



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

# Praktikum iz hemije sa teorijskim osnovama

Prof. dr Boris Popović  
Prof. dr Dubravka Štajner  
Doc. dr Ružica Ždero Pavlović  
M.Sc. Bojana Blagojević  
M.Sc. Nikola Mičić

Praktikum iz hemije sa teorijskim osnovama





**Univerzitet u Novom Sadu**  
**Poljoprivredni fakultet**



**Boris Popović   Dubravka Štajner**  
**Ružica Ždero Pavlović   Bojana Blagojević   Nikola Mičić**

# **PRAKTIKUM IZ HEMIJE**

## **SA TEORIJSKIM OSNOVAMA**

*Novi Sad, 2020.*

## EDICIJA POMOĆNI UDŽBENIK

### Osnivač i izdavač edicije:

*Poljoprivredni fakultet, Novi Sad,  
Trg Dositeja Obradovića 8, 21000 Novi Sad*

### Godina osnivanja: *1954.*

### Glavni i odgovorni urednik edicije:

dr Nedeljko Tica, *redovni profesor,*  
Dekan poljoprivrednog fakulteta

### Članovi komisije za izdavačku delatnost:

dr Ljiljana Nešić, *redovni profesor,* - predsednik.  
dr Branislav Vlahović, *redovni profesor,* - član.  
dr Zorica Srđević, *redovni profesor,* - član.  
dr Nada Plavša, *redovni profesor,* - član.

#### CIP- Каталогизација у публикацији:

Библиотеке Матице српске, Нови Сад

54(075.8)

**PRAKTIKUM IZ HEMIJE sa teorijskim osnovama** / Boris Popović... [et al.].-  
Novi Sad: Poljoprivredni fakultet, 2020 (Beograd: Donat graf). - 205 str.: ilustr.;  
30 cm. – Edicija Pomoćni udžbenik)

Tiraž 20.

ISBN 978-86-7520-461-9

1. Поповић, Борис, 1975 - [аутор]  
а) Хемија

COBISS.SR-ID 20518153

**Autori:**

dr Boris Popović, redovni profesor Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu  
dr Dubravka Štajner, redovni profesor u penziji Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu  
dr Ružica Ždero Pavlović, docent Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu  
M.Sc. Bojana Blagojević, asistent Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu  
M.Sc. Nikola Mičić, istraživač-pripravnik Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu

**Glavni i odgovorni urednik:**

dr Nedeljko Tica, redovni profesor,  
Dekan Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu

**Urednik:**

dr Dragana Latković, vanredni profesor,  
Direktor Departmana za ratarstvo i povrtarstvo  
Poljoprivredni fakultet u Novom Sadu

**Recenzenti:**

dr Jasna Čanadanović-Brunet,  
redovni profesor Tehnološkog fakulteta u Novom Sadu

dr Biljana Milošević,  
vanredni profesor Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu

**Izdavač:** Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad

**Štampa:** Donat Graf d.o.o., Beograd

**Štampanje odobrio:** Komisija za izdavačku delatnost, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.

**Tiraž:** 20

**Mesto i godina štampanja:** Novi Sad, 2020.

*Odlukom Nastavo-naučnog veća Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu od dana 11.06.2020. rukopis je odobren za izdavanje kao pomoćni udžbenik.*

## Bodovni sistem i pravila o pohađanju nastave:

- ✓ Minimum za dobijanje potpisa je **15 bodova na predispitnim obavezama** (testovima).
- ✓ Minimum za polaganje pismenog ispita iz hemije i izlazak na usmeni ispit je ukupan skor od **51 bod (testovi + pismeni ispit) pri čemu sam pismeni ispit mora biti pozitivan (bar 31 bod)**. Tako student koji je na vežbama osvojio samo 15 bodova, mora na pismenom da osvoji 36 bodova (9 zadataka) da bi položio ispit. Negativno urađen pismeni ispit (sa manje od 30 bodova) znači da student nije položio, bez obzira na ukupan broj bodova!
- ✓ **Student mora da izađe na pismeni ispit u zadatom terminu!** U slučaju da ima lekarsko opravdanje zbog čega se nije pojavio na pismenom ispitu može da mu se dozvoli da polaže test u drugom dogovorenom terminu u datom ispitnom roku.
- ✓ Ukoliko je pozitivno uradio pismeni ispit ( $\geq 31$  bod) i ima ukupan broj bodova bar 51, student je obavezan da se pojavi i na **usmenom ispitu u zadatom terminu radi potvrde znanja**. Na usmenom ispitu je takođe moguće povećati ocenu ukoliko student želi dodatno da odgovara. Ukoliko se student bez konsultacije sa profesorom i opravdanja ne pojavi na usmenom ispitu, znači da nije u stanju da potvrdi svoje znanje i pismeni ispit mu se poništava!
- ✓ **Asistent vodi evidenciju bodovima koje upisuje u indeks.**
- ✓ **Pohađanje predavanja i vežbi je obavezno!** Uslov za potpis je prisustvo na svim vežbama. Izostanak je moguć samo **uz lekarsko uverenje - najviše 2 vežbe**.
- ✓ **U slučaju ozbiljnih zdravstvenih problema, uz lekarsko opravdanje, student može da izostane sa najviše četiri vežbe.** U tom slučaju, mora da kolokvira svaku vežbu, brani je pred asistentom i polaže test.
- ✓ **Hemijska laboratorija je mesto koja zahteva zrelost, ozbiljnost i pozornost!** Studenti su obavezni da na početku semestra potpišu izjavu da će poštovati pravila rada u laboratoriji i mere opreza, te da su lično odgovorni za sve posledice koje proističu iz neozbiljnog rada u laboratoriji uključujući pre svega one zdravstvene. Student koji izazove bilo kakvu materijalnu štetu u laboratoriji dužan je i da je nadoknadi!

## Formiranje ocene:

| Ukupan broj ostvarenih poena | Ocena      |
|------------------------------|------------|
| 51 – 60                      | 6 (šest)   |
| 61– 70                       | 7 (sedam)  |
| 71 – 80                      | 8 (osam)   |
| 81 – 90                      | 9 (devet)  |
| 91 - 100                     | 10 (deset) |

*„Sve što znamo o stvarnosti proističe iz eksperimenta i završava se njime“  
Albert Ajnštajn*

*„Nema stvari koja bi bila tako vredna proučavanja kao priroda“  
Nikola Tesla*

## **Predgovor**

Ovaj Praktikum je prvenstveno namenjen studentima različitih smerova Poljoprivrednog fakulteta koji slušaju gradivo različitih predmeta Hemije (Hemija, Opšta hemija, Medicinska hemija i Funkcionalna hrana). Hemiju, kao uvodni i fundamentalni predmet slušaju svi biološki smerovi (fitomedicina, agroekologija i zaštita životne sredine, organska poljoprivreda, ratarstvo i povrtarstvo, voćarstvo i vinogradarstvo, hortikultura i stočarstvo), Opštu hemiju - tehnički smerovi (poljoprivredna tehnika, uređenje, korišćenje i zaštita voda kao i agroindustrijsko inženjerstvo), a Medicinsku hemiju – veterinarska medicina. Predmet Funkcionalna hrana je izborni predmet na nekim biološkim smerovima.

Pored vežbi obuhvaćenih planom i programom predmeta, Praktikum obuhvata i elemente teorije iz opšte i organske hemije neophodne za razumevanje hemije i realizaciju eksperimentalnih i računskih vežbi. Opsegom gradiva i strukturom Praktikum podseća na gimnazijske knjige iz hemije, međutim, imali smo u vidu da se studenti prve godine prvi put susreću sa univerzitetskim kursevima i da je predmet Hemija za većinu njih apstraktan i dalek. Cilj nam je bio da veliki obim znanja koje obuhvata hemija, od atoma vodonika, do molekula DNK koji je osnova života prikazemo u sažetom obliku. Dat je akcenat na razumevanju hemijskih procesa, povezivanju i umrežavanju znanja kao i u praktičnoj primeni hemije u budućoj struci. S tim u vezi, Praktikum prati i Zbirka pitanja i zadataka sa radnom sveskom. Ako je student sposoban da poveže svoja znanja i primeni u zadacima i praksi, može se reći da je savladao gradivo.

Ako poljoprivrednu struku shvatimo kao brigu o biljkama i proizvodnji hrane, a medicinu kao brigu o zdravlju, jasno je da je hemija temelj savremene poljoprivrede i medicine. Ukoliko bi nekim slučajem prestala upotreba hemijskih znanja, nestala bi savremena poljoprivreda i medicina, a čovečanstvo bi se vratilo u kameno doba. Hemija daje takođe izuzetan doprinos ispitivanju životne sredine, zaštiti voda i drugih prirodnih resursa, otkrivanju i eksploataciji novih izvora energije, kao i otkrivanju novih materijala neophodnih za razvoj tehnike.

Nadamo se da će Praktikum pored svoje osnovne uloge, da bude putokaz u eksperimentalnim vežbama, pomoći studentima u spremanju ispita i sticanju neophodnih znanja iz Hemije. Takođe se nadamo da će studenti tokom izučavanja hemije shvatiti koliko je ona bitna za njihovu struku i da je i sama praktično deo nje, baza koja će u daljem studiranju i karijeri biti velika pomoć, ali i moć za one koji se budu okrenuli nekoj vrsti stavralaštva.

Novi Sad, 2020.

Autori

## **Plan i program iz predmeta Hemija za biološke smerove Poljoprivrednog fakulteta**

### **1. Struktura atoma i molekula. Periodni sistem elemenata.**

Kratka istorija otkrića o strukturi materije. Pojam atomske orbitale. Elektronska konfiguracija atoma i PSE. Periodične promene ( $r$ ,  $E_i$ ,  $E_a$  i  $EN$ ). Hemijske veze (jonska, kovalentna i koordinativno-kovalentna). Međumolekulske sile.

### **2. Termohemija i hemijska kinetika**

Pojam entalpije. Egzotermne i endotermne reakcije. Entalpija stvaranja jedinjenja i toplotni efekat hemijske reakcije. Brzina reakcije i zakon o dejstvu masa. Energija aktivacije. Hemijska ravnoteža i faktori koji utiču na ravnotežu. Le Šateljeov princip. Haber-Bošova sinteza amonijaka.

### **3. Rastvori**

Proces rastvaranja i kvantitativno izražavanje sastava rasvora. Proizvod rastvorljivosti i rastvorljivost. Koligativne osobine rastvora elektrolita i neelektrolita. Osmoza i dijaliza. Elektrolitička disocijacija, stepen disocijacije i konstanta disocijacije. Slabe i jake kiseline i baze. Hidroliza i puferi. pH vrednost u rastvorima elektrolita. Podela disperznih sistema. Osobine koloidnih rastvora. Hidrofilni i hidrofobni koloidi.

### **4. Biogeni elementi**

Osobine i svojstva najvažnijih biogenih elemenata i njihovih jedinjenja. Alkalni i zemnoalkalni metali (Na, K, Ca i Mg). Osobine i svojstva najvažnijih nemetala i njihovih jedinjenja (C, N, P, O, S i halogeni elementi). Najvažniji prelazni metali (Mo, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn). Uloga pojedinih biogenih elemenata u životnim procesima biljaka i životinja. Biogehemijski ciklusi C, H, O i N. Veštačka đubriva.

### **5. Organska hemija. Ugljovodonici i halogeni derivati ugljovodonika**

Struktura i nomenklatura organskih jedinjenja. Funkcionalne grupe. Podela ugljovodonika. Zasićena, nezasićena i aromatična jedinjenja. Osnovni tipovi reakcija u organskoj hemiji (supstitucija, adicija i eliminacija). Organohlorna jedinjenja i organohlorni pesticidi.

### **6. Organska jedinjenja sa kiseonikom.**

Procesi oksidacije i redukcije u organskoj hemiji. Kiseonične funkcionalne grupe i njihove transformacije. Alkoholi, fenoli, aldehidi, ketoni i karboksilne kiseline. Supstituisane kiseline i funkcionalni derivati karboksilnih kiselina.

### **7. Organska jedinjenja sa azotom.**

Podela organskih jedinjenja sa azotom. Podela amina i njihove osobine. Bazni karakter amino grupe i azotnih organskih jedinjenja uopšte. Biološki važni amini. Heterociklusi sa N, O i S. Najvažniji predstavnici heterociklusa i njihov značaj u živom svetu.

### **8. Biomolekuli**

Podela biomolekula. Ugljeni-hidrati. Više masne kiseline, masti, ulja i sapuni. Fosfolipidi. Aminokiseline i proteini. Nukleozidi, nukleotidi i ATP. Nukleinske kiseline.

### **9. Hemija lekova (za studente Veterinarske medicine)**

Istorija upotrebe lekova. Antibiotici, antivirusni lekovi i citostatici (podela i mehanizam delovanja). Aspirin i penicilin.

Ime i prezime \_\_\_\_\_ Grupa: \_\_\_\_\_

## PROGRAM VEŽBI – za biološke smerove

| Redni broj | Naziv vežbe                                                                                         | Datum | Overa asistenta |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|
| 1.         | Laboratorijski pribor i metode razdvajanja supstanci. <i>11</i>                                     |       |                 |
| 2.         | Zadaci u vezi sa masom i količinom supstance. Proporcije u hemiji. <i>38</i>                        |       |                 |
| 3.         | Merenje mase i zapremine. Rastvaranje i kvantitativno izražavanje sastava rastvora. <i>51</i>       |       |                 |
| 4.         | Zadaci iz oblasti rastvora. Razblaženje i mešanje rastvora. <i>55</i>                               |       |                 |
| 5.         | Pripremanje rastvora određenog kvantitativnog sastava. <i>60</i>                                    |       |                 |
| 6.         | Zadaci iz oblasti kiselina i baza (pH i stehiometrija). <i>80</i>                                   |       |                 |
| 7.         | Acidimetrija - Određivanje NaOH standardnim rastvorom HCl. <i>99</i>                                |       |                 |
| 8.         | Redoks-reakcije. <i>107</i>                                                                         |       |                 |
| 9.         | Permanganometrija - Određivanje Fe(II) jona standardnim rastvorom KMnO <sub>4</sub> .<br><i>111</i> |       |                 |
| 10.        | Ugljovodonici (nomenklatura i hemijske reakcije). <i>127</i>                                        |       |                 |
| 11.        | Organska jedinjenja sa kiseonikom. <i>141</i>                                                       |       |                 |
| 12.        | Organska jedinjenja sa azotom, ugljeni-hidrati, masti i ulja. <i>167</i>                            |       |                 |
| 13.        | Određivanje lipidne peroksidacije. <i>178</i>                                                       |       |                 |
| 14.        | Određivanje sadržaja ukupnih fenola. <i>181</i>                                                     |       |                 |
| 15.        | Određivanje antioksidantne aktivnosti DPPH testom. <i>185</i>                                       |       |                 |

Ime i prezime \_\_\_\_\_ Grupa: \_\_\_\_\_

## PROGRAM VEŽBI – za tehničke smerove

| Redni broj | Naziv vežbe                                                                            | Datum | Overa asistenta |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|
| 1.         | Laboratorijski pribor i metode razdvajanja supstanci. 11                               |       |                 |
| 2.         | Zadaci u vezi sa masom i količinom supstance. Proporcije u hemiji. 38                  |       |                 |
| 3.         | Merenje mase i zapremine. Rastvaranje i kvantitativno izražavanje sastava rastvora. 51 |       |                 |
| 4.         | Zadaci iz oblasti rastvora. Razblaženje i mešanje rastvora. 55                         |       |                 |
| 5.         | Pripremanje rastvora određenog kvantitativnog sastava. 60                              |       |                 |
| 6.         | Zadaci iz oblasti kiselina i baza (pH i stehiometrija). 80                             |       |                 |
| 7.         | Acidimetrija - Određivanje NaOH standardnim rastvorom HCl. 99                          |       |                 |
| 8.         | Redoks-reakcije. 107                                                                   |       |                 |
| 9.         | Permanganometrija/Redoks reakcije metala. 111/114                                      |       |                 |
| 10.        | Ugljovodonici (nomenklatura i hemijske reakcije). 127                                  |       |                 |
| 11.        | Organska jedinjenja sa kiseonikom i azotom, ugljeni-hidrati, masti i ulja. 141,167     |       |                 |
| 12.        | Određivanje tvrdoće vode/ Kiselinski broj maziva/Lipidna peroksidacija. 174, 176, 178  |       |                 |
| 13.        | Predispitne vežbe                                                                      |       |                 |
| 14.        | Predispitne vežbe                                                                      |       |                 |
| 15.        | Predispitne vežbe                                                                      |       |                 |

# SADRŽAJ

|                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. RAD U HEMIJSKOJ LABORATORIJI .....                                                                                 | 3   |
| 1.1. OPREMA HEMIJSKE LABORATORIJE .....                                                                               | 4   |
| 1.2. EKSPERIMENTALNE TEHNIKE .....                                                                                    | 5   |
| I laboratorijska vežba: Laboratorijski pribor i metode razdvajanja supstanci .....                                    | 11  |
| 2. OPŠTA HEMIJA .....                                                                                                 | 14  |
| 2.1. OSNOVNI HEMIJSKI POJMOVI .....                                                                                   | 14  |
| 2.1.1. Hemijski simboli i periodni sistem elemenata .....                                                             | 14  |
| 2.1.2. Pravilo okteta, hemijske veze, valenca i oksidacioni broj .....                                                | 16  |
| 2.1.3. Oksidi, kiseline, baze i soli .....                                                                            | 27  |
| 2.2. SI JEDINICE U HEMIJI. POJAM MOLA .....                                                                           | 34  |
| II računska vežba: Zadaci u vezi sa masom i količinom supstance. Proporcije u hemiji .....                            | 38  |
| 2.3. TERMOHEMIJA .....                                                                                                | 42  |
| 2.4. BRZINA HEMIJSKE REAKCIJE I HEMIJSKA RAVNOTEŽA .....                                                              | 45  |
| 2.5. RASTVORI - KVANTITATIVNO IZRAŽAVANJE SASTAVA .....                                                               | 49  |
| III laboratorijska vežba: Merenje mase i zapremine. Rastvaranje i kvantitativno izražavanje sastava<br>rastvora. .... | 51  |
| IV računska vežba: Zadaci iz oblasti rastvora. Razblaženje i mešanje rastvora. ....                                   | 55  |
| V laboratorijska vežba: Pripremanje rastvora određenog kvantitativnog sastava. ....                                   | 60  |
| 2.6. PROIZVOD RASTVORLJIVOSTI .....                                                                                   | 65  |
| 2.7. KOLIGATIVNE OSOBINE RASTVORA .....                                                                               | 69  |
| 2.8. OSOBINE RAZBLAŽENIH RASTVORA ELEKTROLITA .....                                                                   | 72  |
| 2.9. HEMIJSKA RAVNOTEŽA U VODENIM RASTVORIMA, pH VREDNOST .....                                                       | 74  |
| VI računska vežba: Zadaci iz oblasti kiselina i baza (pH i stehiometrija) .....                                       | 80  |
| 2.10. HIDROLIZA .....                                                                                                 | 85  |
| 2.11. PUFERI .....                                                                                                    | 87  |
| 3. KVANTITATIVNA ANALIZA .....                                                                                        | 93  |
| Volumetrijske metode kvantitativne analize .....                                                                      | 93  |
| VII laboratorijska vežba: ACIDIMETRIJA- Određivanje NaOH standardnim rastvorom HCl .....                              | 99  |
| 4. OKSIDO – REDUKCIJE .....                                                                                           | 101 |
| VIII računska vežba: Redoks reakcije .....                                                                            | 107 |
| IX laboratorijska vežba: PERMANGANOMETRIJA - Određivanje Fe(II) jona standardnim rastvorom<br>KMnO <sub>4</sub> ..... | 111 |
| IX laboratorijska vežba (smer PT): Redoks reakcije metala .....                                                       | 114 |
| 5. ORGANSKA HEMIJA .....                                                                                              | 117 |
| 5.1. UVOD .....                                                                                                       | 117 |
| 5.2. UGLJOVODONICI .....                                                                                              | 120 |
| X laboratorijska vežba: Ugljovodonici .....                                                                           | 127 |
| (nomenklatura i hemijske reakcije) .....                                                                              | 127 |
| 5.3. ORGANSKA JEDINJENJA SA KISEONIKOM (alkoholi, fenoli, aldehidi, ketoni i karboksilne<br>kiseline) .....           | 134 |
| XI laboratorijska vežba: Organska jedinjenja sa kiseonikom .....                                                      | 141 |
| 5.4. ORGANSKA JEDINJENJA SA AZOTOM I HETEROCIKLIČNA JEDINJENJA .....                                                  | 150 |
| 5.5. UGLJENI-HIDRATI .....                                                                                            | 157 |
| 5.6. MASTI I ULJA .....                                                                                               | 162 |

|                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| XII laboratorijska vežba: Organska jedinjenja sa azotom, ugljeni hidrati, masti i ulja.....          | 167 |
| XII laboratorijska vežba (smer UV): Određivanje ukupne tvrdoće vode.....                             | 174 |
| XII laboratorijska vežba (smer PT): Kiselinski ili neutralizacioni broj tečnih goriva i maziva ..... | 177 |
| XIII laboratorijska vežba (biološki smerovi): Intenzitet lipidne peroksidacije .....                 | 179 |
| XIV laboratorijska vežba (biološki smerovi): Određivanje sadržaja ukupnih fenola .....               | 181 |
| XV laboratorijska vežba (biološki smerovi): Određivanje antioksidantne aktivnosti DPPH testom .....  | 185 |
| 6. LITERATURA .....                                                                                  | 188 |
| 7. PRILOG.....                                                                                       | 189 |

# 1. RAD U HEMIJSKOJ LABORATORIJI

Hemijska laboratorija je prostorija opremljena svim potrebnim priborom, uređajima i instalacijama za uspešno sprovođenje hemijskih eksperimenata. Većina hemijskih supstanci je toksična za čoveka - ekperimentatora i štetna za materijale od kojih su načinjene stvari koje nas okružuju.

Svaki rad u hemijskoj laboratoriji zahteva angažovanost, određeno znanje, tačnost i urednost, kao i samostalnost u donošenju odluka. Samo razvijanje ovih sposobnosti uz odgovarajuću opremu hemijske laboratorije daće željeni rezultat - bezbedan rad u laboratoriji i proširivanje znanja studenta uz razvijanje odgovarajućih veština kroz izvođenje eksperimenata.

## Pravila rada u hemijskoj laboratoriji

Pri radu u hemijskoj laboratoriji neophodno je pridržavati se sledećih *opštih pravila*:

1. Vežbe se izvode individualno, u tišini, uz maksimalnu koncentraciju da se ne ometaju ostali studenti.
2. Ako je zadatak unapred dat prethodno se upoznati sa teorijskim delom eksperimenta što podrazumeva savlađivanje odgovarajućeg dela iz udžbenika.
3. Detaljno se upoznati sa uputstvima za izvođenje vežbe – ogleda.
4. Razjasniti redosled operacija u datom eksperimentu.
5. Pripremiti sav pribor i hemikalije za dati ekperimentat.
6. Upoznati se sa merama predostrožnosti pri izvođenju datog eksperimenta i sa opasnostima od određenih supstanci.
7. U slučaju bilo kakvih nejasnoća u toku eksperimenta obratiti se asistentu ili laborantu.
8. Sve rezultate ekperimenta: izračunate podatke, podatke merenja, uslove ekperimenta, zapažanja i zaključke uneti u svesku neposredno po završetku eksperimenta.
9. Posle završetka rada oprati posuđe, srediti i očistiti radno mesto.

Radi izbegavanja povreda, požara i drugih šteta u hemijskoj laboratoriji potrebno je pridržavati se sledećih *pravila bezbednog rada*:

1. Laboratorijski sto i radno mesto potrebno je držati uvek uredno i čisto. Nije dozvoljeno držati lične predmete na laboratorijskom stolu kao: odeću, kapute, torbe i slično. Na radnom mestu može biti samo sveska za beleške i praktikum.
2. Hemijsko posuđe za izvođenje eksperimenta mora biti uvek čisto. Izvođenje eksperimenata u prljavim posudama daje pogrešne rezultate.
3. Stakleno posuđe zahteva pažljiv rad - može se lako razbiti. Razbijeno stakleno posuđe odmah ukloniti.
4. Eksperimenti u kojima se koriste otrovne, po zdravlje štetne supstance ili one veoma neprijatnog mirisa obavezno se izvode u digestoru.
5. Ne izvoditi dopunske eksperimente (van uputstva) bez konsultacije sa asistentom.
6. Pri nalivanju reagenasa posudu okrenuti u pravcu gde nema nikoga da se izbegnu povrede usled eventualnog prskanja reagenasa. Ne nagnjati se nad posudu i ne gledati u nju kroz otvor za ulivanje dok teče reakcija ili se vrši zagrevanje.
7. Pri zagrevanju, epruvetu okrenuti od sebe i od kolega kako bi se izbegle povrede pri prskanju reaktiva.

8. Svako prosipanje hemikalija po stolu, stolicama ili podu, razbijanje posuđa i slično odmah prijaviti asistentu ili laborantu.

9. U hemijskoj laboratoriji zabranjeno je uzimanje hrane i pića, a takođe i pijenje vode iz laboratorijskog posuđa.

10. Nakon završenog rada u hemijskoj laboratoriji obavezno oprati ruke.

## 1.1. OPREMA HEMIJSKE LABORATORIJE

Hemijska laboratorija je opremljena svim instalacijama potrebnim za bezbedan rad, a pored toga sadrži i odgovarajuću opremu koja je neophodna za izvođenje hemijskih eksperimenata.

U svakoj hemijskoj laboratoriji nalazi se oprema koja je karakteristična za sve hemijske laboratorije (opšta oprema): specijalni laboratorijski stolovi, digestori, destilatori vode, uređaji za zagrevanje (plamenici, rešoi), sušnice, vodena kupatila, vage, frižideri, aparati za gašenje požara, oprema za prvu pomoć itd. Pored ovoga u zavisnosti od prirode posla u laboratoriji je prisutna razna specifična oprema u vidu aparata, posuđa i pribora.

Za manipulaciju tečnostima, izvođenje hemijskih reakcija i pojedinih operacija u hemiji se koristi hemijsko posuđe načinjeno od stakla, porcelana, metala, plastičnih masa i pribor od drugih materijala (drvo, guma, teflon itd.). Najčešće je u upotrebi stakleno posuđe zahvaljujući svojoj hemijskoj i toplotnoj stabilnosti, i jednostavnom održavanju. Na sledećoj slici (*Slika 1.1*) prikazane su vrste staklenog posuđa koje se najčešće koriste u studentskoj laboratoriji.



**Slika 1.1.** Vrste staklenog posuđa koje se najčešće koriste u studentskoj laboratoriji.

Epruvete (a) se koriste za rad sa malim količinama čvrstih i tečnih supstanci. Pri radu ne puniti epruvete više od polovine zapremine. Mogu se zagrevati. Postoje proste i konusne epruvete koje se mogu koristiti za razdvajanje supstanci u centrifugi.

Kapalice sa gumicom (b), čaše (c), baloni (d) i posude po Erlenmajeru (e) služe za preparativni rad i izvođenje hemijskih reakcija najčešće pri zagrevanju, kao i radu sa tečnostima. Pri filtriranju pod sniženim pritiskom koristi se posuda po Erlenmajeru sa izvodom sa strane (f). Za čuvanje tečnih reaktiva koristi se reagens boca (g), a za merenje na vagi posudice za merenje (vegeglasi) (m). Za destilaciju tečnosti koriste se baloni za destilaciju (v), a za hlađenje i kondenzovanje tečnosti hladnjaci (n). Za ceđenje koriste se obični stakleni levci (s), ali i levci za brzo ceđenje i levci po Bühneru (Bühneru). Čuvanje supstanci od vlage vrši se u eksikatorima (l) koji su napunjeni dehidratacionim sredstvima ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , silika gel). Za pokrivanje staklene posude koriste se sahatna stakla (j), a odvajanje dve tečne faze vrši se u levkovima za odvajanje (p).

Menzure (h) koriste se za grubo merenje zapremine i mogu biti raznih veličina od 5 do 2000  $\text{cm}^3$ . Za tačnije merenje zapremine koriste se pipete koje mogu biti graduisane (r) i služe za merenje različitih zapremina tečnosti, i trbušaste kojima se meri samo jedna zapremina koja je naznačena na samoj pipeti. Mogu biti raznih veličina od 0,5 - 50  $\text{cm}^3$ . Za precizno merenje zapremine, uglavnom pri titraciji, služe uske baždarene (kalibrisane) staklene cevi sa slavinom - birete (o). Svo do sada navedeno posuđe kalibrisano je na "izliv", to jest na zapreminu istekle tečnosti. Odmerni sudovi (normalni sudovi ili odmerne tikvice) (i) kalibrisani su na "uliv", to jest na zapreminu sadržane tečnosti i uglavnom služe za pripremu rastvora određene koncentracije.

Neophodan pribor u svakoj hemijskoj laboratoriji su uređaji za merenje mase - vage. Vage koje nalazimo u hemijskoj laboratoriji prema tačnosti merenja mase delimo u dve grupe: tehničke vage (tačnost merenja do 0,01 g) i analitičke (tačnost merenja do 0,0001 g). Treba napomenuti da postoje i vage sa daleko većom tačnošću merenja mase ali se one nalaze u specijalnim laboratorijama i nisu uobičajen pribor u laboratoriji. Vage, kako tehničke, tako i analitičke, mogu biti izrađene na bazi terazija, a postoje i savremene konstrukcije zasnovane na sasvim drugim principima (elektronske vage).

## 1.2. EKSPERIMENTALNE TEHNIKE

U okviru ovog poglavlja biće iznete i opisane najčešće upotrebljavane eksperimentalne tehnike i postupci, a ostale specifične biće iznete kod pojedinačnih eksperimenata.

### Pranje laboratorijskog posuđa

U ranijem izlaganju već je bilo napomenuto da je čistoća laboratorijskog posuđa bitan uslov za dobijanje tačnih rezultata u radu, a i za bezbednost rada u laboratoriji. Stakleno laboratorijsko posuđe se najčešće pere upotrebom deterdženata (tečnih, u prahu ili sa abrazivima, Vim) sa toplom vodom i četkom, radi mehaničkog odstranjivanja nečistoća. Iz posuđa se odstrani sadržaj od prethodnog eksperimenta, posuda se ispere vodom, zatim se pere deterdžentom, dobro ispere vodovodnom vodom i na kraju najmanje tri puta destilovanom vodom. Laboratorijsko posuđe se ne briše krpom nego se suši na vazduhu u posebnim stalcima ili na povećanim temperaturama u laboratorijskim sušnicama. Pored deterdženta, za pranje laboratorijskog posuđa koristi se i hromsumporna kiselina (rastvor kalijum-dihromata u sumpornoj kiselini) i rastvor KOH u etanolu.

## Zagrevanje

Radi ubrzanja hemijskih reakcija, poboljšanja rastvorljivosti, kod destilacije i sublimacije, itd. u hemijskoj laboratoriji se veoma često koristi zagrevanje.

Na studentskim vežbama iz razloga bezbednosti zagrevanje se najčešće vrši u vodenom kupatilu. U vodenom kupatilu se može maksimalno postići temperatura od 100°C, što je u većini slučajeva dovoljno, a više temperature se postižu u uljanom kupatilu ili direktnim zagrevanjem na gasnom plamenu ili u specijalnim grejačima sa azbestnim kalotama (grejne obloge).

