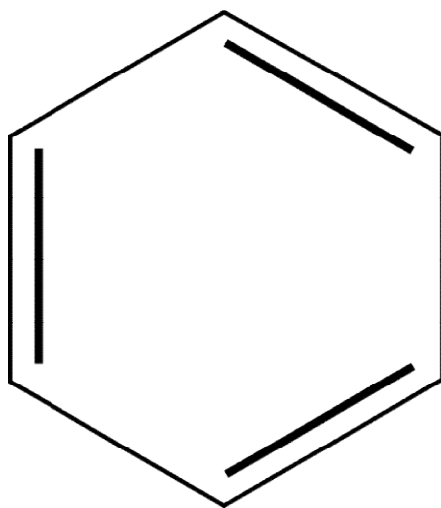
### 3.1. Uvod u organsku hemiju

Organska hemija je deo hemije koji se bavi izučavanjem jedinjenja **ugljenika** osim karbonata, oksida ugljenika i karbida metala. Ranije se smatralo da su predmet izučavanja organske hemije hemijske supstance koje se nalaze u živim bićima. Međutim, sa razvojem organske hemije kao nauke stvoren je veliki broj organskih jedinjenja koja se ne nalaze u živim bićima. Poznato je više od dva miliona organskih jedinjenja, što je više od svih ostalih hemijskih jedinjenja zajedno.

Ovaj ogroman broj kovalentnih jedinjenja je moguć zbog toga što se atomi ugljenika mogu međusobno vezati u veoma veliki broj lanaca i prstenova. Organska jedinjenja se dele u dve grupe: **alifatična** i **aromatična**.

Alifatična jedinjenja su ona čiji molekuli imaju osnovni lanac od atoma ugljenika. Lanac može biti ravan, razgranat, pa čak i u obliku prstena /samo nikad u obliku benzenovog prstena/.

Aromatična jedinjenja su ona čiji molekuli sadrže benzenov prsten (slika 3.1.), koji se sastoji od šest atoma ugljenika, ali se razlikuje od alifatičnog prstena po tome što veze između atoma ugljenika nisu ni jednostruke ni dvostruke, nego su po dužini i reaktivnosti negde između njih.



Slika 3.1. Benzenov prsten

U okviru udžbenika iz Agrikulturne hemije govorićemo o ugljovodonicima /alkanima, alkenima i alkinima/, alkoholima, aldehydima, ketonima, karbonskim kiselinama, estrima i o nekim jednostavnijim aromatičnim jedinjenjima.

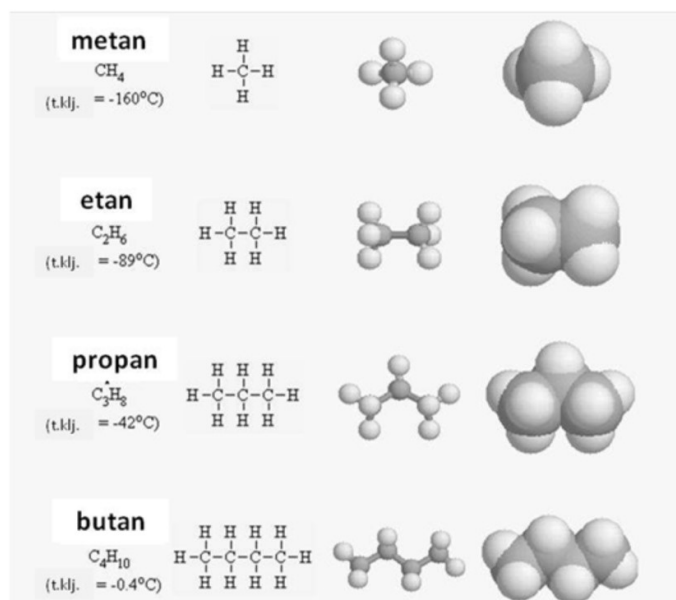
Međutim, pre nego što nešto kažemo o gore navedenim jedinjenjima smatramo za neophodnim da objasnimo neke termine koji će se često koristiti u okviru ovog kratkog kursa iz organske hemije. Ti termini su: zasićena jedinjenja, nezasićena jedinjenja, homologni niz, izomeri, funkcionalna grupa.

**Zasićena jedinjenja** su ona u čijim molekulima postoje samo jednostruke /proste/ veze između atoma. **Nezasićena jedinjenja** su ona čiji molekuli imaju bar jednu dvostruku ili trostruku vezu. **Homologni niz** je grupa organskih jedinjenja koja raste dodatkom grupe -CH<sub>2</sub>- /metilenska grupa/. Članovi jednog homolognog niza imaju slične hemijske osobine, ali im se fizičke osobine menjaju sa porastom grupe CH<sub>2</sub>. **Izomeri** su dva ili više jedinjenja iste molekulske formule, ali različitog rasporeda atoma u njihovim molekulima. Kao posledica toga ta jedinjenja imaju različita svojstva. **Funkcionalna grupa** predstavlja atom ili grupu atoma koja daje molekulu hemijske karakteristike. Molekuli organskih jedinjenja mogu imati više takvih grupa.

## 3.2. Ugljovodonici /alkani, alkeni i alkini/

### 3.2.1. Alkani

Alkani (slika 3.2) /ili parafini/ su zasićeni ugljovodonici /jedinjenja koja se sastoje samo od vodonika i ugljenika/ i alifatična jedinjenja, čija je opšta formula **C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>** /gde n predstavlja broj ugljenikovih atoma u molekulu/.



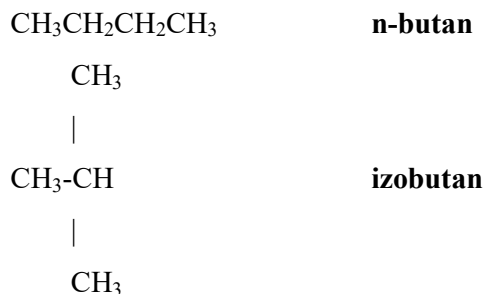
Slika 3.2. Struktura alkana

S porastom veličine molekula u seriji, dolazi do promene fizičkih osobina tih jedinjenja (tabela 3.1).

Tabela 3.1. Fizičke osobine alkana

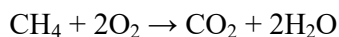
Naziv jedinjenja	Molekulska formula	Fizičko stanje na 25°C	Tačka ključanja (°C)
metan	CH <sub>4</sub>	gas	-161,5
etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	gas	-88,0
propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	gas	-42,2
butan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	gas	-0,5
pentan	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	tečnost	36,0
heksan	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	tečnost	69,0

Alkani pružaju jednostavne primere za pojavu izomerije. Naime, alkani sa 4 i više C atoma u svom molekulu imaju izomere. Tako, na primer, postoje dva izomera butana, od kojih svaki ima molekulsku formulu C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>:

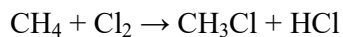


Alkani imaju nepolarne molekule. Zbog svoje slabe hemijske aktivnosti zovu se i parafini /lat. *parum affinis* = mali afinitet/.

U vazduhu gore dajući ugljen-dioksid i vodu. Na primer, metan reaguje sa **kiseonikom** na povišenoj temperaturi prema sledećoj jednačini:



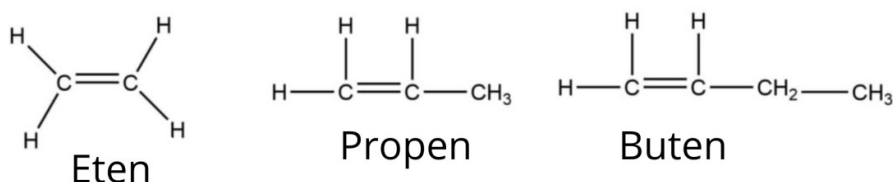
Alkani reaguju sa halogenim elementima i to reakcijom supstitucije. **Reakcija supstitucije** predstavlja reakciju u kojoj se atom ili funkcionalna grupa zamenjuje drugim atomom ili funkcionalnom grupom. Tako se, na primer, reakcija metana sa hlorom može predstaviti na sledeći način :



Alkani se osim metana dobijaju iz nafte. Koriste se kao goriva i za dobijanje drugih organskih jedinjenja, npr. plastika.

### 3.2.2. Alkeni

Alkeni (slika 3.3) /olefini/ su nezasićeni ugljovodonici koji sadrže po jednu **dvostruku** /dvogubu/ vezu između susednih ugljenikovih atoma. Grade homologni niz opšte formule  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ .



Slika 3.3. Struktura alkeni

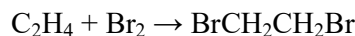
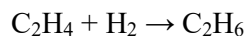
S porastom veličine molekula postepeno se menjaju i njihove fizičke osobine (tabela 3.2).

Tabela 3.2. Fizičke osobine alkena

Naziv jedinjenja	Molekulska formula	Fizičko stanje na 25°C	Tačka ključanja (°C)
eten	$\text{C}_2\text{H}_4$	gas	-104,0
propen	$\text{C}_3\text{H}_6$	gas	-47,0
buten-1	$\text{C}_4\text{H}_8$	gas	-6,0
penten-1	$\text{C}_5\text{H}_{10}$	tečnost	30,0

Alkeni se nazivaju isto kao i alkani, ali im se imena završavaju na **en**. Tako se, na primer, alken čija je molekulska formula  $\text{C}_3\text{H}_6$  zove *propen*. Alkeni su jedinjenja sa nepolarnim molekulima. Za razliku od alkana oni su vrlo reaktivne supstance. Zbog svojih dvostrukih veza reaguju reakcijama adicije, a pojedini grade i polimere.

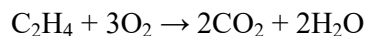
**Reakcija adicije** je reakcija u kojoj dva veća molekula međusobno reaguju gradeći jedan veći molekul. Jedan od tih molekula mora biti nezasićen. Reakcije adicije kod alkena ilustrovaćemo na primeru reakcije etena,  $C_2H_4$ , sa vodonikom i bromom.



U prvom slučaju nastaje zasićeni ugljovodonik etan, dok se u drugom slučaju stvara jedinjenje 1,2-dibrometan.

Kao što smo ranije istakli polimeri /supstance koje se sastoje od velikog broja monomera povezanih ponavljajućim redosledom/ mogu nastati reakcijama adicije. Tako, na primer, molekuli etena su monomeri koji međusobno reaguju gradeći **polietilen**.

Alkeni se oksiduju u **višku kiseonika** do ugljen dioksida i vode.



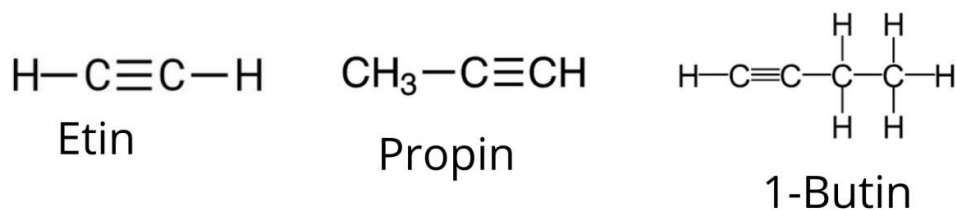
Alkeni se dobijaju reakcijom **krekovanja alkana** koja predstavlja njihovo razlaganja pod uticajem visoke temperature do alkena i manjih alkana. Manji alkani se koriste kao benzini. Sledeća reakcija nam ilustruje šta se dešava prilikom krekovanja alkana:



Alkeni se koriste za proizvodnju etanola /etil alkohola/, drugih alkohola, antifrizi i iznad svega polimera /plastike/.

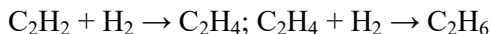
### 3.2.3. Alkini

Alkini su nezasićeni ugljovodonici koji sadrže **trostruku** /trogubu/ vezu između susednih ugljenikovih atoma. Njihova opšta formula je  $C_nH_{2n-2}$ . Alkini imaju ista imena kao alkani, ali im se imena završavaju na **-in**. Prvi član homolognog niza alkina je etin,  $C_2H_2$ , koji se još zove acetilen. Drugi član je propin, treći butin (slika 3.4) itd.

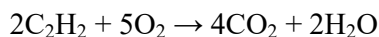


Slika 3.4. Struktura alkina

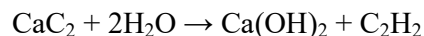
Hemijske osobine alkina su slične osobinama alkena. Drugim rečima, oni takođe reaguju reakcijama adicije pri čemu se stvaraju veći molekuli. Tako, na primer, acetilen reaguje sa vodonikom na sobnoj temperaturi (u prisustvu platine kao katalizatora) pri čemu se prvo stvara eten /etilen/ a zatim etan.



Alkini izgaraju na vazduhu uz pojavu dima, a u čistom kiseoniku gore sa vrlo toplim plamenom.



Od svih alkina najpoznatiji je etin ili acetilen. On je bezbojan gas, manje gustine od vazduha i sa neznatno slatkastim ukusom. Dobija se dejstvom hladne vode na kalcijum karbid /CaC<sub>2</sub>/.

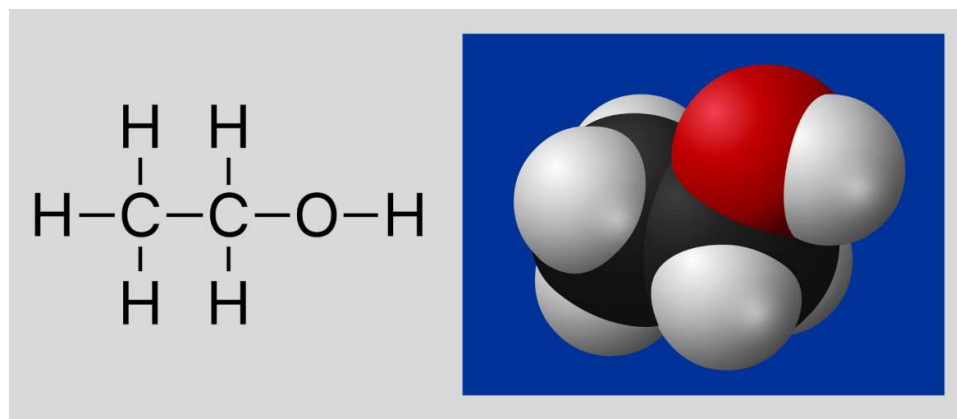


Acetilen se koristi u oksii-acetilenskim aparatima za zavarivanje s obzirom da daje vrlo topao plamen. Upotrebljava se za dobijanje plastika /vinil acetata, polivinil hlorida/ i rastvarača /acetona, acetilen tetrahlorida/.

### 3.3. Alkoholi, aldehidi i ketoni

#### 3.3.1. Alkoholi

Alkoholi su organska jedinjenja koja u molekulima sadrže jednu ili više hidroksilnih grupa. Dele se na monohidroksilne i polihidroksilne alkohole. Opšta formula monohidroksilnih alkohola je C<sub>n</sub>H<sub>2n+1</sub>OH.



Slika 3.5. Struktura etanola



Smatraju se derivatima alkana kod kojih je jedan vodonikov atom zamenjen hidroksilnom grupom. Prema ugljenikovom atomu za koji je vezana hidroksilna grupa, alkoholi se dele na primarne, sekundarne i tercijarne.

Fizičke osobine alkohola se postepeno menjaju kako idemo od nižih ka višim članovima homolognog niza /s porastom dužine molekula/. U tabeli 3.3 prikazane su neke fizičke osobine prva četiri predstavnika monohidroksilnih alkohola.

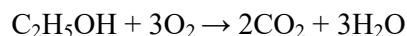
Tabela 3.3. Fizičke osobine alkohola

Naziv jedinjenja	Molekulska formula	Fizičko stanje na 25°C	Tačka ključanja (°C)
metanol	CH <sub>3</sub> OH	tečnost	65,6
etanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	tečnost	78,5
propanol-1	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	tečnost	97,2
butanol-2	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	tečnost	117,5

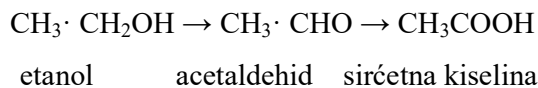
Alkoholi imaju ista imena kao i alkani, ali im se imena završavaju na **-ol**. Broj u nazivu alkohola označava položaj atoma ugljenika na koji je vezana hidroksilna grupa.

Zahvaljujući prisustvu hidroksilnih grupa molekuli alkohola su polarni i između njih se javljaju vodonične veze. Međutim, polarnost molekula se smanjuje sa porastom njegove veličine. Zbog ovoga se alkoholi sa kratkim lancem potpuno mešaju sa vodom, dok to nije slučaj sa višim alkoholima koji imaju veliki broj metilenskih grupa u svojim molekulima.

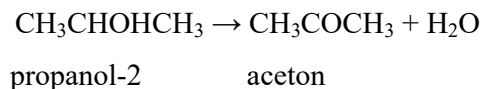
Alkoholi se u vodi ne jonizuju i neutralni su. Oni gore na vazduhu dajući vodu i ugljen-dioksid.



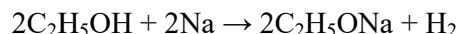
Primarni alkoholi se oksiduju kiselim rastvorom kalijum permanganata do aldehida. Ako je oksidaciono sredstvo u višku obrazovaće se odgovarajuća karbonska kiselina.



Sekundarni alkoholi se oksiduju do ketona, dok se tercijarni alkoholi ne oksiduju. Reakcija oksidacije sekundarnih alkohola se takođe odigrava pod uticajem kiselog rastvora kalijum permanganata.



Alkoholi reaguju sa natrijumom uz stvaranje **natrijum-alkoholata** i vodonika. Tako, na primer, pri reakciji etanola sa natrijumom nastaje natrijum-etoksid.



Pri reakciji alkohola i organskih kiselina nastaju estri i voda.

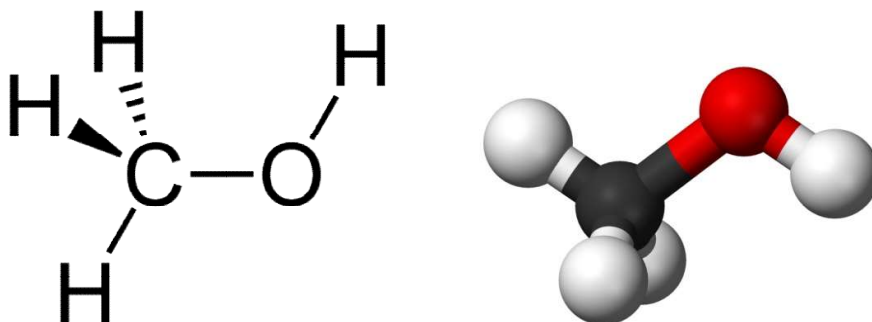


etil acetat

Od svih monohidroksilnih alkohola najpoznatiji je **etanol** ili etil alkohol. On je prisutan u alkoholnim pićima u različitim količinama. Inače, etanol se dobija iz voća ili žita procesom koji se zove fermentacija.

Glukoza /prosti šećer/ iz voća ili žita se pretvara u etanol uz pomoć enzima zimaze koji je prisutan u kvascu.

Etanol (slika 3.5.) se koristi kao rastvarač i za razne sinteze u organskoj hemiji /dobijanje hloroforma, etilena, etil acetata/. Metil alkohol (slika 3.6) je takođe odličan rastvarač, a pored toga upotrebljava se u organskoj sintezi, za denaturisanje etanola, kao gorivo itd.



Slika 3.6. Struktura metanola

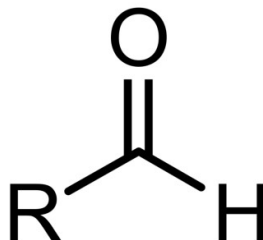
Polihidroksilni alkoholi su oni čiji molekuli sadrže više od jedne hidroksilne grupe. Najpoznatiji predstavnici ovih alkohola su **etilenglikol** ili etan-diol-1,2 i **glicerin** ili propan-triol-1,2,3.

Etilenglikol sadrži dve hidroksilne grupe. Njegova formula je  $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$  i on se upotrebljava kao antifriz /sredstvo koje sprečava zamrzavanja vode u automobilskim motorima pri vrlo niskim temperaturama/.

Glicerin sadrži tri hidroksilne grupe i koristi se za dobijanje eksploziva /nitroglicerina/. Njegova formula je  $\text{HOCH}_2\text{CHOHCH}_2\text{OH}$  i on ulazi u sastav masti i ulja.

### 3.3.2. Aldehidi

Aldehidi su jedinjenja koja sadrže aldehidnu grupu /-CHO/. Njihova opšta formula je  $C_nH_{2n+1}CHO$  (slika 3.7.). Samo jedan aldehid se ne uklapa u ovu opštu formulu, a to je formaldehid /HCHO/.

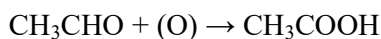


Slika 3.7. Struktura aldehida

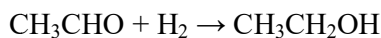
Aldehidi se mogu dobiti na više načina. Kao što smo ranije istakli **oksidacijom primarnih alkohola** nastaju aldehidi. Aldehidi imaju nazive kao alkani s tim što se oni završavaju na **-al**. Tako, na primer,  $CH_3CHO$  /acetaldehid/ se zove etanal pošto on ima u molekulu isti broj ugljenikovih atoma /2/ kao i alkan etan / $C_2H_6$ /.

Niži članovi aldehida su tečnosti na običnoj temperaturi, izuzev formaldehida koji je gas. Viši aldehidi su čvrste supstance. Aldehidi se odlikuju velikom reaktivnošću koja je uslovljena prisustvom aldehidne grupe u njihovim molekulima. Oni mogu lako da se oksiduju, redukuju, polimerizuju, kondenzuju itd.

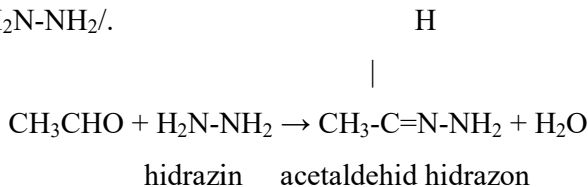
Oksidacijom aldehida pomoću kiselog rastvora kalijum permanganata nastaju karbonske kiseline. Tako, na primer, etanal se oksiduje do sirćetne kiseline.



Aldehidi se redukuju do primarnih alkohola pomoću vodonika.



Aldehidi učestvuju u reakcijama **kondenzacije**. Reakcija kondenzacije je reakcija kod koje se dva ili više molekula spajaju uz stvaranje većeg molekula i oslobađanje prostog molekula, kao što je voda. Kao primer za reakciju kondenzacije navešćemo reakciju etanala sa hidrazinom / $H_2N-NH_2$ /.

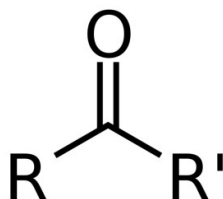


Kao što smo istakli najjednostavniji aldehid je **formaldehid** ili **metanal** /HCHO/. On se rastvara u vodi dajući formalin koji se upotrebljava za konzerviranje bioloških uzoraka.

Takođe se koristi za izradu polimera i adheziva /vezivnih sredstava/. Acetaldehid se koristi u proizvodnji sirćetne kiseline, derivata sirćetne kiseline, hlorala itd.

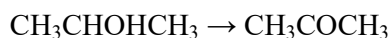
### 3.3.3. Ketoni

Ketoni su organska jedinjenja koja u svom sastavu imaju **keto grupu**  $=C=O$  za koju su vezana dva druga ugljenikova atoma. Kod aldehidne grupe, koja je karakteristična za aldehide, postoji veza sa vodonikom i jednim ugljenikovim atomom alkil grupe /važi za sve aldehide osim formaldehida/.



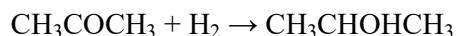
Slika 3.8. Struktura ketona

I ketoni imaju imena kao alkani, s tim što se ona završavaju na **-on**. Ako su kod ketona obe alkil grupe iste, radi se o prostim ketonima, a ako su različite o mešovitim ketonima. Propanon /aceton/, čija je formula  $CH_3-CO-CH_3$  spada u proste ketone, dok butanon ili metil-etil-keton  $/CH_3-CO-C_2H_5/$  spada u mešovite ketone. Jedan od načina za dobijanje ketona je oksidacija sekundarnih alkohola pod uticajem kiselog rastvora kalijum permanganata.

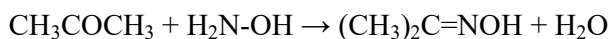


Ketoni su u većini slučajeva bezbojne tečnosti i njihove hemijske osobine su slične osobinama aldehida, ali oni nisu redukciona sredstva.

Navešćemo neke od reakcija u kojima učestvuju ketoni. Tako se aceton može redukovati pomoću vodonika do izopropil alkohola.



Aceton se kondenzuje sa hidroksil aminom, hidrazinom i fenilhidrazinom kao što je to slučaj sa acetaldehidom.



hidroksilamin      acetoksim

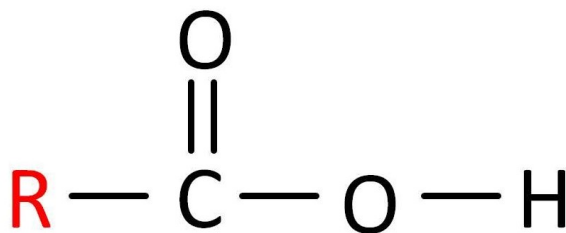
Ketoni se koriste u proizvodnji mnogih drugih organskih jedinjenja. Tako se, na primer, aceton upotrebljava za proizvodnju hloroforma  $/CHCl_3/$  i akrilata. Pored toga aceton je organski rastvarač i koristi se za uklanjanje laka sa noktiju.

### 3.4. Karbonske kiseline i estri

#### 3.4.1. Monokarbonske kiseline

Monokarbonske kiseline su organska jedinjenja koja sadrže jednu karboksilnu grupu /-COOH/ u svojim molekulima (slika 3.9). Oni grade homologni niz opšte formule  $C_nH_{2n+1}COOH$ . Samo jedna kiselina se ne uklapa u ovu opštu formulu a to je mravlja kiselina /HCOOH/.

Imena monokarbonskih kiselina su ista kao i imena alkana, s tim što se završavaju na **-ska**. Tako, na primer,  $CH_3COOH$  je etanska /sirćetna/ kiselina. Jedan od načina za njihovo dobijanje je oksidacija aldehida pomoću kiselog rastvora kalijum permanganata.



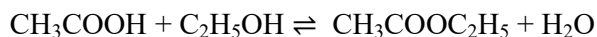
Slika 3.9. Struktura monokarbonskih kiselina

Za monokarbonske kiseline je karakteristično da su bezbojne i da imaju jaki miris. Monokarbonske kiseline su slabe kiseline s obzirom da u vodenom rastvoru disosuju u maloj meri.



Reaguju sa bazama gradeći soli. Tako, na primer, etanska kiselina reaguje sa natrijum hidroksidom uz stvaranje natrijum acetata i vode.

Soli etanske /sirćetne kiseline/ zovu se acetati i ovaj naziv potiče od latinskog imena za sirćetnu kiselinu koje je *acidum aceticum*. Značajna osobina ovih kiselina je njihova sposobnost da reaguju sa alkoholima pri čemu se stvaraju jedinjenja koja se zovu estri.



etilacetat

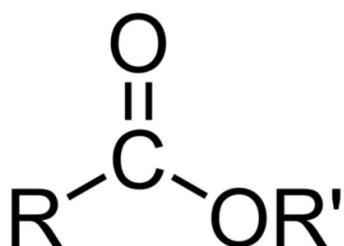
Od monokarbonskih kiselina najpoznatije su metanska i etanska kiselina.

**Metanska kiselina** /HCOOH/ se još zove mravlja kiselina pošto se ona nalazi u mravima i jako žari. Koristi se kao redukciono sredstvo i u raznim industrijama kao što je, na primer, tekstilna industrija. Soli mravlje kiseline su **formijati**.

**Etanska** ili **sirćetna kiselina** je bezbojna tečnost koja se upotrebljava, zajedno sa vodom i karamelom, za dobijanje sirćeta. Pored toga ova kiselina se koristi u industriji plastičnih masa /npr. za dobijanje vinil acetata/.

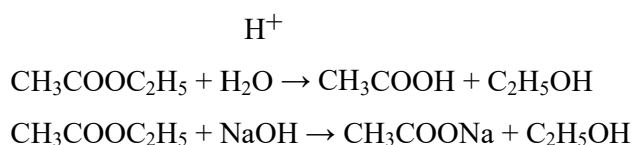
### 3.4.2. Estri

Estri su jedinjenja čija je opšta formula  $\text{RCOOR}'$  gde su R i R' alkil radikali. Dobijaju se reakcijom monokarbonskih kiselina i monohidroksilnih alkohola. Reakcija pri kojoj se stvaraju estri naziva se **esterifikacija**.



Slika 3.10. Struktura estara

Estri su bezbojne neutralne tečnosti koje imaju prijatan miris cveća i voća jer se u njima nalaze. Slabo se rastvaraju u vodi, ali dobro u organskim rastvaračima kao što su hloroform i aceton. Od hemijskih osobina najznačajnija je njihova osobina da podležu hidrolizi pod uticajem mineralnih kiselina i baza.



Estri su uglavnom dobri rastvarači i kao takvi se koriste u farmaceutskoj industriji. Primenjuju se pod nazivom "voćne esencije" kao mirisne supstance za poslastice.

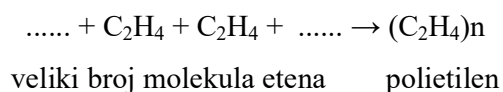
Posebnu vrstu estara predstavlja **masti** i **ulja** kao i **voskovi**. Masti i ulja su estri trohidroksilnog alkohola glicerina i viših masnih kiselina, dok su voskovi estri viših masnih kiselina i viših alkohola. O ovim supstancama će biti više reči kada budemo obrađivali deo gradiva koji se odnosi na masne materije /lipide/.

### 3.5. Sintetska visokomolekularna jedinjenja

Ova jedinjenja se dobijaju veštačkim putem i imaju velike molekulske mase. Ona su u stvari polimeri koji se definišu kao supstance koje se sastoje od velikog broja monomera /malih molekula/ povezanih ponavljajućim redosledom.

Polimeri imaju vrlo duge molekule a proces njihovog stvaranja se zove **polimerizacija**. Postoje dva tipa polimerizacije. To su adiciona i kondenzaciona polimerizacija.

**Adiciona** polimerizacija je proces putem koga se dva ili više manjih molekula međusobno vezuju uz stvaranje novog jedinjenja koji ima istu empirijsku formulu, ali veću molekulsku masu od monomera. Pri adicionoj polimerizaciji ne dolazi do stvaranja ni jednog drugog proizvoda osim polimera. Ovaj proces ćemo ilustrovati na primeru dobijanja polietilena.



Ako je polimer izgrađen iz jednog tipa monomera onda se on zove **homopolimer**.

**Kondenzaciona** polimerizacija je proces u kojima monomeri grade polimer uz izdvajanje malih molekula, npr. molekula vode. Dobijanje najlona /familija poliamida/ će nam poslužiti kao primer za kondenzacionu polimerizaciju.

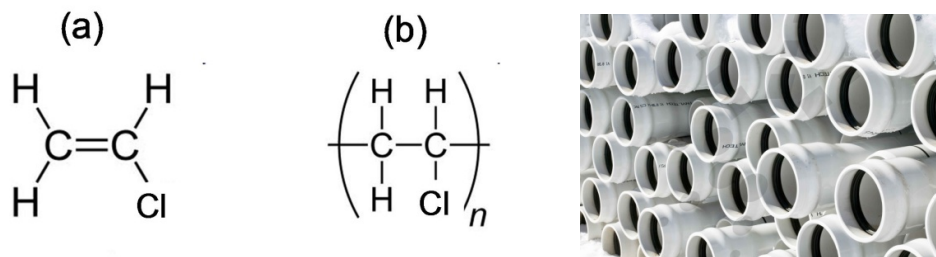
Polimer koji je izgrađen od dva ili više različitih monomera naziva se **kopolimer**. U konkretnom slučaju to je najlon koji se sastoji iz velikog broja ostataka heksanske kiseline i 1,6-diaminoheksana kao monomera.

Pored procesa polimerizacije postoji i obrnuti proces koji se zove **depolimerizacija**. Depolimerizacija predstavlja proces razlaganja polimera u svoje originalne polimere.

Sa razvojem hemijske industrije stvoren je veliki broj sintetskih visokomolekularnih jedinjenja. Ona se koriste u raznim oblastima ljudske delatnosti. Mi nismo u mogućnosti da vam navedemo sva ta jedinjenja, već ćemo pomenuti neka sa kojim se često susrećemo u svakodnevnom životu.

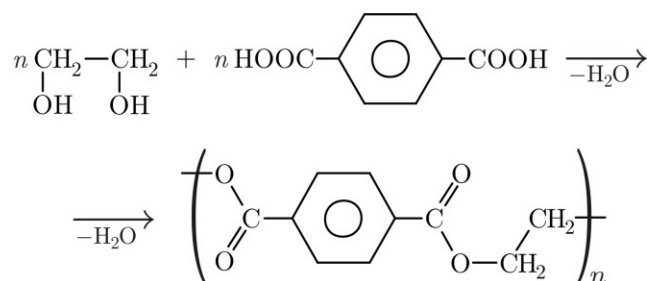
**Polietilen** je homopolimer nastao adicionom polimerizacijom etena /etilena/. On se proizvodi u dva oblika: kao mekani materijal male gustine i kao tvrdi čvrsti materijal velike gustine. Relativna molekulska masa polietilena se kreće od 10 000 do 40 000. Od polietilena se prave mnogi kućni predmeti, npr. posuđe za pranje.

**Polivinil hlorid /PVC/** je tvrd i otporan homopolimer od kojeg se prave razni predmeti /gramofonske ploče, odvodne cevi, izolatori provodnika itd/ (slika 3.11).



Slika 3.11. Polovinil hlorid (PVC)

**Poliestri** su kopolimeri koji su stvoreni kondenzacionom polimerizacijom diola /dvohidroksilnih alkohola/ i dikarbonskih kiselina. Jedra jahti su od poliestra. Neki poliestri se izrađuju u vidu vlakana od kojih se pravi odeća i kućni predmeti.



Slika 3.12. Dobijanje poliestra

Najloni se dobijaju kondenzacionom polimerizacijom. Oni su rastegljivi i ne mogu trnuti. Spadaju u hidrofobne supstance /ne apsorbuju vodu/.

Pored veštačkih polimera postoje i prirodni polimeri koji se nalaze u svim živim bićima. Prirodni polimeri su belančevine, skrob, celuloza, nukleinske kiseline i dr. O njima će biti govora u poglavlju "Hemijski sastav živih bića"



## Rezime

U ovom poglavlju upoznali smo se sa hemijskim osobinama važnih organskih jedinjenja.

Alkani /ili parafini/ su zasićeni ugljovodonici /jedinjenja koja se sastoje samo od vodonika i ugljenika/ i alifatična jedinjenja, čija je opšta formula  $C_nH_{2n+2}$

Alkeni /olefini/ su nezasićeni ugljovodonici koji sadrže po jednu **dvostruku** /dvogubu/ vezu između susednih ugljenikovih atoma. Grade homologni niz opšte formule  $C_nH_{2n}$ .

Alkini su nezasićeni ugljovodonici koji sadrže **trostruku** /trogubu/ vezu između susednih ugljenikovih atoma. Njihova opšta formula je  $C_nH_{2n-2}$ .

Alkoholi su organska jedinjenja koja u molekulima sadrže jednu ili više hidroksilnih grupa. Dele se na monohidroksilne i polihidroksilne alkohole. Opšta formula monohidroksilnih alkohola je  $C_nH_{2n+1}OH$ .

Aldehidi su jedinjenja koja sadrže aldehidnu grupu /-CHO/. Njihova opšta formula je  $C_nH_{2n+1}CHO$ .

Ketoni su organska jedinjenja koja u svom sastavu imaju keto grupu /=C=O/ za koju su vezana dva druga ugljenikova atoma.

Monokarbonske kiseline su organska jedinjenja koja sadrže jednu karboksilnu grupu /-COOH/ u svojim molekulima. Oni grade homologni niz opšte formule  $C_nH_{2n+1}COOH$ . Samo jedna kiselina se ne uklapa u ovu opštu formulu a to je mravlja kiselina /HCOOH/.

Estri su jedinjenja čija je opšta formula  $RCOOR'$  gde su R i R' alkil radikali.

Polimeri imaju vrlo duge molekule a proces njihovog stvaranja se zove polimerizacija. Postoje dva tipa polimerizacije. To su adicione i kondenzaciona polimerizacija.

## Pitanja

1. Hemijske osobine alkana
2. Alkeni – reakcije adicije
3. Hemijske osobine alkina
4. Alkoholi – osnovne karakteristike
5. Hemijske osobine monohidroksilnih alkohola
6. Polihidroksilni alkoholi
7. Aldehidi – opšte karakteristike
8. Hemijske osobine aldehida
9. Ketoni
10. Osobine monokarbonskih kiselina
11. Estri
12. Polimerizacija
13. Sintetska visokomolekularna jedinjenja

## Literatura

1. K. P. C. Volhart, N. Šor: Organska hemija - struktura i funkcija, Data status, Nauka, Beograd 2004
2. John McMurry: Organic Chemistry, 7th edition, Brooks Cole, 2007
3. Brown, W. H., Poon, T., & Poon, T. Introduction to organic chemistry (Vol. 7). Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2014.

## 4. HEMIJSKI SASTAV BILJNIH I ŽIVOTINJSKIH ORGANIZAMA



Cilj ovog poglavlja je upoznavanje studenata sa jedinjenjima koja ulaze u sastav biljnih i životinjskih organizama.

## 4.1. Hemijski sastav živih bića

Živa bića predstavljaju poseban oblik postojanja materije. Njihova osnovna svojstva su: razmena materije i energije sa spoljašnjom sredinom, rastenje i razviće, iritabilitet /osetljivost na nadražaje spoljašnje sredine/ i reprodukcija.

U sastav svih živih bića /od jednoćelijskih organizama pa do najkrupnijih predstavnika biljnog i životinjskog sveta/ ulaze mnogobrojni elementi i to u obliku raznih jedinjenja. Elementi koji se redovno sreću /nalaze/ u svim organizmima su: O, H, C, N, S, P, Ca, Mg, K, Na, Cl, Fe, Mn, Zn, Cu, Co, I.

U sledećoj tabeli je prikazan sadržaj nekih elemenata u organizmu životinje.

Tabela 4.1. Sadržaj elemenata u živim bićima

Element	u %	Element	u %
kiseonik	62,43	natrijum	0,08
ugljenik	21,15	magnezijum	0,027
vodonik	9,86	jod	0,014
azot	3,10	fluor	0,009
kalcijum	1,90	gvožđe	0,005
fosfor	0,95	cink	0,003
kalijum	0,23	brom	0,002
sumpor	0,08	silicijum	0,001
hlor	0,08	bakar	0,00015

Iz tabele 4.1. se vidi da u životinjskom organizmu najviše ima kiseonika, ugljenika, vodonika i azota, dok je najmanji sadržaj takozvanih mikroelemenata kao što su jod, fluor, gvožđe, cink i bakar.

Elementarni sastav organizma zavisi od vrste životinje. Tako je utvrđeno da žaba ima 7,38, mačka 20,50 a miš 10,77% C. Elementi koji ulaze u sastav životinjskih organizama nisu podjednako zastupljeni u svim organima. Tako se jod nagomilava u štitnoj žlezdi, cink u polnim organima, fluor u kostima i zubima, a silicijum u dlaci.

Od brojnih jedinjenja koja ulaze u sastav životinjskih organizama najznačajnija su sledeća: voda, belančevine, masne materije, ugljeni hidrati, nukleinske kiseline, razne soli i dr.

Voda sačinjava u životinjskom organizmu oko 2/3 težine tela. Međutim, ona nije podjednako zastupljena u raznim tkivima i organima životinjskog organizma. Ovo se može videti iz sledeće tabele.

Tabela 4.2. Sadržaj vode u tkivima živih bića

Tkivo	Sadržaj vode u %
zubi	10
masno tkivo	30
jetra	74
srce	79
bubrezi	83
koža	72
mišići	76
krv	79

Najveće količine vode se nalaze u bubrezima, srcu i jetri, dok je sadržaj vode najmanji u zubima /oko 10%/. Mladi organizmi imaju više vode nego stariji. Voda je u organizmu životinja najvećim delom vezana za različita jedinjenja. Od svih organskih jedinjenja koja ulaze u sastav životinjskih organizama belančevine /proteini/ vezuju najveće količine vode.

Sva jedinjenja koja ulaze u sastav životinja dele se u tri grupe:

- ✧ primarna jedinjenja /belančevine, šećeri, masti, voda, soli/
- ✧ sekundarna jedinjenja /proizvodi metabolizma primarnih/
- ✧ bioaktivatori /hormoni, vitamini, enzimi/

Hemijski elementi koji ulaze u sastav biljaka se dele u grupu **neophodnih** i **korisnih** elemenata. Neophodni elementi su oni bez kojih biljka ne može da završi svoj životni ciklus, dok su korisni elementi oni bez kojih biljka može da živi ali koji, ako su prisutni u optimalnim količinama, ispoljavaju pozitivne efekte na životne procese. Neophodni elementi se u zavisnosti od potrebnih količina za ishranu biljaka dele u dve grupe. To su **makroelementi** i **mikroelementi**. U makroelemente spadaju: C, H, O, N, P, K, S, Ca i Mg, dok su mikroelementi: Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo i Co. O ulozi pojedinih neophodnih elemenata u ishrani biljaka biće govora u poglavlju iz fiziologije biljaka.

U tabeli je prikazan elementarni sastav biljke kukuruza.

Tabela 4.3. Sastav biljke kukuruza

<b>Element</b>	<b>sadržaj u %</b>
kiseonik	44,43
ugljenik	43,57
vodonik	6,24
ukupno O,C,H	94,24
azot	1,459
fosfor	0,203
kalijum	0,921
kalcijum	0,227
magnezijum	0,179
sumpor	0,167
gvožđe	0,083
silicijum	0,172
aluminijum	0,107
hlor	0,135
mangan	0,035
ostali	0,933

Kao što se iz tabele 4.3. vidi u biljci kukuruza najviše ima kiseonika, ugljenika i vodonika. Njihov zbirni sadržaj iznosi oko 94%. Najmanji je sadržaj mikroelemenata kao što su mangan i ostali elementi.

Od svih jedinjenja koja ulaze u sastav svežeg biljnog materijala najviše ima vode /80%/. U sastav suve materije biljaka organske materije učestvuju sa 95%, dok su mineralne materije ili pepeo prisutne u količini od 5%.

U najznačajnija organska jedinjenja biljaka ubrajaju se ugljeni hidrati, proteini i masti /ulja/. Za ovo ima puno opravdanja pošto su ova jedinjenja najvažniji sastojci kako po procentualnom učešću, tako i po svom značaju za strukturu i funkciju organizma.

## 4.2. Ugljeni hidrati

Ugljeni hidrati predstavljaju vrlo značajnu grupu prirodnih organskih jedinjenja koja su prisutna u svim živim bićima. Oni imaju veliki značaj u energetskom, strukturnom i funkcionalnom pogledu.

Ugljeni hidrati obezbeđuju neophodnu energiju organizmu za razne životne procese i učestvuju u sintezi mnogih bioloških značajnih jedinjenja. Neki ugljeni hidrati /celuloza/ ulaze u sastav ćelijskog zida.

Naziv ugljeni hidrati su dobili zbog toga što se kod većine jedinjenja iz ove grupe elementi vodonik i kiseonik nalaze u istom odnosu kao u vodi /2:1/. Na ovo ukazuju molekulske formule mnogih ugljenih hidrata. Na primer, glukoza ima formulu  $C_6H_{12}O_6$ , saharoza  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , skrob  $(C_6H_{10}O_5)_n$  itd. Međutim, ima ugljenih hidrata kod kojih ne važi ovo pravilo. To je slučaj sa šećerom ramnozom čija je formula  $C_6H_{12}O_5$ .

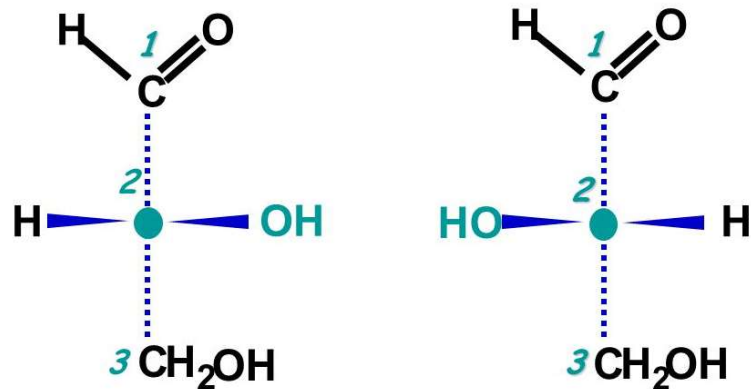
Ugljeni hidrati se prema veličini molekula dele u tri grupe:

- ◆ monosaharide
- ◆ oligosaharide
- ◆ polisaharide

**Monosaharidi** ili prosti šećeri imaju najmanje molekule i oni se hidrolizom ne mogu razložiti na jednostavnije ugljene hidrate. Prema broju ugljenikovih atoma u molekulu dele se na **trioze** /3C/, **tetroze** /4C/, **pentoze** /5C/, **heksoze** /6C/ itd do **nanoza** koje sadrže devet ugljenikovih atoma.

Pored ugljenikovih atoma u sastav monosaharide ulaze **vodonikovi atomi**, **hidroksilne grupe** i **aldehidna** ili **keto** grupa. Oni monosaharidi koji sadrže aldehidnu grupu nazivaju se **aldozama**, dok su monosaharidi u čiji sastav ulazi keto grupa **ketoze**.

Najprostiji monosaharidi su bioza glikolaldehid ( $CH_2OH-CHO$ ) i trioza gliceraldehid koji ima jedan asimetričan ugljenikov atom pa se javlja u dva izomerna oblika L i D. Asimetričan ugljenikov atom je onaj za koga su vezane četiri različite grupe. Gliceraldehid služi kao osnova za određivanje konfiguracije ostalih monosaharida. Strukture L- i D-gliceraldehida su prikazane na sledećoj slici.

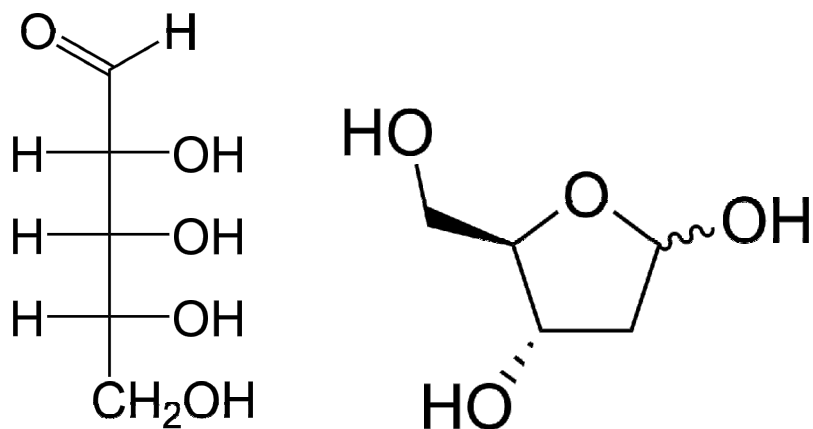


Slika 4.1. Strukture L-gliceraldehida (a) i D-gliceraldehida (b)

Inače, broj izomernih oblika nekog monosaharida iznosi  $2^n$  /n je broj asimetričnih C atoma/. Polovina izomera ima D- a druga polovina L-konfiguraciju. Jedna od značajnih osobina monosaharida je optička aktivnost /sposobnost obrtanja ravni polarizovane svetlosti/. Ona je uslovljena prisustvom asimetričnih C atoma u njihovim molekulima. Veličina optičke aktivnosti se meri uglom skretanja polarizovane svetlosti pomoću polarimetra.

Trioze ( $C_3H_6O_3$ ) i tetroze ( $C_4H_8O_4$ ) se javljaju kao međuproizvodi procesa fotosinteze i to u obliku estara sa fosfornom kiselinom.

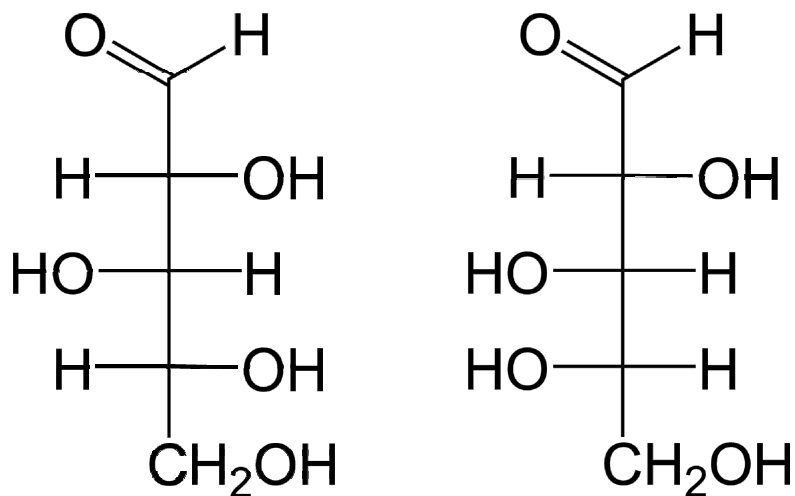
Od svih monosaharida u prirodi su najrasprostranjenije **heksoze**, pa za njima **pentoze**. Pentoze imaju molekulsku formulu  $C_5H_{10}O_5$  i one ulaze u sastav visokomolekularnih jedinjenja pentozana koji su dosta rasprostranjeni u biljnom svetu. Od svih pentoza najveći značaj imaju **riboza** i **dezoksiriboza** pošto su one sastavne komponente nukleinskih kiselina /DNK i RNK/. Strukturne formule riboze i dezoksiriboze prikazane su dole niže.



Slika 4.2. Strukture D-riboze i 2-dezoksi-D-riboze



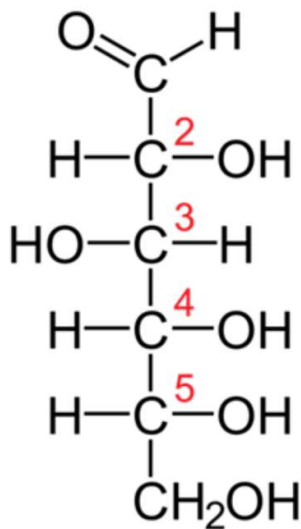
Od predstavnika pentoza pomenućemo još šećere **arabinozu** i **ksilozu**.



Slika 4.3. Strukture D-ksiloze i L-arabinoze

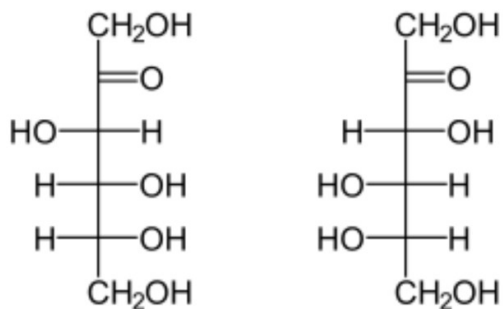
Najznačajniji predstavnici heksoza su glukoza i fruktoza.

**Glukoza** /groždani šećer/ spada u aldoze pošto sadrži aldehidnu grupu u svom molekulu. Ona predstavlja jedan od osnovnih izvora energije u organizmu. U prirodi se nalazi kako u slobodnom /u plodovima mnogih biljaka, npr. grožđe i jabuke/ tako i u vezanom stanju. Glukoza je gradivna komponenta mnogih disaharida /saharoza, maltoza, celobioza/ i polisaharida /skrob, celuloza/. Šećer glukoza spada u optički aktivne supstance i kao takva obrće ravan polarizovane svetlosti udesno. Zbog toga se zove **dekstroza**. Njena strukturna formula prikazana je na slici 4.4.



Slika 4.4. Struktura glukoze

**Fruktoza** /voćni šećer/ ima istu molekulsku formulu kao i glukoza, ali je razlika u strukturalnoj formuli pošto ona sadrži keto grupu i samim tim pripada **ketozama**.



Slika 4.5. Struktura fruktoze (D- i L-)

Fruktoza se nalazi u voćnim sokovima, nektaru i medu, zatim kao komponenta saharoze, rafinoze i inulina. I ona je optički aktivna supstanca s tim što obrće ravan polarizovane svetlosti ulevo /**levuloza**/.

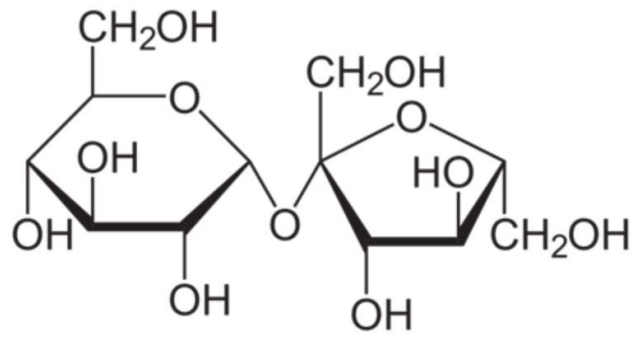
Ostale heksoze kao što su galaktoza i manozna se uglavnom nalaze u vezanom stanju.

**Oligosaharidi** imaju veće molekule od monosaharida. Oni se sastoje od nekoliko monosaharida koji su međusobno povezani glikozidnom vezom /veza preko kiseoničnog mosta/.

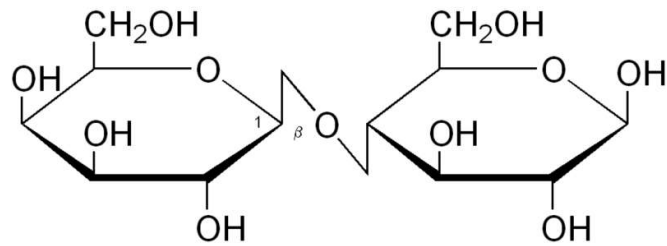
Oligosaharidi se bolje definišu nazvima kao što su disaharid, trisaharid, tetrasaharid itd. Maksimalni broj monosaharida koji ulazi u sastav oligosaharida je ograničen na 10. Od disaharida najznačajniji su saharoza, laktoza i celobioza.

**Saharoza** (slika 4.6.) ima molekulsku formulu  $C_{12}H_{22}O_{11}$  i veoma je rasprostranjena u biljnom svetu. Sastoji se od *glukoze* i *fruktoze* i predstavlja važan prehrambeni proizvod. Saharoza se nalazi u šećernoj repi i šećernoj trsci pa se iz njih uglavnom dobija. Sadržaj saharoze u današnjim sortama šećerne repe je i preko 20%.

**Laktoza** (slika 4.7) je disaharid koji pri hidrolizi daje dva monosaharida: *glukozu* i *galaktozu*. Pošto se nalazi u mleku sisara zove se mlečni šećer.

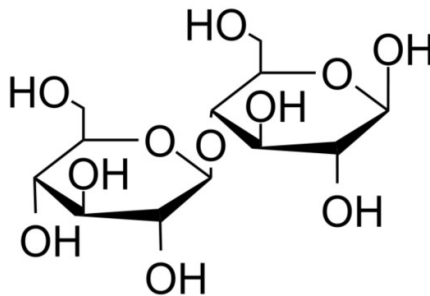


Slika 4.6. Struktura saharoze



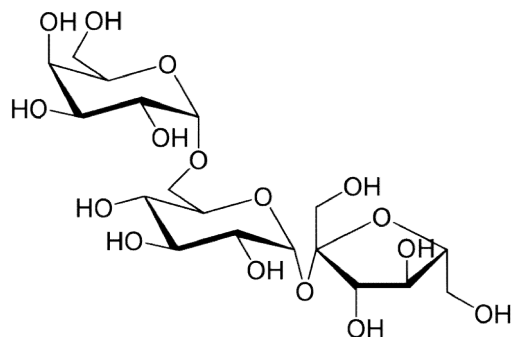
Slika 4.7. Struktura laktoze

**Celobioza** (slika 4.8) je disaharid koji se sastoji od dva molekula *glukoze*. Ona je osnovna strukturna jedinica polisaharida celuloze.



Slika 4.8. Struktura celobioze

Od trisaharida pomenućemo **rafinozu** (slika 4.9) koja se sastoji iz *glukoze*, *fruktoze* i *galaktoze*. Ona se nalazi u maloj količini u semenu pamuka, melasi itd.

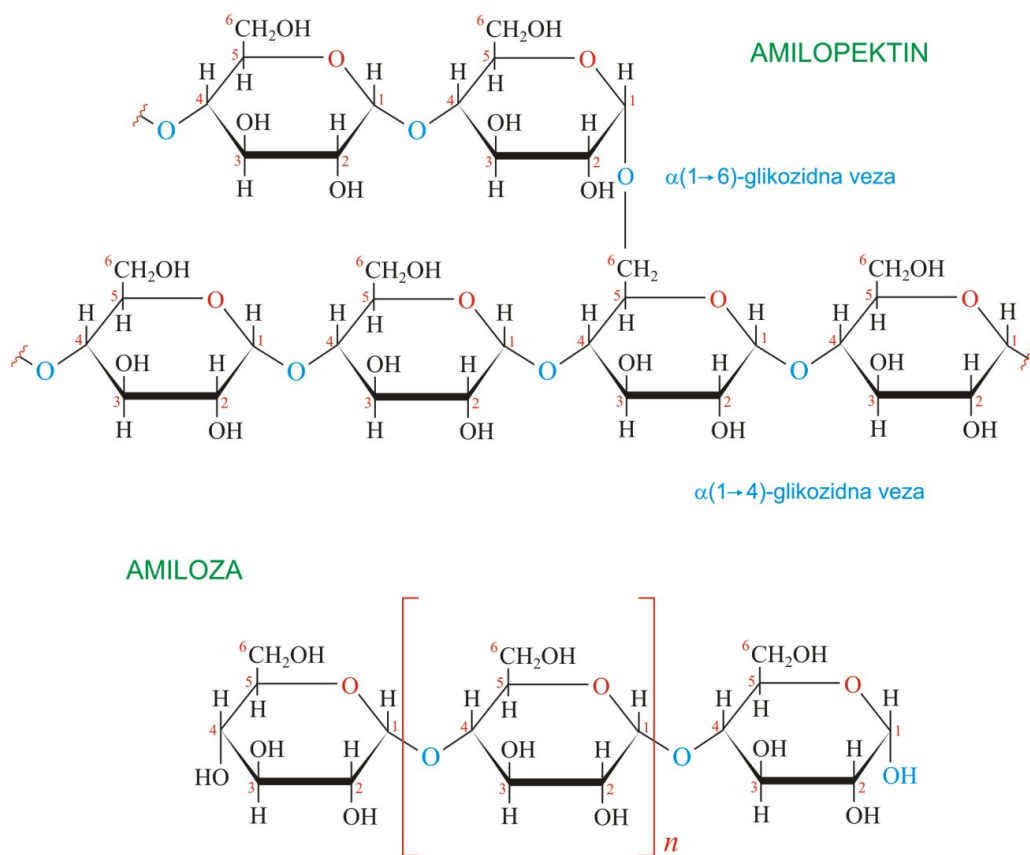


Slika 4.9. Struktura rafinoze

**Polisaharidi** su ugljeni hidrati koji se sastoje iz velikog broja monosaharida vezanih preko kiseoničnih mostova /glikozidne veze/. Njihove molekulske mase mogu da iznose i preko 100.000. Polisaharidi su veoma rasprostranjeni u prirodi i imaju veliki značaj za živi svet. Najvažniji predstavnici polisaharida su skrob, celuloza, glikogen i inulin. Oni su u stvari **polihexozani** /prirodni polimeri koji se sastoje od heksoza kao monomera/ i njihova opšta formula je  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , gde je n veliki broj. Skrob, glikogen i inulin su tipične rezervne supstance koje služe organizmu za ishranu. Celuloza je tipična skeletna supstanca. Naime, ona je glavna komponenta membrane živih ćelija biljaka.