## Čistoća i karakteristike hemijskih supstanci

Pod čistom supstancom podrazumevamo supstancu koja se sastoji iz istih vrsta čestica koje mogu biti u slučaju hemijskih elemenata atomi, a u slučaju hemijskih jedinjenja molekuli. Apsolutno čistih supstanci nema jer i pored niza prečišćavanja supstance uvek u maloj meri sadrže i druge vrste čestica. Radi toga, u prometu se nalaze hemikalije sa različitim stepenom čistoće koje se koriste za pojedine svrhe. Stepene čistoće hemikalija date su u sledećoj tabeli (*Tabela 1.1*):

**Tabela 1.1.** Stepene čistoće hemikalija

| Stepen čistoće<br>(latinski) | Oznaka | Opis                  |
|------------------------------|--------|-----------------------|
| Pro analysi                  | p.a.   | Hemikalije za analizu |
| Purissimum                   | pss    | Prečišćene hemikalije |
| Purum                        | pur    | Čiste hemikalije      |
| Technicum                    | tec    | Tehničke hemikalije   |

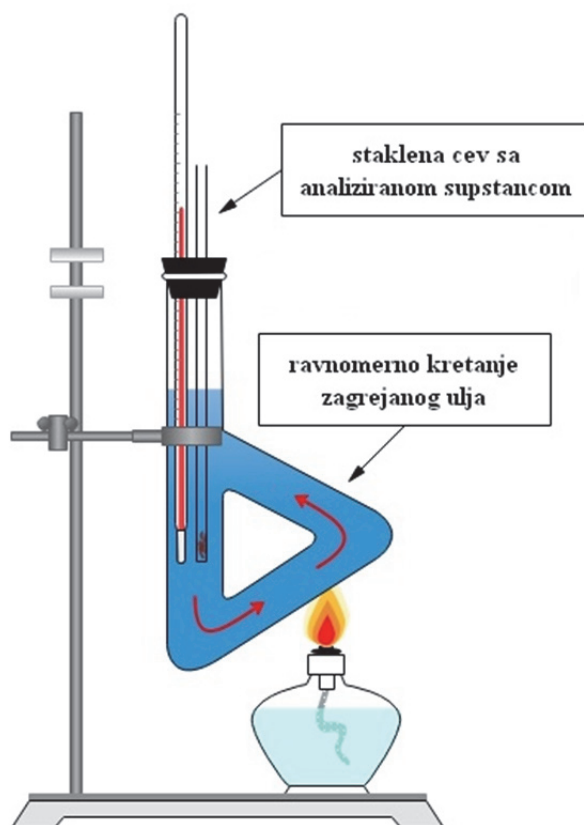
Svaku hemijsku supstancu karakteriše određena fizička osobina: boja, miris, ukus, gustina, tačka topljenja i ključanja, viskozitet, rastvorljivost, optičke osobine itd.

## Metode određivanja čistoće supstanci

Ispitivanje čistoće date hemijske supstance može se sprovesti fizičkim i hemijskim metodama. Fizičke metode određivanja čistoće sastoje se u određivanju fizičkih osobina date supstance (gustina, tačka topljenja i ključanja, rastvorljivost i dr.) i poređenjem sa osobinama čiste supstance. Hemijske metode ispitivanja sastoje se u primeni kvalitativne i kvantitativne analize.

**Tačka topljenja**,  $t_t$ , je konstanta po kojoj se može ustanoviti čistoća čvrstih kristalnih supstanci.  $T_t$  predstavlja temperaturu prelaza čvrste faze kristalne supstance u tečnu fazu. Za čiste supstance karakteristično je da interval temperature od početka do kraja topljenja ne prelazi 0,5 °C. Supstance koje sadrže primele nemaju oštru tačku topljenja, tope se u intervalu temperatura od nekoliko stepeni.

Tačka topljenja se određuje u aparatu prikazanom na *Slici 1.2*. Prethodno se ispitivana supstanca dobro usitni u avanu sa tučkom i osuši ili u eksikatoru ili u sušnici na 105 °C.



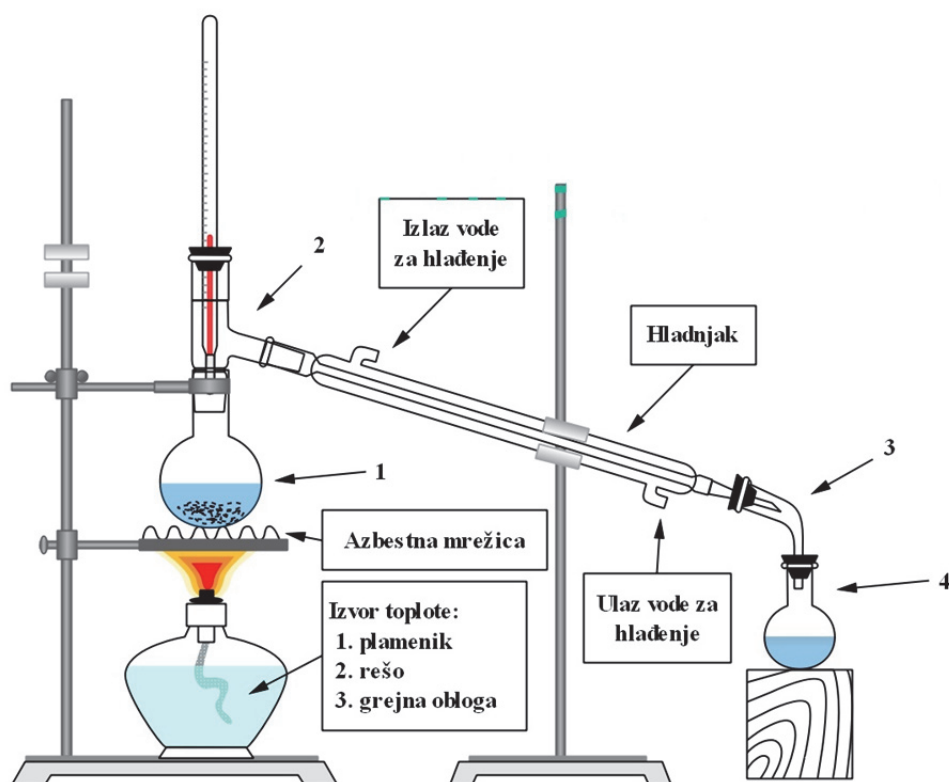
**Slika 1.2.** Aparat za određivanje tačke topljenja.

Nakon sušenja, supstanca se stavlja u kapilaru, i dobro sabije puštanjem kapilare da pada kroz staklenu cev na staklenu podlogu sa visine od oko 80 cm. Sloj supstance u kapilari treba da je oko 3 - 5 mm, kapilara se zatim pričvrsti uz termometar, tako da je supstanca u visini sredine rezervoara žive termometra. Termometar sa kapilarom se postavi u aparat i uroni u tečnost koja se zagreva (glicerin ili koncentrovana sumporna kiselina) i počne sa zagrevanjem. Posmatra se supstanca u kapilari i kada ona pređe u tečno stanje očitava se temperatura na termometru i to je tačka topljenja. Supstanca se može smatrati čistom ako ima oštru tačku prelaza i ako se ona ne menja posle ponovnog prečišćavanja.

**Tačka ključanja,  $t_k$ ,** je temperatura pri kojoj je napon pare tečnosti jednak atmosferskom pritisku (101325 Pa). Ova veličina je karakteristična za tečne hemijske supstance.

Tačka ključanja određuje se pomoću aparature za destilaciju pri atmosferskom pritisku (*Slika 1.3*) koja se sastoji iz balona za destilaciju (1), klajzenovog nastavka (2), hladnjaka (kondenzatora), lule za destilaciju (3), termometra i prihvatnog suda (4). Aparatura se sastavi kako je prikazano na *Slici 1.3*, a termometar se postavi tako da rezervoar žive bude na sredini odvodne cevi balona za destilaciju.

U balon za destilaciju se uspe ispitivana tečnost do polovine zapremine balona i nakon provere kompletnosti aparature pusti se protok vode za hlađenje i počne zagrevanje balona. Zabeleži se početna temperatura ključanja (kada predestiluje nekoliko kapi tečnosti) i krajnja temperatura ključanja (kada je predestilisalo 90-95% zapremine tečnosti).



**Slika 1.3.** Aparatura za destilaciju i određivanje tačke ključanja tečnosti.

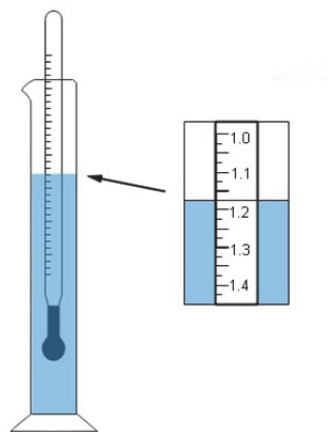
**Gustina supstance**,  $\rho$ , ili zapreminska masa predstavlja masu jedinice zapremine neke supstance i najčešće se izražava u jedinici  $\text{g/cm}^3$ . Postoje metode određivanja gustine čvrstih, tečnih i gasovitih supstanci, a ovde će biti razmotrena samo metoda određivanja gustine tečnosti pomoću aerometra. Aerometar je uređaj za merenje gustine i sastoji se od rezervoara i merne cevi. U zavisnosti od gustine tečnosti, aerometar će pliće ili dublje tonuti u tečnost i na mernoj cevi se direktno očitava gustina koja je proporcionalna dubini na koju potone aerometar. Ispitivana tečnost se uspe u menzuru i uroni aerometar tako da slobodno pliva u tečnosti i kada se umiri očitava se gustina kako je prikazano na *Slici 1.4*.

### Metode prečišćavanja i razdvajanja supstanci

Supstance koje sadrže nečistoće ili se nalaze u smeši sa drugim supstancama mogu se razdvajati i prečišćavati različitim metodama. Prečišćavanje supstanci je razdvajanje te supstance od prisutnih nečistoća, samo što je količina nečistoća relativno mala. Zbog toga se za razdvajanje i prečišćavanje supstanci koriste uglavnom iste metode. Kao metode prečišćavanja i razdvajanja najčešće se primenjuju: filtracija, prekrystalizacija, destilacija, sublimacija, ekstrakcija i dr.

**Cedenje (filtracija).** Ova operacija služi za odvajanje čvrste faze od tečnosti ili rastvora. Pri cedenju čestice rastvarača prolaze kroz sitne pore cedila, a čestice čvrste faze pošto su veće od pora cedila, zadržavaju se na njemu. Supstanca koja se zadržala na cedilu naziva se talog, a tečnost koja je prošla kroz cedilo, filtrat. U laboratorijskoj praksi

za ceđenje najčešće se upotrebljava hartija za ceđenje, zatim vata ili staklena vuna i sinterovano staklo (gučevi).



*Slika 1.4.* Merenje gustine tečnosti aerometrom.

Hartije za ceđenje dele se na kvalitativnu i kvantitativnu, u zavisnosti od dimenzija pora, kao i od količine pepela koji ostaje posle sagorevanja.

Ako je sistem takav da se čvrsta faza brzo i potpuno slegne na dno suda pri mirovanju onda se primenjuje najjednostavniji način odvajanja čvrste supstance od tečnosti: dekantovanje - tečnost koja stoji iznad taloga se prosto odlije (dekantuje).

Pripremanje hartije za ceđenje vrši se tako što se prvo iseče kvadrat, sa stranicom koja je približno dva puta veća od prečnika levka kojim se vrši ceđenje. Hartija se, zatim, presavije dva puta na pola i dobijeni kvadrat se iseče u polukrug, tako da se dobije cedilo u obliku kupe koja je nešto manja od levka. Ovako pripremljeno cedilo postavi se u stakleni levak tako da njegova ivica bude pola centimetra niža od gornje ivice levka, pokvasi se destilovanom vodom i pažljivo prstima prilepi uz zidove levka tako da ne ostane vazduha između cedila i zida levka.

Levak sa cedilom se postavi u prsten na stalku za ceđenje tako da izduženi deo cevi staklenog levka dodiruje unutrašnji zid posude u kojoj se skuplja filtrat.

Ispiranje taloga ima za cilj da čvrstu fazu (talog) oslobodi od nečistoća koje su adsorbovane po površini taloga. Obično se primenjuje rastvarač koji što je moguće manje rastvara talog, a istovremeno dobro rastvara nečistoće.

Izdvajanje veće količine kristalnih supstanci iz rastvora vrši se ceđenjem pomoću vakuuma. Za ceđenje pomoću vakuuma upotrebljava se Büchnerov levak (Bihnerov levak) od porcelana sa perforiranim dnom, na koje se postavi kružno isečena hartija za ceđenje. Büchnerov levak se postavi na bocu za ceđenje pomoću vakuuma ("guč-boca"), koja je spojena pomoću gumenog creva za vakuum-pumpu koja izvlači vazduh iz boce te smanjuje pritisak u njoj, usled čega je pritisak veći iznad cedila nego ispod i tečnost brže prolazi kroz hartiju za ceđenje.

**Prekristalizacija.** Za prečišćavanje čvrstih hemijskih supstanci prekristalizacija je najčešće korišćena metoda i bazira se na povećanoj rastvorljivosti čvrste supstance u rastvaraču na povišenoj temperaturi. Postupak prekristalizacije sastoji se u rastvaranju čvrste supstance na tački ključanja zasićenog rastvora, filtriranju toplog rastvora, čime se uklanjaju nerastvorne primese i mehaničke nečistoće, zatim hlađenju rastvora, pri čemu rastvorena supstanca kristališe. Kristali se odvajaju od rastvarača filtriranjem. Ukoliko su

kristali obojeni nečistoćama, obezbojavaju se aktivnim ugljem, koji se neposredno dodaje u topli rastvor pre filtriranja. Efikasnost prekrystalizacije zavisi od izbora rastvarača, koji treba dobro da rastvara supstancu na povišenoj temperaturi, a slabo na niskoj. Kao rastvarači za prekrystalizaciju se koriste: voda, metanol, etanol, aceton, etar, itd., ili smeše rastvarača različite polarnosti. Ponavljanjem prekrystalizacije nekoliko puta povećava se stepen prečišćavanja.

**Destilacija.** Destilacija je metoda za prečišćavanje tečnih supstanci, za razdvajanje komponenata različitih tački ključanja iz tečnih smeša ili odvajanje tečnosti od neisparljivih supstanci. Princip ove metode sastoji se u tome da se tečna supstanca zagreva do tačke ključanja, a nastala para se kondenzuje u hladnjaku i sakuplja kao destilat. Šema aparature za destilaciju prikazana je na *Slici 1.3*.

U zavisnosti od osobina supstanci u smeši, destilacija se može izvoditi na više načina:

- destilacija pod atmosferskim pritiskom primenjuje se za tečne supstance sa temperaturom ključanja od 40°C do 150°C. Ukoliko je više supstanci u smeši koja treba da se destiliše, razlika u temperaturama ključanja pojedinih supstanci treba da bude 80°C da bi razdvajanje bilo efikasno,

- destilacija pod smanjenim pritiskom se primenjuje za prečišćavanje supstanci visoke tačke ključanja ili supstanci koje se pri običnoj destilaciji razlažu,

- frakciona destilacija se primenjuje za razdvajanje tečnih supstanci iz smeše kada je razlika u temperaturama ključanja manja od 80°C. Frakciona destilacija se izvodi pomoću frakcione kolone kao dodatka destilacionoj aparaturi,

- destilacija vodenom parom se primenjuje kod supstanci koje imaju visoku tačku ključanja, te se pri uslovima obične destilacije razlažu, a ne mešaju se sa vodom. Takve supstance u kontaktu sa vodenom parom destiluju u smeši sa vodom. Tačka ključanja ovakve smeše je ona temperatura na kojoj ukupni pritisak pare (zbir parcijalnih pritisaka vodene pare i supstance) dostiže atmosferski pritisak. Smeša tako ključa na temperaturi nižoj od temperature ključanja svake pojedine komponente. U destilatu se nalaze čista supstanca i voda i njihovo razdvajanje se vrši u levku za odvajanje.

**Ekstrakcija.** Ekstrakcija je metoda za izdvajanje supstanci iz rastvora (tečno-tečna ekstrakcija) ili iz čvrstih smeša (čvrsto-tečna ekstrakcija) pomoću pogodnih rastvarača. Ekstrakcija se zasniva na Nernstovom zakonu raspodele: supstanca se u određenom odnosu raspodeljuje između dve tečne faze (organske i vodene) koje se međusobno ne mešaju i odnos koncentracije supstance u dve tečne faze (koeficijent raspodele  $K$ ) je konstantan na određenoj temperaturi.

$$K = \frac{c(\text{organska faza})}{c(\text{vodena faza})}$$

Ekstrakcija je efikasna ako odabrani rastvarač (ekstrakciono sredstvo) dobro rastvara supstancu i ako je visok koeficijent raspodele. Efikasnost se može povećati ponavljanjem ekstrakcije.

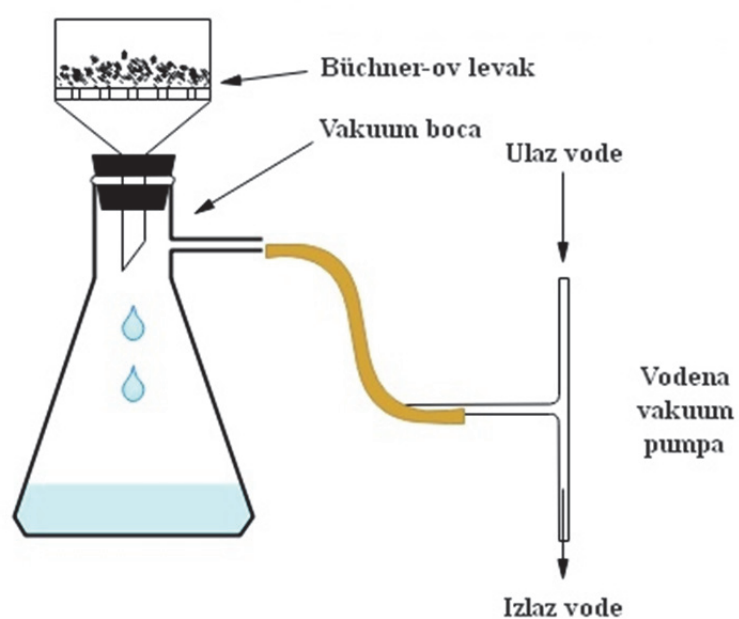
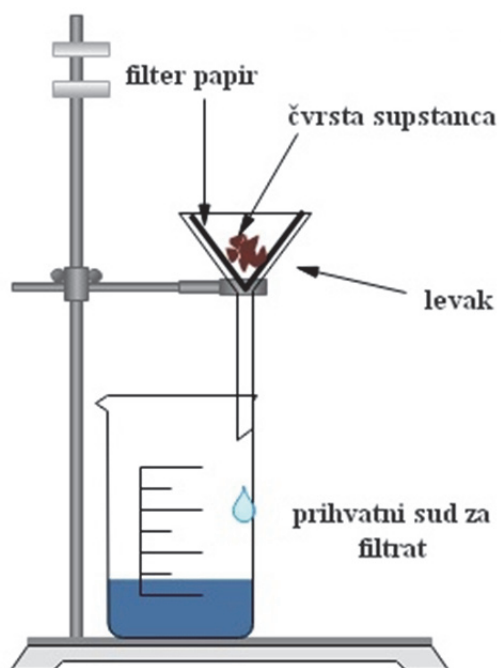
**Sublimacija.** Ova metoda prečišćavanja čvrstih supstanci zasniva se na osobini nekih supstanci da direktno prelaze iz čvrste faze u parnu fazu i na taj način ih odvajamo od supstanci koje nemaju ovu osobinu. Osobinu sublimacije imaju jedinjenja, između čijih molekula su prisutne veoma slabe Van der Walsove (Van der Waalsove) međumolekulske sile ( $I_2$ ).

# I laboratorijska vežba: Laboratorijski pribor i metode razdvajanja supstanci

## Ogled 1. Filtracija (cedenje)

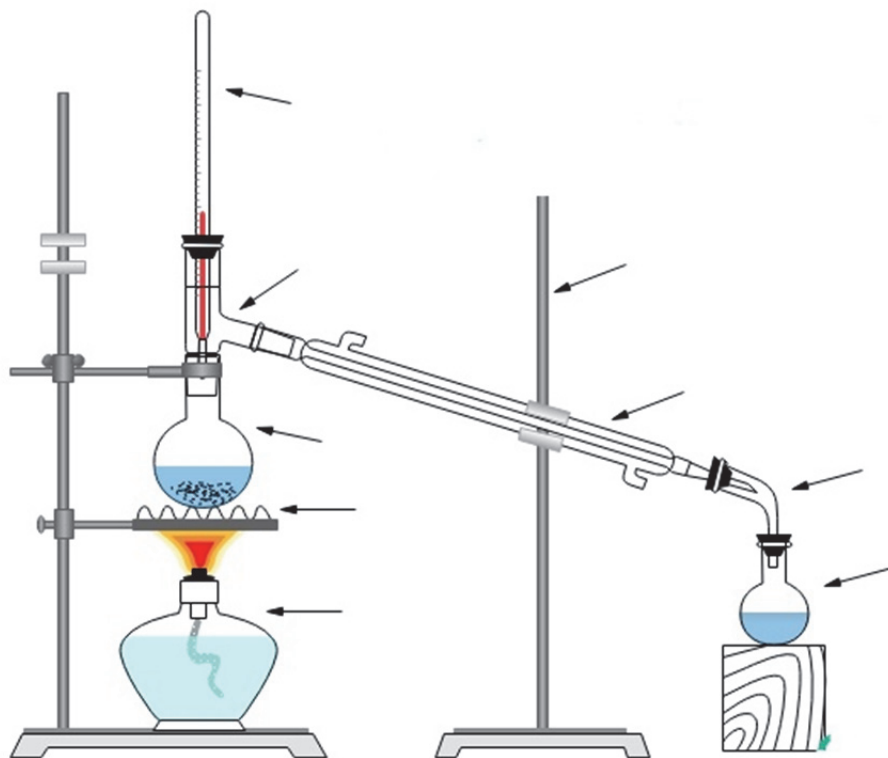
Odvojiti čestice pepela iz vode pomoću:

a) levka za filtriranje i b) Büchnerovog levka i vakuum (guč) boce.



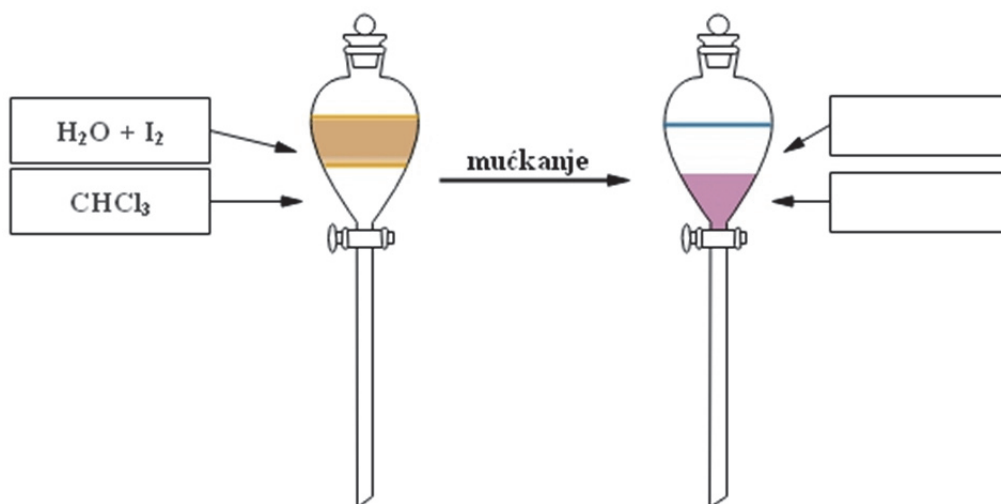
## Ogled 2. Destilacija

Sklopiti aparaturu za destilaciju pod atmosferskim pritiskom i na datoj šemi napisati nazive delova aparature. Destilisati vodeni rastvor plavog kamena ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ). Očitati temperaturu na kojoj destiliše voda.



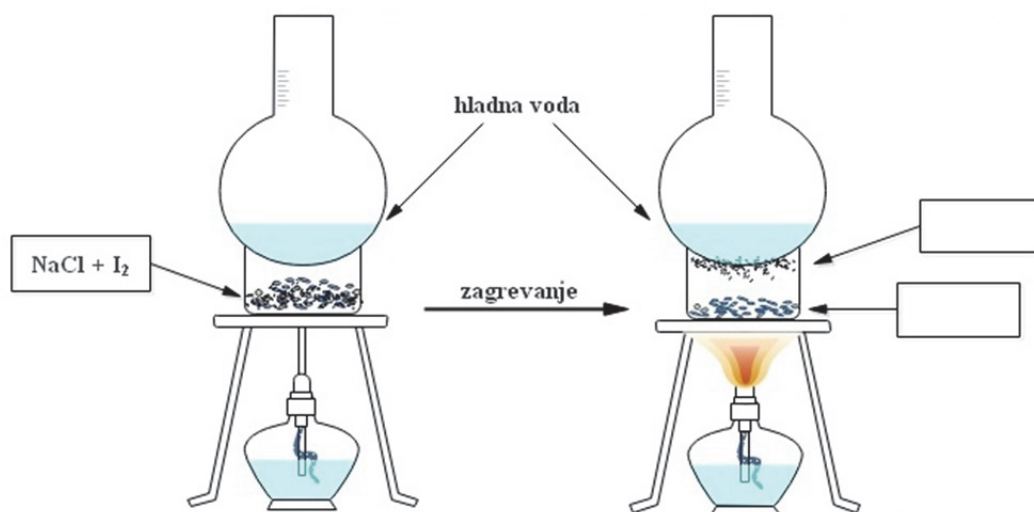
## Ogled 3. Ekstrakcija

Ekstrahovati jod iz vodenog rastvora pomoću hloroforma. Na datoj šemi napisati sastav faza nakon mućkanja.



#### **Ogled 4. Sublimacija**

Odvojiti kristale joda od kristala kuhinjske soli pomoću sublimacije. Na datoj šemi označiti razdvojene supstance.



**Overa asistenta:**

## 2.OPŠTA HEMIJA

### 2.1. OSNOVNI HEMIJSKI POJMOVI

Hemija, zajedno sa fizikom i biologijom, predstavlja fundamentalne prirodne nauke na kojima se zasnivaju sve ostale interdisciplinarne nauke i aplikativne (primenjene) discipline. Za hemiju se kaže da zauzima centralno mesto u sistemu prirodnih nauka jer izučava materiju na molekularnom nivou organizacije. Poznato je da materija postoji u prirodi u dva pojavna oblika:

- hemijska supstanca i
- fizičko polje (energija)

Hemiju možemo definisati kao nauku koja izučava supstance, njihov sastav i strukturu, kao i promene pri kojima dolazi do pretvaranja jednih supstanci u druge. Ove promene se nazivaju hemijske promene. Za razliku od hemijskih, pri fizičkim promenama supstanca ne menja svoj identitet već samo svoje energetske stanje (npr. fazni prelazi). U prirodi retko nailazimo na čiste supstance, već uglavnom na materijale koji se sastoje od većeg broja supstanci koje su izmešane među sobom. To su smeše. Tako, materijali u prirodi mogu biti u dva oblika:

- čista supstanca (hemijski element i jedinjenje)
- smeša (homogena i heterogena)

Hemijski element je prosta supstanca koja se hemijskim putem ne može razložiti na još prostije. Najsitnija čestica hemijskog elementa je atom. Svaki element sadrži atome iste vrste, tj. atome sa istim brojem protona u jezgru. Atom je u hemijskom smislu nedeljiv, iako je danas poznato da ima složenu unutrašnju strukturu.

Hemijsko jedinjenje je složena supstanca koja se hemijskim putem može razložiti na elemente. Najsitnija čestica hemijskog jedinjenja je molekul. Pored molekula koji se sastoje od različitih atoma-molekula hemijskih jedinjenja, postoje i molekuli koji se sastoje od istovrsnih atoma-molekuli hemijskih elemenata ( $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$  itd.). Jedan od važnijih zadataka hemije jeste dobijanje čistih supstanci iz smeša, o čemu će biti više reči kasnije.

#### 2.1.1. Hemijski simboli i periodni sistem elemenata

Svi do sada poznati elementi uglavnom nose međunarodna latinska imena. Međutim, neki narodi dali su izvesnom broju elemenata i narodna imena. Tako se kod nas *argentum* naziva srebro, a *plumbum* olovo. Hemijski elementi se simbolički označavaju upotrebom abecednih slova. Tako je simbol za sumpor (latinski naziv *sulfur*) S. Kod ostalih elemenata koji počinju istim slovom, dodaje se još po jedno slovo, npr. za selen (lat. *selenium*), Se. Svaki simbol označava taj element, a u kvantitativnom smislu jedan atom odnosno jedan mol atoma tog elementa.

Danas je poznato da je unutrašnja struktura atoma složena. U jezgru atoma, nalaze se pozitivno naelektrisane čestice protoni ( $p^+$ ) i neutroni ( $n^0$ ) koji se zajedničkim imenom zovu nukleoni. Njihov zbir približno određuje atomsku relativnu masu ( $A_r$ ) i predstavlja **maseni broj (A)**:

$$A = N(p^+) + N(n^0)$$

U elektronskom omotaču koji je slojevit, kreću se negativno naelektrisani elektroni ( $e^-$ ). S obzirom na to da je atom elektroneutralna čestica (kada nije jonizovan) broj protona i elektrona je jednak i određuje **atomski (redni broj), Z**:

$$Z = N(p^+) = N(e^-)$$

Broj neutrona se dobija kao razlika ova dva karakteristična broja:  $N(n^0) = A - Z$

**Primer 1:** Koji hemijski element ima atomski broj  $Z=11$ ? Ako je maseni broj ovog elementa  $A=23$ , odrediti broj  $e^-$ ,  $p^+$  i  $n^0$ .

**Odgovor:**

Poznato je da atomski (redni broj),  $Z$ , određuje broj protona i broj elektrona onda je jasno da ovaj hemijski element sadrži 11 protona u jezgru i 11 elektrona u elektronskom omotaču. Broj neutrona se određuje iz razlike masenog i atomskog broja.

$$N(p^+) = N(e^-) = Z = 11$$

$$N(n^0) = A - Z = 23 - 11 = 12$$

Pregledom periodnog sistema elementa (PSE) se vidi da se radi o hemijskom elementu natrijumu (Na).

Broj neutrona je varijabilan i nije karakteristična osobina elementa. Varijante istog elementa koje sadrže različit broj neutrona u jezgru zovu se **izotopi**. Tako na primer vodonik ima tri poznata izotopa:

- protijum  ${}^1_1H$  ( $1p^+$ ,  $0n^0$ , maseni broj je 1),
- deuterijum  ${}^2_1H$  ( $1p^+$ ,  $1n^0$ , maseni broj je 2) i
- tricijum  ${}^3_1H$  ( $1p^+$ ,  $2n^0$ , maseni broj je 3).

Hemijski elementi su svrstani u periodni sistem elemenata na osnovu svojih atomskih (rednih) brojeva.

Na *Slici 2.1* prikazan je takozvani sistem dugih perioda koji kao osnovu uzima elektronsku konfiguraciju elemenata. Struktura periodnog sistema elemenata zapravo predstavlja odraz **elektronske konfiguracije atoma** elemenata, odnosno rasporeda elektrona po energetske nivoima. Elementi su poredani po rastućem atomskom (rednom) broju, a svrstani su u vertikalne redove (grupe) i horizontalne redove (periode). Ukupno postoji 7 perioda što odgovara ukupnom broju energetskih nivoa u atomu. Postoji i 8 grupa što odgovara ukupnom broju elektrona na poslednjem energetskom nivou u atomu (tj. broju **valentnih elektrona**). U sistemu dugih perioda razlikujemo glavne grupe-A ogranak i sporedne grupe-B ogranak (u kojima se nalaze prelazni metali, tzv. d-elementi). Grupe se nekad označavaju i arapskim brojevima od 1-18. Takođe je često 8A grupa označena kao 0-ta.

**METALNI KARAKTER OPADA**

→

Metali  
 Metaloidi  
 Nemetali

**METALNI KARAKTER RASTE**

↓

|   |    |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |    |    |    |    |    |
|---|----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 1A |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |    | 18 | 8A |    |    |
| 1 | H  | 2  | 2A  |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |     |    |    |    |    | 10 | Ne |
| 2 | Li | 3  | 3A  | 4  | 4A  | 5  | 5A  | 6  | 6A  | 7  | 7A  | 8  | 8A  | 9  | 9A  | 10 | Ne |    |    |    |    |
| 3 | Na | 11 | 11A | 12 | 12A | 13 | 13A | 14 | 14A | 15 | 15A | 16 | 16A | 17 | 17A | 18 | Ar |    |    |    |    |
| 4 | K  | 19 | 19A | 20 | 20A | 21 | 21A | 22 | 22A | 23 | 23A | 24 | 24A | 25 | 25A | 26 | Kr |    |    |    |    |
| 5 | Rb | 37 | 37A | 38 | 38A | 39 | 39A | 40 | 40A | 41 | 41A | 42 | 42A | 43 | 43A | 44 | Xe |    |    |    |    |
| 6 | Cs | 55 | 55A | 56 | 56A | 57 | 57A | 58 | 58A | 59 | 59A | 60 | 60A | 61 | 61A | 62 | Rn |    |    |    |    |
| 7 | Fr | 87 | 87A | 88 | 88A | 89 | 89A | 90 | 90A | 91 | 91A | 92 | 92A | 93 | 93A | 94 |    |    |    |    |    |

|           |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| Lantanidi | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68  | 69  | 70  | 71  |
|           | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er  | Tm  | Yb  | Lu  |
| Aktinidi  | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 |
|           | Th | Pa | U  | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm  | Md  | No  | Lr  |

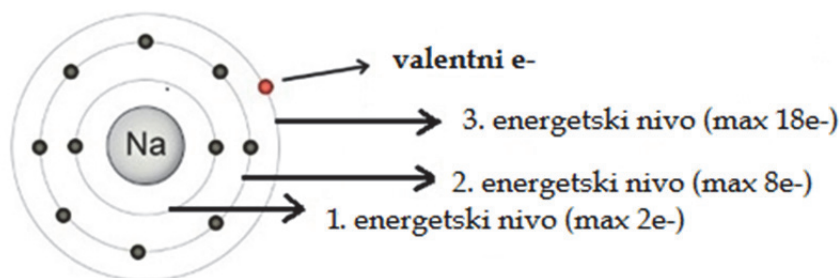
**Slika 2.1.** Periodni sistem elemenata-sistem dugih perioda.