**Skrob** je prvi vidljivi proizvod procesa fotosinteze, procesa pomoću koga biljke iz neorganskih supstanci /ugljen dioksida i vode/ u prisustvu sunčeve svetlosti stvaraju organsku materiju.

Skrob se sastoji iz dva polisaharida: *amiloze* i *amilopektina*, koji su izgrađeni od velikog broja molekula glukoze (slika 4.10). Skrob se nakuplja u različitim biljnim organima. U semenu svih biljaka se nalaze znatne količine skroba koji je rezervna materija i koji se koristi kao izvor energije pri klijanju.



Slika 4.10. Struktura amuloze i amilopektina

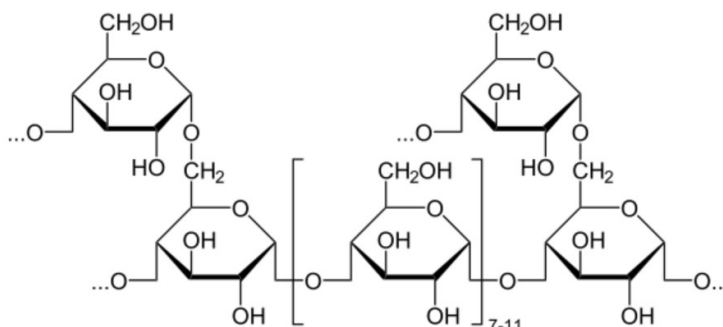
Najveće rezerve skroba nalaze se u semenu žitarica i krtolama krompira, iz kojih se industrijski proizvodi. On se u biljkama nalazi u obliku zrna koja imaju različitu veličinu i oblik. Skrob se ne rastvara u hladnoj vodi, ali u njenom prisustvu bubi i pri tome apsorbuje 40% vode. Međutim, ako se skrob stavi u vodu koja je zagrejana na temperaturi od 60 do 80°C jedan deo skroba će se rastvoriti /amiloza/, dok će drugi deo ostati kao talog /amilopektin/.

Za skrob je karakteristično da reaguje sa jodom pri čemu se stvara kompleks plave boje. Ova reakcija može poslužiti za njegovo dokazivanje u raznim uzorcima biljnog materijala /npr. u krtolama krompira/.

Skrob podleže hidrolizi u prisustvu enzima /bioloških katalizatora/ i pri tome se kao krajnji proizvod dobija maltoza /disaharid koji se sastoji iz dva molekula glukoze/ odnosno glukoza. Međuproizvodi hidrolize skroba nazivaju se **dekstrinima** i oni se javljaju u obliku belog ili žutog amornog praha.

**Glikogen** (slika 4.11) je životinjski skrob koji se nalazi u jetri i drugim organima čoveka i životinja. Pri potpunoj hidrolizi glikogena nastaje veliki broj molekula glukoze. Kao

što smo ranije istakli on spada u tipične rezervne supstance koje služe čovečijem ili životinjskom organizmu za ishranu.



Slika 4.11. Struktura glikogena

**Inulin** je polisaharid čijom se hidrolizom uglavnom dobija fruktoza i oko 2-3% glukoze. Inulin se nalazi u korenju biljaka kompozita, na primer, u georgini, maslačku, cikoriji i jerusalimskoj artišoki. On se rastvara u toploj vodi, ali ne gradi lepak.

**Celuloza** je najrasprostranjeniji polisaharid u prirodi i glavni je sastojak ćelijskog zida kod biljaka. Zidovi ćelija mladih biljaka izgrađeni su, uglavnom, od celuloze, dok se kod starijih biljaka u ćelijskim zidovima nalaze i neke druge supstance (lignin, hemiceluloza i dr.). U hemijskom pogledu slična je škrobu jer je i ona izgrađena od molekula glukoze.

Makromolekuli celuloze su u obliku niti tako da ona ima vlaknastu strukturu. Celuloza se ne rastvara u vodi i sličnim rastvaračima, ali se zato rastvara u amonijačnom rastvoru bakar (II) hidroksida /Švajcerov reagens/. Drvo sadrži oko 50% celuloze, pa je zato osnovna industrijska sirovina za dobijanje ovoga polisaharida. Od celuloze se dobija hartija, celofan, viskoza, veštačka svila i dr.

### 4.3. Organske kiseline

Organske kiseline su neophodan sastojak biljnih ćelija. One sadrže jednu ili više karboksilnih grupa pa su, prema tome, podeljene na jednobazne i višebazne kiseline.

Većina kiselina je dobila imena po biljkama iz kojih su izolovane. Organske kiseline imaju značajnu ulogu u metabolizmu biljnih ćelija jer su one prekursori /polazne supstance/ za

sintezu mnogih organskih supstanci. Sadržaj organskih kiselina je najveći u nezrelim plodovima i listovima. Od raznih organskih kiselina koja ulaze u sastav biljaka pomenućemo sledeće.

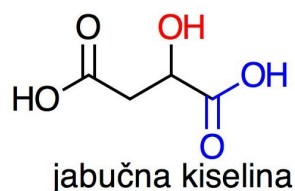
**Oksalna kiselina** je najjednostavniji predstavnik organskih kiselina sa dve karboksilne grupe.

Njena formula je COOH i spada u otrovne supstance.



Oksalna kiselina je vrlo rasprostranjena u biljnom svetu i to najčešće u obliku soli /**oksalata**/ sa kalcijumom i kalijumom. Kalcijum oksalat se najviše nakuplja u starijim listovima, kori i semenu. Oksalna kiselina se koristi za bojadisanje u kožarstvu, za čišćenje mrlja na tkaninama i dr.

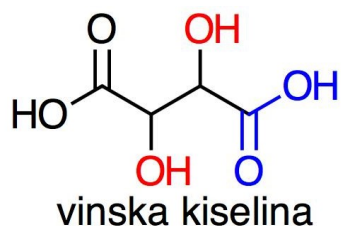
**Jabučna kiselina** /monohidroksi-ćilibarna kiselina/ je prvi put izolovana iz divljih jabuka i ima sledeću formulu:



Slika 4.12. Jabučna kiselina, struktura

Soli jabučne kiseline zovu se **malati**. Jabučna kiselina je prisutna u većim količinama u nezrelim plodovima voća, i u lišću duvana. Dobija se ekstrakcijom iz biljaka i sintetičkim putem. Koristi se kao dodatak voćnim sokovima, a našla je primenu i u medicini.

**Vinska kiselina** (slika 4.13) se nalazi u plodovima voća s tim što je najviše ima grožđe. Ona je dvobazna kiselina pošto sadrži dve karboksilne grupe u molekulu. Strukturna formula vinske kiseline izgleda ovako:



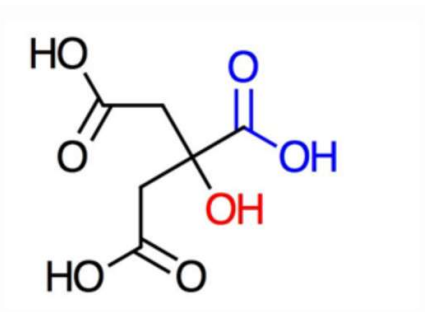
Slika 4.13. Vinska kiselina, struktura

Soli vinske kiseline nazivaju se **tartarati**. Vinska kiselina se najviše koristi za proizvodnju bombona, bezalkoholnih i nekih alkoholnih pića.

**Limunska kiselina** (slika 4.14) spada u mono-oksi-trikarbonske kiseline. Ovo se lako može zaključiti na osnovu njene strukturne formule.

Soli limunske kiseline zovu se **citrati**. Limunska kiselina se nalazi u limunu (5-7%), narandži, ananasu, ribizlama, a u malim količinama je ima u mleku. Ona se koristi u proizvodnji bezalkoholnih pića, pri bojenju tkanina i u farmaceutskoj industriji.

Pored gore pomenutih kiselina u organske kiseline biljnog porekla spadaju ćilibarna, sirćetna, askorbinska i razne druge kiseline.



Slika 4.14. Limunska kiselina, struktura

#### 4.4. Lipidi

Lipidi predstavljaju heterogenu grupu organskih jedinjenja čija je zajednička osobina nerastvorljivost u vodi, a rastvorljivost u organskim rastvaračima kao što su dietil etar, hloroform, alkohol, ugljen disulfid, benzol, i dr. Prema složenosti lipidi se dele na **proste** i **složene**.

Lipidi se nalaze u ćelijama svih živih bića. Prosti lipidi /trigliceridi/ su u hemijskom pogledu estri trohidroksilnog alkohola glicerina i viših masnih kiselina. Njihova opšta formula je:





$R_1$ ,  $R_2$  i  $R_3$  predstavljaju radikale viših masnih kiselina. Masne kiseline koje ulaze u sastav triglicerida se dele na **zasićene** i **nezasićene** kiseline. Od zasićenih masnih kiselina najzastupljenije su **palmitinska**  $/C_{16}H_{32}O_2/$  i **stearinska kiselina**  $/C_{18}H_{36}O_2/$ , dok od nezasićenih kiselina količinski preovlađuju **oleinska**  $/C_{18}H_{34}O_2/$ , **linolna**  $/C_{18}H_{32}O_2/$  i **linolenska** kiselina  $/C_{18}H_{30}O_2/$ . Oleinska kiselina sadrži jednu, linolna dve i linolenska tri dvogube veze u molekulu.

Ako u sastavu prostih lipida preovlađuju zasićene masne kiseline onda su oni na sobnoj temperaturi u čvrstom ili polučvrstom stanju. To je slučaj sa animalnim trigliceridima /mastima/. Trigliceridi koji se nalaze u biljkama /ulja/ sadrže veće količine nezasićenih masnih kiselina pa su na sobnoj temperaturi u tečnom stanju.

Masti imaju veliku ulogu u životinjskom organizmu. One imaju veću kaloričnu vrednost od ugljenih hidrata i proteina. Naime, ugljeni hidrati pri sagorevanju daju po gramu oko 16,74 kJ, proteini oko 17,15 kJ, a masti oko 38,9 kJ. Podkožna masna tkiva čuvaju organizam od hladnoće pošto su masti loši provodnici toplote.

U mastima se rastvaraju rastvaraju vitamini A, D, E i K. Kao što smo ranije istakli trigliceridi u kojima dominiraju nezasićene masne kiseline se nalaze u biljkama. Prosečan sadržaj ulja u semenu i plodovima nekih važnijih poljoprivrednih kultura prikazan je u tabeli 4.4.

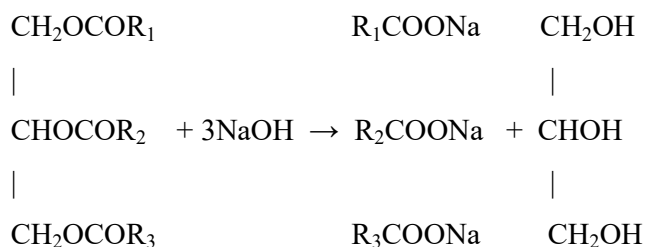
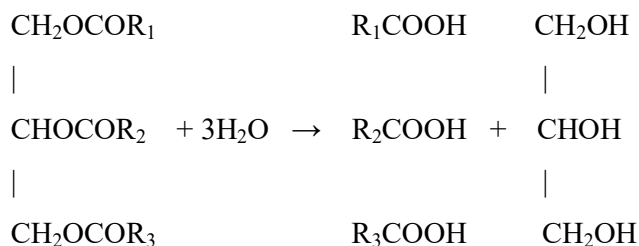
Tabela 4.4. Prosečan sadržaj ulja u poljoprivrednim kulturama

Biljka	ulje u %	Biljka	ulje u %
soja	20	mak	45
kikiriki	49	maslina	50
lan	29	kukuruz	5
konoplja	30	pšenica, raž	2
pamuk	23	pasulj	2
gorčica	29-36	grašak	2

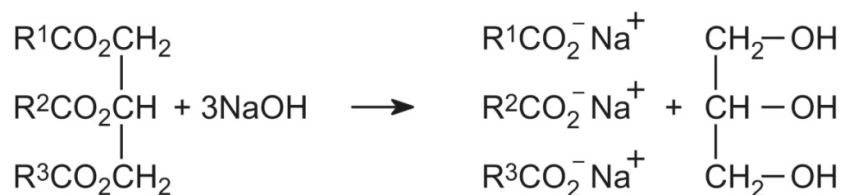
Od navedenih biljaka najveći sadržaj ulja imaju maslina i kikiriki, dok je sadržaj ulja u grašku i pasulju najmanju (2%).

Masti i ulja se ne rastvaraju u vodi, ali se zato rastvaraju u raznim organskim rastvaračima. Međutim, pod određenim uslovima masti sa vodom daju emulzije, disperzne sisteme dveju tečnosti koje se ne mešaju. Masti i ulja imaju manju specifičnu težinu od vode pa zato plivaju na njenoj površini.

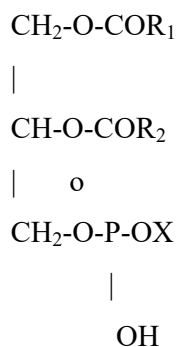
Jedna od vrlo važnih osobina masti i ulja je ta da se one hidrolizuju u prisustvu kiselina, enzima ili alkalija u slobodne masne kiseline ili njihove soli i trohidroksilni alkohol glicerol. Reakcije hidrolize masti i ulja prikazane su sledećim jednačinama:



Reakcija hidrolize masti i ulja pod dejstvom alkalija (baza) naziva se **saponifikacija**. Soli alkalnih metala i masnih kiselina nazivaju se sapunima. Natrijumove soli masnih kiselina javljaju se kao čvrst sapun, a kalijumove soli kao tečan sapun.



Složeni lipidi imaju neobično važnu ulogu u strukturi i funkciji ćelija i protoplazmi. Oni učestvuju u regulisanju propustljivosti ćelija za brojna jedinjenja i jone u toku njihovog kretanja kroz tkiva ili u toku metabolizma. Od složenih lipida vrlo dobro su poznati **fosfolipidi** ili **fosfatidi**, čija je opšta formula:



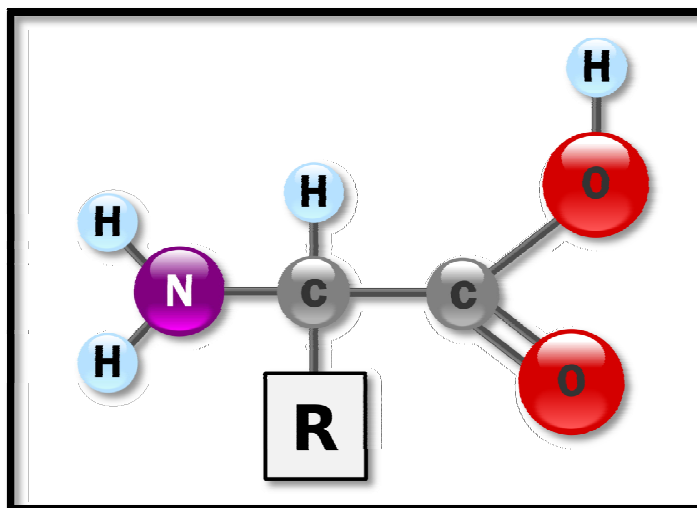
gde su  $R_1$  i  $R_2$  radikali viših masnih kiselina, a X ostatak neke organske baze.

U fosfatide spadaju **kefalini** gde je azotna baza kolamin /etanolamin/ i **lecitini** kod kojih je azotna baza holin. Etanolamin je derivat etanola čija je formula  $H_2NCH_2CH_2OH$ , dok je formula holina  $HOCH_2CH_2N(CH_3)_3$ . Ova jedinjenja su po osobinama slična trigliceridima. Fosfatidi su veoma rasprostranjeni u prirodi i nalaze se u biljnim i životinjskim ćelijama.

Najviše ih ima u mozgu, kičmenoj moždini, žumancetu i soji. Fosfatidi se u velikoj količini dobijaju pri preradi sojinog ulja, a koriste se kao emulgatori.

U derivate lipida spadaju jedinjenja kao što su glicerin, steroli i drugi steroidi, masni aldehidi i druga jedinjenja.

#### 4.5. Amino-kiseline



Slika 4.15. Struktura amino-kiselina

Amino-kiseline (slika 4.15) predstavljaju značajnu klasu organskih jedinjenja u čiji sastav ulaze dve funkcionalne grupe: **amino grupa**,  $NH_2$ , i **karboksilna grupa**,  $COOH$ . Prema položaju ove dve funkcionalne grupe podeljene su na  **$\alpha$** ,  **$\beta$**  i  **$\gamma$ -amino-kiseline**.  $\alpha$ -amino-kiseline imaju najveći značaj jer su od njih izgrađene belančevine koje predstavljaju najvažniji sastojak žive materije. Ove amino-kiseline sadrže amino grupu na prvom ugljenikovom atomu do karboksilne grupe. Do sada je utvrđeno da se u prirodi nalazi više od pet stotina amino-kiselina, ali samo 20  $\alpha$ -amino-kiselina izgrađuju proteine svih vrsta, počev od najprostijih organizama pa do čoveka.

Prema svojoj hemijskoj strukturi prirodne amino-kiseline mogu se podeliti u sledeće grupe:

I. Monoamino-monokarbonske kiseline

a) alifatične

b) aromatične

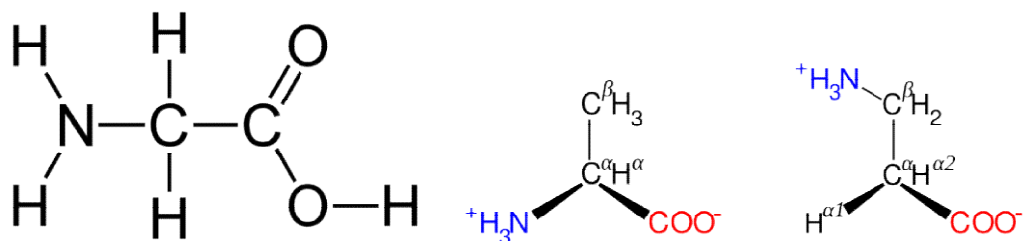
II. Monoamino-dikarbonske kiseline

III. Diamino-monokarbonske kiseline

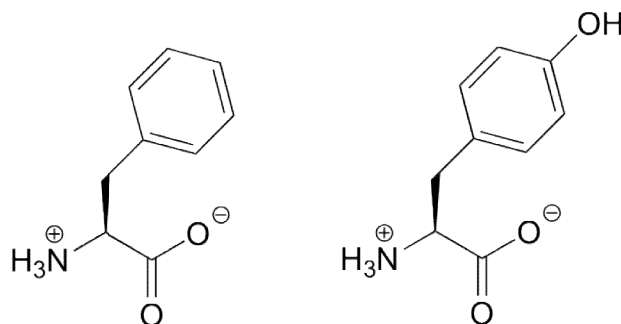
IV. Heterociklične kiseline

Obim ovoga udžbenika iz Agrikulturne hemije nam ne dopušta da prikazemo sve predstavnike gore navedenih grupa amino-kiseline. Zato ćemo dati po dva primera za svaku od grupa prirodnih amino-kiselina.

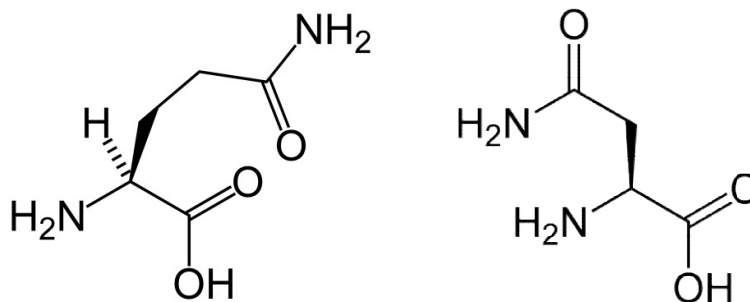
U **alifatične monoamino-monokarbonske** kiseline spadaju glicin /glikokol/ i alanin:



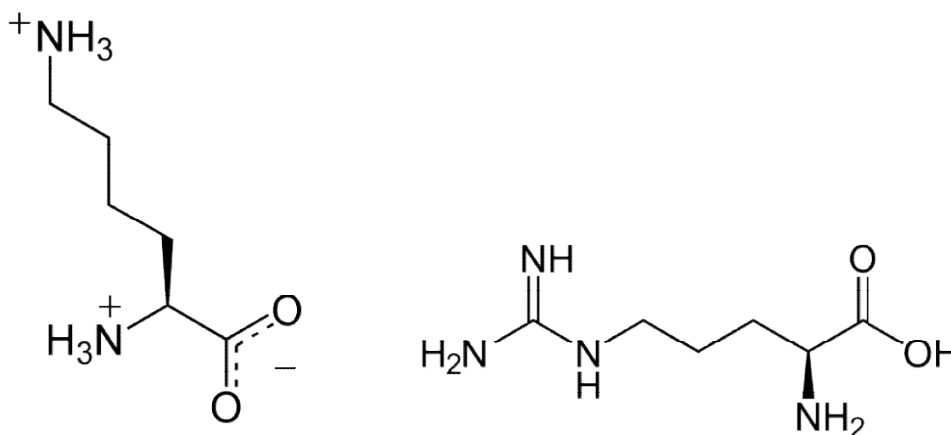
U **aromatične monoamino-monokarbonske** kiseline spadaju fenilalanin i tirozin:



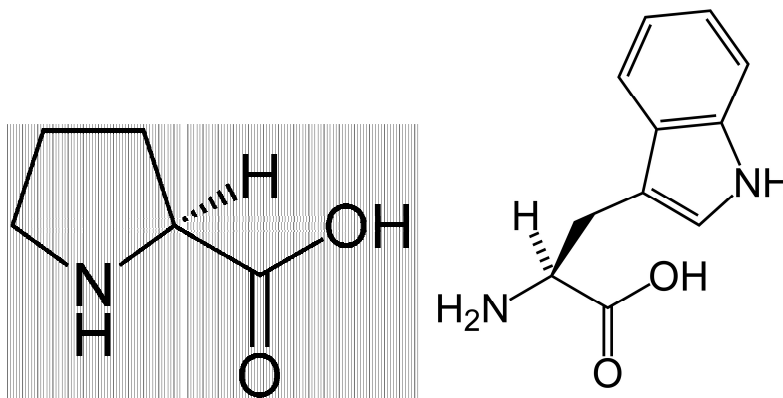
U **monoamino-dikarbonske** kiseline spadaju glutaminska i asparaginska kiselina:



Predstavnici **diamino-monokarbonskih** kiselina su lizin i arginin:



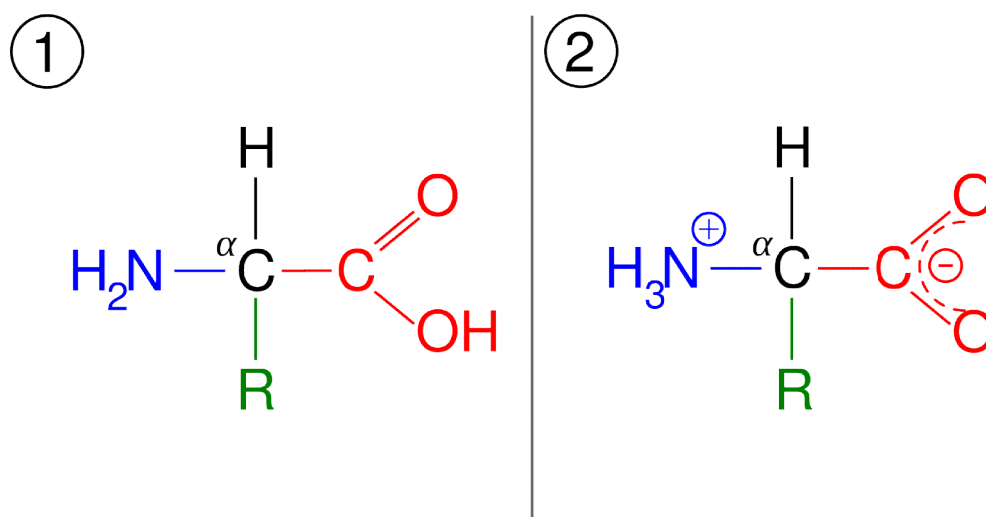
Predstavnici **heterocikličnih** amino-kiselina su prolin i triptofan:



Heterociklična jedinjenja su ona koja sadrže ugljenikove atome vezane u obliku prstena s tim što u sastav tog prstena ulaze elementi kao što su azot i kiseonik.

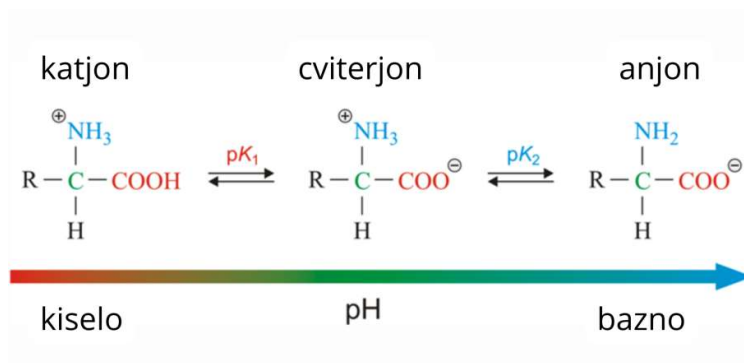
Od 20 prirodnih  $\alpha$ -amino-kiselina njih osam spadaju u takozvane **esencijalne** /neophodne/ amino-kiseline. Njih ne može sintetizovati ni ljudski ni životinjski organizam pa se zato moraju unositi u organizam putem odgovarajućih životnih namirnica. Esencijalne amino-kiseline su: valin, leucin, izoleucin, prolin, fenilalanin, metionin, treonin i lizin.

Prirodne  $\alpha$ -amino-kiseline su kristalne supstance sa relativno visokim tačkama topljenja. One se rastvaraju u vodi, ali se zato ne rastvaraju u organskim rastvaračima kao što su etar, benzin i dr. U biljkama, kao i u drugim živim organizmima, na fiziološkim pH vrednostima, amino-kiseline se nalaze isključivo u obliku dipolarnog jona /“*zwitter*” jona/ koji nastaje disocijacijom karboksilne i protonovanjem amino-grupe. Formula dipolarne strukture amino-kiseline data je na slici 4.13.



Slika 4.13. Formula dipolarnog jona

Vrednost pH pri kojoj se amino-kiselina nalazi u dipolarnom obliku naziva se **izoelektrična tačka**. Amino-kiseline se nalaze u obliku dipolarnog jona pri pH vrednostima koje se kreću od 4 do 9. U kiselom rastvoru amino-kiseline su prisutne kao katjoni, a u alkalnom kao anjoni.

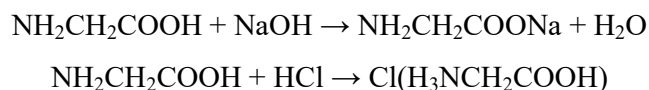


Slika 4.14. Struktura amino-kiselina u zavisnosti od pH

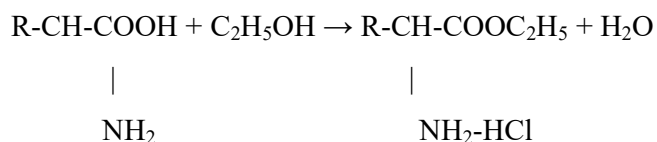
Sem glicina /glikokola/ sve amino-kiseline su optički aktivne supstance. Većina amino-kiselina u vodenom rastvoru obrće ravan polarizovane svetlosti slabo nadesno, dok manji broj obrće svetlost slabo nalevo.

U tekstu koji dalje sledi navešćemo neke od važnijih **hemijskih osobina** amino-kiselina. Inače, hemijske osobine amino-kiselina uslovljene su prisustvom karboksilne i amino grupe; zato one pokazuju i osobine karbonskih kiselina i primarnih amina.

I Amino-kiseline su amfoterna jedinjenja pošto reaguju sa bazama i kiselinama.

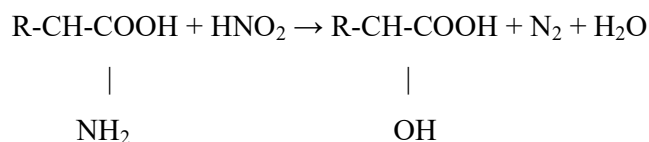


II Amino-kiseline reaguju sa metanolom ili etanolom u prisustvu suve gasovite HCl pri čemu se stvaraju estri amino-kiselina

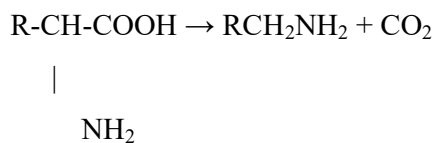


Kao što se iz reakcije vidi, estri se dobijaju u obliku hlorohidrata, odakle se oslobađaju tretiranjem sa alkalijama.

III Pri dejstvu azotaste kiseline na amino-kiselinu oslobađa se azot i nastaje odgovarajuća oksikiselina /kiselina koja sadrži hidroksilnu grupu/.



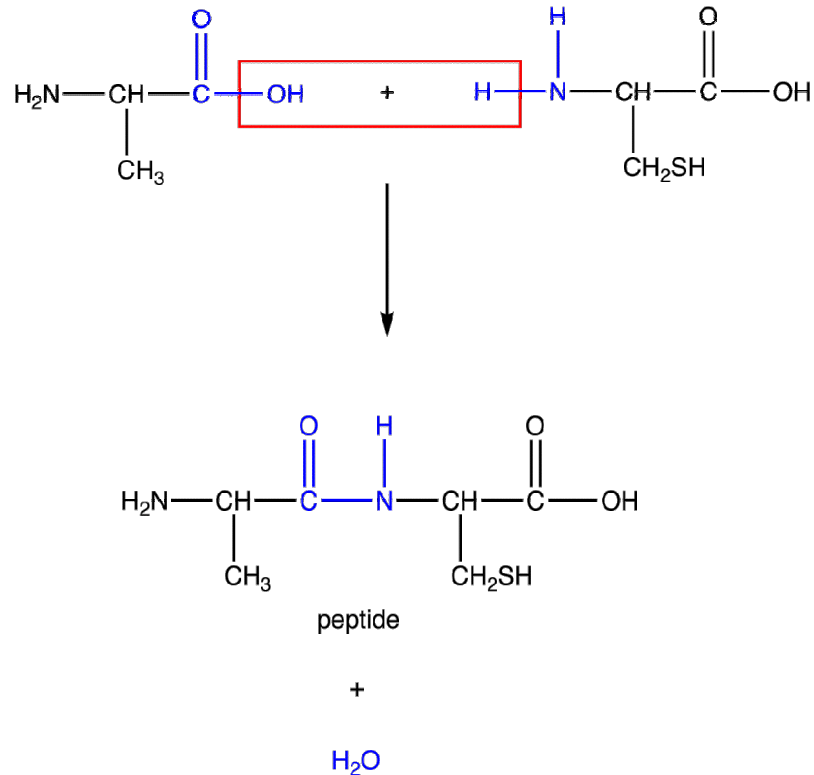
IV Pod uticajem enzima dekarboksilaze amino-kiseline se prevode u odgovarajuće amine.



Amino-kiseline reaguju sa organskim reagensom **ninhindrinom** pri čemu se stvara plava ili ljubičasta boja. Ova reakcija se koristi za njihovo kvalitativno i kvantitativno određivanje.

## 4.6. Belančevine /proteini/

Belančevine su visokomolekularna azotna organska jedinjenja koja su neophodna komponenta svake žive ćelije. Belančevine se sastoje od velikog broja amino-kiselina koje su međusobno povezane peptidnom vezom /-CONH-/. **Peptidna veza** nastaje tako što dolazi do interakcije između amino grupe jedne amino-kiseline i karboksilne grupe druge amino-kiseline pri čemu se oslobađa voda (slika 4.15).



Slika 4.15. Nastanak peptidne veze

Peptidne veze se ne nalaze samo u belančevinama već i u drugim organskim jedinjenjima kao što su **peptidi**. Peptidi se u zavisnosti od broja amino-kiselina koje ulaze u njihov sastav dele na dipeptide, tripeptide i polipeptide. Polipeptidi su veoma slični belančevinama i njihove molekulske mase se kreću do 10.000. Molekuli belančevina nikad se ne sastoje iz jednog već iz nekoliko peptidnih lanaca različite dužine. Ukupan broj ostataka amino-kiselina određuje molekulska masu proteina. Tako, na primer, jedan od najmanjih proteina po veličini je hormon insulin /molekulska masa iznosi 5733/ koji se sastoji iz dva lanca, što ukupno uključuje 51 ostatak amino-kiselina.



Belančevine se dele na proste i složene belančevine u zavisnosti od toga da li pored amino-kiselina sadrže i neku drugu supstancu.

**Proste belančevine** pri hidrolizi daju samo amino-kiseline, dok **složene belančevine** /proteidi/ pored amino-kiselina daju i neku supstancu neproteinske prirode koja se zove prostetična grupa. O složenim belančevinama će biti govora nešto kasnije u tekstu.

Belančevine približno sadrže: 47-50% C; 6-7% H; 24-25% O; 16-17% N i 0,2-0,3% S. Pošto je procenat azota u većini životinjskih belančevina oko 16%, može se iz količine azota u nekom tkivu izračunati i približni procenat belančevina po formuli:

$$P = N \frac{100}{16} = N \cdot 6,25$$

gde je P - procenat belančevine i N - procenat azota

Belančevinama su naročito bogate namirnice životinjskog porekla kao što su meso, mleko i mlečni proizvodi, jaja i dr. One imaju izuzetno važnu ulogu u ishrani čoveka i životinja. Njihova kalorična vrednost je manja od kalorične vrednosti masti i ulja. Međutim, belančevine ili proteini su najvažniji sastojak žive materije i po tome su dobili svoje ime /grčki *proteos* - znači prvi/.

Pored pomenutih namirnica životinjskog porekla i neke biljke su dobar izvor proteina za ishranu. U te biljke spadaju soja, lupina, grašak i pasulj. U tabeli 4.4. je prikazan sadržaj belančevina u raznim kulturnim biljkama.

Tabela 4.5. Sadržaj proteina u raznim biljnim kulturama

Biljka	Sadržaj u %	Biljka	Sadržaj u %
soja-seme	30,8	ječam	9,2
lupina	29,0	rani krompir	3,3
sočivo	23,3	spanać	3,1
grašak	19,8	špargla	2,0
pasulj	18,2	salata	1,0
raž	10,9	paradajz	0,9
kukuruz	8,6	krastavac	0,7

Kao što se iz tabele vidi salata, paradajz i krastavac su vrlo siromašni u belančevinama.

Amino-kiseline koje ulaze u sastav belančevina se mogu međusobno povezati različitim redosledom, tako da može nastati ogroman broj raznih belančevina. Redosled

amino-kiselina u nekoj belančevini nije slučajan i on predstavlja njenu **primarnu strukturu**. Pored primarne strukture kod proteina razlikujemo još **sekundarnu, tercijarnu i kvaternu** strukturu. One ukazuju na način na koji su polipeptidni nizovi smešteni u prostoru. Pored peptidne veze u proteinima postoje disulfidne, vodonične i druge veze.

Proteini su amorfne supstance tj. ne javljaju se u obliku kristala. Neki proteini kao što su, na primer, albumini se rastvaraju u vodi, dok se neki /globulini/ rastvaraju u neutralnim rastvorima soli. Prolamini se rastvaraju u 70-80% etanolu, dok se glutelini rastvaraju u razblaženom rastvoru baza /0,2% NaOH/. Većina belančevina koja se rastvara u vodi pokazuje amfoterne osobine, što znači da reaguju i sa kiselinama i sa bazama.

Belančevine su optički aktivne supstance. Zbog prisustva raznih funkcionalnih grupa /-COOH, -NH<sub>2</sub>, -OH, -SH, -S-S/ proteini su reaktivne supstance.

Značajna osobina proteina je da se oni **koagulišu** pod uticajem toplote /zagrevanjem na oko 60°C/ ili dodavanjem jakih mineralnih kiselina, soli teških metala, formaldehida i drugih taložnih sredstava. Koagulisane /istaložene/ belančevine nemaju više one fizičke, hemijske i biološke osobine koje su imale pre taloženja.

#### **4.7. Složene belančevine /proteidi/**

Kao što smo već istakli složene belančevine ili proteidi sadrže pored amino-kiselina i neku supstancu neproteinske prirode koja se zove prostetična grupa i prema toj supstanci složene belančevine dobijaju svoja imena. Poznate su sledeće složene belančevine:

1. Nukleoproteidi se sastoje iz belančevine i nukleinske kiseline.
2. Hromoproteidi se sastoje iz belančevine i neke obojene materije.
3. Fosfoproteidi su jedinjenja belančevina sa fosfornom kiselinom.
4. Lipoproteidi su jedinjenja masnih materija i belančevina.
5. Glikoproteidi nastaju od supstanci sličnih šećerima i belančevina.

**Fosfoproteidi** sadrže fosfornu kiselinu, uglavnom, u obliku serinfosforne kiseline, odnosno serin fosfata.

Fosfoproteidi se ne koagulišu pri zagrevanju. Najvažniji predstavnik ove vrste proteida je **kazein** iz mleka koji je od velikog značaja za ishranu mladih životinjskih organizama i dece. Kazein se rastvara u rastvorima baza ali se ne rastvara u rastvorima kiselina.

**Hromoproteidi** su složene belančevine koje kao prostetičnu grupu sadrže neku bojenu supstancu. Najvažniji predstavnik je hemoglobin krvi. **Hemoglobin** se sastoji od proteina **globina** i bojene supstance **hematina** /sadrži gvožđe/. Hemoglobin ulazi u sastav crvenih krvnih zrnaca /eritrocita/ i služi kao prenosilac kiseonika u organizmu.

**Glikoproteidi** su složene belančevine koje kao prostetičnu grupu sadrže neki polisaharid vezan za protein preko OH-glikozidne grupe. Najpoznatiji predstavnici glikoproteida su **mucini** koji se nalaze u pljuvački, žuči, želudačnom soku i drugim sluznim sekretima.

**Lipoproteidi** se sastoje iz proste belančevine i fosfatida kao prostetične grupe. Lipoproteidi su rasprostranjeni u prirodi i nalaze se u sastavu ćelijskih opni /naročito u ćelijama centralnog nervnog sistema/.

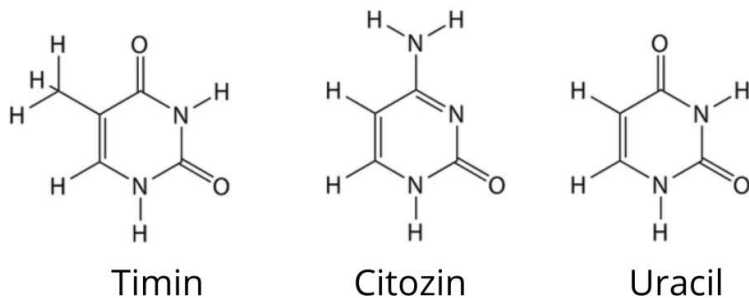
**Nukleoproteidi** su složene belančevine koje se nalaze u jedrima ćelija. Kao prostetičnu grupu sadrže nukleinske kiseline. Najbogatiji izvor nukleoproteida su spermatozoidi, ikra nekih riba, zatim centralni nervni sistem, jetra i slezina. Nukleoproteidi se rastvaraju u rastvorima baza, a ne rastvaraju se u rastvorima kiselina.

## 4.8. Nukleinske kiseline

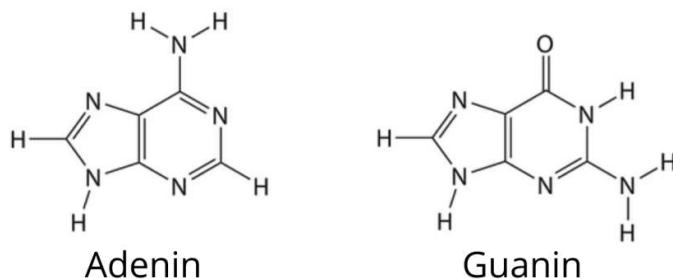
Nukleinske kiseline su neophodne komponente svake žive ćelije. One su sastavljene od vrlo velikog broja jednostavnijih organskih molekula - **nukleotida**. Drugim rečima, nukleinske kiseline su visokomolekularni polimeri nukleotida. Pre nego što kažemo nešto više o ovim kiselinama objasnićemo šta su to nukleotidi. Nukleotidi su organska jedinjenja koja se sastoje iz **azotne baze** /iz grupe purina i pirimidina/, **šećera** i **fosforne kiseline**.

NUKLEOTID = AZOTNA BAZA-ŠEĆER-FOSFORNA KISELINA

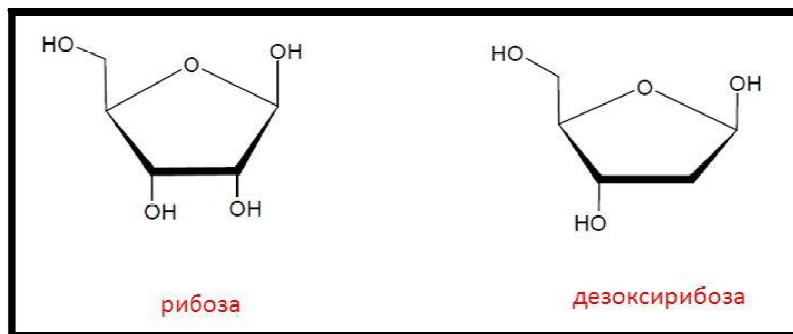
Od pirimidinskih baza u nukleinskim kiselinama se nalaze citozin, uracil i timin. Uracil ulazi u sastav samo ribonukleinske kiseline (RNK) a timin samo u sastav dezoksiribonukleinske kiseline (DNK).



U nukleinskim kiselinama su nađena dva derivata purina i to adenin i guanin.



U zavisnosti od šećera /pentoze/ koji ulazi u sastav nukleinskih kiselina razlikujemo **ribonukleinske** /RNK/ i **dezoksiribonukleinske** kiseline /DNK/. Naime, u sastav ribonukleinskih kiselina ulazi riboza, dok dezoksiribonukleinske kiseline sadrže dezoksiriboza.



Spajanjem purinskih i pirimidinskih baza sa pentozom nastaju **nukleozidi**. Hidrolizom nukleinskih kiselina pomoću vodenog rastvora magnezijum oksida dobijeni su sledeći nukleozidi:

adenozin = adenin + riboza ili dezoksiriboza

guanozin = guanin + riboza

citidin = citozin + riboza

uridin = uracil + riboza

timidin = timin + dezoksiriboza

Spajanjem nukleozida i fosforne kiseline nastaju nukleotidi. Poznati su sledeći nukleotidi:

adenilna kiselina = adenin + riboza +  $H_3PO_4$

guanilna kiselina = guanin + riboza +  $H_3PO_4$

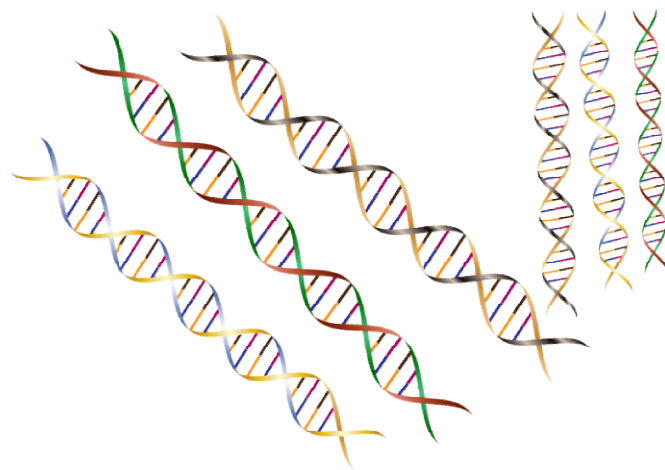
citidilna kiselina = citozin + riboza +  $H_3PO_4$

uridilna kiselina = uracil + riboza +  $H_3PO_4$

Od pomenutih nukleotida poseban značaj ima **adenilna kiselina**. Ona se još zove **adenozin monofosfat** /skraćeno AMF/ i može da veže za sebe još jedan ili dva molekula fosforne kiseline. Na ovaj način nastaje **adenozin difosfat** /ADF/ i **adenozin trifosfat** /ATF/. Ova jedinjenja imaju značajnu ulogu u skladištenju i oslobađanju energije koja je neophodna za razne životne procese.

Nukleotidi koji ulaze u sastav nukleinskih kiselina su povezani međusobno tako da grade polinukleotidne lance. Veza nastaje između fosforne kiseline jednog nukleotida i šećera drugog. Na ovaj način šećer i fosforna kiselina obrazuju "kičmu" polinukleotidnog lanca, dok na lancu "štrče" purinske i pirimidinske baze.

**Dezoksiribonukleinska kiselina** se sastoji od dva lanca nukleotida uvijena jedan oko drugog u obliku dvostruke spirale /dvostruki heliks/. Ovako uvijeni polinukleotidni lanci su međusobno povezani vodoničnim vezama koje se formiraju između purinskih i pirimidinskih baza. Građu dezoksiribonukleinske kiseline objasnili su naučnici Votson i Krik koji su za to dobili Nobelovu nagradu 1962. godine.

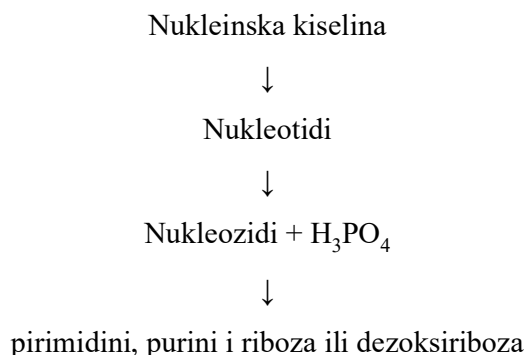


Slika 4.16. Građa dezoksiribonukleinske kiseline

Dezoksiribonukleinska kiselina (DNK) predstavlja hemijsku građu gena i ona se nalazi u hromozomima. Ona sadrži glavni plan koji obaveštava jedan organizam koju vrstu i količinu proteina da izgradi, obezbeđujući kontinuitet određene biljne ili životinjske vrste. Molekulska masa DNK kreće se od 1 milion do nekoliko miliona, a 1 molekul DNK sadrži nekoliko hiljada (do deset hiljada) purinskih i pirimidinskih nukleotida. Utvrđeno je da kod ljudi svaki molekul DNK sadrži oko 1000 gena.

**Molekul RNK** sastoji se od jednog lanca nukleotida i liči na uzdužno raspolovljene lestve. Ribonukleinske kiseline učestvuju u sintezi ćelijskih proteina. One se nalaze u biljnim i životinjskim ćelijama (u citoplazmi). Ribonukleinske kiseline mogu se dobiti iz ćelija nekih kvasaca. Inače, molekulska masa RNK kreće se od 6500 do 290.000. S obzirom na važnu ulogu ribonukleinskih kiselina u sintezi proteina, u svetu se poklanja vrlo velika pažnja njihovom ispitivanju.

Postupna hidroliza nukleinskih kiselina može se predstaviti na sledeći način:



## 4.9. Enzimi

Enzimi ili **fermenti** su jedinjenja proteinske prirode, uglavnom složeni proteini, koji omogućavaju odvijanje biohemijskih procesa u organizmu. Oni su u stvari **biokatalizatori** koji se stvaraju u živim organizmima biljaka i životinja u vrlo malim količinama.

Proteinski deo složenih enzima zove se **apoenzim** i on je termolabilan, dok se prostetična grupa /supstanca neproteinske prirode/ zove **koenzim**. Koenzim je termostabilan. Apoenzim je nosilac specifičnosti dejstva enzima, dok je koenzim njegov aktivator.

Enzimi pokazuju sve osobine proteina i imaju velike molekulske mase /12.000 do 500.000/, grade koloidne rastvore i amfoternog su karaktera.

Najvažnija osobina enzima je specifičnost njihovog dejstva. Kod enzima razlikujemo **apsolutnu** i **relativnu** specifičnost. Kada je dejstvo enzima ograničeno na jednu supstancu onda govorimo o apsolutnoj specifičnosti, dok se relativna specifičnost ogleda u dejstvu na nekoliko supstanci koje su bliske po strukturi.

Svi enzimi se prema mestu svog dejstva dele u dve grupe i to na:

- ✧ intracelularne enzime /endoenzime/ koji dejstvuju u samoj ćeliji gde su i postali.
- ✧ ekstracelularne enzime /egzoenzimi/ čije se dejstvo odigrava izvan ćelija u kojoj su postali. Na primer, u pankreasu postaju enzimi za varenje koji dejstvuju u tankom crevu.

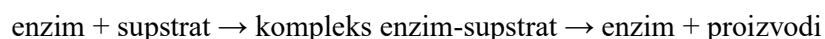
Enzimi se najčešće nazivaju prema supstratu na koji dejstvuju. Ime im se daje na taj način što se na naziv supstrata doda nastavak **aza**. Na primer, enzim koji dejstvuje na proteine zove se proteinaza. Samo mali broj enzima je zadržao svoja trivijalna imena /pepsin, tripsin, emulzin i dr./.

Na osnovu tipa reakcije u kojoj učestvuju i načina delovanja enzimi su podeljeni u šest osnovnih grupa:

1. **oksidoreduktaze** - enzimi biološke oksidacije i redukcije /npr. dehidrogenaza, oksidaze/.
2. **transferaze** - enzimi koji prenose grupe /npr. metiltransferaze, aminotransferaze/.
3. **hidrolaze** - enzimi koji katališu reakcije hidrolize /npr. esteraze, proteinaze, glukozidaze/.
4. **liaze** - enzimi koji kataliziraju reakcije eliminacije uz stvaranje dvostruke veze ili adicije na dvostruku vezu /npr. C-C-liaze, C-O-liaze, C-N-liaze/.

5. **izomeraze** - enzimi koji kataliziraju pregradnju unutar molekula uz stvaranje izomeraze /npr. racemaze i epimeraze koje deluju na ugljene hidrate/.
6. **ligaze** - enzimi koji kataliziraju stvaranje veza kao što su C-C, C-N i C-O veza.

Mehanizam dejstva enzima se može objasniti na sledeći način. Enzim se jedini sa svojim supstratom (u principu reverzibilno) pri čemu se stvara prelazni kompleks enzim-supstrat koji se zatim raspada uz oslobađanje enzima i proizvoda reakcije.



Brzina enzimskih reakcija zavisi od uslova sredine, posebno temperature i pH, a takođe i od koncentracije enzima, supstrata i proizvoda reakcije. Temperatura pozitivno utiče na brzinu enzimske reakcije, ali samo do određene granice. Naime, na temperaturama iznad 60°C dolazi do termalne /toplotne/ inaktivacije enzima, što dovodi kod živih organizama do smrti.

Neke supstance sprečavaju dejstvo enzima i one se zovu **inhibitori** /npr. joni  $\text{Hg}^{2+}$  i  $\text{Ag}^+$ /, dok pak druge aktiviraju dejstvo enzima pa su prema tome i nazvane **aktivatori** enzima. Utvrđeno je da mnogi joni metala / $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ / ili nemetala / $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ / igraju ulogu aktivatora enzima.

Na kraju ćemo našu diskusiju o enzimima završiti sa nekim aspektima njihove primene. Enzimi se koriste u proizvodnji hleba, pivarstvu, vinarstvu, mlekarstvu i dr. Oni nalaze određenu primenu u medicini.



## 4.10. Vitamini

Vitamini su organske supstance dosta složene strukture koje imaju veoma važnu fiziološku i biohemijsku ulogu u živim organizmima. Njih uglavnom proizvode biljke, ali ih mogu sintetizovati i neki mikroorganizmi. Osnovna karakteristika vitamina je da su oni potrebni organizmima u veoma malim količinama / $\mu\text{g}$  ili  $\text{mg}$ /.

Vitamini učestvuju kao koenzimi mnogim enzimima i na taj način imaju aktivnu ulogu u mnogobrojnim biohemijskim procesima u organizmu. Pri nedostatku vitamina u ishrani čoveka i životinja dolazi do poremećaja u organizmu i javljaju se obolenja poznata pod nazivom "**avitaminoza**" ili **hipovitaminoza**. Međutim, unošenje vitamina u količinama koje prevazilaze stvarne potrebe takođe dovodi do negativnih posledica po organizam. Ovo se naročito odnosi na vitamine koji su rastvorljivi u mastima.

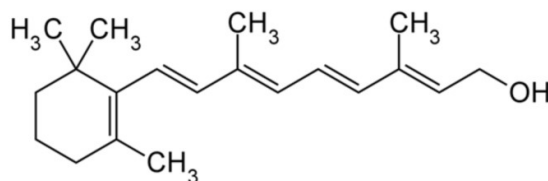
Vitamini se označavaju velikim slovima abecede /A, C, D itd./ iako oni imaju nazive koji su usvojeni od međunarodne komisije za čistu i primenjenu hemiju. Vitamini se dele na dve grupe:

1. vitamini rastvorljivi u mastima i
2. vitamini rastvorljivi u vodi

U vitamine koji se rastvaraju u mastima spadaju vitamini A, D, E i K.

**Vitamin A** (slika 4.17) je derivat karotena. On se javlja u dva oblika: preformirani vitamin A, zvani **retinol** /nalazi se jedino u namirnicama životinjskog porekla/ i provitamin A koji je poznat pod nazivom **karotin** i koji se nalazi u namirnicama biljnog i životinjskog porekla.

Dnevna potreba čoveka u ovom vitaminu iznosi od 1,3 do 2 mg. Ovaj vitamin deluje protiv noćnog slepila i slabog vida. Koristi se u lečenju mnogih oboljenja vida. Značaj vitamina A se ogleda i u tome što on stvara otpornost prema infekcijama organa za disanje.



Slika 4.17. Struktura vitamina A

**Vitamin D** /kalciferol, sunčani vitamin/ se dobija posredstvom sunčeve svetlosti ili hrane. Delovanjem ultraljubičaste svetlosti na ulja u koži nastaje ovaj vitamin koji se zatim apsorbuje u organizmu. Kada se uzima oralno vitamin D se apsorbuje zajedno sa mastima kroz zidove creva. Ovaj vitamin obezbeđuje iskorišćavanja kalcijuma i fosfora koji su neophodni za jake kosti i zube.

Posledice nedostatka vitamina D u ishrani čoveka su rahitis, omekšavanje kostiju i staračka osteoporoza /šupljikavost kostiju/. Ovaj vitamin je potreban čoveku u količini od 0,025 mg na dan. Sledeće namirnice se smatraju najboljim prirodnim izvorima vitamina D: riblje ulje, sardine, haringa, losos, tuna, mleko i mlečni proizvodi.

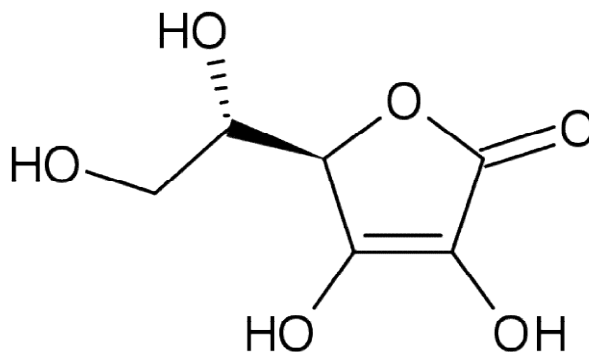
**Vitamin E** /antisterilitetni vitamin/ u stvari predstavlja smešu organskih jedinjenja koja se zovu **tokoferoli**. Od osam tokoferola najdelotvorniji je  $\alpha$ -tokoferol.

Ovaj vitamin obezbeđuje plodnost i usporava procese starenja ćelija usled oksidacije. Nedostatak tokoferola u ishrani dovodi do pojave E-vitaminske koja se manifestuje poremećajem polnih funkcija kod čoveka i životinja. Dnevna potreba čoveka u vitaminu E je od 8 do 10 mg. Najbolji prirodni izvori vitamina E su integralne žitarice i biljna ulja /suncokret, soja, kukuruz/.

**Vitamin K** /antihemoragični vitamin/ se javlja u tri oblika: K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> i K<sub>3</sub>. K<sub>1</sub> i K<sub>2</sub> mogu da stvaraju prirodne crevne bakterije, dok je K<sub>3</sub> sintetički. Vitamin K je neophodan za stvaranje protrombina, supstance koja zgrušava krv. Na taj način on pomaže u sprečavanju unutrašnjeg krvarenja i krvoliptanja. Deluje na smanjivanje preteranog menstrualnog odliva. Preporučena dnevna doza za odrasle je 65 do 80  $\mu$ g /milionitih delova grama/. On se nalazi u lisnatom zelenom povrću, lucerki i jogurtu.

U vitamine rastvorljive u vodi spadaju vitamini B-kompleksa, vitamin C, PP, H i dr.

**Vitamin C** /askorbinska kiselina/ je veoma rasprostranjena u biljkama i smatra se jednim od najprostijih vitamina čija je molekulska formula  $C_6H_8O_7$ . Prema svojoj strukturi vitamin C spada u  $C_6$  šećere. Njegova strukturna formula je:



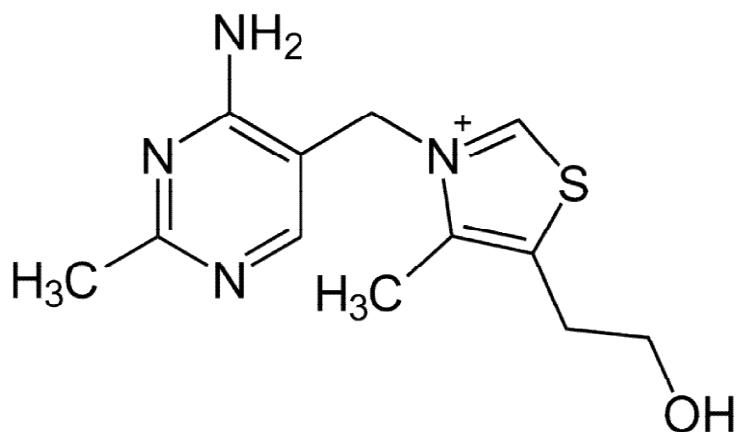
Slika 4.18. Struktura vitamina C

Vitamin C igra prvorazrednu ulogu u stvaranju kolagena, koji je važan za rast i obnavljanje ćelija telesnog tkiva, desni, krvnih sudova, kostiju i zuba.

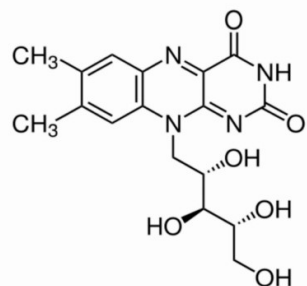
Njegov nedostatak u ishrani izaziva obolenje koje se zove **skorbut**. Ovo obolenje se karakteriše anemijom, slabošću, krvarenjem iz desni i često opštim površinskim krvarenjem. U medicini pored antiskorbutnog dejstva ovaj vitamin pokazuje pozitivno dejstvo kod niza infektivnih obolenja. Čoveku je dnevno potrebno 50-100 mg vitamina C. Pušači i starije osobe imaju povećanu potrebu za vitaminom C. Jedan od najznačajnijih izvora vitamina C su plodovi šipka sa oko 2,5% u suvoj supstanci. Takođe su bogati u vitaminu C: paprika /zeleni/, kupus, ribizla, jagoda, limun, pomorandža.

**Vitamini B-kompleksa** obeležavaju se slovom B sa brojem u indeksu. U ovu grupu vitamina spadaju sledeći vitamini: B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub>, B<sub>13</sub> i B<sub>15</sub>. Značaj vitamina B-kompleksa biće ilustrovan razmatranjem uloge vitamina B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub> i B<sub>12</sub>.

**Vitamin B<sub>1</sub>** se zove *aneurin* ili *tiamin*. On obezbeđuje pretvaranje hrane u energiju. Od velikog je značaja za nervni sistem, mišići i srce. U slučaju njegovog nedostatka u ishrani javlja se bolest beri-beri koja se manifestuje u naglom gubitku telesne težine. Dnevna potreba čoveka u ovom vitaminu iznosi 1,0 do 1,5 mg. Značajni izvori ovoga vitamina su pirinčane ljuspe, integralne /neprerađene/ žitarice, alge i kvasac.



**Vitamin B<sub>2</sub>** se prema preporuci međunarodne komisije za čistu i primenjenu hemiju zove *riboflavin*. On potpomaže rastenje i plodnost, a takođe doprinosi zdravlju /normalnom funkcionisanju/ kože, noktiju i kose. Pri njegovom nedostatku u ishrani javljaju se ranice u ustima, na usnama, koži i genitalijama. Dnevne potrebe normalnih odraslih osoba za ovim vitaminom iznose 1,2 do 1,7 mg. U organizam se unosi sa sledećim životnim namirnicama: mleko, sir, džigerica, kvasac, lisnato zeleno povrće.



**RIBOFLAVIN  
(VITAMIN B<sub>2</sub>)**

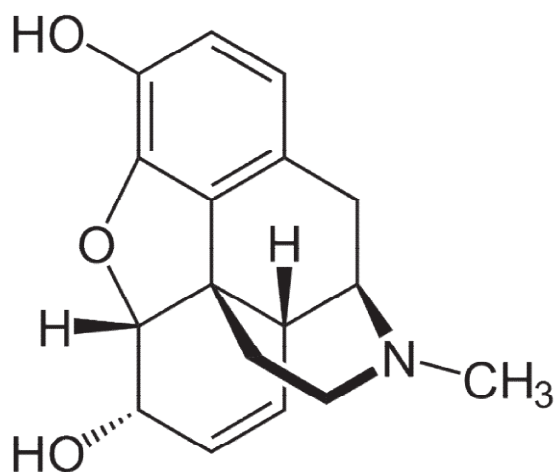
**Vitamin B<sub>6</sub>** je poznat pod imenom *piridoksin*. On je od značaja za metabolizam amino-kiselina i nukleinskih kiselina. Glavne posledice njegovog nedostatka u ishrani su: prestanak rasta, nervni poremećaji, smanjivanje otpornosti. Dnevna potreba čoveka u vitaminu B<sub>6</sub> iznosi 2 mg. Ovaj vitamin se unosi u organizam sa integralnim žitaricama, džigericom, kvascem i jajima.

**Vitamin B<sub>12</sub>** se zove *kobalamid* i ima vrlo složenu hemijsku strukturu. U njegov sastav ulazi kobalt. On je prvo organo-metalno jedinjenje izolovano iz biološkog sistema. Vitamin B<sub>12</sub> obezbeđuje sintezu nukleinskih kiselina i normalan rast. U slučaju njegovog nedostatka u ishrani javlja se anemija /malokrvnost/ kao i oštećenje mozga. Ovaj vitamin je

potreban čoveku u količini od 0,002 mg na dan. Značajni izvori ovoga vitamina su džigerica, govedina, svinjetina, sir i jaja /žumance/.

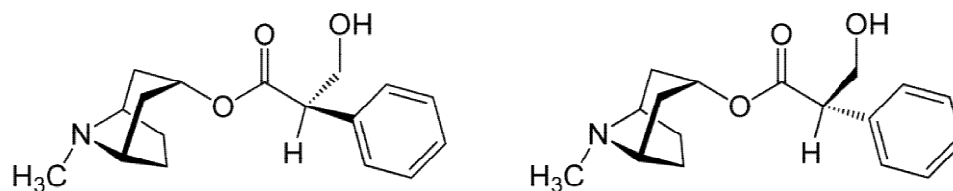
Danas je poznato oko 40 jedinjenja koja imaju vitaminsku aktivnost. Oni se proučavaju opširnije u novoj biohemijskoj disciplini **vitaminologiji**. Do nedavno je smatrano da su vitamini potrebni samo za normalan razvoj, rastenje i život ljudi i životinja. U novije vreme je dokazano da su oni značajni i za biljne organizme. Biljke se neće pravilno razvijati ako nemaju dovoljno vitamina.

#### 4.11. Alkaloidi i glikozidi



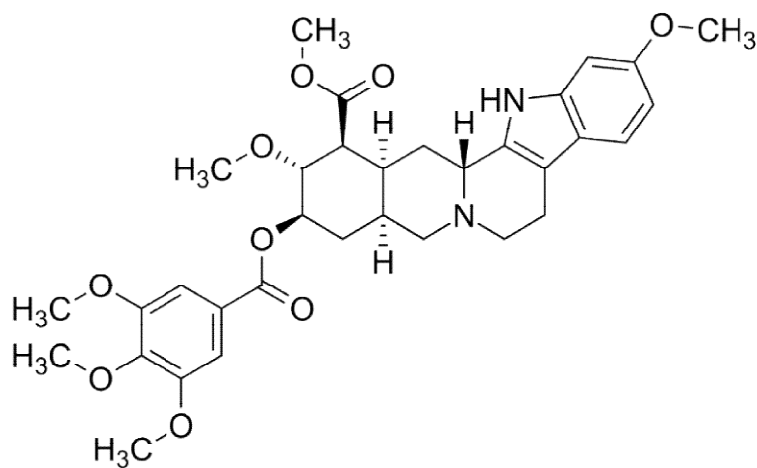
Morfin

**Alkaloidi** su heterociklična azotna jedinjenja baznog karaktera i dosta složene strukture. Oni su uglavnom biljnog a ređe životinjskog porekla. Alkaloidi se ne nalaze u svim biljkama već samo u određenim vrstama iz kojih se mogu izolovati odgovarajućim postupcima ekstrakcije.



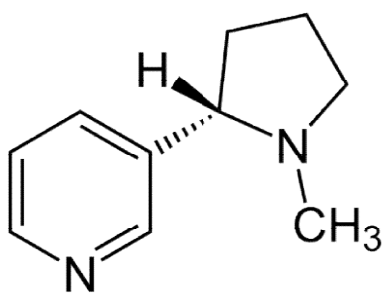
Atropin

Ova jedinjenja se retko nalaze kao slobodne baze nego obično u obliku soli, estara, amida ili glikozida. Smatra se da u biljkama alkaloidi imaju **zaštitnu ulogu** i da učestvuju u određenim metaboličkim procesima.

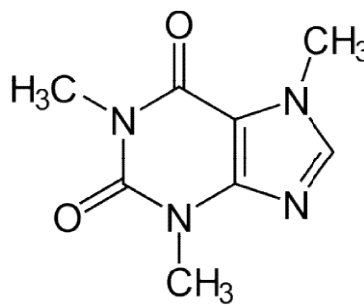


Rezerpin

Veliki broj alkaloida su za čoveka i životinje jaki otrovi koji deluju smrtonosno i u veoma malim količinama. Mnogi alkaloidi se koriste u medicini, veterini, poljoprivredi /kao herbicidi/ i u domaćinstvu. Neke biljke koje sadrže alkaloide /kafa, kakao, čaj/ se koriste za spravljanje raznih napitaka. Od poznatijih alkaloida pomenućemo sledeće: morfīn, atropin, rezerpin, nikotin, kofein.

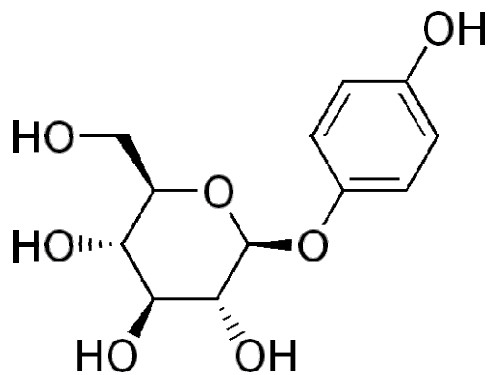


Nikotin



Kofein

**Glikozidi** predstavljaju značajnu grupu organskih jedinjenja koja se uglavnom nalaze u biljkama. Oni se sastoje od monosaharida i neke organske supstance koja ima OH-grupu u svom sastavu /npr. alkoholi, fenoli itd./. Ta supstanca koja nije šećer i ulazi u sastav glikozida zove se **aglikon**.



Arbutin, prost glikozid

Glikozidi ne pokazuju osobine prostih šećera. Oni hidrolizuju pod dejstvom kiselina ili enzima pri čemu se dobija monosaharid /najčešće glukoza, zatim fruktoza, manosa itd./ i aglikon. Postojani su prema alkalijama. Pošto se monosaharidi javljaju u dva izomerna oblika (kao  $\alpha$  i  $\beta$ ), to i glikozidi postoje kao  $\alpha$  i  $\beta$  oblici.

#### 4.12. Biljni hormoni

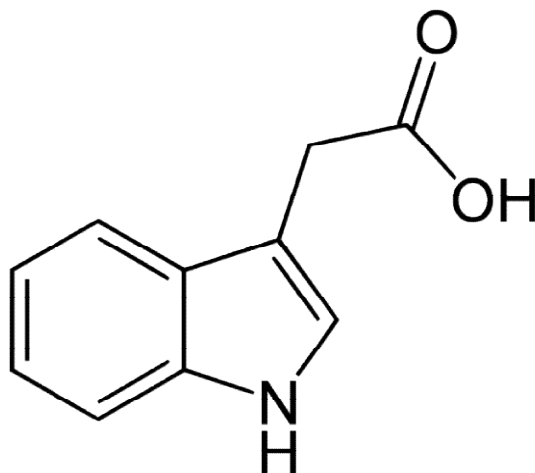
Biljni hormoni ili *fitohormoni* su jedinjenja koja se obrazuju u biljkama i koja se koriste /služe/ kao regulatori procesa rastanja i razvicia. Ove specifične organske materije se dele u pet grupa: auksini, giberelini, citokinini, abscisinska kiselina i etilen.

Biljni hormoni se znatno razlikuju od životinjskih jer se ne može uvek jasno razlikovati mesto njihove sinteze od mesta njihovog delovanja. Oni se odlikuju malom specifičnošću u odnosu na životinjske hormone, a razlog tome je činjenica što veliki broj različitih hormona deluje slično. Dejstvo fitohormona u biljci pre svega zavisi od vrste i koncentracije hormona kao i fiziološkog stanja tkiva u kome hormon deluje i činioca spoljašnje sredine.

**Auksini** su grupa hormona koji se sintetišu i u biljnim i u životinjskim tkivima. Najznačajniji auksin, čija je struktura prikazana na slici, je  $\alpha$ -indolilsirćetna kiselina koja nastaje iz amino-kiseline triptofana ili razlaganjem glikozida. Pored ovog auksina u biljkama je dokazano i prisustvo drugih indolnih auksina koji enzimatskim reakcijama mogu dati  $\alpha$ -indolilsirćetnu kiselinu.

Auksini imaju stimulatívno dejstvo na izduživanje biljaka. Njihova najveća koncentracija je nađena u vrhovima rasta /koleoptila, pupoljaka, lista i korena/. Semeni zametak je takođe mesto stvaranja auksina. Utvrđeno je da auksini mogu da stimulišu ili

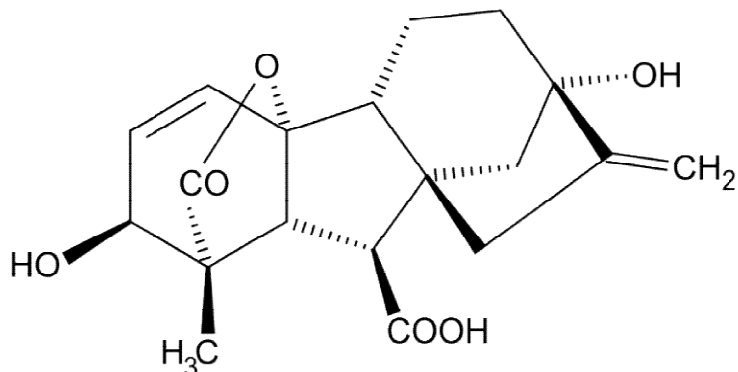
inhibiraju aktivnost nekih enzima. Posle otkrića prirodnih auksina, dobijeno je mnogo sintetičkih jedinjenja koja pokazuju dejstvo slično auksinima.



Slika 4.17. Strukturalna formula α-indolilsirćetne kiseline

**Giberelini** čine grupu od preko 50 jedinjenja koja su izolovana iz viših biljaka. Oni se nalaze u semenu, mladim listovima i korenu biljaka. Ime su dobili po gljivici *Gibberella fujikuroi* koja negativno utiče na prinos pirinča.

Giberelini se obeležavaju sa GA<sub>1</sub>, GA<sub>2</sub>, GA<sub>3</sub>, GA<sub>4</sub> itd. GA<sub>3</sub> je oznaka za giberelinsku kiselinu koja, kao i njoj slična jedinjenja, ima dosta složenu strukturu.



Sinteza giberlina je najintenzivnija u mladim listovima i u nedozrelim semenima, posebno u embrionu. Njihovo dejstvo na životne procese biljaka je dosta složeno. Poznato je da oni stimulišu cvetanje biljaka što je od posebnog značaja za biljke koje se nalaze u severnim delovima naše planete. Postoje dokazi da giberelini stimulišu rastenje glavne stabljike i to naročito kada se primene na celu biljku. Giberelini utiču i na mirovanje semena i

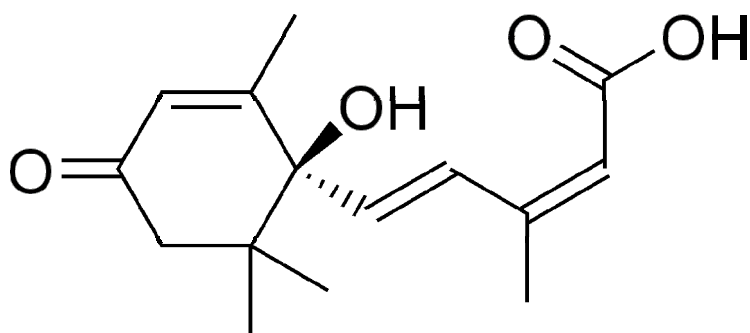


pupoljaka. Uočeno je da kod biljaka čije seme klija samo posle dejstva crvene svetlosti, giberelinska kiselina može da izazove klijanje i u mraku.

**Citokinini** su derivati azotnog jedinjenja adenina. Njihova biosinteza se pretežno odvija u korenu biljaka odakle se kreću naviše kroz ksilem do listova i plodova.

Ime su dobili po tome što podstiču deobu ćelija koja se drugačije zove citokineza. Pored ove uloge oni stimulišu sintezu nukleinskih kiselina i proteina. Citokinini mogu da prekinu i mirovanje semena.

**Abscisinska kiselina (ABA)** je veoma rasprostranjena u biljnom svetu. Ona je izolovana iz pupoljaka, listova, krtola, semena i plodova. Njeno dejstvo je pretežno inhibitorno, a struktura joj je otkrivena 1965. godine.



Slika 4.18. Struktura abscisinske kiseline

Prema sadašnjim saznanjima abscisinska kiselina je najznačajniji prirodni inhibitor rasta koji je izolovan iz tkiva biljaka. Njene najznačajnije funkcije se ogledaju u sledećem:

- ubrzava opadanje /apscisiju/ listova i plodova;
- inhibira klijanje semena i time održava njihovo mirovanje;
- inhibira cvetanje biljaka dugog dana u uslovima kratkog dana;
- povećava otpornost biljaka prema nepovoljnim uslovima sredine /nedostatak vode, niske ili visoke temperature/.

**Etilen** je takođe inhibitor rasta i prirodni proizvod biljaka. On je gas sa malom molekulskom masom / $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ / koji pripada alkenima. Njegova sinteza se odvija u metionin ciklusu, koji polazi od metionina /amino-kiselina koja sadrži sumpor/. Etilen podstiče sintezu abscisinske kiseline i time opadanje listova i plodova. Poznato je da on inhibira izduživanje izdanka i korena. Utvrđeno je da etilen ispoljava još neka dejstva o kojima u okviru ovoga kursa neće biti govora.

## Rezime

U ovom poglavlju upoznali smo se sa jedinjenjima koja ulaze u sastav biljnih i životinjskih organizama.

Ugljeni hidrati predstavljaju vrlo značajnu grupu prirodnih organskih jedinjenja koja su prisutna u svim živim bićima. Oni imaju veliki značaj u energetsom, strukturnom i funkcionalnom pogledu.

Organske kiseline su neophodan sastojak biljnih ćelija. One sadrže jednu ili više karboksilnih grupa pa su, prema tome, podeljene na jednobazne i višebazne kiseline.

Lipidi predstavljaju heterogenu grupu organskih jedinjenja čija je zajednička osobina nerastvorljivost u vodi, a rastvorljivost u organskim rastvaračima kao što su dietil etar, hloroform, alkohol, ugljen disulfid, benzol, i dr. Prema složenosti lipidi se dele na proste i složene.

Amino-kiseline predstavljaju značajnu klasu organskih jedinjenja u čiji sastav ulaze dve funkcionalne grupe: amino grupa, NH<sub>2</sub>, i karboksilna grupa, COOH.

Belančevine su visokomolekularna azotna organska jedinjenja koja su neophodna komponenta svake žive ćelije.

Nukleinske kiseline su sastavljene od vrlo velikog broja jednostavnijih organskih molekula - nukleotida.

Enzimi ili fermenti su jedinjenja proteinske prirode, uglavnom složeni proteini, koji omogućavaju odvijanje biohemijskih procesa u organizmu.

Vitamini su organske supstance dosta složene strukture koje imaju veoma važnu fiziološku i biohemijsku ulogu u živim organizmima. Njih uglavnom proizvode biljke, ali ih mogu sintetizovati i neki mikroorganizmi.

## Pitanja

1. Neophodni i korisni elementi
2. Monosaharidi
3. Glukoza i fruktoza
4. Oligosaharidi
5. Skrob
6. Glikogen i celuloza
7. Oksalna i vinska kiselina
8. Jabučna i limunska kiselina
9. Osobine prostih lipida
10. Podela amino-kiselina
11. Hemijske osobine amino-kiselina
12. Belančevine – pojam i podela
13. Složene belančevine – proteidi
14. Dezoksiribonukleinska kiselina /DNK/
15. Ribonukleinska kiselina /RNK/
16. Podela enzima prema tipu reakcije u kojoj učestvuju
17. Mehanizam dejstava enzima
18. Vitamini A i D
19. Vitamin C
20. Alkaloidi i glikozidi
21. Biljni hormoni

## Literatura

1. K. P. C. Volhart, N. Šor: Organska hemija - struktura i funkcija, Data status, Nauka, Beograd 2004
2. John McMurry: Organic Chemistry, 7th edition, Brooks Cole, 2007
3. Slobodan Petrović, Dušan Mijin, Nadežda Stojanović: Hemija prirodnih organskih jedinjenja, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 2005.
4. Lehninger: Principles of Biochemistry, W. H. Freeman and Co, 2005.

## 5. OSNOVNI FIZIOLOŠKI PROCESI U ORGANIZMU BILJAKA



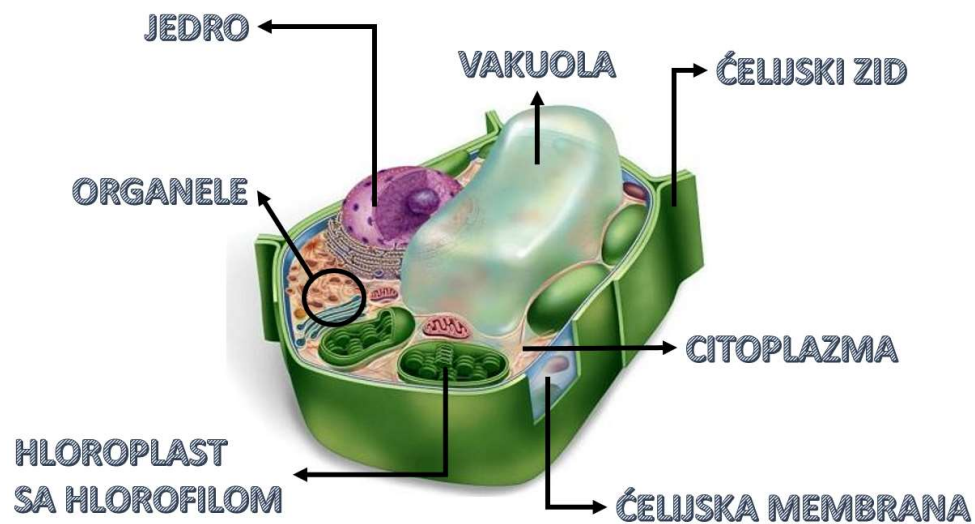
Fiziologija biljaka je nauka koja se bavi izučavanjem raznih procesa koji se odvijaju u biljkama i njen razvoj je tesno povezan sa razvojem fizike, hemije i biohemije.

U okviru ovoga poglavlja govorićemo o vodi i njenom značaju za život biljaka, procesu fotosinteze, disanju biljaka, usvajanju mineralnih materija korenovima biljaka i o ulozi pojedinih makro- i mikroelemenata u biljnoj ishrani. Međutim, pre toga kazaćemo nešto o građi biljne ćelije i osnovnim funkcijama njenih najvažnijih delova.

## 5.1. Građa i fiziologija biljne ćelije

Sva živa bića sastoje se od ćelija kao osnovnih jedinica života. Najjednostavniji organizmi imaju samo jednu ćeliju (oni su jednoćelijski), a vrlo složeni, npr. čovek, imaju milione ćelija, te spadaju u višećelijske organizme. U ćelijama se odvijaju brojni hemijski procesi koji su od značaja za normalno funkcionisanje organizma.

Biljna ćelija ima vrlo složenu, organizovanu strukturu, koja omogućava obavljanje brojnih životnih funkcija. Na slici je prikazana građa jedne biljne ćelije.



Slika 5.1. Građa biljne ćelije

Izvor: <https://www.shtreber.com/celija-osnovna-jedinica-gradje-zivih-organizama>

U potpuno diferenciranoj biljnoj ćeliji razlikuju se tri osnovna dela:

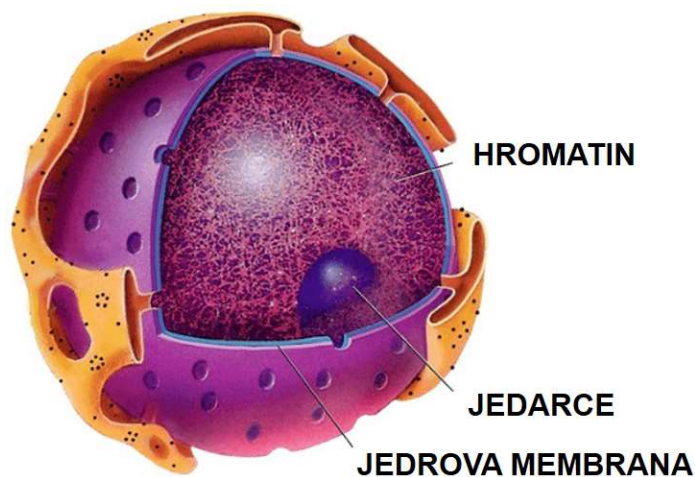
- ♣ ćelijski zid,
- ♣ protoplazma i
- ♣ vakuola.

**Protoplazma** je živi deo ćelije, dok je **ćelijski zid** proizvod životne aktivnosti protoplazme. Protoplazma se obično deli na citoplazmu i jadro. **Citoplazma** se sastoji od membranskih struktura (biomembrana) i određenog broja organela (sitna tela) koje su uronjene u polutečnu fazu ćelije.

Svaki tip organele ima vitalnu ulogu u biohemijskim reakcijama u ćeliji. Zahvaljujući primeni elektronskog mikroskopa i dostignućima molekularne biologije, danas se dosta zna o građi i ulozi pojedinih organela, njihovom nastanku i transformaciji u toku razvića.

Najznačajnije organele biljne ćelije su: jedro, hloroplasti, mitohondrije, ribozomi, endoplazmatični retikulum (ER), Goldži kompleks, lizozomi itd. Inače, ćelija bez ćelijskog zida naziva se **protoplast**.

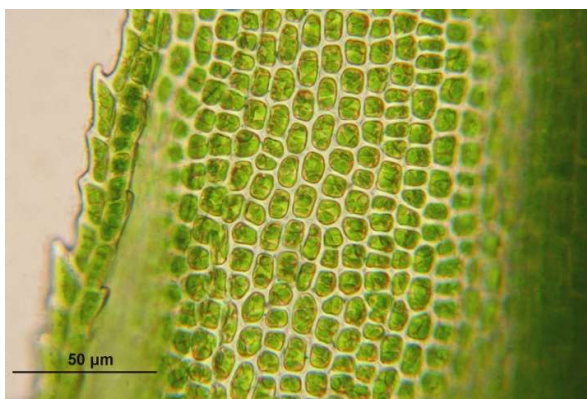
Među organelama biljne ćelije jedru (slika 5.2.) pripada poseban značaj. Ono je nosilac genetskih informacija koje regulišu i kontrolišu mnoge značajne procese u životu ćelije. U njemu se vrši replikacija DNK, sinteza RNK i nekih proteina jedra. Jedro ima loptast ili elipsoidni oblik. U viših biljaka prečnik jedra je od 10-50  $\mu\text{m}$ . Utvrđeno je da postoji određeni odnos između zapremine jedra i citoplazme.



Slika 5.2. Građa jedra

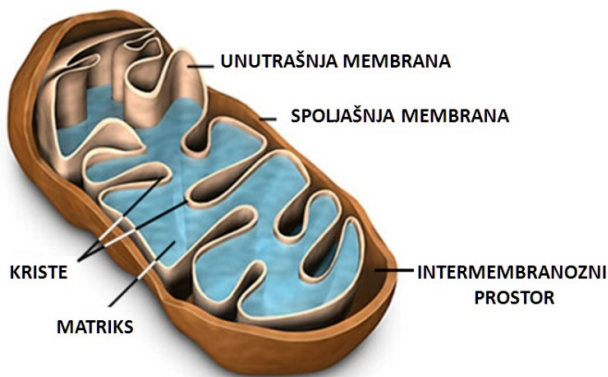
Izvor: <https://www.shtreber.com/celija-osnovna-jedinica-gradje-zivih-organizama>

**Hloroplasti** (slika 5.3.) su sitna tela ovalnog oblika koja sadrže zeleni pigment zvani **hlorofil**. Oni se uglavnom nalaze u ćelijama listova. Hlorofil apsorbuje sunčevu svetlost i upotrebljava je za “pokretanje” procesa fotosinteze. Inače, hloroplasti se mogu kretati unutar ćelije, zavisno od intenziteta i pravca svetlosti.



Slika 5.3. Hloroplasti

**Mitochondrije** su štapičasta tela sa dvostrukim slojem spoljašnje opne. Unutrašnji sloj pravi niz nabora (kriste) koji daju veliku površinsku zonu za vitalne hemijske reakcije koje teku u unutrašnjosti mitohondrija. Mitochondrije su mesta gde se jednostavne materije uzete u ćeliju razlažu dajući energiju. Zbog toga se one često zovu “električnim centralama” ćelije.



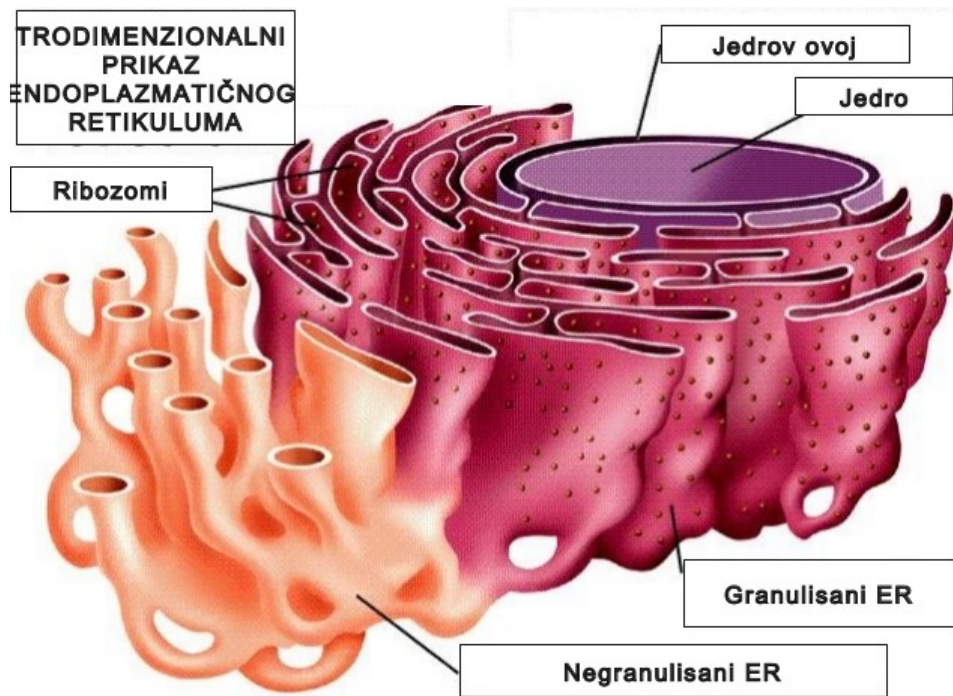
Slika 5.4. Građa mitohondrije

Izvor: svet-biologije.com

**Endoplazmatični retikulum** (ER) predstavlja složeni sistem spljoštenih kesica, koje se savijaju od ćelijske membrane ka unutrašnjosti i spajaju sa jedrovom membranom. Razlikuju se dve vrste endoplazmatičnog retikuluma. ER sa ribozomima na površini je **granulirani ER**, dok je onaj bez ribozoma **glatki ER**. Najvažnija uloga granuliranog ER je učešće u sintezi, nakupljanju i transportu proteina. Glatki ER učestvuje u sintezi proizvoda koji izgrađuju ćelijski zid, zatim u sintezi lipida, terpena i drugih supstanci. On takođe učestvuje u detoksikaciji (detoksifikaciji) za ćeliju štetnih materija.

**Ribozomi** su submikroskopske organele sfernog oblika, prečnika od 15 do 25 nm. Većina ih je raspoređena na endoplazmatičnom retikulumu. Oni učestvuju u izgradnji proteina iz amino-kiselina.

**Goldži kompleks** (Goldži aparat) (slika 5.5.) predstavlja membranski sistem u citoplazmi koji vodi poreklo od glatkog endoplazmatičnog retikuluma. Osnovne strukturne elemente Goldži kompleksa čine pljosnati mehurići (cisterne) koji su na krajevima prošireni. Aktivnost Goldži kompleksa naročito je velika u diferenciranim ćelijama, posebno onim koje su aktivne u procesima sekrecije (izlučivanja). Ovaj kompleks sakuplja i raspoređuje materije nastale u ćeliji (npr. proteine i razne otpadne materije).



Slika 5.5. Strukturna endoplazmatskog retikuluma

Izvor: <https://www.slideshare.net/ljubichica/organele-rbozomi-er-ga>

**Lizozomi** su specifične organele u kojima se nalaze brojni hidrolitički enzimi (ribonukleaze, kisele fosfataze, proteaze, lipaze i dr.). Obično su okruglog ili nepravilnog oblika, veličine od 0,5 do 2  $\mu\text{m}$ .

**Ćelijski zid** predstavlja pektinsko-celulozni omatač oko biljne ćelije. Njegova osnovna uloga je zaštita i mehanička potpora nežne strukture protoplazme. Pored toga on predstavlja poroznu sredinu za kruženje i distribuciju vode i u njoj rastvorenih soli. Deobu ćelija u tkivima po pravilu prati obrazovanje ćelijskog zida.

**Vakuola** je tipična organela biljne ćelije ispunjena ćelijskim sokom. Od citoplazme je odvojena lipoproteinskom membranom - tonoplastom. Smatra se da vakuola ima tri osnovne uloge u ćeliji. Prvo, zahvaljujući visokoj koncentraciji određenih sastojaka ćelijskog soka (šećeri, organske kiseline, soli) dolazi do ulaženja vode u ćeliju, i time do održavanja njenog turgora (stanje napetosti ćelije u zdravoj biljci). Druga uloga vakuole sastoji se u skladištenju jedinjenja (saharoza, glukoza, fruktoza) koja se u datom momentu nalaze u višku. I na kraju vakuola učestvuje u hidrolizi važnih prirodnih proizvoda (proteina, polisaharida, lipida) i to zahvaljujući brojnim enzimima koji deluju u kiseljoj sredini.



## 5.2. Voda u biljkama

Voda za biljke ima izuzetan fiziološki i ekološki značaj jer je ona jedna od osnovnih komponenti biljnih ćelija i faktor spoljašnje sredine koji najviše utiče na rasprostranjenje i karakter vegetacije na našoj planeti.

Celokupan proces prometa vode u biljci označava se kao vodni režim. On je uslovljen sa tri osnovna elementa:

- Usvajanje (primanje) vode iz podloge uglavnom pomoću korenovog sistema ;
- Transport vode po tkivima korena, stabla i listova i
- Odavanjem vode preko nadzemnih organa, uglavnom preko listova (transpiracija).

Odnos između primljene i odate vode se označava kao **vodni balans**. Ukoliko količina odate (transpirisane vode) premaši količinu primljene, u biljkama dolazi do vodnog deficita.

Iako biljna tkiva sadrže ogromnu količinu vode njeno učešće u ukupno usvojenoj i transpirisanoj (odatoj) vodi je malo. Tako jedna biljka kukuruza usvoji u toku vegetacije 200 l vode (100 puta više od sopstvene težine), ali od toga 98% transpiriše a samo 2% se koristi u metabolizmu (0.2% u fotosintezi). Isti autor navodi da čak i kserofite (biljke adaptirane na pustinjske uslove) transpirišu 50% od usvojene količine vode.

Stoga je vodni deficit jedan od najozbiljnijih problema sa kojima se biljke u svom životu susreću. Biljke su, kao organizmi nastali u vodi, stoga bile primorane da se u toku svoje evolucije morfološki, anatomske i fiziološki prilagode smanjenoj vlažnosti kopneno-vazdušne sredine.

Izuzetak čini samo mala grupa biljaka živi u vodi (ekološka grupa **hidrofita**). Bez sposobnosti lokomocije, odnosno aktivnog traženja vode, suvozemne biljke sve svoje potrebe za vodom moraju da zadovolje na račun vodnog režima staništa. Međutim i kod ovih biljaka postoje značajne razlike.

**Hidrofite** kao ekološka grupa biljaka vlažnih staništa nemaju tako izražen problem snabdevanja vodom kao što je to slučaj kod **mezofita** (biljaka umereno snabdevenih vodom) ili naročito **kserofita** (biljaka suvih staništa). Poljoprivredne kulture koje se gaje u našem podneblju pripadaju mezofitama.

### 5.2.1. Sadržaj vode u biljkama

Voda je najvažniji sastojak svih živih bića i, između ostalog, značajna je za održavanje strukturnog jedinstva ćelija, tkiva i celog organizma. Po količini voda je najobilnija komponenta svake žive ćelije tako da njena protoplazma sadrži između 70 i 90% vode.

- ❖ Ćelijski zid sadrži oko 50% vode. Što se tiče sadržaja vode u biljkama možemo da konstatujemo sledeće:
- ❖ Zeljaste biljke sadrže veće količine vode nego drvenaste.
- ❖ Količina vode nije podjednako raspoređena po pojedinim biljnim organima. Tako se u svežim biljnim delovima korena, listova i plodova sadržaj vode kreće od 85 do 95%, dok je u semenu žita svega oko 11%.
- ❖ Sadržaj vode zavisi od starosti biljaka. Pravilo je da mlade biljke sadrže više vode od starijih biljaka.
- ❖ Sadržaj vode u biljkama zavisi od doba dana. Naime, biljka sadrži najmanje količine vode u toku dana kada je njeno odavanje iz biljke jako izraženo, dok je u toku noći, naročito posle ponoći, sadržaj vode najveći.

### 5.2.2. Značaj vode za život biljaka

Zahvaljujući svojim fizičkim i fizičko-hemijskim osobinama voda ima višestruku ulogu u fiziološko-biohemijskim procesima biljaka. Njen značaj za život biljaka se ogleda u sledećem:

- ❖ Voda je je jedan od najboljih rastvarača neorganskih i organskih supstanci u prirodi. Pomoću vode omogućeno je usvajanje i transport tih supstanci kroz biljku i njihovo učesće u metaboličkim procesima.
- ❖ Voda je sredina (medium) u kojoj se odigravaju metabolički procesi.
- ❖ Voda je od velikog značaja za održavanje turgora (stanje napetosti ćelija u zdravoj biljci) koji daje biljnim tkivima i organima potrebnu čvrstinu.
- ❖ Voda je neophodna za održavanje strukturnog jedinstva ćelija, tkiva i celog organizma.
- ❖ Voda učestvuje u raznim hemijskim reakcijama koji se odvijaju u biljnim ćelijama. U procesu fotosinteze voda je izvor vodonika koji ulazi u sastav organskih jedinjenja, a kiseonik koji se u toku ovoga procesa oslobađa takođe

potiče iz vode. Ona takođe učestvuje u raznim enzimatičnim procesima hidrolize.

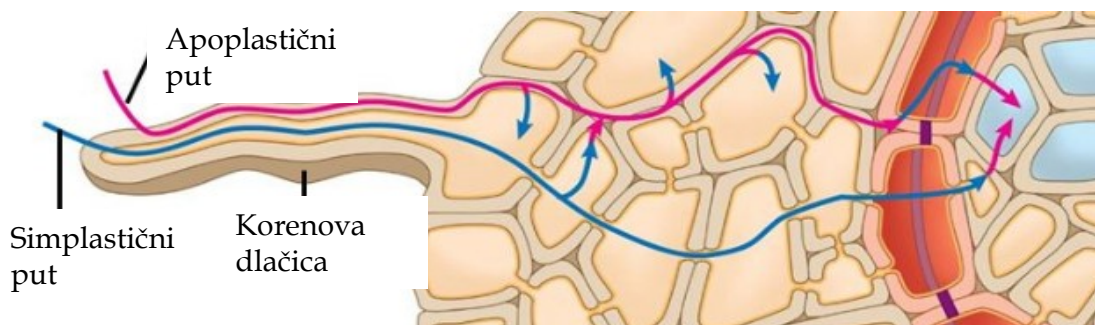
- ❖ Voda je od posebnog značaja i zbog svoje uloge u regulisanju temperature biljaka.

### 5.2.3. Usvajanje vode

Voda se najvećim delom usvaja preko korenovog sistema biljaka s tim što jedan deo vode može da bude usvojen i preko listova. Osnovna uloga korena je pričvršćivanje biljaka za zemljište (podloga) i usvajanje vode i u njoj rastvorenih materija. Da bi biljke mogle da zadovolje svoje potrebe u vodi one moraju da obrazuju korenov sistem koji obuhvata relativno veliku zapreminu zemljišta.

U tekstu koji dalje sledi objasnićemo na što je moguće jednostavniji način mehanizam usvajanje vode preko korena. Voda u koren ulazi pretežno kroz apoplast koji predstavlja međusobnu povezanost ćelija, tkiva i organa pomoću ćelijskih zidova i međućelijskih prostora. Pokretačka snaga za ovo usvajanje je razlika u sadržaju vode između soka ksilema (tkivo koje provodi vodu kroz biljku) i zemljišnog rastvora (tečna faza zemljišta u kojoj se nalaze rastvorene razne supstance neorganske i organske prirode). Ako je sadržaj vode u soku ksilema manji od sadržaja vode u zemljišnom rastvoru voda ulazi u koren i kreće se ka unutrašnjosti korena prema provodnim sudovima.

Međutim, pored kretanja vode kroz apoplast postoji i njeno kretanje kroz simplast koje je dosta slabije izraženo u odnosu na prvi način. Naime, ovim putem se provodi samo nekoliko procenata od ukupno usvojene vode. Simplast predstavlja međusobnu povezanost citoplazmi organizma u jednu funkcionalnu celinu. Ona se ostvaruje preko plazmatičnih niti - plazmodezmi (cevnaste tvorevine prečnika oko 60 nm).



Slika 5.6. Transport vode kroz ćelije korena

Izvor: <https://www.toppr.com/ask/question/what-are-apoplast-and-symplast/>

Biljke mogu da usvajaju vodu i preko nadzemnih organa, posebno listova. Usvajanje vode preko listova odvija se kroz stome (mali otvori na površini lista) i pore koje se nalaze u kutikuli epidermisa. Kutikula je tanki spoljašnji sloj voštane supstance zvane kutin a epidermis je tanki sloj tkiva oko svih delova biljaka. Smatra se da na ovaj način usvojena voda nema većeg praktičnog značaja u snabdevanju biljaka vodom.

### **Mehanizam transporta vode**

Problem koji je oduvek interesovao biljne ekologe i fiziologe je kako se voda penje na vrh visokog drveća (kod nekih *Sequoia* ili *Eucaliptus*-a i preko 100m), a da se pri tome održava kontinuitet vodenog stuba. Da bi se voda popela na tako veliku visinu potrebne su veoma značajne sile. Atmosferski pritisak (oko 101kPa na nivou mora) može da podigne nivo vode samo do 10.3m, tako da bi se podigla voda do 100 ili 150m potrebna je sila od najmanje 2.5 ili 3 MPa (uzimajući u obzir silu gravitacije i ostale otpore kretanju vode).

Pokretačku silu za kretanje vode obezbeđuje proces transpiracije. Isparavanje vode na površini listova (transpiracija) smanjuje količinu vode u biljnim tkivima i to se prenosi do korena i dovodi do povećanog usvajanja vode iz zemljišta. Kao rezultat takvog procesa voda se “gura” od korena do površine listova, da bi zamenila vodu koja sa površine listova transpiriše.

Voda se od korena do listova transportuje kroz **ksilem** koji po svojim osobinama odgovara kapilarima. Ksilem predstavlja kompleksno tkivo koga čine **traheje** i **traheide**, a delom i parenhimske i ostale žive ćelije.

Kod svih biljaka nije ista građa ksilema. Traheje i traheide se razlikuju po svojim osobinama, a to rezultira u brzini transporta vode. Transport vode kroz traheje je mnogo brži nego kroz traheide jer traheje predstavljaju fuzije ćelija između kojih su delimično ili postepeno nestale pregrade. One su veoma pogodne za provođenje vode jer su u funkcionalnom stanju mrtve ćelije (nemaju plazmu) tako da im je provodljivost za vodu veoma velika. One mogu dostići dužinu oko 10cm, a kod nekih biljaka kao npr. lijana čak i 3-5m.

Traheide se značajno razlikuju od traheja. One su pojedinačno izdužene ćelije sa lokalno zadebljalim zidovima u kojima se nalazi veliki broj jamica. Transport vode se vrši isključivo kroz jamice. Zato je provođenje vode traheidama veoma sporo. Na primer, četinari koji imaju samo traheide provode vodu brzinom od 5ml/cm<sup>2</sup>/h, a listopadno drveće koje ima i traheje i traheide brzinom od 20ml/cm<sup>2</sup>/h. Kolona vode u ksilemu se ne prekida zahvaljujući

osobinama molekula vode da se silama kohezije i adhezije vezuje međusobno i za zidove ksilema, kao i sili gravitacije.

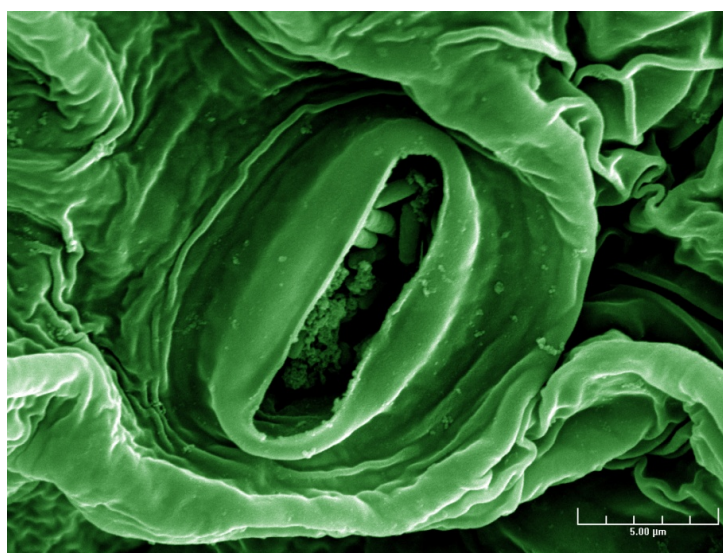
#### 5.2.4. Odavanje vode

Biljke odaju vodu u obliku vodene pare ili u tečnom stanju. U prvom slučaju se radi o procesu koji se zove transpiracija, dok se voda odaje u tečnom obliku u toku **gutacije i suzenja**.

Voda se pri gutaciji izlučuje u obliku kapljica kroz vodene stome-pore takozvane hidatode. Suzenje ili plač biljaka je pojava izlučivanja vode iz povređene biljke pod dejstvom korenovog pritiska. Međutim, kod većine biljaka najznačajniji vid odavanja vode je **transpiracija**.

Transpiracija se definiše kao proces pri kome se voda odaje sa živih delova biljaka u atmosferu u obliku vodene pare. Ona nije čist fizički proces difuzije vode već je i fiziološki proces pošto je biljka u stanju da ga kontroliše i na taj način obezbedi stalno prisustvo vode u svojim ćelijama (organizmu). Postoje četiri tipa transpiracije: stomatarna, kutikularna, lenticelarna i peridermalna. Najznačajniji tip transpiracije je **transpiracija kroz stome**.

Stome su mali otvori na epidermisu lista koji se nalaze okruženi specijalizovanim ćelijama (ćelijama zatvaračicama). Ove ćelije otvaraju i zatvaraju stomu menjajući joj oblik. Kada su stome potpuno otvorene onda imaju elipsoidni oblik.



Slika 5.7. Stomin aparat

Izvor: <http://tomatomania.ru/pochemu-nelzya-opryskivat-rasteniya-v-zharu-o-transpiracii-i-usticax/>

Poprečni presek stoma je od 4 do 12  $\mu\text{m}$ , a dužina od 10 do 40  $\mu\text{m}$  ( $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ ). Broj stoma na jedinici lisne površine zavisi od vrste biljke i od ekoloških činilaca. U proseku se na 1  $\text{mm}^2$  lisne površine nalazi od 100 do 300 stoma, s tim što njihov broj može biti znatno manji ili veći, od 10 do 1000. I pored velikog broja, ukupna površina svih stoma iznosi 1-2% površine lista.

Transpiracija ima veliki značaj za biljke. Ona omogućava neprekidno kretanje vode u biljkama od korenovih dlačica pa do epidermisa listova, što predstavlja neku vrstu "krvotoka biljaka" (transpiracioni tok). Ovo kretanje vode omogućava ascedentni (kretanje naviše) transport mineralnih i organskih materija koje su u njoj rastvorene.

Transpiracija sprečava pregrevanje biljaka. Naime, isparavanjem vode biljke se hlade i na taj način one su u stanju da podnesu visoke letnje temperature. I na kraju transpiracija omogućava vazдушnu ishranu biljaka, tj. kroz stome ulazi ugljen-dioksid gas bez koga nema procesa fotosinteze.

Značajni pokazatelji procesa transpiracije su: intenzitet transpiracije, transpiracioni koeficijent i produktivnost transpiracije.

**Intenzitet transpiracije** predstavlja masu transpirisane vode na jedinicu lisne površine u jedinici vremena ( $\text{g H}_2\text{O dm}^{-1}\text{h}^{-1}$ ).

**Transpiracioni koeficijent** predstavlja masu transpirisane vode u gramima pri kojoj se stvori 1 g suve materije.

**Produktivnost transpiracije** predstavlja masu suve materije koja se sintetiše pri gubitku 1 kg vode.

### 5.2.5. Metabolizam ugljenika

Ugljenik je osnovni konstitutivni element svih organskih jedinjenja i zbog toga je život na našoj planeti baziran na ugljeniku. Organska jedinjenja ugljenika se obrazuju iz neorganskih jedinjenja radom **autotrofnih organizama** koji se stoga označavaju kao primarni proizvođači ili producenti. Autotrofni organizmi obrazuju organska jedinjenja iz  $\text{CO}_2$  u toku procesa *fotosinteze* - **fotoautotrofni organizmi**.

**Fotoautotrofima** pripadaju više i neke niže biljke (alge, zelene i purpurne bakterije). Ovi organizmi pomoću fotosintetskog aparata (hloroplasta) usvajaju sunčevu radijaciju i direktno je pretvaraju u hemijsku energiju makroergičnog jedinjenja ATP (adenozintrifosfata) i redukcionog ekvivalenta  $\text{NADPH}+\text{H}^+$  (redukovani nikotinamid-adenin-dinukleotidfosfat). U

daljem toku fotosinteze ova jedinjenja se koriste za transformaciju neorganskih jedinjenja  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$  u šećere, koji su primarni organski produkti procesa fotosinteze.

**Heterotrofni organizmi** predstavljaju potrošače jer za svoje biosintetske procese koriste organska jedinjenja nastala radom autotrofa. Biljni heterotrofi kao izvor ugljenika za procese biosinteze mogu da koriste ili organske materije koje su neživog porekla (*saprofiti*) ili organske materije živih organizama (*paraziti*), a energiju koja je potrebna za ovaj proces dobijaju na račun procesa disanja. U heterotrofe spadaju uglavnom bakterije, gljive i neke Angiospermeae bez hlorofila.

Ugljenik u prirodi stalno kruži i to kruženje, pored fotoautotrofnog i heterotrofnog biljnog sveta, obuhvata heterotrofni životinjski svet i mikroorganizme. Na osnovu količine ugljenika koji se veže u procesu fotosinteze i njegove zastupljenosti u prirodi, izračunato je da za približno 250 godina sav ugljenik na zemljinoj površini prođe kroz proces fotosinteze. Da nema oslobađanja  $\text{CO}_2$  u procesu disanja, biljke bi za a oko 20 godina utrošile celokupnu količinu ovog jedinjenja iz atmosfere.

Veoma značajnu ulogu u kruženju ugljenika imaju i mikroorganizmi koji u procesima truljenja i vrenja razlažu jedinjenja ugljenika u ostacima biljaka i životinja i tako ga u formi  $\text{CO}_2$  vraćaju u atmosferu. Značajan deo ugljenika ostaje izvan ovih procesa jer mikroorganizmi ne mogu da razlože one ostatke uginulih biljaka i životinja koji su se transformisali u ugalj ili naftu.

Fosilne forme ugljenika (ugalj, nafta, gas) su od posebnog značaja za razvoj moderne tehnologije i savremenog društva. Međutim, intenzivno korišćenje i sagorevanje ovih produkata dovelo je do porasta koncentracije  $\text{CO}_2$  u atmosferi. Ovaj porast u koncentraciji  $\text{CO}_2$  i drugih gasova (prvenstveno metana) u atmosferi dovodi do tzv. "efekta staklene bašte" i smatra se da izaziva značajne klimatske promene na našoj planeti.

Kruženje ugljenika u prirodi prati i kruženje  $\text{O}_2$ , koji je jedan od produkata fotosinteze. Proračunato je da se pri usvajanju svake tone ugljenika u procesu fotosinteze oslobađa 2,7 tona kiseonika. Zahvaljujući pojavi fotosintetskih algi prvobitno reduktivna biosfera (čiji je metabolizam bio baziran na anaerobnoj respiraciji i hemosintezi) je prešla u oksidativnu biosferu.

U takvoj biosferi u kojoj se zahvaljujući fotosintezi akumulirao atmosferski kiseonik nastala je aerobna respiracija. To je omogućilo razvoj kopnenih organizama. Izdvajanje kiseonika u gornjim slojevima atmosfere je značajno i zbog interakcije  $\text{O}_2$  sa ultra-violentnom radijacijom i obrazovanja ozonskog omotača, koji kao zaštitni ekran sprečava štetno dejstvo UV zračenja na žive organizme na našoj planeti.

Kružni tok ugljenika praćen je i kruženjem drugih biogenih elemenata. Neki proračuni pokazuju da se u proseku na svakih 100 kg asimilovanog ugljenika utroši 3.4 kg azota, 0.47 kg fosfora, 2.1 kg kalijuma, 0.37 kg sumpora itd.. Na taj način mobilizacija ugljenika posredno uključuje i mobilizaciju drugih elemenata koji su neophodni za metaboličke procese u svim živim ćelijama.

Metabolizma ugljenika je rezultat dva veoma složena procesa i to: fotosinteze i disanja (respiracije).

### 5.3. Fotosinteza

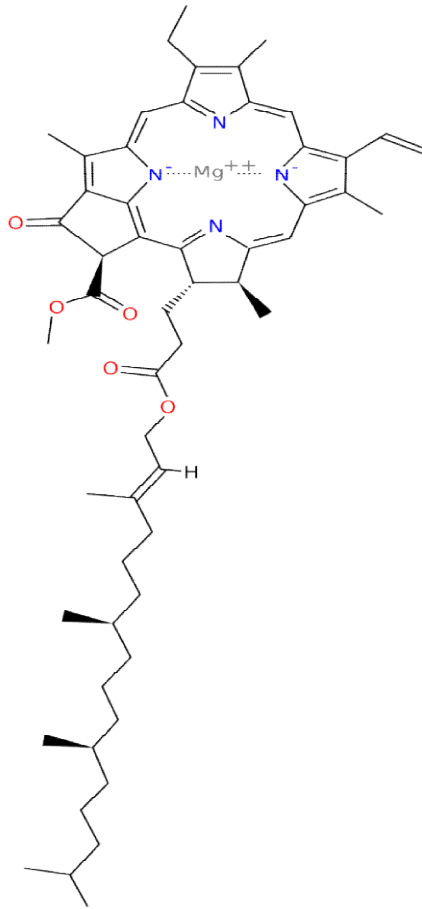
Proces pri kome biljke iz neorganskih supstanci, ugljen dioksida i vode, u prisustvu sunčeve svetlosti, stvaraju organsku materiju zove se fotosinteza. U toku ovoga procesa oslobađa se kiseonik koji je neophodan za disanje biljaka i životinja.

Fotosinteza je najvažniji proces za održavanje života na našoj planeti jer ishrana svih organizama izuzev nekih vrsta bakterija zavisi od hemijskih proizvoda fotosinteze. Prinos gajenih biljaka zavisi od procesa fotosinteze.

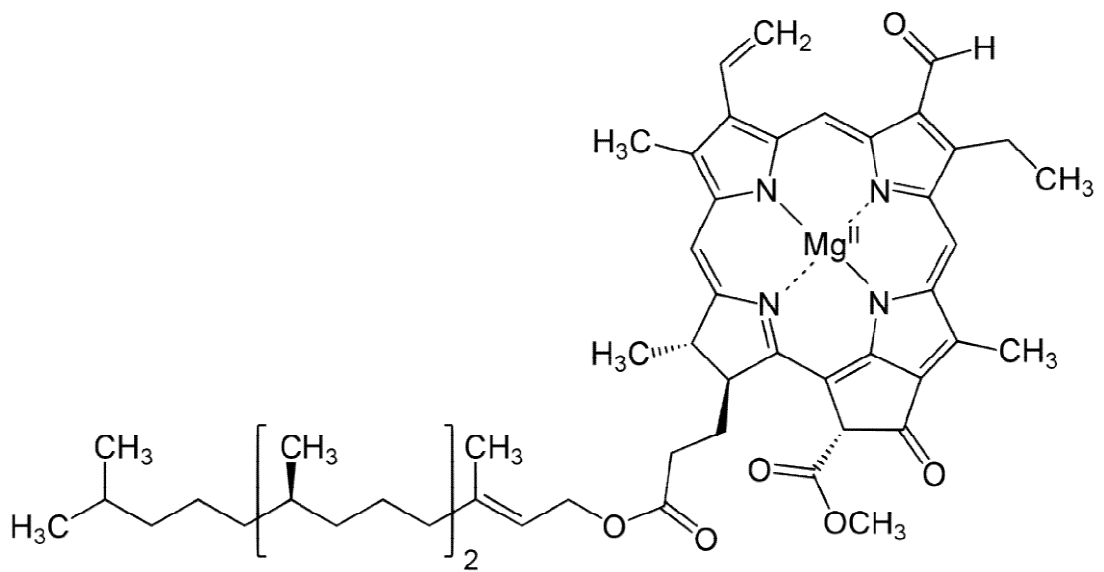
Primenom raznih agrotehničkih mera obezbeđuju se povoljni uslovi za uspešno odvijanje ovoga procesa. Zahvaljujući procesu fotosinteze mi danas eksploatišemo fosilna goriva (nafta, ugalj i dr.) da bi zadovoljili svoje mnogobrojne potrebe u energiji. U njima je sadržana energija sunčevih zraka koje su biljke nekada davno (pre više miliona godina) transformisale u hemijsku energiju procesom fotosinteze. Iz ostataka ovih biljaka a pod uticajem visoke temperature i pritiska stvorena su fosilna goriva.

Proces fotosinteze se obavlja u listu u kome se nalaze zelena telašca ili hloroplasti. **Hloroplasti** su u stvari organele u biljnim ćelijama ovalnog oblika i u njima se nalaze pored ostalih sastojaka **hlorofili** (a i b) i **karotenoidi** (biljni pigmenti). Hlorofili su biljni pigmenti zelene boje koji apsorbuju svetlost u procesu fotosinteze. U hemijskom pogledu hlorofili a i b su estri dikarbonske kiseline hlorofilina, gde je vodonik na jednoj karboksilnoj grupi zamenjen ostatkom alkohola, fitola ( $C_{20}H_{39}$ ), a u drugoj ostatkom metil alkohola ( $CH_3$ ). Molekulska formula hlorofila a je  $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ , dok hlorofil b ima formulu  $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ . Građu hlorofila čini prsten porfirina koji se sastoji od 4 prstena pirola. U centru porfirina se nalazi atom magnezijuma koji je vezan za atome azota pirolovih prstena.





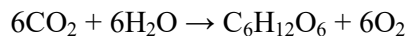
Slika 5.8.. Strukturna formula hlorofila a



Slika 5.9. Strukturna formula hlorofila b

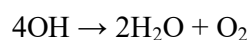
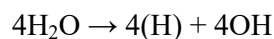
Hlorofili se uglavnom nalaze u listovima biljaka s tim što se mogu naći i u nekim drugim delovima biljke kao što su mladi nezreli plodovi i cvet. Odnos hlorofila a:b u listovima većine biljaka iznosi oko 3:1.

Fotosinteza se obično predstavlja sledećom ili sličnom jednačinom.



Međutim, fotosinteza je veoma složen fotofizički, fotohemijski i biohemijski proces koji se može podeliti na svetlu i tamnu fazu. U svetloj fazi se odigravaju sledeći procesi:

- apsorpcija i migracija svetlosne energije,
- razgradnja vode - obrazovanje kiseonika



- stvaranje redukcionog ekvivalenta  $\text{NADPH}_2$  (nikotinamid- adenin- dinukleotid fosfat),
- sinteza ATF (adenozin trifosfata, jedinjenja koje je bogato u energiji).

Drugim rečima, u svetloj fazi se stvaraju neophodni preduslovi za redukciji ugljen-dioksida; redukcion ekvivalent i energija.

U tamnoj fazi fotosinteze vrši se fiksacija (vezivanje) ugljen-dioksida i njegova redukcija pomoću  $\text{NADPH}_2$  i ATF. Reakcije u tamnoj fazi fotosinteze su deo jednog ciklusa koji se zove **Kalvinov ciklus**.

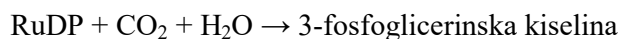
Ciklus je dobio ime po američkom naučniku Kalvinu koji je zajedno sa svojim saradnicima utvrdio redosled biohemijskih reakcija u tamnoj fazi fotosinteze kao i njihove proizvode. Za ovo otkriće je Kalvin 1961. godine dobio Nobelovu nagradu.

Kalvinov ciklus se može podeliti u tri faze:

1. karboksilacija
2. redukcija
3. regeneracija

### **Faza karboksilacije**

U procesu karboksilacije dolazi do vezivanja ugljen-dioksida usvojenog iz atmosfere za organsko jedinjenje ribulozu-1,5-difosfat ( $\text{RuDP}$ ).