U periodnom sistemu, metali se nalaze sa leve strane, nemetali sa desne, a između, gledano po dijagonali se nalaze metaloidi (B, Si, Ge, As, Sb, Te i At). O pravilu dijagonale biće više reči kod elektronegativnosti.

**Primer 2:** U kojoj grupi i periodu se nalazi element iz prethodnog primera? Napisati i šematski prikazati njegovu elektronsku konfiguraciju?

**Odgovor:** Pregledom PSE se vidi da se Na nalazi u prvoj grupi PSE i trećoj periodu PSE. To ukazuje sledeće:

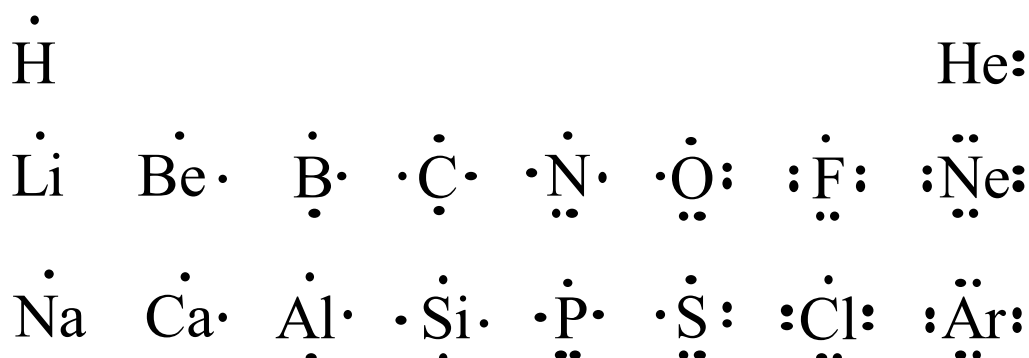
- da Na ima 1 valentni elektron (broj valentnih elektrona odgovara grupi u kojoj se taj element nalazi)
- da Na ima tri energetska nivoa na kom se nalaze elektroni
- elektronska konfiguracija Na je:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$



### 2.1.2. Pravilo okteta, hemijske veze, valenca i oksidacioni broj

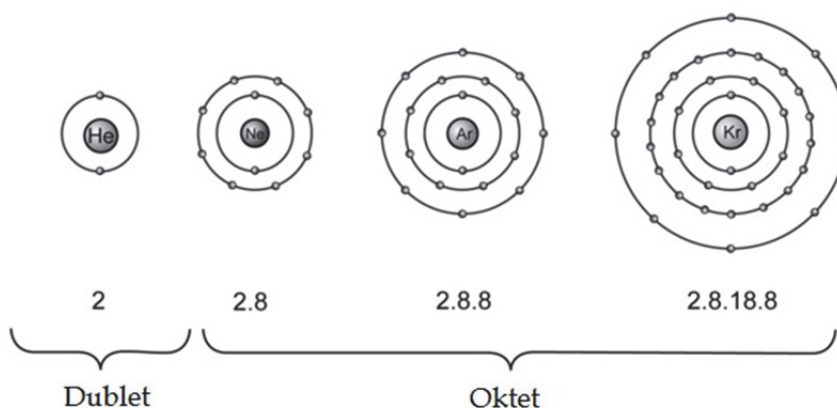
Nastanak većine jedinjenja moguće je objasniti na osnovu Elektronske teorije valence koju su postavili naučnici Lewis (Luis), Kossel (Kosl) i Langmuir (Lengmjur). Ova teorija na jednostavan način objašnjava nastajanje velikog broja strukturno vrlo razolikih jedinjenja. Prema ovoj teoriji, molekuli nastaju iz atoma angažovanjem

elektrona sa poslednjeg energetskog nivoa-valentnih elektrona. Luis je predložio da se valentni elektroni prikazuju tačkicama kao što je prikazano na *Slici 2.2*. Kao što se vidi na slici, valentni elektroni, kojih može biti maksimalno osam, prikazuju se u vidu tačkica, iznad, ispod, sa leve i desne strane u odnosu na simbol elementa. Pri tome treba voditi računa da se elektroni raspoređuju jedan po jedan, do četvrtog elektrona, pa se tek onda sparuju. Izuzetak je plemeniti gas helijum koji ima 2 sparena elektrona, tj. dublet.



**Slika 2.2.** Luis-ovi simboli hemijskih elemenata glavnih grupa u prve tri periode.

Težnja elemenata da hemijski reaguju gradeći jedinjenja uzrokovana je njihovom nestabilnošću. Tek međusobnim vezivanjem atoma nastaju stabilne strukture. Činjenica da jedinjenja plemenitih gasova (elemenata 8. grupe) dugo nisu bila poznata objašnjena je stabilnom elektronskom konfiguracijom njihovih atoma. Zbog toga su ovi elementi i dobili naziv plemeniti ili inertni gasovi. Ova stabilna konfiguracija predstavlja dublet ( $2e^-$ ) kod He, odnosno oktet ( $8e^-$ ) kod svih ostalih plemenitih gasova (*Slika 2.3*).



**Slika 2.3.** Stabilna elektronska konfiguracija plemenitih gasova, dublet kod He i oktet kod ostalih plemenitih gasova.

Hemijski elementi postižu stabilnu elektronsku konfiguraciju plemenitih gasova (dublet, odnosno oktet) stvaranjem hemijskih veza. U hemijskim vezama učestvuju valentni elektroni, a krajnji ishod je formiranje dubleta (okteta) kod svih atoma koji su reagovali. Ovo pravilo je poznato kao **pravilo okteta**. Oktet se može postići primanjem ili otpuštanjem elektrona (jonska veza) ili stvaranjem zajedničkih elektronskih parova (kovalentna veza).

**Valenca** je broj veza koje neki atom može graditi sa atomima vodonika (stvaran ili formalan broj hemijskih veza koje gradi ili može da gradi neki atom).

**Oksidacioni broj** je stvarno ili formalno naelektrisanje neke čestice do koga dolazi usled stvaranja hemijske veze.

### Valenca nije uvek isto što i oksidacioni broj!

Valenca se označava rimskim brojevima i nema predznak, a oksidacioni broj se označava arapskim brojevima i ima predznak +/- koji obavezno treba pisati. Valenca i oksidacioni broj se pišu iznad simbola elementa, za razliku od naelektrisanja jona koji se piše u desnom gornjem uglu u odnosu na simbol elementa.

U *Tabeli 2.1* vidi se da je maksimalna valenca nekog elementa određena brojem valentnih elektrona, što određuje ujedno i pripadnost odgovarajućoj grupi periodnog sistema elemenata. Za razliku od valence, oksidacioni broj ima odgovarajući predznak. Do 3. grupe periodnog sistema, elementi uglavnom imaju nepromenljiv oksidacioni broj u jedinjenjima. Međutim, od IV-VII grupe, elementi imaju promenljiva oksidaciona stanja, u zavisnosti sa kojim elementom reaguju. Maksimalna vrednost oksidacionog broja je određena brojem valentnih elektrona (odnosno grupom PSE), dok se minimalna vrednost određuje iz razlike broja valentnih elektrona i broja osam (oktet). U daljem tekstu ukratko će biti objašnjena jonska i kovalentna veza uključujući i koordinativnu vezu.

**Tabela 2.1.** Broj valentnih elektrona, maksimalna valenca, oksidacioni broj, formula karakterističnih oksida i hidrida elemenata glavnih grupa periodnog sistema.

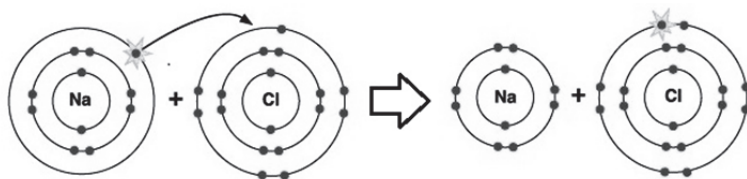
| Grupa                                  | I      | II     | III      | IV      | V        | VI      | VII      | VIII (0) |
|----------------------------------------|--------|--------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|
| Br. valentnih $e^-$                    | 1      | 2      | 3        | 4       | 5        | 6       | 7        | 8        |
| Maksimalna valenca                     | I      | II     | III      | IV      | V        | VI      | VII      | 0        |
| Oksidacioni broj                       | +1     | +2     | +3       | -4...+4 | -3...+5  | -2...+6 | -1...+7  | 0        |
| Formula oksida sa maksimalnom valencom | $E_2O$ | $EO$   | $E_2O_3$ | $EO_2$  | $E_2O_5$ | $EO_3$  | $E_2O_7$ | -        |
| Formula hidrida                        | $EH$   | $EH_2$ | $EH_3$   | $EH_4$  | $EH_3$   | $H_2E$  | $HE$     | -        |

### Jonska veza

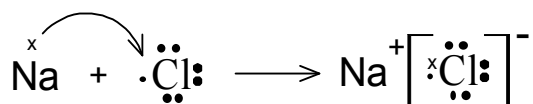
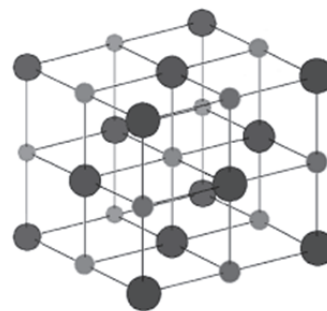
Jonska veza nastaje prelaskom jednog ili više elektrona sa jednog atoma na drugi. Ovako reaguju udaljeni elementi u periodnom sistemu među sobom, metali i nemetali. Na ovaj način se postiže stabilna konfiguracija najbližeg plemenitog gasa. Jedan atom otpušta elektrone i postaje pozitivno naelektrisan jon (katjon), a drugi atom prima otpuštene elektrone i postaje negativno naelektrisan jon (anjon). Nastali joni se međusobno privlače elektrostatičkim Kulonovim silama i na taj način stvaraju hemijsku vezu.

**Primer 3:** Objasniti nastajanje jonske veze kod natrijum-hlorida, kalcijum-hlorida i natrijum-sulfida pomoću Luisovih simbola i formula. Odrediti valencu i oksidacioni broj atoma u ovim jedinjenjima. Da li postoje izolovani molekuli NaCl i da li je jonska veza usmerena?

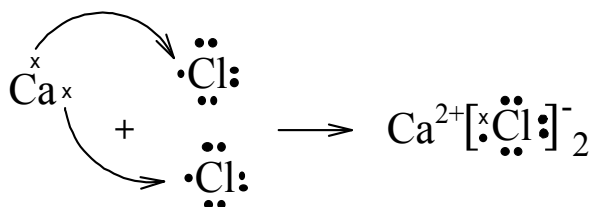
**Odgovor:**



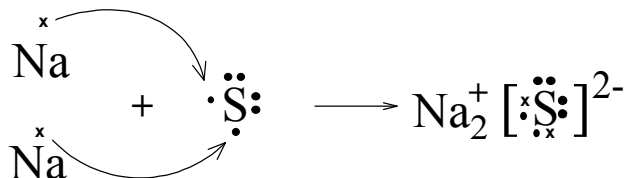
*atom metala otpušta elektron, a atom nemetala prima elektron*



- $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$  su joni, valenca Na i Cl je I, a oksidaciona stanja Na i Cl su +1 i -1
- Jonska veza nije usmerena jer se elektrostatičko privlačenje između jona proteže u sve tri prostorne dimenzije.



- $\text{Ca}^{2+}$  i  $\text{Cl}^-$  su joni, valenca Ca je II, Cl je I, a oksidaciono stanje Ca je +2 i Cl -1.



- $\text{Na}^+$  i  $\text{S}^{2-}$  su joni, valenca Na je I, S je II, a oksidaciono stanje Na je +1 i S -2.

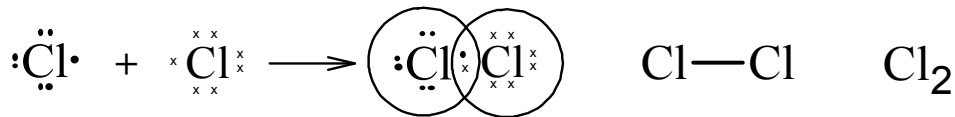
### Kovalentna veza

Kovalentna veza nastaje između dva atoma nemetala istih ili različitih elemenata. Prema Luisovoj teoriji kovalentna veza nastaje građenjem elektronskog para koji je zajednički za oba atoma. Elektronski parovi, dakle, istovremeno pripadaju i jednom i drugom atomu. Na ovaj način, oba atoma postižu oktet, tj. stabilnost najbližeg plemenitog gasa. Atomi tako zajednički stvaraju elektronsku konfiguraciju koja je stabilnija od elektronskih konfiguracija pojedinačnih atoma. Pravilo okteta striktno važi samo za elemente prve dve periode. Oktet može biti premašen kod elemenata viših perioda, u tzv. hipervalentnim jedinjenjima, koja takođe mogu biti stabilna ( $\text{PCl}_5$ ,  $\text{SF}_6$ , itd.).

Kovalentna veza može biti nepolarna (javlja se kod molekula elemenata, između istovrsnih atoma, npr.  $\text{H}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ , itd.) i polarna koja nastaje između različitih atoma nemetala u molekulima jedinjenja ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$  itd.).

**Primer 4:** Prikazati reakciju nastajanja kovalentne veze kod molekula hlora pomoću Luisovih simbola, prikazati strukturnu formulu molekula hlora i konačnu formulu. Koja je valenca i oksidacioni broj hlora u ovom molekulu?

***Odgovor:***



- Valenca hlora je I, a oksidacioni broj Cl je 0.

**Primer 5:** Prikazati reakciju nastajanja kovalentne veze kod molekula hlorovodonika pomoću Luisovih simbola, prikazati strukturnu formulu molekula hlorovodonika i konačnu formulu. Koja je valenca i oksidacioni broj hlora i vodonika u ovom molekulu?

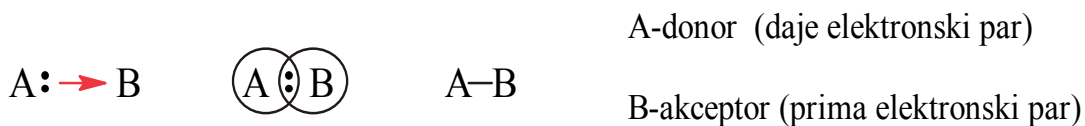
***Odgovor:***



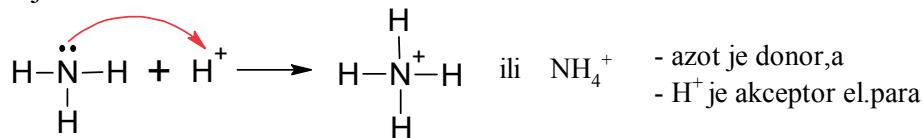
– Valenca H i Cl je I, a oksidaciono stanje +1 za H i -1 za Cl:  $\overset{+1}{\text{H}}\overset{-1}{\text{Cl}}$

### Koordinativna veza (koordinativno-kovalentna veza)

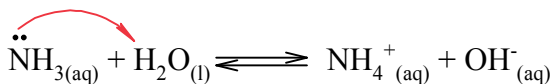
Koordinativna veza je poseban tip kovalentne veze, koja nastaje kada ceo deljeni elektronski par potiče od jednog atoma koji se zove donor i usmerava ga ka drugom atomu koji se zove akceptor:



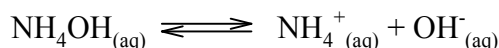
Koordinativna veza nastaje prema donorsko-akceptorskom mehanizmu. Suštinski, ne postoji razlika između koordinativne veze i „obične“ kovalentne veze. Jedina razlika je sam čin nastajanja koordinativne veze. Jedan od najpoznatijih primera koordinativne veze je veza koja nastaje između azotovog atoma amonijaka i vodonikovog jona kada nastaje amonijum-jon:



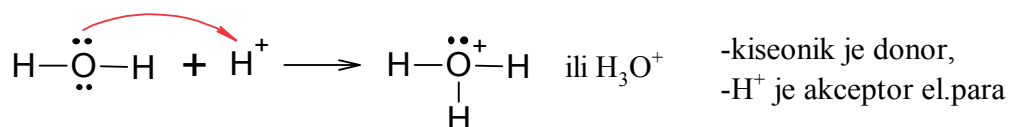
Kada se gasoviti amonijak uvodi u vodu dolazi do hemijske reakcije između amonijaka i vode. Tada nastaje amonijum jon i hidroksidni jon usled čega rastvor ima baznu reakciju:



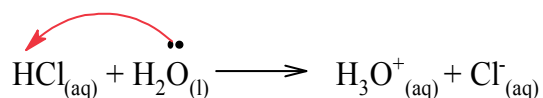
Obično se vodeni rastvor amonijaka naziva amonijum-hidroksid. Međutim, treba imati u vidu da amonijum-hidroksid ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) suštinski ne postoji kao posebna supstanca već samo vodeni rastvor koji sadrži amonijak i razdvojene i hidratizane jone  $\text{NH}_4^+_{(\text{aq})}$  i  $\text{OH}^-_{(\text{aq})}$ . Radi jednostavnosti, dozvoljeno je da se reakcija piše i na uprošćen način, imajući u vidu čisto simboličko značenje amonijum-hidroksida u njoj:



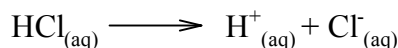
Na sličan način, kao i amonijum-jon, nastajanje hidronijum-jona može se objasniti stvaranjem koordinativne veze između kiseonika molekula vode i vodoničnog jona:



Hlorovodonična kiselina je vodeni rastvor hlorovodonika. Reakcija je uzrokovana vezivanjem vodonika iz molekula  $\text{HCl}$  za kiseonikov atom molekula vode koordinativnom vezom.



Reakcija se može prikazati i u pojednostavljenom obliku:



Pojam kiselina i baza je objašnjen u sažetom obliku u poglavlju 2.1.3. (27-33 str.), a detaljnije objašnjenje pomenutih reakcija biće dato u poglavlju 2.9. (75-79 str.).

Oznake (aq) i (l) označavaju rastvoreni (hidratizani oblik) i čistu tečnost (rastvarač). Gasoviti molekuli amonijaka i hlorovodonika se prvo rastvaraju u vodi i hidratiraju što se označava oznakom (aq), a tek potom dolazi do disocijacije na jone.

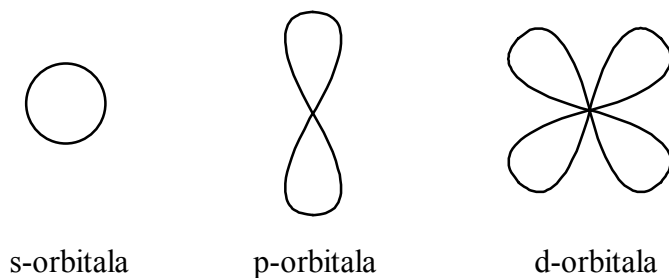
### Savremeno objašnjenje kovalentne veze i prostorne strukture molekula

Prema savremenom shvatanju strukture materije koje se bazira na kvantnoj mehanici, elektroni se u atomima i molekulima nalaze u orbitalama. Termin orbitala je uveden po analogiji sa terminom orbita (putanja). Za mikročestice poput elektrona ne mogu se utvrditi tačne putanje kretanja (usled Hajzenbergovog principa neodređenosti)<sup>1\*</sup>, već samo oblast prostora u kome je najveća verovatnoća nalaženja elektrona.

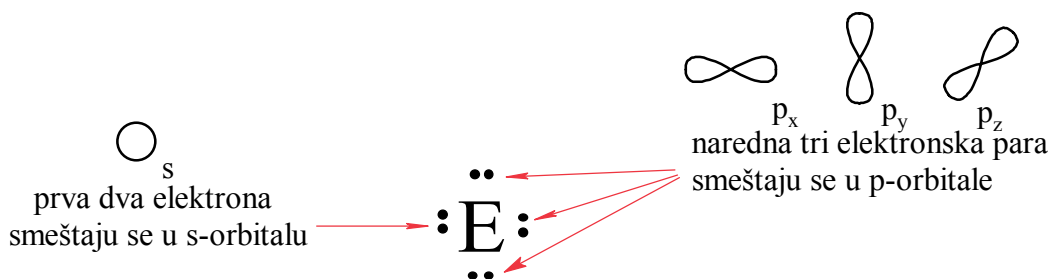
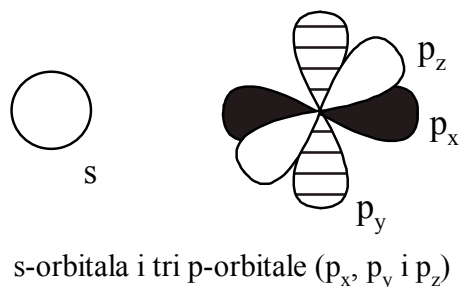
**Orbitala je oblast prostora oko atomskog jezgra gde je najveća verovatnoća nalaženja elektrona.**

Orbitale se razlikuju po veličini, obliku i energiji, a u svaku orbitalu mogu da se smeste najviše dva elektrona. Na šemi ispod prikazani su oblici s, p i d orbitala:

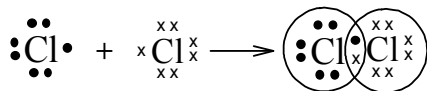
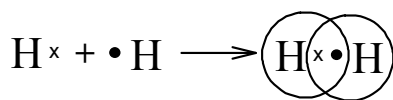
<sup>1\*</sup> Usled dvojne, čestično-talasne prirode, za elektron se ne može istovremeno odrediti položaj i brzina.



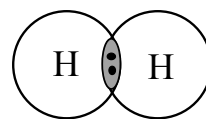
Kod elemenata glavnih grupa (Ia-VIIIa), valentni elektroni, kojih može da bude od 1-8, se raspoređuju u jednu s i tri p-orbitale pri čemu s-orbitala ima nižu energiju od p-orbitala. Na šemi ispod prikazane su s i tri p-orbitale koje su razmeštene duž x, y i z-osa ( $p_x$ ,  $p_y$  i  $p_z$ ).



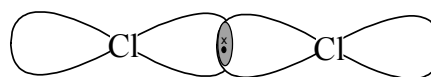
Prema teoriji valentne veze (TVV) kovalentna veza se objašnjava preklapanjem orbitala u kojima se nalaze valentni nespareni elektroni kada nastaju zajednički elektronski parovi-kovalentne veze. Tako se jednostruka veza između dva atoma vodonika tumači preklapanjem dve s-orbitale. Jednostruka veza između dva atoma hlora objašnjava se preklapanjem dve p-orbitale duž x-ose (koaksijalno) s obzirom da se valentni elektroni hlora nalaze u ovim orbitalama. Preklapanjem orbitala duž jedne ose nastaje prosta,  $\sigma$ -veza. Na šemama ispod prikazano je nastajanje molekula  $H_2$  i  $Cl_2$  pomoću Luisovih simbola i formula i pomoću teorije valentne veze:



Luisovi simboli i formule



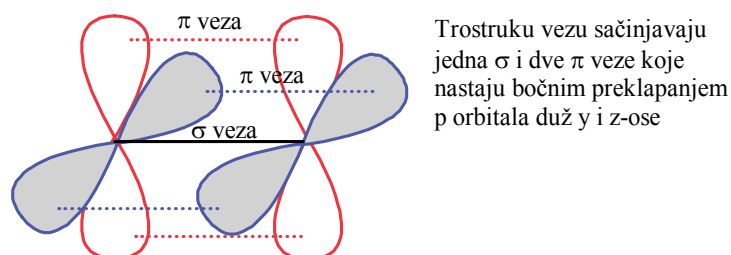
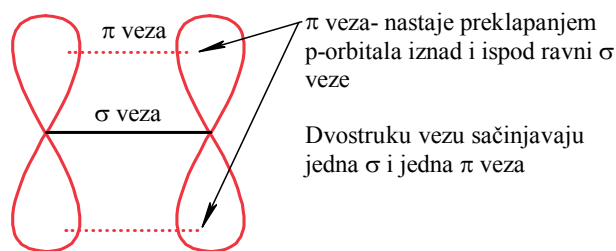
$\sigma_{s-s}$  veza



$\sigma_{p-p}$  veza

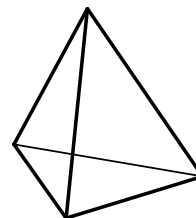
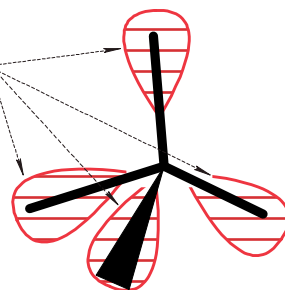
Šematski prikaz preklapanja orbitala (TVV)

Kod molekula sa dvostrukom ili trostrukom vezom, nakon nastajanja  $\sigma$ -veze, dolazi do bočnog preklapanja p-orbitala kada nastaju sekundarne  $\pi$ -veze (kod molekula  $O_2$ ,  $N_2$ , nezasićenih organskih jedinjenja itd.).

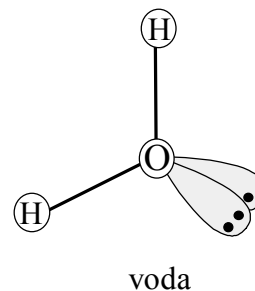
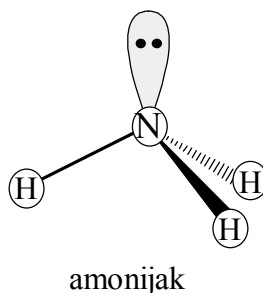
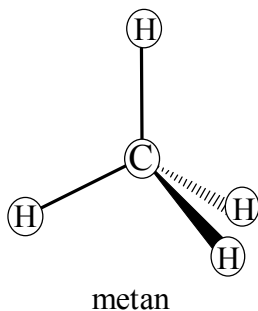


Kod molekula vode, amonijaka i metana, pre nastanka hemijskih veza dolazi do mešanja s i p-orbitala (hibridizacije) kada nastaju potpuno ekvivalentne orbitale po obliku i energiji. Usled odbijanja, one zauzimaju piramidalni oblik čime se objašnjava prostorna struktura pomenutih molekula.

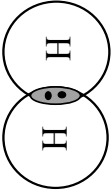
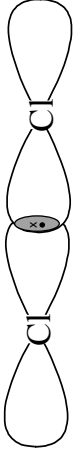
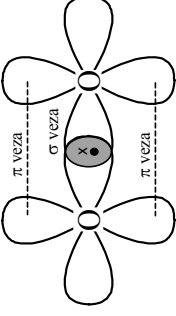
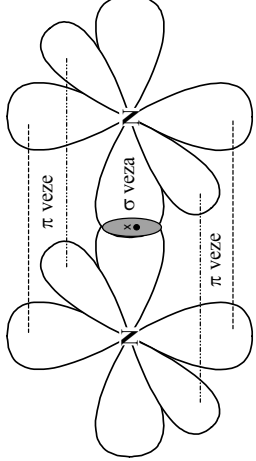
Četiri energetski ekvivalente orbitale nastale mešanjem (hibridizacijom) jedne s i tri p-orbitale ( $4 sp^3$  hibridne orbitale) usmerene ka temenima piramide



Kod molekula metana četiri veze sa vodonikom su ekvivalentne, pa valencioni ugao (ugao između hemijskih veza) odgovara onom u pravilnom tetraedru ( $109^\circ 28'$ ). Kod molekula amonijaka i vode, valencioni ugao je nešto manji usled prisustva nevezanih elektronskih parova u orbitalama koje su veće (voluminoznije) tako da utiču na smanjenje valencionog ugla. U Tabeli 2.2 prikazano je nastajanje odabranih molekula pomoću Luisovih simbola i formula kao i pomoću teorije valentne veze (TVV).



**Tabela 2.2.** Prikaz molekula pomoću Luisovih formula i teorije valentne veze (preklapanjem orbitala).

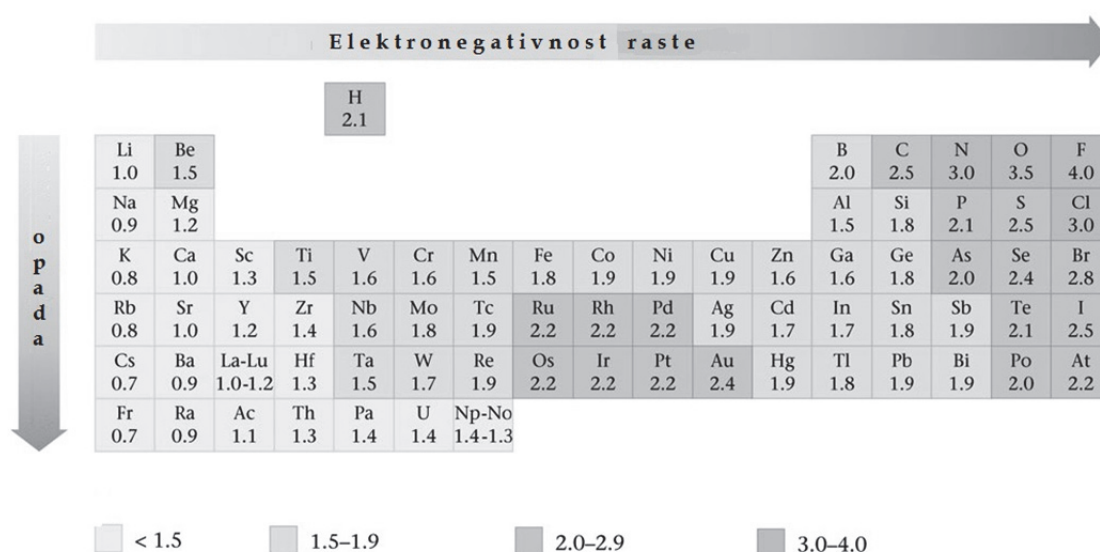
| Molekulska formula | Nastanak molekula prikazan Luisovim simbolima i formulama                                                               | Luisova struktura          | Nastanak molekula prikazan TVV (preklapanjem orbitala)                                                                     |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| H <sub>2</sub>     | $\text{H}^{\times} + \bullet\text{H} \longrightarrow \text{H}^{\times} \bullet \text{H}$                                | $\text{H} - \text{H}$      |  $\sigma_{\text{s-s}}$ veza               |
| Cl <sub>2</sub>    | $\text{Cl}^{\times} \bullet + \text{Cl}^{\times} \bullet \longrightarrow \text{Cl}^{\times} \bullet \text{Cl}^{\times}$ | $\text{Cl} - \text{Cl}$    |  $\sigma_{\text{p-p}}$ veza               |
| O <sub>2</sub>     | $\text{O}^{\times} \bullet + \text{O}^{\times} \bullet \longrightarrow \text{O}^{\times} \bullet \text{O}^{\times}$     | $\text{O} = \text{O}$      |  $\sigma_{\text{p-p}}$ i jedna $\pi$ veza |
| N <sub>2</sub>     | $\text{N}^{\times} \bullet + \text{N}^{\times} \bullet \longrightarrow \text{N}^{\times} \bullet \text{N}^{\times}$     | $\text{N} \equiv \text{N}$ |  $\sigma_{\text{p-p}}$ i dve $\pi$ veze  |
| HCl                | $\text{H}^{\times} + \bullet\text{Cl}^{\times} \longrightarrow \text{H}^{\times} \bullet \text{Cl}^{\times}$            | $\text{H} - \text{Cl}$     |  $\sigma_{\text{s-p}}$ veza             |



## Elektronegativnost

Elementi koji pokazuju veću težnju da u hemijskim reakcijama gube svoje elektrone predstavljaju elektropozitivne elemente kao što su izraziti metali (IA i IIA grupa). Sa druge strane izraziti nemetali (VIA i VIIA grupe), pokazuju težnju da primaju elektrone zbog čega predstavljaju elektronegativne elemente. Prema Paulingu (Polingu), elektronegativnost predstavlja relativnu sposobnost atoma nekog elementa da u molekulu privlači zajedničke elektrone iz kovalentne veze. Pauling je dao tablicu elektronegativnosti elemenata gde je svakom elementu pripisan odgovarajući koeficijent elektronegativnosti (*Slika 2.4*).