### **Faza redukcije**

U ovoj fazi vrši se redukcija 3-fosfoglicerinske kiseline u gliceraldehid-3-fosfat i to uz pomoć redukujućih ekvivalenata koji su nastali u svetlosnoj fazi fotosinteze.

3-fosfoglicerinska kiselina + ATF + NADPH<sub>2</sub> → gliceraldehid-3-fosfat (trioza, prvi proizvod fotosinteze)

### **Faza regeneracije**

Da bi se Kalvinov ciklus mogao stalno odvijati neophodno je da se polazno jedinjenje ribuloza-1,5-difosfat (akceptor CO<sub>2</sub>) stalno obnavlja. Ovo obnavljanje (regeneracija) se vrši korišćenjem jednog dela sintetisanih trioza-fosfata. Ponovna sinteza RuDP se odvija preko više složenih reakcija uz učešće estara šećera sa 3,4,5,6 i 7 atoma ugljenika u molekulu.

Smatramo za potrebnim da naglasimo da svrha Kalvinovog ciklusa nije samo ponovna sinteza ribulozo-1,5-difosfata (akceptora ugljen-dioksida) već i da se određeni proizvodi ovoga ciklusa (uglavnom trioza-fosfati) iskoriste za sintezu složenih organskih jedinjenja kao što su: saharoza, skrob, celuloza, amino-kiseline, organske kiseline i niz drugih jedinjenja neophodnih za opstanak života na našoj planeti.

Proces fotosinteze koji se odvija u biljkama zavisi od velikog broja unutrašnjih i spoljašnjih činilaca kao što su svetlost, temperatura, koncentracija ugljen-dioksida i kiseonika u atmosferi, obezbeđenost biljaka vodom i hranljivim elementima, trajnost i zdravstveno stanje listova i dr. Mi ćemo u tekstu koji dalje sledi kazati nešto više o nekim od navedenih činilaca.

Utvrđeno je brojnim ispitivanjima da svetlost deluje na fotosintezu svojim intenzitetom, kvalitetom i trajanjem. Intenzitet fotosinteze je najveći u oblasti crvenog i plavog dela spektra, dok je u ostalim delovima spektra on znatno niži.

Intenzitet fotosinteze zavisi u velikoj meri od koncentracije ugljen-dioksida u atmosferi. On se povećava sa povećanjem koncentracije ovoga gasa u atmosferi. Međutim, to povećanje ne ide u nedogled. Naime, postoji koncentracija CO<sub>2</sub> iznad koje se intenzitet fotosinteze više ne povećava. Ta koncentracija se naziva saturaciona koncentracija, pošto ona zasićuje fotosintetički aparat. Do saturacije fotosinteze dolazi u većini slučajeva pri koncentraciji od 0,18 do 0,32% CO<sub>2</sub>.

Temperatura utiče na brzinu biohemijskih reakcija u procesu fotosinteze. Sa povećanjem temperature za 10°C brzina ovih reakcija se povećava za oko 2 puta (važi pravilo Vant-Hoffa). Međutim, pri višim temperaturama dolazi do inaktivacije enzima fotosinteze.

Intenzitet fotosinteze u velikoj meri zavisi od obezbeđenosti biljaka hranljivim elementima i vodom. U velikom broju ogleda, koji su izvedeni u prirodnim i kontrolisanim uslovima, utvrđeno je da je, pri optimalnoj obezbeđenosti biljaka hranljivim elementima, usvajanje ugljen-dioksida i iskorišćavanje svetlosne energije vrlo intenzivno. Intenzitet fotosinteze je znatno smanjen u uslovima suše, tj. kada u zemljištu i vazduhu nema dovoljno

vlage. U tim uslovima je neophodno primeniti agrotehničku meru koja se zove navodnjavanje i putem koje se gajenim biljkama obezbeđuju dovoljne količine vode za njihovo uspešno rastenje i razviće. Najveći je intenzitet fotosinteze (u većini slučajeva) kada zasićenost zemljišta vodom iznosi oko 80% od maksimalne zasićenosti.

Najvažniji pokazatelji procesa fotosinteze su: intenzitet fotosinteze i produktivnost fotosinteze.

Intenzitet fotosinteze predstavlja količinu usvojenog CO<sub>2</sub> ili izdvojenog O<sub>2</sub> na jedinicu lisne površine ili mase za jedinicu vremena. Najčešće se izražava u mg CO<sub>2</sub> dm<sup>-2</sup>čas<sup>-1</sup> odnosno mg CO<sub>2</sub>g<sup>-1</sup> sveže ili suve mase čas<sup>-1</sup>.

Produktivnost fotosinteze predstavlja količinu stvorene organske materije po kvadratnom metru lisne površine za dan. Izražava se u gm<sup>-2</sup>dan<sup>-1</sup>.

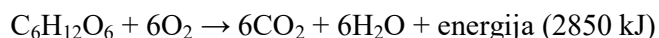
Sa ekonomskog stanovišta veoma je značajna ne samo ukupna produkcija organske materije po jedinici površine već i njena raspodela po organima biljke. Ukupan prinos suve ili sveže materije po jedinici površine naziva se **biološkim prinosom**. On se izražava u tonama po hektaru. Međutim, prinos onoga dela biljke (zrno, koren, krtola, list i dr.) radi koga se ona i gaji naziva se **ekonomskim prinosom**.

Odnos između ekonomskog (poljoprivrednog ) i biološkog prinosa naziva se **koeficijentom poljoprivredne aktivnosti fotosinteze**. Cilj svakog poljoprivrednog proizvođača je da taj koeficijent bude što povoljniji u korist ekonomskog prinosa. Ovo se može postići uvođenjem u poljoprivrednu proizvodnju novih sorti i hibrida kulturnih biljaka.

## 5.4. Disanje biljaka

Disanje obuhvata sve procese prometa materije koji su praćeni oslobađanjem energije. Razlika između sagorevanja i disanja je u obliku energije koja se oslobađa. Pri sagorevanju energija se oslobađa u obliku toplote, dok se pri disanju (biološkoj oksidaciji) energija oslobađa u obliku adenzin-trifosfata (hemijska energija), tj. jedinjenja sa makroergičnim vezama.

U zavisnosti od toga da li se disanje obavlja u prisustvu ili odsustvu kiseonika razlikujemo aerobno i anaerobno disanje. **Aerobno disanje** najčešće se prikazuje sledećom opštom jednačinom:



Osnovni supstrat za disanje biljaka su ugljeni hidrati. Između 20 i 30% procenata ugljenih hidrata stvorenih u toku procesa fotosinteze se razgradi u procesu disanja biljaka. Međutim, pored ugljenih hidrata masti i masne materije kao i belančevine mogu da učestvuju u procesu disanja. Da bi se pomenute supstance uključile u proces disanja neophodno je da dođe do njihove razgradnje u prostije supstance.

Tako se polisaharidi (skrob) razgrađuju do heksoza (glukoza), proteini do aminokiselina a masti do masnih kiselina i glicerina. Ova razgradnja se vrši reakcijama hidrolize. Više biljke svoje potrebe u energiji najvećim delom obezbeđuju razgradnjom šećera putem glikolize i u Krebsovom ciklusu.

Transformacija glukoze do pirogrogđane kiseline ( $\text{CH}_3\text{COCO}(\text{OH})$ ) predstavlja proces glikolize koji se sastoji od 10 uzastopnih reakcija od kojih je svaka katalizovana specifičnim enzimom. Da bi se šećeri uključili u proces glikolize oni moraju prethodno biti fosforilisani, što se dešava pod uticajem adenzin-trifosfata (ATF). Na ovaj način oni postaju metabolički aktivniji.

Druga aerobna faza ćelijskog disanja protiče u mitohondrijama u Krebsovom ciklusu, koji se zove i ciklusom limunske kiseline. Mitohondrije su organele u citoplazmi koje najčešće imaju štapićast oblik i koje imaju ogroman značaj u oslobađanju energije. U drugoj fazi disanja pirogrogđana kiselina se razlaže do krajnjih proizvoda, ugljen dioksida i vode.

Pri potpunoj oksidaciji jednog molekula glukoze obrazuje se ukupno 38 molekula ATF, što ukazuje na veliki značaj Krebsovog ciklusa u obezbeđivanju energije neophodne za razne životne procese. Energija je potrebna ne samo za održavanje submikroskopske strukture protoplazme, već i za odvijanje svih drugih endotermnih procesa u ćeliji (usvajanje i transport materija, brojne sinteze, strujanje protoplazme, pokrete i dr.). Međutim, ovaj ciklus nije značajan samo sa energetskeg aspekta nego i stoga što se u njemu obrazuju međuproizvodi koji predstavljaju polazni materijal za sintezu novih jedinjenja kao što su: amino-kiseline, masne kiseline, steroidi, porfirinski "skelet" a time i hlorofil.

Disanje kao jedan od najvažnijih fizioloških procesa ima svoje pokazatelje. To su intenzitet i koeficijent disanja.

**Intenzitet disanja** predstavlja količinu usvojenog kiseonika ili izdvojenog ugljen-dioksida u jedinici vremena po jedinici biljne mase. Izražava se u  $\text{mg CO}_2$  na 1 g suve materije za 24 časa, odnosno  $\text{mg O}_2$  na 1 g biljne mase za jedan čas.

**Koeficijent disanja** ili **respiracioni koeficijent** (RQ) predstavlja odnos između zapremine izdvojenog  $\text{CO}_2$  i usvojenog  $\text{O}_2$  u toku procesa disanja. Na osnovu ovoga koeficijenta može se zaključiti o hemijskoj prirodi supstrata koji je korišćen u disanju. Na

primer, za glukozu vrednost ovoga koeficijenta iznosi 1, dok je za proteine 0,8. Organske kiseline, koje su bogate kiseonikom, imaju  $RQ > 1$ .

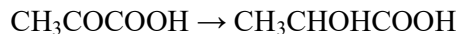
Kao što smo ranije istakli pored aerobnog postoji i **anaerobno disanje**. Naime, u prirodi postoje organizmi, uglavnom mikroorganizmi, koji žive u anaerobnim uslovima pa su zbog toga prinuđeni da razgrađuju ugljene hidrate u odsustvu kiseonika. Ovaj tip razgradnje se javlja i u nekim tkivima viših biljaka, čoveka i životinja.

Reakcioni mehanizam koji omogućava razgradnju organske materije u odsustvu kiseonika naziva se **vrenje** ili **fermentacija**. Ako se kao krajnji proizvod vrenja stvara etil-alkohol (etanol) onda je u pitanju alkoholno vrenje, dok se vrenje pri kome nastaje mlečna kiselina zove mlečno-kiselinsko vrenje. I u toku anaerobnog vrenja dolazi do razlaganje glukoze do pirogroždane kiseline. Reakcije su iste kao one u procesu glikolize.

Dalja transformacija pirogroždane kiseline u anaerobnim uslovima zavisi od tipa vrenja. U procesu **alkoholnog vrenja** pirogroždana kiselina se prvo dekarboksiluje pri čemu se oslobađa  $CO_2$ , a zatim nastali acetaldehid (etanal) se redukuje u etanol.



Pri **mlečno-kiselinskom vrenju** pirogroždana kiselina se direktno redukuje u mlečnu kiselinu.



Mlečno-kiselinsko vrenje se uglavnom odvija u mišićima čoveka i životinja tako da bol koji se javlja u mišićima, usled napornog fizičkog rada, potiče od akumulacije većih količina mlečne kiseline.

Pri anaerobnom disanju oslobađa se mnogo manje energije u odnosu na aerobni proces tako da je ono za većinu biljaka nepovoljno.

## 5.5. Apsorpcija mineralnih soli korenovima biljaka

Za ishranu biljaka, kao značajnog dela biljne fiziologije, od posebnog je značaja poznavanje mehanizma usvajanja jona. Usvajanje jona predstavlja jedan složen proces koji se uslovno može podeliti u sledeće etape:

- ✓ transport jona na površinu korena,
- ✓ ulaženje jona u apoplast (prividno slobodan prostor), i
- ✓ transport kroz plazmalemu (citoplazmatičnu membranu) u citoplazmu.

U transportu jona na površinu korena značajnu ulogu igraju procesi strujanja zemljišnog rastvora usled usvajanja vode korenom, difuzije i kontaktne izmene. Difuzija jona u zemljišnom rastvoru kod većine katjona iznosi nekoliko centimetara, dok je u slučaju fosfatnih jona ona samo nekoliko milimetara. Pri kontaktnoj izmeni dolazi do zamene između jona adsorbovanih na koloidnim česticama zemljišta i onih koji se nalaze na površini korena (npr.  $H^+$  joni). Ukoliko koren nije dovoljno blizu koloidne čestice neće doći do kontaktne zamene, već samo do izmene preko rastvora.

Ulaženje jona u prividno slobodan prostor (apoplast) odvija se po zakonima difuzije. Ovaj prostor obuhvata ćelijski zid i međućelijske prostore. U korenu postoje dva međusobno odvojena puta kretanja jona do provodnih sudova ksilema. To su apoplastični i simplastični put. Apoplastični put obuhvata kretanje jona po prividno slobodnom prostoru, dok njihovo kretanje iz ćelije u ćeliju predstavlja simplastični put. U apoplastu joni se kreću pod uticajem transpiracije i difuzijom. Deo korena gde pasivno transportovani joni iz prividno slobodnog prostora ulaze u citoplazmu i dalje se kreću po simplastu korena naziva se endoderm.

Da bi joni (i molekuli) mogli da uđu u citoplazmu oni moraju da prođu kroz citoplazmatičnu membranu, **plazmalemu**, koja poseduje selektivnu propustljivost.

Neki molekuli kao što su molekuli vode, ugljen-dioksida i kiseonika ulaze u citoplazmu po zakonima difuzije i taj način ulaženja supstanci u ćeliju označava se kao pasivan transport. Međutim, za biološke sisteme je karakteristično da imaju veću koncentraciju mineralnih i organskih materija u odnosu na spoljašnju sredinu. Za transport materija iz područja niže u područje veće koncentracije potrebna je energija. Ovakav transport se naziva **aktivan transport**.

Transport jona kroz membrane viših biljaka se najčešće objašnjava sistemom prenosioca (supstanci proteinske prirode). Prema ovoj teoriji joni prolaze kroz membranu vezani za prenosioca. Mehanizam transporta jona pomoću prenosioca se može objasniti na sledeći način. Prenosilac koji je prisutan u membrani se obogaćuje energijom iz adenzin trifosfata (ATF). Posle ovoga prenosilac stvara kompleks sa jonom koji se nalazi na spoljašnjoj strani membrane. Kompleks jona i prenosioca difuzijom prolazi kroz membranu. Na unutrašnjoj strani membrane (strani koja je najbliža citoplazmi) ovaj kompleks se razlaže na jon i prenosilac. Oslobođeni jon ulazi u citoplazmu, a prenosilac se ponovo obogaćuje energijom i difuzijom vraća u spoljašnji deo membrane. Smatra se da jedan prenosilac može da prenosi jedan ili dva, a ređe više jona. U slučaju da isti prenosilac prenosi dva ili više jona, onda on obično ima veći afinitet za jedan jon nego za drugi.

## 5.6. Uloga makro- i mikrohranljivih elemenata u ishrani biljaka

Kao što smo ranije istakli neophodni elementi se dele na makro- i mikrohranljive elemente. U makrohranljive ili makroelemente spadaju C, H, O, N, P, K, Ca, Mg i S, dok su mikrohranljivi elementi (mikroelementi): Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo i Co. U tekstu koji dalje sledi govorićemo o značaju i ulozi ovih elemenata (izuzev C, H i O) u ishrani biljaka. Ugljenik, vodonik i kiseonik su osnovni organogeni elementi o kojima je dosta kazano u poglavljima o fotosintezi i disanju. Oni ulaze u sastav biljaka preko vazduha i vode u zemljištu, dok svi ostali neophodni elementi potiču iz rezervi u zemljištu. Sadržaj makroelemenata u suvoj materiji biljaka je veći od 0,01%, dok je sadržaj mikroelemenata manji od 1 mg/g, a obično veći od 1 µg (ppm).

### 5.6.1. Makroelementi

#### **Azot**

Sadržaj azota u suvoj materiji biljaka kreće se u granicama od 1,5 do 5,0 %. Većim sadržajem azota odlikuju se mladi delovi biljaka u kojima se odvija deoba ćelija, a s tim u vezi i intenzivnija sinteza belančevina. Najveći sadržaj azota je u zrnju i listovima, dok je znatno manji u stablu i korenu. Leguminozne biljke su naročito bogate u azotu.

Uloga azota u ishrani biljaka je veoma značajna i mnogostruka. Ona se ogleda u sledećem:

- Azot ulazi u sastav esencijalnih jedinjenja u biljkama kao što su: belančevine, nukleinske kiseline, nukleotidi i hlorofili.
- Jedinjenja kao što su amini, amidi, vitamini, alkaloidi i hormoni sadrže azot kao konstitucioni element.
- Azot ubrzava rastenje i razviće svih živih tkiva. Tako, na primer, on veoma povoljno utiče na veličinu lisne površine i njenu fotosintetičku aktivnost.
- Azot utiče na usvajanje pojedinih jona. Nitratni oblik azota podstiče nakupljanje elemenata koji se usvajaju u obliku katjona, dok amonijačni oblik onih koji se usvajaju kao anjoni.

Glavni simptomi nedostatka azota u ishrani su:

- niže i tanje biljke od normalno hranjenih biljaka;



- pojava svetlo zelenog do bledo žutog obojenja na starijim listovima;
- slabo razvijen korenov sistem;
- smanjen broj kao i veličina plodova koji su lošijeg kvaliteta.



Slika 5.10. Nedostaci azota

Biljke usvajaju azot u obliku nitratnog ( $\text{NO}_3^-$ ) i amonijačnog ( $\text{NH}_4^+$ ) jona.

### Fosfor

Sadržaj fosfora u biljkama kreće se najčešće u intervalu od 0,1 do 1,0% u odnosu na suhu materiju. Ovaj hranjivi element se više nakuplja u generativnim nego u vegetativnim organima. Na primer, seme sadrži od 0,5 do 1%, a vegetativni organi 0,1-0,2% P u suvoj materiji. Njegove najvažnije funkcije su sledeće:

- ☑ Fosfor ulazi u sastav biološki vrlo značajnih jedinjenja kao što su fosfatidi (lecitini i kefalini), nukleinske kiseline, koenzimi i adenzin trifosfat.
- ☑ Rezerve fosfora se nalaze u semenu u obliku organskog jedinjenja koje se zove fitin (fosforni ester cikličnog alkohola inozita).
- ☑ Fosfor je neophodan za rast meristema (tkiva u kojima se obrazuju nove ćelije) i za razvoj semena. On stimuliše cvetanje.
- U slučaju njegovog nedostatka u ishrani javljaju se sledeći simptomi:
- Slabo razvijene biljke i to kako njihov nadzemni deo tako i koren.

- Lišće je uglavnom tamno zeleno sa raznim nijansama prelaza boja od plavozelenog do crvenkasto-zelenog ili ljubičastog (pojačana sinteza antocijana).
  - U nedostatku fosfora žita se slabije bokore, a smanjuje se i broj zrna u klasu.
- Biljke usvajaju fosfor iz zemljišta u obliku  $\text{HPO}_4^{2-}$  i  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  jona.



Slika 5.11. Nedostatak fosfora

### **Kalijum**

Ukupan sadržaj kalijuma u suvoj materiji kreće se u veoma širokim granicama, od 0,3% u semenu do 6% u meristemskim tkivima. Kalijum nije nađen kao konstitucionni element bilo kog organskog jedinjenja. Drugim rečima, on nije vezan kovalentnim vezama za atome drugih elemenata u nekom organskom molekulu.

Fiziološka uloga kalijuma se ogleda u sledećem:

- ☑ važna funkcija u regulisanju koloidnog stanja protoplazme,
- ☑ aktivator je velikog broja enzima (oko pedeset),
- ☑ ima ulogu u neutralizaciji viška organskih kiselina u ćeliji,
- ☑ značajan je za vodni režim biljaka (biljke koje su optimalno obezbeđene u kalijumu troše manje vode za sintezu suve materije, tj. imaju niži transpiracioni koeficijent), i
- ☑ učestvuje u sintezi šećera i belančevina.

Glavni simptomi nedostatka kalijuma u ishrani biljaka su sledeći:

- pojava karakterističnih mrkih pega po ivicama lišće i tkivo obuhvaćeno ovim pegama posle izvesnog vremena izumire;
- slabo razvijen korenov sistem koji je neotporan prema napadu parazita; i
- slab kvalitet plodova.

Kalijum se iz zemljišta usvaja u obliku  $K^+$  jona.

## Sumpor

Sadržaj ovoga elementa u suvoj materiji biljaka je između 0,12 i 1,2%. Najviše ga ima u listovima, a najmanje u korenu biljaka. Fiziološka uloga sumpora, kao makrohranljivog elementa, se ogleda u sledećem:

- ulazi u sastav nekih amino-kiselina (cistin, cistein i metionin), a time i belančevina,
- učestvuje u metaboličkim aktivnostima vitamina, biotina, tiamina i koenzima A,
- stabilizuje strukturu belančevina preko disulfidnih veza,
- ima značajnu ulogu u održavanju ravnoteže sume anjona i katjona, koja je u biljkama uglavnom konstantna,
- hranljivi element povoljno utiče na usvajanje azota, fosfora i kalijuma.

Nedostatak sumpora u ishrani biljaka izaziva simptome koji su donekle slični simptomima nedostatka azota. Naime, listovi su mali i blede boje. Inače, biljke usvajaju sumpor iz zemljišta u obliku  $SO_4^{2-}$  jona.

## Silicijum

Biljke sadrže od 0,1% do 10% silicijuma u suvoj materiji. Koreni usvajaju Si koristeći Si transportere, a zatim ga prenose u nadzemne organe. Najveći sadržaj Si je u lišću, međutim, kod nekih biljnih vrsta tkiva korena su takođe mesta gde se može naći velika akumulacija Si. Pozitivna uloga silicijuma u ishrani biljaka ogleda se u sledećem:

- ublažava negativan uticaj različitih abiotičkih i biotičkih stresova različitim mehanizmima uključujući morfološke, fiziološke i genetske promene;
- ublažave efekte stresa na fotosintetičkom aparatu;
- poboljšava usvajanje hranljivih elemenata;
- utiče pozitivno na rast biljke;

- ☑ povećava otpornost biljaka na štetne insekte i gljive;
- ☑ povećava biomasu i prinos.

Biljke lišene Si su često strukturno slabije i sklonije abnormalnostima rasta, razvoja i reprodukcije i to je jedina hranljiva materija koja nije štetna kada se sakupi u višku.

Iako su visoke koncentracije Si u biljkama potvrđene i Si je prepoznat kao jedan od 15 elemenata potrebnih za rast i razvoj biljaka početkom 20. veka, on se još uvek ne smatra esencijalnim elementom viših biljaka. Ova definicija je nekoliko puta ponovo razmatrana jer su mnogi istraživači potvrdili blagotvorno dejstvo Si.

Istraživanja nedostatka silicijuma kod pirinča i ovsu pokazala su negativan uticaj na rast, sterilnost zrna, prinos, kao i pojavu hloroze kod biljaka.

### **Kalcijum**

Sadržaj kalcijuma u suvoj materiji biljaka kreće se u širokim granicama od 0,2 do 3%. On zavisi od mnogih činilaca kao što su biljna vrsta, starost i uslova sredine. Najvažnije funkcije ovoga elementa su sledeće:

- ☑ ima ulogu u održavanju strukture i funkcije ćelijskih membrana,
- ☑ ima značajnu ulogu u neutralizaciji organskih kiselina sa kojima gradi teško rastvorljive soli i na taj način otklanja njihovo toksično dejstvo u ćeliji,
- ☑ neki enzimi se aktiviraju pod uticajem kalcijuma, i
- ☑ smanjuje hidrataciju koloida i na taj način povećava stabilnost i viskozitet protoplazme.

U slučaju nedostatka kalcijuma u ishrani uočavaju se sledeći simptomi:

- listovi su naborani, njihovi krajevi su povijeni na gore, a nekad može da nastane hloroza (poremećaj u sintezi hlorofila);
- prvi simptomi nedostatka kalcijuma javljaju se na najmlađim organima; i
- meristemska tkiva nadzemnog dela i korena gube embrionalni karakter, usled čega prestaje rastenje biljaka.

Biljke usvajaju kalcijum iz zemljišta u obliku  $\text{Ca}^{2+}$  jona.

## Magnezijum

Sadržaj magnezijuma u suvoj materiji biljaka kreće se u proseku od 0,15 do 0,6%. Oko 20% od ukupne količine magnezijuma u biljkama se nalazi u molekulima hlorofila. Fiziološki značaj ovoga makroelementa se ogleda u sledećem:

- sastojak je hlorofila i prema tome je neophodan za proces fotosinteze,
- aktivator je određenih enzima koji učestvuju u procesima fotosinteze i disanja,
- učestvuje u neutralizaciji viška organskih kiselina u biljkama pri čemu stvara teško rastvorljive soli,
- zajedno sa drugim katjonima utiče na bubrenje koloida protoplazme i zahvaljujući tome i na vodni režim biljaka, i
- utiče na metabolizam azota.

U slučaju njegovog nedostatka povećava se udeo niskomolekularnih jedinjenja na račun visokomolekularnih.

U slučaju nedostatka magnezijuma u ishrani prvi simptomi se obično javljaju na starijim listovima u vidu hloroze (poremećaj u sintezi hlorofila) između lisnih nerava.

Magnezijum se usvaja od strane biljaka u obliku dvovalentnog jona ( $Mg^{2+}$ ).

### 5.6.2. Mikroelementi

## Gvožđe

Sadržaj gvožđa u suvoj materiji biljaka se obično nalazi u intervalu od 50 do 200 mg/kg. Međutim, neke biljke, na primer, spanać sadrže i do 3000 mg/kg Fe.

Gvožđa najviše ima u listovima i korenu, dok je njegov sadržaj u stablu i zrnu znatno manji. Sposobnost gvožđa da prelazi iz oksidovanog ( $Fe^{3+}$ ) u redukovani oblik ( $Fe^{2+}$ ) i obrnuto, kao i mogućnost stvaranja kompleksa sa nekim organskim supstancama su važne karakteristike gvožđa koje određuju njegovu fiziološku ulogu.

Značaj gvožđa u ishrani biljaka se ogleda u sledećem:

- neophodan je za sintezu hlorofila,
- značajan je za fotosintezu i disanje,
- neophodna je komponenta mnogih enzima, i

- ☑ ima značajnu ulogu u fiksaciji elementarnog azota.

Naime, zajedno sa molibdenom predstavlja neophodnu komponentu aktivnog centra enzima nitrogenaze koji katalizuje biološku fiksaciju azota.

U slučaju nedostatka gvožđa u ishrani javlja se hloroza koja se prvo uočava na mladim listovima biljaka. Listovi imaju žuto-zelenu a kasnije i limun žutu boju.

Gvožđe se usvaja iz zemljišta u obliku fero ( $\text{Fe}^{2+}$ ) i feri ( $\text{Fe}^{3+}$ ) jona, kao i u vidu Felata.



Slika 5.12. Nedostatak gvožđa

Izvor: <http://www.eplants.com.au/iron-deficiency>

## Mangan

Sadržaj mangana u suvoj materiji biljaka se kreće od 50 do 250 ppm. On je više zastupljen u mladim organima i tkivima u kojima su i metabolički procesi intenzivniji. Fiziološka uloga mangana je u vezi sa sposobnošću mangana da menja valentnost. Njegove najvažnije funkcije su sledeće:

- ☑ učestvuje u aktivaciji enzimatskih procesa,
- ☑ ima veoma značajnu ulogu u procesu fotosinteze (neophodan je pri fotooksidaciji vode), i
- ☑ ima važnu ulogu u sledećim metaboličkim procesima biljaka: redukciji nitrata, fiksaciji elementarnog azota, sintezi auksina, askorbinske kiseline, razgradnji vodonik peroksida i dr.

Nedostatak mangana se manifestuje u pojavi hloroze, a list dobija sitnomrežast izgled, jer nervi lista ostaju zeleni. Ovaj vid hloroze se zove "mozaička hloroza".

Biljke usvajaju mangan u obliku  $Mn^{2+}$  jona i Mn-helata.



Slika 5.13. Nedostatak mangana

Izvor: <http://www.eplants.com.au/manganese-deficiency>

## Bakar

Sadržaj bakra u suvoj materiji biljaka se kreće od 2 do 20 ppm. Bakar je više zastupljen u korenu nego u drugim biljnim organima. Osnovna uloga ovoga mikroelementa u fiziološko-biohemijskim procesima biljaka ogleda se u tome što on ulazi u sastav niza enzima, koji učestvuju u oksido-redukcionim procesima. Bakar štiti hlorofil od oksidacije i pospešuje sintezu vitamina A u biljkama. On utiče i na otpornost biljaka prema suši i bolestima.

Nedovoljne količine bakra u ishrani izazivaju hlorozu i savijanje lišća zeljastih biljaka, dok kod drvenastih biljaka dolazi do sušenja vrhova grančica.

Bakar se iz zemljišta usvaja u obliku  $Cu^{2+}$  jona i Cu-helata.

## Cink

Sadržaj cinka u suvoj materiji biljaka najčešće se kreće od 20 do 50 ppm. Cink se u biljkama u većoj meri nakuplja u korenu i mladim listovima. Njegove najvažnije funkcije su sledeće:

- neophodan je za sintezu hormona rasta heteroauksina ili indolsirćetne kiseline,
- konstituent je raznih metalo-enzima (na primer, enzim karboanhidraza). Ovaj enzim katalizuje prenošenje  $\text{CO}_2$  na  $\text{H}_2\text{O}$  pri čemu nastaje  $\text{HCO}_3^-$  i  $\text{H}^+$ . Njegova aktivnost obezbeđuje odgovarajuću pH vrednost i na taj način štiti belančevine od denaturacije.
- učestvuje u sintezi nukleinskih kiselina i proteina.

U slučaju nedostatka cinka u ishrani biljke su patuljastog rasta i imaju rozetast izgled, a listovi su uski i sitni. Na listovima se uočavaju hlorotične pege i nekroza (odumiranje tkiva).

Cink se iz zemljišta usvaja u obliku  $\text{Zn}^{2+}$  jona i Zn helata.

## Bor

Ovaj mikroelement se u suvoj materiji biljaka nalazi u količini od 2 do 70 ppm. U listovima ga ima obično više nego u stablu i korenu. On ima značajnu ulogu u metaboličkim procesima biljaka. Fiziološka uloga bora se ogleda u sledećem:

- gradi estere sa šećerima i alkoholima,
- povećava propustljivost membrana a samim tim olakšava transport ugljenih hidrata,
- neophodan je za deobu ćelije, i
- neophodan je za sintezu proteina.

Nedostatak bora se u značajnoj meri odražava na anatomsku građu biljaka, a na prvom mestu na građu korena. Koren se slabo grana, ne raste i potpuno zakržljava. Nedostatak bora izaziva raspadanje floema (tkivo koje hranu nastalu u listovima raznosi u sve delove biljke) i kambijalnih tkiva (sastoje se od uskih tankozidnih ćelija između ksilema sa unutrašnje strane i floema sa spoljašnje) dok ksilem ne podleže nikakvim promenama. Ovo ima za posledicu otežan transport materija kroz provodne sudove.

Biljke usvajaju bor iz zemljišta u obliku anjona ( $\text{BO}_3^{3-}$ ).



## Molibden

Sadržaj molibdena u suvoj materiji biljaka je vrlo mali i obično se kreće u granicama od 0,1 do 0,5 ppm. U listovima ima više molibdena nego u stablu biljaka. Značaj i uloga molibdena u ishrani biljaka se može dobro sagledati iz sledećih činjenica:

- ulazi u sastav enzima nitrat-reduktaze koja katalizuje redukciju  $\text{NO}_3^-$  u  $\text{NO}_2^-$ ,
- ulazi u sastav enzima nitrogenaze koji učestvuje u biološkoj fiksaciji azota, gde katalizuje redukciju  $\text{N}_2$  u  $\text{NH}_3$ , i
- podstiče aktivnost određenog broja enzima.

Na nedovoljnu količinu pristupačnog molibdena u zemljištu naročito reaguje karfiol, kao izrazito osetljiva biljka na deficit ovog mikroelementa. Kod obolelih biljaka dolazi do smanjivanja površine listova. Citrusi su takođe osetljivi na nedostatak ovoga elementa i kod njih dolazi do pojave žutih površina na lišću.

Biljke usvajaju molibden u obliku anjona ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ).

## Kobalt

Sadržaj kobalta u suvoj materiji biljaka kreće se najčešće u granicama od 0,12 do 0,4 ppm. On se više nagomilava u vegetativnim nego u generativnim organima. Kobalt ulazi u sastav nekih metaloenzima i vitamina  $\text{B}_{12}$  koji je od izuzetnog značaja za zdravlje čoveka i životinja. Ovaj mikroelement može da učestvuje u oksidoredukcionim procesima pošto spada u grupu polivalentnih metala (javlja se u obliku  $\text{Co}^{2+}$  i  $\text{Co}^{3+}$  jona).

U slučaju nedostatka kobalta na mladim listovima leguminoznih biljaka javlja se hloroza. Simptomi nedostatka ovoga elementa kod ostalih gajenih biljaka za sada nisu poznati.

Biljke usvajaju kobalt iz zemljišta u vidu  $\text{Co}^{2+}$  jona i u helatnom obliku.

## Rezime

U potpuno diferenciranoj biljnoj ćeliji razlikuju se tri osnovna dela: ćelijski zid, protoplazma i vakuola.

**Protoplazma** je živi deo ćelije, dok je **ćelijski zid** proizvod životne aktivnosti protoplazme. Protoplazma se obično deli na citoplazmu i jedro. **Citoplazma** se sastoji od membranskih struktura (biomembrana) i određenog broja organela (sitna tela) koje su uronjene u polutečnu fazu ćelije. Svaki tip organele ima vitalnu ulogu u biohemijskim reakcijama u ćeliji.

Celokupan proces prometa vode u biljci označava se kao vodni režim. On je uslovljen sa tri osnovna elementa: Usvajanje (primanje) vode iz podloge uglavnom pomoću korenovog sistema; Transport vode po tkivima korena, stabla i listova i Odavanjem vode preko nadzemnih organa (transpiracija). Voda se najvećim delom usvaja preko korenovog sistema biljaka kroz apoplast, postoji i kretanje kroz simplast koje je dosta slabije izraženo u odnosu na prvi način. Biljke mogu da usvajaju vodu i preko nadzemnih organa, posebno listova. Usvajanje vode preko listova odvija se kroz stome (mali otvori na površini lista) i pore koje se nalaze u kutikuli epidermisa.

Proces pri kome biljke iz neorganskih supstanci, ugljen dioksida i vode, u prisustvu sunčeve svetlosti, stvaraju organsku materiju zove se fotosinteza.

Disanje obuhvata sve procese prometa materije koji su praćeni oslobađanjem energije.

Usvajanje jona predstavlja jedan složen proces koji se uslovno može podeliti u sledeće etape: transport jona na površinu korena, ulaženje jona u apoplast i transport kroz plazmalemu u citoplazmu.

U makrohranjive ili makroelemente spadaju C, H, O, N, P, K, Ca, Mg i S, dok su mikrohranjivi elementi (mikroelementi): Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo i Co.

## Pitanja

1. Struktura biljne ćelije
2. Organele biljne ćelije
3. Proces prometa vode u biljci
4. Sadržaj vode u biljkama
5. Značaj vode za život biljaka
6. Usvajanje vode
7. Transport vode kroz biljku
8. Transpiracija
9. Fotosinteza /pojam, značaj i pokazatelji/
10. Svetla i tamna faza fotosinteze
11. Uticaj svetlosti, temperature i koncentracije CO<sub>2</sub> na fotosintezu
12. Aerobno disanje biljaka
13. Anaerobno disanje biljaka
14. Apsorpcija mineralnih soli korenovima biljaka
15. Uloga azota i fosfora u ishrani biljaka
16. Uloga kalijuma i sumpora u ishrani biljaka
17. Uloga kalcijuma i magnezijuma u ishrani biljaka
18. Uloga gvožđa i mangana u ishrani biljaka
19. Uloga bakra i cinka u ishrani biljaka
20. Uloga bora i molibdena u ishrani biljaka

## Literatura

1. Kastori, R. (1998). Fiziologija biljaka, Feljton, Novi Sad
2. Stikić, R., Jovanović, Z. (2012) Fiziologija stresa biljaka, Poljoprivredni fakultet, Beograd.
3. MOHR, Hans; SCHOPFER, Peter (ed.). Plant physiology. Springer Science & Business Media, 2012.

## 6. ZEMLJIŠTE



Cilj ovog poglavlja je upoznavanje studenata sa osnovima hemije zemljišta. Upoznaćemo se sa osnovnim parametrima plodnosti zemljišta, činiocima nastajanja zemljišta, sastavom zemljišta (minerali, organska materija, makro- i mikroelementima)

Najvažniji zadatak hemije zemljišta jeste da, proučavanjem hemijskih osobina zemljišta i njihovih promena, objasni uslove gajenja biljaka na raznim zemljištima, kao i načine delovanja na hemijska svojstva zemljišta radi povećanja njegove produktivne sposobnosti.

Razvoj hemije zemljišta je u tesnoj vezi sa razvojem hemije, fizičke-hemije, geochemije i pedologije.

U okviru ovoga poglavlja biće govora o zemljištu i činiocima njegovog nastajanja, sastavu i hemijskim osobinama zemljišta, kao i o osnovnim agrohemijskim karakteristikama najvažnijih tipova zemljišta u našoj zemlji.

## 6.1. Zemljište i plodnost zemljišta

Zemljište je prirodna tvorevina koja je nastala tokom dugog vremena i koja se i dalje stvara. Početak stvaranja zemljišta uslovljen je prvobitnim promenama koje su se desile na našoj planeti. Poznato je da je ona u početku bila užarena masa koja je počela postepeno da se hladi i kao posledica (rezultat) tog hlađenja izdvojile su se dve jasno definisane sfere (omotača). To su **litosfera** i **atmosfera**.

Litosfera je sfera kamena ili stena. Prvobitna atmosfera je bila veoma gusta zato što je u njoj bila prisutna voda svih okeana, mora, jezera, reka i drugih vodotokova. U atmosferi je bio i ugljenik koji je sada sastavni deo karbonata, nafte, uglja, biljaka i životinja. Kada se Zemljina kora dovoljno ohladila došlo je do kondenzovanja vodene pare i tako je stvorena nova sfera koja se zove **hidrosfera**. Padanjem na čvrstu litosferu topla voda hidrosfere izazvala je jako hemijsko raspadanje stena. Pod uticajem takvog raspadanja stvaraju se proizvodi (produkti) od kojih su kasnije nastala zemljišta.

Stalnim isparavanjem sa već oformljene hidrosfere voda se kondenzovala u donjim delovima atmosfere. Obogaćena ugljen-dioksidom i kiseonikom padala je na površinu litosfere. Takvim kružnim kretanjem voda je doprinela raspadanju litosfere i laganom obrazovanju zemljišta.

Obrazovanje zemljišta pomogli su i živi organizmi. Jednog momenta na našoj planeti je nastao život i tako je stvorena nova sfera - **biosfera** (grč. *bios* - život). U početku su je činili mikroorganizmi i dok su samo oni bili prisutni stvarala su se **primitivna zemljišta**.

**Prava zemljišta** su se kasnije stvorila i to na kraju sibrura kada su se na našoj planeti javile zelene biljke. Ove biljke posle izumiranja doprinose stvaranju organske materije zemljišta, tj. humusa.

Proces obrazovanja zemljišta je dugotrajan i on ima za posledicu da se na površini litosfere stvara jedna nova sfera koja se zove **pedosfera** (grč. pedon = zemljište). Prosečna debljina pedosfere iznosi 2 m (od nekoliko cm pa do više metara), dok je debljina litosfere od 50 do 100 km. Na pedosferu otpada najmanji deo, ali je ona od izuzetnog značaja i ima vrlo komplikovani sastav. U nju ulaze delovi svih sfera: litosfere, hidrosfere, atmosfere i biosfere.

Da bi se shvatilo da je zemljište prirodna tvorevina i da je različita od litosfere, uvek se kaže da zemljište raspolaže posebnom osobinom koja se naziva **plodnost**. Plodno zemljište omogućava dobijanje visokih prinosa biljaka. Uslovi koji su potrebni za ovo a koje treba da poseduje plodno zemljište su sledeći:

- dovoljna količina vode i hranljivih elemenata u toku vegetacije;
- dovoljno kiseonika za disanje korena;
- povoljna reakcija zemljišta (merilo njene kiselosti odnosno alkalnosti);
- optimalna vrednost redoks potencijala (pokazatelj odnosa između oksidovanih i redukovanih oblika materije);
- odsustvo toksičnih supstanci i
- prisustvo supstanci koje imaju stimulativni efekat na rastenje biljaka.

Pored toga zemljište je fizička sredina gde je prisutan korenov sistem biljaka tako da ona treba da bude pogodna za rastenje biljnih korenova. Plodnost zemljišta zavisi od hemijskih, fizičko-hemijskih, fizičkih i bioloških osobina zemljišta. Međutim, plodnost zemljišta nije samo prirodna osobina zemljišta pošto se značajan uticaj na nju ispoljava proizvodnom aktivnošću čoveka.

Zemljišta koja imaju iste prirodne osobine mogu da daju sasvim različite prinose biljaka u zavisnosti od agrotehničkih mera koje su primenjene na tim zemljištima. Smatramo potrebnim da istaknemo da je prirodna plodnost zemljišta podložna promenama u toku dugog vremenskog perioda. Pedogenetski procesi (proces obrazovanja zemljišta) koji se dešavaju u zemljištu dovode do postepenih promena njegovih osobina. Neki procesi prouzrokuju povećanje plodnosti zemljišta, dok je drugi mogu smanjiti (degradacija).

## 6.2. Činioci nastajanja zemljišta

Činioci koji utiču na obrazovanje zemljišta nazivaju se pedogenetskim činiocima. Prvi koji je ukazao na činioce koji uslovljavaju obrazovanje zemljišta bio je ruski naučnik **Dokučajev**. Danas se u najvažnije pedogenetske činioce svrstavaju sledeći:

- 1) geološki supstrat ili matična stena
- 2) klima
- 3) reljef
- 4) vegetacija
- 5) vreme (starost)
- 6) čovek

### 1) Geološki supstrat

Sva su zemljišta obrazovana na nekom geološkom supstratu (matičnoj steni) koji ulazi u sastav litosfere. Litosfera se sastoji od tri vrste stena: **magmatske**, **metamorfne** i **sedimentne** stene.

Magmatske stene postaju hlađenjem i očvršćivanjem tečne mase (magne) koja dolazi iz unutrašnjosti Zemlje. Metamorfne stene nastaju transformacijom magmatskih i sedimentnih stena pod uticajem visoke temperature i pritiska, dok su sedimentne stene nastale raspadanjem magmatskih i metamorfnih stena uz naknadni transport i taloženje dobijenog materijala.

Magmatske i metamorfne stene čine preko 95% Zemljine kore ali pokrivaju samo 25% njene površine. Sedimentne stene pokrivaju oko 75% površine Zemljine kore, pa su zbog toga one značajnije za obrazovanje zemljišta.

Zemljišta u čijem je obrazovanju posebnu ulogu imao geološki supstrat nazivaju se **litogenim zemljištima**. Obično je u početku uticaj geološkog supstrata na obrazovano zemljište veliki, da bi kasnije on bio manje izražen. Zbog toga se na različitim geološkim supstratima mogu obrazovati zemljišta istih ili sličnih osobina. Na istim geološkim supstratima mogu se obrazovati različita zemljišta, što je posledica uticaja drugih činilaca na obrazovanje zemljišta.

Geološki supstrat utiče na:

- dubinu zemljišta
- mehanički sastav zemljišta

- boju zemljišta
- mineraloški sastav zemljišta
- hemijski sastav zemljišta

## 2) Klima

Zemljišta u čijem je obrazovanju presudnu ulogu imala klima nazivaju se **klimatogena zemljišta**. Klima spada u aktivne činioce obrazovanja zemljišta i kod dubokih, dobro razvijenih zemljišta njen uticaj je veći nego što je to kod plitkih, slabo razvijenih zemljišta. Ona utiče na obrazovanje zemljišta preko padavina i temperature.

Jedan od značajnih kvantitativnih pokazatelja klime je **godišnji kišni faktor** (uveo ga je Lang) koji se definiše kao odnos između padavina (prosečne godišnje) i temperature (prosečne godišnje). U sledećoj tabeli data je podela klime prema vrednostima za godišnji kišni faktor.

Tabela 6.1. Podela klime prema godišnjem kišnom faktoru

Godišnji kišni faktor	Oznaka klime
< 40	aridna
41 - 60	semiaridna
61 - 80	semihumidna
81 - 160	humidna
> 160	perhumidna

U uslovima aridne klime mala je količina padavina i jako je izraženo fizičko raspadanje stena, što za posledicu ima obrazovanje plitkih, slabo razvijenih zemljišta. Međutim, u uslovima humidne klime velike su količine padavina i hemijsko raspadanje minerala je jako izraženo. U tim uslovima obrazuju se duboka zemljišta.

Jugoslovenski naučnik Gračanin je izrazio toplotni karakter klime na osnovu srednjih godišnjih temperatura vazduha.



Tabela 6.2. Toplotni karakter klime

Srednja godišnja temperatura vazduha /°C/	Oznaka toplotnog karaktera klime
> 20	žarka
12 - 20	topla
8 - 12	umereno topla
4 - 8	umereno hladna
0,5 - 4	hladna
< 0,5	arktička

Tako, utvrđeno je da se u uslovima tople i aridne klime (oblast pustinja) obrazuju peskovita zemljišta, dok se u uslovima hladne i humidne klime (Severna Evropa, visoke planine) obrazuju podzoli. Podzoli su izrazito kisela zemljišta čije su osobine nepovoljne za gajenje biljaka.

### 3) Reljef

Reljef utiče na obrazovanje zemljišta i u zavisnosti od njega obrazuju se zemljišta različite dubine (moćnosti) i različitih osobina. Ruski naučnik Filatov (učenik Dokučajeva) je prvi proučavao reljef kao faktor obrazovanja zemljišta. On je ukazao da reljef pri obrazovanju zemljišta može da ima **direktan** ili **indirektan** uticaj.

Direktan uticaj reljefa ispoljava se na nagibima i u depresijama.

Naime, vrlo često dolazi do odnošenja čestica zemljišta vodom (vodna erozija) sa viših ka nižim delovima reljefa gde se one nagomilavaju i to dovodi do obrazovanja zemljišta koja se zovu **deluvijumi**.

Indirektan uticaj reljefa je takođe veoma značajan i on je izražen uticajima nadmorske visine i ekspozicije. S povećanjem nadmorske visine smanjuje se temperatura vazduha a povećava količina padavina. Drugim rečima, sa visinom klima postaje sve hladnija i humidnija (vlažnija), što se jako odražava na sastav prirodne vegetacije i na tok pedogeneze (obrazovanje zemljišta).

Prema zakonu o vertikalnoj zonalnosti zemljišta (Josef Pelišek) u planinskim područjima idući od podnožja ka vrhovima planine izdvajaju se sledeće zone:

- zona obradivih zemljišta
- zona listopadnih šuma
- zona četinarskih šuma
- zona travne vegetacije

Ove zone ukazuju na razlike među zemljištima koje su indirektno uslovile i porast različite vegetacije.

Pod ekspozicijom se podrazumeva okrenutost (izloženost) površina zemljišta stranama sveta. Dve osnovne ekspozicije su severna i južna i one različito utiču na obrazovanje zemljišta. U slučaju severne ekspozicije povećano je vlaženje a zagrevanje je slabije izraženo, što za posledicu ima brže obrazovanje zemljišta (dublja zemljišta). Međutim, u uslovima južne ekspozicije zagrevanje je jače izraženo, dok je vlaženje smanjeno, i to ima za posledicu sporije obrazovanje zemljišta koja su plitka. Iz ovih razloga, u prirodi imamo pojavu različitih zemljišta, na raznim ekspozicijama, a istom geološkom supstratu i istoj nadmorskoj visini.

Sva zemljišta kod kojih reljef ima primarnu ulogu u njihovom obrazovanju nazivaju se **topogenim zemljištima**.

#### 4) Biosfera

Biosfera (biljke, životinje, mikroorganizmi) je aktivan činilac obrazovanja zemljišta. Svi organizmi koji se nalaze u zemljištu čine životnu zajednicu koja se zove **pedobiocenoza**.

Početna faza obrazovanja zemljišta vezana je za aktivnost nižih organizama (bakterije, alge, lišajevi i dr.) koji naseljavaju površinu stena i uslovljavaju njihovu transformaciju u zemljište. Vremenom su stvoreni uslovi koji pogoduju rastenju i razviću viših biljaka koje sa svoje strane utiču na sastav i osobine zemljišta. Ukratko uloga biosfere u obrazovanju zemljišta se svodi na **aktivnu i pasivnu** ulogu.

Biosfera ima aktivnu ulogu pošto organizmi za vreme svog života (u zemljištu) vrše izmenu sastava i osobina zemljišta. Pasivna uloga organizama dolazi do izražaja posle njihove smrti kada oni svojim ostacima utiču na sastav i osobine zemljišta.

## 5) Vreme (starost)

Vreme je veoma važan činilac obrazovanja zemljišta. Naime, da bi se na nekom geološkom supstratu obrazovalo zemljište nužno je da prođe izvesno vreme. Vremenski interval koji je potreban za obrazovanje nekog zemljišta je kraći ukoliko je intenzivnije delovanje bio-klimatskih faktora na geološki supstrat (matičnu stenu).

Ruski naučnik Zaharov je uvrstio vreme u pasivne pedogenetske činioce pošto ono ne predstavlja izvor ni materija ni energije za obrazovanje zemljišta. Za svako zemljište je potrebno određeno vreme da bi se ono stvorilo, i pošto se vreme drugačije zove starost svako zemljište ima svoju starost.

U pedologiji (nauka o zemljištu) razlikuju se dve vrste starosti zemljišta. To su **apsolutna** i **relativna** starost zemljišta.

Apsolutna starost zemljišta meri se godinama od kada je ono počelo da se stvara pa do momenta proučavanja.

Relativna starost zemljišta se ne meri brojem godina nego brojem stadijuma kroz koje je zemljište prošlo u svom obrazovanju. Stadijumi se ogledaju na profilu zemljišta brojem delova profila koji se nazivaju horizonti a koji predstavljaju najvažnije elemente zemljišne morfologije. Horizonti se razlikuju međusobom po izgledu, sastavu i osobinama. Međutim, prelaz iz jednog horizonta u drugi ne mora uvek da bude vizuelno dovoljno jasan.

## 6) Čovek

Čovek je veoma značajan činilac u obrazovanju zemljišta. Zemljišta na čiji sastav i osobine je čovek ispoljio znatan uticaj nazivaju se **antropogena zemljišta**. Njegova uloga može biti pozitivna ili negativna.

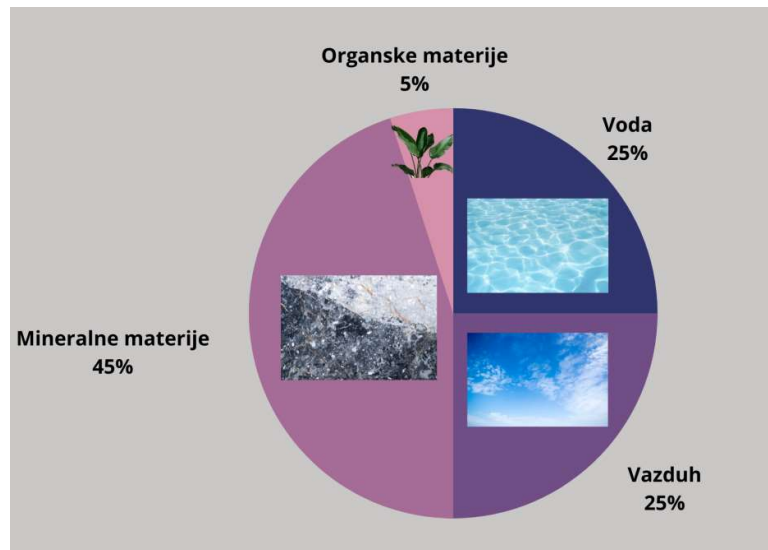
Pozitivna uloga čoveka manifestuje se u primeni svih mera koje imaju za cilj da povećaju plodnost zemljišta, a u te mere spadaju đubrenje, obrada zemljišta, navodnjavanje, odvodnjavanje i dr.

Negativan uticaj čoveka na zemljište je posledica primene mera koje su dovele do pogoršanja njegovih osobina, tj. do smanjenja njegove plodnosti. On može biti prouzrokovan nepravilnom primenom raznih agrotehničkih mera ili zagađivanjem zemljišta od strane hemijske industrije, metalurgije, termoelektrana, saobraćajnica i drugih izvora štetnih i opasnih materija.

## 6.3. Sastav zemljišta

### 6.3.1. Zemljište kao višefazni sistem

Zemljište je jedan višefazni sistem koji se sastoji iz čvrste, tečne i gasovite faze. Čvrsta faza zemljišta, koja se sastoji od mineralnih i organskih materija, je najzastupljenija jer zauzima 50% zapremine zemljišta.



Slika 6.1. Zemljište kao trofazni sistem

Na mineralne materije otpada 45% zapremine zemljišta. Čvrsta faza zemljišta sastoji se od čestica različite veličine - od peska do koloidnih čestica prečnika od nekoliko milimikrona ( $10^{-9}$ m).

Tri osnovna tipa čestica koje ulaze u sastav čvrste faze su: pesak, prah i glina. Pesak ima dimenzije od 0,05 do 2,0 mm, dok prah čine čestice zemljišta koje imaju dimenzije od 0,002 do 0,05 mm. Čestice čije su dimenzije manje od 0,002 mm čine gline.

Tečna i gasovita faza zauzimaju preostalih 50% zapremine zemljišta u različitim odnosima koji zavise od stanja vlažnosti zemljišta. U tečnoj fazi se nalaze rastvorene razne neorganske i organske supstance. Gasovita faza (zemljišni vazduh) ima sličan sastav kao i atmosfera ali sadrži više ugljen-dioksida i vodene pare. Sve tri faze su međusobno povezane u raznim procesima koji se odvijaju u zemljištu.

### 6.3.2. Elementarni sastav zemljišta

Hemijski elementi koji ulaze u sastav litosfere i zemljišta zastupljeni su u njima u veoma različitim količinama. U sledećoj tabeli prikazan je srednji elementarni sastav litosfere i zemljišta - površinskog dela litosfere. Vrednosti su date u %.

Tabela 6.3. Elementarni sastav litosfere i zemljišta

Elementi	Litosfera	Zemljište	Elementi	Litosfera	Zemljište
O	47,2	49,0	C	(0,1)	2,0
Si	27,6	33,0	S	0,09	0,085
Al	8,8	7,13	Mn	0,09	0,085
Fe	5,1	3,8	P	0,08	0,08
Ca	3,6	1,37	N	0,01	0,1
Na	2,64	0,63	Cu	0,01	0,002
K	2,6	1,36	Zn	0,005	0,005
Mg	2,1	0,6	Co	0,003	0,0008
Ti	0,6	0,46	B	0,0003	0,001
H	(0,15)	?	Mo	0,0003	0,0003

Najveći deo litosfere i zemljišta je sačinjen od jedinjenja sledećih elemenata: O i Si, Al i Fe, posle čega slede Ca, K, Na i Mg. Najmanji je sadržaj elemenata kao što su Cu, Zn, Co, B i Mo (mikroelementi). Na osnovu podataka prikazanih u gornjoj tabeli može se zaključiti da se zemljište razlikuje po svom srednjem elementarnom sastavu od prosečnog sastava litosfere.

U zemljištu su više zastupljeni kiseonik i vodonik kao konstiticioni elementi vode koju magmatske stene ne sadrže. Pored ovoga u zemljištu ima znatno više ugljenika (20 puta) i azota (10 puta) nego u litosferi. Razlog za ovo je što zemljište sadrži organsku materiju i razne predstavnike biosfere. Međutim, zemljište sadrži manje Al, Fe, Ca, Mg, K, Na i Mg od litosfere, što je u vezi sa ponašanjem ovih elemenata tokom raspadanja i pedogeneze.

### 6.3.3. Mineraloški sastav zemljišta

Kao što smo ranije istakli na mineralni deo zemljišta otpada 45% od ukupne zapremine zemljišta. On se sastoji od velikog broja raznih minerala. Minerali se definišu kao proste i složene hemijske supstance koje su nastale geohemijskim procesima u prirodi.

Minerali koji ulaze u sastav mineralnog dela zemljišta dele se na dve grupe: primarne i sekundarne.

**Primarni minerali** su po svome poreklu vezani za magmatske i metamorfne stene. Oni se u zemljištu nalaze u određenoj količini u hemijski neizmenjenom stanju.

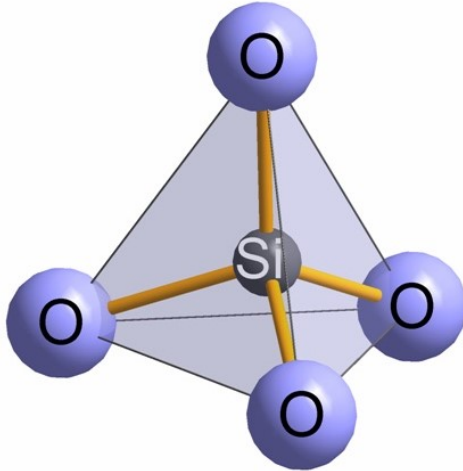
Najrasprostranjeniji primarni minerali u zemljištu su minerali koji sadrže kiseonična jedinjenja silicijuma a to su: kvarc, feldspati, amfiboli, pirokseni i liskuni (alumo i ferosilikati). Primarni minerali se odlikuju određenim hemijskim sastavom i kristalnom strukturom a s tim u vezi i različitom otpornošću na raspadanje. Najotporniji na raspadanje je kvarc, dok su pirokseni bez Al i plagioklasi bogati kalcijumom najmanje otporni.

Uslovi koji vladaju na površini litosfere dovode do postepenog razlaganja primarnih minerala. Primarni minerali se prvo usitnjavaju pod uticajem fizičkih činilaca (promene temperature, vetar, prenosna snaga vode) da bi zatim bili podvrgnuti uticaju hemijskih i bioloških činilaca, koji menjaju njihov sastav i unutrašnju strukturu.

Najvažniji činilac hemijskog razlaganja minerala u zemljištu je voda, a pored nje u značajne činioce spadaju kiseonik, ugljena kiselina i razne mineralne i organske kiseline (azotna, sumporna, limunska, oksalna i dr.). Osnovne reakcije pri hemijskom razlaganju minerala su hidratacija (privlačenje molekula vode na površinu minerala), hidroliza, rastvaranje i oksido-redukcija.

Sekundarni minerali nastaju iz primarnih pod uticajem fizičkih, hemijskih i bioloških činilaca. Oni čine najvažniji deo mineralnih materija čvrste faze zemljišta. U sekundarne minerale spadaju oksidi metala kao što su gvožđe i aluminijum, proste soli (karbonati, hloridi, sulfati, nitrati i dr.) i sekundarni alumo- i ferosilikati koji se nazivaju minerali gline jer čine deo raznih glina. Broj minerala gline je veoma veliki ali u zemljištu najveći značaj imaju minerali grupe kaolinita, montmorilonita i hidroliskuna (ilita). U građi kristalne rešetke većine glinenih minerala učestvuju 2 strukturne jedinice: tetraedar i oktaedar.