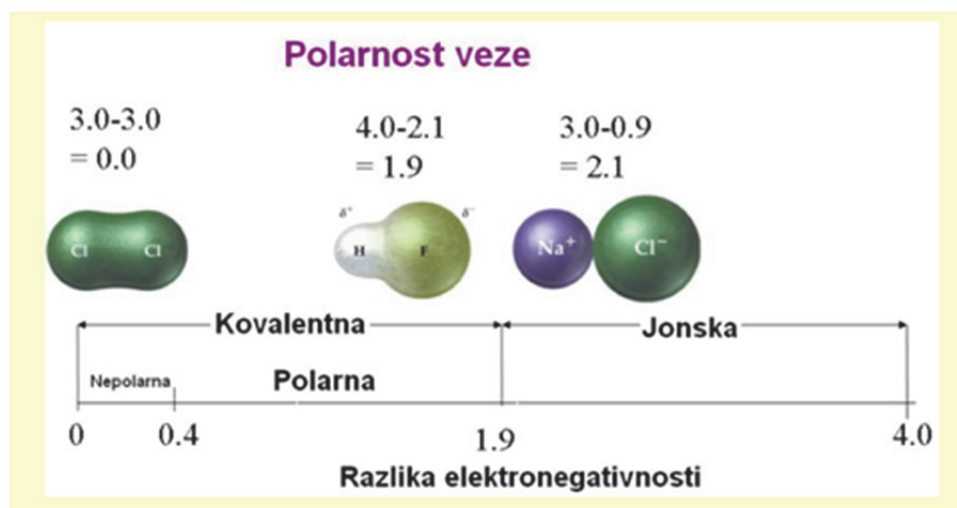
Prema Paulingu, najveću elektronegativnost ima element fluor, zbog male zapremine svojih atoma i njemu je pripisana najveća elektronegativnost ( $\chi = 4,0$ ). Najmanju elektronegativnost, tj. najveću elektropozitivnost imaju cezijum i francijum ( $\chi = 0,7$ ) zato što imaju najveću atomsku zapreminu.



**Slika 2.4.** Koeficijenti elektronegativnosti elemenata periodnog sistema prema Paulingu.

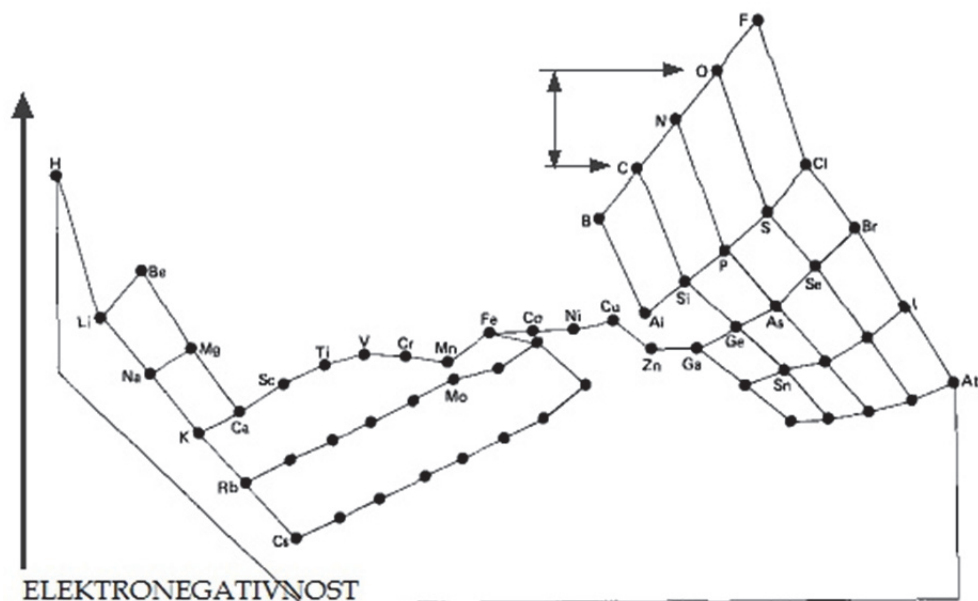
Kao što se vidi na *Slici 2.4* elektronegativnost raste u periodi sleva nadesno, a u grupi opada odozgo nadole. Najelektropozitivniji element (F) i najelektronegativniji elementi (Cs i Fr) nalaze se na suprotnim stranama periodnog sistema gledano po dijagonali. Ovo pravilo se stoga zove "pravilo dijagonale". Na osnovu pravila dijagonale lako je predvideti koji element će biti pozitivan, a koji negativan kod stvaranja hemijskih veza. Element koji je pozicioniran više desno i iznad u periodnom sistemu od partnera u reakciji biće negativan i obrnuto. Na osnovu razlika u elektronegativnosti može se predvideti i karakter hemijske veze između dva elementa (*Slika 2.5* i *Slika 2.6*):

- $\Delta\chi > 1,9$  jonska veza
- $\Delta\chi \leq 1,9$  polarna kovalentna veza
- $\Delta\chi = 0$  nepolarna kovalentna veza



**Slika 2.5.** Zavisnost karaktera hemijske veze na osnovu razlika u elektronegativnosti.

Elektronegativnost vodonika je 2,1 tako da je oksidaciono stanje vodonika +1 u hidridima nemetala, dok je u metalnim hidridima -1 (npr. NaH ili KH).



**Slika 2.6.** Grafički prikaz promena elektronegativnosti u PSE u skladu sa pravilom dijagonale.

### 2.1.3. Oksidi, kiseline, baze i soli

Osnovne grupe neorganskih jedinjenja su oksidi, kiseline, baze i soli. Za ova jedinjenja kažemo da su povezana genetskom vezom jer nastaju jedna iz drugih u toku odvijanja osnovnih hemijskih procesa kao što su oksidacija, redukcija, analiza i sinteza. Na primer, svi elementi se na sobnoj ili povišenoj temperaturi oksidišu u atmosferi kiseonika i daju okside. Daljom reakcijom oksida i vode nastaju kiseline i baze (to su

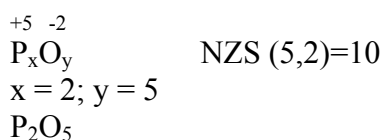
reakcije sinteze), a međusobnom reakcijom kiselina i baza nastaju soli (reakcije neutralizacije). Jedinjenja kiseonika sa nekim elementom zovu se oksidi. U oksidima, kiseonik je uvek **-2** sem u oksidu fluora (OF<sub>2</sub>). Oksidacioni broj kiseonika u vodonik-peroksidu (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) i peroksidima je -1.

#### Podela oksida:

- **neutralni** (CO, NO...); ne reaguju sa vodom
- **kiseli** (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>...); u reakciji sa vodom daju kiseline
- **bazni** (Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, MgO, CaO...); u reakciji sa vodom daju baze
- **amfoterni** (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnO, PbO...); u reakciji sa vodom daju amfoterne hidrokside koji se ponašaju i kao kiseline i kao baze

**Primer 1:** Napisati formulu fosfor(V)-oksida.

**Odgovor:**

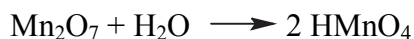
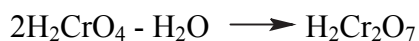
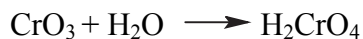
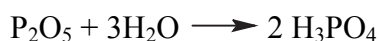
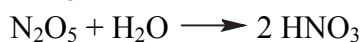
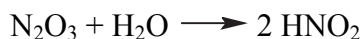
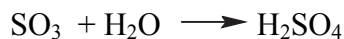
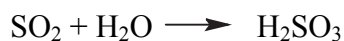
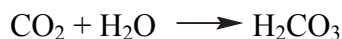


**Primer 2:** Napisati formule azot-monoksida, azot-dioksida i azot-trioksida. Koja su oksidaciona stanja azota u ovim primerima? Napisati nazive ovih oksida ukazujući na valencu azota.

**Odgovor:**

NO – azot(II)-oksid; N je +2  
NO<sub>2</sub> – azot(IV)-oksid; N je +4  
N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – azot(III)-oksid; N je +3

**Kiseline nastaju u reakciji kiselih oksida i vode.** Za kiseline je karakteristično prisustvo atoma vodonika koje kiseline otpuštaju u vodenim rastvorima kao **H<sup>+</sup>** (vodonični jon ili proton).

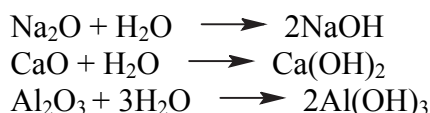


Pored navedenih kiselina koje sadrže kiseonik (kiseonične kiseline, *Tabela 2.4*) postoje i tzv. bezkiseonične kiseline: HCl, H<sub>2</sub>S itd. koje nastaju rastvaranjem hidrida nekih nemetala u vodi.

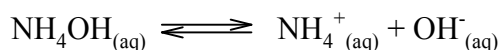
**Tabela 2.4.** Podela kiselina.

| <b>Jednobazne kiseline ili monoprotonske kiseline (1H)</b> | <b>Dvobazne kiseline ili diprotonske kiseline (2H)</b> | <b>Trobazne kiseline ili triprotonske kiseline (3H)</b> |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| HCl                                                        | H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                         | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>                          |
| HNO <sub>2</sub>                                           | H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>                         |                                                         |
| HNO <sub>3</sub>                                           | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                         |                                                         |
|                                                            | H <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>                        |                                                         |

**Baze (hidroksidi) nastaju u reakciji baznih oksida i vode. Baze sadrže hidroksidni (OH<sup>-</sup>) jon** (*Tabela 2.5*).



Amonijum-hidroksid (NH<sub>4</sub>OH) je baza koja nastaje reakcijom amonijaka i vode (str. 20-21). NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - amonijum jon je analogan katjonu K<sup>+</sup> zbog sličnog atomskog radijusa.



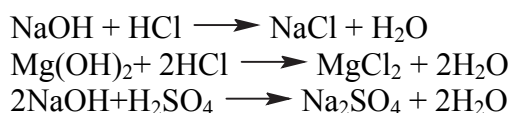
Amfoterni hidroksidi mogu da reaguju i kao kiseline i kao baze:

Al(OH)<sub>3</sub> = H<sub>3</sub>AlO<sub>3</sub> i Zn(OH)<sub>2</sub> = H<sub>2</sub>ZnO<sub>2</sub> \* Pogledati 79. i 152. str. gde je objašnjena amfoternost i ravnoteže u rastvorima amfoternih hidroksida.

**Tabela 2.5.** Podela baza.

| <b>Jednokisele baze (1 -OH)</b> | <b>Dvokisele baze (2 -OH)</b> | <b>Trokisele baze (3 -OH)</b> |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| NaOH                            | Ca(OH) <sub>2</sub>           | Al(OH) <sub>3</sub>           |
| KOH                             | Mg(OH) <sub>2</sub>           |                               |
| LiOH                            | Ba(OH) <sub>2</sub>           |                               |
| NH <sub>4</sub> OH              | Zn(OH) <sub>2</sub>           |                               |

**Soli nastaju u reakciji neutralizacije kada nastaju so i voda:**



**Soli mogu biti neutralne, kisele i bazne** (*Tabela 2.6*). Kisele soli npr., nastaju nepotpunom neutralizacijom kiselina. Sledeće reakcije prikazuju nastajanje jona koji ulaze u sastav kiselih i neutralnih soli:



$\text{H}_2\text{PO}_4^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HPO}_4^{2-}$  .....sekundarne soli fosforne kiseline sadrže hidrogen-fosfat jon

$\text{HPO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{PO}_4^{3-}$  .....tercijarne soli fosforne kiseline sadrže fosfat jon

**Tabela 2.6.** Kiselinski ostaci fosforne kiseline i odgovarajuće soli.

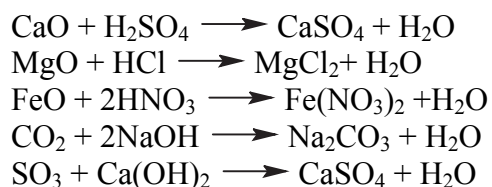
| Kiselinski ostatak:       | $\text{Na}^+$             | $\text{Mg}^{2+}$                     | $\text{Al}^{3+}$                     |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ | $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ | $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ | $\text{Al}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$ |
| $\text{HPO}_4^{2-}$       | $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ | $\text{MgHPO}_4$                     | $\text{Al}_2(\text{HPO}_4)_3$        |
| $\text{PO}_4^{3-}$        | $\text{Na}_3\text{PO}_4$  | $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$         | $\text{AlPO}_4$                      |

Sufiks latinskog naziva kiseline tj. soli određen je oksidacionim stanjem nemetala:

- $\text{H}_2\text{S}^{2-}$  – **sulfidna** kiselina (sumporvodonična kis.);  $\text{S}^{2-}$  (**sulfid**-jon);  
 $\text{Na}_2\text{S}$  (natrijum-sulfid)
- $\text{H}_2\text{SO}_3^{2-}$  – **sulfitna** kiselina (sumporasta kis.);  $\text{SO}_3^{2-}$  (**sulfit**-jon);  
 $\text{Na}_2\text{SO}_3$  (natrijum-sulfit)
- $\text{H}_2\text{SO}_4^{2-}$  – **sulfatna** kis. (sumporna);  $\text{SO}_4^{2-}$  (**sulfat**-jon);  
 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (natrijum-sulfat)

Pored klasične reakcije neutralizacije kada soli nastaju reakcijom kiselina i baza, soli mogu da se dobiju:

- ✓ direktnom reakcijom baznih oksida (oksida metala) sa kiselinama ili kiselih oksida (oksida nemetala) sa bazama:



- ✓ direktnom reakcijom metala sa kiselinama<sup>2\*</sup> (reakcija proste izmene ili reakcija istiskivanja):



- ✓ reakcijom između metala i soli u vodenom rastvoru<sup>2\*</sup> (reakcija proste izmene):



- ✓ reakcijom dvaju soli kada dolazi do zamene jona (reakcija dvostruke izmene):



<sup>2\*</sup>Pogledati stranu 114, Redoks reakcije metala

**Tabela 2.7.** Pregled nomenklature oksida nemetala, kiselina i soli.

| Ele-<br>ment | Oksid                                   | Naziv<br>oksida         | Formula<br>kiselina                        | Naziv kiseline                                | Kiselinski<br>ostatak                       | M <sup>+1</sup>                                                                  | Soli<br>M <sup>+2</sup>                                                                       | M <sup>+3</sup>                                                                                 |
|--------------|-----------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C            | +2 -2<br>CO                             | Ugljenik (II)-<br>oksid | -                                          | -                                             | Naelektrisanje<br>jona! ↓                   | -                                                                                | -                                                                                             | -                                                                                               |
|              | +4 -2<br>C O <sub>2</sub>               | Ugljenik<br>(IV)-oksid  | Ugljena ili<br>karbonatna kiselina         | Ugljena ili<br>karbonatna kiselina            | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>               | NaHCO <sub>3</sub><br>Na-hidrogen<br>karbonat<br>ili 1° Na-karbonat              | Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub><br>Mg-hidrogen karbonat ili<br>1° Mg-karbonat              | Al(HCO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub><br>Al-hidrogen<br>karbonat<br>ili 1° Al-karbonat             |
|              | +3 -2<br>N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | Azot(III)-<br>oksid     | +1+3-2<br>HNO <sub>2</sub>                 | Azotasta ili nitritna<br>kiselina             | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>               | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub><br>Na- karbonat ili<br>2° Na-karbonat            | Mg CO <sub>3</sub><br>Mg- karbonat ili<br>2° Mg-karbonat                                      | Al <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub><br>Al- karbonat ili<br>2° Al-karbonat           |
| N            | +5 -2<br>N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | Azot(V)-<br>oksid       | +1+5-2<br>HNO <sub>3</sub>                 | Azotna ili nitratna<br>kiselina               | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>                | NaNO <sub>2</sub><br>Na-nitrit                                                   | Mg(NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub><br>Mg-nitrit                                                | Al(NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub><br>Al-nitrit                                                  |
|              |                                         |                         |                                            |                                               | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                | NaNO <sub>3</sub><br>Na-nitrat                                                   | Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub><br>Mg-nitrat                                                | Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub><br>Al-nitrat                                                  |
| P            | +5 -2<br>P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | Fosfor(V)-<br>oksid     | +1 +5 -2<br>H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Fosforna<br>ili<br>fosfatna kiselina          | H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub><br>Na-dihidrogen<br>fosfat ili<br>1° Na- fosfat | Mg(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub><br>Mg-dihidrogen fosfat ili<br>1° Mg- fosfat | Al(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub><br>Al-dihidrogen<br>fosfat ili<br>1° Al-fosfat |
|              |                                         |                         |                                            |                                               | HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>              | Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub><br>Na-hidrogen fosfat<br>ili 2° Na- fosfat      | MgHPO <sub>4</sub><br>Mg-hidrogen fosfat ili<br>2° Mg- fosfat                                 | Al <sub>2</sub> (HPO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub><br>Al-hidrogen fosfat<br>ili 2° Al-fosfat      |
|              |                                         |                         |                                            |                                               | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>               | Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub><br>Na-fosfat ili<br>3° Na- fosfat                | Mg <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub><br>Mg-fosfat ili<br>3° Mg- fosfat             | AlPO <sub>4</sub><br>Al- fosfat ili<br>3° Al-fosfat                                             |
| Cl           | --                                      | --                      | +1-1<br>HCl                                | Hlorovodonična ili<br>hloridna kis.           | Cl <sup>-</sup>                             | NaCl<br>Na-hlorid                                                                | MgCl <sub>2</sub><br>Mg- hlorid                                                               | AlCl <sub>3</sub><br>Al- hlorid                                                                 |
| Mn           | +7 -2<br>Mn <sub>2</sub> O <sub>7</sub> | Mangan<br>(VII)-oksid   | +1 +7 -2<br>HMnO <sub>4</sub>              | Permanganova ili<br>permanganatna<br>kiselina | MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>               | NaMnO <sub>4</sub><br>Na-permanganat                                             | Mg(MnO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub><br>Mg-permanganat                                          | Al(MnO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub><br>Al-permanganat                                            |

| Ele-<br>ment | Oksid            | Naziv<br>oksida      | Formula<br>kiseline    | Naziv kiseline                           | Kiselinsk<br>i ostatak | Soli                                                |                                                         |
|--------------|------------------|----------------------|------------------------|------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|              |                  |                      |                        |                                          |                        | $M^{+1}$                                            | $M^{+2}$ $M^{+3}$                                       |
| S            | --               | --                   | +1 -2<br>$H_2S$        | Sumporvodonična ili<br>sulfidna kiselina | $HS^-$                 | $NaHS$<br>Na-hidrogen sulfid ili<br>1° Na-sulfid    | $Mg(HS)_2$<br>Mg-hidrogen sulfid ili<br>1° Mg-sulfid    |
|              |                  |                      |                        |                                          | $S^{2-}$               | $Na_2S$<br>Na- sulfid ili<br>2° Na-sulfid           | $MgS$<br>Mg- sulfid ili<br>2° Mg-sulfid                 |
|              | +4 -2<br>$SO_2$  | Sumpor(IV)-<br>oksid | +1 +4 -2<br>$H_2SO_3$  | Sumporasta ili sulfitna<br>kiselina      | $HSO_3^-$              | $NaHSO_3$<br>Na-hidrogen sulfit<br>ili 1° Na-sulfit | $Mg(HSO_3)_2$<br>Mg-hidrogen sulfit<br>ili 1° Mg-sulfit |
|              |                  |                      |                        |                                          | $SO_3^{2-}$            | $Na_2SO_3$<br>Na- sulfit ili<br>2° Na-sulfit        | $MgSO_3$<br>Mg- sulfit ili<br>2° Mg-sulfit              |
|              |                  |                      |                        |                                          | $HSO_4^-$              | $NaHSO_4$<br>Na-hidrogen sulfat<br>ili 1° Na-sulfat | $Mg(HSO_4)_2$<br>Mg-hidrogen sulfat<br>ili 1° Mg-sulfat |
|              |                  |                      |                        |                                          | $SO_4^{2-}$            | $Na_2SO_4$<br>Na- sulfat ili<br>2° Na-sulfat        | $MgSO_4$<br>Mg- sulfat ili<br>2° Mg-sulfat              |
| Cr           | +6 -2<br>$CrO_3$ | Hrom(VI)-<br>oksid   | +1 +6 -2<br>$H_2CrO_4$ | Hromna ili hromatna<br>kiselina          | $CrO_4^{2-}$           | $Na_2CrO_4$<br>Na- hromat ili<br>2° Na- hromat      | $MgCrO_4$<br>Mg- hromat ili<br>2° Mg- hromat            |
|              |                  |                      |                        | Dihromna ili<br>dihromatna kiselina      | $Cr_2O_7^{2-}$         | $K_2Cr_2O_7$<br>K-dihromat                          | $MgCr_2O_7$<br>Mg-dihromat                              |

**Tabela 2.8.** Pregled nomenklature oksida metala i hidroksida.

| ELE-<br>MENT | OKSID                                   | NAZIV OKSIDA      | FORMULA<br>HIDROKSIDA<br>A | NAZIV<br>HIDROKSIDA      | ELE-<br>MENT | OKSID                                   | NAZIV OKSIDA           | FORMULA<br>HIDROKSIDA | NAZIV<br>HIDROKSIDA       |
|--------------|-----------------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------|--------------|-----------------------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Na           | +1 -2<br>Na <sub>2</sub> O              | natrijum-oksidi   | NaOH                       | natrijum-<br>hidroksid   | Cu           | +1 -2<br>Cu <sub>2</sub> O              | bakar(I)-<br>oksidi    | CuOH *                | bakar(I)-<br>hidroksid    |
| Mg           | +2 -2<br>MgO                            | magnezijum-oksidi | Mg(OH) <sub>2</sub>        | magnezijum-<br>hidroksid |              | +2 -2<br>CuO                            | bakar(II)-<br>oksidi   | Cu(OH) <sub>2</sub>   | bakar(II)-<br>hidroksid   |
| Ca           | +2 -2<br>CaO                            | kalcijum-oksidi   | Ca(OH) <sub>2</sub>        | kalcijum-<br>hidroksid   | Ag           | +1 -2<br>Ag <sub>2</sub> O              | srebro-oksidi          | AgOH **               | srebro-hidroksid          |
| Al           | +3 -2<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | aluminijum-oksidi | Al(OH) <sub>3</sub>        | aluminijum-<br>hidroksid | Fe           | +2 -2<br>FeO                            | gvožđe(II)-<br>oksidi  | Fe(OH) <sub>2</sub>   | gvožđe(II)-<br>hidroksid  |
| Zn           | +2 -2<br>ZnO                            | cink-oksidi       | Zn(OH) <sub>2</sub>        | cink-hidroksid           |              | +3 -2<br>Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | gvožđe(III)-<br>oksidi | Fe(OH) <sub>3</sub>   | gvožđe(III)-<br>hidroksid |
| Cr           | +3 -2<br>Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | hrom(III)-oksidi  | Cr(OH) <sub>3</sub>        | hrom(III)-<br>hidroksid  | N            | -                                       | -                      | NH <sub>4</sub> OH    | amonijum-<br>hidroksid    |

\*Hidroksid jednovalentnog bakra je hipotetički hidroksid što znači da ne može da se izoluje zbog svoje nestabilnosti. Vezivanjem OH<sup>-</sup> jona za Cu<sup>+</sup> dolazi ujedno do dehidratacije kada nastaje daleko stabilniji molekul Cu(I)-oksida: 2CuOH → Cu<sub>2</sub>O + H<sub>2</sub>O

\*\* Hidroksid jednovalentnog srebra je veoma nestabilan i spontano se razlaže usled dehidratacije: 2AgOH → Ag<sub>2</sub>O + H<sub>2</sub>O

## 2.2. SI JEDINICE U HEMIJI. POJAM MOLA

Do 1960. godine kada je usvojen međunarodni sistem mera, SI-jedinice, u prirodnim naukama i tehnici su se koristila dva merna sistema: CGS sistem (centimetar-gram-sekunda) i MKS sistem (metar-kilogram-sekunda). CGS sistem se najčešće koristio u prirodnim naukama, a MKS-sistem u tehnici. Usvajanjem SI jedinica svaka fizička veličina dobila je samo jednu jedinicu, te su uklonjene postojeće razlike u izražavanju fizičkih veličina. Od decembra 1980. godine upotreba SI jedinica je u Jugoslaviji obavezna.

Međunarodni sistem mera SI predviđa upotrebu sedam osnovnih i veći broj izvedenih fizičkih veličina. Novo-uvodena fizička veličina za **količinu supstance mol** je od izvanredne važnosti u hemiji.

**Mol predstavlja onu količinu supstance koja sadrži toliki broj elementarnih jedinki (atoma, molekula jona, elektrona ili drugih čestica) koliko ima atoma u 0,012 kg (12 g) ugljenikovog izotopa  $^{12}\text{C}$ . Taj broj se naziva Avogadrov broj označava se  $N_A$  ili  $L$  i iznosi  $6,023 \cdot 10^{23}$ .**

Prema tome broj elemenarnih čestica u 1 molu supstance je konstantan i iznosi  $6,023 \cdot 10^{23}$  bez obzira na vrstu elementarne čestice. Tako je broj vodonikovih atoma u 1 molu atoma vodonika jednak broju kiseonikovih atoma u 1 molu atoma kiseonika ili broju atoma ugljenika u jednom molu  $^{12}\text{C}$  i iznosi  $6,023 \cdot 10^{23}$ .

**Tabela 2.9.** Osnovne fizičke veličine i njihove SI jedinice.

| Fizička veličina              |        | Oznaka SI-jedinica |        |
|-------------------------------|--------|--------------------|--------|
| Naziv fizičke veličine        | Simbol | Naziv              | Simbol |
| Dužina                        | $l$    | metar              | m      |
| Masa                          | $m$    | kilogram           | kg (g) |
| Vreme                         | $t$    | sekunda            | s      |
| Jačina električne struje      | $I$    | amper              | A      |
| Termodinamička temperatura    | $T$    | kelvin             | K      |
| Jačina (intenzitet) svetlosti | $I_v$  | kandela            | cd     |
| Količina supstance            | $n$    | mol                | mol    |

Osim navedenih SI jedinica i SI jedinica koje se iz njih izvode naš zakon dozvoljava upotrebu sledećih jedinica koje nisu u sklopu SI-jedinica.

- a) Litar  $l$  - jedinica za zapreminu:  $1\ l = 1\ \text{dm}^3$
- b) Unificirana jedinica mase ili unificirana atomska jedinica  $u$ , - jedinica za masu atoma  $m_a$ :

$$u = \frac{1}{12} m_a(^{12}\text{C})$$

**Po definiciji unificirana jedinica mase,  $u$ , jednaka je jednoj dvanaestini mase atoma ugljenika izotopa 12.** Može se izraziti osnovnom SI-jedinicom tako da je njena masa jednaka

$$m_a = 1,66056 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$$

- c) Celzijusov stepen  $^{\circ}\text{C}$ :

$$t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15\text{K}$$

U hemiju je 1961. godine uvedena savremena definicija relativne atomske mase koja glasi: **Relativna atomska masa ( $A_r$ ) nekog elementa je broj koji pokazuje koliko je puta srednja masa atoma  $m_a$  izotopske smeše elementa, veća od 1/12 mase ugljenikovog izotopa  $^{12}\text{C}$  tj. mase unificirane atomske jedinice**

$$A_r = \frac{m_a}{m_u} = \frac{\text{masa atoma u kg}}{1,66056 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}$$

**Pored relativne atomske mase definisana je i relativna molekulska masa ( $M_r$ ), kao broj koji pokazuje koliko je puta masa molekula veća od 1/12 mase atoma ugljenikovog izotopa  $^{12}\text{C}$  tj. mase unificirane atomske jedinice.**

$$M_r = \frac{m_f}{u} = \frac{\text{masa molekula u kg (formulska masa)}}{1,66056 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}$$

Relativna molekulska masa vode čiji se molekul sastoji od 2 atoma vodonika i 1 atoma kiseonika jednaka je:  $2 \cdot A_r(\text{H}) + A_r(\text{O}) = 2 \cdot 1,008 + 15,999 = 18,015$ . Ona nam pokazuje da je masa molekula vode 18 puta veća od 1/12 mase ugljenikovog izotopa  $^{12}\text{C}$  tj. mase unificirane atomske jedinice.

**Pojam molarne mase ( $M$ ) se takođe često koristi u hemiji i predstavlja masu jednog mola čestica ili elementarnih jedinki i može se izraziti odnosom mase ( $m$ ) i količine ( $n$ ) posmatrane supstance.**

$$M = \frac{m}{n}$$

Molarna ili molska masa ima osnovnu SI jedinicu u kg/mol ali se uobičajeno izražava u g/mol.

Mase 1 mola (molarne mase) različitih supstanci su različite i zavise od vrste supstance. Molarna masa 1 mola kiseonikovih atoma (O) je 15,999 g/mol, dok masa 1 mola kiseonikovih molekula ( $\text{O}_2$ ) iznosi  $2 \cdot 15,999 \text{ g/mol} = 31,998 \text{ g/mol}$ . Molarna masa 1 mola atoma vodonika (H) iznosi 1,008 g/mol, a molarna masa 1 mola molekula vodonika ( $\text{H}_2$ )  $2 \cdot 1,008 \text{ g/mol} = 2,016 \text{ g/mol}$ .

Ako imamo supstancu određene mase  $m(\text{g})$  čija je molarna masa ( $M$ ) poznata, možemo izračunati broj mola ( $n$ ) date supstance

$$n = \frac{m}{M} = \frac{\text{g}}{\frac{\text{g}}{\text{mol}}} = \frac{\text{g} \cdot \text{mol}}{\text{g}} = \text{mol}$$

U hemiji se umesto osnovnih SI jedinica obično upotrebljavaju manje jedinice, na primer umesto kg koristi se g. Zbog toga je važno znati pravilno preračunati jedinice i koristiti prefikse jedinica (*Tabela 2.10*).