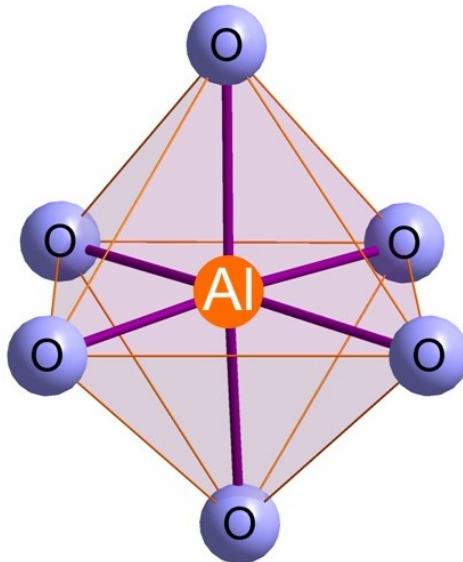
U centru tetraedra je Si oko koga se na podjednakim rastojanjima nalaze četiri  $O^{2-}$  jona.



Slika 6.2. Tetraedar silicijuma

Izvor: <http://geohilfe.de/wp-content/uploads/2018/06/si-tetraeder-al-oktaeder.jpg>

Oktaedar se sastoji od jednog centralnog  $\text{Al}^{3+}$  jona oko koga su raspoređeni 6  $\text{OH}^-$  jona. Jon aluminijuma može da bude zamenjen od strane Mg i Fe.



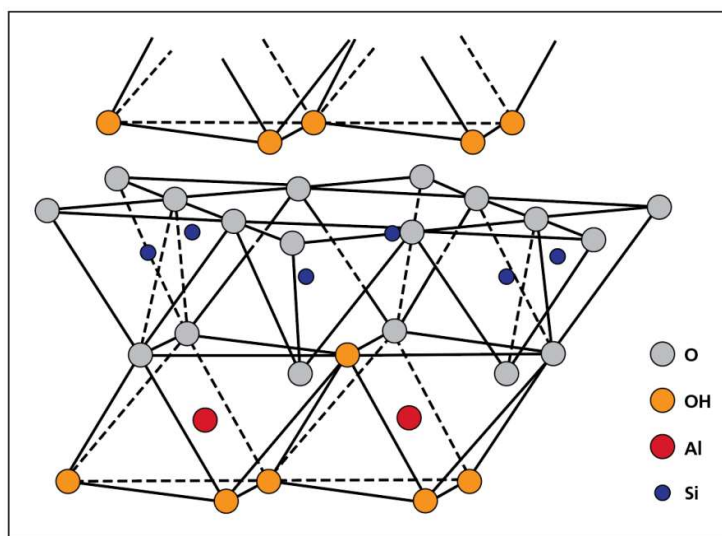
Slika 6.3. Oktaedar aluminijuma

Izvor: <http://geohilfe.de/wp-content/uploads/2018/06/si-tetraeder-al-oktaeder.jpg>

**Kaolinit**, kao tipični predstavnik minerala tipa kaolinita, ima dvoslojnu kristalnu rešetku koja se sastoji iz sloja tetraedara silicijuma i sloja oktaedara aluminijuma koji su povezani kiseoničnim vezama.

Takvi dvoslojni paketi ređaju se u kristalu sa međuslojnim razmacima, dajući mu slojevitú građu. Kaolinit pripada tipu minerala sa rešetkom 1:1, koja se ne razmiče tako da voda u nju ne može da uđe. Rastojanje između paketa kaolinita iznosi 0,72 nm ( $1 \text{ nm} = 10^{-7} \text{ cm}$ ) i konstantno je.

Kaolinit ima mali stepen disperznosti (usitnjenosti) i nizak kapacitet adsorpcije katjona koji iznosi između 3 i 15 mmol-ekv./100 g minerala. Kapacitet za adsorpciju katjona je pokazatelj sposobnosti minerala za vezivanje pozitivnih jona. Obično se izražava u milimol-ekvivalentima  $\text{H}^+$  jona na 100 g minerala (mmol-ekv./100 g).



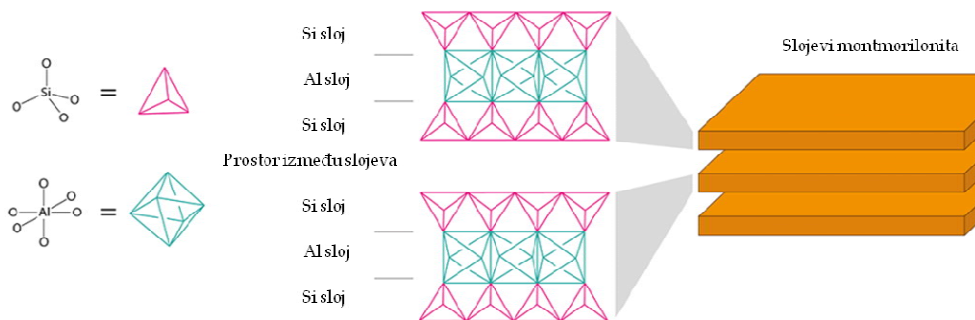
Slika 6.4. Kristalna rešetka kaolinita

Izvor: <https://ceramicartsnetwork.org/ceramic-recipes/reference/clay-minerals/>

Za minerale grupe **montmorilonita** je karakteristično da su njihovi paketi troslojni pri čemu se svaki paket sastoji iz 2 sloja tetraedara silicijuma između kojih se nalazi oktaedarski sloj. Oni pripadaju mineralima sa rešetkom tipa 2:1.

Međuslojna rastojanja montmorilonita su promenljiva, za razliku od kaolinita, i variraju od 0,94 do 2,14 nm u zavisnosti od količine vode adsorbovane između slojeva. Silicijum u tetraedarskim slojevima može delimično biti zamenjen Al, dok  $\text{Al}^{3+}$  u oktaedarskom sloju može biti zamenjen sa  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  i drugim metalima.





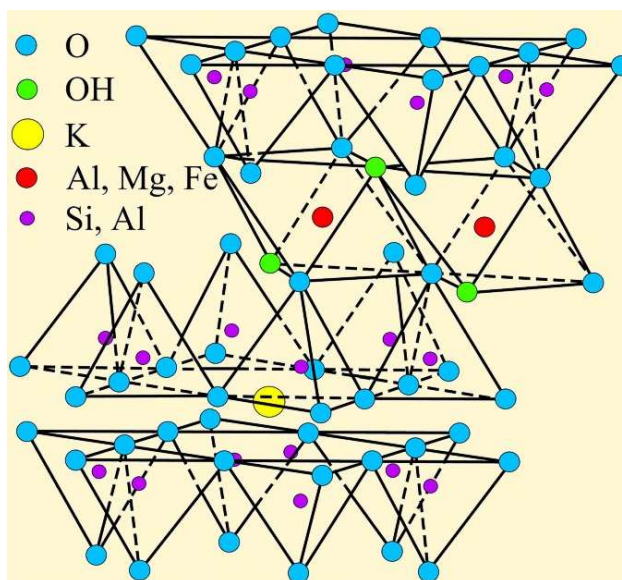
Slika 6.5. Kristalna rešetka montmorilonita

Izvor: [https://winescience.org/wine\\_cellar/bentonite-disadvantages/](https://winescience.org/wine_cellar/bentonite-disadvantages/)

Ovakve zamene nazivaju se **izomorfne zamene** i one kod kaolinita nisu uočene. Višak negativnog naelektrisanja koji se javlja pri ovim zamenama kompenzira se zamenljivim katjonima, koji se raspoređuju u međuslojnim razmacima.

Kapacitet adsorpcije katjona kod montmorilonita je visok (60-150 mmol-ekv./100 g minerala). On se odlikuje visokim stepenom disperznosti. Naime, do 80% njegovih čestica ima prečnik manji od 1  $\mu\text{m}$  (1  $\mu\text{m}$  =  $10^{-6}$  m).

**Ilit** (hidromuskovit) je tipičan predstavnik minerala grupe hidroliskuna. On pripada mineralima sa rešetkom tipa 2:1.



Slika 6.6. Kristalna rešetka ilita

Izvor: <https://en.wikipedia.org/wiki/Illite>

Naime, njegova kristalna rešetka se sastoji iz troslojnih paketa, a svaki paket je sačinjen iz dva sloja tetraedara silicijuma između kojih se nalazi sloj oktaedara aluminijuma.

Struktura ilita je slična strukturi montmorilonita s tim što u njegovoj kristalnoj rešetki postoji mnogo izomorfničkih zamena (silicijum u tetraedrima biva zamenjen  $Al^{3+}$  jonom, dok jon  $Al^{3+}$  u oktaedrima zamenjuju  $Fe^{3+}$  i  $Mg^{2+}$  joni).

Kompenzacioni katjon u ilitu je kalijum koji se nalazi između dva paketa. Rastojanje između paketa ilita iznosi 0,90 nm. U pogledu adsorpcione sposobnosti ilit se nalazi između kaolinita i montmorilonita jer mu je vrednost za kapacitet adsorpcije katjona od 20 do 40 mmol-ekv./100 g minerala.

#### 6.3.4. Organska materija zemljišta

##### Sadržaj i sastav organske materije zemljišta

Organska materija čini u proseku oko 5% čvrste faze zemljišta. Njena prvobitna akumulacija je vezana za životnu aktivnost nižih organizama koji su nastanjivali stene i prouzrokovali njihovu transformaciju u zemljište.

Vremenom su se stvorili povoljni uslovi za rastenje i razviće viših biljaka koje posle odumiranja predstavljaju glavni izvor za sintezu i akumulaciju organske materije u zemljištu. Njena količina i sastav kao i raspodela po dubini zemljišnog profila su u tesnoj vezi sa karakterom pedogenetskih procesa i karakteristični su za svaki tip zemljišta.

Organska materija zemljišta se deli u dve grupe:

1. sveži i nerazloženi ostaci biljaka i životinja i
2. humus

**Humus** sačinjavaju specifične humusne materije i individualna organska jedinjenja. Individualna organska jedinjenja (proteini, aminokiseline, ugljeni hidrati, masti, smole, lignin i dr.) sačinjavaju 10-15% od ukupnog sadržaja humusa u zemljištu. Najveći deo zemljišnog humusa (85-90%) je sastavljen od **specifičnih humusnih materija** (huminske kiseline, fulvokiseline i humini). One se sastoje od određenog broja visoko molekulskih jedinjenja koja imaju karakter kiselina.

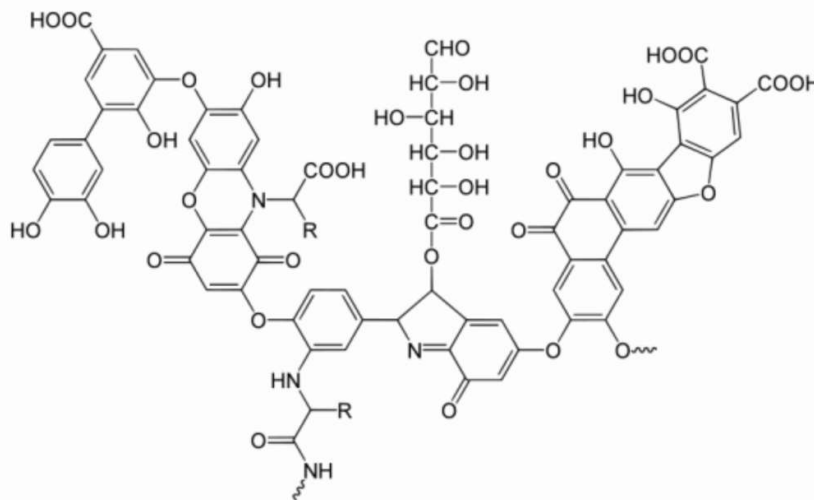
Najveći deo organske materije zemljišta je povezan na razne načine za mineralni deo. Mineralni deo zemljišta može da bude od važnosti za promene organske materije i obratno, organska materija za promene mineralnog dela zemljišta.

Za izdvajanje humusnih materija iz zemljišta najčešće se primenjuju slabi rastvori NaOH ili natrijum-pirofosfata. Delovanjem ovih baza na zemljište u ekstrakt prelazi tamno smeđi rastvor u kojem se nalaze **huminske** i **fulvokiseline**. Deo organske materije koji se na ovaj način ne može ekstrahovati i ostaje u zemljištu kao nerastvoreni ostatak naziva se **huminom**.

Huminske kiseline se odvajaju od fulvokiselina dodavanjem sumporne ili hlorovodonične kiseline što za posledicu ima njihovo izdvajanje u obliku mrkog taloga. Fulvokiseline ostaju u rastvoru u vidu žuto obojene tečnosti. Onaj deo huminskih kiselina koji se rastvara u etanolu naziva se himatomelanskom kiselinom.

### Huminske kiseline

Elementarni sastav huminskih kiselina varira najčešće u sledećim granicama: C = 50-62%, O = 31-40%, H = 2,8-6% i N = 2-6. To su visokomolekularne organske kiseline sa relativnom molekulskom masom od 1000-30.000 i dimenzijama molekula od 6,0-8,0 nm. Od funkcionalnih grupa huminske kiseline imaju karboksilne (-COOH), fenolhidroksilne (-OH), metoksilne (-OCH<sub>3</sub>) i karbonilne (-C=O) grupe. Zahvaljujući prisustvu karboksilnih i donekle fenolhidroksilnih grupa huminske kiseline imaju visoku sposobnost za adsorpciju katjona.



Slika 6.7. Huminska kiselina

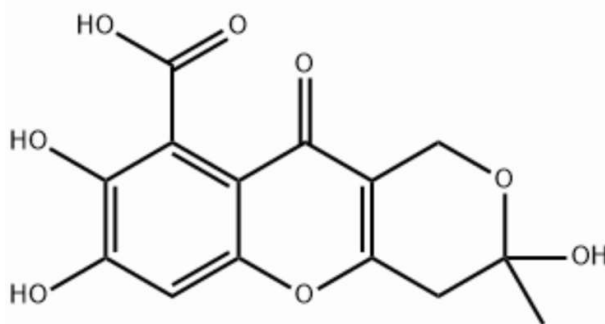
Huminske kiseline s metalima grade soli - humate, koje mogu biti više ili manje rastvorljive u vodi. Potpuno su rastvorljive soli sa katjonima (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Li<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), dok sama kiselina i njene ostale soli nisu rastvorljive u vodi. Važnu ulogu pri obrazovanju strukturnih agregata zemljišta imaju soli huminskih kiselina sa kalcijumom.

### Fulvokiseline

Naziv fulvokiseline potiče od latinske reči **fulvus** što znači žut. Naime, posle izdvajanja huminskih kiselina u rastvoru ostaju žuto obojene fulvokiseline.

Elementarni sastav fulvokiselina se razlikuje od huminskih manjim sadržajem C i N i većim sadržajem O i H. Sastav fulvokiselina je sledeći: C = 44-49%, O = 44-49%, H = 3,5-5% i N = 2-4%.

Fulvokiseline čine grupu visokomolekularnih jedinjenja međusobno sličnih po građi. Bitna razlika između njih i huminskih kiselina je u odnosu između aromatičnog i alifatičnog dela molekula.



Slika 6.8. Fulvokiselina

Naime, kod fulvokiselina aromatični deo molekula je slabije izražen. Fulvokiseline takođe sadrže karboksilne i fenolhidroksilne grupe. Kapacitet za adsorpciju katjona iznosi 300 mmol.-ekv./100 g supstance.

Značajna razlika u odnosu na huminske kiseline je izrazita mobilnost fulvokiselina, koje su rastvorljive u vodi, kao i gotove sve njihove soli (fulvati), a njihovi koloidni rasvori teško podležu koagulaciji. Zbog ove činjenice, sa stanovišta plodnosti zemljišta, od velikog je značaja da zemljište ima povoljan odnos između ugljenika huminskih kiselina i ugljenika fulvokiselina.

Naime, ukoliko u nekom zemljištu dominiraju fulvokiseline dobar deo katjona neće biti pristupačan biljkama za ishranu usled njihovog ispiranja (u obliku jedinjenja sa fulvokiselinama) u dublje slojeve zemljišta. Postoje mišljenja da su fulvokiseline prelazni stadijum u formiranju huminskih kiselina.

### Humini

Organske materije koje se ne mogu ekstrahovati slabim alkalnim rastvorima nazivaju se huminom. Priroda humina nije dovoljno proučena ali se smatra da se sastoji iz huminskih i

fulvokiselina između kojih je čvrsta veza po tipu složenih estara i anhidrida. Usled ovakvih veza došlo je do gubitka znatnog dela kiselinskih svojstava humina.

### Odnos ugljenik:azot u organskoj materiji

Odnos C:N u većini zemljišta varira u granicama od (10-12):1. Ovaj odnos obično je viši u kiselim nego u neutralnim zemljištima i on opada sa dubinom. Ovo opadanje C:N odnosa sa dubinom se dovodi u vezu sa činjenicom da je u dubljim slojevima za razliku od površinskih najveći deo azota u mineralnom obliku (čvrsto vezan za troslojne minerale gline) i da je smanjenje sadržaja ukupnog azota (sa dubinom) manje izraženo od smanjenja sadržaja organske materije (organskog ugljenika).

Vrednost C:N zaslužuje posebnu pažnju zbog toga što ispoljava određeni uticaj na pristupačnost azota iz zemljišta biljkama. Pre nego što objasnimo ovaj uticaj prikazaćemo vrednosti C:N odnosa u raznim organskim materijalima.

Tabela 6.4. Vrednost C:N u različitim organskim materijalima

Materijal	Odnos C:N
ražena slama	100
ovsena slama	50
nezgorelo stajsko đubrivo	30
organska materija zemljišta	10

Upoređujući sadržaj azota u biljnom tkivu i organskoj materiji, može se zaključiti da je u organskoj materiji zemljišta više azota nego u biljnim tkivima. Ako je odnos između ugljenika i azota u organskom materijalu koji se unosi u zemljište manji od 20 onda će prilikom razlaganja tog materijala pod uticajem mikroorganizama doći do oslobađanja azota iz nje. Ovaj proces se zove **mineralizacija azota**.

Međutim, pri vrednostima za C:N odnos većim od 25 imamo obrnut proces koji se zove imobilizacija azota. Naime, mikroorganizmi koji vrše razlaganje unete organske materije (na primer, ražene slame) ugrađuju mineralne oblike azota u sebe.

Pri vrednostima za C:N odnos između 20 i 25 postoji ravnoteža između procesa mineralizacije i imobilizacije azota.

## **Bilans organske materije zemljišta**

Na količinu organske materije u zemljištu utiču svi oni činioci koji su od značaja za nastajanje zemljišta. To su: vrsta vegetacije, reljef, priroda matičnog supstrata i klima. Količina humusa u svakom zemljištu može da dostigne određenu granicu i ona je rezultanta razlaganja i nakupljanja organske materije u zemljištu.

Ako se količina organske materije u zemljištu posmatra u toku formiranja zemljišta mogu se izdvojiti tri stadijuma. U početku, odnosno sve do potpunog formiranja zemljišnog profila, organska materija se u zemljištu povećava. Sledeći period je zrelost zemljišta i za vreme njegovog trajanja sadržaj organske materije u zemljištu je konstantan. Treći period je eventualno opadanje sadržaja organske materije usled izmene sklopa činilaca značajnih za njen bilans. Tako, na primer, razoravanje zemljišta povećava oksidaciju organske materije (smanjuje se njen sadržaj) usled izmene vazdušnih i vodnih uslova koji su od značaja za njen bilans.

U cilju očuvanja plodnosti zemljišta vrlo je važno da sadržaj organske materije bude na određenom zadovoljavajućem nivou. Ovo se postiže primenom većih količina organskih đubriva kao što su stajsko đubrivo i razni drugi otpaci biljnog i životinjskog porekla.

### **6.4. Sadržaj i oblici makro- i mikrohranljivih elemenata u zemljištu**

Makro- i mikroelementi su prisutni u zemljištu u raznim oblicima od kojih su samo neki pristupačni (dostupni) biljkama za ishranu. Sa stanovišta ishrane biljaka od velikog je značaja poznavanje sadržaja tih pristupačnih oblika hranljivih elemenata.

Sadržaj makroelemenata u zemljištu se najčešće izražava u %, dok se zastupljenost mikroelemenata izražava u mg/kg zemljišta (ppm). Kao što smo ranije istakli u makroelemente spadaju C, H, O, N, P, K, S, Ca i Mg, dok su mikroelementi Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B i Co.

U tekstu koji dalje sledi govorićemo o sadržaju i oblicima svih navedenih elemenata osim C, H i O.

#### 6.4.1. Azot

Sadržaj ukupnog azota u našim zemljištima se kreće u granicama od 0,1 do 0,3%. Azot je u zemljištu prisutan u obliku organskih i neorganskih jedinjenja. Organski oblici azota (belančevine, njima srodna jedinjenja i azot u sastavu specifičnih humusnih materija) sačinjavaju preko 95% od ukupnog azota zemljišta.

Mineralni oblici azota su amonijačni jon, nitrati i nitriti i oni su pristupačni biljkama za ishranu. Amonijačni jon je najvećim delom adsorbovan na koloidnim česticama zemljišta, dok su nitrati i nitriti uglavnom prisutni u zemljišnom rastvoru (tečna faza zemljišta).

Nitriti su štetni za biljke ako su prisutni u većim količinama što se vrlo retko dešava. Mineralni oblici azota se oslobađaju iz organskih procesom **amonifikacije**.

U stenama, od kojih je zemljište nastalo nema azota. Najveći deo azota zemljišta je rezultat aktivnosti bakterija koje fiksiraju atmosferski azot. Vezivanje azota u zemljištu je proces redukcije molekularnog azota do amonijaka ili njegovih derivata. Redukciju obavljaju mikroorganizmi koji žive u zemljištu slobodno ili u simbiozi. Nesimbiozni fiksatori azota pripadaju dvema grupama heterotrofnih bakterija i to: *Azotobacter* i *Clostridium pasterianum*. Posle smrti tih bakterija vezani azot ostaje u zemljištu.

Pored bakterija za ovu fiksaciju su sposobne plavo zelene alge a možda i neke gljivice. Ispitivanja na pirinčanim poljima su pokazala da plavozelene alge predstavljaju važan činilac vezivanja atmosferskog azota čak mnogo važniji nego što su bakterije koje žive slobodno.

Među simbiotskim azotofiksatorima najznačajnije su bakterije koje pripadaju grupi *Rhizobium sp.* Ove bakterije žive u simbiozi sa biljkama iz porodice leguminoza, na čijem korenu stvaraju specifične kvržice. U tim kvržicama, ove bakterije veoma složenim mehanizmom transformišu slobodni atmosferski azot u amino-oblik, kojim snabdevaju biljku domaćina, a od nje primaju ugljene hidrate kao energetske materijal.

Postoji mnogo sorti ovih bakterija, a svaka od njih vezana je za određenu vrstu leguminoza. Ova simbiozna fiksacija azota omogućava gajenje leguminoza bez unošenja azotnih đubriva.

Pored ovog izvora azota treba pomenuti još i sledeće:

- ostaci biljaka i životinja;
- mineralna i organska đubriva i
- azot iz atmosfere u obliku amonijaka (proizvod sagorevanja) i nitrata nastaju električnim pražnjenjem), iz atmosfere s kišom dospeva 5-10 kg/ha godišnje.

U zemljištu se pored azotofiksacije odigravaju i sledeći mikrobiološki procesi transformacije azota: aminizacija, amonifikacija, nitrifikacija i denitrifikacija.

### **Aminizacija**

Razlaganje belančevina ide pod uticajem enzima mikroorganizama i pri tome nastaju proteoze, peptoni i na kraju aminokiseline; zbog toga se ovaj deo procesa naziva aminizacijom. Krajnji proizvodi aminizacije mogu da se iskoriste za izgradnju tela mikroorganizama ili se iz aminokiselina oslobađa amonijak.

### **Amonifikacija**

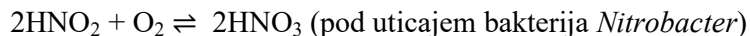
U ovim reakcijama se oslobađa amonijačni azot iz organskih jedinjenja azota i to pod uticajem enzima iz grupe deaminaza. Sam proces je ili obična hidroliza ili oksido-redukcija.

### **Nitrifikacija**

Pod nitrifikacijom se podrazumeva mikrobiološki proces u kome se amonijumova jedinjenja oksidišu do nitrata, ili kraće: proces stvaranja nitrata u zemljištu. Proces nitrifikacije se vrši u dve faze. Prva od njih je:



Druga faza predstavlja oksidaciju azotaste kiseline do azotne i ona se može predstaviti sledećom jednačinom.



Do nakupljanja nitrita u zemljištu dolazi u uslovima jako kisele reakcije kada je jako usporena druga faza nitrifikacije.

**Denitrifikacija** je biohemijski proces redukcije nitrata i nitrita do elementarnog azota, koji obavljaju neke heterotrofne bakterije u anaerobnim uslovima. U toj aktivnosti može učestvovati stotinak različitih vrsta bakterija, koje se inače međusobno razlikuju po ostalim funkcijama.

Denitrifikacija je naročito izražena u zemljištima koja su povremeno zamočvarena. U takvim zemljištima može da se izgubi denitrifikacijom za pola godine 15-20% zaliha azota u zemljištu.



## 6.4.2. Fosfor

Prosečan sadržaj ukupnog fosfora u zemljištu iznosi oko 0,15% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Jedan deo fosfora je u obliku organskih, a drugi u obliku neorganskih jedinjenja. Sadržaj neorganskog fosfora varira u granicama od 27,4 do 82,5%, dok na organski fosfor otpada između 17,5 i 72,6% od ukupnog fosfora zemljišta. Međutim, kod većine zemljišta veći je sadržaj neorganskog u odnosu na organski fosfor.

Neorganski fosfor se u zemljištu nalazi u obliku raznih jedinjenja:

- primarni minerali kalcijuma: fluorapatit – Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>F<sub>2</sub>; hlorapatit – Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Cl<sub>2</sub> i hidroksiapatit Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>(OH)<sub>2</sub>;
- sekundarni minerali: fosforit – Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> i oktokalcijum fosfat – Ca<sub>8</sub>H<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>;
- minerali gvožđa i aluminijuma: vivijenit – Fe<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>· 8H<sub>2</sub>O; strengit – FePO<sub>4</sub>· 2H<sub>2</sub>O i variscit – AlPO<sub>4</sub>· 2H<sub>2</sub>O;
- teže rastvorljive soli: sekundarni i tercijarni fosfati Ca, Mg, Mn, Zn i dr;
- u vodi rastvorljive soli: Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, Mg(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, primarni, sekundarni i tercijarni fosfati NH<sub>4</sub>, K i Na; i
- fosfati adsorbovani na koloidnim česticama zemljišta.

Organski fosfor dospeva u zemljište sa ostacima biljaka, životinja i mikroorganizama. Ispitivanjem prirode fosfornih jedinjenja u organskoj materiji zemljišta utvrđeno je da se veći deo fosfora nalazi u obliku fitina ili njegovih derivata (inozitol fosfati od 40-60%), nukleinskih kiselina (O-10%) a manji deo u obliku fosfolipida.

Jedan deo fosfora je vezan za specifične humusne materije zemljišta. Sadržaj organskog fosfora zavisi od organske materije zemljišta. Zemljišta koja su bogatija u organskoj materiji imaju i više organskog fosfora. Mogućnost usvajanja organskog fosfora je sporna. Za njegovo ponovno uključivanje u biološko kruženje potrebno je da se organska materija mineralizuje. Razlaganje organofosfornih jedinjenja je fermentativni proces koji se odvija pod uticajem enzima fosfataze.

Sa stanovišta ishrane biljaka od velikog je značaja poznavanje sadržaja **pristupačnog fosfora** u zemljištu. To je onaj deo od ukupnog fosfora zemljišta koji mogu da asimiliraju korenovi biljaka. Njega čine rastvorljiva jedinjenja fosfora i fosfati razmenljivo adsorbovani na koloidnim česticama zemljišta.

Dominantan činilac za pristupačnost zemljišnog fosfora je reakcija zemljišta, tj. njena pH vrednost. Sadržaj pristupačnog fosfora se povećava sa povećanjem pH vrednosti zemljišta. Vrlo nizak sadržaj pristupačnog fosfora utvrđen je u jako kiselim zemljištima kod kojih je potrebno primeniti velike količine fosfornih đubriva da bi se zadovoljile potrebe biljaka u ovom hranljivom elementu.

### 6.4.3. Kalijum

Sadržaj ukupnog kalijuma u zemljištima Srbije najčešće iznosi oko 2%. Kalijum se izražava kao  $K_2O$ , ali u poslednje vreme i kao elementarni kalijum. On ne ulazi u sastav organske materije zemljišta kao što je to slučaj sa azotom, fosforom i sumporom.

Činilac koji određuje ukupnu količinu kalijuma u zemljištu je količina kalijumovih minerala u geološkom supstratu (različiti feldspati, feldspatoidi i liskuni), pa se zemljišta iste teksture mogu razlikovati u sadržaju kalijuma. Veliki deo kalijumovih jona koji se oslobađaju raspadanjem primarnih minerala (silikata) vezuje se u mineralima gline, pretežno u ilitima.

Kalijum je u zemljištu prisutan u sledećim oblicima:

- kalijum primarnih minerala,
- nerazmenljivo adsorbovani (fiksirani) kalijum,
- razmenljivo adsorbovani kalijum, i
- rastvorljivi kalijum.

Najveći deo zemljišnog kalijuma nije pristupačan biljkama za ishranu. Pristupačni oblici kalijuma su: kalijum koji se nalazi u zemljišnom rastvoru i kalijum koji je razmenljivo adsorbovan na koloidnim česticama zemljišta. Sadržaj rastvorljivog kalijuma iznosi nekoliko mg na kg zemljišta, dok se vrednosti za adsorbovani kalijum kreću od 100 do nekoliko hiljada mg na kg. Naša zemljišta su uglavnom dobro obezbeđena u pristupačnom kalijumu.

### 6.4.4. Kalcijum

Sadržaj ovoga elementa, izražen u obliku  $CaO$ , varira u raznim zemljištima u veoma širokom intervalu od 0,1 pa do preko 40%. Njime su najbogatija mlada zemljišta na jako karbonatnim supstratima, a najsiromašniji podzoli i neka tresetna zemljišta. Naša beskarbonatna zemljišta mahom sadrže između 1 do 2% kalcijuma.

Kalcijum je u zemljištu prisutan u raznim oblicima:

- primarni minerali: silikati i alumosilikati kalcijuma;
- sekundarni minerali: krečnjak –  $\text{CaCO}_3$ , dolomit –  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ , gips –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , kalcijum fosfati i dr;
- kalcijum adsorbovan na koloidnim česticama zemljišta;
- rastvorljiva jedinjenja kalcijuma kao što su  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{CaCl}_2$  i  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ; i
- organski vezan kalcijum.

U većini zemljišta Ca-joni čine pretežni deo (i do 90%) adsorbovanih baznih katjona. Značaj kalcijumovih jona je veliki, a njihove uloge brojne. Oni povoljno utiču na mnoge procese i osobine zemljišta, a neophodni su biljkama za ishranu. Povoljan uticaj kalcijumovih jona na hemijske osobine zemljišta manifestuje se, pre svega, u neutralizaciji kiselina, koje se stalno obrazuju u zemljištu.

#### 6.4.5. Magnezijum

Najvažniji silikatni minerali koji sadrže magnezijum su augit, hornblenda, biotit, talk a u stenama serpentin. Od karbonata magnezijuma najvažniji su dolomit i magnezit. Sadržaj ukupnog magnezijuma, izraženog u obliku MgO, u humusnom horizontu većine naših beskarbonatnih zemljišta iznosi 1 do 2%, a u jako kiselim peskovitim i u tresetnim zemljištima može biti i niži od 0,1%.

Najveće količine magnezijuma su nađene u zemljištima koja su obrazovana na serpentinu (stena iz grupe metamorfnih stena). Međutim, i u nekim crvenicama količine ukupnog magnezijuma su znatno veće nego u drugim zemljištima.

Magnezijum je u zemljištima raspoređen na sledeći način. Jedan deo ukupnog Mg je rastvorljiv u vodi, drugi deo je adsorbovan na koloidnim česticama zemljišta, a treći deo je u obliku primarnih minerala.



Slika 6.9. Dolomit

Među adsorbovanim katjonima na koloidnim česticama zemljišta magnezijumovi joni zauzimaju drugo mesto, tj. dolaze odmah posle kalcijumovih jona. Njihov udeo obično ne prelazi 15-20% od kapaciteta adsorpcije katjona s tim što u zemljištima na serpentinima udeo ovih jona je i preko 50%.

#### 6.4.6. Sumpor

Ukupan sadržaj sumpora u površinskom horizontu naših nezasoljenih zemljišta najčešće iznosi 0,10-0,25%. Sumpor se u zemljištima nalazi u obliku raznih neorganskih i organskih jedinjenja.

Od neorganskih jedinjenja sumpora u zemljištu sreću se sledeća:  $\text{FeS}_2$  - **markasit**,  $\text{ZnS}$  - **sfalerit**,  $\text{CuFeS}_2$  - **halkopirit**,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  - **gips**,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  - **epsonit**,  $\text{CoAsS}$  - **kobaltit**.

Prema rezultatima brojnih ispitivanja najveći deo sumpora (70-90%) u nezaslanjenim zemljištima vezan je za organsku materiju zemljišta. Pošto u dubljim slojevima zemljišta ima manje organske materije to je i količina sumpora u obliku organskih jedinjenja sve manja.

Biljke usvajaju sumpor iz zemljišta u obliku sulfatnog jona koji se zatim u njihovim organizmima redukuje. Sumpor ulazi u sastav belančevina i to u obliku aminokiselina cistina, cisteina i metionina. Raspadanjem biljnih i životinjskih ostataka sumpor se oslobađa i to u obliku sulfatnog jona.

Zbog velike rastvorljivosti sulfata dobar deo neorganskog sumpora se gubi iz zemljišta atmosferskim talozima. Ovo se odigrava u uslovima humidne klime. Međutim, u aridnim krajevima moguće je nakupljanje sulfata u količinama koje su toksične za biljke.

Na kraju treba napomenuti da znatne količine sumpora dospevaju na površinu raznih zemljišta sa kiselim kišama u kojima se ovaj element nalazi u obliku sulfatnih i sulfidnih jona. Ovo je naročito izraženo u gradovima i industrijskim zonama gde se oslobađaju velike količine sumpor-dioksida usled sagorevanja fosilnih goriva.

#### 6.4.7. Mangan

Srednji sadržaj mangana u zemljištu je oko 0,1%, ali on varira u širokim granicama (od 0,01 do 0,4%). Zemljišta sa većim sadržajem karbonata i glinovita zemljišta sadrže više mangana od peskovitih.

Mangan je polivalentan metal što znači da se on javlja u više valentnih oblika (2, 3, 4, 6 i 7-valentan). U zemljištu nema 6 i 7-valentnog mangana, dok se trovalentni oblik retko sreće jer su mu jedinjenja nepostojana. Najvažniji oblici mangana u zemljištu su:  $MnO$ ,  $Mn_2O_3$ ,  $MnO_2$  i  $MnSO_4$ . Stabilno jedinjenje mangana u dobro provetrenim zemljištima je  $MnO_2$  - piroluzit.

Pristupačni oblici mangana za biljke su:

- mangan rastvorljiv u vodi, dvovalentan;
- mangan u izmenljivom obliku, dvovalentan;
- mangan koji lako podleže redukciji.

Reakcija zemljišta ima značajnog uticaja na pristupačnost mangana biljkama. Naime, sa zakišeljavanjem (smanjenjem pH-vrednosti) se povećava rastvorljivost mangana, pa količine rastvorljivog mangana mogu da dostignu toksične vrednosti. Međutim, na zemljištima sa neutralnom ili alkalnom reakcijom biljke često pate od nedostatka mangana jer je on prisutan u obliku teško rastvorljivih jedinjenja.

#### 6.4.8. Bakar

Ukupan sadržaj bakra u zemljištima se kreće u granicama od 2-100, dok je prosečna vrednost 20 mg/kg. Bakar je prisutan u zemljištu u kristalnoj rešetki primarnih minerala, zatim u organskoj materiji, u adsorbovanom stanju i u jedinjenjima rastvorljivim u vodi.

Važniji minerali bakra su:  $\text{Cu}_2\text{S}$  - **halkozin**,  $\text{CuFeS}_2$  - **halkopirit**,  $\text{CuO}_2$  - **kuprit**,  $\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$  - **atakamit**,  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$  - **azurit**.

U zemljištu se bakar delimično nalazi vezan sa organskom materijom, sa kojom gradi komplekse koji sadrže sekundarne i tercijarne aromatične amine. Bakar u sastavu ovih kompleksa nije pristupačan biljkama.



Slika 6.10. Halkopirit

Na mnogim tresetnim zemljištima koja su bogata u organskoj materiji, biljke ispoljavaju nedostatak bakra u ishrani i za dobijanje visokih prinosa na takvim zemljištima neophodno je primenjivati bakarna đubriva. Rastvorljivost bakra raste sa zakišeljavanjem zemljišta ali u manjoj meri nego u slučaju mangana i cinka.

#### 6.4.9. Cink

Srednji sadržaj cinka u zemljištu kao i litosferi iznosi 50 mg/kg. Zemljišta na baznim stenama i na krečnjaku su uvek bogatija cinkom nego zemljišta obrazovana na kiselim stenama (graniti i gnajs).

Najvažnije jedinjenje cinka je **sfalerit**, čija je formula  $\text{ZnS}$ . Minerali cinka koji se sreću u zemljištu su :

franklinit -  $\text{Zn}(\text{Fe},\text{Mn})_2\text{O}_4$ ;

vilemit –  $\text{Zn}_2\text{SiO}_4$ ;

cinkit -  $\text{ZnO}$ .

U zemljištu su takođe prisutna rastvorljiva jedinjenja cinka kao što su  $ZnSO_4$ ,  $ZnCl_2$ ,  $Zn(NO_3)_2$ , zatim teže rastvorljiva jedinjenja ( $Zn_3(PO_4)_2$ ,  $Zn(OH)_2$ ) i joni cinka koji su adsorbovani na koloidnim česticama zemljišta. Pristupačnost cinka se povećava sa zakišeljavanjem zemljišta.

#### 6.4.10. Bor

Ukupni sadržaj bora u zemljištu se kreće u granicama od 5 do 100 mg/kg. Srednja vrednost iznosi 10 mg/kg. Kao i mnogi drugi biogeni elementi i bor se u prirodi nalazi u obliku primarnih i sekundarnih minerala.

Najpoznatiji primarni minerali bora su datolit, turmalin, aksinit i dumortenit. Sekundarni minerali bora su sledeći: boracit, hidroboracit, kolemanit, pandermite i uleksit. Od svih jedinjenja bora najrastvorljiviji su **boraks** ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ) i **borna kiselina** ( $H_3BO_3$ ). Pristupačni bor u zemljištu se nalazi u obliku vodorastvorljivih i adsorbovanih borata.

Na sadržaj pristupačnog bora u zemljištu utiče više faktora:

- ❖ Reakcija zemljišta (pH): pri pH vrednostima koje su manje od 6 povećana je rastvorljivost bora i zbog toga se često javlja nedostatak ovog hranljivog elementa usled ispiranja i iznošenja biljkama.
- ❖ Prisustvo organske materije: u kiselim zemljištima pri većem sadržaju organske materije veća je količina pristupačnog bora.
- ❖ Vlažnost, naročito kod peskovitih zemljišta, pospešuje ispiranje bora. U aridnim područjima bor se akumulira u površinskim slojevima.
- ❖ Mehanički sastav je značajan pošto peskovita zemljišta obično sadrže manje bora od glinovitih.

#### 6.4.11. Kobalt

Ovaj mikroelement ulazi u sastav niza alumosilikata. O njegovoj ulozi u biljnom svetu se ne zna mnogo ali se zato zna da je on sastojak **vitamina B<sub>12</sub>** čiji nedostatak izaziva vrlo teške oblike anemija (malokrvnosti) kod ljudi i životinja. Sadržaj kobalta u Zemljinoj kori i zemljištu je niži od sadržaja mangana, cinka i bakra. Prosečna vrednost za sadržaj kobalta u zemljištu iznosi 8,0 mg/kg.

Kobalt koji se oslobađa pri raspadanju primarnih minerala nalazi se u zemljištu u obliku rasvorljivih soli (nitrati, sulfati, hloridi) i adsorbovan na koloidnim česticama zemljišta. Ovaj mikroelement obrazuje kompleksna jedinjenja sa nekim organskim materijama. U uslovima neutralne i alkalne reakcije mobilnost (pokretljivost)  $\text{Co}^{2+}$  i njegova pristupačnost biljkama je smanjena.

#### 6.4.12. Molibden

Molibden se od svih navedenih elemenata nalazi u zemljištu u najmanjoj količini. U proseku ga ima 3 mg/kg. Najvažniji minerali molibdena su: **molibdenit** –  $\text{MoS}_2$ , **feri molibdat** –  $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$ , **povelit** –  $\text{CaMoO}_4$  i **vulfenit** –  $\text{PbMoO}_4$ .

U kiselim stenama njegov sadržaj je nešto viši nego u baznim. Oslobođen u procesu raspadanja molibden ulazi u sastav kompleksnog molibdatnog anjona koji u uslovima kisele reakcije može biti adsorbovan na zemljišnim koloidima. Alkalna reakcija zemljišta povećava pristupačnost zemljišnog molibdena.

### 6.5. Reakcija zemljišta

#### 6.5.1. Vrste zemljišne kiselosti

Reakcija zemljišta zavisi od prirode geološkog supstrata, klime, vrste vegetacije kao i od raznih antropogenih uticaja. Reakcija zemljišta se izražava preko pH-vrednosti koja predstavlja negativan logaritam od koncentracije vodonikovih jona u zemljišnom rastvoru.

Vrlo je važno poznavati ovu osobinu zemljišta pošto većina poljoprivrednih kultura dobro uspeva u uslovima slabo kisele do slabo alkalne reakcije (blizu neutralne reakcije). Naime, pri niskim ili visokim pH vrednostima zemljišta većina biljaka se neće dobro razvijati bilo zbog direktnog uticaja vodonikovih odnosno hidroksidnih jona na biljne korene i/ili zbog raznih indirektnih efekata koji se javljaju kao posledica izražene kiselosti ili alkalnosti zemljišta.

U zavisnosti od toga u kakvom stanju se nalaze vodonikovi joni razlikujemo sledeće vrste zemljišne kiselosti: **aktivna** (aktuelna) i **potencijalna kiselost** zemljišta.

Aktivna kiselost zemljišta je uslovljena vodonikovim jonima koji se nalaze u zemljišnom rastvoru a potiču usled disocijacije raznih mineralnih i organskih kiselina



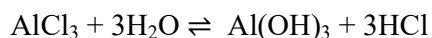
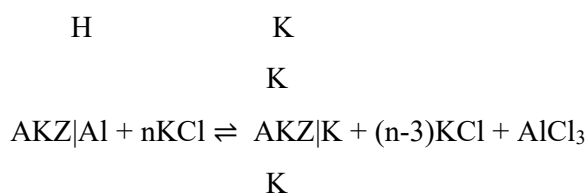
prisutnih u zemljištu. Ovi joni se lako izdvajaju iz zemljišta i to tretiranjem sa destilovanom vodom.

Potencijalna kiselost je uslovljena vodonikovim jonima koji su adsorbovani na koloidnim česticama zemljišta. Za njihovo izdvajanje iz zemljišta primenjuju se rastvori soli koje mogu biti neutralne (kalijum-hlorid, kalcijum-hlorid) ili hidrolitički alkalne (natrijum-acetat).

U slučaju korišćenja neutralnih soli govorimo o **razmenljivoj** (supstitucionoj) kiselosti, dok se **hidrolitička** kiselost određuje tretiranjem zemljišta rastvorom hidrolitički alkalne soli. Međutim, pre nego što razmotrimo reakcije koje se dešavaju pri ovim određivanjima smatramo za neophodnim da objasnimo šta je to adsorptivni kompleks zemljišta i koji se to katjoni adsorbuju na česticama zemljišta.

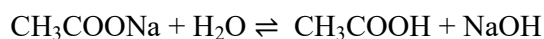
**Adsorptivni kompleks zemljišta** predstavlja skup čestica zemljišta (visokog stepene disperznosti - usitnjenosti), organske i neorganske prirode, koji se odlikuje sposobnošću za razmenljivu adsorpciju katjona i anjona iz zemljišnog rastvora.

Ovaj kompleks se u našoj stručnoj literaturi obično obeležava sa AKZ i adsorbuje razne katjone među kojima su najvažniji:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$  i  $\text{Al}^{3+}$  joni. Količina mikroelemenata je zanemarlivo mala u odnosu na pomenute jone. Tako, pri tretiranju zemljišta sa rastvorom kalijum hlorida odigravaju se sledeće reakcije:

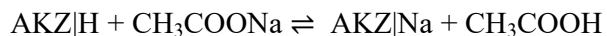


Aluminijum-hlorid je hidrolitički kiselina koja pri hidrolizi daje  $\text{Al(OH)}_3$  i hlorovodoničnu kiselinu koja svojom disocijacijom doprinosi povećanju koncentracije vodonikovih jona u tečnoj fazi zemljišta.

Međutim, pri tretiranju zemljišta rastvorom hidrolitički alkalne soli kao što je natrijum acetat zamenjuju se i joni vodonika koji nisu bili zamenjeni neutralnim solima. U vodenom rastvoru se odigrava sledeća reakcija hidrolize.



Nastali natrijum hidroksid jako disosuje i alkalna reakcija koja se pri tome stvara doprinosi sposobnostima natrijuma da zameni jone vodonika iz zemljišta, tj. iz njegovog adsorptivnog kompleksa.



Hidrolitička kiselost se izražava u milimol-ekvivalentima vodonikovog jona na 100 g zemljišta. Obeležava se sa H i njena vrednost se koristi za izračunavanje potrebne količine kreča za neutralizaciju kiselih zemljišta.

Zajedno sa vrednošću za sumu adsorbovanih baznih katjona (u mmol-ekv./100 g zemljišta) vrednost za hidrolitičku kiselost nekog zemljišta se koristi za izračunavanje **stepena zasićenosti adsorptivnog kompleksa bazama** (baznim katjonima - kalcijumovi, magnezijumovi, kalijumovi i natrijumovi joni). Stepenn zasićenosti se obeležava sa V i izračunava se po sledećem obrascu:

$$V = S \cdot 100 / (S + H)$$

Stepenn zasićenosti predstavlja udeo baznih katjona u adsorptivnom kompleksu zemljišta i koristi se za utvrđivanje potrebe za **neutralizacijom** (kalcifikacijom) kiselih zemljišta. Zemljišta sa visokim stepenom zasićenosti (>80%) nemaju potrebu za kalcifikacijom, dok je pri vrednostima za V<50% jako izražena potreba za kalcifikacijom.

### 6.5.2. Značaj reakcije zemljišta za biljke

Većina poljoprivrednih kultura dobro uspeva u uslovima slabo kisele do slabo alkalne reakcije zemljišta (pH između 6,5 i 7,5). Ukoliko je zemljište suviše kiselo ili alkalno to će se negativno odraziti na njihovo rastenje i razviće.

Inače, pH zemljišta deluje na biljke direktno, koncentracijom vodonikovih i hidroksidnih jona, i indirektno, izazivanjem niza promena u zemljištu. Direktan uticaj se svodi na štetno ili otrovno delovanje vodonikovih odnosno hidroksidnih jona na ćelije korenova biljaka kada su oni prisutni u zemljištu u velikim koncentracijama. Alkalnost zemljišta je mnogo štetnija za rastenje biljaka nego kiselost.

Naime, za većinu poljoprivrednih kultura pH zemljišta iznad 8 ispoljava štetan uticaj na biljke, dok se štetan uticaj kiselosti javlja pri pH vrednostima koje su manje od 5.

Reakcija zemljišta ispoljava indirektan uticaj na biljke tako što utiče na pristupačnost hranljivih elemenata i na mikrobiološku aktivnost zemljišta. Pristupačnost većine hranljivih elemenata je najveća pri pH vrednostima između 6,5 i 7,5. Jedino je pristupačnost Fe, Mn, Cu, Zn i Co veća u uslovima kisele reakcije zemljišta.

Kod kiselih zemljišta je čest slučaj pojave toksičnih količina rastvorljivog aluminijuma u zemljištu. Mikrobiološka aktivnost zemljišta je najveća pri pH vrednostima oko 7, tako da je u tim uslovima oslobađanje azota, fosfora i sumpora iz organske materije zemljišta (usled njene mineralizacije), u obliku jedinjenja koja su pristupačna biljkama za ishranu, najintenzivnije. Nepovoljna reakcija zemljišta utiče i na pojavu nekih biljnih bolesti.

O merama koje se koriste za popravku kiselih i alkalnih zemljišta biće govora u okviru poglavlja o đubrivima.

### 6.5.3. Kiselost zemljišta i đubriva

Obzirom da biljke iz mineralnih đubriva (soli) najčešće ne uzimaju u podjednako meri katjonski i anjonski deo, to će se u zemljištu posle izvesnog vremena nagomilati onaj deo soli koji biljke usvajaju u manjoj količini. Ovo će imati za posledicu promenu pH vrednosti zemljišta. Prema uticaju na reakciju zemljišta đubriva se dele na:

- ❖ fiziološki kiselina,
- ❖ fiziološki alkalna i
- ❖ fiziološki neutralna đubriva.

**Fiziološki kiselina** đubriva su ona đubriva iz kojih biljke usvajaju u većoj meri katjonski (bazni) deo soli tako da se u zemljištu nagomilava anjonski (kiselinski) deo. Najpoznatiji predstavnici fiziološki kiselih đubriva su: amonijum-sulfat, kalijum-sulfat i kalijum-hlorid. Posle njihove primene pH vrednost zemljišta će se smanjiti, tj. povećaće se njegova kiselost.

**Fiziološki alkalna** đubriva su ona iz kojih biljke uzimaju u većoj meri anjonski (kiselinski) deo, dok se u zemljištu nakuplja katjonski (bazni) deo soli, što za posledicu ima povećanje pH vrednosti zemljišta. U ovu grupu đubriva spadaju: natrijum-nitrat, kalcijum-nitrat, kalcijum-cijanamid i dr.

**Fiziološki neutralna** đubriva su ona đubriva iz kojih biljke u podjednako meri usvajaju i bazni i kiselinski deo. Tipičan predstavnik ovih đubriva je magnezijum-sulfat.

U vezi sa fiziološki kiselim i alkalnim đubrivima često se koriste termini ekvivalentna kiselost i bazičnost đubriva. **Ekvivalentna kiselost** predstavlja količinu kalcijum-karbonata u kg koja je potrebna za neutralizaciju zakišeljavajućeg dejstva koje se javlja posle primene 100 kg nekog fiziološki kiselog đubriva.

**Ekvivalentna bazičnost** se takođe izražava u kg kalcijum-karbonata i ona odgovara količini baza koja preostane posle apsorpcije kiselinskog dela iz 100 kg fiziološki alkalnog đubriva. U narednoj tabeli su prikazane vrednosti za ekvivalentnu kiselost i bazičnost nekih fiziološki kiselih i alkalnih đubriva.

Tabela 6.5. Vrednosti za ekvivalentnu kiselost i bazičnost nekih fiziološki kiselih i alkalnih đubriva

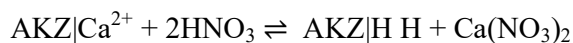
Đubriva	CaCO <sub>3</sub> u kg
kisela: Amonijum-sulfat	110
Amonijum-hlorid	140
Amonijum-fosfat	65
Amonijum-nitrat	59
bazična: Kalcijum-nitrat	20,3
Natrijum-nitrat	28,8
Kalijum-nitrat	26,0

#### 6.5.4. Puferna sposobnost zemljišta

Osobina zemljišta da se odupire promeni svoje reakcije, pri unošenju u njega kiselina ili baza, naziva se **puferna sposobnost zemljišta**.

Zemljište deluje kao pufer na taj način što vezuje u adsorptivnom kompleksu jone koji bi, da nije ovog vezivanja, menjali reakciju zemljišta na kiselu ili baznu stranu. Ovo je vrlo značajna osobina zemljišta koja zavisi od njegovog hemijskog, mehaničkog i mineraloškog sastava, kapaciteta za adsorpciju katjona kao i sastava adsorbovanih katjona.

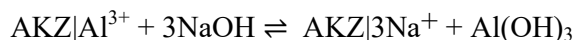
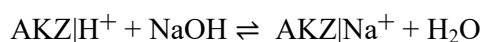
Delovanje zemljišta kao pufera protiv zakišeljavanja (acidifikacije) se može objasniti na sledeći način. Kod većine zemljišta glavnu ulogu u neutralizaciji vodonikovih jona, koji su dospeli u tečnu fazu zemljišta sa nekom kiselinom, imaju kalcijumovi joni razmenljivo adsorbovani na česticama zemljišta. Na primer, pri dodavanju azotne kiseline odigrava se sledeća reakcija:



Dodati vodonikovi joni se uklanjaju iz zemljišnog rastvora (tečne faze zemljišta) i vezuju za adsorptivni kompleks zemljišta. Međutim, u slučaju karbonatnih zemljišta glavnu ulogu u neutralizaciji unetih vodonikovih jona ima kalcijum-karbonat koji se u njima nalazi.



Zemljište se odupire alkalizaciji (povećanju pH vrednosti) pomoću vodonikovih i aluminijumovih jona iz adsorptivnog kompleksa zemljišta. U ovom slučaju dešavaju se sledeće reakcije.



Kao što se iz gornjih jednačina vidi u zemljište uneti hidroksidni joni se prevode u vodu i aluminijum-hidroksid (teško rastvorljivo jedinjenje).

Na osnovu iznetih podataka može se zaključiti da adsorptivni kompleks beskarbonatnih zemljišta ima ulogu univerzalnog pufera u zemljištu koji se, zahvaljujući prisustvu baznih katjona i vodonikovih jona, odupire njegovoj acidifikaciji i alkalizaciji pod uticajem dodatih ili stvorenih kiselina i baza.

## 6.6. Zemljišni koloidi i adsorptivna sposobnost zemljišta

Zemljište predstavlja jedan polidisperzni sistem jer se njegova čvrsta faza sastoji od čestica različite veličine - od peska do koloidnih čestica. Mnogobrojna ispitivanja su pokazala da se pojedine mehaničke frakcije zemljišta ne razlikuju samo po veličini čestica već takođe po mineraloškom sastavu i čitavom nizu hemijskih i fizičkih svojstava.

Najgrublja frakcija zemljišta - krupni pesak - uglavnom se sastoji iz kvarca i za nju je karakteristično da ima malu specifičnu površinu i slabu adsorptivnu sposobnost. Smanjenjem dimenzija čestica uvećava se njihova aktivna površina, a samim tim i sposobnost za adsorpciju raznih supstanci (u obliku molekula i jona) iz tečne i gasovite faze zemljišta.

Ova sposobnost je najviše izražena kod zemljišnih koloida koji predstavljaju najsitniju frakciju u mehaničkom sastavu zemljišta. To su čestice prečnika  $< 0,0002$  mm. Adsorptivna sposobnost zemljišnih koloida spada u njihove najvažnije osobine.

Zahvaljujući ovoj sposobnosti dolazi do zadržavanja hranljivih elemenata u zemljištu, što ima velikog značaja u ishrani biljaka. Po hemijskom sastavu zemljišni koloidi su podeljeni u tri grupe: mineralne, organske i organo-mineralne koloide.

Među **mineralnim koloidima** najznačajniji su minerali gline, a pored njih prisutni su i hidratizani oksidi gvožđa, aluminijuma i silicijuma.

Među **organskim koloidima** najznačajnije su humusne kiseline, s tim što određeni, doduše mali, značaj mogu imati i belančevine.

Organo-mineralni koloidi nastaju sjedinjavanjem mineralnih i organskih koloida. Nezavisno od hemijskog sastava kod koloida treba razlikovati sledeće sastavne delove.



Slika 6.18. Šema građe koloidne micelle

Izvor: <https://barajevskiakademik.blogspot.com/p/gradja-koloidne-micelle.html>

Koloidna čestica zajedno sa jonima i molekulima vode, koji se nalaze na njenoj površini naziva se **micela**. U centru koloidne micelle nalazi se nerastvorljivo u vodi polimolekulsko jedro micelle.

Kod mineralnih zemljišnih koloida jedro se sastoji uglavnom iz alumosilikata a ponekad iz silicijumove kiseline, oksida gvožđa i aluminijuma.

Jedro organskih koloida sastoji se uglavnom iz huminskih i fulvo kiselina, belančevina i drugih složenih supstanci.

Na površini jedra koloida postoje dva sloja koji se sastoje iz suprotno naelektrisanih jona. Unutrašnji, tj. oni koji se nalaze na jedru su joni koji određuju potencijal, a spoljašnji su kompenzujući joni. U slučaju zemljišnih koloida joni koji određuju potencijal obično imaju negativno naelektrisanje, a kompenzujući joni imaju iste vrednosti pozitivno naelektrisanje. Kompenzujući joni se u hemiji zemljišta nazivaju **adsorbovani katjoni**.

Znatan deo adsorbovanih katjona nalazi se pored jona koji određuju potencijal i obrazuje nepokretan sloj jona. Jedan deo adsorbovanih katjona nalazi se na izvesnom rastojanju od jona koji određuju potencijal i obrazuju **difuzni sloj**. Jedro micela zajedno sa jonima koji određuju potencijal naziva se **granula**, dok se granula zajedno sa nepokretnim slojem kompenzujućih jona naziva **čestica**.

Broj negativnog naelektrisanja čestice je veći (ne računajući difuzni sloj) od broja pozitivno naelektrisanih. Međutim, broj pozitivnog i negativnog naelektrisanja u miceli je jednak, pa je ona električki neutralna. Inače, difuzni sloj jona postoji samo u vlažnom zemljištu. Pri sušenju zemljišta joni difuznog sloja prelaze u adsorpcioni sloj, tj. postaju nepokretni.

Pošto kod većine zemljišta preovlađuju negativno naelektrisani koloidi objasnićemo ukratko mehanizam **razmenljive adsorpcije katjona**. Inače, razmena katjona predstavlja najbolje proučen deo nauke o zemljišnim koloidima. Reakcija razmene katjona je povratna reakcija.

Katjoni spoljašnjeg rastvora, adsorbujući se u zemljištu, istovremeno istiskuju iz sloja kompenzujućih jona ekvivalentnu količinu katjona, koji prelaze u rastvor, i pri tome se uspostavlja ravnoteža.

Sposobnost zemljišta da zadržava izvesnu količinu katjona u razmenljivom obliku naziva se **kapacitet za adsorpciju** katjona. Kapacitet adsorpcije izražava se u milimol-ekvivalentima na 100g zemljišta. Veličina kapaciteta adsorpcije zavisi od niza činilaca: sadržaja visokodisperznih čestica u zemljištu, hemijskog i mineraloškog sastava zemljišnih koloida, reakcije zemljišta itd.

## 6.7. Oksido-redukциони procesi u zemljištu

U zemljištu kao jednom vrlo složenom sistemu odigravaju se razni procesi oksidacije i redukcije koji su od velikog značaja za život u njemu. Oksiduju se razna organska jedinjenja, menja se oksidaciono stanje gvožđa ( $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ ), mangana ( $\text{Mn}^{2+} \rightarrow \text{Mn}^{4+}$ ), azota ( $\text{N}^{3+} \rightarrow \text{N}^{5+}$ ), sumpora ( $\text{S}^{6+} \rightarrow \text{S}^{2-}$ ); vrši se oksidacija i redukcija kiseonika i vodonika i dr.

Kao što smo ranije istakli pri oksidaciji element koji se oksiduje gubi elektrone, dok pri redukciji element koji se redukuje prima elektrone. U zemljištu su prisutni mnogi povratni **oksidoredukциони** (redoks) sistemi. To su sistemi u kojima postoji ravnoteža između pojedinih oksidacionih stanja nekog elementa.

Kao primer za jedan redoks sistem navodimo sledeći:  $\text{Fe}^{2+} = \text{Fe}^{3+}$ . Odnos između oksidovanih i redukovanih oblika nekog oksidoredukcionog sistema se izražava pomoću vrednosti za redoks potencijal (Eh).

**Redoks potencijal** se definiše ka električni potencijal koji se javlja usled transfera elektrona od davaoca (donator) ka primaocu (akceptor) i on određuje oksidacionu ili redukcionu moć nekog redoks sistema. Za njegovo izračunavanje koristi se Nernstova jednačina koja ima sledeći oblik:

$$E_h = E_o + (0,059/n) \cdot \log(C_{ox}/C_{red})$$

gde je:  $E_o$  - standardni potencijal sistema na  $25^\circ\text{C}$  i pri koncentracijama oksidovanog i redukovanog oblika od 1 mola na  $1 \text{ dm}^3$  (potencijal se izražava u odnosu na potencijal sistema  $\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + 2e^-$ , za koji se uzima da je 0 mV;  $n$  - broj elektrona koji učestvuju u reakciji;  $C_{ox}$  i  $C_{red}$  - koncentracije oksidovanog i redukovanog oblika redoks sistema.

Što je veća vrednost redoks potencijala veća je **oksidaciona moć** datog oksidacionoredukcionog sistema. Ukupni redoks potencijal zemljišta je zbir potencijala svih prisutnih sistema i on može da varira od -300 mV do +800 mV.

Redoks potencijal je visok u dobro aerisanim (provetrenim) zemljištima koja sadrže mnogo rastvorenog kiseonika u zemljišnom rastvoru i imaju veliki udeo oksidovanih oblika (oksida gvožđa i mangana, hidroksida, nitrata, sulfata). Redoks potencijal je nizak u zemljištima koja su deficitarna u kiseoniku i koja sadrže znatne količine redukovanih oblika ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{S}^{2-}$ ) kao i lako degradabilne-razložive organske materije.

Redoks potencijal je značajan za plodnost zemljišta pošto on utiče na pristupačnost nekih hranljivih elemenata za ishranu biljaka. Naime, gvožđe i mangan su pristupačni samo u redukovanim oblicima, dok su sumpor i molibden pristupačni samo u oksidovanim oblicima.



Redoks potencijal nema uticaja na pristupačnost azota pošto ga biljke lako usvajaju i u amonijačnom i u nitratnom obliku.

### **Voda u zemljištu**

Zemljište se sastoji od zemljišnih čestica i prostora između njih koji se nazivaju pore. Zemljišne pore su ispunjene delimično vodom, a delimično vazduhom.

Sa stanovišta gajenja biljaka vrlo je važno da u porama bude povoljan odnos vode i vazduha, tj. da zemljište ima povoljan **vodno-vazdušni režim**.

Količina vode u zemljištu zavisi od njegove teksture i sadržaja organske materije. Zemljišta finije teksture, zahvaljujući većoj površini svojih čestica i većem broju kapilarnih pora, drže veće količine vode nego zemljišta grublje teksture.

Najmanji je sadržaj vode u peskovitim zemljištima, dok glinovita zemljišta sadrže veće količine vode. Inače, voda se u zemljištu javlja u sledećim oblicima:

1. Gravitaciona voda
2. Kapilarna voda
3. Higroskopska voda
4. Hemijski vezana voda

**Gravitaciona voda** zauzima krupne pore zemljišta i otiče pod uticajem Zemljine teže. Posle jakih kiša, u roku od dva do tri dana, te krupne i ispražnjene pore ispuni vazduh. Stanje vlažnosti zemljišta, posle oticanja gravitacione vode, naziva se **poljski kapacitet vlažnosti**.

**Kapilarna voda** je ona koja se drži u zemljištu u obliku tankih opni površinskim silama čestica.

**Higroskopna voda** je deo kapilarne vode čija debljina opne ne iznosi više od 15-20 molekula vode. Ona se određuje sušenjem zemljišta na temperaturi između 105 i 110 °C

**Hemijski vezana voda** je ona koja ulazi u sastav hidratiziranih jedinjenja kao što je na primer  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ .

Voda koja ostane u zemljištu posle oticanja gravitacione vode je samo jednim delom pristupačna biljkama. Pristupačnost vode zavisi od sposobnosti biljaka da apsorbuju vodu koja je sa njima u kontaktu i brzine kojom se voda kreće s mesta veće vlažnosti ka delovima zemljišta iz kojih su biljke već uzele vodu i tako smanjile njihovu vlažnost.

Voda u zemljištu uslovljava mnoge fizičke, hemijske i biološke procese. Ona deluje kao rastvarač i prenosilac (transportno sredstvo) hranljivih materija za biljku, a i sama predstavlja supstancu neophodnu za rast biljaka. Pored ovoga, voda posredno utiče na mnoge osobine zemljišta kao što su: toplotne osobine, aeracija, mikrobiološka aktivnost i dr.

Zbog svega navedenog voda se smatra jednim od ključnih faktora plodnosti zemljišta. Međutim, treba imati u vidu i činjenicu da uticaj vode na plodnost zemljišta može da bude i štetan.

Štetan uticaj vode ispoljava se, između ostalog, u čestim naplavama, zabarivanju, stvaranju anaerobnih uslova, u zaslanjivanju zemljišta itd. Poznato je da do gušenja biljaka dolazi u slučaju dužeg zadržavanja gravitacione vode u zemljištu.

### **Vazduh u zemljištu**

U zemljišnim porama pored vode nalazi se i vazduh. Njegov sadržaj u zemljištu je vrlo promenljiv i zavisi od količine vode. Kada su sve zemljišne pore ispunjene vodom u zemljištu nema vazduha, a u potpuno suvom stanju sve zemljišne pore su ispunjene vazduhom. Međutim, ovo su ekstremni slučajevi koji se vrlo retko sreću.

Zemljišni vazduh sadrži gasove, koji su poreklom većinom iz atmosfere, ali se deo gasova obrazuje i u samom zemljištu usled proticanja mnogih biohemijskih procesa.

Pojedini gasovi iz zemljišnog vazduha utiču na neke važne procese u zemljištu kao što su nitrifikacija, mineralizacija organske materije zemljišta, rastvaranje karbonata i dr. Kiseonik koji se nalazi u zemljišnom vazduhu omogućava disanje korenova biljaka.

Sastav zemljišnog vazduha je sličan sastavu atmosfere, ali on sadrži više ugljen-dioksida i vodene pare, a manje kiseonika. Zemljišni vazduh sadrži prosečno oko 18-20% kiseonika i 0,15-0,65% ugljen-dioksida. Međutim, u ekstremnim slučajevima sadržaj CO<sub>2</sub> može da poraste na 5-6%, dok sadržaj kiseonika može da padne na 10%.

Između zemljišnog vazduha i atmosfere vrši se neprekidna **razmena gasova**. Ovaj proces se naziva aeracija zemljišta i on omogućava da se nadoknade oni gasovi koji se troše u raznim procesima u zemljištu. Pored toga u atmosferu odlaze oni gasovi koji su u zemljištu nastali.

Za proces provetravanja zemljišta od značaja su: temperatura zemljišta, promene količine vode, obrada zemljišta i sve mere koje su sračunate na to da povećaju brzinu kretanja vode u zemljištu (drenaža).

### **Temperatura zemljišta**

Iako ne spada u hemijske osobine temperatura zemljišta zaslužuje posebnu pažnju obzirom da ona ispoljava uticaj na razne procese u zemljištu. Poznato je da se hemijske i biohemijske reakcije brže odvijaju u uslovima veće temperature. Ovo važi i za procese u zemljištu.

Pri **smrzavanju zemljišta** dolazi do prekida biološke aktivnosti i hemijskih procesa u zemljištu. Takođe treba imati u vidu da je temperatura primarni činilac koji kontroliše rastenje

biljaka na zemljinoj površini. Inače, temperatura zemljišta kao i svakog drugog tela zavisi od količine energije koja na njega padne i njegove sposobnosti da tu toplotu zadrži ili izgubi zračenjem u okolnu sredinu.

Dnevna kolebanja temperature osećaju se do dubine od 60 cm. Najveća amplituda dnevnog kolebanja temperature javlja se na samoj površini i do dubine od nekoliko cm (20-40°C). Na dubini od 30 cm kolebanje temperature retko prelazi 3°C, dok na dubini od 60 cm iznosi oko 1°C. Krivulja promena temperature zemljišta u toku dana ima sličan oblik kao i krivulja promena temperature vazduha. Razlika je u tome što se promene u zemljištu javljaju sa zakašnjenjem. Drugim rečima, potrebno je da prođe izvesno vreme (nekoliko časova) da bi se promena temperature vazduha osetila u zemljištu.

Za klijanje kulturnih i korovskih biljaka, temperatura je u mnogim slučajevima činilac od osnovne važnosti. Mnoge biljke ne klijanju dok temperatura zemljišta ne dostigne određenu vrednost. Isto tako temperatura zemljišta je od značaja za širenje i aktivnost korena gajenih biljaka.

## Rezime

U okviru ovog poglavlja sagledali smo zemljište, kao prirodnu tvorevina koja je nastala tokom dugog vremena i koja se i dalje stvara.

Činioci koji utiču na obrazovanje zemljišta nazivaju se pedogenetskim činiocima. Najvažniji pedogenetski činioci su: geološki supstrat ili matična stena, klima, reljef, vegetacija, vreme (starost) i čovek.

Zemljište je jedan višefazni sistem koji se sastoji iz čvrste, tečne i gasovite faze. Čvrsta faza zemljišta, koja se sastoji od mineralnih i organskih materija, je najzastupljenija jer zauzima 50% zapremine zemljišta.

Najveći deo litosfere i zemljišta je sačinjen od jedinjenja sledećih elemenata: O i Si, Al i Fe, posle čega slede Ca, K, Na i Mg.

Minerali koji ulaze u sastav mineralnog dela zemljišta dele se na dve grupe: primarne i sekundarne.

Organska materija čini u proseku oko 5% čvrste faze zemljišta, deli u dve grupe: sveži i nerazloženi ostaci biljaka i životinja i humus

Makro- i mikroelementi su prisutni u zemljištu u raznim oblicima od kojih su samo neki pristupačni (dostupni) biljkama za ishranu. Sa stanovišta ishrane biljaka od velikog je značaja poznavanje sadržaja tih pristupačnih oblika hranljivih elemenata.

Reakcija zemljišta zavisi od prirode geološkog supstrata, klime, vrste vegetacije kao i od raznih antropogenih uticaja.

Vrlo je važno poznavati ovu osobinu zemljišta pošto većina poljoprivrednih kultura dobro uspeva u uslovima slabo kisele do slabo alkalne reakcije (blizu neutralne reakcije).

U zavisnosti od toga u kakvom stanju se nalaze vodonikovi joni razlikujemo sledeće vrste zemljišne kiselosti: **aktivna** (aktuelna) i **potencijalna kiselost** zemljišta.

## Pitanja

1. Plodnost zemljišta
2. Činioci nastajanja zemljišta : geološki supstrat i čovek
3. Činioci nastajanja zemljišta : klima i vreme
4. Činioci nastajanja zemljišta : reljef i biosfera
5. Zemljište kao višefazni sistem
6. Elementarni sastav zemljišta
7. Primarni minerali u zemljištu
8. Sekundarni minerali u zemljištu
9. Organska materija zemljišta
10. Bilans organske materije zemljišta
11. Izvori azota u zemljištu
12. Mikrobiološki procesi transformacije azota
13. Fosfor u zemljištu
14. Kalijum u zemljištu
15. Kalcijum i magnezijum u zemljištu
16. Sumpor u zemljištu
17. Mangan i bakar u zemljištu
18. Cink i bor u zemljištu
19. Kobalt i molibden u zemljištu
20. Vrste zemljišne kiselosti
21. Značaj reakcije zemljišta za biljke
22. Puferna sposobnost zemljišta
23. Zemljišni koloidi i adsorptivna sposobnost zemljišta
24. Oksido-redukциони procesi u zemljištu
25. Voda u zemljištu
26. Vazduh u zemljištu
27. Temperatura zemljišta

## Literatura

1. Kim H Tan : Principles of Soil Chemistry, Fourth Edition (Books in Soils, Plants, and the Environment)
2. Donald Sparks, Environmental soil chemistry, Academic Press, San Diego, 1995.
3. M. Jakovljević, M. Pantović, S. Blagojević, Praktikum iz hemije zemljišta i voda, Poljoprivredni fakultet, Beograd, 1995.
4. M. Pansu, J. Gautheyrou, Handbook of Soil Analysis - Mineralogical, Organic and Inorganic Methods, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2006.

## 7. ĐUBRIVA I ĐUBRENJE



U ovom poglavlju biće govora o tome šta su to đubriva i kakav je njihov značaj u savremenoj poljoprivrednoj proizvodnji. Razmotriće se dobijanje nekih značajnijih organskih i mineralnih đubriva, njihov sastav, osobine i promene u zemljištu. Posebno mesto u poglavlju zauzimaju razni načini utvrđivanja potrebe za đubrenjem, kao i primene đubriva.

## 7.1. Đubriva i njihova podela

Đubriva su materije koje se unose u zemljište pošto sadrže hranljive elemente koji su odmah pristupačni za biljke ili mogu da postanu pristupačni u toku izvesnog vremena. Naime, ma koliko da je neko zemljište prirodne visoke plodnosti ono ne može u potpunosti da zadovolji intenzivnu biljnu proizvodnju u svim ili u nekim hranljivim elementima. Zbog toga se i vrši unošenje đubriva u zemljište –**fertilizacija**, ova agrotehnička mera zajedno sa drugim merama (navodnjavanje, odvodnjavanje i dr.) obezbeđuje postizanje visokih i kvalitetnih prinosa raznih poljoprivrednih kultura.

Đubriva se dele na organska i mineralna. **Organska đubriva** su ona koja sadrže hranljive elemente uglavnom u obliku složenih organskih jedinjenja, a samo jednim delom i u obliku prostih neorganskih soli. Ona ne utiču samo na ishranu biljaka već predstavljaju i značajan materijal za popravljavanje nepovoljnih fizičkih i hemijskih osobina zemljišta. Najrazličitiji otpaci biljnog ili životinjskog porekla koji nastaju u poljoprivrednoj i industrijskoj proizvodnji, u domaćinstvu, gradu itd. se koriste kao organska đubriva.

U organska đubriva spadaju:

- ♣ stajsko đubrivo,
- ♣ kompost,
- ♣ zeleno đubrivo,
- ♣ kanalizacioni mulj,
- ♣ gradsko smeće,
- ♣ guano (u nekim zemljama) itd.

**Mineralna đubriva** sadrže hranljive elemente u obliku neorganskih jedinjenja, a ne sadrže uopšte ili samo u malim količinama organske materije. Prema tome da li sadrže jedan ili više hranljivih elemenata, mineralna đubriva se dele na:

- ❖ jedinačna ili jednostruka i
- ❖ višestruka đubriva.

Jedinačna ili jednostruka đubriva su: azotna, fosforna, kalijumova, magnezijumova, kalcijumova itd.

Višestruka đubriva se dele prema svojoj hemijskoj građi na:

- ❖ mešana i
- ❖ složena



Mešana đubriva se dobijaju mešanjem jednostrukih đubriva u odgovarajućim razmerama. Složena đubriva su ona koja sadrže dva ili više hranljivih elemenata u okviru jednog istog hemijskog jedinjenja. U složena đubriva spadaju, na primer, amonijum-fosfat, kalijum-nitrat i kalijum-fosfat.

## 7.2. Organska đubriva

Kao što smo ranije istakli u organska đubriva spadaju vrlo različiti materijali biljnog ili životinjskog porekla. U tekstu koji dalje sledi govorićemo o stajskom đubrivu (stajnjaku), zelenom đubrivu, kompostu i osoci. Ograničeni obim ovog predmeta nam ne dozvoljava da razmotrimo i druga organska đubriva koja se u poslednje vreme dosta koriste.

### 7.2.1. Stajsko đubrivo

Stajsko đubrivo ili **stajnjak** predstavlja manje ili više razloženu mešavinu čvrstih i tečnih izlučevina domaćih životinja sa slamom ili nekim drugim materijalom dodatim radi upijanja tečnosti (prostirka).

Stajnjak je najvažnije organsko đubrivo, jer se u njemu nalaze svi neophodni elementi za ishranu biljaka. Pored toga, ono ima povoljan uticaj na fizičke, hemijske i biološke osobine zemljišta.

Sastav i kvalitet stajskog đubriva zavisi od sastava izlučevina i prostirke. Za prostirku, koja služi za ugodnije ležanje životinja i apsorpciju tečnih izlučevina, mogu se koristiti razni materijali. U našoj zemlji se za prostirku najčešće upotrebljavaju: slama žita, a ređe lišće, paprati, mahovine i strugotine. Najbolja je pšenična slama, naročito ako se isecka, jer sadrži dosta hranljivih sastojaka i dobro upija tečnost.

Količina izlučevina (čvrstih i tečnih) zavisi od vrste životinje, načina ishrane i iskorišćavanja. Prema vrstama domaćih životinja razlikuju se i vrste stajnjaka: konjski, goveđi, svinjski, ovčiji i živinski. Oni se razlikuju po sadržaju hranljivih materija i po dejstvu. Živinski stajnjak ima najveći sadržaj hranljivih elemenata i najjače dejstvo.

Prosečan sadržaj hranljivih materija u svežem stajskom đubrivu od raznih životinja prikazan je u tabeli .

Tabela 7.1. Sadržaj hranljivih materija u svežem stajnjaku (%)

Životinja	Voda	Org. mat.	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO
konj	71	25	0,58	0,28	0,53	0,30
govedo	75	20	0,45	0,25	0,55	0,45
svinja	72	25	0,45	0,19	0,55	0,50
ovca	68	30	0,85	0,25	0,67	0,30

Prosečno u stajnjaku ima (u %): vode oko 75, organskih materija 16-20, azota 0,4-0,5, fosfora 0,25-0,30, kalijuma 0,5-0,6 i kalcijuma 0,5-0,8. Ovaj prosečni sastav **zrelog stajskog đubriva** se može koristiti pri normiranju i raznim planiranjima u ratarskoj proizvodnji. Međutim, pri neadekvatnom čuvanju, negovanju i korišćenju stajskog đubriva mogu se izgubiti izvesni hranljivi sastojci i time znatno smanjiti efekat pri đubrenju.

Sveže stajsko đubrivo nije pogodno za direktno đubrenje zbog većeg sadržaja nerazložene slame u kojoj se nalaze znatne količine celuloze, pentozana i lignina. Pored toga ovo đubrivo ima nepovoljan odnos između ugljenika i azota koji uslovljava imobilizaciju zemljišnog azota prilikom razlaganja ovog đubriva u zemljištu. U slami je ovaj odnos 1:100 (1:50 do 1:150), u svežem slamnatom stajskom đubrivu je 1:30, a u poluzgorelom stajnjaku iznosi 1:15-20.

Za pravilno pripremanje, negovanje i čuvanje stajskog đubriva neophodno je dobro đubrište. Sveže stajsko đubrivo u đubrištu podleže **biohemijskim promenama**, a organske materije se razlažu pod uticajem bakterija.

U toku previranja odnosno sazrevanja stajnjaka razlažu se složena organska jedinjenja (celuloza, hemiceluloza, lignin i belančevine) u prostija jedinjenja, koja kasnije u zemljištu daljnjim razlaganjem oslobađaju hranljive elemente. Organske materije, prisutne u stajskom đubrivu, se delimično i humificiraju, te se stvara humus. U toku raspadanja organskih materija oslobađaju se gasovi (CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> i NH<sub>3</sub>) i toplota.

Dobro sazrelo stajsko đubrivo ima ujednačen sastav, smeđu i mrku boju, umerene je vlažnosti i lako se mrvlji. Za đubrenje se najčešće upotrebljava poluzgoreli stajnjak koji je karakterističan po tome što se samo delimično razložio.

Stajsko đubrivo se unosi uvek pre obrade i setve. Izuzetak su prirodni travnjaci (livade i pašnjaci). Prilikom iznošenja stajskog đubriva na njivu neophodno je voditi računa o sledećem. Prvo, đubrivo treba što ravnomernije rasturiti po površini parcele jer se u tom slučaju postiže najbolji efekat. Neravnomerno razbacano đubrivo ima za posledicu neujednačen rast biljaka na pojedinim delovima parcele. Na mestima gde se nalaze velike

količine đubriva žita mogu da polegnu. Drugo, razbačeno đubrivo ne sme da ostane nezaorano ni za najkraće vreme, a naročito ne pri toplom i vetrovitom vremenu pošto su tada gubici u azotu najveći.

Dubina zaoravanja đubriva određena je osobinama zemljišta. Teška glinovita zemljišta, naročito ako su prekomerno vlažna, pružaju loše uslove za razlaganje stajskog đubriva pošto nemaju dovoljno kiseonika. Stajsko đubrivo na ovim zemljištima ne treba zaoravati dublje od 15 cm. Iz lakih peskovitih zemljišta hranljivi elementi duboko zaoranog stajskog đubriva se lako ispiraju van domašaja korenovog sistema gajenih biljaka. Zbog toga u ovim slučajevima stajsko đubrivo treba zaoravati i nešto pliće.

Količine stajnjaka koje se primenjuju se najčešće kreću u granicama od 10 do 40 tona po hektaru. Razlog za ovo je nizak procentualni sadržaj najvažnijih hranljivih elemenata (azota, fosfora i kalijuma) u stajskom đubrivu u odnosu na mineralna đubriva kod kojih taj sadržaj iznosi od 10 pa do nekoliko desetina procenata. Prema nekim normama količina stajskog đubriva do 20 t po hektaru se smatra kao mala, između 20-35 t srednja, a sve količine preko 35 tona kao velike.

### 7.2.2. Zeleno đubrivo

Pod zelenim đubrivom se podrazumeva sveža biljna masa sa kojom se u zemljište unose organske materije, a sa njima i hranljivi elementi, naročito azot. U stvari, zaoravanje svakog useva ili zelene biljne mase, pa čak i korova, predstavlja zeleno đubrenje.

Poželjno je da kulture koje se koriste kao zeleno đubrivo poseduju sledeće osobine:

- mogućnost iskorišćavanja atmosferskog azota i na taj način obogaćuju zemljište ovim elementom;
- razvijen korenov sistem sa izraženom sposobnošću iskorišćavanja neorganskih jedinjenja u zemljištu;
- sposobnost brzog i snažnog porasta, kako bi u kratkom vremenu razvili veliku vegetativnu masu svojim nadzemnim i podzemnim organima i
- kratak vegetacioni period, kako bi se zeleno đubrivo moglo proizvesti između dve glavne kulture.

Sledeće biljke se često koriste kao zeleno đubrivo: heljda, uljana repica, repica, bela lupina, grahorica i stočni grašak.

### 7.2.3. Kompost

Komposti se dobijaju previranjem mešavine različitog organskog materijala biljnog ili životinjskog porekla koji su izmešani sa mineralnim materijama kao što su pepeo, kreč i drugo.

Razni organski materijali ulaze u sastav komposta: korovi (bez semena), lišće krompira, repe i drugih biljaka, stara slama, pokvarena hrana, ostaci životinja i dr.

Posle previranja ovakve smeše dobija se jednolična masa u kojoj je sadržaj C i N sličan sadržaju u zemljišnom humusu. Na ovo ukazuje vrednost odnosa C:N koja je u granicama od 12-15:1.

Kompost dobijen od biljnih i životinjskih otpadaka ima sledeći prosečan sastav: voda - 15,8%, organska materija - 75,0%, N - 0,40%,  $P_2O_5$  - 0,20%,  $K_2O$  - 0,30%, CaO - 3,80%

### 7.2.4. Osoka

Osoka je mokraća domaćih životinja koja je pretrpela izvesne promene pošto je bila podvrgnuta raznim uticajima. Otuda se i njen sastav osetno koleba. Kao i kod stajskog đubriva, nega osoke ima veliki značaj za očuvanje hranljivih elemenata, a posebno azota. Radi sprečavanja gubitaka azota iz osoke ispitivana je mogućnost dodavanja supstanci koje mogu da vežu amonijak ili da deluju antiseptično i tako spreče stvaranje ovoga gasa. **Superfosfat** ili **gips** se koriste za vezivanje amonijaka dok **formaldehid** služi kao antiseptično sredstvo. U proseku osoka ima 0,1-0,5% azota, 0,3-1,0% kalijuma, dok fosforne kiseline ima samo u tragovima. Prema tome, osoka je prvenstveno azotno i kalijumovo đubrivo.

## 7.3. Mineralna đubriva

Mineralna đubriva se dobijaju preradom prirodnih sirovina u fabrikama đubriva, gde se biljna hraniva tih sirovina iz nepristupačnog ili teže pristupačnog prevode u biljkama pristupačni oblik. Tako se iz azota vazduha i vodonika zemnog gasa dobija amonijak koji može služiti kao đubrivo, ali se uglavnom prerađuje u ostale vrste azotnih đubriva.

Fosforna đubriva se dobivaju obradom sirovih fosfata mineralnim kiselinama, a kalijumova đubriva prečišćavanjem rudače kalijumovih soli.

Pristupačni oblici biljnih hraniva iz mineralnih đubriva se ni po čemu ne razlikuju od pristupačnih biljnih hraniva iz zemljišta pa ih biljke jednako usvajaju.

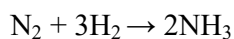
Kao što smo već istakli mineralna đubriva su ona koja sadrže hranjive elemente u obliku neorganskih jedinjenja. Prema broju hranljivih elemenata ona se dele na jednostruka i višestruka. Jednostruka sadrže jedan hranjivi element, dok višestruka sadrže dva ili više hranljivih elemenata. U **jednostruka** ili **jedinačna** đubriva spadaju azotna, fosforna, kalijuma, kalcijumova i druga đubriva koja sadrže jedan hranjivi element u okviru jednog hemijskog jedinjenja. **Višestruka đubriva** se mogu dobiti mehaničkim mešanjem jednostrukih đubriva (mešana đubriva) ili vezivanjem hranljivih elemenata u jednu celinu putem hemijskih reakcija (složena đubriva).

### 7.3.1. Azotna đubriva

Azotna đubriva sadrže azot kao glavni sastojak koji može biti u različitim oblicima. Prema obliku azota azotna đubriva se dele u sledeće grupe:

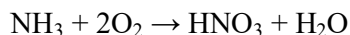
1. nitratna
2. amonijačna
3. amonijačno-nitratna
4. amidna

Osnovne sirovine za proizvodnju azotnih đubriva su amonijak i azotna kiselina. Amonijak se dobija iz atmosferskog azota i vodonika po **Haber-Bošovom procesu**. U ovom procesu azot i vodonik reaguju na pritisku od 200 atmosfera i temperaturi od 550°C u prisustvu aktiviranog oksida gvožđa.



Azot se dobija frakcionom destilacijom tečnog vazduha, dok se vodonik dobija razlaganjem vode (elektrolizom) ili iz prirodnog gasa.

Azotna kiselina se dobija iz amonijaka njegovom oksidacijom kiseonikom u prisustvu platine kao katalizatora.



### 7.3.1.1. Nitratna đubriva

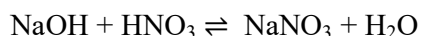
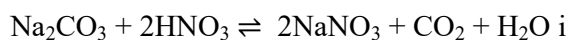
Nitratna đubriva sadrže azot u obliku nitrata. U nitratna đubriva spadaju  $\text{NaNO}_3$  - **čilska** i **sintetička šalitra**,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  - **krečna** ili **norveška šalitra** i **kalijum-nitrat**. U našoj zemlji se ne proizvodi ni jedno čisto nitratno đubrivo.

Posmatrano na svetskom nivou nitratna đubriva imaju sve manju upotrebu. Razvoj hemijske industrije, odnosno proizvodnje mineralnih đubriva doveo je do zamene ovih đubriva sa drugim azotnim đubrivima, prvenstveno sa amonijačnim, amidnim i amonijačno-nitratnim đubrivima. Međutim, nitratna đubriva su prva mineralna đubriva i samim tim najduže proučavana. Stoga, ova najstarija đubriva služe kao komparativ za ocenu vrednosti drugih azotnih đubriva.

Na tržištu danas mogu se naći krečna šalitra  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  i kalijumova šalitra  $\text{KNO}_3$ , ova đubriva su visoko kvalitetna sa katjonom i anjonom kao hranljivim elementima.

#### **Čilska i sintetička šalitra**

Ležišta čilske šalitre nalaze se u Čileu na planinama Anda - visina oko 1000 metara. Natrijum-nitrat se može dobiti i sintetički i to neutralizacijom sode ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ili natrijum-hidroksida azotnom kiselinom. Reakcije dobijanja natrijum-nitrata su prikazane sledećim jednačinama:



Natrijum-nitrat je bezbojna kristalna so koja se dobro rastvara u vodi. Rastvorljivost u 100 g vode na  $0^\circ\text{C}$  iznosi 70,7, a na  $25^\circ\text{C}$  92,7 g  $\text{NaNO}_3$ . Sadržaj azota je 16%. Veoma je važno da čilska šalitra i sintetički natrijum-nitrat budu čisti, jer nečistoće povećavaju higroskopnost soli i to u značajnoj meri. Higroskopnost je osobina neke supstance da upija vodu iz vazduha.

U zemljištu, kada ima dovoljno vlage, natrijum-nitrat prelazi u rastvor dajući natrijumove i nitratne jone ( $\text{NaNO}_3 \rightarrow \text{Na}^+ + \text{NO}_3^-$ ). Biljke više i brže apsorbuju  $\text{NO}_3$  od Na-jona, te ovaj zaostaje u zemljištu i sa  $\text{HCO}_3^-$  jonom (stvorenim disanjem korena) daje natrijum-bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ), jedinjenje koje u vodi reaguje alkalno. Zbog ovoga dolazi do povećanja pH-vrednosti zemljišta (zaalkaljivanje). Prema tome natrijum-nitrat je **fiziološki alkalna so**.

Pri dugogodišnjoj upotrebi većih količina natrijum-nitrata postoji mogućnost pogoršanja zemljišne strukture i zaslanjivanja zemljišta.

### **Krečna ili norveška šalitra**

Ovo đubrivo je u hemijskom pogledu kalcijum-nitrat ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ). Zove se norveškom šalitrom zbog toga što je proces njegove proizvodnje započeo u Norveškoj. Dobija se reakcijom kalcijum-karbonata sa azotnom kiselinom.



Krečna šalitra je so bele boje koja se dobro rastvara u vodi. Sadrži 15,5% azota. Vrlo je higroskopna, te se mora čuvati u specijalnim vrećama koje ne propuštaju vlagu. Kalcijum-nitrat je takođe **fiziološki alkalno đubrivo**. Ovo đubrivo je pogodno za sva zemljišta (naročito kisela) jer sadrži kalcijum tako da povoljno deluje na fizičke i hemijske osobine zemljišta.

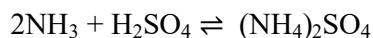
### **7.3.1.2. Amonijačna đubriva**

Amonijačna đubriva sadrže azot u amonijačnom obliku. U ovu grupu đubriva spadaju: amonijum-sulfat, anhidrovani amonijak, amonijačne vode i amonijum-hlorid.

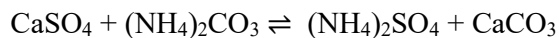
#### **Amonijum-sulfat**

Amonijum-sulfat je najstarije sintetičko azotno đubrivo. Industrijsko dobijanje ovoga đubriva vrši se na dva načina:

- neutralizacijom sumporne kiseline gasovitim amonijakom



- i konverzijom gipsa u amonijum-sulfat pomoću amonijum-karbonata



Amonijum sulfat je bela kristalna so sa 20 do 21%N. Dobro se rastvara u vodi ali mu je rastvorljivost manja od natrijum-nitrata. Amonijum-sulfat je fiziološki kiselo đubrivo jer biljke brže i u većim količinama usvajaju amonijačni jon od sulfata koji sa vodonikovim

jonima gradi sumpornu kiselinu. Ovo đubrivo se, kao što smo već istakli, dobro rastvara u vodi tako da u zemljištu, koje je dovoljno vlažno, nastaju amonijačni i sulfatni joni.

Amonijačni jon može da bude direktno apsorbovan od strane korenova gajenih biljaka. Međutim, za razliku od nitrata on kao katjon biva adsorbovan od strane negativno naelektrisanih koloidnih čestica u zemljištu, što smanjuje njegovu mobilnost.

Amonijačni jon se prevodi do nitrata procesom nitrifikacije koji se odvija pod uticajem specifičnih zemljišnih bakterija. Nitrifikacija se uprošćeno može predstaviti na sledeći način:



Optimalno pH za ovu transformaciju je oko neutralne sredine (pH = 7).

Značajni gubici azota iz ovoga đubriva su mogući u slučaju jako peskovitih zemljišta sa malim kapacitetom za adsorpciju katjona. Azot se gubi i iz alkalnih zemljišta i to u obliku gasovitog amonijaka ( $\text{NH}_3$ ).

Dostupna su nam i druga mineralna đubriva sa značajno višim sadržajem azota i koja su ekonomičnija u pogledu rukovanja i transporta, međutim, ovo mineralno đubrivo predstavlja i značajan izvor sumpora, iz tog razloga njegova upotreba je široko rasprostranjena.

### **Anhidrovani amonijak**

Od svih azotnih đubriva ovo đubrivo ima **najveći sadržaj azota** (83,3%). Amonijak je na običnoj temperaturi i pri običnom pritisku u gasovitom stanju. Međutim, on se može prevesti u tečno stanje i kao takav transportovati u posebnim sudovima u kojima je pod pritiskom od 15 atmosfera. U zemljište se unosi posebnim uređajima na dubinu od 10 do 20 cm, pa se tako gubici koji nastaju usled isparavanja svode na minimum (slika). Amonijak se u zemljištu vezuje za koloidne čestice, te ga delom apsorbuju biljke, a delom se procesom nitrifikacije prevodi u nitratni oblik. Anhidrovani amonijak se upotrebljava za predsetveno đubrenje ili za prihranjivanje useva unošenjem između redova. Njegova upotreba je dosta raširena u Americi i Danskoj.





Slika 7.1. Primena anhidrovanog amonijaka

### **Amonijačna voda**

Amonijačna voda se dobija uvođenjem amonijaka u vodu. Jedna litra vode može da rastvori oko 700 litara amonijaka na 20 °C. Amonijačne vode (rastvori) sadrže između 25 do 40% NH<sub>3</sub> po težini (najmanje 10%N). Ako se rastvoru amonijaka doda amonijum-nitrat ili urea dobijaju se rastvori poznati pod nazivom **amonijakati** koji sadrže 40-50% azota.

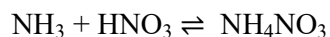
U industriji mineralnih đubriva koristi se i kao sirovina u proizvodnji i kao mineralno đubrivo.

### **7.3.1.3. Amonijačno-nitratna đubriva**

Ova đubriva sadrže azot u obliku amonijačnog i nitratnog jona. Krečni amonijum-nitrat je od posebnog značaja jer ima bolja fizička svojstva od čistog amonijum-nitrata.

### **Amonijum-nitrat**

Proizvodnja amonijum-nitrata se zasniva na neutralizaciji azotne kiseline amonijakom:



Amonijum-nitrat je bela higroskopna so koja sadrži 35%N. Dobro se rastvara u vodi, a proizvodi se u kristalnom i granulovanom obliku. Ono što ograničava njegovu upotrebu je činjenica da je pod određenim uslovima eksplozivan.

U zemljištu amonijum-nitrat prelazi u rastvor dajući amonijačne i nitratne jone ( $\text{NH}_4\text{NO}_3 \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ ). Amonijačni joni se adsorbuju na koloidnim česticama zemljišta, dok su nitrati u rastvoru i vrlo su pokretni.

Ovo đubrivo ne treba primenjivati na alkalna zemljišta zbog gubitaka azota u obliku gasovitog amonijaka. Amonijum-nitrat se može upotrebiti i u obliku rastvora.

Amonijum-nitrat proizvodi se i ima široku upotrebu u našoj državi. U poređenju sa azotnim đubrivom ureom koja ima čak 46% N, amonijum-nitrat je stabilan i ne gubi lako azot, iz tog razloga se više i upotrebljava od uree.

### **Krečni amonijum-nitrat - KAN**

Krečni amonijum-nitrat predstavlja smešu **amonijum-nitrata** i **kalcijum-karbonata** ( $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3$ ). Ovakvom smešom otklanjaju se nepovoljne fizičke osobine amonijum-nitrata.

Proizvodnja ovoga đubriva obavlja se na taj način što se rastvoru amonijum-nitrata dodaje mleveni krečnjak ili dolomit.

Krečni amonijum-nitrat koji se sada proizvodi sadrži 26%N (74%  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  i 26%  $\text{CaCO}_3$ ) od čega je jedna polovina u amonijačnom, a druga u nitratnom obliku. Na tržištu se javlja u obliku granula zelene ili smeđe boje. Ovo đubrivo je pogodno za primenu na kiselim zemljištima.

KAN se proizvodi u Srbiji i globalno posmatrano ima najširu upotrebu u poređenju sa ostalim azotnim đubrivima.

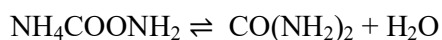
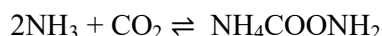
#### **7.3.1.4. Amidna đubriva**

Amidna đubriva sadrže azot u amidnom obliku (na primer karbamid) ili daju amidni azot posle proste konverzije (na primer, kalcijum-cijanamid).

### **Karbamid ili urea**

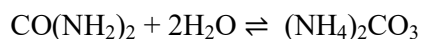
Karbamid se proizvodi reakcijom amonijaka i ugljen dioksida pod pritiskom (160-220 atmosfera) na povišenoj temperaturi (170-190°C) u autoklavu. Prvi proizvod reakcije je

amonijum-karbamat koji se onda razlaže dajući ureu. Hemijske reakcije se mogu predstaviti na sledeći način:



Karbamid sadrži 46% N i predstavlja **najkoncentovanije** čvrsto azotno đubrivo, te je kao takvo pogodno za transportovanje i lagerovanje. Đubrivo je bele boje i dobro se rastvara u vodi.

U zemljištu podleže brzom biohemijskoj hidrolizi pod dejstvom enzima ureaze (proizvode je mikroorganizmi) pri čemu se stvara amonijum-karbonat.



Obrazovani amonijak se vezuje za adsorptivni kompleks zemljišta te se tako sprečava ispiranje unetog azota. Procesom nitrifikacije amonijačni azot se prevodi u azotnu kiselinu koja povećava kiselost zemljišta. Prema nekim podacima biljke mogu da iskorišćavaju ureu za svoju ishranu i direktno.

Ovo azotno đubrivo dobija sve više na značaju, a u nekim zemljama je na prvom mestu po potrošnji. Upotrebljava se i kao sirovina u proizvodnji mešanih đubriva.

Više od 90% svetske industrijske proizvodnje uree predodređeno je za upotrebu u poljoprivredi. Urea ima najveći sadržaj azota od svih čvrstih azotnih đubriva u uobičajenoj upotrebi, zbog toga se smatra i najekonomičnijim đubrivom. Takođe, lako je rastvorljiva u vodi i zbog toga je veoma pogodna za upotrebu u rastvorima đubiva (folijarno prihranjivanje).

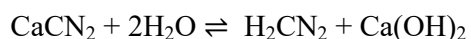
### Kalcijum-cijanamid

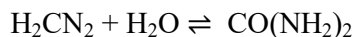
Kalcijum cijanamid ( $\text{CaCN}_2$ ) sadrži 18-22% N u cijanamidnom obliku. Đubrivo je u obliku laganog praha tamnosive do crne boje i odlikuje se malom higroskopnošću.

Proizvodi se vezivanjem atmosferskog azota za kalcijum-karbid na temperaturi od  $1100^\circ\text{C}$ . Kalcijum-karbid se dobija od krečnjaka i uglja, a azot frakcionom destilacijom tečnog vazduha. Sinteza se može predstaviti sledećim jednačinama.



Procesi transformacije kalcijum-cijanamida u zemljištu se prikazuju sledećim jednačinama:





Dobijeni karbamid se prevodi do amonijum-karbonata pod uticajem enzima ureaze. Transformacija kalcijum-cijanamida traje obično tri do sedam dana, a u peskovitim tresetnim zemljištima i nešto duže. U vezi sa tim se podešava i vreme njegove primene. Zbog toga se preporučuje da se ovo đubrivo primeni izvesno vreme pre setve kako bi se završio proces njegove transformacije. Kalcijum-cijanamid je azotno đubrivo sa **herbicidnim i fungicidnim** dejstvom.

Kako je urea (formirana postupkom Haber-Bosch) znatno bogata azotom (46% u poređenju sa oko 20% sadržaja azota) jeftinija i delotvornija, upotreba kalcijum-cijanamida postepeno se smanjila. Ostali razlozi za gubitak popularnosti su njegova prljavo-crna boja, prašnjav izgled i nadražujuća svojstva, kao i inhibicija enzima koji razgrađuje alkohol što uzrokuje privremeno nakupljanje acetaldehida u telu što dovodi do vrtoglavice, mučnine i talasa vrućine kada se alkohol pije u toku telesnog izlaganja.

### 7.3.2. Fosforna đubriva

U cilju poboljšanja ishrane biljaka fosforom, već nekoliko vekova se koriste različita jedinjenja koja sadrže veće ili manje količine fosfora. Odavno je poznat povoljan efekat na rastenje biljaka koji se postiže unošenjem samleveni kostiju u zemljište. Međutim, danas se fosforna đubriva proizvode u većini zemalja i to iz materijala (sirovi fosfati) koji sadrže fosfor u nerastvorljivom obliku.

Odgovarajućim tretmanom fosfor se iz nerastvorljivih prevodi u rastvorljive oblike. Još 1840. godine registrovani su prvi pokušaji dobijanja fosfornih đubriva tretiranjem sirovih fosfata sa sumpornom kiselinom. Fosforna đubriva se prema rastvorljivosti dele na:

1. Fosfate rastvorljive u vodi. U ovu grupu spadaju obični i koncentrovani superfosfat, kao i amonijum-fosfati i kalijum-fosfati.
2. Fosfati rastvorljivi u rastvoru neutralnog amonijum citrata. U ovu grupu spadaju dikalcijum-fosfat, fosfati iz Tomasovog brašna i termofosfati.
3. Fosfati nerastvorljivi u vodi i slabo rastvorljivi u citratnom rastvoru. To su sirovi fosfati i fosforiti.

Najveće rezerve fosfatnih ruda utvrđene su u Maroku (45% ukupne rezerve fosfata globalno posmatrano). Ograničene količine fosfornih ruda, koje su u biti siromašne u fosforu, u prirodi utiču na više cene fosfornih đubriva i ekonomičnije je koristiti fosforna đubriva u

sastavu složenih đubriva. Iz tog razloga, u Srbiji se fosforna đubriva uglavnom ne primenjuju kao pojedinačna. Na našem tržištu mogu se naći tripleks, monoamonijum-fosfat i diamonijum-fosfat. Sirovine za proizvodnju ovih đubriva se uvoze.

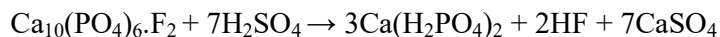
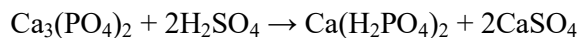
U tekstu koji dalje sledi govorićemo o najvažnijim predstavnicima fosfornih đubriva.

### **Superfosfat**

Superfosfat je u hemijskom pogledu smeša primarnog kalcijum-fosfata i gipsa. On se dobija iz sirovih fosfata i sumporne kiseline.

Sirovi fosfati imaju različiti hemijski sastav, a razlikuju se međusobno i poreklom. Tako naslage jedinjenja koja sadrže fosfor nastaju vulkanskim, sedimentnim i biološkim putem.

Pre nego što se tretira sa sumpornom kiselino fosfatna stena treba da bude dobro samlevena jer će jedino u tom slučaju reakcija između nje i sumporne kiseline biti efikasna. Reakcije između sirovih fosfata i sumporne kiseline mogu se prikazati sledećim jednačinama.



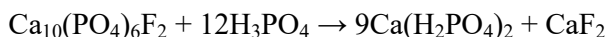
Kao što smo istakli u sastav superfosfata ulazi gips i to u količini od 50%. Inače superfosfat sadrži između 17 i 20% fosfora izraženog u obliku  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Preko 90% fosfora iz superfosfata je rastvorljivo u vodi. Jedan mali deo fosfora (do 5%) iz superfosfata se nalazi u obliku slobodne fosforne kiseline. Superfosfat se proizvodi u praškastom i granulovanom obliku. Đubrivo je sivo bele boje i miriše na kiselo.

Superfosfat se koristi prvenstveno na neutralnim i alkalnim zemljištima. Na kiselim zemljištima, naročito na onima koja su siromašna u pristupačnom fosforu, superfosfat daje slabiji efekat, jer rastvorljivi fosfati, koji ulaze u njen sastav, prelaze u teško rastvorljive oblike (npr. aluminijum i gvožđe fosfati). Naime, u zemljištima se rastvorljivi fosfati prevode u slabo rastvorljive kalcijum, aluminijum i gvožđe fosfate. Ovaj proces se naziva **retrogradacija** ili **fiksacija fosforne kiseline**. Međutim, ako se superfosfat (u obliku granula) primeni u redove smanjuje se retrogradacija fosforne kiseline.

Ranije se smatralo da je superfosfat kiselo đubrivo koji može da zakiseli zemljište. Međutim, ova tvrdnja nije tačna pošto biljke iz superfosfata više usvajaju kiselinski u odnosu na bazni deo. Količine superfosfata koje će se upotrebiti za đubrenje biljaka zavise od obezbeđenosti zemljišta fosforom, vrste biljaka i planiranog prinosa. Obično se primenjuje između 400 i 800 kg superfosfata po hektaru.

## Trostruki superfosfat

U hemijskom pogledu ovo đubrivo je primarni kalcijum-fosfat -  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , koji sadrži izvesne količine oksida. Trostruki superfosfat ili **tripleks** je visoko koncentrovano fosforno đubrivo koje se proizvodi delovanjem fosforne kiseline na sirovi fosfat. Njegovo dobijanje se predstavlja sledećim jednačinama:

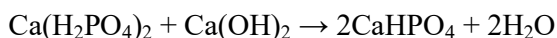
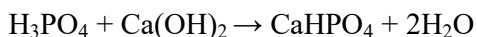


Tripleks sadrži između 44 i 52%  $\text{P}_2\text{O}_5$  koji je najvećim delom rastvorljiv u vodi. U njegov sastav ne ulazi gips kao što je to slučaj sa običnim superfosfatom. Trostruki superfosfat se proizvodi u praškastom i granulovanom obliku. Ovo đubrivo ima danas veći značaj od superfosfata, a koristi se i za proizvodnju kompleksnih đubriva.

Tripleks se u zemljištima transformiše na isti način kao i superfosfat. Naime, primarni kalcijum-fosfat, koji čini najveći deo ovoga đubriva, se u zemljištu prevodi u slabije rastvorljive oblike fosfora.

## Precipitat

Precipitat je fosforno đubrivo u kome se fosfor nalazi u obliku dikalcijum-fosfata -  $\text{CaHPO}_4$ . Proizvodi se neutralizacijom fosforne kiseline ili primarnog kalcijum-fosfata krečnim mlekom (kalcijum-hidroksidom).



Ovo đubrivo spada u grupu fosfornih đubriva koji se rastvaraju u amonijum-citratu. Sadrži 30 do 35% fosfora izraženog u obliku  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Precipitat je sitan kristalni prah bele boje i ne upija vodu, tj. nije higroskopan. On nije našao širu primenu u praksi, a u našoj zemlji koristi se u procesu proizvodnje stočne hrane.

## Tomasovo brašno

Tomasovo brašno se dobija kao sporedni proizvod pri **proizvodnji čelika**. Ovo fosforno đubrivo je nazvano po engleskom metalurgu **S.G. Tomasu**, koji je pronašao način za uklanjanje fosfora iz sirovog gvožđa tako da dobijeni čelik ne bude krt i lomljiv.

Fosfor se odvaja od gvožđa u konvertoru dodavanjem dolomita. Na ovaj način on ulazi u sastav materije složenog sastava koja posle odlivanja i hlađenja ima crnu boju i koja je nazvana Tomasova šljaka ili zgura. Đubrivo se dobija mlevenjem šljake u sivo crni prah velike specifične težine i male higroskopnosti.

Tomas fosfat sadrži između 15 i 17% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> koji se rastvara u limunskoj kiselini. Pored fosfora u njegov sastav ulazi kalcijum, magnezijum, mangan i neki drugi mikroelementi. Za đubrenje se upotrebljava u istim ili nešto većim količinama nego superfosfat. Ovo đubrivo je naročito pogodno za primenu na kiselim zemljištima. Naime, unošenjem ovoga đubriva u kiselu zemljišta vrši se njihovo obogaćivanje u fosforu i neutralizacija njihove kiselosti.

Tomasovo brašno ima značajno mesto u potrošnji fosfornih đubriva u zemljama sa razvijenom industrijom čelika. U našoj zemlji se sada ne proizvodi, što nije bio slučaj sa bivšom Jugoslavijom kada su se znatne količine ovoga đubriva dobijale iz železare u Skoplju, sada se u prodaji može naći Tomasov fosfat iz uvoza.

### **Sirovi fosfati**

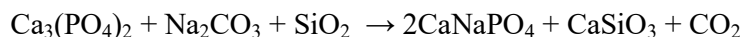
Kao što smo ranije istakli sirovi fosfati imaju različiti hemijski sastav, a razlikuju se međusobno i poreklom. Oni se mogu koristiti za đubrenje kiselih zemljišta fosforom. Međutim, pre njihove primene u ovu svrhu, neophodno je da oni budu fino samleveni kako bi se povećao dodir između njih i zemljišta. U kiselim zemljištima sirovi fosfati se prevode u rastvorljivije oblike fosfora dejstvom vodonikovih jona iz adsorptivnog kompleksa zemljišta.



Sastav sirovih fosfata zavisi od njihovog porekla, a sadržaj fosfora je u granicama od 29 do 37% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. U sirovim fosfate se redovno nalaze i određene količine mikroelemenata kao što je mangan. Fosfor iz sirovih fosfata se ne rastvara u vodi, a delimično u citratu.

### **Termofosfati**

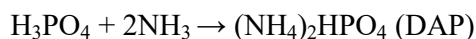
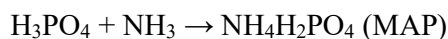
Termofosfati pripadaju grupu fosfata rastvorljivih u rastvoru neutralnog amonijum citrata. Oni se dobijaju zagrevanjem mešavine fosfatne stene, peska (SiO<sub>2</sub>) i sode (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) u specijalnim pećima na vrlo visokoj temperaturi. Pri ovome se odigrava sledeća reakcija:



Sadržaj fosfora u ovom proizvodu se kreće u granicama od 20 do 30% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Ovaj proizvod se na tržištu može naći pod sledećim nazivima: renanijafosfat, supertomasina, relingfosfat itd. U našoj zemlji se ne proizvodi. Termofosfati su po svojim osobinama najpogodniji za **kisela zemljišta**. Međutim, njihova vrednost je nešto manja od vrednosti Tomasovog brašna.

### **Amonijum-fosfati**

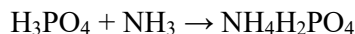
U amonijum-fosfate spadaju **monoamonijum-fosfat** (MAP) i **diamonijum fosfat** (DAP). S obzirom da sadrže i azot ova đubriva se mogu smatrati i složenim NP đubrivima, ali se češće tretiraju kao fosforna đubriva. Dobijaju se neutralizacijom fosforne kiseline amonijakom.



Čist monoamonijum-fosfat sadrži 12,17% N i 61,72% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, dok je sadržaj ovih elemenata u diamonijum-fosfatu 21,20 odnosno 53,75%. Obe soli se lako rastvaraju u vodi i disocijacijom u vodenom rastvoru daju amonijačne i fosfatne jone.

### **Amonizirani superfosfat**

U superfosfatu se nalazi izvesna količina slobodne fosforne kiseline. U cilju njene neutralizacije vrši se amonizacija superfosfata i pri tome monokalcijum-fosfat prelazi u dikalcijum-fosfat. Vrlo je važno da količina amonijaka koja se koristi za amonizacija bude takva da ne dođe do stvaranja trikalcijum-fosfata. Pri amonizaciji superfosfata odigravaju se sledeće reakcije:



Amonizirani superfosfat sadrži 3-4% N i 16-18% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Dodavanje amonijaka superfosfatu se praktikuje u nekim zemljama.

Pored gore pomenutih fosfornih đubriva poznata su i sledeća fosforna đubriva: amonijum, kalcijum i kalijum metafosfat, pelofos i dr.



### 7.3.3. Kalijumova đubriva

Kalijumova đubriva sadrže kalijum kao osnovni sastojak i dobijaju se iz jedinjenja kalijuma koja su rasprostranjena u prirodi u vidu **alumosilikata** ili **naslaga soli**. Prirodne kalijumove soli vode poreklo od nekadašnjih mora iz davnih geoloških perioda koja su ostavila ležišta ovih soli. Na taj način su nastala ležišta soli kao što su silvinit, karnalit, kainit i dr. U kalijumova đubriva spadaju sirove i koncentrovane kalijumove soli. Srbija uvozi sirovine neophodne za pripremu složenih kalijumovih đubriva.

#### **Sirove kalijumove soli**

U ove soli spadaju minerali kalijuma koji se vade iz rudnika. Oni se mogu koristiti za đubrenje i bez prethodne obrade. Ležišta ovih soli se nalaze u Nemačkoj, Francuskoj, Španiji, SAD, Kanadi i Rusiji. Rezerve se procenjuju na oko 120 milijardi tona. Od sirovih kalijumovih soli pomenućemo sledeće:

- Karnalit-  $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$  (slika). On sadrži između 9-11%  $K_2O$  i ima malu vrednost kao đubrivo zbog velike higroskopnosti.
- Kainit -  $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$ . Sadrži od 12 do 16%  $K_2O$ . Upotrebljava se kao herbicid.
- Silvinit -  $KCl \cdot NaCl$ . Ovaj mineral sadrži 12-15%  $K_2O$ .

Sirove kalijumove soli nisu pogodne za direktno đubrenje zbog relativno niskog sadržaja kalijuma, skupog transporta i prisustva elemenata kao što su natrijum, hlor i sumpor (u obliku sulfata), koji ispoljavaju štetno dejstvo na neke poljoprivredne kulture. Pored ovoga treba pomenuti da su fizičke osobine nekih soli (npr. karnalit) vrlo nepovoljne usled velike higroskopnosti.

#### **Koncentrovane kalijumove soli**

Preradom sirovih kalijumovih soli dobijaju se **visokokoncentrovane soli** koje se koriste kao đubriva. Ovo se zasniva na različitoj rastvorljivosti u vodi pojedinih sastojaka sirovih soli. U ove soli spadaju sledeće:

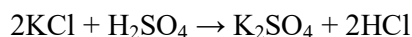
**Kalijumova so 40%**. Ova so sadrži 40% K<sub>2</sub>O odnosno 63% KCl i 20-30% NaCl, i dosta je higroskopna. Dobija se mešanjem 60%-nog KCl sa samlevenim silvinitom. 40%-na kalijumova so spada u fiziološki kisela đubriva. Ranije je bila vrlo popularna u Evropi i u našoj zemlji.

**Kalijumova so 60%**. Ova so se proizvodi iz **silvinita** njegovim rastvaranjem u vreloj vodi u cilju dobijanja zasićenog rastvora soli. Zatim se rastvor ohladi do sobne temperature (20 do 25 °C) i pri tome se deo kalijum-hlorida taloži, dok natrijum-hlorid ostaje u rastvoru. Rastvor natrijum-hlorida se odvaja od taloga u kome ostaje kalijum-hlorid. Sadržaj kalijum-hlorida u ovom đubrivu je oko 96%, dok je natrijum-hlorid prisutan u količini od 1 do 3%. Ovo đubrivo spada u fiziološki kisela đubriva.

**Kalijum-sulfat** je bela kristalna so koja sadrži 48 do 52% K<sub>2</sub>O i 18% S. Dobija se najčešće rastvaranjem u vodi dvojnog sulfata kalijuma i magnezijuma (langbejnita) uz naknadno dodavanje koncentrovanog rastvora kalijum hlorida. Kalijum-sulfat će se pri tome izdvojiti u vidu taloga koji se lako odvaja od tečnosti.



Ovo đubrivo se može dobiti i tretiranjem kalijum-hlorida sumpornom kiselinom.



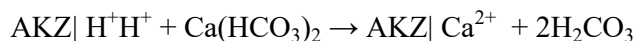
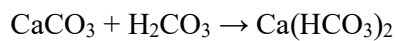
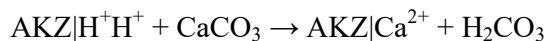
Kalijum-sulfat nije mnogo higroskopan i spada u fiziološki kisela đubriva. Ovo đubrivo se koristi za đubrenje kultura (duvan, krompir) koje ne podnose velike količine hlora.

#### 7.3.4. Kalcijumova (krečna) đubriva

Kalcijumova đubriva se koriste prvenstveno za popravku **nepovoljnih fizičkih i hemijskih osobina zemljišta**. Njihov značaj za ishranu biljaka kalcijumom je mnogo manji obzirom da većina zemljišta ima dovoljne količine kalcijuma.

Kao što smo ranije istakli zemljišta koja su suviše kisela ili alkalna nisu pogodna za gajenje većine poljoprivrednih kultura. Takva zemljišta moraju da se poprave da bi se koristila za biljnu proizvodnju.

Kod kiselih zemljišta se primenjuje agrotehnička mera koja se zove **kalcifikacija**. Ovom merom se u zemljište unose joni kalcijuma, a u nekim slučajevima i magnezijuma, koji neutrališu vodonikove jone iz adsorptivnog kompleksa i zemljišnog rastvora. Usled ovoga doći će do povećanja pH vrednosti zemljišta. Na primer, pri unošenju kalcijum-karbonata u neko kiselo zemljište odigravaju se sledeće reakcije:



Za kalcifikaciju kiselih zemljišta se uglavnom koriste sledeći materijali:

1. **Krečnjak** ( $\text{CaCO}_3$ ). To je prirodni materijal koji sadrži između 70 i 90% kalcijum-karbonata. On se koristi u obliku praha i time se obezbeđuje njegova efikasnost kao sredstva za neutralizaciju kiselih zemljišta.
2. **Dolomit** ( $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ ). Dolomit je prirodni materijal koji sadrži oko 55%  $\text{CaCO}_3$  i 45%  $\text{MgCO}_3$ . I on se koristi u obliku fino samlevenog praha. Pošto sadrži magnezijum dolomit se smatra i magnezijumovim đubrivom. Naročito je pogodan za upotrebu na kiselim zemljištima koja su siromašna u magnezijumu.
3. **Živi (pečeni) kreč** ( $\text{CaO}$ ). On se dobija zagrevanjem krečnjaka na temperaturi od 800-1000°C.
  - a)  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
  - b) Sadržaj kalcijum-oksida u pečenom krečnjaku iznosi 90-95%. Kalcijum-oxid reaguje vrlo burno sa vodom (uz oslobađanje velike količine toplote) i pri tome se stvara kalcijum-hidroksid (gašeni kreč).
  - c)  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$
  - d) Živi i gašeni kreč spadaju u materijale za kalcifikaciju čije je dejstvo u zemljištu mnogo brže u odnosu na krečnjak i dolomit.
4. **Saturacioni mulj**. To je sporedni proizvod koji nastaje pri proizvodnji šećera. U njemu u proseku ima 20-25%  $\text{CaO}$ , 42-45% vode i oko 15% organske materije. Saturacioni mulj je materijal koji nije pogodan za transport na veće distance jer ima visok sadržaj vode. Obično se primenjuje za popravku kiselih zemljišta koja se nalaze u neposrednoj okolini šećerana.

Pozitivan uticaj kalcifikacije na osobine kiselih zemljišta se ogleda u sledećem:

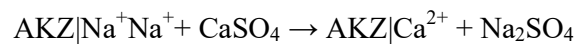
- ✓ smanjuje se količina vodonikovih jona;
- ✓ smanjuje se sadržaj mobilnog aluminijuma koji, ako je prisutan u većim količinama deluje toksično na biljke;
- ✓ povećava se mikrobiološka aktivnost zemljišta koja, između ostalog, doprinosi oslobađanju azota, fosfora i sumpora iz organske materije zemljišta i na taj način ovi elementi postaju pristupačni biljkama za ishranu;

- ✓ povećava se sadržaj pristupačnih oblika fosfora u zemljištu, koji su u kiselim zemljištima uglavnom prisutni u malim količinama;
- ✓ povećava se sadržaj pristupačnog molibdena u zemljištu; i
- ✓ poboljšavaju se fizičke osobine zemljišta.