**Tabela 2.10.** Prefiksi SI jedinica.

| PREFIKS | OZNAKA | ZNAČENJE                           |
|---------|--------|------------------------------------|
| tera    | T      | 1 000 000 000 000 ili $10^{12}$    |
| giga    | G      | 1 000 000 000 ili $10^9$           |
| mega    | M      | 1 000 000 ili $10^6$               |
| kilo    | k      | 1 000 ili $10^3$                   |
|         |        | 1                                  |
| deci    | d      | 1/10 ili $10^{-1}$                 |
| centi   | c      | 1/100 ili $10^{-2}$                |
| mili    | m      | 1/1 000 ili $10^{-3}$              |
| mikro   | $\mu$  | 1/1 000 000 ili $10^{-6}$          |
| nano    | n      | 1/1 000 000 000 ili $10^{-9}$      |
| piko    | p      | 1/1 000 000 000 000 ili $10^{-12}$ |

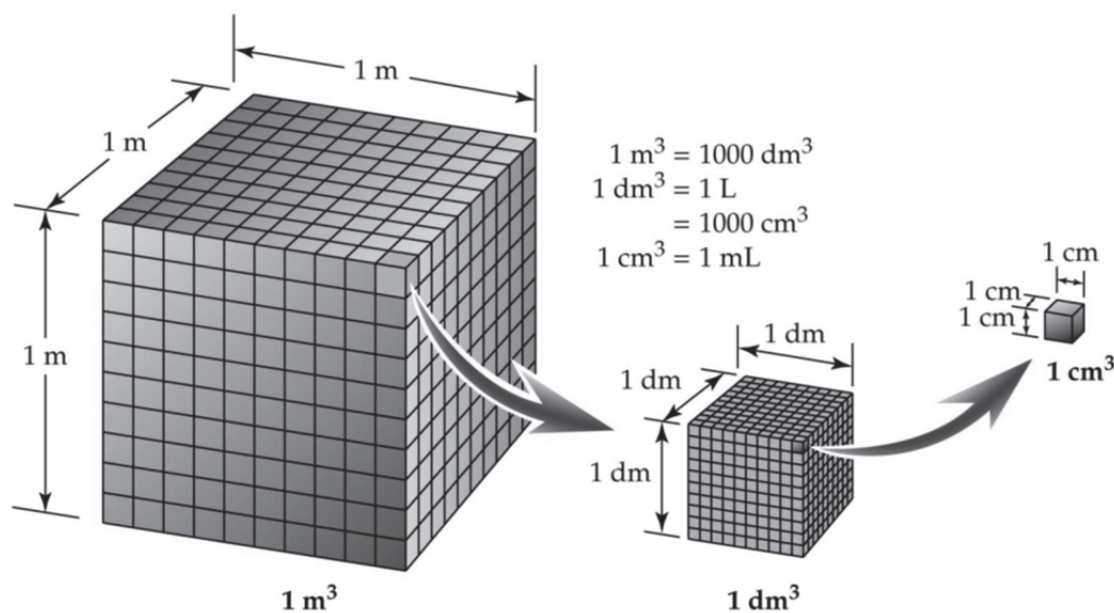
Osnovna SI jedinica za zapreminu je metar kubni ( $\text{m}^3$ ), ali u hemiji se radi sa znatno manjim zapreminama, kao što su centimetar kubni ( $\text{cm}^3$ ) i decimetar kubni ( $\text{dm}^3$ ):

$$1 \text{ cm}^3 = (1 \cdot 10^{-2} \text{ m})^3 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ dm}^3 = (1 \cdot 10^{-1} \text{ m})^3 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Drugo, često se kao jedinica za zapreminu koristi litar (l). Litar je zapremina koja zauzima jedan decimetar kubni nekog prostora. Zapremina od jedne litre jednaka je zapremini od 1000 mililitara (ml) ili 1000 centimetara kubnih ( $\text{cm}^3$ ):

$$\begin{aligned} 1 \text{ l} &= 1000 \text{ ml} \\ &= 1000 \text{ cm}^3 \\ &= 1 \text{ dm}^3 \end{aligned}$$



**Primer 1:** Preračunati date jedinice za zapreminu u  $\text{dm}^3$ .

**Odgovor:**

$$1 \text{ cm}^3 = (1 \text{ cm})^3 = (10^{-1} \text{ dm})^3 = (10^{-1})^3 (\text{dm})^3 = 10^{-3} \text{ dm}^3$$
$$1 \text{ ml} = 10^{-3} \text{ l} = 10^{-3} \text{ dm}^3$$

Jedan mililitar je jednak jednom kubnom centimetru.

**Primer 2:** Preračunati 2,3 ng, 5,8  $\mu\text{g}$  i 4,2 mg u g.

**Odgovor:**

$$2,3 \text{ ng} = 2,3 \cdot 10^{-9} \text{ g} \quad \text{jer je } 1 \text{ ng} = 10^{-9} \text{ g}$$

$$5,8 \mu\text{g} = 5,8 \cdot 10^{-6} \text{ g} \quad \text{jer je } 1 \mu\text{g} = 10^{-6} \text{ g}$$

$$4,2 \text{ mg} = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ g} \quad \text{jer je } 1 \text{ mg} = 10^{-3} \text{ g}$$

**Primer 3:** Preračunati date izvedene jedinice u  $\text{mol/dm}^3$ .

**Odgovor:**

$$1 \text{ mol/cm}^3 = 1 \cdot \left( \frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ cm}^3} \right) = \left( \frac{1 \text{ mol}}{(10^{-1} \text{ dm})^3} \right) = \left( \frac{1 \text{ mol}}{10^{-3} \text{ dm}^3} \right) = 10^3 \text{ mol/dm}^3$$

Iz ovog primera se vidi da kada pretvaramo jedinicu iz  $\text{mol/cm}^3$  u  $\text{mol/dm}^3$  potrebno je da broj pomnožimo sa 1000. Obrnuto, kada pretvaramo  $\text{mol/dm}^3$  u  $\text{mol/cm}^3$  potrebno je da broj podelimo sa 1000.

$$0,2 \cdot 10^{-6} \text{ mol/cm}^3 = 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3 = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$1 \mu\text{mol/cm}^3 = 1 \cdot \left( \frac{1 \mu\text{mol}}{1 \text{ cm}^3} \right) = \left( \frac{10^{-6} \text{ mol}}{(10^{-1} \text{ dm})^3} \right) = \left( \frac{10^{-6} \text{ mol}}{10^{-3} \text{ dm}^3} \right) = 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

U poslednjem primeru bilo je potrebno srediti jedinice i u brojiocu i u imeniocu. Mikromol ( $\mu\text{mol}$ ) je million puta manji od mola ( $10^6 \text{ mol}$ ), a jedan  $\text{cm}^3$  je 1000 puta manji od jednog  $\text{dm}^3$  ( $10^3 \text{ dm}^3$ ). Skraćivanjem razlomka dobija se rešenje.

**Primer 4:** Preračunati date izvedene jedinice u  $\text{g/dm}^3$ .

**Odgovor:**

$$1 \text{ g/cm}^3 = 1 \cdot \left( \frac{1 \text{ g}}{1 \text{ cm}^3} \right) = \left( \frac{1 \text{ g}}{(10^{-1} \text{ dm})^3} \right) = \left( \frac{1 \text{ g}}{10^{-3} \text{ dm}^3} \right) = 10^3 \text{ g/dm}^3$$

$$88 \text{ ng/cm}^3 = 88 \cdot \left( \frac{1 \text{ ng}}{1 \text{ cm}^3} \right) = 88 \cdot \left( \frac{10^{-9} \text{ g}}{(10^{-1} \text{ dm})^3} \right) = 88 \cdot \left( \frac{10^{-9} \text{ g}}{10^{-3} \text{ dm}^3} \right) = 88 \cdot 10^{-6} \text{ g/dm}^3$$

$$40 \text{ mg/m}^3 = 40 \cdot \left( \frac{1 \text{ mg}}{1 \text{ m}^3} \right) = 40 \cdot \left( \frac{10^{-3} \text{ g}}{(10 \text{ dm})^3} \right) = 40 \cdot \left( \frac{10^{-3} \text{ g}}{10^3 \text{ dm}^3} \right) = 40 \cdot 10^{-6} \text{ g/dm}^3$$

## II računska vežba: Zadaci u vezi sa masom i količinom supstance. Proporcije u hemiji

**Zadatak 1:** Izračunati molekulske relativne mase vode, sumpor(IV)-oksida, sulfatne kiseline.

**Postupak rešavanja:** Iz periodnog sistema elemenata nalazimo da su atomske relativne mase za vodonik, kiseonik i sumpor:  $Ar(H) = 1,0$ ;  $Ar(O) = 16,0$  i  $Ar(S) = 32,1$ . Stoga su tražene molekulske relativne mase:

$$\begin{aligned}Mr(H_2O) &= 2Ar(H) + Ar(O) = \\Mr(SO_2) &= Ar(S) + 2Ar(O) = \\Mr(H_2SO_4) &= 2Ar(H) + Ar(S) + 4Ar(O) =\end{aligned}$$

**Zadatak 2:** Data je masa magnezijuma,  $m = 30,2$  g. Molarna masa  $M(Mg) = 24,3$  g/mol. Izračunati broj molova magnezijuma.

**Postupak rešavanja:** Unosom datih podataka u formulu  $n = \frac{m}{M}$ , dobijamo rezultat izražen u molovima:

$$\begin{aligned}m &= 30,2 \text{ g} \\M(Mg) &= 24,3 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

$$n = \frac{30,2 \text{ g}}{24,3 \text{ g}} =$$

**Zadatak 3:** Koliko se nalazi atoma Ag u 0,74 mol Ag?

**Postupak rešavanja:** Imajući u vidu da su količina supstance i broj čestica te supstance povezane preko Avogadrove konstante ( $N_A$ ), zadatak se rešava direktnom primenom te formule.

$$\begin{aligned}n(\text{Ag}) &= 0,74 \text{ mol} \\N_A &= 6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \\n &= \frac{N}{N_A}\end{aligned}$$

$$N = n \cdot N_A =$$

**Zadatak 4:** Koliki je broj molekula u 1 g vode?

**Postupak rešavanja:**

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ g}$$

$$N(\text{H}_2\text{O}) = ?$$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = Mr(\text{H}_2\text{O}) \cdot \text{g/mol} = 18 \text{ g/mol}$$

$$N(\text{H}_2\text{O}) = N_A \cdot n(\text{H}_2\text{O}) =$$

$$n = \frac{m}{M} \rightarrow n(\text{H}_2\text{O}) =$$

**Zadatak 5:** Koliku masu izraženu u  $\mu\text{g}$  ima  $6 \cdot 10^{17}$  molekula  $\text{CO}_2$ ?

**Postupak rešavanja:**

$$N(\text{CO}_2) = 6 \cdot 10^{17}$$

$$m(\text{CO}_2) = ? \mu\text{g}$$

$$Ar(\text{O}) = 16$$

$$Ar(\text{C}) = 12$$

$$M(\text{CO}_2) = Mr(\text{CO}_2) \cdot \text{g/mol} = 44 \text{ g/mol}$$

$$n(\text{CO}_2) = \frac{N(\text{CO}_2)}{N_A} =$$

$$m(\text{CO}_2) = M(\text{CO}_2) \cdot n(\text{CO}_2) =$$

$$m(\text{CO}_2) =$$

**Zadatak 6:** Izmerena je masa od 12,3 g NaOH. Kolika je to količina supstance?

**Postupak rešavanja:**

$$m(\text{NaOH}) = 12,3 \text{ g}$$

$$n(\text{NaOH}) = ?$$

$$M(\text{NaOH}) =$$

$$n = \frac{m}{M} \rightarrow n(\text{NaOH}) =$$

**Zadatak 7:** Gde ima više jona: u 5 g NaCl ili u 5 g FeCl<sub>3</sub>?

**Postupak rešavanja:**

### ***Upotreba proporcije u hemijskim izračunavanjima***

**Zadatak 8:** Koji broj atoma Na i S se nalazi u 2 mola Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>?

**Postupak rešavanja:**

$$n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 2 \text{ mol}$$

$$N(\text{Na}) = ?$$

$$N(\text{S}) = ?$$

$$\text{Proporcija-količinski odnos: } \frac{n(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{n(\text{Na})} = \frac{1}{2}$$

$$n(\text{Na}) = 2 \cdot n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 2 \cdot 2 \text{ mol} = 4 \text{ mol}$$

$$N(\text{Na}) = N_A \cdot n(\text{Na}) =$$

$$\text{Proporcija-količinski odnos: } \frac{n(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{n(\text{S})} = \frac{1}{1}$$

$$n(\text{S}) = n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 2 \text{ mol}$$

$$N(\text{S}) = N_A \cdot n(\text{S}) =$$

**Zadatak 9:** Koja masa Na i S se nalazi u 5 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ?

**Postupak rešavanja:**

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 5 \text{ g}$$

$$m(\text{Na}) = ?$$

$$m(\text{S}) = ?$$

$$Mr(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 2Ar(\text{Na}) + Ar(\text{S}) + 4Ar(\text{O}) = 2 \cdot 23 + 32,1 + 4 \cdot 16 = 142,1$$

$$M(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 142,1 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Na}) = 23 \text{ g/mol}; M(\text{S}) = 32,1 \text{ g/mol}$$

$$\text{Proporcija-maseni odnos: } \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{m(\text{Na})} = \frac{M(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{2M(\text{Na})}$$

$$m(\text{Na}) = \frac{2M(\text{Na}) \cdot m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{M(\text{Na}_2\text{SO}_4)} =$$

$$\text{Proporcija-maseni odnos: } \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{m(\text{S})} = \frac{M(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{M(\text{S})}$$

$$m(\text{S}) = \frac{M(\text{S}) \cdot m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{M(\text{Na}_2\text{SO}_4)} =$$

**Zadatak 10:** Izračunati procentni sadržaj (maseni udeo)\* kiseonika i ugljenika u ugljenik (IV)-oksidu.

**Postupak rešavanja:**

Formula ugljenik(IV)-oksida je  $\text{CO}_2$ .

$$\omega(\text{C}) = ?, \omega(\text{O}) = ?$$

$$Ar(\text{C}) = 12, Ar(\text{O}) = 16$$

$$M(\text{CO}_2) = [Ar(\text{C}) + 2Ar(\text{O})] \text{ g/mol} = (12 + 2 \cdot 16) \text{ g/mol} = 44 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{O}) = Ar(\text{O}) \text{ g/mol} = 16 \text{ g/mol}$$

$$\text{Proporcija-procentni sadržaj: } \frac{m(\text{CO}_2)}{m(\text{O})} = \frac{M(\text{CO}_2)}{2M(\text{O})} = \frac{100\%}{X\%}$$

$$X\% (\text{O}) = \omega(\text{O}) = \frac{2 \cdot 16 \text{ g/mol} \cdot 100\%}{44 \text{ g/mol}} = \quad \%$$

$$\text{Proporcija-procentni sadržaj: } \frac{M(\text{CO}_2)}{M(\text{C})} = \frac{100\%}{X\%}$$

$$X\% (\text{C}) = \omega(\text{C}) =$$

$$\text{Provera: } \omega(\text{C}) + \omega(\text{O}) = 100\%$$

\*Maseni udeo ( $\omega$ ) je definisan u poglavlju 2.5. -rastvori (str. 50)

**Overa asistenta:**

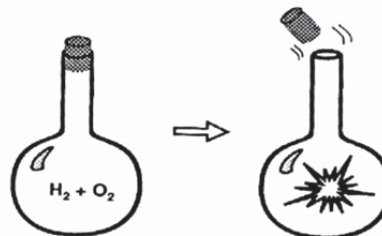
## 2.3.TERMOHEMIJA

Prilikom odvijanja hemijskih reakcija dešavaju se energetske promene prilikom kojih se može oslobađati ili apsorbovati energija. Termohemija proučava energetske promene koje se dešavaju tokom odvijanja hemijske reakcije.

Prvi zakon termodinamike glasi: “Energija se ne može uništiti niti stvoriti, već samo može da menja svoj oblik. Energija je konzervirana.”

Sistem (izolovani deo svemira koji posmatramo) izmenjuje energiju sa okolinom na dva načina kao toplotu i kao rad. Količina toplote ( $Q$ ), dovedena izolovanom sistemu, jednim delom povećava njegovu unutrašnju energiju ( $\Delta U$ ), a drugi deo se pretvara u rad protiv spoljašnjih sila ( $A$ ).

$$Q = \Delta U + A$$



Kako se većina reakcija odvija na konstantnom pritisku (npr. u otvorenim sudovima u laboratoriji), toplotna energija koja se razmenjuje između sistema i okoline pri konstantnom pritisku se naziva **entalpija** i obeležava se sa  **$H$** . Entalpija ( **$H$** ) predstavlja toplotni sadržaj i predstavlja zbir unutrašnje energije ( $U$ ) i proizvoda pritiska i zapremine (rad).

$$H = U + p \cdot V$$

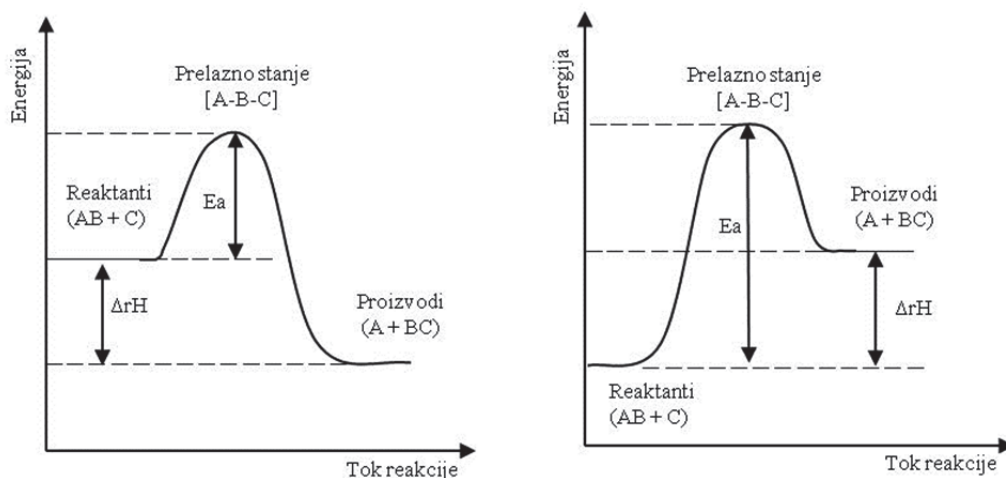
Apsolutnu vrednost entalpije nije moguće meriti već samo njenu promenu

$$\Delta H = \Delta(U + pV)$$

Ako je pritisak konstantan sledi

$$\Delta H = \Delta U + p\Delta V$$

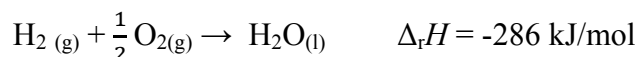
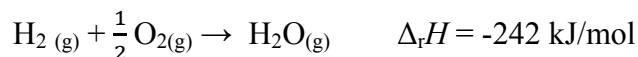
Takođe, za veliku većinu hemijskih reakcija proizvod  $p\Delta V$  (rad) je vrlo mali, pa je promena entalpije približno jednaka promeni unutrašnje energije. U **egzotermnim reakcijama dolazi do oslobađanja toplote, a u endotermnim toplota se apsorbuje iz okoline. Za egzotermne reakcije promena  $H$  je manja od nule ( $\Delta H < 0$ ), a za endotermne reakcije promena  $H$  je veća od nule ( $\Delta H > 0$ ) (Slika 2.7).**



**Slika 2.7.** Grafički prikaz promene entalpije sistema kod egzotermne (grafikon levo) i endotermne reakcije (grafikon desno)

Na slici 2.7. je prikazan tok endotermne i egzotermne reakcije koji uključuje formiranje takozvanog “prelaznog stanja” za čije postizanje je potrebno uložiti početnu energiju-tzv. energiju aktivacije ( $E_a$ ) kako bi se reaktanti preveli u proizvode reakcije.

**Termohemijske jednačine** su hemijske jednačine koje sadrže podatke o toplotnom efektu hemijske reakcije. Kod ovih reakcija je naznačeno agregatno stanje svih učesnika u reakciji (**l** (liquid) – tečno, **s** (solid) – čvrsto, **g** (gas) – gas, **aq** (aqueous) – vodeni rastvor) kao i pritisak i temperatura. Prikazane su dve termohemijske jednačine sa naznačenim **toplotnim efektima reakcija** (entalpija reakcije ili toplota reakcije,  $\Delta_r H$ ):

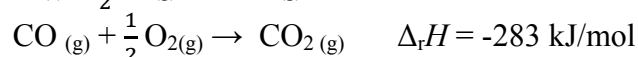
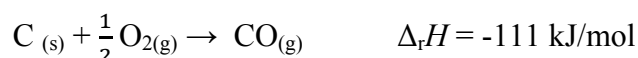


Obe hemijske reakcije su egzotermne i u ovom primeru se vidi značaj navođenja agregatnog stanja svih učesnika u reakciji. Razlika od 44 kJ/mol između ova dva procesa je količina toplote potrebna za isparavanje 1 mola vode. Dati su koeficijenti u razlomcima kako bi toplotni efekat reakcije odgovarao 1 molu proizvoda. Toplotni efekat hemijske reakcije upravo je proporcionalan količini supstance koja reaguje.

Ukoliko za primer endotermne reakcije uzmemo sledeću reakciju:



onda je povratna reakcija (reakcija razlaganja NO na  $\text{N}_2$  i  $\text{O}_2$ ) egzotermna i  $\Delta_r H$  iznosi -180 kJ/mol. Iz ovoga sledi da je **toplotni efekat jedne reakcije iste veličine ali suprotnog znaka od toplotnog efekta za reversnu (povratnu) reakciju.**

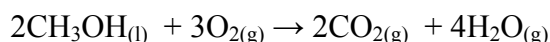


Iz prethodnih termohemijskih jednačina dolazimo do **Hesovog zakona** gde vidimo da je ukupni toplotni efekat reakcije stalan i ne zavisi od toga da li se reakcija odigrava u jednom stupnju ili više stupnjeva ako se polazi od istih komponenti i dobijaju isti proizvodi reakcije sa istim agregatnim stanjem.

**Standardna entalpija stvaranja jedinjenja,  $\Delta_f H^0$** , je ona količina toplote koja se oslobađa (ili vezuje) pri stvaranju jednog mola jedinjenja iz elemenata pri standardnim uslovima ( $p = 101325 \text{ Pa}$ ;  $T = 298 \text{ K}$  ( $25^\circ \text{C}$ )). Usvojeno je da su entalpije stvaranja najstabilnijih formi hemijskih elemenata pod standardnim uslovima jednake nuli.



**Primer 1:** Izračunati standardnu entalpiju reakcije sagorevanja metanola pomoću datih  $\Delta_f H^0$  i izraziti je po molu metanola:



$$\Delta_f H^0(\text{CH}_3\text{OH}_{(\text{l})}) = -238,7 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta_f H^0(\text{O}_{2(\text{g})}) = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta_f H^0(\text{CO}_{2(\text{g})}) = -393,6 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}) = -242,0 \text{ kJ/mol}$$

**Odgovor:** Na osnovu poznatih vrednosti za  $\Delta_f H^0$  može se izračunati  $\Delta_r H^0$  koja je jednaka razlici sume entalpija stvaranja proizvoda reakcije i sume entalpija stvaranja reaktanata.

$$\Delta_r H^0 = \sum p \Delta_f H^0 (\text{proizvodi}) - \sum r \Delta_f H^0 (\text{reaktanti}) *$$

\*Oznake  $r$  i  $p$  predstavljaju stehiometrijske koeficijente reaktanata i proizvoda reakcije. Radi jednostavnosti u daljem tekstu izostavićemo oznaku koja se odnosi na standardne uslove.

$$\begin{aligned} \Delta_r H &= (2 \cdot (-393,6 \text{ kJ/mol}) + 4 \cdot (-242 \text{ kJ/mol})) - (2 \cdot (-238,7 \text{ kJ/mol}) + 3 \cdot 0) \\ &= (-787,2 \text{ kJ/mol} - 968) + 477,4 \text{ kJ/mol} = -1277,8 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

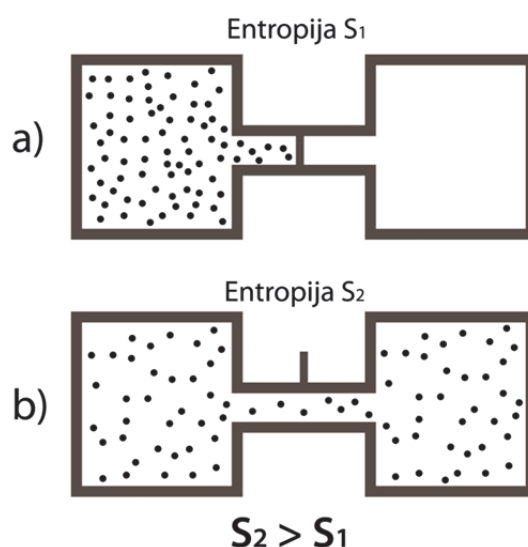
$$\Delta_r H_{(\text{po molu CH}_3\text{OH})} = \Delta_r H / 2 = -638,9 \text{ kJ/mol}$$

Fizička veličina koja opisuje meru neuređenosti nekog sistema je **entropija (S)**. Entropija je funkcija stanja sistema.

$$\Delta S = S_{\text{krajnje}} - S_{\text{početno}}$$

Sve realne procese u zatvorenom sistemu karakteriše povećanje entropije ( $\Delta S > 0$ ), što predstavlja jednu od formulacija II zakona termodinamike. Pri svim spontanim procesima dolazi do rasejavanja energije i mešanja supstanci usled čega entropija sistema raste. Na *Slici 2.8.* prikazan je spontani proces širenja gasa (a) koji dovodi do povećanja entropije sistema ( $\Delta S > 0$ ). Kada gas zauzme sav raspoloživi prostor (b), koncentracija gasa se izjednačava i uspostavlja se termodinamička ravnoteža. U stanju termodinamičke ravnoteže, entropija se više ne menja ( $\Delta S = 0$ ). Promena entropije tako predstavlja kriterijum spontanosti odigravanja nekog procesa.

- ✓  $\Delta S > 0$  (+) SPONTANI PROCES
- ✓  $\Delta S < 0$  (-) PROCES NIJE SPONTAN
- ✓  $\Delta S = 0$  SISTEM JE U RAVNOTEŽI



**Slika 2.8.** Prikaz promene entropije sistema usled spontanog širenja gasa u posudi  
(Slika je preuzeta sa: <https://www.fizmix.lv/fiztemas/siltums-un-darbs-9/neatgriezeniski-procesi-un-entropija>)

## 2.4. BRZINA HEMIJSKE REAKCIJE I HEMIJSKA RAVNOTEŽA

Brzina hemijske reakcije predstavlja promenu koncentracija supstanci koje reaguju u jedinici vremena i zavisi od broja uspešnih sudara čestica koje imaju dovoljnu energiju za odigravanje hemijske reakcije. Ova energija, koja je neophodna za odigravanje hemijske reakcije, naziva se energija aktivacije ( $E_a$ ), (Slika 2.7). Prema tome, uspešni sudar odvija samo između čestica koje poseduju dovoljnu energiju aktivacije. Broj uspešnih sudara, odnosno brzina hemijske reakcije, raste sa povećanjem broja reagujućih čestica u jedinici zapremine (koncentracijom), a takođe i povećanjem brzine kretanja čestica (povećanjem temperature). Osim navedenog brzina hemijske reakcije zavisi od prirode reaktanata, dodirne površine i katalizatora.

Brzina hemijske reakcije je upravo proporcionalna proizvodu koncentracija supstanci koje reaguju. Ovaj zakon se naziva zakon o dejstvu masa ili Guldberg Vaage-ov zakon.

Za reakciju napisanu u opštem obliku:



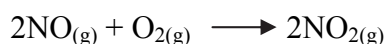
Ako se koncentracija supstance A označi sa  $[A]$ , a koncentracija supstance B sa  $[B]$  brzina hemijske reakcije je:

$$v = k [A]^a \cdot [B]^b$$

$k$  - konstanta brzine hemijske reakcije, čija vrednost zavisi od prirode reaktanata i temperature, a ne zavisi od koncentracije reaktanata.

U izraz za brzinu reakcije ulaze samo supstance čije se koncentracije mogu menjati sa vremenom, a to su gasovite supstance (g) i rastvorene supstance (aq). Supstance u čvrstom stanju (s) i čiste tečnosti-rastvarači koji su u velikom višku (l) ne figurišu u izrazu za brzinu reakcije jer se njihove koncentracije ne menjaju sa vremenom.

**Primer 1:** Data je sledeća hemijska reakcija:



Napisati izraz za brzinu hemijske reakcije. Kako se menja brzina ako se

- a)  $[\text{NO}]$  poveća 2 puta,
- b)  $[\text{O}_2]$  smanji dva puta,
- c) istovremeno  $[\text{NO}]$  poveća 2 puta i  $[\text{O}_2]$  smanji dva puta i
- d) zapremina reakcionog suda smanji tri puta?

**Odgovor:** Prema zakonu o dejstvu masa, brzina hemijske reakcije data je izrazom:

$$v = k [\text{NO}]^2 \cdot [\text{O}_2]$$

- a) Promena brzine ako se  $[\text{NO}]$  poveća 2 puta:

$$v' = k (2 \cdot [\text{NO}])^2 \cdot [\text{O}_2] = k \cdot 4 \cdot [\text{NO}]^2 \cdot [\text{O}_2] = 4 \cdot v \quad \text{— brzina se povećava 4 puta}$$

- b) Promena brzine ako se  $[\text{O}_2]$  smanji 2 puta:

$$v' = k [\text{NO}]^2 \cdot \frac{[\text{O}_2]}{2} = v/2 \quad \text{--brzina se smanjuje 2 puta}$$

c) Promena brzine ako se istovremeno  $[\text{NO}]$  poveća 2 puta i  $[\text{O}_2]$  smanji dva puta:

$$v' = k (2 \cdot [\text{NO}])^2 \cdot \frac{[\text{O}_2]}{2} = v \cdot 4/2 = v \cdot 2 \quad \text{--brzina se povećava 2 puta}$$

d) Promena brzine ako se zapremina reakcionog suda smanji tri puta--koncentracije svih komponenti se povećavaju 3 puta:

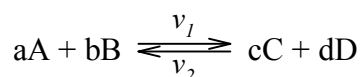
$$v' = k (3 \cdot [\text{NO}])^2 \cdot 3 \cdot [\text{O}_2] = v \cdot 3^2 \cdot 3 = v \cdot 27 \quad \text{--brzina se povećava 27 puta}$$

### Hemijska ravnoteža

Hemijske reakcije koje se odvijaju samo u jednom smeru nazivaju se nepovratne reakcije i retko se sreću, zbog toga što najčešće dolazi do odigravanja i indirektna, takozvane povratne reakcije. Hemijske reakcije koje se istovremeno odigravaju u oba smera nazivaju se reverzibilne reakcije.

Koncentracije reaktanata koji učestvuju u direktnoj hemijskoj reakciji su najveće na početku reakcije, kada je i brzina direktne reakcije najveća, a najmanje su na kraju reakcije kada se povećava koncentracija proizvoda reakcije. Koncentracija proizvoda reakcije je na početku polazne reakcije jednaka nuli tako da je i brzina povratne reakcije takođe jednaka nuli. Brzina povratne reakcije raste sa vremenom, zbog porasta koncentracije proizvoda reakcije. Kada se brzine direktne i povratne reakcije izjednače upostavlja se hemijska ravnoteža. U stanju hemijske ravnoteže isti broj čestica reaktanta izreaguje i daje proizvode reakcije dok se istovremeno isti broj čestica proizvoda reakcije razgradi i ponovo daje reaktante.

Hemijska ravnoteža je dinamičko stanje reakcije kada su brzine direktne i povratne reakcije jednake. Dinamička ravnoteža se prikazuje hemijskom jednačinom, kod koje se umesto znaka jednakosti stavljaju dve strelice u suprotnim smerovima koje označavaju brzinu direktne i povratne hemijske reakcije.



A i B - reaktanti

C i D - proizvodi reakcije

U stanju hemijske ravnoteže je  $v_1 = v_2$

$$v_1 = k_1 \cdot [\text{A}]^a [\text{B}]^b \qquad v_2 = k_2 \cdot [\text{C}]^c [\text{D}]^d$$

$$\text{U stanju hemijske ravnoteže:} \quad k_1 \cdot [\text{A}]^a \cdot [\text{B}]^b = k_2 \cdot [\text{C}]^c \cdot [\text{D}]^d$$

$$\text{Odnosno } \frac{k_1}{k_2} = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

Količnik konstante  $k_1$  i  $k_2$  daje novu konstantu  $K$  koja se naziva konstanta ravnoteže

$$K = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

Konstanta ravnoteže je konstantna veličina na određenoj temperaturi i zavisi od prirode reaktanata i proizvoda reakcije. Ukoliko je ravnoteža više pomerenjena na desnu stranu, ka stvaranju proizvoda reakcije utoliko je i veća vrednost konstante ravnoteže i obrnuto. Izraz za konstantu ravnoteže je rezultat primene zakona o dejstvu masa na povratne reakcije, tako da u izrazu za konstantu ravnoteže ne figurišu čvrste supstance (s) i čiste tečnosti u velikom višku (rastvarači, kao npr. voda), (l).

Na sistem koji se nalazi u ravnoteži utiče promena koncentracije, pritiska i temperature, što je definisano Le Šateljovim principom (princip pokretne ravnoteže):

**Svaki spoljašnji uticaj na sistem koji se nalazi u stanju hemijske ravnoteže izaziva pomeranje ravnoteže u onom smeru u kome dolazi do smanjenja tog uticaja.**

*Uticaj koncentracije reaktanata:*

Ukoliko se u ravnotežni sistem doda jedan od reaktanata, ubrzava se direktna reakcija i ravnoteža se pomera na desnu stranu.

Ako se ravnotežnom sistemu doda jedan od proizvoda reakcije, ravnoteža se pomera na levu stranu, a ako se iz sistema udaljava proizvod reakcije, ravnoteža se pomera udesno.