U poslednje vreme se izbegava potpuna neutralizacija kiselih zemljišta i za to postoji više razloga. Naime, kalcifikacija je dosta skupa agrotehnička mera i pri potpunoj neutralizaciji kiselih zemljišta drastično se smanjuje pristupačnost većine mikroelemenata. Na primer, sadržaj pristupačnog cinka i bora, koji je dosta mali u kiselim zemljištima, postaje još niži posle neutralizacije kiselih zemljišta. Zbog ovoga se primenjuju količine kreča koje odgovaraju 1/2 ili 1/3 količine koja je potrebna za potpunu neutralizacije. Ove količine kreča su dovoljne za postizanje osnovnog cilja kalcifikacije, a to je uklanjanje toksičnog dejstva aluminijumovih jona. Vrlo često se kreč unosi u kisela zemljišta zajedno sa stajskim đubrivom.

Poseban problem za gajenje biljaka predstavljaju alkalna zemljišta čija je pH vrednost veća od 8,5. Ova zemljišta imaju znatne količine natrijuma u svom adsorptivnom kompleksu, i usled toga nepovoljne fizičke i hemijske osobine (nizak sadržaj organske materije, kalcijuma, azota i nekih mikroelemenata). Za popravku ovih zemljišta (uklanjanje natrijuma iz adsorptivnog kompleksa), koristi se agrotehnička mera koja se zove **gipsovanje**.

Gipsovanje predstavlja dodavanje gipsa alkalnim zemljištima i pri tome se dešava sledeća reakcija:



Inače, ova agrotehnička mera se primenjuje u kombinaciji sa merama koje imaju za cilj da uklone nagrađeni natrijum-sulfat iz površinskih slojeva zemljišta. U te mere spadaju navodnjavanje i odvodnjavanje.

Gips ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) je prirodan materijal koji sadrži oko 30% CaO i 45%SO<sub>3</sub>. On se upotrebljava kao fino samleveni prah. Pošto se slabo rastvara u vodi delovanje u zemljištu mu je usporeno.

### 7.3.5. Magnezijumova đubriva

Magnezijumova đubriva su hemijske supstance koje sadrže hranljivi element magnezijum u obliku magnezijumovih katjona ili koje daju  $Mg^{2+}$  katjone posle transformacije u zemljištu.

Sirovine za dobijanje magnezijumovih đubriva su minerali koji se nalaze u prirodi. U vodi rastvorljive soli magnezijuma se nalaze u asocijaciji sa kalijumovim solima u slanim naslagama i od njih se odvajaju procesima rastvaranja. Magnezijumova đubriva se prema rastvorljivosti u vodi dele na:

- ❖ đubriva koja se lako rastvaraju u vodi i
- ❖ đubriva koja su slabo rastvorljiva ili nerastvorljiva u vodi.

U prvu grupu đubriva spadaju **kiserit** ( $MgSO_4 \cdot H_2O$ ), **epsonit** ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ), magnezijum-hlorid ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ) i magnezijum-nitrat ( $Mg(NO_3)_2$ ). Predstavnicima druge grupe magnezijumovih đubriva su: **magnezit** ( $MgCO_3$ ), **dolomit** ( $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ ) (slika), **silikati magnezijuma**, **magnezijum-oksidi** ( $MgO$ ) i dr.

Od svih magnezijumovih đubriva najveći sadržaj magnezijuma ima  $MgO$  (42% i više), dok eptonit sadrži 10% magnezijuma.

### 7.3.6. Mikrođubriva

Mikrođubriva su đubriva koja sadrže mikroelemente u obliku čistih jedinjenja ili raznih metalurških otpadaka. Ona imaju sve veći značaj u savremenoj poljoprivrednoj proizvodnji s obzirom da se najvažniji makroelementi (N,P,K) unose u zemljište u obliku čistih hemijskih soli sa vrlo malim sadržajem mikroelemenata.

Količine mikroelemenata koje se nalaze u ovim đubrivima su nedovoljne za ishranu biljaka. Zbog toga se danas u zemljama sa savremenom poljoprivredom sve više proširuje asortiman đubriva sa mikroelementima (mikrođubriva). U sledećoj tabeli daćemo pregled nekih važnijih jedinjenja koja se koriste kao mikrođubriva. Za svako jedinjenje je prikazan sadržaj odgovarajućeg mikroelementa u %. U tabeli su prikazane i količine pojedinih mikrođubriva koje se unose u zemljište. Te količine su izražene u kg/ha.

Tabela 7.2. Mikroelementi koji se koriste kao mikrođubriva

Mikroelement	Jedinjenje	Sadržaj mikroelementa (%)	Količina đubriva (kg/ha)
Fe	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	20	10
Zn	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	23	10-50
Mn	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	24	10-50
Cu	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	25	10-50
B	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	11	5-20
Mo	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	40	0,1-0,5

Mikrođubriva se primenjuju i u obliku razblaženih rastvora (u vodi) pomoću kojih se vrši prskanje listova gajenih biljaka. Ovakav način ishrane biljaka se zove **folijarna ishrana** i pored mikroelementa mogu se unositi i neki makroelementi (azot, fosfor, kalijum).

Obzirom da se neki mikroelementi mogu u zemljištu prevesti u teško rastvorljiva jedinjenja, oni se u poslednje vreme primenjuju u obliku **helata**. Helati su supstance u kojima je organski deo molekula na specifičan način vezan za jon metala.

Svi biogeni mikroelementi osim bora stvaraju helate. Sredstvo koje se često koristi za stvaranje helatnih kompleksa sa mikroelementima je **EDTA** (etilen-diamino-tetrasirćetna kiselina). Tako su poznati: Fe-EDTA, Mn-EDTA, Zn-EDTA i drugi. Oni se odlikuju dobrom rastvorljivošću i stabilnošću (tj. ne podležu lako razlaganju).

Usled tih svojih osobina helati su veoma efikasna mikrođubriva bilo za đubrenje zemljišta ili za folijarnu ishranu biljaka. Međutim, ono što ograničava njihovu primenu u poljoprivrednoj praksi je ekonomska neisplativost.

### 7.3.7. Mešana đubriva

Mešana đubriva su ona koja se dobijaju mehaničkim mešanjem jednostrukih đubriva. U njima se hranljivi elementi azot, fosfor i kalijum nalaze u obliku odvojenih soli.

Smatra se da je bitna karakteristika ovih đubriva **odsustvo međusobne reakcije** komponenata u smeši, te usled toga ne dolazi do hemijskih promena u sastavu pojedinih jedinjenja zastupljenih u ishodnom materijalu.

Mešana đubriva predstavljaju smeše vrlo promenljivog sastava i one se označavaju formulom koja pokazuje **odnos** između hranljivih elemenata ili njihov **sadržaj u procentima**.

$N:P_2O_5:K_2O = 1:2:2$  (odnos između hranljivih elemenata)

$N:P_2O_5:K_2O = 5:10:10$  (procentualna zastupljenost hranljivih elemenata)

Mešana đubriva se primenjuju kako za **predsetveno đubrenje** tako i za **prihranjivanje** poljoprivrednih kultura. Spravljanje mešanih đubriva se vrši u fabrici ili na samom poljoprivrednom gazdinstvu. Odnos između pojedinih hranljivih elemenata se određuje na osnovu potreba biljaka i osobina zemljišta.

Primena mešanih đubriva u poljoprivrednoj praksi ima svojih pozitivnih strana. Poznato je da pojedina mineralna đubriva imaju nepovoljne fizičke osobine (npr. amonijum nitrat je higroskopan) i mešanjem sa drugim mineralnim đubrivima te osobine se otklanjaju. Na primer, amonijum-nitrat meša sa kalcijum-karbonatom u cilju dobijanja krečnog amonijum-nitrata koji ima povoljne osobine. Primenom mešanog đubriva istovremeno se u zemljište unose dva ili tri hranljiva elementa što je ekonomičnije u odnosu na primenu jednostrukih đubriva jer su manji troškovi transporta, skladištenja i razbacivanja đubriva.

Međutim, treba imati na umu da se sva đubriva ne mogu mešati. Naime, pri proizvodnji mešanih đubriva iz jednostrukih može doći i do štetnih pojava kao što su gubitak hranljivih elemenata (npr. azota iz amonijačnih đubriva), prevođenja hranljivog elementa (npr. fosfora) u manje rastvorljiv oblik, stvrdnjavanja i sl. Zbog toga treba voditi računa o izboru komponenata za mešanje.

U cilju dobijanja mešanog đubriva tačno poznatog sastava potrebno je izračunati količinu jednostrukih đubriva koja ulaze u smešu. Izračunavanje potrebne količine jednostrukih đubriva vrši se po sledećoj formuli:

$$X = a \cdot 100/b$$

gde je: X = količina prostog đubriva za dobijanje 100 kg mešanog đubriva određenog sastava; a= sadržaj hranljivog elementa u % u mešanom đubrivu i b = sadržaj hranljivog elementa u % u jednostrukom đubrivu.

Na primer, ako je potrebno pripremiti 100 kg mešanog đubriva u kome će sadržaj hraniva biti 5:8:8 (u procentima), a za pripremu smeše se koristi čilska šalitra ( $\text{NaNO}_3$  - 16%N), superfosfat (18%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) i 40% KCl, onda se potrebne količine jednostrukih đubriva izračunavaju na sledeći način:

$$\text{Čilska šalitra u kg} = 5 \cdot 100/16 = 31,2$$

$$\text{Superfosfat u kg} = 8 \cdot 100/18 = 42,2$$

$$40\% \text{ kalijumova so u kg} = 8 \cdot 100/40 = 20,0$$

Ukupna količina iznosi 93,4 kg.

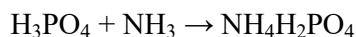
Razlika u težini koja je potrebna za dobijanje 100 kg mešanog đubriva se popunjava dodavanjem inaktivnih materija-filera. Kao fileri se mogu koristiti dolomitni krečnjak, gips, krečnjak i razne strugotine. Fileri su od značaja za fizičke osobine mešanih đubriva. Naime, oni treba da smanje stvrdnjavanje i vlaženje đubriva.

Neka mešana đubriva imaju i svoja imena. Na primer, mešano đubrivo koje se sastoji iz amonijum sulfata, superfosfata i kalijum hlorida se zove **am-sup-ka**.

### 7.3. 8. Složena đubriva

Razvojem tehnologije za proizvodnju đubriva stvorene su mogućnosti da se dobiju takva đubriva koja sadrže dva ili tri elementa u okviru istog hemijskog jedinjenja. Ovakva đubriva se zovu složena đubriva i ona imaju veliki značaj u savremenoj biljnoj proizvodnji.

Za razliku od mešanih đubriva, koja se dobijaju mehaničkim mešanjem jednostrukih đubriva, složena đubriva su nastala kao rezultat **hemijskih reakcija između sirovina** za njihovo dobijanje. Na primer, monoamonijum-fosfat se dobija reakcijom između fosforne kiseline i amonijaka.





Složena đubriva se prave samo u fabrikama i ona mogu, sem azota, fosfora i kalijuma, sadržavati u sebi i druge hranljive elemente koji potiču od sirovina za njihovo dobijanje ili se posebno dodaju.

Sastav složenih đubriva se izražava tako što se daje sadržaj azota, fosfora i kalijuma u procentima, i to piše na vrećama u kojima se đubriva isporučuju. Tako, na primer, ako na vreći piše 15:15:15 to znači da u đubrivu ima 15% N, 15% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i 15 % K<sub>2</sub>O. Naime, prvi broj pokazuje sadržaj azota, drugi fosfora a treći kalijuma u 100 kg đubriva. Ukoliko je na nekom mestu broj 0 to znači da đubrivo ne sadrži hranljivi element koji se u oznaci nalazi na tom mestu.

Industrija mineralnih đubriva u svetu i kod nas proizvodi složena đubriva različitog sastava (razne kombinacije). Koja će se kombinacija primeniti zavisi od osobina zemljišta, potreba biljaka u hranivima i vremena primene. Na primer, ako je zemljište bogato fosforom onda se za ovo zemljište preporučuje đubrivo koje sadrži manje količine fosfora. Pri osnovnoj obradi zemljišta (dubokom oranju) koriste se trojne kombinacije (kombinacije azota, fosfora i kalijuma) koje sadrže malo azota ili dvojne kombinacije bez azota.

Za predsetveno đubrenje koriste se kombinacije koje sadrže više azota pošto njega u to vreme treba unositi u većim količinama. To su složena đubriva sa istom količinom sva tri hranljiva elementa ili sa većim sadržajem azota.

Pri upotrebi složenih NPK đubriva u zemljište se unose sva tri hranljiva elementa što kod pojedinačnih đubriva nije slučaj. Njihovom primenom se postiže ušteda u radnoj snazi, energiji, vremenu i novcu. Drugim rečima, složena đubriva su ekonomičnija za primenu u odnosu na pojedinačna đubriva.

Međutim, treba napomenuti da složena đubriva ako se primenjuju u toku dužeg vremenskog perioda mogu da dovedu do **zakišeljavanja zemljišta** i njegovog **osiromašenja u mikroelementima**.

Razlog za ovo leži u činjenici da ova đubriva ne sadrže kalcijum i da su mikroelementi u njima prisutni u veoma malim količinama. Zbog toga se preporučuje upotreba materijala za kalcifikaciju (jedino u slučaju kiselih zemljišta), stajnjaka i mikrođubriva na zemljištima koja se duže vreme đubre složenim đubrivima.

## 7.4. Mikrobiološka (bakterijalna đubriva)

Ova đubriva predstavljaju preparate zemljišnih mikroorganizama koji svojom životnom aktivnošću doprinose obogaćivanju zemljišta pojedinim hranljivim elementima ili ih prevode u one oblike koji su pristupačni biljkama za ishranu.

U poljoprivrednoj praksi se koriste preparati bakterija koji vrše fiksaciju vazdušnog azota (asimbiotska i simbiotska) i mineralizaciju organskih jedinjenja fosfora u zemljištu.

Poznati su sledeći preparati:

- ❖ Azotobakterin - preparat čiste kulture *Azotobacteria* koji je razmnožen na različitim podlogama: agar-agaru, tresetu ili zemljištu.
- ❖ Nitragin - preparat čiste kulture *Bacterium radicum* (kvržične bakterije) koji vrši simbiotsku fiksaciju azota te se zbog toga koristi samo za leguminozne useve.
- ❖ Fosfobakterin - preparat bakterija koje vrše mineralizaciju organskih jedinjenja fosfora u zemljištu.
- ❖ Silikobakterin - preparat bakterija koje razlažu alumosilikate u zemljištu i na taj način oslobađaju kalijum koji, onda, biljke mogu da koriste za svoju ishranu.

Obzirom na trend u savremenom svetu da se smanji upotreba agrohemijskih (među kojima mineralna đubriva zauzimaju vrlo značajno mesto) mikrobiološka đubriva dobijaju sve više na značaju.

## 7.5. Način i vreme upotrebe đubriva

Način i vreme upotrebe pojedinih vrsta đubriva zavisi od zahteva pojedinih vrsta gajenih biljaka i osobina đubriva.

Đubriva se mogu rasipati ručno ili mašinama za rasipanje đubriva, a na velikim površinama i pomoću aviona. Rasipanje se najčešće vrši po celoj površini parcele pri čemu treba voditi računa da to rasipanje bude ravnomerno i ujednačeno. Đubriva se mogu unositi i u trakama a kod nekih useva, kao što je duvan, i u kućice. Kod voćnih stabala zasađenih na većem razmaku đubrenje se može vršiti i samo u krug oko stabala u opsegu do jedne i pol širine krune.

Vrlo je važno da se đubrivo odmah posle rasipanja obradom unese u zemljište, pri čemu su izuzetak prihrana strnih žita i đubrenje travnjaka, gde đubrivo ostaje na površini zemljišta.

Primena đubriva sa tačke gledišta prostornog rasporeda se obavlja na sledeće načine:

- ravnomerno po čitavoj površini proizvodnih parcela (nezasejanih i pod usevom);
- u redove ili trake, pre obrade ili setve;
- u redove ili trake pored redova zasejanog useva;
- primena na dubinu otvorenih brazda;
- deponovanjem đubriva na većoj dubini bez otvaranja brazda;
- primena tečnih đubriva preko lista (folijarno) i
- primena đubriva u jamiće pre sadnje zasada.

Svaki od ovih načina ima prednosti u određenim uslovima nad drugim načinima primena. Njega u prvom redu uslovljava vreme određene primene i osobina đubriva, a potom stanje plodnosti zemljišta (snabdevenost hranljivim elementima, mehanički sastav i dr.) i zahtevi gajenih biljaka u određenim biljnim hranivima.

Prema vremenu primene razlikuju se: đubrenje u osnovnoj obradi, predsetveno đubrenje i prihranjivanje.

**Đubrenje u osnovnoj obradi zemljišta** se za ozime useve, te većinom i za jare, vrši u jesen, pri čemu se rasuto đubrivo zaorava na punu dubinu oranja. Pri ovom đubrenju u zemljište se unosi najveći deo potrebnog fosfora i kalijuma, dok se azot daje u manjim količinama.

Celokupna količina azota se ne daje u jesen, jer postoji opasnost da se on delom izgubi usled ispiranja u dublje slojeve zemljišta. Stoga se obrok azota deli i daje pored đubrenja u

osnovnoj obradi i u predsetvenom đubrenju kao i u toku prihranjivanja. Za đubrenje u osnovnoj obradi zemljišta koriste se đubriva koja sadrže više fosfora i kalijuma u odnosu na azot.

Oranjem se đubrivo unese u dublje slojeve zemljišta i na taj način su biljke tokom cele vegetacije obezbeđene potrebnim biljnim hranivima. Time se, ujedno, biljke podstiču na razvitak korena u dubljem sloju zemljišta u kojemu gotovo uvek ima vlage, pa su tako one otpornije na sušu.

**Predsetveno đubrenje** se vrši zajedno sa predsetvenom pripremom zemljišta, pri čemu se đubrivo posle rasipanja unosi u plići sloj zemljišta tanjuračama, kultivatorima ili sjetvospremačima.

Zadatak predsetvenog đubrenja je da biljke u ranom dobu svog razvića imaju dovoljno pristupačnih biljnih hraniva. Za ovu svrhu koriste se đubriva sa približno jednakim udelom azota, fosfora i kalijuma. Predsetveno đubrenje kod prolećnih useva izvodi se u proleće, a kod ozimih u jesen.

Poseban oblik predsetvenog đubrenja je **startno đubrenje** kod koga se đubriva unose u zemljište istovremeno sa setvom sejačicama sa deponatorom đubriva. Mašina polaže đubrivo u zemljište u traku odvojenu nekoliko centimetara sa strane i nešto dublje od trake u koju se polaže seme.

**Prihranjivanje** se vrši rasipanjem đubriva u toku rastenja i razvića biljaka. Ono se vrši u određenim kritičnim fazama razvoja, kada biljkama treba osigurati veće količine pristupačnih biljnih hraniva, prvenstveno azota, za njihov dalji intenzivan razvoj. Zato se prihranjivanje prvenstveno obavlja azotnim đubrivima, a nekada i đubrivima koja pored azota sadrže i manje količine fosfora i kalijuma.

Primenom sporo delujućeg azotnog đubriva uree u predsetvenom đubrenju kod jarih useva, uglavnom okopavina, može se izostaviti prihranjivanje.

Poseban način đubrenja predstavlja đubrenje preko lista. Ono se izvodi tako što se đubriva rastvore u vodi pa se sa ovakvim rastvorom prska lišće. Ovaj način đubrenja se najčešće kombinuje sa pojedinim sredstvima za zaštitu bilja (pesticidima), te se istovremeno obavlja zaštita i đubrenje.

Inače, đubrenje se može izvoditi i u kombinaciji sa navodnjavanjem što se zove **fertirigacija** (slika).



Slika 7.3. Fertigacija

Ovakvim načinom primene đubriva postiže se sledeće:

- ušteda u radnoj snazi jer se jednovremeno izvode dve operacije;
- mogućnost blagovremenog dodavanja đubriva i njihovo bolje iskorišćavanje;
- upotreba đubriva u kasnijim fazama vegetacije bez oštećenja biljaka.

## Rezime

U okviru ovog poglavlja sagledali smo značaj đubrenja u savremenoj poljoprivrednoj proizvodnji.

Osnovna podela đubriva je na organska i mineralna. Organska đubriva sadrže hranljive elemente u obliku organskih jedinjenja. Mineralna đubriva sadrže hranljive elemente u obliku neorganskih jedinjenja.

U organska đubriva spadaju: stajsko đubrivo, kompost, zeleno đubrivo, kanalizacioni mulj, gradsko smeće, guano. Mineralna đubriva mogu biti jedinačna ili jednostruka i višestruka đubriva. Jedinačna ili jednostruka đubriva su: azotna, fosforna, kalijumova, magnezijumova, kalcijumova itd. Višestruka đubriva se dele prema svojoj hemijskoj građi na mešana i složena.

Mikrobiološka đubriva predstavljaju preparate zemljišnih mikroorganizama koji svojom životnom aktivnošću doprinose obogaćivanju zemljišta pojedinim hranljivim elementima ili ih prevode u one oblike koji su pristupačni biljkama za ishranu.

Način i vreme upotrebe pojedinih vrsta đubriva zavisi od zahteva pojedinih vrsta gajenih biljaka i osobina đubriva.

Vrlo je važno da se đubrivo odmah posle rasipanja obradom unese u zemljište, pri čemu su izuzetak prihrana strnih žita i đubrenje travnjaka, gde đubrivo ostaje na površini zemljišta.

Prema vremenu primene razlikuju se: đubrenje u osnovnoj obradi, predsetveno đubrenje i prihranjivanje.

## Pitanja

1. Đubriva i njihova podela
2. Stajsko đubrivo
3. Zeleno đubrivo i osoka
4. Nitratna đubriva
5. Amonijačna đubriva
6. Amonijačno-nitratna đubriva
7. Amidna đubriva
8. Superfosfat
9. Tomasovo brašno i sirovi fosfati
10. Precipitat i amonijum-fosfati
11. Kalijumova đubriva – sirove kalijumove soli
12. Kalijumova đubriva – koncentrovane kalijumove soli
13. Mikrođubriva
14. Mešana đubriva
15. Složena đubriva
16. Mikrobiološka đubriva
17. Način i vreme upotrebe đubriva

## Literatura

1. Ubavić, M.; Bogdanović, D. (1995) Agrohemija. Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
2. Ubavić, M.; Bogdanović, D. (1995) Praktikum iz agrohemije. Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
3. KOLAY, A. K. Manures and fertilizers. Atlantic Publishers & Dist, 2007.

## 8. EKOLOGIJA

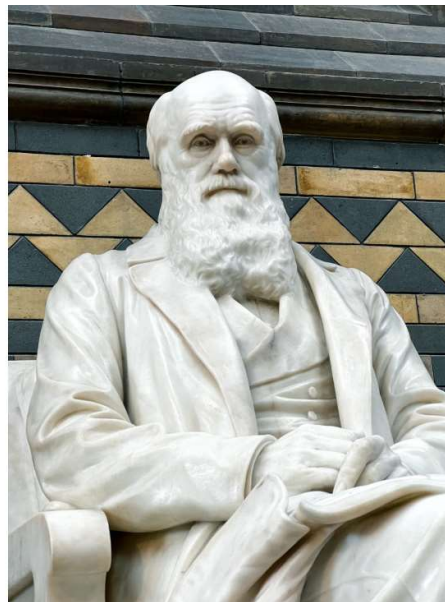


Cilj ovog poglavlja je upoznavanje sa ekosistemom kao dinamičkim složenim sistemom, kao i sa negativnim promenama koje nastaju kao rezultat remećenja prirodne ravnoteže unutar ekosistema.



Ekologija je nauka o životnoj sredini, odnosno predstavlja naučnu disciplinu koja proučava žive organizme i biološke interakcije između organizama i njihovog okruženja (životne sredine). Životna sredina je skup prirodnih i stvorenih vrednosti čiji složeni međusobni odnosi čine okruženje, odnosno prostor i uslove za život.

*"Ne opstaju najjači  
pripadnici jedne vrste,  
niti najinteligentniji,  
nego oni koji se najbolje  
prilagođavaju  
promenama."*



Slika 8.1. Čarls Darvin (1809-1882)

Pojam ekologija potiče od grčke reči (grč. *oikos* - dom, prebivalište, *logos* – nauka), ovaj pojam je uveo Charles Darwin 1856. u svojoj knjizi "Poreklo vrsta".

Najpoznatija definicija ekologije ističe da ekologija proučava odnose organizama ili grupe organizama i okoline /žive i nežive/.

## **8.1. Ekosistem**

Ekosistem predstavlja deo biosfere i čini ekološku celinu. Na primer, svaka reka ili jezero predstavlja jedan ekosistem. Svaki ekosistem uključuje: neživu materiju, organizme proizvođače, potrošače i razlagače organske materije. Ekosistem je veoma složen i dinamičan sistem. Promena u bilo kom njegovom delu utiče neminovno na ekosistem u celini i obrnuto promene u ekosistemu odražavaju se na sve njegove pojedinačne delove. U njemu su neživi i živi sastojci međusobno uslovljeni i vezani složenim uzajamnim odnosima.

Osnovna karakteristika ekosistema je prenos energije i materije. U njemu su prisutni mehanizmi za kontrolu broja i vrsta organizama koji ulaze u njegov sastav. Za održavanje

ekosistema od izuzetnog je značaja da je u njemu prisutno stalno kruženje materije. To znači da ona iz zemljišta prelazi u biljke, iz njih u biljojede, zatim u mesoždere i da se na kraju ciklusa stvorena materija vraća u zemljište gde je razalažu mikroorganizmi.

Ekosistemi nisu odvojeni jedni od drugih. Oni se međusobno vezuju uzajamnim odnosima i grupišu se u veće celine. Veće celine različitih ekosistema označene su kao biomi. Biomima se mogu smatrati stepa, tajga, tundra, listopadna šuma i dr.

**Stepe** su veoma plodne oblasti obrasle niskom travom, raspostranjene u oblastima niže nadmorske visine. Najveće steppe se nalaze u Rusiji, od Valajskog pobrđa do Crnog mora.

**Tajga** ili *borealna četinarska šuma* predstavlja biom koji se prostire u vidu pojasa na severnoj Zemljinoj polulopti, u hladnim (subpolarnim) klimatskim uslovima.

**Tundre** predstavljaju biom koji se prostire u predelima gde je rast drveća onemogućen nižim temperaturama i kratkom vegetacijskom sezonom. Ime potiče od laponske reči „tūndâr”, koja označava „ledinu bez drveća”. Postoje dva tipa tundre: arktička i alpijska.

Ekosistemi i biomi čine biocikluse. Na Zemljinoj površini mogu se razlikovati tri biociklusa: kopno, slana voda (okeani i mora) i slatka voda (jezera, reke, bare). Svi oni zajedno (jedinstvo nežive i žive materije na našoj planeti) čine vrhunski ekosistem koji se zove biosfera.

Biosfera predstavlja celokupan prostor na Zemlji naseljen živim bićima koji se prostire nekoliko kilometara u atmosferi do okeanskih dubina.

## 8.2. Negativne promene u ekosistemu

Stabilnost ekosistema obezbeđuje dinamična ravnoteža između činilaca spoljašnje sredine i biocenoze (zajednice živih bića). Ako se prirodna ravnoteža poremeti dolazi do degradacije ekosistema, tj. nastaju degradirani ekosistemi.

Čovek svesno ili nesvesno na razne načine utiče na ekosisteme. Tako on uništava steppe, džungle i savane u cilju dobijanja novih obradivih površina. Zagađivanjem sredine on u velikoj meri doprinosi iščezavanju retkih vrsta, ograničavanju aerala jednih i proširenju aerala drugih vrsta. Ispuštanjem zagađujućih materija u životnu sredinu čovek je doveo do toga da u pojedinim regionima propadaju šume, zemljišta postaju neupotrebljiva za biljnu proizvodnju, reke i jezera ostaju bez života.

Iako je iščezavanje, odnosno izumiranje organskih vrsta prirodan proces, čovek danas postaje glavni uzročnik njihovog iščezavanja.

Drugi oblici negativnog čovekovog delovanja se na neki način i mogu prevazići, ali iščezla, odnosno izumrla organska vrsta odlazi zauvek, nepovratno sa naše planete.

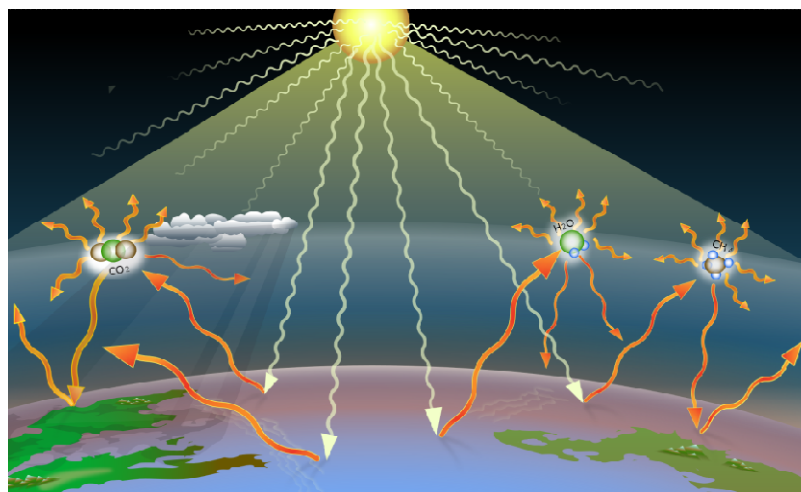
Negativne promene u ekosistemima su uglavnom prouzrokovane globalnim otopljenjem (efektom staklene bašte), oštećenjem ozonskog omotača, kiselim kišama i zagađivanjem od strane industrije i energetske postrojenja (pretežno termoelektrane).

### 8.2.1. Efekat staklene bašte i globalno zagrevanje

Život na planeti Zemlji je moguć zbog postojanja prirodnog efekta staklene bašte. Prirodna pojava gasova sa efektom staklene bašte dozvoljava Sunčevoj energiji da prodre do Zemlje i da padne na nju kao svetlost, ali se potom zadržava u atmosferi kao infracrvena toplota. Ovaj fenomen održava planetu dovoljno zagrejanom, što osigurava normalno odvijanje fizioloških funkcija svih živih organizama.

Odsustvo gasova staklene bašte bi snizilo temperaturu naše planete za otprilike 33 0C pretvarajući Zemlju u još jednu beživotnu planetu našeg Sunčevog sistema. Efekat staklene bašte, koji je milionima godina bio blagoslov za Zemlju, izgleda da se tokom poslednjeg veka pretvara u ozbiljnu pretnju, izazvanu ljudskim aktivnostima, koje znatno menjaju hemijski sastav atmosfere.

Ova promena hemijskog sastava atmosfere dovela je do toga da, umesto da propušta toplotu odbijenu sa površine, atmosfera počne da zadržava odbijenu toplotu. Na ovaj način se cela atmosfera sve više zagreva.



Slika 8.2. Efekat staklene bašte

Izvor: By A loose necktie - Own work, CC BY-SA 4.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=80356809>

Mnogi naučnici su zabrinuti i smatraju da efekat staklene bašte može dovesti do globalnog zagrevanja koje bi imalo katastrofalne posledice na život na planeti. Analize su pokazale da je od 1800 godine prosečna temperatura porasla za 0,7 °C. Sa povećanjem temperature tropske oblasti bi počele da se šire od ekvatora. Klima bi se totalno promenila, sa promenom klime sledila bi promena flore i faune svih krajeva na planeti. Došlo bi do velikih poremećaja u lancima ishrane. Hrane bi bilo sve manje, ali zato vode sve više. Led u polarnim oblastima bi počeo da se topi, a bilo bi i mnogo više padavina. Topljenje lednika bi dovelo do podizanja nivoa svetskog mora i to možda čak i za nekoliko metara, a to ne znači da bi se samo morske obale podigle, već bi porasle i reke i jezera. Ovo bi dovelo do plavljenja područja na kojima živi oko jedna trećina ukupnog stanovništva.

Najnoviji podaci, na globalnom nivou, ukazuju da je emisija CO<sub>2</sub> 414 ppm, da je porast prosečne temperature 0,99 °C i arktički led smanjuje se za 12,85% svake decenije. Takođe, podaci ukazuju da se godišnje nivo mora podigne za 3,3 mm.

Smatra se da najviše posledica na globalno zagrevanje imaju:

1) Ugljendioksid (CO<sub>2</sub>)

– smatra se da ovaj gas učestvuje sa oko 50 – 55% u globalnom zagrevanju. Osnovni razlog povećanja koncentracije ovog gasa u atmosferi je sve veće korišćenje fosilnih goriva (ugalj, nafta, gas) i seča šuma.

2) Hlorofluorokarbonati (CFC)

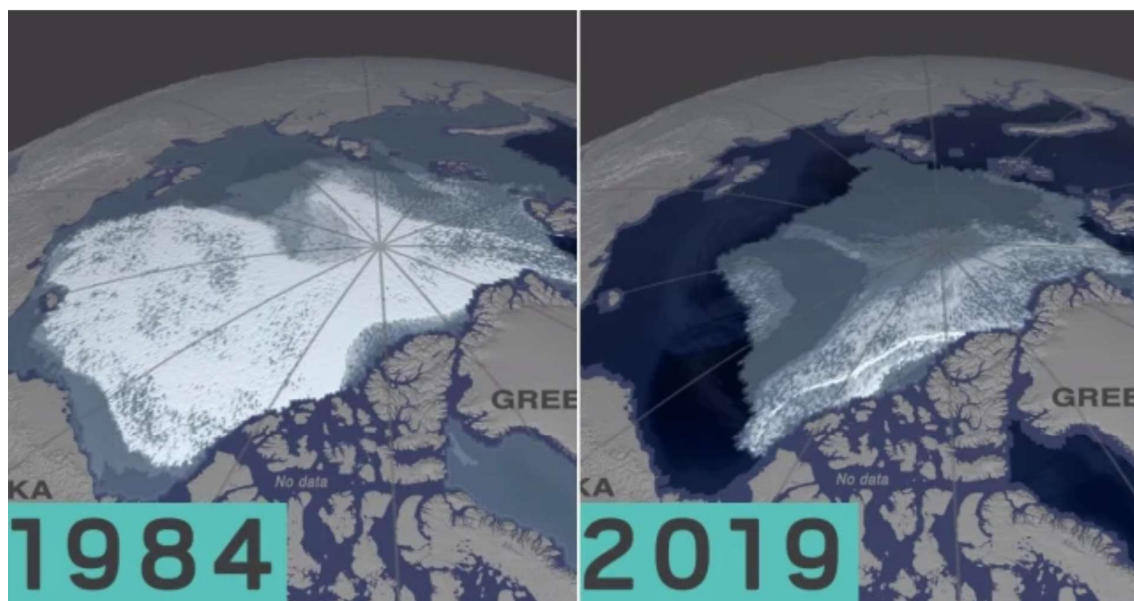
– učestvuju sa oko 25% u globalnom zagrevanju. CFC jedinjenja se koriste za pravljenje plastičnih masa i u rashladnim uređajima.

3) Metan (CH<sub>4</sub>)

– oko 12% učešća, nastaje raspadanjem organskih jedinjenja, ali najveća količina metana u atmosferi potiče iz industrijskih postrojenja

4) Azot (I) oksid (N<sub>2</sub>O)

– učestvuje sa 6% u globalnom zagrevanju. Najvećim delom se oslobađa u industriji, ali velike količine ovog gasa se oslobode i u vulkanskim erupcijama.



Slika 8.3. Topljenje glečera, Arktik

Izvor <https://metro.co.uk/2019/11/13/thickest-sea-ice-arctic-ocean-lost-95-mass-35-years-11089045/>

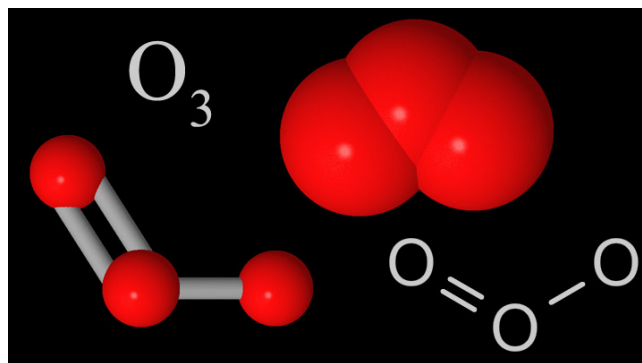
## 8.2.2. Oštećenje ozonskog omotača

Atmosfera, gasoviti omotač Zemlje, posmatrano prema fizičkim osobinama nije homogena u horizontalnom i vertikalnom pravcu. Od posmatranih fizičkih osobina najizraženija je promena temperature vazduha sa visinom, pa prema tome, u vertikalnom pravcu možemo je podeliti u više slojeva. Podela prema termičkoj stratifikaciji je na pet slojeva: troposferu, stratosferu, mezosferu, termosferu i egzosferu.

**Troposfera** doseže do 18 km, najgušći sloj atmosfere u kojem se nalazi osnovna masa vazduha. **Stratosfera** se prostire do visine oko 55 km, temperatura u okviru ovog sloja atmosfere raste sa porastom visine. Dok u **mezosferi** temperatura opada sa porastom visine, gornja granica mezosfere je na 85 km. Nakon mezosfere sve do visine od 800 km nalazi se sloj termosfere, gde temperatura vazduha ponovo raste sa visinom, i to do veoma visokih vrednosti (2000 °C). **Egzosfera** je poslednji sloj atmosfere i najmanje proučavani.

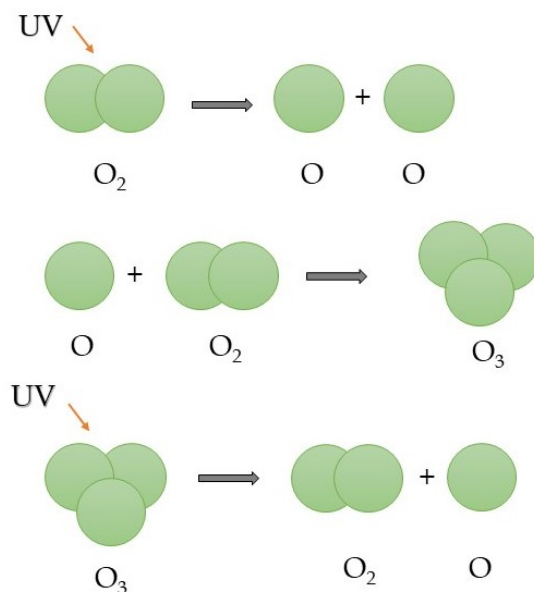
Ozon je gas bledoplave boje čiji se molekul sastoji od tri atoma kiseonika. Otkrio ga je nemački naucnik Christian Fridrich Schönbein 1840. godine. Ozon je sastavni deo zemljine atmosfere. Iako ga u atmosferi ima tek 0,001%, od izuzetnog je značaja za zemlju i celokupni

život na njoj. Naučnici su utvrdili da se oko 90% ozona nalazi u višim slojevima atmosfere, u stratosferi, između 12 i 50 kilometara visine. Ostatak ozona, oko 10% nalazi se u nižim slojevima atmosfere, troposferi. Troposferski ozon je štetan ozon.



Slika 8.4. Molekul ozona

Za razliku od troposferskog ozona, stratosferski ozon ima sasvim drugačiju ulogu. Kako je molekul ozona vrlo reaktivan i nestabilan, energijom vrlo jako sunčevo ultraljubičasto zračenje u višim slojevima atmosfere razara molekule ozona i isto tako stvara nove. Koncentracija ozona u atmosferi stoga ovisi o toj vrlo osjetljivoj ravnoteži i dinamičkom procesu stvaranja i razaranja ozona. Iako je ozon u atmosferi redak gas, tek tri molekula na svakih deset milijuna molekula vazduha, najveću koncentraciju ima u stratosferi između 20 do 25 kilometara visine. Taj sloj ozona naučnici su nazvali "ozonskim omotačem".



Slika 8.5. Reakcije ozona u stratosferi

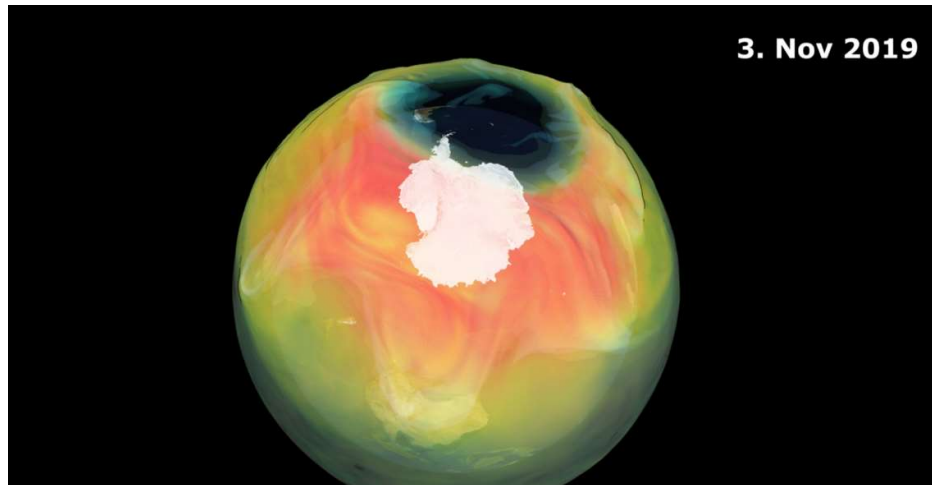
Dokazano je da je ozonski omotač od izuzetnog značaja, jer apsorbuje ultraljubičasto zračenje sa Sunca. Time omotač štiti zemljinu površinu i celokupan život na njoj. Ultraljubičasto zračenje ima talasne dužine nešto kraće od vidljivog dela svetlosnog spektra. Tako ozonski omotač predstavlja prirodni štit za život na Zemlji, i o njegovoj koncentraciji, tj. količini u stratosferi zavisi i količina štetnog UV zračenja koje će dospeti do površine Zemlje. Dokazano je da pojačano UV-B zračenje dovodi do pojava malignih i benignih oboljenja kože, katarakta očiju, znatnog smanjenja poljoprivrednih prinosa, oštećenja materijalnih dobara ljudi, kao i narušavanja zdravlja živog sveta u celini.

Naucnici su utvrdili da su freoni (hlor-fluor-karboni) najodgovorniji za oštećenje ozonskog omotača. Oni su se dugo vremena koristili kao sredstva za hlađenje u rashladnim uređajima i u raznim sprejevima. Pored freona i azot suboksid doprinosi razlaganju ozonskog omotaca u atmosferi. Smanjenje ozonskog sloja je utvrđeno 1974. godine. Ozonska rupa se prvi put pojavila iznad Antarktika, a kasnije i nad Arktikom. Oštećeni ozonski omotač propušta do tla više ultraljubičastog zračenja što dovodi do velikih oštećenja (rak kože kod ljudi, oštećenje bjelančevina i DNA u ćelijama kod ljudi, biljaka i životinja).

Hlorofluorouglenjaci (CFC), su inertni molekuli koji se ne mogu razgraditi u troposferi. Njihovo vreme "života" u atmosferi prelazi 100 godina tako da imaju sasvim dovoljno vremena da polako difunduju iz troposfere u stratosferu. U stratosferi su CFC izloženi snažnoj solarnoj radijaciji /pre svega UV zračenju/ koja zbog ozonskog sloja ne može da prođe do površine Zemlje. Posledica ovih reakcija je značajan poremećaj ravnoteže koja je vekovima vladala u stratosferi između  $O_2$  i  $O_3$ , stvara se  $O_2$  i smanjuje se količina  $O_3$ .

Međunarodna konvencija o stratosfernom ozonu, zvana Montrealski protokol zabranila je proizvodnju i upotrebu hemikalija koje utiču sa smanjenje ozonskog sloja, ovaj međunarodni sporazum stupio je na snagu 1987. godine.

Obzirom da su CFC inertni molekuli i da stoga imaju dug životni vek u atmosferi, potpuni oporavak ozonskog omotača traje više decenija. Najnovije prognoze ukazuju da će omotač iznad severne hemisfere doći u stanje iz osadesetih godina prošlog veka do 2030. godine, dok će omotač iznad južne hemisfere imati znatno duži oporavak, do 2050. godine.



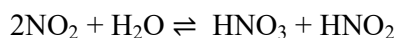
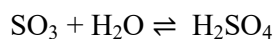
Slika 8.6. Ozonska rupa iznad severne hemisfere

Izvor: [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Ozone\\_hole\\_set\\_to\\_close](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Ozone_hole_set_to_close)

### 8.2.3. Kisele kiše

Nezagađena kiša je po prirodi kisela jer atmosfera sadrži u sebi kiseli oksid ugljen-dioksid ( $\text{CO}_2$ ) koji se rastvara u vodi (kapima kiše) i daje kao proizvod ugljenu kiselinu što ima za posledicu da je kiselost (pH) kišnice oko 5,6. Ova vrednost je granična vrednost, sve što je kiseliše od ove vrednosti ( $\text{pH} > 5,6$ ) smatra se kiselom kišom.

Kisele kiše nastaju sjedinjavanjem oksida sumpora i azota sa vodenom parom u atmosferi uz stvaranje sumporne i azotne kiseline.

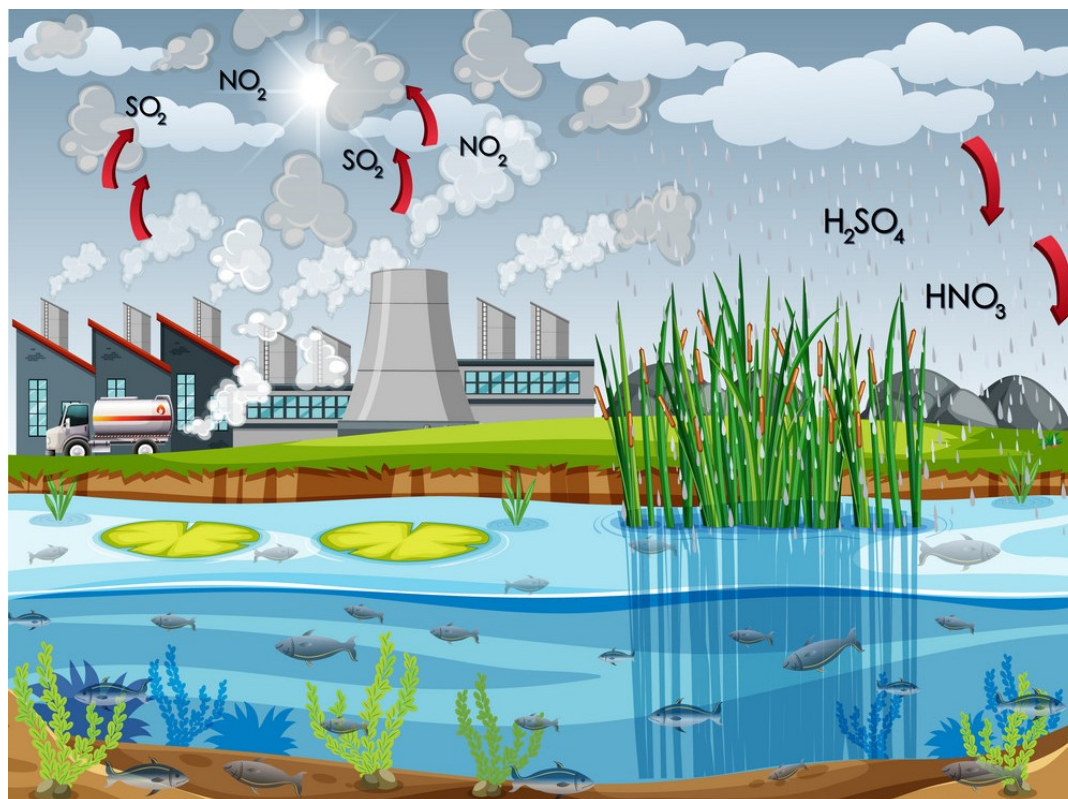


Sastojci koji se mogu naći u atmosferi, a koji su konstituenti kiselog taloga mogu biti:

1. Prirodnog porekla
2. Antropogenog porekla (industrija, saobraćaj, domaćinstva. i.dr.).

Na globalnom planu prirodni izvori doprinose sa nekih 60%, dok antropogeni izvori doprinose sa oko 40%. Prirodni izvori sumpornih jedinjenja obuhvataju:  $\text{SO}_2$  iz vulkanskih grotla, morsku penu i kapljice koji sadrže sulfate ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), zatim sumpor-vodonik ( $\text{H}_2\text{S}$ ) poreklom od vulkanskih erupcija i sličnih aktivnosti zemljine kore i konačno biogeni sumpor koji nastaje u biodegradacijom organske supstance potpomognut bakterijama. Najveći antropogeni izvori su sagorevanje fosilnih goriva (uglja, nafte i prirodnog gasa) i iz industrijskih procesa, pre svega iz bazne proizvodnje metala.





Slika 8.7. Nastajanje kiselih kiša

Izvor: <https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector/acid-rain-pathway-diagram-with-water-and-factory-vector-26966303>

Kada se zagađenje kombinuje sa čistom kišnicom pH kiše se ponekad drastično menja. Na primer, merenja kiselosti kišnice u Severnoj Americi dostizala su vrednosti od pH 3, a najniža vrednost za pH kišnice u SAD ikada izmerena je bila 2,1 i to severnim delovima SAD 1964. godine. U Evropi najniža vrednost ikada izmerena bila pH 2,4 u Škotskoj 1974. godine. U Srbiji u Boru kiselost kiše takođe dostiže veoma male pH vrednosti između 2 i 3.

Ponekad se priroda može prilagoditi kiselom atmosferskom talogu (kiselim kišama), na primer, u područjima gde je sadržaj krečnjaka  $/(Ca,Mg)CO_3$  ili  $CaCO_3/$  u zemljištu relativno visok. Kisele kiše u interakciji sa krečnjacima se lako i brzo neutrališu. Sumporna kiselina sa kalcijum-karbonatom stvara so kalcijuma i sulfatnog anjona. Međutim, priroda često nije takvih kapaciteta da se odupre promenama usled dejstva kiselih kiša.

Kisele kiše ugrožavaju životnu sredinu, kako akvatičnu tako i terestričnu, oštećuju građevine i istorijske spomenike građene materijalom sa većim sadržajem karbonata, utiču na hemijske osobine i na plodnost zemljišta, oštećuju čelične konstrukcije, vodovode, zagađuju

površinske vode i preteći deluju na zdravlje ljudi. Danas se štetno dejstvo kiselih kiša vezuje pretežno za degradaciju i propadanje šuma.

Trivijalni naziv „kisele kiše” sve više se zamenjuje mnogo pravilnijim nazivom „atmosferski talog”, jer obuhvata celokupnu precipitaciju koja zahvata gasove, čestice kao i tečnu fazu.

### **Uticao kiselih kiša na zemljište**

Uticao kiselih kiša na sadržaj kalcijuma i magnezijuma u zemljištu vrlo je indikativan, nastajanje sulfata magnezijuma koji je rastvoran i sulfata kalcijuma (gipsa) koji je slabo rastvoran ima za posledicu da se s vremenom ovi katjoni ispiraju iz zemljišta i ostavljaju za sobom narušenu ravnotežu katjona u zemljištu. Naročito je opasan nedostatak kalcijuma jer u nedostatku kalcijuma biljke resorbuju aluminijum, a to je poguban proces za biljke.

Kisele kiše povećavaju mobilnost teških metala kao što su Mn, Zn, Pb, Cd, Ni i Cr i time doprinose njihovom intenzivnijem usvajanju od strane biljaka. Pristupačnost aluminijuma je takođe povećana u uslovima smanjene pH vrednosti zemljišta.

Kisele kiše mogu da utiču posredno ili neposredno i na mikrobiološku aktivnost u zemljištu i na taj način na mineralizaciju organskog azota, fosfora, sumpora, fiksaciju azota i nitrifikaciju, procese koji su izuzetno značajni za obezbeđivanje biljaka neophodnim mineralnim materijama. Mehanizam posrednog dejstva kiselih kiša uključuje promene u pristupačnosti organske materije, mobilizaciju toksičnih metala i modifikaciju interakcije biljaka i mikroorganizama. Neposredno dejstvo se ogleda u zakišeljavanju zemljišnog rastvora i reakciju mikroorganizama na anjonski sastav ( $\text{NO}_3^-$  i  $\text{SO}_4^{2-}$ ) kisele kiše. Negativan uticao kiselih kiša na mikrobiološku aktivnost zemljišta je naročito izražen u slučajevima kada one imaju vrlo niske pH vrednosti.

### **Efekat kiselih kiša na biljke**

Direktan uticao kiselih kiša na biljke ispoljava se na listu, dolazi do ispiranja površine lišća ili iglica, skida se zaštitni vosak i biljka postaje znatno osetljivija na klimatske uslove, insekte i bolesti.

Takođe, proces fotosinteze je narušen pa se ne proizvodi dovoljno hrane neophodne za rast i razvoj. Na površini se javljaju braon fleke, a na kraju list može da izgubi boju u potpunosti i da otpadne. Pod istim takvim uticajem je i kora drveća.



Slika 8.8. Efekat kiselih kiša na lisnu površinu

Izvor: <https://sites.google.com/a/owu.edu/effects-of-acid-precipitation-on-fish-and-fish-eggs/what-organisms-are-affected-by-acid-precipitation>

Kisele kiše narušavaju ravnotežu katjona u zemljištu, koji su neophodni za rast i razvoj biljaka. Naročito je opasan nedostatak kalcijuma jer u nedostatku kalcijuma biljke resorbuju aluminijum, a to je poguban proces za biljke.

I useve pogađaju kisele kiše na isti način. Dodatkom đubriva može da se nadoknadi gubitak važnih katjona, a dodaje se i krečnjak koji će povećati puferski kapacitet tla, tj. sposobnost zemljišta da se odupre promeni pH.



Slika 8.9. Efekat kiselih kiša na planinske šume

Šume na visokim planinskim regionima su više ugrožene nego ostale, jer mogu da budu okružene kiselim oblacima i kiselom maglom koji su kiseliji od kiša (slika 8.9).

### **Uticaj kiselih kiša na površinske vode**

Kisele kiše predstavljaju ozbiljan ekološki problem u mnogim krajevima Severne Amerike i Evrope. Na nekim lokacijama u istočnom delu SAD i u Zapadnoj Evropi pH vrednosti kiselih kiša su bile između 2 i 3.

Kisele kiše doprinose smanjenju pH vrednosti površinskih voda, što može biti pogubno za vodene organizme, a naročito za ribe. Tako je u Kanadskoj provinciji Ontario od kiselih kiša, donetih sa teritorije SAD, 148 jezera ostalo bez života.

Inače, do osetnijeg zakišeljavanja površinskih voda dolazi u onim oblastima u kojima vode i okolno zemljište imaju mali puferski kapacitet i uglavnom su bez krečnjaka. U tim oblastima i umerena količina kiselih padavina ima znatan ekološki uticaj. Poznato je da kisele kiše, snižavajući pH vrednost površinskih voda, doprinose povećanju mobilnosti aluminijuma, za koji se pokazalo da je veoma toksičan za ribe.

Mobilizacija aluminijuma iz zemljišta u kiseloj sredini ima za posledicu transport aluminijuma u vodene tokove u kojima aluminijum neretko prouzrokuje mukozno oboljenje ribljih škrga što ima fatalne posledice. Pored aluminijuma, u vodene tokove dospevaju i ostali toksični metali oslobođeni iz zemljišta (olovo, živa, kadmijum i drugi).

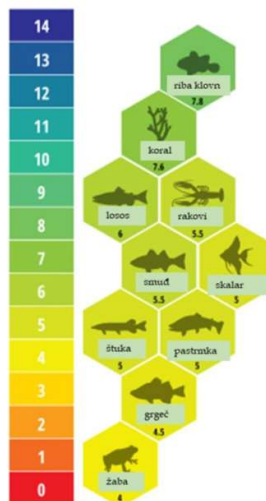
Sumporna kiselina narušava sposobnost riba da uzimaju kiseonik, so i ostale neophodne nutrienete. Može da remeti i osmoregulaciju koja je neophodna za ravnotežu između soli i minerala u tkivu. Nivo kalcijuma ne može da se održava pri malim pH, što dovodi do deformiteta kostiju.

Postoji više načina na koje kisele kiše mogu da dođu u kontakt sa površinskim vodama. Neke supstance mogu da se apsorbuju u vidu suvih čestica iz atmosfere, neke mogu direktno u vidu precipitacije, a dolazi i do ispiranja iz zemljišta.

Najopasniji način je tzv. kiselí šok, u proleće sneg počinje da se topi i velike količine kiselina se oslobađaju za kratko vreme. Proleće je osetljivo doba za mnoge vrste jer je vreme reprodukcije.

Nagla promena pH vrednosti je izuzetno opasna jer može da izazove deformitete kod mladih, ako dođe u kontakt sa ikrom može da uništi i čitavu generaciju. Sve biljke i životinje jednog ekosistema su u tesnoj vezi, naročito lancem ishrane.

Ako kisele kiše prouzrokuju gubitak ili smanjenost populacije neke vrste onda druge vrste koje zavise od njih mogu takođe biti na udaru. Kada pH dostigne 5,5 planktoni i određeni insekti počinju da umiru, kada pH dostigne oko 5 ribe takođe počinju da umiru.



Slika 8.10. Minimalne vrednosti pH za pojedine vrste

Žabe mogu da tolerišu veće promene pH vrednosti, čak i do pH 4, ali ako kisele kiše dovedu do smanjenja populacije insekata kojima se žaba hrani, efekat će se odraziti i na njih.

## **Efekat kiselih kiša na građevine**

Konačno i građevine koje je čovek sagradio stradaju od kiselih kiša jer kiseline iz padavina napadaju kamen, beton ili metal što ima za posledicu njihovu koroziju, degradaciju i razaranje.



Slika 8.11. Efekat kiselih kiša na spomenike

Izvor: <https://www.britannica.com/story/what-happened-to-acid-rain>

Ovaj proces se dešava na površini građevina ili spomenika, iako može da lako uništi reljefne detalje umetničkog rada /na primer lice statue/ ona ne utiče na celokupnu građu statue ili neke druge građevine. Stepenn oštećenja ne zavisi samo od kiselosti već i od količine padavina nekog regiona.

## **Dejstvo kiselih kiša na zdravlje ljudi**

Kisele kiše imaju štetne posledice i po zdravlje ljudi. Mogu da utiču na nas iz atmosfere i iz zemljišta jer na njemu uzgajamo biljke koje koristimo u ishrani. Toksični metali koji se oslobađaju zbog kiselih kiša dospevaju u vodu koju koristimo za piće, u biljke ili životinje koje konzumiramo.

Toksični metali mogu da izazovu oštećenje nervnog sistema, ozbiljno oštećenje mozga ili čak smrt, deca su naročito osetljiva. Naučnici veruju da aluminijum može da izazove Alchajmerovu bolest.

Sumpor-dioksid i azotovi oksidi prouzrokuju respiratorne probleme kao što su : suvi kašalj, astma, glavobolje i iritacije očiju, nosa i grla. U osetljivu grupu ljudi spadaju oni koji boluju od astme ili imaju problema sa disanjem, ali i zdravim ljudima mogu da se oštete pluća kiselim zagađivačima iz vazduha i da se disanje znatno oteža.

#### 8.2.4. Uticaj industrije i energetske postrojenja na životnu sredinu

Smatra se da su tri civilizacijske epohe izazvale najznačajnije promene u životnoj sredini. Prvo, poljoprivredna revolucija koja je trajala sve do početka XVII veka, zatim industrijska revolucija koja je trajala do oko 1985. godine i na kraju tehnološka revolucija čiji smo svedoci. Svaka od ovih epoha predstavlja značajno razdoblje u razvoju ljudskog društva.