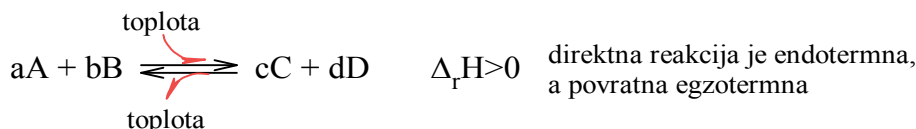
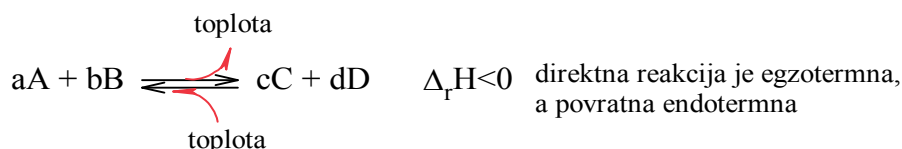
*Uticaj pritiska:*

Uticaj pritiska na položaj hemijske ravnoteže može se objasniti preko koncentracije jer se sa povećanjem pritiska povećava koncentracija svih komponenti, a najviše onih koje imaju veći koeficijent u hemijskoj jednačini. Promena pritiska utiče samo na gasovite ravnotežne sisteme.

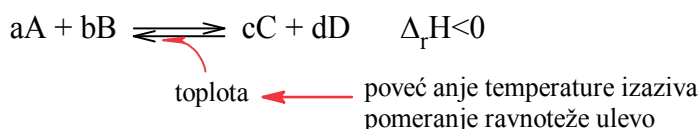
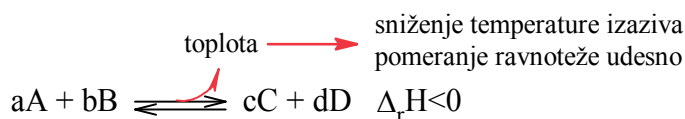
Povećanje pritiska izaziva pomeranje ravnoteže u smeru stvaranja manjeg broja molekula i obrnuto, smanjenje pritiska izaziva pomeranje ravnoteže u smeru stvaranja većeg broja molekula.

*Uticaj temperature:*

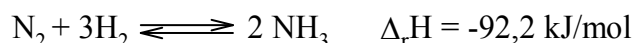
Ako je direktna reakcija egzotermna, povratna reakcija je endotermna i obrnuto.



Zagrevanje ravnotežnog sistema izaziva ubrzanje endotermne reakcije, a hlađenje egzotermne reakcije:



Jedna od najvažnijih primena Le Šateljovog principa je Haber-Bošov proces sinteze amonijaka iz elementarnog vodonika i azota. Zbog izražene stabilnosti azota sinteza amonijaka nije bila moguća bez posebnih uslova koji bi pogodovali ovoj sintezi. Prinos amonijaka na nižim temperaturama je mali zbog visoke energije aktivacije koja je uzrokovana stabilnošću elementarnog azota. Povećanje temperature, sa druge strane, uslovljava pomeranje ravnoteže na levu stranu.



Haber i Boš su primenom Le Šateljovog principa podesili idealne uslove kako bi se ravnoteža reakcije pomerila na desnu stranu:

- Povećan pritisak iznosio je 20-30 MPa. Ovo je prvi industrijski proces pod ovako visokim pritiskom.
- Amonijak se neprekidno izdvaja iz sistema, a azot i vodonik uvode u reaktor.
- Iako je reakcija egzotermna, proces se odvija na 500°C jer bi u suprotnom brzina uspostavljanja ravnoteže bila suviše mala.
- Nakon ispitivanja više hiljada katalizatora, utvrđeno je da je najbolja katalitička svojstva pokazalo gvožđe aktivirano dodacima (oksidi K, Ca i Al).

Katalizator ne utiče na položaj hemijske ravnoteže, ali ubrzava njeno uspostavljanje.

Haber-Bošov proces je predstavljao prekretnicu u hemijskoj industriji jer više nije bilo potrebno da se veštačka đubriva i druge hemikalije proizvode iz azotnih soli, kao što je bila čilska šalitra (NaNO<sub>3</sub>), već je bio dovoljan atmosferski vazduh. Ovaj postupak znatno je smanjio cenu veštačkih đubriva i time povećao poljoprivrednu proizvodnju.

## 2.5. RASTVORI - KVANTITATIVNO IZRAŽAVANJE SASTAVA

Rastvori su homogeni sistemi sastavljeni od dve ili više čistih supstanci. Supstanca koja se nalazi u velikom višku i ima isto agregatno stanje kao i rastvor naziva se **rastvarač**, a supstanca koja se nalazi u manjoj količini i ravnomerno je raspoređena u rastvoru naziva se **rastvorak** ili **rastvorena supstanca**. Rastvorene supstance mogu pre rastvaranja biti u čvrstom, tečnom i gasovitom stanju, pa se rastvori prema agregatnom stanju rastvorene supstance dele na rastvore čvrstih, tečnih i gasovitih supstanci. Kao rastvarač najčešće se koristi voda, pa se to obično ne naglašava (na primer: rastvor joda) ali se zato upotreba drugih rastvarača posebno naglašava (na primer: rastvor joda u alkoholu). Rastvarač veoma često može biti i smeša različitih supstanci.

Prema veličini čestica disperzni sistemi se dele na:

- prave rastvore (čestice pravih rastvora su veličine molekula ili jona odnosno manje od 1 nm).
- koloidne rastvore (čestice su veličine od 1 do 100 nm).
- suspenzije ili emulzije (čestice su veće od 100 nm).

Rastvori se mogu podeliti i prema količini rastvorene supstance na:

- zasićene rastvore (sadrže maksimalnu količinu rastvorene supstance na određenoj temperaturi)
- nezasićene rastvore (sadrže manju količinu rastvorene supstance od zasićenog rastvora)
- presićene rastvore (sadrže veću količinu rastvorene supstance od zasićenog rastvora za određenu temperaturu).

Rastvorljivost neke supstance zavisi od prirode te supstance, prirode rastvarača i temperature i predstavlja koncentraciju zasićenog rastvora na datoj temperaturi (nekada se izražava masom čvrste supstance koja rastvaranjem u 100 g vode daje zasićen rastvor na datoj temperaturi).

Kvantitativni sastav rastvora se može izraziti odnosom sastojaka rastvora (rastvorka i rastvarača), udelom rastvorka, koncentracijom i molalitetom.

1. Odnosi rastvorka (B) i rastvarača (A) moraju biti izraženi istom fizičkom veličinom i to: masom ( $m$ ), zapreminom ( $V$ ) ili količinom ( $n$ ), pa zbog toga postoje sledeći odnosi:

$$\text{maseni odnos} - \xi = \frac{m(B)}{m(A)}$$

$$\text{zapreminski odnos} - \psi = \frac{V(B)}{V(A)}$$

$$\text{količinski odnos} - r = \frac{n(B)}{n(A)}$$

2. Udeli mase ( $m$ ), količine ( $n$ ) i zapremine ( $V$ ) rastvorka (B) u ukupnoj masi ( $\Sigma m$ ), količini ( $\Sigma n$ ) i zapremini ( $\Sigma V$ ) svih komponenata koje čine rastvor takođe moraju biti izraženi istom fizičkom veličinom. Postoje sledeći udeli:

$$\text{maseni udeo} - \omega_{(B)} = \frac{m(B)}{\Sigma_1 m_i}$$

$$\text{zapreminski udeo} - \varphi_{(B)} = \frac{V(B)}{\Sigma_1 V_i}$$

$$\text{količinski udeo} - \chi_{(B)} = \frac{n(B)}{\Sigma n_i}$$

Udeo je bezdimenzionalna veličina ali se često koristi i brojčana jedinica procenat  $\% = 1/100$ .

3. Koncentracija je odnos mase, zapremine, količine i broja ( $N$ ) jedinki rastvorka (B) i zapremine rastvora. Postoje sledeće koncentracije:

$$\text{masena koncentracija} - \gamma_{(B)} = \frac{m(B)}{V}$$

$$\text{količinska koncentracija} - c(B) = \frac{n(B)}{V}$$

$$\text{brojeva koncentracija} - C(B) = \frac{N(B)}{V}$$

Količinska koncentracija se u hemiji naziva samo koncentracija i izražava se u SI jedinicama  $\text{mol/dm}^3$  ( $\text{mol/l}$ ), a obeležava simbolom  $c$ .

4. Molalitet ( $b$ ) je odnos količine rastvorka (B) i mase rastvarača (A). Izražava se jedinicom  $\text{mol/kg}$ .

$$b(B) = \frac{n(B)}{m(A)}$$

Za izražavanje sastava rastvora najčešće se koristi **maseni udeo**, **molalitet**, **količinska koncentracija** i **masena koncentracija**.

### III laboratorijska vežba: Merenje mase i zapremine. Rastvaranje i kvantitativno izražavanje sastava rastvora.

#### Ogled 1:

Na tehničkoj vagi izmeriti mase od 10 g, 1 g i 0,2 g NaCl.

U laboratorijskoj čaši broj 1 napraviti 100 g 10%-tnog vodenog rastvora NaCl.

U laboratorijskoj čaši broj 2 napraviti 100 g 1%-tnog vodenog rastvora NaCl.

U laboratorijskoj čaši broj 3 napraviti 10 g 2%-tnog vodenog rastvora NaCl.

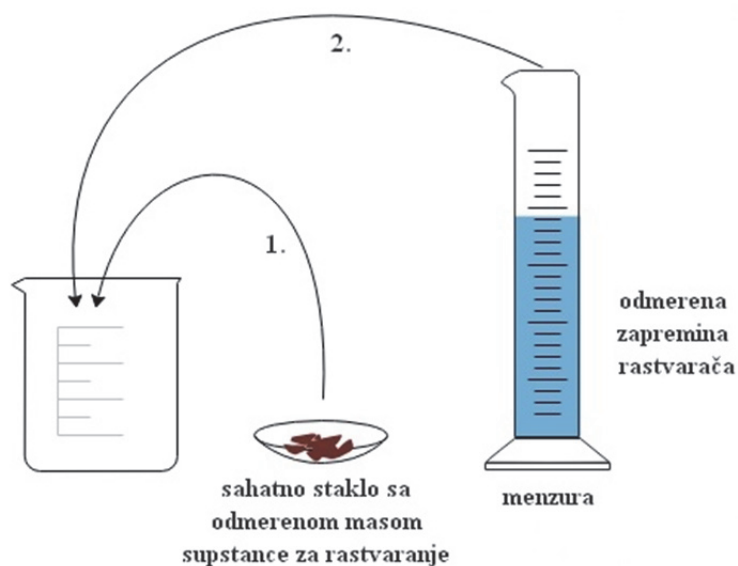
Potreban laboratorijski pribor:

- tehnička vaga
- dve laboratorijske čaše zapremine 200 ml i jedna laboratorijska čaša zapremine 50 ml

- špatula ili kašičica

Potrebne hemikalije:

- natrijum-hlorid (NaCl)
- destilovana voda (H<sub>2</sub>O)



Formule potrebne za računanje:  $m(R) = m(B) + m(H_2O)$

maseni udeo -  $\omega_{(B)} = \frac{m(B)}{m(R)} \cdot 100\%$  odakle sledi da je  $m(B) = \frac{\omega \cdot m(R)}{100\%}$

### **Ogled 2:**

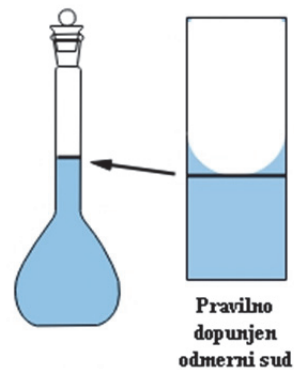
U odmernom sudu od  $100\text{ cm}^3$  pripremiti rastvor NaCl masene koncentracije  $10\text{ g/dm}^3$ .

Potreban laboratorijski pribor:

- tehnička vaga
- plastična čaša za odmeravanje NaCl
- špatula ili kašičica
- levak
- odmerni sud od  $100\text{ cm}^3$

Potrebne hemikalije:

- natrijum-hlorid (NaCl)
- destilovana voda ( $\text{H}_2\text{O}$ )



Formule potrebne za računanje:

masena koncentracija  $\gamma = \frac{m(B)}{V(R)}$

$$m(B) = \gamma \cdot V(R)$$

**Ogled 3:**

Napraviti u odmernom sudu od  $100 \text{ cm}^3$  rastvor saharoze ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ) koncentracije  $0,1 \text{ mol/dm}^3$ .

Potreban laboratorijski pribor:

- tehnička vaga
- plastična čaša za odmeravanje saharoze ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ )
- špatula ili kašičica
- levak
- odmerni sud od  $100 \text{ cm}^3$

Potrebne hemikalije:

- saharoza ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ )
- destilovana voda ( $\text{H}_2\text{O}$ )

Formule potrebne za računanje:

**1. način**  $c = \frac{n}{V}$   $n = c \cdot V$   $m = n \cdot M$

**2. način** direktna primena izvedene formule  $m = c \cdot M \cdot V$

**Ogled 4:**

Napraviti u odmernom sudu od  $100\text{ cm}^3$  rastvor saharoze ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ) koncentracije  $0,05\text{ mol/dm}^3$ .

Potreban laboratorijski pribor:

- tehnička vaga
- plastična čaša za odmeravanje saharoze ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ )
- špatula ili kašičica
- levak
- odmerni sud od  $100\text{ cm}^3$

Potrebne hemikalije:

- saharoza ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ )
- destilovana voda ( $\text{H}_2\text{O}$ )

Formule potrebne za računanje – iste kao u prethodnom ogledu.

***Overa asistenta:***

#### IV računski vežba: Zadaci iz oblasti rastvora. Razblaženje i mešanje rastvora.

**Zadatak 1:** Rastvor etilen-glikola dobijen je rastvaranjem 1,05 g etilen-glikola u 6,40 g vode. Koliki je molalitet dobijenog rastvora?

**Postupak rešavanja:**

$$m(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2) = 1,05 \text{ g}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 6,4 \text{ g} = 0,0064 \text{ kg}$$

$$b(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2) = ?$$

$$M(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2) = 62 \text{ g/mol}$$

$$n = \frac{m(B)}{M(B)} = \frac{1,05 \text{ g}}{62 \text{ g/mol}} =$$

$$b = \frac{n(B)}{m(\text{vode})} =$$

**Zadatak 2:** Izračunati mase  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  i vode potrebnih za pripremanje 50g rastvora u kome je maseni udeo  $\text{CuSO}_4$   $\omega = 1\%$ ?

**Postupak rešavanja:**

$$m_R = 50 \text{ g}$$

$$\omega(\text{CuSO}_4) = 1\% = 0,01$$

$$\omega(\text{CuSO}_4) = \frac{m(\text{CuSO}_4)}{m_R}$$

$$m(\text{CuSO}_4) = \omega \cdot m_R =$$

$$n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = n(\text{CuSO}_4)$$

$$\text{Proporcija-maseni odnos: } \frac{m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})}{M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})} = \frac{m(\text{CuSO}_4)}{M(\text{CuSO}_4)}$$

$$M(\text{CuSO}_4) =$$

$$M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) =$$

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \frac{M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) \cdot m(\text{CuSO}_4)}{M(\text{CuSO}_4)} =$$

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) =$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) =$$

**Zadatak 3:** Koncentrovani rastvor  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ima gustinu  $\rho = 1,840 \text{ g/cm}^3$  i maseni udeo  $\omega = 96\%$ . Izračunati količinsku i masenu koncentraciju  $\text{H}_2\text{SO}_4$  u tom rastvoru.

**Postupak rešavanja:**

$$\begin{aligned}\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) &= 96\% = 0,96 \\ \rho &= 1,84 \text{ g/cm}^3 = 1840 \text{ g/dm}^3 \\ M(\text{H}_2\text{SO}_4) &= 98 \text{ g/mol} \\ c(\text{H}_2\text{SO}_4) &= ? \\ \gamma(\text{H}_2\text{SO}_4) &= ?\end{aligned}$$

**I način:** Pošto je poznat sastav ovog rastvora izražen kao maseni udeo,  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 96\%$  sledi da:

100 g ovog rastvora sadrži 96 g  $\text{H}_2\text{SO}_4$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = \omega \cdot m_R = 0,96 \cdot 100 \text{ g} = 96 \text{ g}$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} =$$

Zapremina rastvora se računa na osnovu poznate gustine rastvora:

$$\rho = \frac{m_R}{V_R} \Rightarrow V_R = \frac{m_R}{\rho} = \frac{100 \text{ g}}{1,84 \text{ g/cm}^3} = 54,35 \text{ cm}^3$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{V_R} =$$

$$\gamma(\text{H}_2\text{SO}_4) =$$

**II način:** Drugi način za rešavanje ovog zadatka je da se krene od podatka za gustinu rastvora,  $\rho = 1,84 \text{ g/cm}^3$  odakle sledi da 1 dm<sup>3</sup> ovakvog rastvora ima masu 1840 g

$$V_R = 1 \text{ dm}^3$$

$$m_R = 1840 \text{ g}$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = \omega \cdot m_R = 0,96 \cdot 1840 \text{ g} = 1766,4 \text{ g}$$

$$n =$$

$$c =$$

$$\gamma =$$

**III način:** Treći način za rešavanje ovog zadatka je direktna primena izvedene formule:

$$\omega = \frac{c \cdot M}{\rho} \quad \text{odnosno} \quad c = \frac{\omega \cdot \rho}{M}$$

$$c =$$

$$\gamma = c \cdot M =$$

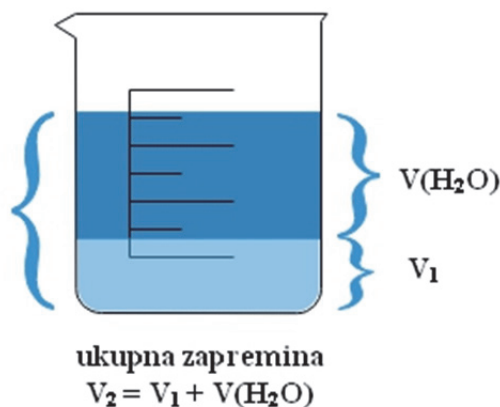
### ***Zadaci vezani za razblaženje i mešanje rastvora***

Kod razblaženja rastvora, količina (masa) rastvorene supstance se ne menja pa stoga važe sledeće formule:

$$c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$$

$c_1$  – koncentracija početnog, koncentrovanog rastvora

$c_2$  – koncentracija finalnog, razblaženog rastvora



$$\omega_1 \cdot m_{R1} = \omega_2 \cdot m_{R2}$$

$\omega_1$  – maseni udeo početnog, koncentrovanog rastvora

$\omega_2$  – maseni udeo finalnog, razblaženog rastvora

Pri razblaživanju rastvora smanjuje se njegova koncentracija, povećava zapremina, ali količina i masa rastvorene supstance pre ili posle razblaženja rastvora ostaje nepromenjena.

**Zadatak 4:** Koju zapreminu vode treba dodati na 200 cm<sup>3</sup> rastvora HCl, koncentracije,  $c = 12 \text{ mol/dm}^3$ , da bi se dobio rastvor HCl koncentracije,  $c = 1 \text{ mol/dm}^3$ .

**Postupak rešavanja:**

$$V_1(\text{HCl}) = 200 \text{ cm}^3$$

$$c_1 = 12 \text{ mol/dm}^3$$

$$c_2 = 1 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = ?$$

$$c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$$

$$V_2 =$$

**Zadatak 5:** U  $500 \text{ cm}^3$  rastvora  $\text{HNO}_3$ , gustine  $\rho = 1,214 \text{ g/cm}^3$ , u kome je maseni udeo  $\omega = 35\%$  dodato je  $720 \text{ g}$  vode. Izračunati maseni udeo  $\text{HNO}_3$  u dobijenom rastvoru.

**Postupak rešavanja:**

$$\rho_1 = 1,214 \text{ g/cm}^3$$

$$V_1(\text{HNO}_3) = 500 \text{ cm}^3$$

$$\omega_1 = 35\% = 0,35$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 720 \text{ g}$$

$$\omega_2 = ?$$

$$\omega_1 \cdot m_{R1} = \omega_2 \cdot m_{R2}$$

$$m_{R1} = \rho_1 \cdot V_1 =$$

$$m_{R2} = m_{R1} + m(\text{H}_2\text{O}) =$$

$$\omega_2 =$$

**Zadatak 6:** Koju zapreminu vode treba dodati u  $10 \text{ cm}^3$  rastvora kuhinjske soli koncentracije  $1 \text{ mol/dm}^3$  da bi se taj rastvor razblažio 10 puta? U kom su kvantitativnom odnosu a) zapremina početnog i finalnog rastvora, b) zapremina početnog rastvora i zapremina dodate vode?

**Zadatak 7:** Pomešano je  $26 \text{ g}$  rastvora kalijum-jodida masenog udela  $\omega = 3\%$  i  $43 \text{ g}$  rastvora kalijum-jodida masenog udela  $\omega = 5\%$ . Koliki je maseni udeo kalijum-jodida u ovako dobijenom rastvoru?

**Postupak rešavanja:**

$$m_{R1} = 26 \text{ g}$$

$$\omega_1 = 3\%$$

$$m_{R2} = 43 \text{ g}$$

$$\omega_2 = 5\%$$

- Rastvor dobijen mešanjem rastvora označenih sa 1 i 2 označavamo indeksom 3. Masa dobijenog rastvora jednaka je zbiru masa rastvora 1 i 2.

$$m_{R3} = m_{R1} + m_{R2} = 26 \text{ g} + 43 \text{ g} = 69 \text{ g}$$

- Masa rastvorene supstance (kalijum-jodida) u dobijenom rastvoru (3), takodje je jednaka zbiru masa rastvorene supstance u rastvorima koji su pomešani (1 i 2).

$$m(\text{KI})_3 = m(\text{KI})_1 + m(\text{KI})_2, \text{ a s obzirom da je } m(\text{KI}) = \omega \cdot m_R$$

- Dobija se konačna formula za mešanje rastvora različitog masenog udela:

$$\omega_3 \cdot m_{R3} = \omega_1 \cdot m_{R1} + \omega_2 \cdot m_{R2}$$

$$\omega_3 = \frac{\omega_1 \cdot m_{R1} + \omega_2 \cdot m_{R2}}{m_{R3}} =$$

**Zadatak 8:** U 200 cm<sup>3</sup> rastvora HCl koncentracije  $c = 0,2 \text{ mol/dm}^3$  dodato je 300 cm<sup>3</sup> rastvora HCl nepoznate koncentracije pri čemu je dobijen rastvor HCl koncentracije  $c = 0,5 \text{ mol/dm}^3$ . Izračunati nepoznatu koncentraciju.

$$c_1 = 0,2 \text{ mol/dm}^3$$

$$V_1 = 200 \text{ cm}^3$$

$$c_2 = ?$$

$$V_2 = 300 \text{ cm}^3$$

$$c_3 = 0,5 \text{ mol/dm}^3$$

$$V_3 = V_1 + V_2 = 500 \text{ cm}^3$$

$$n(\text{HCl})_3 = n(\text{HCl})_1 + n(\text{HCl})_2, \text{ a s obzirom da je } c(\text{HCl}) = c \cdot V$$

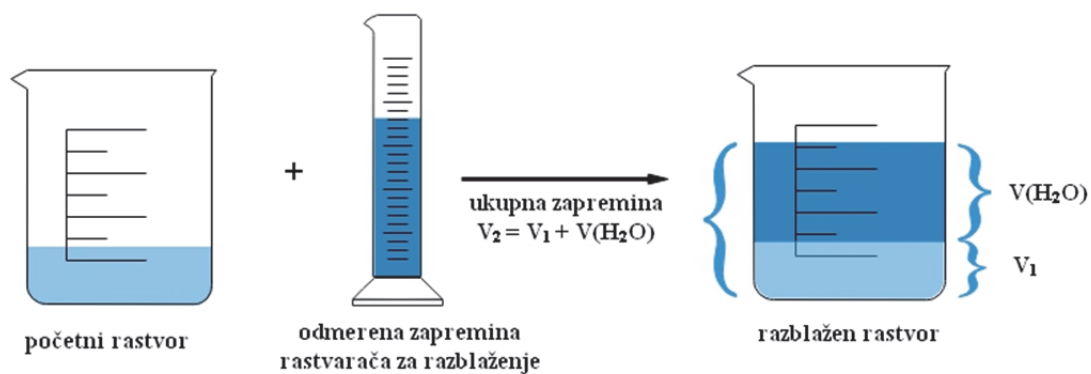
$$c_3 \cdot V_3 = c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2$$

$$c_2 =$$

**Overa asistenta:**

## V laboratorijska vežba: Pripremanje rastvora određenog kvantitativnog sastava.

**Ogled 1:** Pripremiti  $100\text{ cm}^3$   $0,1\text{ mol/dm}^3$  rastvora HCl razblaživanjem rastvora HCl koncentracije  $1\text{ mol/dm}^3$ . Koliku zapreminu vode i početnog rastvora treba odmeriti?



Potreban laboratorijski pribor:

- laboratorijska čaša
- menzura od 100 ml

Potrebne hemikalije:

- početni rastvor HCl ( $c(\text{HCl}) = 1\text{ mol/dm}^3$ )
- destilovana voda ( $\text{H}_2\text{O}$ )

Formule potrebne za računanje:

$$V_1 = \frac{c_2}{c_1} \cdot V_2 \quad V_{\text{H}_2\text{O}} = V_2 - V_1$$

**Ogled 2:** Pripremiti 100 g 0,5% rastvora bakar(II)-sulfata. Koliko čvrstog plavog kamena ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) treba odmeriti?

Potreban laboratorijski pribor:

- tehnička vaga
- laboratorijska čaša od 100 ml
- menzura od 50 ml

Potrebne hemikalije:

- $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- destilovana voda ( $\text{H}_2\text{O}$ )

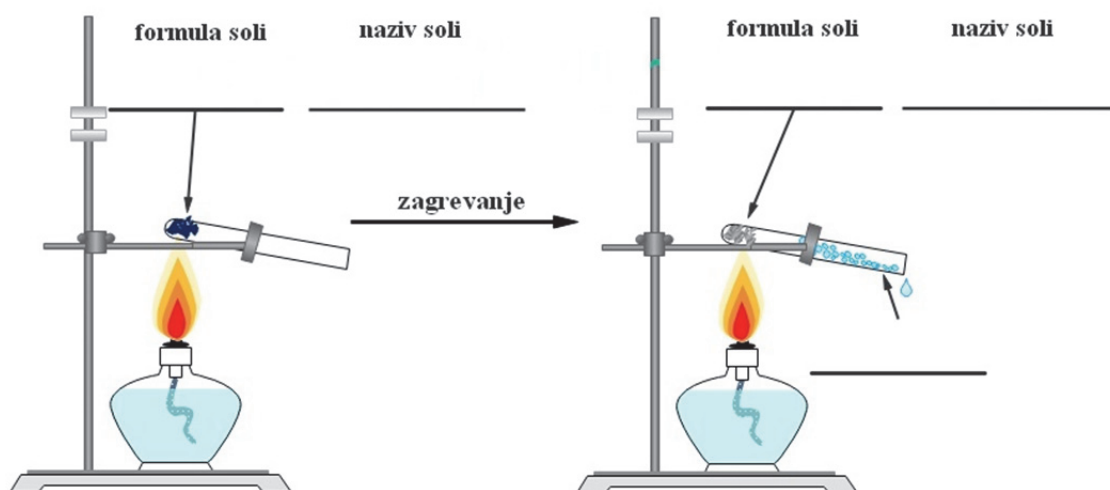
Proračun neophodan za pripremanje rastvora :

$$m(\text{CuSO}_4) = \frac{\omega \cdot m_R}{100\%}$$

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{CuSO}_4) \cdot M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})}{M(\text{CuSO}_4)}$$

**Demonstracioni ogled:**

Demonstrirati dobijanje anhidrovane soli zagrevanjem i ponovno dobijanje kristalohidrata\*



**Ogled 3:** Dat je 10% rastvor plavog kamena. Metodom razblaženja pripremiti 50 cm<sup>3</sup> rastvora koji je 10 puta razblaženiji. Zanimariti promenu gustine rastvora pri razblaženju.

Potreban laboratorijski pribor:

- pipeta
- laboratorijska čaša od 100 ml
- menzura od 50 ml
- 6 epruveta

Potrebne hemikalije:

- početni rastvor CuSO<sub>4</sub>
- destilovana voda (H<sub>2</sub>O)

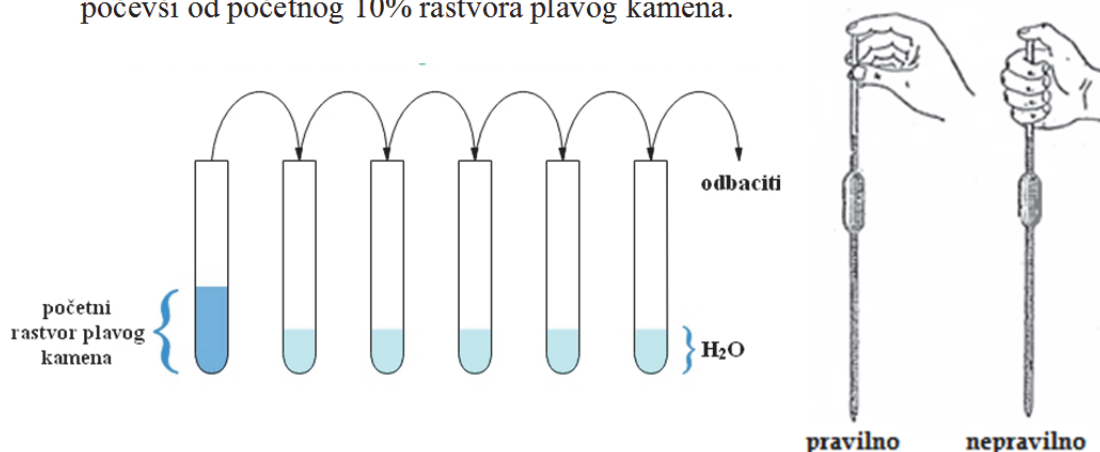
Formule potrebne za računanje:  $\omega_1 \cdot m_{R1} = \omega_2 \cdot m_{R2}$

$$m_R = \rho \cdot V$$

$$\omega_1 \cdot \cancel{\rho_1} \cdot V_1 = \omega_2 \cdot \cancel{\rho_2} \cdot V_2$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{10} \quad V_1 = \frac{\omega_2 \cdot V_2}{\omega_1}$$

Pomoću pipete od 2 cm<sup>3</sup> napraviti seriju duplih razblaženja (5 puta) počevši od početnog 10% rastvora plavog kamena.



Uporediti koncentraciju rastvora koji ste dobili sukcesivnim (uzastopnim) razblaženjem (5 puta dvostruko razblaženje) sa prethodnim rastvorom koji je dobijen desetostrukim razblaženjem u jednom stupnju.

**Ogled 4:** Napraviti 100 cm<sup>3</sup> rastvora H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> koncentracije 1 mol/dm<sup>3</sup> razblaženjem koncentrovane sumporne kiseline masenog udela  $\omega = 96\%$  i gustine  $\rho = 1,84 \text{ g/cm}^3$ .

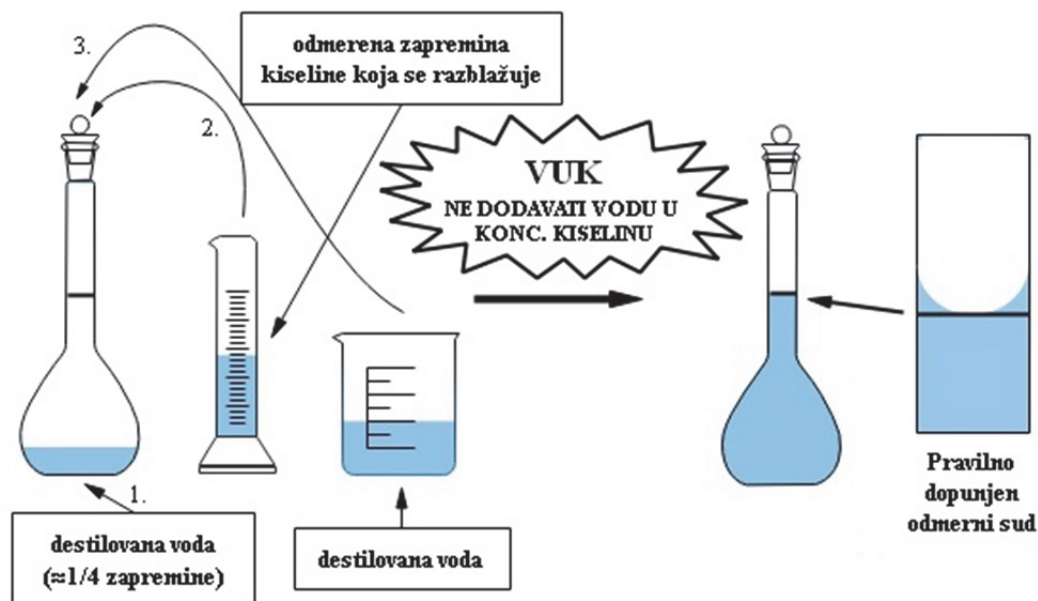
Neophodno je izračunati koju zapreminu koncentrovane kiseline treba odmeriti da bi se pripremilo 100 cm<sup>3</sup> rastvora H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> koncentracije 1 mol/dm<sup>3</sup>.

**PAŽNJA:** Rad sa koncentrovanim kiselinama može biti opasan!

*Pravilo o razblaživanju kiselina:*

***Pri razblaživanju kiselina, uvek se kiselina sipa u vodu, nikada voda u kiselinu!***  
***Ne sipati Vodu U Kiselinu (VUK )!***

Prilikom razblaživanja kiselina i baza u najvećem broju slučajeva dolazi do oslobađanja toplote i može da dođe do prskanja tečnosti što naravno može biti opasno, posebno ako su u pitanju jake i koncentrovane kiseline (azotna ili sumporna) ili jake baze poput natrijum hidroksida.



Potreban laboratorijski pribor:

- laboratorijska čaša od 200 ml
- menzura od 10 ml
- odmerni sud od 100 ml

Potrebne hemikalije:

- koncentrovana  $\text{H}_2\text{SO}_4$
- destilovana voda ( $\text{H}_2\text{O}$ )

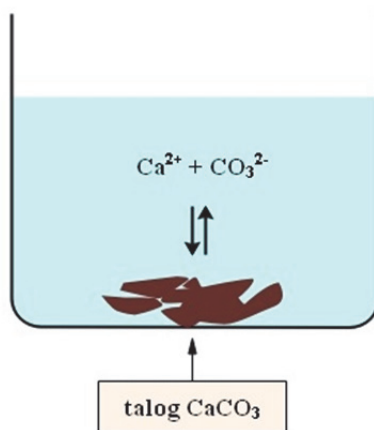
Formule potrebne za računanje:

$$c_1 = \frac{\rho \cdot \omega}{M \cdot 100\%} \quad V_1 = \frac{c_2}{c_1} V_2$$

*Overa asistenta:*

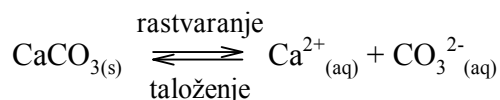
## 2.6. PROIZVOD RASTVORLJIVOSTI

Taloženje predstavlja proces izdvajanja slabo rastvorne komponente iz rastvora u obliku slabo rastvornog jedinjenja (taloga). Taloženje i rastvaranje predstavljaju dva suprotna procesa između kojih se uspostavlja hemijska ravnoteža. Hemijska ravnoteža ima dinamički karakter što znači da se, nakon uspostavljanja ravnoteže procesi rastvaranja i taloženja i dalje odvijaju, ali su njihove brzine jednake tako da se spolja ne mogu uočiti i izmeriti nikakve promene u sistemu. Na *Slici 2.9* je prikazana dinamička ravnoteža u zasićenom rastvoru  $\text{CaCO}_3$  između taloga i jona u rastvoru.

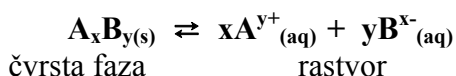


**Slika 2.9.** Hemijska ravnoteža u rastvoru  $\text{CaCO}_3$ .

Stanje ravnoteže je prikazano sledećom jednačinom:



Pri rastvaranju nekog slabog rastvornog elektrolita  $\text{A}_x\text{B}_y$  u vodi, u zasićenom rastvoru se uspostavlja dinamička ravnoteža između čvrste faze (taloga) i tečne faze, odnosno njenih hidratizanih jona u rastvoru. Reakcija rastvaranja se može prikazati sledećom ravnotežom:



gde je:  $\text{A}_x\text{B}_y$  - rastvoren ali nedisosovan molekul  $\text{A}_x\text{B}_y$ , a  $\text{A}^{y+}_{(aq)}$ ,  $\text{B}^{x-}_{(aq)}$  - hidratizani joni  $\text{A}^{y+}$  i  $\text{B}^{x-}$ .

Primenom zakona o dejstvu masa na ravnotežu između taloga i jona u rastvoru dobija se konstanta ravnoteže:

$$K = \frac{[\text{A}^{y+}]^x \cdot [\text{B}^{x-}]^y}{[\text{A}_x\text{B}_y]}$$

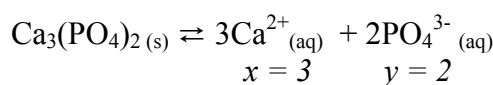
gde je:  $[\text{A}^{y+}]$ ,  $[\text{B}^{x-}]$  - koncentracija jona  $\text{A}^{y+}$ , odnosno  $\text{B}^{x-}$ ,  $[\text{A}_x\text{B}_y]$  - koncentracija čvrste faze,  $x$ ,  $y$  - stehiometrijski koeficijenti.

Koncentracija čvrste faze je konstanta, pa stoga njen proizvod sa konstantom ravnoteže daje novu konstantu koja se naziva **proizvodom rastvorljivosti** i obeležava sa P (ili Lp ili Sp ili Ksp), gde je u indeksu naznačen slabo rastvoran elektrolit na koji se P odnosi:

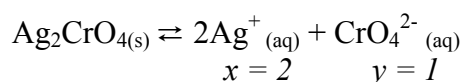
$$P(A_xB_y) = K \cdot [A_xB_y] = [A^{y+}]^x \cdot [B^{x-}]^y$$

Prema tome, **proizvod rastvorljivosti** nekog slabo rastvornog elektrolita jednak je proizvodu koncentracija njegovih jona (u mol/dm<sup>3</sup>), koji se nalaze u zasićenom rastvoru na određenoj temperaturi.

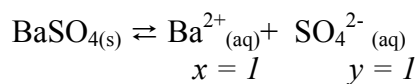
Sledećih nekoliko primera prikazuje ravnoteže rastvaranja i taloženja kalcijum-fosfata, srebro(I)-hromata i barijum-sulfata, kao i odgovarajuće izraze za proizvod rastvorljivosti ovih soli.



$$P(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = [\text{Ca}^{2+}]^3 \cdot [\text{PO}_4^{3-}]^2$$



$$P(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = [\text{Ag}^{+}]^2 \cdot [\text{CrO}_4^{2-}]$$



$$P(\text{BaSO}_4) = [\text{Ba}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}]$$

Veća vrednost proizvoda rastvorljivosti ukazuje da je i rastvorljivost slabo rastvornog elektrolita veća i obrnuto.

Pošto proizvod rastvorljivosti uvek karakteriše zasićen rastvor elektrolita A<sub>x</sub>B<sub>y</sub>, proizvod koncentracija njegovih jona u rastvoru pokazuje da li je rastvor nezasićen, zasićen ili presićen:

$$[A^{y+}]^x \cdot [B^{x-}]^y < P(A_xB_y) \text{ nezasićen rastvor}$$

$$[A^{y+}]^x \cdot [B^{x-}]^y = P(A_xB_y) \text{ zasićen rastvor}$$

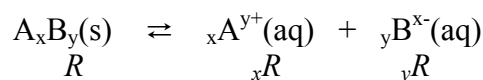
$$[A^{y+}]^x \cdot [B^{x-}]^y > P(A_xB_y) \text{ presićen rastvor}$$

Poznavanje vrednosti proizvoda rastvorljivosti omogućava da se izračuna da li će i kada doći do taloženja, kada će taloženje biti kvantitativno, da li je taloženjem moguće razdvajanje jona i sl. Talozjenje se smatra kvantitativnim kada je rastvorljivost taloga

manja od 0,1 mg. Tako, do taloženja slabo rastvornog elektrolita dolazi samo, kada proizvod koncentracija jona prekorači vrednost proizvoda rastvorljivosti odgovarajućeg slabo rastvornog elektrolita.

### Rastvorljivost taloga

Rastvaranje je proces suprotan procesu taloženja. Rastvorljivost se najčešće izražava količinom supstance koja se nalazi rastvorena u 1 dm<sup>3</sup> zasićenog rastvora, tj. koncentracijom njenog zasićenog rastvora na određenoj temperaturi. Rastvorljivost izražena na ovakav način je količinska rastvorljivost koja se obično označava slovom  $R$ . Pošto je kod jonskih taloga rastvoreni deo potpuno disosovan na jone, rastvorljivost se lako može izračunati. Prilikom rastvaranja taloga  $A_xB_y$  uspostavlja se ravnoteža:



Svaki mol taloga  $A_xB_y$  koji se rastvori daje  $x$  molova  $A^{y+}$  jona i  $y$  molova  $B^{x-}$  jona. Ako se sa  $R$  obeleži rastvorljivost taloga  $A_xB_y$ , tada je:

$$[A^{y+}] = x \cdot R \quad \text{odnosno } R = \frac{[A^{y+}]}{x}$$

$$[B^{x-}] = y \cdot R \quad \text{odnosno } R = \frac{[B^{x-}]}{y}$$

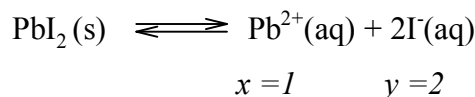
Proizvod rastvorljivosti za jedinjenje  $A_xB_y$  se može napisati na sledeći način:

$$P(A_xB_y) = [A^{y+}]^x \cdot [B^{x-}]^y = (x \cdot R)^x \cdot (y \cdot R)^y = x^x \cdot y^y \cdot R^{(x+y)}$$

a odatle je

$$R = \sqrt[x+y]{\frac{P(A_xB_y)}{x^x \cdot y^y}} \text{ mol / dm}^3$$

Znači, pomoću poznate vrednosti proizvoda rastvorljivosti  $P$  se može izračunati rastvorljivost  $R$ , kao i koncentracije jona slabo rastvornog elektrolita u zasićenom rastvoru (u mol/dm<sup>3</sup>) i obrnuto, pomoću poznate rastvorljivosti se može izračunati proizvod rastvorljivosti. Tako se npr, rastvorljivost olovo(II)-jodida može izračunati znajući proizvod-rastvorljivosti ove soli,  $P(\text{PbI}_2) = 7,1 \cdot 10^{-9}$ .

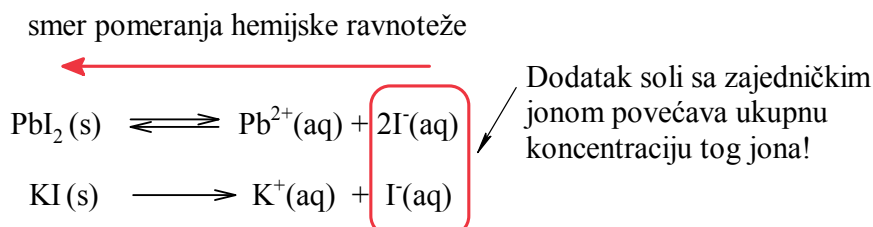


$$P(\text{PbI}_2) = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{I}^{-}]^2$$

$$R(\text{PbI}_2) = \sqrt[3]{\frac{P}{4}} = \sqrt[3]{\frac{7,1 \cdot 10^{-9}}{4}} = 1,21 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

## Suzbijanje rastvaranja-efekat zajedničkog jona

Ukoliko se u rastvor neke soli doda jedinjenje sa zajedničkim jonom, doći će do suzbijanja reakcije rastvaranja i smanjenja rastvorljivosti te soli. Opisanu pojavu objašnjava Le Šateljov princip. Tako npr, kalijum-jodid suzbija rastvaranje olovo(II)-jodida prema sledećem mehanizmu:



Kalijum-jodid se dobro rastvara u vodi pa se zbog toga u slučaju ove soli piše jednosmerna strelica ukazujući da proces rastvaranja ide do kraja. Za suzbijanje rastvaranja slabo rastvornih soli se mogu koristiti sve dobro rastvorne soli sa zajedničkim jonom.

Na žalost, ne postoje stroga pravila pomoću kojih bi se sa sigurnošću mogla predvideti rastvorljivost bilo koje soli. Međutim, ipak se mogu izdvojiti neka opšta pravila o rastvorljivosti soli u vodi koja su prikazana u Tabeli 2.11. U vodi se tako na primer rastvaraju svi nitrati kao i skoro sve soli alkalnih metala i amonijum soli.

**Tabela 2.11.** Opšta pravila o rastvorljivosti soli u vodi

| Jon                                            | Opšta pravila o rastvorljivosti                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\text{Na}^{+}, \text{K}^{+}, \text{NH}_4^{+}$ | Soli alkalnih metala (npr. $\text{Na}^{+}$ i $\text{K}^{+}$ ) i amonijum soli se dobro rastvaraju sem retkih izuzetaka.                                                                              |
| $\text{NO}_3^{-}$                              | Svi nitrati su rastvorljivi.                                                                                                                                                                         |
| $\text{CH}_3\text{COO}^{-}$                    | Svi acetati su rastvorljivi sem $\text{AgCH}_3\text{COO}$ koji se slabo rastvara.                                                                                                                    |
| $\text{Cl}^{-}, \text{Br}^{-}, \text{I}^{-}$   | Svi hloridi, bromidi i jodidi se rastvaraju sem halogenida $\text{Ag}^{+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ i $\text{Hg}_2^{2+}$ . $\text{PbCl}_2$ se umereno rastvara u vreloj vodi.                              |
| $\text{SO}_4^{2-}$                             | Svi sulfati se rastvaraju sem sulfata $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Sr}^{2+}$ , $\text{Ba}^{2+}$ i $\text{Pb}^{2+}$ .                                                                                    |
| $\text{CO}_3^{2-}$ i $\text{PO}_4^{3-}$        | Svi karbonati i fosfati su nerastvorni sem odgovarajućih soli $\text{Na}^{+}$ , $\text{K}^{+}$ , $\text{NH}_4^{+}$ .                                                                                 |
| $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$                    | Svi dihidrogenfosfati se rastvaraju.                                                                                                                                                                 |
| $\text{OH}^{-}$                                | Svi hidroksidi su nerastvorni sem hidroksida alkalnih metala (npr. $\text{Na}^{+}$ , $\text{K}^{+}$ ) i $\text{NH}_4\text{OH}$ . Hidroksidi $\text{Ca}^{2+}$ i $\text{Ba}^{2+}$ se slabo rastvaraju. |
| $\text{S}^{2-}$                                | Svi sulfidi su nerastvorni sem sulfida alkalnih i zemnoalkalnih metala.                                                                                                                              |

## 2.7. KOLIGATIVNE OSOBINE RASTVORA

Osobine rastvora koje ne zavise od prirode rastvorene supstance već od broja čestica (molekula, atoma, koloidnih čestica, jona) u određenoj zapremini rastvora su koligativne osobine.

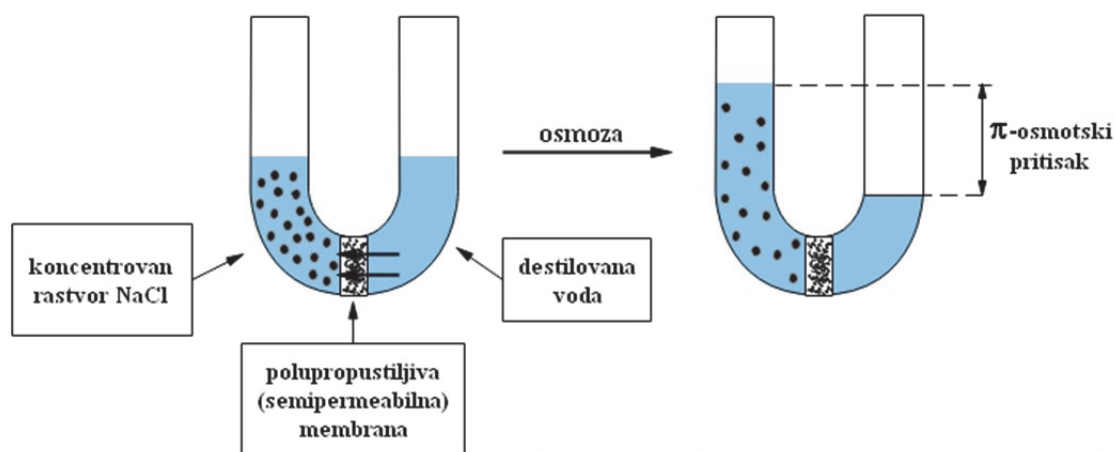
Koligativne osobine razblaženih rastvora su:

- a) sniženje napona pare rastvora
- b) osmotski pritisak
- c) povišenje tačke ključanja i sniženje tačke mržnjenja rastvora

Razblaženi rastvori čija je koncentracija manja od  $0,1 \text{ mol/dm}^3$  takozvani idealni rastvori ponašaju se kao idealni gasovi i na njih se mogu primeniti gasni zakoni.

Kada se pomešaju dva rastvora različitih koncentracija ili tokom procesa rastvaranja dolazi do prodiranja molekula jedne supstance među molekule druge supstance što dovodi do izjednačavanja koncentracije u celokupnoj zapremini rastvora. Pomenuti proces predstavlja **difuziju**-kretanje molekula supstance iz oblasti veće u oblast manje koncentracije.

Usmereno kretanje molekula rastvarača kroz polupropustljivu membranu iz oblasti manje u oblast veće koncentracije naziva se **osmoza**. Na ovaj način dolazi do izjednačavanja koncentracije. Ukoliko se rastvor veće koncentracije nalazi u zatvorenoj posudi rastvarač će kroz polupropustljivu membranu difundovati sve dotle dok se hidrostatički pritisak rastvarača u posudi ne izjednači sa osmotskim pritiskom. U ovom trenutku dolazi do uspostavljanja dinamičke ravnoteže između broja molekula rastvarača koji kroz polupropustljivu membranu prolaze u rastvor veće koncentracije i broja molekula rastvarača koji se kroz polupropustljivu membranu kreću ka rastvoru manje koncentracije i zaustavljanja osmoze. Hidrostatički pritisak pri kome se osmoza zaustavlja naziva se osmotski pritisak (*Slika 2.10*).



*Slika 2.10.* Proces osmoze.

Utvrđeno je da je osmotski pritisak upravo proporcionalan koncentraciji rastvorene supstance. Ovo pravilo se naziva van't Hoff-ov zakon.

Na osmotski pritisak se može primeniti opšta jednačina gasnog stanja:

$$PV = nRT$$

$$P = \frac{n}{V} RT$$

ako se osmotski pritisak obeleži sa  $\pi$ , a  $\frac{n}{V}$  zameni sa  $c$  dobijamo:

$$\pi = c \cdot R \cdot T$$

gde je

$\pi$  - osmotski pritisak, Pa

$R$  - molarna gasna konstanta  $8,314 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{K} \cdot \text{mol}}$

$T$  - termodinamička temperatura, K

$c$  - koncentracija rastvorene supstance  $\frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$

Iz eksperimentalno određenog osmotskog pritiska može se odrediti molarna masa čvrstih i tečnih supstanci  $M$ . Imajući u vidu da je  $n = \frac{m}{M}$ , dobijamo sledeći izraz za osmotski pritisak:

$$\pi = \frac{m}{M \cdot V} \cdot R \cdot T \text{ odakle se može izračunati molarna masa: } M = \frac{m \cdot R \cdot T}{\pi \cdot V}$$

Razblaženi rastvori pokazuju povišenje tačke ključanja i sniženje tačke mržnjenja u odnosu na čist rasvarač usled smanjenja napona (parcijalnog pritiska) pare rastvarača iznad rastvora. Povišenje tačke ključanja i sniženje tačke mržnjenja rastvora direktno je proporcionalno broju molova rastvorene supstance u 1000 g rastvarača, tj. molalitetu rastvora,  $b$ :

$$\Delta t_e = K_e \cdot b$$

$$\Delta t_k = K_k \cdot b$$

$\Delta t_e$  - povišenje tačke ključanja K, °C

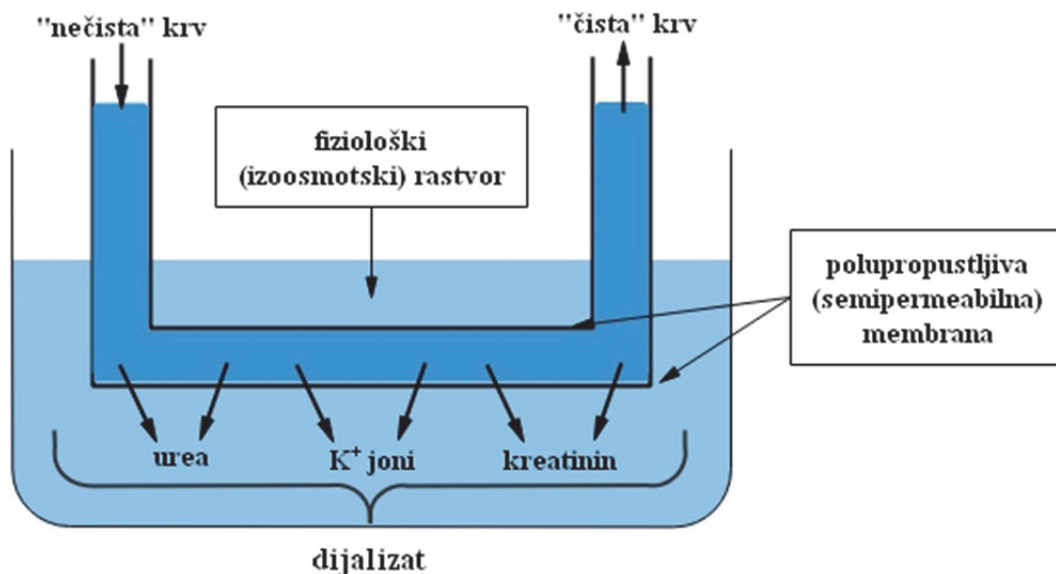
$\Delta t_k$  - sniženje tačke mržnjenja K, °C

$K_e$  - ebulioskopska konstanta, za vodu iznosi  $0,52 \text{ (}^\circ\text{C kgmol}^{-1}\text{)}$

$K_k$  - krioskopska konstanta, za vodu iznosi  $1,86 \text{ (}^\circ\text{C kgmol}^{-1}\text{)}$

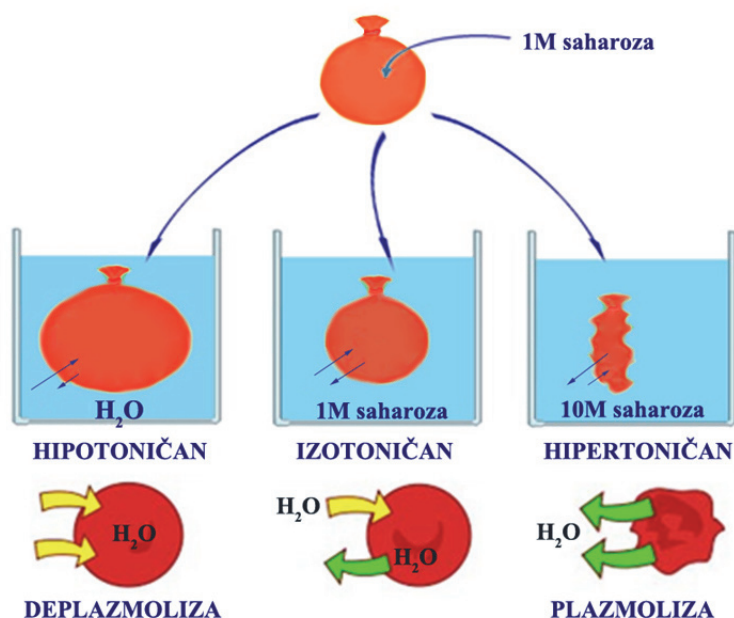
$b$  - molalitet ( $\text{mol kg}^{-1}$ )

Dijaliza je postupak razdvajanja rastvorenih supstanci na osnovu različite difuzije komponenti kroz polupropustljivu membranu (kroz polupropustljivu membranu ne prolaze koloidne čestice). Usled toga dolazi do ultrafiltracije rastvora kada u njemu zaostaju veliki molekuli poput proteina, dok elektroliti i niskomolekularna organska jedinjenja prolaze kroz membranu. U medicini, dijaliza je proces koji se koristi da se zameni funkcija bubrega kod njihove disfunkcije. Dijaliza može u većoj meri da zameni ekskretornu funkciju bubrega, tako što se iz krvi eliminišu nagomilani joni  $\text{K}^+$ , urea, kreatinin i različiti toksini (*Slika 2.11*).



**Slika 2.11.** Proces dijalize.

Rastvori koji imaju isti osmotski pritisak nazivamo izoosmotskim rastvorima, dok rastvori koji imaju isti osmotski pritisak sa rastvorom ćelije zovemo izotoničnim rastvorima. Fiziološki rastvor koji sadrži natrijum-hlorid ( $\omega = 0,9\%$ ) i krv su izotonični. Osmotski pritisak krvi je stalan i regulisan funkcijom bubrega. Hipertonični rastvor ima veći osmotski pritisak od osmotskog pritiska ćelije i vrši njenu plazmolizu, a hipotonični rastvor ima manji osmotski pritisak od ćelijskog i vrši njenu deplazmolizu. Usled plazmolize ćelije se smežuraju jer iz njih izlazi voda, a usled deplazmolize ćelije bubre usled ulaska vode, a mogu i da prsnu. Na *Slici 2.12.* prikazana je šematski “toničnost” – stepen uticaja rastvora na volumen (tonus) ćelije potopljene u njemu. Toničnost zavisi od količinske koncentracije osmotski aktivnih čestica u rastvoru (osmolarnosti).



**Slika 2.12.** Šematski prikaz toničnosti ćelije, procesa plazmolize i deplazmolize (preuzeto sa sajta: <https://www.bionet-skola.com/w/images/c/cc/Osmozaieritrociti.jpg>)

## 2.8. OSOBINE RAZBLAŽENIH RASTVORA ELEKTROLITA

### 2.8.1. Elektrolitička disocijacija i stepen disocijacije

Elektrolitička disocijacija je proces spontanog razlaganja molekula elektrolita (kiselina, baza i soli) u vodenom rastvoru na jone. Proces elektrolitičke disocijacije slabih elektrolita može se prikazati sledećom jednačinom:



Ova reakcija je reverzibilna, pa u jednom trenutku dolazi do izjednačavanja broja molekula koji u jedinici vremena disosuju sa brojem molekula koji nastaju iz jona, tj. uspostavlja se dinamička ravnoteža. Ako se primeni Zakon o dejstvu masa dobijamo konstantu disocijacije:

$$K = \frac{[A^+][B^-]}{[AB]}$$

gde je:  $[A^+]$  - koncentracija jona  $A^+$ ,  $[B^-]$  - koncentracija jona  $B^-$ ,  $[AB]$  - koncentracija nedisosovanih molekula.

Konstanta disocijacije je na stalnoj temperaturi konstantna i predstavlja merilo jačine elektrolita. Ukoliko je konstanta disocijacije velika u rastvoru je prisutna velika koncentracija jona što znači da je elektrolit jako disosovan. Pored konstante disocijacije, merilo jačine elektrolita je i stepen disocijacije ( $\alpha$ ). Stepen disocijacije predstavlja odnos broja disosovanih ( $N$ ) molekula i ukupnog broja molekula unetih u rasvor ( $N_0$ ):

$$\alpha = \frac{N}{N_0} \cdot 100\%$$

Na osnovu merenja stepena disocijacije različitih elektrolita došlo se do zaključka da se oni mogu podeliti na **slabe** ( $\alpha < 3\%$  u  $0,1 \text{ mol/dm}^3$  rastvoru) i **jake** ( $\alpha > 30\%$  u  $0,1 \text{ mol/dm}^3$  rastvoru). Uzimajući konstantu disocijacije kao kriterijum, slabim elektrolitima se smatraju oni čija je konstanta disocijacije,  $K < 10^{-2}$ . Ako količinsku koncentraciju rastvora izrazimo kao  $c(\text{mol/dm}^3)$ , tada možemo napisati da je:

$$[A^+] = [B^-] = \alpha \cdot c,$$

$$[AB] = c - \alpha \cdot c = c \cdot (1 - \alpha)$$

Zamenom ovih vrednosti u izraz za  $K$  dobija se:

$$K = \frac{[A^+][B^-]}{[AB]} = \frac{\alpha c \cdot \alpha c}{c - \alpha c} = \frac{\alpha^2}{1 - \alpha} \cdot c$$

Za slabe elektrolite gde je  $\alpha < 1\%$ , izraz  $1 - \alpha \approx 1$ , pa se dobija konačan izraz koji daje vezu konstante disocijacije ( $K$ ), stepena disocijacije ( $\alpha$ ) i koncentracije ( $c$ ):

$$K = \alpha^2 \cdot c \quad \text{ili} \quad \alpha = \sqrt{\frac{K}{c}} - \text{Ostvaldov zakon razblaženja}$$

### 2.8.2. Koligativne osobine rastvora elektrolita

Rastvori elektrolita zbog elektrolitičke disocijacije pri istim uslovima pokazuju veći osmotski pritisak, veće povišenje tačke ključanja i veće sniženje tačke mržnjenja od rastvora neelektrolita iste koncentracije. Usled elektrolitičke disocijacije u rastvorima elektrolita dolazi do povećanja broja čestica u odnosu na rastvor neelektrolita iste koncentracije što izaziva smanjenje parcijalnog pritiska rastvarača iznad rastvora elektrolita i povećanje njegovih koligativnih osobina.

Osmotski pritisak, povišenje tačke ključanja i sniženje tačke mržnjenja rastvora elektrolita izračunavaju se množenjem odgovarajućih izraza za neelektrolite sa van't Hoff-ovim korekcionim faktorom  $i$ :

$$\pi = c \cdot R \cdot T \cdot i$$

$$\Delta t_e = K_e \cdot b \cdot i$$

$$\Delta t_k = K_k \cdot b \cdot i$$

Van't Hoff-ov korekциони faktor  $i$ , je broj koji pokazuje koliko je puta veći broj čestica u rastvoru elektrolita u odnosu na rastvor neelektrolita iste koncentracije odnosno molaliteta. Ako se ukupan broj molekula elektrolita označi sa  $N_0$ , broj disosovanih molekula sa  $N$ , a broj jona koji nastaje disocijacijom jednog molekula elektrolita sa  $z$ , onda je broj nedisosovanih molekula jednak  $N_0 - N$ , a broj nastalih jona  $Nz$ . Ukupan broj čestica u rastvoru je jednak zbiru nedisosovanih molekula i svih nastalih jona, pa je van't Hoff-ov broj  $i$  jednak:

$$i = \frac{N_0 - N + Nz}{N_0} \quad \text{odnosno,}$$

$$i = 1 + \frac{N}{N_0}(z - 1)$$

Imajući u vidu da je stepen elektrolitičke disocijacije:  $\alpha = \frac{N}{N_0}$ ,

dobijamo konačan izraz za izračunavanje van't Hoff-ov korekcionog faktora  $i$ :

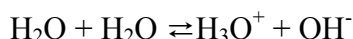
$$i = 1 + \alpha(z - 1) \quad \text{ili}$$

$$\alpha = \frac{i - 1}{z - 1}$$

## 2.9. HEMIJSKA RAVNOTEŽA U VODENIM RASTVORIMA, pH VREDNOST

### 2.9.1. Jonski proizvod vode

Voda je slab elektrolit koji disosuje na hidronijum ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) i hidroksidne ( $\text{OH}^-$ ) jone i ponaša se i kao kiselina i kao baza:



ili jednostavno:



Ako primenimo Zakon o dejstvu masa dobijamo konstantu ravnoteže, odnosno konstantu disocijacije vode.

$$K_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]}$$

$$K_{\text{H}_2\text{O}} = 1,8 \cdot 10^{-16} \text{ na } 25^\circ\text{C ili } 298\text{K}.$$

Kako je voda slab elektrolit, smatra se da je koncentracija vode u  $1 \text{ dm}^3$  ( $1000 \text{ g H}_2\text{O}$ ) konstantna i iznosi:

$$[\text{H}_2\text{O}] = \frac{n}{V} = \frac{m / M}{V} = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{1000 \text{ g}}{18 \text{ g/mol} \cdot \text{dm}^3} = 55,56 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$$

Zamenom u izrazu za konstantu ravnoteže dobijamo

$$1,8 \cdot 10^{-16} \cdot 55,56 = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-]$$

ili

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

Ovaj proizvod se naziva jonski proizvod vode i obeležava sa  $K_w$  i konstantan je na određenoj temperaturi.