Da bi zadovoljio svoje materijalne, kulturne i druge potrebe čovek danas koristi ogromne količine energije i materijala. Međutim, to ima i svoju negativnu stranu a ona se ogleda u degradaciji životne sredine. Usled nekontrolisanog ispuštanja raznih štetnih i opasnih materija ugroženi su svi delovi životne sredine (voda, zemljište, vazduh i živi svet). Smatra se da su fosilna goriva za dobijanje toplotne i električne energije kao i pogonske u saobraćaju glavni uzročnici zagađenja životne sredine.

U narednom periodu čovek mora da prilagodi svoje ponašanje prirodi. Zato se nameće potreba za reciklažom, obnavljanjem i štednjom materijala, održavanjem prirodnih resursa, kontrolom tehnologija i prirodnih uslova, štednjom i iznalaženjem novih izvora energije i za promenama u sociosferi (društveni svet) i infosferi (informacije, znanja i poruke). To je naša glavna obaveza prema budućim generacijama.

Otpad koji nastaje u industrijskim procesima može se podeliti na:

- otpadne vode
- otpadni gas
- tečni i čvrsti ostatak

Kvalitativno gledano najveći deo otpadne vode u industrijskim procesima ne potiče iz samih procesa. Mada jedan deo vode može nastati direktno u reakciji -kondenzat ili reakciona voda-, znatno je veći udeo vode koja ostaje kao otpad nakon fizičko hemijske obrade reakcione smeše.

## Uticaj na vode

Glavni izvor dotoka opasnih i štetnih materija u prirodne vode su industrijske otpadne vode. Sastav i količina industrijskih otpadnih voda zavisi od velikog broja činilaca i karakteristični su za svaku granu, a najčešće i za svaku industriju.

Najveće količine otpadnih voda dospevaju iz sledećih grana industrije: hemijske, metaloprerađivačke, prehrambene, tekstilne, papirne, kožarske, kao i od energetskih i termoenergetskih objekata. Naročito su toksične otpadne vode iz bazne hemijske i petrohemijske industrije. U njima se nalazi na hiljade raznih hemijskih supstanci od kojih su mnoge veoma toksične za biocenu (životnu zajednicu) vodenih staništa. Prema vrsti zagađenja industrijske otpadne vode mogu se podeliti na otpadne vode koje pretežno sadrže neorganske ili organske materije biološki teže ili lakše razgradljive.

U industrijske otpadne vode spadaju procesne, rashladne, sanitarne i otpadne vode od čišćenja objekata i opreme industrije. Voda koja se koristi za hlađenje je od svih navedenih voda najmanje zagađena. Procesna voda je, s druge strane, mnogo više zagađena, pa se zato mora prečišćavati. Međutim, bez obzira na ulaganje ogromnih sredstava u uređaje za prečišćavanje, otpadne vode mnogih industrija sadrže izvesnu količinu teških metala, deterdženata, proizvoda na bazi prerade nafte i drugih štetnih sastojaka.

U petrohemijskoj industriji, otpadne vode sadrže suspendovane i rastvorene čvrste materije, ulja, voskove, sulfide, hloride, fenole, a mogu biti kisele ili alkalne. Za hemijsku industriju je karakteristično da su otpadne vode veoma često kisele zbog velike upotrebe kiselina. Otpadne vode ove industrije mogu u svom sastavu imati razne materije u zavisnosti od procesa proizvodnje kao što su: teški metali, fosfor, fluor, silicijum, ogromne količine suspendovanih čvrstih materija i mnogo drugih materija.

Soli sumporne i azotne kiseline (sulfati i nitrati) ukazuju na zagađenje vode organskim materijama. Velika količina organskih materija nalazi se u otpadnim vodama industrije gume i plastike. Zbog toga ove vode imaju visok stepen biološke potrošnje kiseonika. Tekstilna industrija je jedan od većih zagađivača voda. Otpadne vode su obojene, poseduju veliku koncentraciju suspendovanih materija i visoku temperaturu.

Otpadne vode prehrambene industrije slične su po efektu koji izazivaju gradske otpadne vode. Ove vode sadrže: krv, masnoće, proteine, masti, azotna jedinjenja, skrob, čvrste otpadke i druga jedinjenja. Prilikom raspadanja ovih materija u vodi troši se veća količina rastvorenog kiseonika, odnosno veća je biološka potrošnja kiseonika.



U industriji celuloze i papira javljaju se otpadne vode koje imaju veliki sadržaj čvrstih otpadnih materija pa pokrivaju dno reke više desetina centimetara uništavajući tako živi svet koji zavisi od hrane sa dna. Boja ovih voda je često i tamno-smeđa što otežava fotosintezu biljaka koje se nalaze u vodi. Voda se, u ovoj industriji, koristi u većoj količini i to prilikom mlevenja, kuvanja i izbeljivanja.

### **Uticao na zemljište**

Zemljište, kao jedan od najvažnijih prirodnih resursa, je takođe ugroženo usled ispuštanja raznih štetnih i opasnih materija u životnu sredinu. Industrija i energetska postrojenja su glavni izvor ovakvih materija.



Slika 8.12. Industrijsko zagađenje zemljišta, Kina

Izvor: <https://earthjournalism.net/stories/lack-of-data-openness-could-obstruct-soil-clean-up>

Zagađujuće materije dospevaju do zemljišta na nekoliko načina: taloženjem iz atmosfere (atmosferska depozicija), sa industrijskim otpadnim vodama, odlaganjem opasnog otpada i dr.

Tako se u zemljištu mogu naći supstance kao što su:

- toksični metali,
- radionuklidi,
- fluor,
- nafta i naftni derivati,
- poliaromatični ugljovodonici,
- polihlorovani bifenili,
- fenoli i dr.

Prisustvo ovih zagađujućih materija utiče na gajene biljke kao i na druge organizme u zemljištu. Takođe treba imati u vidu i činjenicu i da one preko lanca ishrane mogu dospeti i do čoveka.

Poznati su slučajevi u svetu i kod nas da su usled zagađenosti zemljišta neupotrebljiva za biljnu proizvodnju. Degradaciji zemljišta naročito doprinose termoelektrane i metaloprerađivački kompleksi.

### **Uticaj na vazduh**

Izvori zagađivanja vazduha su mnogobrojni. U najznačajnije spadaju: **proizvodnja energije, industrijski procesi i saobraćaj.**

Otpadni gas se grubo može podeliti na :

#### **kanalni gas**

-gasovi koji se sakupljaju i usmeravaju ka dimnjaku i

#### **difuzne i fugalivne gasove**

-gasovi koji ne ulaze u kanale već se emituju u procesu proizvodnje u delovima procesa koji nisu povezani sa kanalnim sistemom.

Čovekovom aktivnošću vazduh se u najvećoj meri zagađuje gasovima koji nastaju pri sagorevanju fosilnih goriva i tehnološkim procesima raznih industrija.

Najčešće su to sledeći gasovi:

- oksidi azota,
- ugljen-monoksid,
- ugljen-dioksid,
- sumpor-dioksid,
- ugljovodonici,

- hlorovani ugljovodonici i dr.

Hemijska industrija predstavlja veliku potencijalnu opasnost po životnu sredinu jer ona u proizvodnji koristi blizu 10000 različitih organskih i neorganskih jedinjenja među kojima je značajan broj toksičan za živi svet. Tako se u blizini postrojenja za proizvodnju pesticida u vazduhu nalaze pesticidi kao i polazne supstance za njihovu proizvodnju.

Veliki zagađivači vazduha su i livnice i topionice metala. Livnice kroz dimnjake emituju u atmosferu čestice metala ili njihovih oksida i proizvode sagorevanja korišćenih goriva. Topionice koje koriste sulfidne rude za dobijanje metala zagađuju vazduh sumpor dioksidom.

U toku dobijanja, a naročito prerade nafte i njenih derivata nastaju brojni gasovi, posebno oksidi sumpora i azota, zatim amonijak, ugljen-monoksid, aldehidi i čestice kao osnovne zagađujuće supstance.

Sve pomenute supstance, kao i mnoge druge, koje su dospele u atmosferu aktivnošću industrije i energetskih postrojenja, imaju štetno ili toksično dejstvo na čoveka i brojne predstavnike biljnog i životinjskog sveta.

### 8.2.5. Uticaj đubriva na životnu sredinu

Đubrenje, kao agrotehnička mera od izuzetnog značaja u savremenoj poljoprivrednoj proizvodnji, pored pozitivnog uticaja na biljke, zemljište i vazduh, može da ispolji negativne efekte na životnu sredinu.

Negativni efekti đubriva na životnu sredinu dolaze do izražaja pri njihovoj **nepravilnoj primeni**. Pod ovim uglavnom podrazumevamo primenu đubriva u količinama koje prevazilaze stvarne potrebe biljaka, primenu đubriva u vreme kada ona ne bi trebala da se primenuju i primenu đubriva u neodgovarajućim oblicima.

Od mineralnih đubriva sa stanovišta zagađivanja životne sredine najveću opasnost predstavljaju **azotna đubriva** pošto je njihova upotreba poslednjih decenija znatno brže rasla od potrošnje drugih mineralnih đubriva. Nepravilna primena azotnih đubriva je dovela do povećanja koncentracije nitrata u zemljištu, podzemnim i površinskim vodama kao i u biljkama. Razlog za ovo je velika pokretljivost nitrata. Nakupljanje nitrata u prirodi može da ugrozi zdravlje ljudi i životinja.

Povećan sadržaj nitrata i fosfata u površinskim vodama dovodi do njihove eutrofikacije što se negativno odražava na život riba i drugih organizama u vodi.

Poznato je da lisnato povrće (spanać, salata, kupus i dr.) ima veliku sposobnost za nakupljanje nitrata. Nitrati sami po sebi nisu opasni već su to nitriti koji nastaju redukcijom nitrata. Nitriti reaguju sa hemoglobinom u krvi i pri tome se stvara methemoglobin koji nije u stanju da veže i prenosi kiseonik. Pri reakciji nitrita sa sekundarnim aminima i amidima nastaju nitrozoamini koji izazivaju pojavu raka.

Primena visokih doza azotnih đubriva u dužem vremenskom periodu može da dovede do povećanja sadržaja soli u zemljištu. Ova pojava je naročito nepoželjna na zemljištima koja imaju prirodno visok sadržaj soli.

Primena amonijaknih đubriva na alkalnim zemljištima dovodi do oslobađanja gasovitog amonijaka čije prisustvo u vazduhu nije poželjno. U prirodi se odvija proces denitrifikacije koji za posledicu ima stvaranje azotovih oksida ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  i  $\text{N}_2\text{O}$ ) i molekuskog azota. Poznato je da je azot suboksid jedan od gasova koji doprinosi razlaganju ozonskog omotača u atmosferi. Međutim, najveći deo azot suboksida se stvara prirodnim putem. Doprinos azotnih đubriva ukupnoj produkciji ovoga gasa iznosi svega nekoliko procenata.

Prekomerna upotreba **fosfornih đubriva** može takođe da izazove ekološke probleme. U zemljištima sa visokim sadržajem pristupačnog fosfora javlja se poremećaj u ishrani biljaka mikroelementima (Zn, Fe, Cu i Mn) zbog njihovog prevođenja u teško rastvorljiva jedinjenja.

Pored ovoga treba imati u vidu i činjenicu da fosforna đubriva sadrže kao primesu i toksične metale (Cd, Ni, Cr, Zn). Pri dugotrajnoj upotrebi većih količina fosfornih đubriva može doći do povećanja sadržaja nekih toksičnih metala u zemljištu, naročito kadmijuma. Smatra se da su fosforna đubriva najveći zagađivači zemljišta kadmijumom.

Za razliku od nitrata količine fosfora koje dospevaju u podzemne vode usled njegovog ispiranja u dublje slojeve zemljišta su vrlo male (često između 0,1 i 0,2 kg/ha). Fosfor iz fosfornih đubriva može da dospe u površinske vode ispiranjem površinskog sloja zemljišta i erozijom. Usled povećane koncentracije fosfora u površinskim vodama doći će do naglog razvoja algi. Posle odumiranja algi sadržaj kiseonika će se naglo smanjiti što će za posledicu imati smrt riba koje su u tim vodama živele.

Od kalijumovih đubriva u biljnoj proizvodnji se najčešće koristi kalijum-hlorid, dok se kalijum-sulfat ređe koristi i to za đubrenje onih kultura koje su osetljive na hlor. Ova đubriva ne sadrže primese u većim količinama koje bi mogle da zagađuju sredinu. Međutim, višegodišnja primena većih količina kalijumovih đubriva može da izazove pojavu akutnog nedostatka magnezijuma. Ovo se naročito odnosi na višegodišnje zasade.

## 8.2.6. Uticaj pesticida na životnu sredinu

Prinosi kulturnih biljaka mogu da budu znatno smanjeni a u nekim slučajevima i potpuno uništeni usled delovanja različitih vrsta životinja i mikroorganizma na njih. Zbog ovoga primena sredstava za zaštitu biljaka predstavlja redovnu agrotehničku meru za koju se koriste različita hemijska sredstva. Ova sredstva se zovu pesticidima. Pod pesticidima podrazumevamo proizvode hemijskog ili biološkog porekla koji su namenjeni zaštititi ekonomski značajnih biljaka i životinja od:

- ✓ korova,
- ✓ bolesti,
- ✓ štetnih insekata,
- ✓ grinja i
- ✓ drugih štetnih organizama.

Nepravilna primena pesticida može da dovede do zagađivanja voda, zemljišta i biljaka što se negativno odražava na zdravlje ljudi i životinja. Nepravilna primena pesticida uglavnom podrazumeva njihovu primenu u preteranim količinama kao i u vreme kada oni ne bi trebali da se primenjuju. Ovako korišćenje pesticida sa sobom nosi negativne posledice na ekosistem u kome se primenjuje i okolne ekosisteme. Do trovanja pesticidima uglavnom dolazi usled nepridržavanja najosnovnijih pravila higijensko-tehničke zaštite. Pri pravilnoj upotrebi pesticida retko može doći do trovanja ljudi i životinja.

Smanjenje upotrebe pesticida je jedan od temelja održive poljoprivrede i ideja održivog razvoja.

Pesticidi se u odnosu na štetne organizme mogu podeliti:

- ✓ Akaricidi - suzbijanje štetnih grinja
- ✓ Fungicidi - gljiva
- ✓ Herbicidi - korova
- ✓ Insekticidi - štetnih insekata
- ✓ Limacidi - puževa
- ✓ Nematocidi - štetnih nematoda
- ✓ Rodenticidi - glodara, itd.

Primena pesticida na širokim površinama može uticati na lanac ishrane u ekosistemu i dovesti do eliminacije nekog od izvora hrane. Eliminacija tog izvora hrane može dovesti do migracije čitavih životinjskih vrsta u druge regione.

Predatori iz prirode mogu umesto životinja koje su im ranije služile kao hrana početi da napadaju domaće životinje. Ribe i divlje životinje mogu biti izloženi pesticidima hraneći se ostacima životinja koje su otrovane pesticidima ili biljkama koje su tretirane pesticidima.

Od hemijskih sredstava koja se koriste u poljoprivredi značajni zagađivači površinskih voda mogu da budu i pesticidi.

Pesticidi se mogu podeliti i na:

- ❖ perzistentne /trajne/
- ❖ akumulativne i
- ❖ neakumulativne

**Perzistentni pesticidi** /trajni zagađivači/ su pesticidi koji se duže vreme zadržavaju u životnoj sredini bez degradacije. Ova osobina može biti podesna za dugotrajnu kontrolu insekata, korova ili bolesti kod biljaka međutim postoji i negativna strana što ovakvi pesticidi mogu da se akumuliraju u lancu ishrane i da dovode do oštećenja kod viših organizama.

**Akumulativni pesticidi** su pesticidi koji mogu da se deponuju u masnim tkivima viših organizama uključujući i čoveka. U jednom momentu akumulacije oni mogu dostići nivo koji izaziva ozbiljna zdravstvena oštećenja. Kako se čovek nalazi na vrhu lanca ishrane on može imati veću koncentraciju pesticida u odnosu na životinje kojima se hrani.

**Neakumulativni pesticidi** se ne ugrađuju u tela životinja odnosno ne ulaze u lanac ishrane. Ovi pesticidi se brzo razlažu u relativno bezopasne proizvode i ne predstavljaju opasnost za ekosistem.

Na primer, organofosfatni pesticidi u početku imaju visoku toksičnost i predstavljaju opasnost. Međutim, u prirodi dolazi do njihove relativno brze degradacije tako da predstavljaju znatno manju opasnost od trajnih zagađivača.

Zagađivanje površinskih voda pesticidima predstavlja posebno veliki problem ako se iste koriste za dobijanje pijaće vode. Prisustvo pesticida u vodi zavisi od količine u kojoj su upotrebljeni kao i od njihove otpornosti na transformaciju (perzistentnosti). Zagađivanje površinskih voda pesticidima je naročito izraženo na kosim terenima. Naime, ukoliko se posle primene pesticida javi kiša jačeg intenziteta ove supstance će se transportovati do površinskih voda pomoću vode koju zemljište nije upilo.

Pesticidi mogu dospevati u zemljište neposredno i posredno. Oni dospevaju neposredno kada se koriste za uništavanje organizama koji se nalaze u zemljištu ili na njegovoj površini. Na ovaj način dospeva najveća količina pesticida u zemljište. Do posrednog zagađivanja zemljišta pesticidima dolazi njihovim taloženjem iz atmosfere, zagađenim vodama prilikom plavljenja, spiranjem sa tretiranih biljaka ili okolnih površina na nagnutim terenima, sa ostacima uginulih tretiranih životinja i biljaka i sl. Sudbina pesticida u zemljištu zavisi od njegovih osobina (fizičkih i hemijskih), svojstava zemljišta, klimatskih uslova, prisustva flore i faune i dr.

Pesticidi dospevaju u atmosferu u obliku čestica i kapi različitih veličina i to najviše tokom ili neposredno posle njihove primene. Prisustvo ostataka pesticida u vazduhu nije poželjno jer oni ugrožavaju zdravlje ljudi i drugih osetljivih organizama. Značajnu ulogu u transportu pesticida do udaljenijih područja imaju vazdušne struje. Na ovaj način je DDT dospeo do polarnih predela koji se nalaze veoma daleko od mesta njegove primene. Pesticidi dospevaju u atmosferu i isparavanjem sa površine tla, vode i vegetacije. Isparavanje može da bude dominantan način unošenja u atmosferu, čak i za malo isparljiva jedinjenja, ukoliko su nerastvorna u vodi i dovoljno stabilna u biosferi.

Usled nepoštovanja procedure rukovanja pesticidom, odnosno ukoliko je korišćena veća količina od propisane, ukoliko je došlo do nepoštovanja karence i ako se primenjivao pesticid koji nije predviđen za gajenu biljku može doći do kontaminacije hrane.

### 8.3. Alternativni izvori energije

Energija je jedna od najvažnijih potreba ljudi u svakodnevnom životu već decenijama, možda i milenijumima. Kada se razmotre sve aktivnosti koje su uslovljene potrošnjom energije, sagledava se važnost energije i njena nezaobilazna uloga u postupnom tehnološkom napretku.

Energetska sigurnost zavisna je od raspoloživosti energetske resursa, dok se ekonomski rast oslanja na neophodno prilagođavanje energetske potrebe zemlja u razvoju. Neophodno je i sagledati uticaj na životnu sredinu pri procesu eksploatacije resursa i dobijanja energije.

Fosilna goriva nisu neiscrpni resurs i njihova eksploatacija dovodi do povećane emisije gasova staklene bašte. Međutim, ove činjenice nisu smanjile upotrebu fosilnih goriva za proizvodnju energije na svetskom nivou.

Posmatrano na globalnom nivou najviše energije dobija se eksploatacijom **neobnovljivih** izvora energije. U najvećem procentu energija se dobija iz **fosilnih goriva**, odnosno uglja, nafte i gasa, dok je manji procenat dobijen iz **nuklearnih energetske izvora**. Budući da izvori ovih resursa nisu beskrajni nužno se javlja potreba za prelaskom na alternativne, odnosno obnovljive energetske izvore.

Na raspolaganju su nam različite vrste obnovljivih izvora kao što su hidrotermalna, geotermalna, solarna, energija vetra, morska i biogena energija i daju mogućnost kontinualne proizvodnje energije.

### 8.3.1. Solarna energija

Solarna energija je energija sunčevog zračenja koju primećujemo u vidu svetlosti i toplote. Sunce je najveći izvor energije na Zemlji, ovom energijom zagreva se Zemljina površina i odgovorna je za nastajanje klimatskih uslova u svim pojasevima. Osim toga, sunčevo zračenje stalno obnavlja energiju vetra, morskih struja, talasa, vodnih tokova i ostalih alternativnih izvora energije.

Energija koja potiče iz neposrednog ili posrednog sunčevog zračenja, smatra se obnovljivim izvorom energije, jer se njenim korišćenjem ne remeti značajno ravnoteža toka materije i energije u prirodi. Solarna energija može da proizvede električnu, toplotnu, mehaničku ili hemijsku energiju. U procesu dobijanja energije ne dolazi do emisije gasova staklene bašte, budući da sunce daje više energije nego što će nam ikada biti potrebno, energija dobijena iz solarne energije je veoma važan izvor energije.

Direktno dobijanje energije od Sunca moguće je putem:

- solarnih kolektora, za dobijanje vruće vode i zagrevanje prostorija
- fotonaponskih ćelija, za direktno pretvaranje sunčeve energije u električnu energiju
- fokusiranjem sunčeve energije, za upotrebu u velikim energetske postrojenjima

Solarni kolektori predstavljaju najjednostavniji način je sakupljanje toplotne energije, u kolektorima se vrši zagrevanje vode koja se dalje može koristiti za dobijanje tople sanitarne vode ili za grejanje putem cevi ili radijatora.



Solarni kolektori se najčešće montiraju na krov kuće. Njihova efikasnost zavisi od nivoa oblačnosti, kada su nepovoljni vremenski uslovi poželjno je koristiti dopunski izvor energije, odnosno električni grejač za vodu. Još u doba antičke Grčke, pisac Ksenofont je opisao kako se pametnim građenjem može iskoristiti sunčeva energija za grejanje kuća zimi.



Slika 8.13. Solarni paneli u domaćinstvima



Slika 8.14. Fotonaponska solarna elektrana

Noću i tokom oblačnih dana, solarna energija nije potpuno dostupna i neophodni su i uređaji za skladištenje energije. Uglavnom se koriste baterije i akumulatori obzirom da se solarna energija najčešće transformiše u toplotnu energiju.

Nakon instalacije i prilikom upotrebe solarnih panela ili solarnih ćelija nema emisije zagađujućih materija, iz tog razloga ovaj izvor naziva se čistim izvorom energije.

U toku boravka u Vatikanu, Leonardo Da Vinči (1452 - 1519) planirao je industrijsku upotrebu solarne energije za grejanje vode koristeći konkavna ogledala koja bi usmeravala

solarno zračenje, solarne elektrane danas koriste ovaj princip. Da Vinči je uvideo neophodnost prelaska na alternativne izvore zbog uništenja šuma jer je sagorevanje drva u tadašnje vreme predstavljalo glavni izvor energije.

- ✓ Prednosti eksploatacije solarne energije:
  - ✓ Solarni paneli ne emituju zagađujuće materije.
  - ✓ Proizvodnja energije solarnim ćelijama nije bučan proces, u odnosu na proizvodnju energije upotrebom fosilnih goriva ili nekom drugom vrstom obnovljivih izvora.
  - ✓ Proizvodnja energije moguća je i na udaljenim mestima gde nije moguće priključenje na mrežu.
  - ✓ Instalacija solarnih panela na udaljenim lokacijama je ekonomski isplativa u odnosu na instalaciju visokonaponskih vodova električne energije.
  - ✓ Napredak tehnologije povećava i efikasnost dobijanja energije iz solarne energije.
  - ✓ Solarni paneli se montiraju na krovovima kuća tako da nije neophodno nalaženje slobodnog prostora i ulaganja u nove instalacije.
  - ✓ Nakon instalacije solarnih panela dobija se besplatna energija koja će isplatiti početne troškove tokom godina njenog korišćenja.
  - ✓ Solarna energija se dobija iz neiscrpnog izvora.
- 
- Mane eksploatacije solarne energije:
  - Početni troškovi same instalacije mogu biti visoki, naročito kada je neophodna instalacija više panela, početna ulaganja su jedan od najvažnijih faktora prilikom donošenja odluke o upotrebi solarne energije.
  - Sunčeva energija nije dostupna tokom noći, tako da u toku 24h, 12h solarni paneli ne mogu da proizvode energiju
  - Vremenski uslovi mogu da utiču na količinu proizvedene energije.
  - Zagađenje vazduha takođe može da utiče na efikasnost solarnih panela, ovaj uticaj je osetan u industrijskim zonama velikih gradova jer onemogućava industrijsku primenu solarnih ćelija.

### 8.3.2. Hidroenergija

Hidroenergija je energija koja potiče od snage vode (hydro), tako je i dobila naziv. Predstavlja obnovljivi izvor energije koji se najduže koristi, vekovima se koristi za dobijanje mehaničke, a u poslednjem veku sve više i za dobijanje električne energije. Pronađeno je da se hidroenergetski potencijal vodotokova koristio u drevnom Egiptu, Kini i Persiji.

Upotreba hidroenergetskog potencijala malih vodotokova na globalnom nivou povećana je usled podizanja svesti o upotrebi neobnovljivih izvora energije i negativnim posledicama sagorevanja uglja radi dobijanja energije. Povećanje interesovanja ka ovom obnovljivom energetsom izvoru uslovalo je razvoj modernih hidro turbina, efikasnost ovih turbina adekvatna je i pri uslovima malih protoka i malih padova vodene mase.



Slika 8.15. Hidroelektrana, Peru

Mini hidroelektrane se lako instaliraju, estetski su prihvatljive i smatra se da imaju manji negativan uticaj na životnu sredinu u odnosu na velike hidroelektrične projekte.

Hidroelektrična energija se dobija kroz dve faze. U prvoj fazi potencijalna energija vodene mase pokreće hidrauličnu turbinu i pretvara se u mehaničku energiju, a u drugoj fazi ova mehanička energija pokreće generator koji je pretvara u električnu energiju. Snaga generisane električne energije zavisi od protoka vodene mase i razlike u nivou između izvora vodotoka i ispusta akumulacije (pad).

Radi proučavanja hidroenergetike potrebno je poznavati nekoliko karakteristika ovog potencijala. Teorijski potencijal vodnih snaga je teoretski moguća snaga koju vodotok može dati bez obzira na tehničku i ekonomsku stranu ostvarljivosti postrojenja.

Kako bi ispravno tumačili ovaj pokazatelj potrebno je poznavati visinske razlike za data jedinična odstojanja, tj. podužni profil reka i potoka, trajanje i učestanost snaga,

raspoređenost snaga duž toka, raspodela snaga u funkciji vremena, prosečne i maksimalne protoke. Tehnički iskoristiv vodni potencijal se određuje na osnovu razrade nekog tehničkog rešenja kada se utvrdi realno ostvariv potencijal godišnje proizvodnje energije. Ekonomski iskoristiv vodni potencijal je onaj deo tehnički iskoristivog potencijala čija se eksploatacija ekonomski isplati.

Danas se u svetu koristi 18% tehnički iskoristivog, odnosno 28% ekonomski iskoristivog potencijala. Najveći deo neiskorišćenih rezervi se nalazi u zemljama u razvoju. Prema strategiji energetike u Republici Srbiji je tehnički potencijal hidroenergije u Srbiji oko 17000 GWh, od čega je iskorišćeno oko 10000 GWh. Od neiskorišćenih a tehnički ostvarivih 7000 GWh, u velikim hidroelektranama je potencijal 5200 GWh, a u malim hidroelektranama 1800 GWh.



Slika 8.16. Hidroelektrana, Srbija, Brežice na Savi

Izvor: <https://balkangreenenergynews.com/45-mw-brevice-hydropower-plant-on-river-sava-inaugurated/>

Hidroenergija pruža velike mogućnosti za dalji razvoj. Iako su veće reke uglavnom iskorišćene, manje reke i potoci pružaju mogućnosti za dalju gradnju, pogotovo hidroelektrana protočnog tipa ili sa malim branama.

Kada se govori o hidroenergiji onda se tu prvenstveno prodrzumeva energija vodotokova (tj. energija reka). Energija glečera i energija morskih struja su u ovom trenutku neisplative i tehnički zahtevne za korišćenje, te se ne koriste ili je njihovo korišćenje u eksperimentalnoj fazi (energija morskih struja). Energija plime i oseke svoje postojanje

duguje gravitacionom dejstvu Meseca. Energija talasa je derivat energije vetra, te se nekad navodi odvojeno od hidroenergije. Energija talasa, energija plime i oseke i energija morskih struja uopšteno se svrstavaju u energiju mora.

Oko 70% zemljine površine je pokriveno vodom, resurs koji je uvek bio najvažniji u razvoju ljudskog društva. Upotreba hidroenergije je praćena stalnim tehnološkim razvojem, i trenutno hidroenergija predstavlja drugi po zastupljenosti obnovljiv izvor energije, odmah iza čvrste biomase. Hidroenergija obezbeđuje većinu električne energije iz obnovljivih izvora energije, generišući 16.6% svetske proizvodnje i 92% ukupne električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije.

U Evropskoj uniji oko 80% generisane električne energije iz obnovljivih izvora energije potiče iz hidroenergije odnosno 19% od ukupne proizvodnje električne energije. Električna energija iz malih hidroelektrana učestvuje sa više od 3% ukupne proizvodnje električne energije u Evropi. Male hidroelektrane su projektovane tako da poštuju prirodne vodotokove, kako bi sačuvale prirodne resurse i umanjio njihov uticaj na životnu sredinu.

### 8.3.3. Energija vetra

Vetar je obnovljivi izvor energije, odnosno poput solarnog zračenja predstavlja neiscrpan energetska izvor. Sam naziv obnovljivi, kao i trajni, potiče od činjenice da se energija troši u iznosu koji ne premašuje brzinu kojom se stvara u prirodi. Neki put se među obnovljive izvore energije svrstavaju i oni izvori za koje se tvrdi da su rezerve tolike da se mogu eksploatisati milionima godina. Ovo je u suprotnosti sa neobnovljivim izvorima kojima su rezerve procenjene na desetine ili stotine godina, dok je njihovo stvaranje trajalo desetinama miliona godina.

Vetar je slobodan i obnovljiv izvor i farme vetrogeneratora ne troše nikakvo gorivo, pri proizvodnji struje vetrogeneratorima nema nikakvih otpadaka niti se stvaraju gasovi staklene bašte, zauzete površine ovim uređajima mogu se normalno koristiti u poljoprivredi, vetroenergetske farme predstavljaju i turističku atrakciju, vetrogeneratori su dobar način da se od mreže udaljeni potrošači snabdevaju električnom energijom.

Vetar je neujednačen i nema ga uvek pa tada vetrogeneratori ili ne rade ili daju manju snagu, najpogodnija mesta su obično na obalama mora i reka ili u planinama, pa je u prvom slučaju zakup zemlje skup, a u drugom je povećano ulaganje u izgradnju.

Energija vetra je zapravo oblik solarne energije. Toplota koju emituje Sunce zagreva Zemlju više na nekim mestima nego na drugim. Zemlja zagreva vazduh iznad nje stvarajući džepove toplijeg i hladnijeg vazduha. Topliji vazduh se podiže, a hladniji vazduh juri kako bi popunio prazno mesto. Tako nastaje vetar.

Energija vetra stvorena sunčevim nejednakim zagrevanjem zemlje mogla bi, teorijski, da za deset sati stvori dovoljno struje da se zadovolje svetske potrebe za godinu dana.

Prva velika inovacija u korišćenju snage vetra bile su upravo vetrenjače koje su mogle da se okreću tako da su uvek okrenute ka vetru. U srednjovekovnoj Evropi, upravljač vetrenjače morao je ručno da okrene celu građevinu kako bi uhvatio svaki povetarac.

Holandžani, koji su još uvek lideri u tehnologiji korišćenja vetra, razvili su u XIV veku prvu vetrenjaču kod koje se samo vrh tornja okreće. Kada je svet počeo da koristi fosilna goriva sredinom XIX veka, snaga vetra, korišćena za jedrenjake i vetrenjače, bila je glavni svetski izvor energije. Prva poznata vetroturbina koja je proizvodila električnu energiju, bila je vetroturbina sa vertikalnom osovinom koju je 1887. godine projektovao škotski profesor Džejms Blajt (James Blyth) u Glazgovu.

Prvi pokušaj da se pomoću vetra stvori električna energija u većem obimu pripisuje se Čarlsu Brašu (Charles F. Brush) iz Klivlenda, Ohajo, SAD.



Slika 8.27. Vetropark

Male vetrenjače sa više lopatica bile su simbol američke ekspanzije na zapad - šest miliona je instalirano između 1850. i 1970. godine, ali Čarls Braš je uneo revoluciju u njihovoj primeni: umesto obrade žitarica i pumpanja vode, one su sada mogle biti korišćene

za stvaranje električne energije i punjenje baterija. Prva visokoenergetska turbina na vetar razvijena je u Rusiji 1931. godine.

Moderni dizajn turbina na vetar, sa tri lopatice na vrhu visokog, zatvorenog tornja, naziva se holandski koncept. Prototip koji je 1956. godine napravio Johanes Jul (Johannes Juul) radio je jedanaest godina bez održavanja. Godine 2008, SAD preuzeo je vodeće mesto u proizvodnji struje putem vetra od Nemačke, sa Španijom, Kinom i Indijom u prvih pet najvećih proizvođača. SAD i dalje proizvodi manje od 1% struje korišćenjem energije vetra. Radi poređenja, Danska dobija više od 20% svoje struje od vetra.

Turbine na vetar rade na jednostavnom principu: velika, rotirajuća lopatica stvara mnogo energije, čak i kad se pokreće sporo. Što je veća elisa, što je veći generator na koji je prikačena, više energije se dobija.

Današnje vetroturbine koriste sofisticiranu aerodinamiku za postizanje maksimalne efikasnosti. Integrisani instrumenti prate i brzinu i pravac vetra i kako bi motor za usmeravanje okretao turbinu ka vetru. Elise mogu takođe biti rotirane u svojoj osnovi kako bi se dobio maksimum energije od preovlađujućih vetrova.

Vetroturbine zahtevaju minimalnu brzinu vetra od 11m/h da bi efikasno radile, a maksimalnu efikasnost dostižu pri brzini vetra od oko 33m/h. Maksimalna brzina vetra može biti oko 50m/h, u tom momentu kočioni mehanizmi zaključavaju elise da se ne kreću. Turbine su testirane pri brzinama vetra većim od 150m/h, tako da mogu da izdrže snagu i najvećeg uragana. Većina elisa za vetroturbine pravi se od fiberglasa ili od mešavine drveta i epoksida, a tornjevi se prave od nerđajućeg čelika.

Danas postoji na hiljade dizajna vetrenjača, koji koriste i vertikalnu i horizontalnu osu. Horizontani dizajn sa tri rotora poznat kao danski koncept ostaje i dalje najšire korišćen. Smatra se da je on najefikasniji i najlakši za održavanje.

#### 8.3.4. Geotermalna energija

Geotermalna energija je toplotna energija koja se stvara u Zemljinoj unutrašnjosti raspadanjem radioaktivnih elemenata, hemijskim reakcijama ili trenjem pri kretanju tektonskih masa. Geotermalna energija je obnovljivi izvor energije jer se toplota neprekidno proizvodi unutar Zemlje različitim procesima, takođe količina takve energije je toliko velika da se može smatrati skoro neiscrpnom.

Naziv geotermalna potiče od grčkih reči geo, što znači zemlja i therme, što znači toplota.

Geotermalna energija u Zemlji vodi poreklo još od nastanka naše planete pre 4,5 milijardi godina. Temperatura u središtu Zemlje je oko 6000 °C, što je približno temperaturi površine Sunca i tamo se i dalje odvijaju termonuklearne reakcije. Toplota iz usijanog jezgra se kreće ka površini Zemljine kore. Nama je na raspolaganju samo mali deo te energije u površinskom delu dubokom do nekoliko kilometara.

Geotermalna energija predstavlja prirodnu energiju akumuliranu u fluidima i stenskim masama u Zemljinoj kori. Zemljina kora sastoji se od stena, vode i magme, a geotermalna energija akumulirana je u njima.

Prirodno raspadanje radioaktivnih elemenata (uranijuma, torijuma i kalijuma) koji se nalaze u svim stenama, proizvodi ogromnu termičku energiju.

Geotermalna energija može se smatrati fosilnom nuklearnom energijom, ona je, tzv, unutrašnja toplotna energija.

U zemljinoj kori postoje nalazišta termalnih voda i vodene pare, toplih i vrelih stena i nalazišta magme. Spuštanjem kroz Zemljinu koru temperatura raste, otprilike, 17 do 30 °C po kilometru dubine. Geotermalni potencijali Zemlje su ogromni i zato se ona tretira kao obnovljivi izvor, iako je u suštini neobnovljiv. Tople i suve stene, odnosno magma, nalaze se u nepropusnim slojevima na velikim dubinama i imaju visoku temperaturu, između 700 i 1200 °C. Izvori suve vodene pare na svetu su retki, ali se smatraju najjednostavnijima i najisplativijima za korišćenje, jer se prirodna suva vodena para može koristiti za pogon parne turbine.

Ležišta vode i gasova pod visokim pritiskom nalaze se na velikim dubinama (od 3000 do 6000 m). Voda je pri tome umerene temperature (između 90 i 200 °C) i sadrži otopljeni metan. Zahvaljujući vrlo visokim pritiscima bilo bi moguće koristiti mehaničku, toplotnu pa i hemijsku energiju. Izvori tople ili vrelе vode (gejziri) najčešći su i najprepoznatljiviji način dolaska zagrejane vode iz dubine na površinu Zemlje.

Geotermalnu energiju je moguće koristiti za proizvodnju električne energije u geotermalnim elektranama, toplifikaciji naseljenih mesta, grejanje staklenika. Grejanje zgrada i iskorišćavanje geotermalne energije u procesu dobijanja struje, glavni su, ali ne i jedini načini iskorišćavanja te energije. Geotermalna energija takođe se može iskoristiti i u druge svrhe npr. u proizvodnji papira, pasterizaciji mleka, bazenima za plivanje, u procesu sušenja drveta i vune, planskom stočarstvu, i za mnoge druge svrhe.



Geotermalna energija se još od vremena Rimskog carstva koristila za zagrevanje zgrada. Zadnjih godina se termin geotermalno grejanje odnosi na grejanje i hlađenje prostora korišćenjem toplotnih pumpi. Takvi geotermalni sistemi su sposobni preneti toplotu iz zemlje uz minimalnu potrošnju električne energije.

Čak i uz visoke inicijalne troškove, ulaganje se relativno brzo vraća. Najbitnija je to što ne zagađuju okolinu i jedni su od najefikasnijih sistema za grejanje i hlađenje. Najveći geotermalni sistem koji služi za grejanje nalazi se na Islandu, odnosno u njegovom glavnom gradu Rejkjaviku u kojem gotovo sve zgrade koriste geotermalnu energiju.

Geotermalna energija koristi se i u poljoprivredi za povećanje prinosa. Voda iz geotermalnih rezervoara koristi se za grejanje staklenika za proizvodnju cveća i povrća. Pod grejanjem staklenika ne uzima se u obzir samo grejanje vazduha, već se greje i tlo na kojem rastu biljke. Domaćinstva koja primenjuje ovakav način proizvodnje postizu veliki ekonomski uspeh na trzistu ovih roba.

### 8.3.5. Biomasa

Biomasa predstavlja najstariji izvor obnovljive energije koji se može koristiti kao zamena za fosilna goriva u proizvodnji toplotne i električne energije. Korišćenje biomase kao izvora energije je počelo kada je čovek u pećini prvi otkrio vatru, koristio drva i druge organske proizvode za zagrevanje svoje peći. Međutim, pojam biomasa počinje da se koristi od sedamdesetih godina prošog veka.

Upotreba biomase ne doprinosi globalnom zagrevanju. Ugljen-dioksid oslobođen pri sagorevanju, druge biljke iskoriscavaju u svom rastu. Glavna prednost biomase u odnosu na fosilna goriva je manja emisija štetnih gasova i otpadnih voda. Dodatne su prednosti zbrinjavanje i iskoriscavanje otpada i ostataka iz poljoprivrede, šumarstva i drvne industrije, smanjenje uvoza energenata, ulaganje u poljoprivredu i nerazvijena područja. Predviđa se da će do sredine veka u svetu udeo biomase u potrošnji energije iznositi između 30% i 40%. Prema dokumentima EU predviđa se da će proizvodnja energije iz biomase u odnosu na ostale obnovljive izvore energije iznositi 73%.

Opšti pojam biomase veoma je širok i podrazumeva organsku materiju biljnog i životinjskog porekla.

Biomasa je izvor energije koji nastaje iz proizvoda biljnog i životinjskog porekla (drvena masa, slama, piljevina, kukuruzovina, stabljike suncokreta, lisce, stajnjak, komunalni i industrijski otpad).

Ostaci biomase, koji predstavljaju potencijalni energetska izvor podeljeni su na:

- Biomasa iz šumarstva
- Poljoprivrednu biomasa
- Biomasa sa farmi životinja
- Gradski otpad

**Biomasa iz šumarstva** obuhvata prostorno i ogrevno drvo, kao i ostatke i otpad nastao preradom drveta (rezanjem, brušenjem i td.). U razvijenom delu sveta razlozi za korišćenje obnovljivih izvora energije se nalaze u potrebi za korišćenjem ekološki prihvatljivih izvora energije, kao i većoj energetska samostalnosti. Iz tog razloga u poslednjih deset godina tržište drvene biomase beleži nagli rast. U Evropskoj Uniji 58% primarne energije dobivene od obnovljivih izvora energije dolazi iz drva. Pojedinačno najveći izvoznik drvene biomase je Nemačka sa 1,4 miliona tona dok Kanada izvozi 1,3 miliona tona.

Učešće drvene biomase u globalnoj potrošnji energije se procenjuje na 16%, što je veoma blizu učešću električne energije (17%) i gasa (18%) (IEA, 2013).

Najznačajniji proizvod u ovoj trgovini predstavljaju drvni peleti i briketi.

**Briket** u odnosu na svoju sirovinu (biomasa) ima velike prednosti u energetska svrhama, pre svega pri manipulaciji. Sagorevanjem ovog proizvoda oslobađaju se zanemarljive količine štetnih materija koje ne zagađuju životnu sredinu i zbog toga ovo gorivo se može smatrati ekološki čistim. Velika prednost ove vrste energetska goriva u odnosu na postojeća fosilna goriva je njegova obnovljivost. Briketi se mogu koristiti kao hrana za domaće životinje (hranljive biomase), gorivo za roštilj, hranljivi supstrat za negovanje biljaka, sredstvo protiv komaraca itd.

**Pelet** je gorivo izrađeno od drvene mase, bez hemijska dodataka, i apsolutno nije štetno po zdravlje čoveka i okolinu. Proizvodi se kao i briketi od drvnih ostataka u specijalno dizajniranim presama. Pri sagorevanju ostaje mala količina pepela, tako da se čišćenje peći u kojima pelet sagoreva može obavljati samo jednom nedeljno. Pelet je veoma visoke kalorične moći do 5,4 kWh/kg. Jednostavno i lako se koristi. Pakuje se i prodaje u plastičnim džakovima od po 15 kg, što je dovoljno za grejanje tokom 35 sati.

Razlika između peleta i briketa je u tome što su peleti manjih dimenzija od briketa i njihova proizvodnja zahteva znatno manju potrošnju energije za rad mašina. Mašina u kojoj

se proizvodi pelet naziva se peletirka. Druga prednost manjih dimenzija peleta jeste to što jednaka masa peleta i briketa ne zauzima i jednako prostora, što daje efikasniji transport, pakovanje i rukovanje u prostoriji gde se nalazi peć za grejanje.

Po proizvodnji peleta lider u Evropi je Švedska, a prognoze i trendovi pokazuju da će to ostati i u narednom periodu.

Srbija ima veliki potencijal neiskorišćenih drvnih izvora za energiju. Procenjena količina samo drvene biomase u Srbiji, koja se može koristiti kao gorivo, iznosi oko 1,65 miliona m<sup>3</sup> godišnje, dok se energetski potencijal šumske biomase, ostavljene da se razlaže posle proizvodnje drvnih sortimenata, procenjuje na 15,6 miliona GJ godišnje. Za razliku od većine razvijenih zemalja, u Srbiji se primena drvene biomase za proizvodnju novih oblika drvnih goriva, a time i energije, još uvek nalazi na samom početku. Razlozi zaostatka Srbije u ovoj oblasti su brojni, a neki od značajnijih su nedostatak institucionalne podrške, izostanak adekvatne legislative, nedovoljne investicije, nedostatak znanja i nizak nivo tehnološkog razvoja.

**Poljoprivrednu biomasu** čine ostaci različitih poljoprivrednih kultura: slama, kukuruzovina, oklasak, stabljike, ljuške, koštice. Ova vrsta biomase ima nisku ogrevnu moć i veliki udeo vlage i različitih primesa. Uradena je jedna analiza potrošnje loz ulja u centralizovanim sistemima grejanja koja je obuhvatila neke manje gradove u nasoj zemlji. Odabrani su gradovi u izrazito poljoprivrednim i sumskim regionima u kojima sume pokrivaju više od 45 % teritorije opštine. Utvrđeno je da bi 5 % zemljišta zasejanog pšenicom i kukuruzom bilo dovoljno da se ostacima biomase zameni tecno gorivo koje se koristi za proizvodnju toplotne energije u tim opštinama, dok bi u sumskim područjima bilo dovoljno oko 10% postojeće seče suma da bi se ostvario isti cilj.

Poljoprivredna biomasa može imati višenamensku upotrebu u proizvodnji:

1. humusa (zaoravanjem), čime bi se povećala plodnost zemljišta i smanjila potreba za upotrebom mineralnih đubriva čija je cena znatno viša, te bi poljoprivrednici ostvarili uštedu novca. Najčešće korišćena je uljana repica zbog velike bujnosti.

2. stočne hrane (tretirana hemijskim sredstvima, mešanjem sa proteinima i dr.) , smanjuje se potreba za kupovinom koncentrata i ostalih suplemenata u ishrani životinja, te bi farmeri u slučaju niske cene ratarskih kultura mogli svoj prihod da ostvare kroz prodaju mlečnih i mesnih proizvoda.

3. toplotne energije (sagorevanjem), sagorevanje poljoprivredne mase se odvija u specijalizovanim pećima koja se mogu primenjivati i u domaćinstvima, peći su predviđene za sagorevanje baliranih ostataka kukuruza, pšenice (slame) ili soje, koja ima najveću energetsku

vrednost, pored uštede novca , koju bi izdvojili za kupovinu neobnovljivih izvora energije, sačuvaćemo i životnu sredinu od zagađenja.

4. građevinskog materijala – u svetu je sve popularnija proizvodnja „ekoloških kuća“ , izgradnja kuća korišćenjem baliradnih ostataka pšenice- slame, koje se uz drvenu građu „zidaju“ jedna na drugu poput zidarskih blokova. Ako se uzme u obzir da jedna bala slame može zameniti šest blokova,a da je cena jednog bloka oko 130 din,a bale slame 50 din, računica je jasna.

5. alkohola (vrenjem) – još jedan vid upotrebe poljoprivredne biomase , jeste za proizvodnju alkohola tj bioetanol, koji se može koristiti daljom preraodom kao gorivo. Bioetanol se najčešće proizvodi od šećerne trske i kukuruza.

### 8.3.6. Mogućnosti - Alternativni izvori energije u Srbiji

#### **Biomasa**

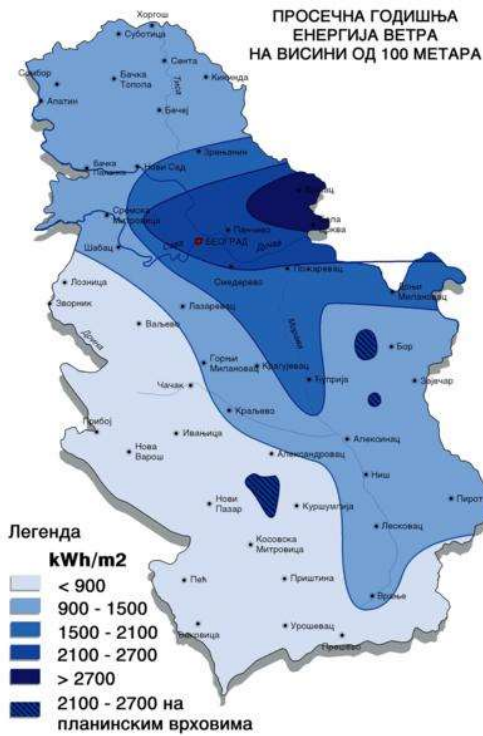
Najveća količina biljnog otpada u Vojvodini dolazi od poljoprivredne proizvodnje. Tradicionalno, poljoprivreda u Vojvodini je uvek bila značajan deo domaće privrede i generator dobrih rezultata zbog obilja plodnog poljoprivrednog zemljišta, koje čine 84% njene teritorije. Od 1.790,000 hektara poljoprivrednog zemljišta u Vojvodini, 1,580.000 hektara predstavlja obradivo zemljište. Najvažniji usevi čiji ostaci se mogu koristiti za korišćenje energije su: kukuruz, strnjika, soja, uljana repica i suncokret. Pored toga, značajan potencijal čine ostaci orezivanja voća i vinograda.

U novije vreme, sve više se proizvode uljarice upravo u cilju dobijanja tečne biomase koja se koristi kao gorivo. Vojvođanski plan energetskeg bilansa predviđa udeo čvrste biomase, pre svega žetvenih ostataka, sa 35.000 TJ toplotne i 360 GWh električne energije godišnje.

#### **Energija vetra**

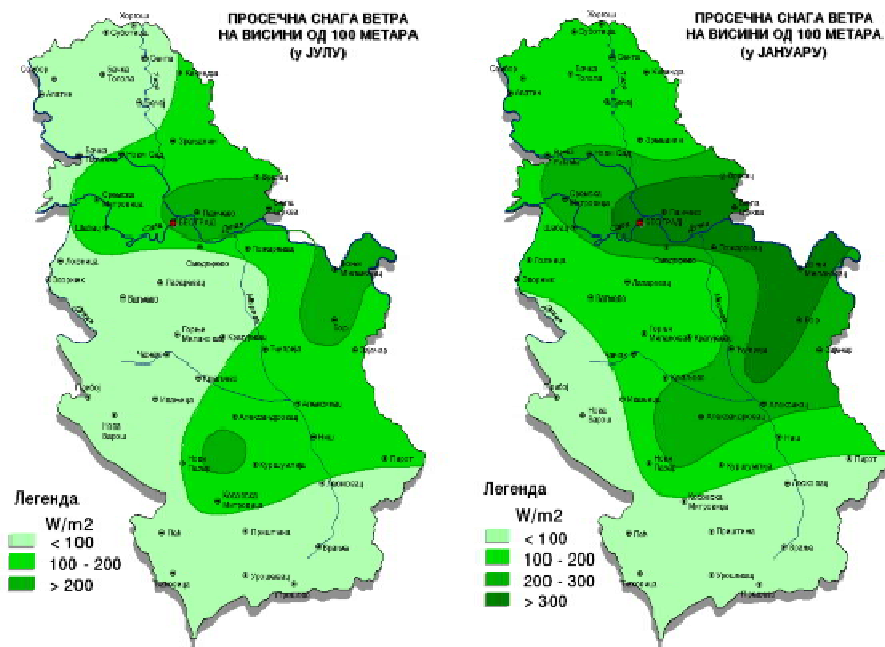
Vojvodina ima dovoljno potencijala za postrojenja vetroelektrana, koje bi proizvodile električnu energiju iz energije vetra.

Najjači vetrovi identifikovani su u regionu Vršačkog brega, sa prosečnom godišnjom brzinom od 6,27 m / s. Ostale lokacije: Pančevo, Rimski Šančevi (Novi Sad), Banatski Karlovac, Kikinda, Subotica, Kanjiža, Apatin, Sombor, Sremska Mitrovica, oblast Fruške Gore (Irig, Indija itd.), region od Pančeva do Fruške gore, slika .



Slika 8.28. Prosečna godišnja energija vetra u Srbiji

izvor: <http://www.politika.rs/sr/clanak/69581/Drustvo/Vetar-u-jedra-Srbije>

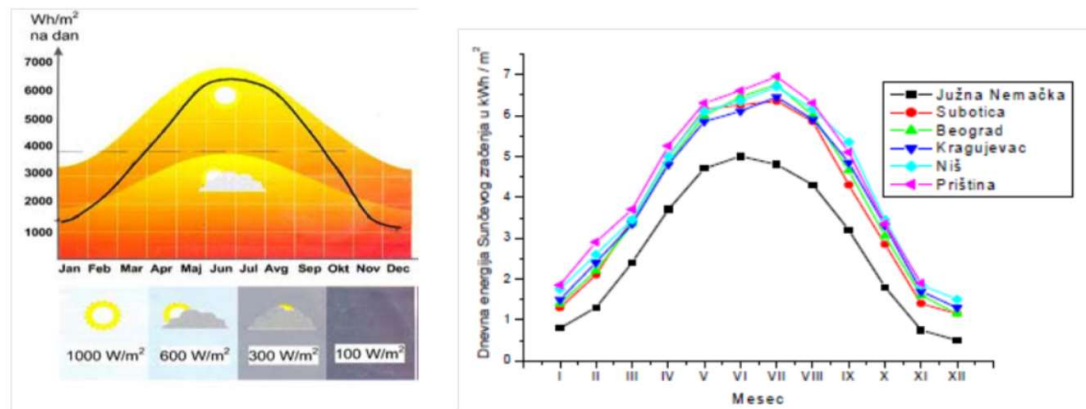


Slika 8.29. Prosečna snaga vetra u Srbiji, mesec jul i januar

izvor: <http://radovancevka.blogspot.com/2017/05/energija-vetra-je-horizontalno.html>

## Solarna energija

Vojvodina ima značajne potencijale u solarnoj i energiji vetra. Najniže izmerene vrednosti u Srbiji su slične onima najviših izmerenih u Austriji i Nemačkoj, koje su vodeće zemlje u korišćenju solarne energije. Osim toga, imamo 267 sunčanih dana, a prosečna izolacija je 1000 kWh/m<sup>2</sup>.



Slika 8.30. Energetski potencijal Sunca u Srbiji za različite mesece.

Gornja kriva predstavlja teorijski potencijal bez oblaka. Donja kriva daje teorijski potencijal za slučaj osunčanosti 60%.

(desno) Osunčanost gradova u Srbiji u odnosu na južnu Nemačku

izvor: (Radičević, et al., 2009)

## Hidroenergija

Potencijali malih hidroelektrana u Vojvodini procenjuju se na oko 20,2 MW, sa godišnjom proizvodnjom od 90.730.000 kWh na 12 lokaliteta sa 26 agregata. Najperspektivniji lokaliteti (male hidroelektrane I kategorije), su brana na reci Tisi kod Novog Bečaja (9,8 MW) i Kanal DTD u Novom Sadu, Vrbasu, Bečeju i Kajtasovu (ukupno 5,69 MW).

Rezultati studije energetskog potencijala Srbije za korišćenje sunčevog zračenja i energije vetra Ministarstva nauke i zaštite životne sredine ukazali su da Srbija raspolaže natprosečnim resursima energije vetra i sunčevog zračenja, u odnosu na celokupnu teritoriju Evrope. Takođe, ukazali su da Srbija ima posebnu pogodnost u komplementarnosti vremenske raspodele energije sunčevog zračenja i vetra.

## Rezime

U okviru ovog poglavlja sagledali smo ekosistem kao složeni dinamički sistem koji predstavlja deo biosfere i čini ekološku celinu. Osnovna karakteristika ekosistema je prenos energije i materije. Zemljište, kao prirodnu tvorevina koja je nastala tokom dugog vremena i koja se i dalje stvara.

Stabilnost ekosistema obezbeđuje dinamična ravnoteža između činilaca spoljašnje sredine i biocenoze (zajednice živih bića). Ako se prirodna ravnoteža poremeti dolazi do degradacije ekosistema, tj. nastaju degradirani ekosistemi.

Sagledali smo negativne promene u ekosistemu koje su pruzrokovane antropogenim aktivnostima, odnosno aktivnostima čoveka, kao što su efekat staklene bašte i globalno zagrevanje, zatim oštećenje ozonskog omotača, nastajanje kiselih kiša i negativne efekte koje kisele kiše ispoljavaju na životnu sredinu i zdravlje ljudi.

Takođe, upoznali smo se sa negativnim efektima industrije na kvalitet vode, vazduha i zemljišta.

Energetska sigurnost neophodna je za dalji ekonomski razvoj i tehnološki napredak. Energija se dobija na globalnom nivou posmatrano najviše iz neobnovljivih resursa, i to najviše iz fosilnih goriva čija eksploatacijanegativno utiče na životnu sredinu.

Budući da izvori ovih resursa nisu beskrajni nužno se javlja potreba za prelaskom na alternativne, odnosno obnovljive energetske izvore.

Na raspolaganju su nam različite vrste obnovljivih izvora kao što su hidrotermalna, geotermalna, solarna, energija vetra, morska i biogena energija i daju mogućnost kontinualne proizvodnje energije.

## Pitanja

1. Ekosistem
2. Efekat staklene bašte – globalno zagrevanje
3. Oštećenje ozonskog omotača
4. Kisele kiše – uticaj na zemljište
5. Kisele kiše – uticaj na vode
6. Industrija i energetska postrojenja – uticaj na zemljište
7. Industrija i energetska postrojenja – uticaj na vode
8. Industrija i energetska postrojenja – uticaj na vazduh
9. Negativni efekti azotnih đubriva na ekosistem
10. Negativni efekti fosfornih đubriva na ekosistem
11. Pesticidi – primena, značaj i negativni efekti na ekosistem
12. Alternativni izvori energije /primena i značaj/
13. Solarna energija
14. Hidrotermalna energija
15. Geotermalna energija
16. Energija vetra

## Literatura

1. Odum, E. P. & Barrett, G. W. (2005). *Fundamentals of Ecology*. – Thomson Brooks/Cole, Belmont CA.
2. R. Wayne: *Chemistry of Atmosphere*, Oxford University Press, 2002.
3. G. W. van Loon, C. J. Duffy: *Environmental Chemistry - A Global Perspective*, Oxford University Press, 2005.
4. C. Baird, M. Cann: *Environmental Chemistry*, W. H. Freeman and Co., 2005.
5. Radičević, B., Mikičić, D., & Vukić, D. (2009). Solar energy potential of Serbia and application of sun energy in agriculture. *Poljoprivredna tehnika*, 34(4), 53-62.



CIP - Каталогизација у публикацији  
Библиотеке Матице српске, Нови Сад

338.43:54(075.8)

ЖАРКОВИЋ, Бранка, 1957-

Agrikulturna hemija [Elektronski izvor] / Branka Žarković, Vesna Radovanović. – Sremska Kamenica : Univerzitet Edukons, 2022  
Način pristupa (URL): <https://educons.edu.rs/studenti/e-biblioteka/> . -  
Opis zasnovan na stanju na dan 20.12.2022. - Nasl. sa naslovnog ekrana. - Bibliografija.

ISBN 978-86-82088-09-7

1. Радовановић, Весна, 1982-

а) Агрикултурна хемија

COBISS.SR-ID 83386633

*„Biti predan svojoj nauci istinski i istraživati naučne istine savesno jesu osobine univerzitetskog građanina kao naučnika, a biti karakteran nepokolebljivo i gajiti vrline stalno jesu osobine univerzitetskog građanina kao čoveka.“*  
Sima Lozanić (1847-1935)