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

Ukoliko se ovaj proizvod logaritmuje i pomnoži sa -1 dobija se:

$$-\log K_w = -\log[\text{H}^+] + (-\log[\text{OH}^-]) = 14$$

ako je

$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ ;  $\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$ ; tj. pH je negativni dekadni logaritam koncentracije  $\text{H}^+$  jona, a pOH negativni dekadni logaritam koncentracije  $\text{OH}^-$  jona. Odatle sledi da je

$$pK_w = pH + pOH \quad \text{tj.} \quad pH + pOH = 14$$

Veličina pH naziva se i vodonični eksponent jer je:

$$[H^+] = 10^{-pH} \quad \text{odnosno} \quad [OH^-] = 10^{-pOH}$$

Čista voda sadrži jednake koncentracije vodonikovih i hidroksidnih jona i zbog toga je neutralna. Vodeni rastvori različitih supstanci koji sadrže jednake koncentracije vodonikovih i hidroksidnih jona su takođe neutralni. pH i pOH su merila kiselosti odnosno baznosti rastvora

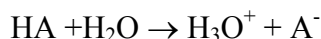
- kiseo rastvor:  $pH < 7$ ;  $[H^+] > 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$ ;  $[OH^-] < 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$
- bazan rastvor:  $pH > 7$ ;  $[H^+] < 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$ ;  $[OH^-] > 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$
- neutralan rastvor:  $pH = 7$ ;  $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$

Određivanje pH vrednosti različitih rastvora vrši se pomoću univerzalne indikatorske hartije, kolorimetrijski, a najtačnije pomoću pH-metra, aparata koji se sastoji od staklene i kalomelove elektrode.

### 2.9.2. Hemijska ravnoteža u rastvorima kiselina i baza

#### *Kiseline*

Kiseline u vodenom rastvoru disosuju na  $H^+$  jone i različite jone kiselinskog ostatka koji su negativno naelektrisani. Disocijacija jakih kiselina može da se prikaže sledećom jednačinom:



ili jednostavnije



U razblaženim rastvorima jakih monoprotonskih (monobaznih) kiselina kao što je HCl koncentracija  $H^+$  jednaka je koncentraciji kiseline  $c_a$ .

$$[H^+] = c_a$$

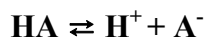
U razblaženim rastvorima slabih kiselina kao što je  $CH_3COOH$  disocijacija nije potpuna jer ne disosuju svi molekuli kiseline, pa je  $[H^+]$  manja od  $c_a$  i određuje se na osnovu poznatog stepena disocijacije  $\alpha$ , konstante disocijacije kiseline  $K_a$  i koncentracije kiseline  $c_a$ .

Ako poznajemo  $\alpha$  i  $c_a$ , koncentraciju vodonikovih jona izračunavamo iz sledeće jednačine:

$$[H^+] = c_a \cdot \alpha$$

$\alpha$  - stepen elektrolitičke disocijacije

Ako je poznata konstanta disocijacije kiseline  $K_a$  i koncentracija kiseline  $c_a$ , elektrolita tipa HA, postupamo na sledeći način:



Konstanta ravnoteže ove reakcije je sledeća:

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

Koncentracije jona koje nastaju pri disocijaciji su jednake

$$[\text{H}^+] = [\text{A}^-]$$

a koncentracije nedisocijovanih molekula [HA] jednaka je početnoj koncentraciji kiseline umanjenoj za koncentraciju disociiranog dela:

$$[\text{HA}] = c_a - [\text{H}^+]$$

Odatle je

$$K_a = \frac{[\text{H}^+]^2}{c_a - [\text{H}^+]}$$

Kod slabih elektrolita  $[\text{H}^+]$  je zanemarljivo mala, pa je:

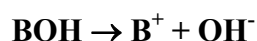
$$K_a = \frac{[\text{H}^+]^2}{c_a}$$

a koncentracija vodonikovih jona

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_a \cdot c_a}$$

### Baze

Baze u vodenim rastvorima disosuju na  $\text{OH}^-$  jone i jone različitih metala koji su pozitivno naelektrisani. Disocijacija jakih baza se može prikazati sledećom jednačinom:



U razblaženim rastvorima jakih monohidroksilnih baza kao što je NaOH, koncentracija  $\text{OH}^-$  jednaka je koncentraciji baze  $c_b$ .

$$[\text{OH}^-] = c_b$$

U rastvorima slabih monohidroksilnih (monokiselih) baza (npr.,  $\text{NH}_4\text{OH}$ ) važi sledeća ravnoteža:



a konstanta ravnoteže je sledeća

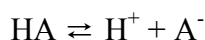
$$K_b = \frac{[\text{B}^+][\text{OH}^-]}{[\text{BOH}]}$$

Koncentracija  $\text{OH}^-$  jona u vodenom rastvoru slabe baze koncentracije  $c_b$  može da se odredi kao i koncentracija  $[\text{H}^+]$  u rastvorima kiselina, pomoću poznatog stepena disocijacije  $\alpha$ , konstante disocijacije  $K_b$  i koncentracije baze  $c_b$  iz sledećih jednačina

$$[\text{OH}^-] = c_b \cdot \alpha \quad \text{i} \quad [\text{OH}^-] = \sqrt{c_b \cdot K_b}$$

### Suzbijanje disocijacije

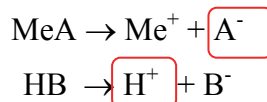
Disocijacija slabe kiseline može se prikazati na sledeći način:



konstanta disocijacije ove kiseline je:

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

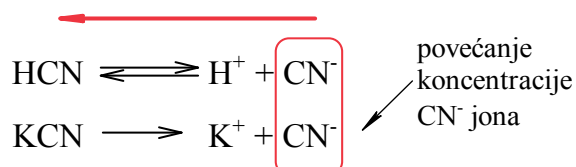
Ako se rastvoru slabe kiseline doda so sa zajedničkim anjonom  $\text{MeA}$  ili neka jaka kiselina  $\text{HB}$  potpunom disocijacijom ovih jedinjenja povećaće se koncentracija  $\text{A}^-$  odnosno  $\text{H}^+$  jona:



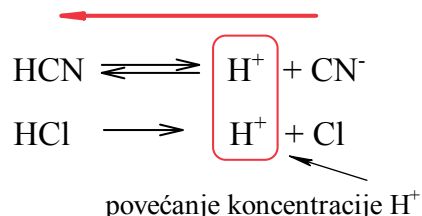
Prisustvo povećane koncentracije  $\text{A}^-$  jona iz  $\text{MeA}$  ili  $\text{H}^+$  jona iz  $\text{HB}$  uticaće na ravnotežu reakcije disocijacije kiseline  $\text{HA}$  po Le Šateljovom principu. To će izazvati pomeranje ravnoteže ulevo i suzbijanje disocijacije. Disocijacija nekog slabog elektrolita može se tako suzbiti ukoliko se u rastvor doda jak elektrolit sa zajedničkim jonom.

### Suzbijanje disocijacije HCN

pomeranje ravnoteže na levu stranu



pomeranje ravnoteže na levu stranu



**Tabela 2.12.** Ravnoteže u rastvorima kiselina.

| Vrsta kiseline                            | Primeri<br>kiselina                                                             | Reakcija disocijacije kiseline                                                                                                                     | Izraz za konstantu<br>disocijacije kiseline                                                                                                                                | Izraz za<br>izračunavanje $[H^+]$                                                                        |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Jake kiseline                             | $HClO_4$ ,<br><b>HCl</b> ,<br><b><math>H_2SO_4</math></b> ,<br>$HNO_3$ ,<br>... | $HCl \longrightarrow H^+ + Cl^-$<br>$H_2SO_4 \longrightarrow HSO_4^- + H^+$<br>$HSO_4^- \rightleftharpoons SO_4^{2-} + H^+$                        | $/$<br>$/$<br>$K_a = \frac{[SO_4^{2-}] \cdot [H^+]}{[HSO_4^-]}$                                                                                                            | $[H^+] = c_a$<br><br>$[H^+] = c_a + x$<br>x-dopinos usled<br>disocijacije $HSO_4^-$                      |
|                                           | <b>HCN</b> ,<br>$HNO_2$ ,<br>$HClO$ ,<br>...                                    | $HCN \rightleftharpoons H^+ + CN^-$                                                                                                                | $K_a = \frac{[CN^-] \cdot [H^+]}{[HCN]}$                                                                                                                                   | $[H^+] = c_a \cdot \alpha$<br><br>$[H^+] = \sqrt{K_a \cdot c_a}$                                         |
|                                           | <b><math>H_2CO_3</math></b> ,<br>$H_2S$ ,<br>$H_2SO_3$ ,<br>...                 | $H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+$<br>$HCO_3^- \rightleftharpoons CO_3^{2-} + H^+$                                                         | $K_{a1} = \frac{[HCO_3^-] \cdot [H^+]}{[H_2CO_3]}$<br>$K_{a2} = \frac{[CO_3^{2-}] \cdot [H^+]}{[HCO_3^-]}$                                                                 | složena jednačina<br>četvrtog stepena ili<br>jednostavnija jednačina<br>uz odgovarajuće<br>aproksimacije |
| Slabe triprotonske<br>(trobazne kiseline) | <b><math>H_3PO_4</math></b> ,<br>$H_3BO_3$ ,<br>$H_3AsO_4$ ,<br>...             | $H_3PO_4 \rightleftharpoons H_2PO_4^- + H^+$<br>$H_2PO_4^- \rightleftharpoons HPO_4^{2-} + H^+$<br>$HPO_4^{2-} \rightleftharpoons PO_4^{3-} + H^+$ | $K_{a1} = \frac{[H_2PO_4^-] \cdot [H^+]}{[H_3PO_4]}$<br>$K_{a2} = \frac{[HPO_4^{2-}] \cdot [H^+]}{[H_2PO_4^-]}$<br>$K_{a3} = \frac{[PO_4^{3-}] \cdot [H^+]}{[HPO_4^{2-}]}$ | -//-                                                                                                     |

**Tabela 2.13.** Ravnoteže u rastvorima baza.

| Vrsta kiseline                                 | Primeri baza                                                                                                                                                       | Reakcija disocijacije baza                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Izraz za konstantu disocijacije baze                                                                                                                                                                                                                  | Izraz za izračunavanje $[\text{OH}^-]$                                                                 |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Jake baze</b>                               | Hidroksidi I a i II a<br>grupe sem<br>$\text{Be}(\text{OH})_2$ :<br>$\text{NaOH}$ , $\text{KOH}$ ,<br>$\text{Mg}(\text{OH})_2$ ,<br>$\text{Ca}(\text{OH})_2$ , ... | $\text{NaOH} \longrightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$<br><br>$\text{Ca}(\text{OH})_2 \longrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^-$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | /                                                                                                                                                                                                                                                     | $[\text{OH}^-] = c_b$<br><br>$[\text{OH}^-] = 2c_b$                                                    |
| <b>Slabe monohidroksilne (monokisele baze)</b> | $\text{NH}_4\text{OH}$ ,<br>$\text{AgOH}$ ,<br>$\text{CuOH}^{3*}$                                                                                                  | $\text{NH}_4\text{OH} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | $K_b = \frac{[\text{NH}_4^+] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]}$                                                                                                                                                                            | $[\text{OH}^-] = c_b \cdot \alpha$<br>$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b \cdot c_b}$                           |
| <b>Slabe dvohidroksilne (dvokisele baze)</b>   | $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ,<br>$\text{Mn}(\text{OH})_2$ ,<br>$\text{Fe}(\text{OH})_2$ ,<br>...                                                                      | $\text{Zn}(\text{OH})_{2(s)} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+}_{(aq)} + 2\text{OH}^-_{(aq)}$<br>$\text{Zn}^{2+} + \text{OH}^- \rightleftharpoons [\text{Zn}(\text{OH})]^+$<br>$[\text{Zn}(\text{OH})]^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons [\text{Zn}(\text{OH})_2]$<br>$[\text{Zn}(\text{OH})_2] + \text{OH}^- \rightleftharpoons [\text{Zn}(\text{OH})_3]^-$<br>$[\text{Zn}(\text{OH})_3]^- + \text{OH}^- \rightleftharpoons [\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$    | $P(\text{Zn}(\text{OH})_2) = [\text{Zn}^{2+}][\text{OH}^-]^2$<br>$K_1 = \frac{[[\text{Zn}(\text{OH})]^+]}{[\text{Zn}^{2+}] \cdot [\text{OH}^-]}$<br>$K_2 = \frac{[[\text{Zn}(\text{OH})_2]]}{[[\text{Zn}(\text{OH})]^+] \cdot [\text{OH}^-]}$         | složena jednačina koja obuhvata ravnotežu rastvaranja i ravnoteže nastajanja raznih hidrokso-kompleksa |
| <b>Slabe trohidroksilne (trokisele baze)</b>   | $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,<br>$\text{Cr}(\text{OH})_3$ ,<br>$\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,<br>...                                                                      | $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+}_{(aq)} + 3\text{OH}^-_{(aq)}$<br>$\text{Al}^{3+} + \text{OH}^- \rightleftharpoons [\text{Al}(\text{OH})]^{2+}$<br>$[\text{Al}(\text{OH})]^{2+} + \text{OH}^- \rightleftharpoons [\text{Al}(\text{OH})_2]^+$<br>$[\text{Al}(\text{OH})_2]^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons [\text{Al}(\text{OH})_3]$<br>$[\text{Al}(\text{OH})_3] + \text{OH}^- \rightleftharpoons [\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ | $P(\text{Al}(\text{OH})_3) = [\text{Al}^{3+}][\text{OH}^-]^3$<br>$K_1 = \frac{[[\text{Al}(\text{OH})]^{2+}]}{[\text{Al}^{3+}] \cdot [\text{OH}^-]}$<br>$K_2 = \frac{[[\text{Al}(\text{OH})_2]^+]}{[[\text{Al}(\text{OH})]^{2+}] \cdot [\text{OH}^-]}$ | -//-                                                                                                   |

<sup>3\*</sup>CuOH je hipotetički hidroksid oksida Cu<sub>2</sub>O. Ioni pisani u uglastoj zagradi kao npr.  $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$  i  $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$  su tzv. kompleksni joni koji nastaju vezivanjem molekula ili jona za centralni metalni jon koordinativnim vezama (pogledati stranu 152.-pojam amfoternosti). Koordinativna veza je objašnjena u poglavlju 2.1.2. (20. strana).

## VI računska vežba: Zadaci iz oblasti kiselina i baza (pH i stehiometrija)

### Zadaci vezani za pH

**Zadatak 1.** Neka je koncentracija  $[H^+] = 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ . Kako će se promeniti pH rastvora ako se  $[H^+]$  poveća deset puta?

**Postupak rešavanja:**

$$\begin{aligned}[H^+]_1 &= 10^{-2} \text{ mol/dm}^3 \\ \text{pH}_1 &= -\log(10^{-2}) = -(-2) = 2 \\ [H^+]_2 &= 10 \cdot 10^{-2} = 10^{-1} \text{ mol/dm}^3\end{aligned}$$

$$\text{pH}_2 = -\log(10^{-1}) =$$

pH će se \_\_\_\_\_

**Zadatak 2.** Neka je pH nekog rastvora 4. Kako će se menjati koncentracija  $\text{OH}^-$  ako se pH poveća za dve pH jedinice?

**Postupak rešavanja:**

$$\text{pH}_1 = 4; \quad \text{pOH}_1 = 14 - 4 = 10; \quad [\text{OH}^-]_1 = 10^{-10} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH}_2 = 6; \quad \text{pOH}_2 = \quad \quad \quad [\text{OH}^-]_2 =$$

$$\frac{[\text{OH}^-]_2}{[\text{OH}^-]_1} =$$

$[\text{OH}^-]$  će se \_\_\_\_\_.

**Zadatak 3.** Izračunati pH vrednost rastvora koji u  $100 \text{ cm}^3$  sadrži 0,17 mg  $\text{OH}^-$  jona?

**Postupak rešavanja:**

$$\begin{aligned}V &= 100 \text{ cm}^3 = 0,1 \text{ dm}^3 \\ m(\text{OH}^-) &= 0,17 \text{ mg} = 0,17 \cdot 10^{-3} \text{ g} \\ M(\text{OH}^-) &= 17 \text{ g/mol} \\ \text{pH} &= ?\end{aligned}$$

$$n(\text{OH}^-) = \frac{m(\text{OH}^-)}{M(\text{OH}^-)} =$$

$$[\text{OH}^-] =$$

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] =$$

$$\text{pH} =$$

**Zadatak 4:** U  $100 \text{ cm}^3$  je rastvoreno  $10 \text{ mg}$  NaOH. Kolika je pH, pOH i koncentracija  $\text{OH}^-$  jona u dobijenom rastvoru?

**Postupak rešavanja:**

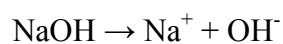
$$V = 100 \text{ cm}^3 = 0,1 \text{ dm}^3$$

$$m(\text{NaOH}) = 10 \text{ mg} = 0,01 \text{ g}$$

$$M(\text{NaOH}) = 40 \text{ g/mol}$$

$$n(\text{NaOH}) =$$

$$c(\text{NaOH}) =$$



$$n(\text{NaOH}) = n(\text{OH}^-)$$

$$c(\text{NaOH}) = [\text{OH}^-]$$

$$[\text{OH}^-] =$$

$$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-] =$$

$$\text{pH} =$$

**Zadatak 5:** Koliko je pH rastvora LiOH masene koncentracije  $14,4 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ ?

**Postupak rešavanja:**

$$\gamma(\text{LiOH}) = 14,4 \mu\text{g}/\text{cm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

### Rešavanje stehiometrijskih zadataka iz oblasti kiselina i baza

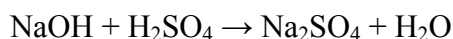
Hemijska reakcija između kiseline i baze se zove **neutralizacija**. U reakciji neutralizacije nastaju so i voda. Nazivi soli se pišu tako što se imenuje prvo metal (iz hidroksida) pa onda drugi deo koji se zove kiselinski ostatak.



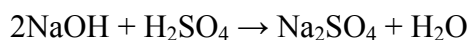
U jednačinama hemijskih reakcija mora da se poštuje zakon održanja mase. To znači da ukupan broj atoma nekog hemijskog elementa sa leve strane jednačine mora da bude jednak ukupnom broju atoma tog istog hemijskog elementa sa desne strane. To nazivamo **izjednačavanje jednačina**.

Primena ovog zakona se postiže upisivanjem koeficijenata ispred formule ili hemijskog simbola. **Tokom izjednačavanja reakcije nikada se ne menjaju indeksi u formulama molekula**. Hemijske formule sa različitim indeksima predstavljaju različite supstance, koje imaju različita svojstva.

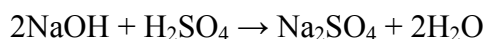
Princip izjednačavanja objasnićemo na reakciji neutralizacije između Na-hidroksida i sumporne kiseline. Prvo je neophodno pravilno napisati hemijsku reakciju, odnosno formule kiseline i baze koje reaguju, a zatim i nastalu so i vodu.



Nakon ovog koraka potrebno je izjednačiti reakciju. Najlakše je krenuti od metala, odnosno prebrojati ukupan broj atoma metala (u ovom slučaju Na) sa leve i desne strane. Ukoliko nije jednak, izjednačiti ga dodavanjem odgovarajućeg koeficijenta.



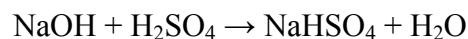
Zatim je neophodno prebrojati i izjednačiti i ostale elemente. Vidimo da imamo po jedan atom S sa obe strane reakcije, znači da je to u redu. Ali nemamo izjednačen broj atoma O i H. Sa leve strane imamo 4 atoma H, a sa desne 2. Dodaćemo ispred molekula vode koeficijent 2 i time smo izjednačili atome H i O.



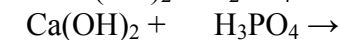
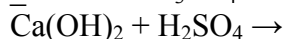
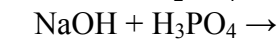
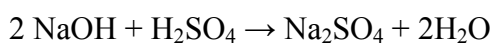
Koeficijenti u jednačini nam ukazuju u kom odnosu supstance reaguju kako bi došlo do potpune neutralizacije. U prethodnom primeru se vidi da ako NaOH i H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> reaguju u odnosu 2:1, dolazi do potpune neutralizacije kada kvantitativno nastaje sekundarni Na-sulfat iz kiseline i baze. Ukoliko bi stehiometrijski odnos bio 1:1, došlo bi do nepotpune neutralizacije kada bi nastao primarni Na-sulfat (NaHSO<sub>4</sub>).

**Primer 1:** Dovršiti započete reakcije i odrediti stehiometrijske koeficijente u sledećim neutralizacionim reakcijama:

➤ **Nepotpuna neutralizacija:**



➤ **Potpuna neutralizacija:**



### Stehiometrijski zadaci\*

**Zadatak 6:** Koja zapremina NaOH koncentracije  $c = 0,2700 \text{ mol/dm}^3$  je potrebna za neutralizaciju  $45,00 \text{ cm}^3$  HCl koncentracije  $c = 0,3100 \text{ mol/dm}^3$ ?\*\*

**Postupak rešavanja:**

$$c(\text{NaOH}) = 0,2700 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{HCl}) = 0,3100 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{HCl}) = 45,00 \text{ cm}^3$$

$$V(\text{NaOH}) = ?$$



Proporcija-stehiometrijski odnos:  $n(\text{NaOH}) : n(\text{HCl}) = 1 : 1$

$$n(\text{NaOH}) = n(\text{HCl})$$

$$n = c \cdot V$$

$$c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})$$

$$V(\text{NaOH}) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})}{c(\text{NaOH})}$$

$$V(\text{NaOH}) =$$

**Zadatak 7:** Koliko grama NaOH je potrebno za potpunu neutralizaciju  $35,00 \text{ cm}^3$  rastvora sumporne kiseline koncentracije  $0,5500 \text{ mol/dm}^3$ ?\*\*

**Postupak rešavanja:**

$$V(\text{H}_2\text{SO}_4) = 35,00 \text{ cm}^3 = 0,035 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,5500 \text{ mol/dm}^3$$

$$m(\text{NaOH}) = ? \quad M(\text{NaOH}) = 40 \text{ g/mol}$$



Proporcija-stehiometrijski odnos:  $n(\text{NaOH}) : n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 : 1$

$$n(\text{NaOH}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{SO}_4) \quad n = \frac{m}{M}, \quad n = c \cdot V$$

$$\frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})} = 2 \cdot c(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

$$m(\text{NaOH}) = 2 \cdot c(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{NaOH})$$

=

\* Stehiometrija je izračunavanje kvantitativnih odnosa između reaktanata i produkata u izjednačenim hemijskim reakcijama.

\*\*Ukoliko su u zadatku dati podaci sa četiri značajne cifre, to znači da i rezultat mora imati istu preciznost (četiri značajne cifre)!

**Zadatak 8:** Koja zapremina NaOH koncentracije  $c = 0,3300 \text{ mol/dm}^3$  je potrebna za reakciju NaOH sa  $55,00 \text{ cm}^3$   $\text{H}_2\text{SO}_4$  koncentracije  $c = 0,4200 \text{ mol/dm}^3$  u stehiometrijskom odnosu 1:1?\*

**Postupak rešavanja:**

$$V(\text{H}_2\text{SO}_4) = 55,00 \text{ cm}^3 = 0,055 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,4200 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{NaOH}) = 0,3300 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{NaOH}) = ?$$



Proporcija-stehiometrijski odnos:  $n(\text{NaOH}) : n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 : 1$

$$n(\text{NaOH}) = n(\text{H}_2\text{SO}_4) \quad n = c \cdot V$$

$$c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) = c(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

$$V(\text{NaOH}) = \frac{c(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{H}_2\text{SO}_4)}{c(\text{NaOH})} =$$

**\*\*Ukoliko su u zadatku dati podaci sa četiri značajne cifre, to znači da i rezultat mora imati istu preciznost (četiri značajne cifre)!**

**Overa asistenta:**

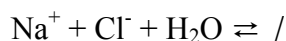
## 2.10. HIDROLIZA

Hidroliza je reakcija između jona soli i vode kada nastaju slabo disosovana jedinjenja. To je reakcija suprotna neutralizaciji. Usled hidrolize rastvor može reagovati kiselo, bazno, a u retkim slučajevima i neutralno.

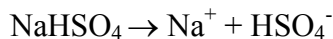
U vodenom rastvoru neke soli MeA prisutni su joni soli koji nastaju disocijacijom:



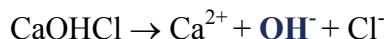
Soli koje su nastale iz jake kiseline i jake baze potpunom neutralizacijom ne podležu hidrolizi i njihovi vodeni rastvori su neutralni jer ne postoji mogućnost stvaranja slabo disosovanog jedinjenja, a koncentracija jona soli i  $\text{H}^+$  i  $\text{OH}^-$  jona se ne menja. Takve soli su na primer NaCl,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaNO}_3$  i dr.



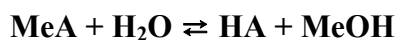
Kisele soli (hidrogen-soli), kao na primer  $\text{NaHSO}_4$ , nastale nepotpunom neutralizacijom jakih baza i jakih kiselina, ne podležu hidrolizi, ali daju kiselu reakciju ( $\text{pH} < 7$ ) usled disocijacije jona kiselinskog ostatka koji sadrži vodonik:



Postoje i bazne soli, kod kojih nisu neutralisani svi  $\text{OH}^-$  joni jake baze, pomoću jake kiseline, npr., CaOHCl (kalcijum-hidroksid-hlorid). Takve soli ne podležu hidrolizi ali daju baznu reakciju usled elektrolitičke disocijacije kada nastaje hidroksid-jon:

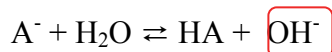
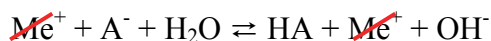


Opšta reakcija hidrolize može se prikazati sledećom jednačinom prikazanom u molekulskom obliku:



### ***Bazna hidroliza***

Soli nastale u reakciji slabih kiselina i jakih baza hidrolizuju, a vodeni rastvor pokazuje baznu reakciju što može da se prikaže sledećom jonskom jednačinom:

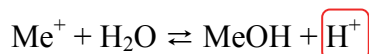
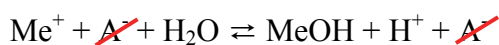


$$K_h = \frac{[\text{HA}] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{A}^-]}$$

Kada se reakcija napiše u jonskom obliku vidi se da joni  $A^-$  zapravo stupaju u reakciju sa molekulima vode. Vezivanjem  $H^+$  jona, nastaju molekuli slabe kiseline koja se piše u nedisosovanom obliku i  $OH^-$  joni koji uslovljavaju baznu reakciju. Intenzitet hidrolize opisan je konstantom hidrolize ( $K_h$ ) koja predstavlja ravnotežnu konstantu za ovaj proces. Ukoliko so više hidrolizuje, konstanta hidrolize će imati veću vrednost, a rastvor će biti bazniji i obrnuto. Primeri soli koje podležu baznoj hidrolizi:  $Na_2CO_3$ ,  $NaHCO_3$ ,  $CH_3COONa$ ,  $KCN$  i dr. Prisustvo karbonata u zemljištu čini takva zemljišta alkalnim usled hidrolize.

### **Kisela hidroliza**

Soli nastale u reakciji slabih baza i jakih kiselina takođe hidrolizuju, a vodeni rastvor pokazuje kiselu reakciju što može da se prikaže sledećom jonskom jednačinom:

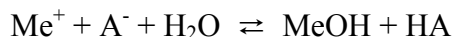


$$K_h = \frac{[MeOH] \cdot [H^+]}{[Me^+]}$$

Joni  $Me^+$  vezuju iz molekula vode  $OH^-$  jone stvarajući slabo disosovanu bazu, pri čemu nastaju  $H^+$  joni koji dovode do kisele reakcije rastvora. Reakciju kisele hidrolize opisuje konstanta hidrolize ( $K_h$ ) analogno kao kod bazne hidrolize, s tim što u ovom slučaju vrednost konstante ukazuje na stepen zakišeljavanja rastvora usled hidrolize. U soli koje podležu kiselj hidrolizi spadaju:  $NH_4Cl$ ,  $AlCl_3$ ,  $(NH_4)_2SO_4$  i dr. Povećane količine ovakvih soli u zemljištu, čine da ono bude kiselo. Kiselost zemljišta naročito uslovljava prisustvo azotnih jedinjenja koja se mikrobiološkim putem transformišu u kiseline azota.

### **Hidroliza soli slabih kiselina i slabih baza**

Soli nastale u reakciji slabih kiselina i slabih baza najjače hidrolizuju. U reakciji nastaju slaba kiselina i slaba baza, a rastvor može biti neutralan, kiseo ili bazan što zavisi od odnosa jačine baze  $MeOH$  i kiseline  $HA$ .



$$K_h = \frac{[MeOH] \cdot [HA]}{[Me^+] \cdot [A^-]}$$

Rastvor je neutralan ukoliko su nastala baza i kiselina iste jačine ( $K_a = K_b$ ). Ukoliko je slaba kiselina jača od slabe baze ( $K_a > K_b$ ) rastvor će reagovati kiselo, a ukoliko je slaba baza jača od slabe kiseline, rastvor će reagovati bazno ( $K_a < K_b$ ). Na primer, vodeni rastvor  $CH_3COONH_4$  će reagovati neutralno jer je  $K_{NH_4OH} = K_{CH_3COOH}$ , dok će vodeni rastvor  $(NH_4)_2CO_3$  reagovati slabo bazno jer je  $K_{NH_4OH} = 1,8 \cdot 10^{-5} > K_{H_2CO_3} = 4,3 \cdot 10^{-7}$ .

## 2.11. PUFERI

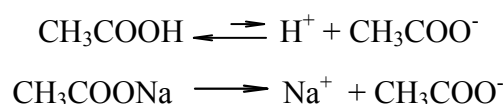
Mnoge hemijske reakcije se odvijaju samo na konstantnim pH vrednostima. Da bi pH vrednost rastvora ostala konstantna koriste se puferi. Puferi ili regulatori su smeše:

- slabih kiselina i njihovih soli sa jakim bazama (kiseli puferi sistem) ili
- slabih baza i njihovih soli sa jakim kiselinama (bazni puferi sistem).

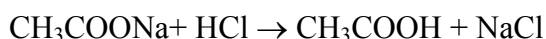
Puferi imaju osobinu da održavaju pH vrednost rastvora približno konstantnom pri dodatku određene količine jake baze ili jake kiseline i pri razblaženju rastvora.

### *Kiseli puferi sistem*

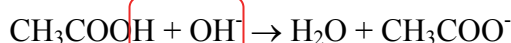
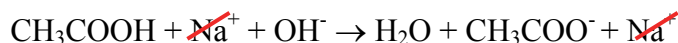
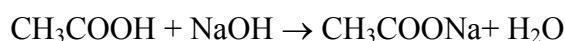
Primer ovakvog pufera je acetatni pufer koji se sastoji od  $\text{CH}_3\text{COOH}$  i  $\text{CH}_3\text{COONa}$ . U rastvoru ovog pufera koji sadrži slabu, sirćetnu kiselinu i njenu so sa jakim bazom  $\text{CH}_3\text{COONa}$  dolazi do suzbijanja disocijacije sirćetne kiseline zbog dejstva zajedničkog jona ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) koji nastaje potpunom disocijacijom soli. Disocijacija komponenata acetatnog pufera može se prikazati sledećim jednačinama:



Ako se rastvoru acetatnog pufera doda potpuno disosovana  $\text{HCl}$ , vodonikovi joni iz jake kiseline će se sjedinjavati sa acetatnim jonima iz  $\text{CH}_3\text{COONa}$  i dati slabo disosovanu  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Na taj način se gubi uticaj dodatnih  $\text{H}^+$  jona iz kiseline i povećava koncentracija nedisosovane  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pri čemu ne dolazi do značajne promene  $[\text{H}^+]$  i pH vrednosti rastvora. Date su jednačine u molekulskom i jonskom obliku:

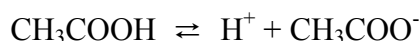


Pri dodatku jake, potpuno disosovane baze  $\text{NaOH}$ ,  $\text{OH}^-$  joni dodate baze će se sjedinjavati sa vodonikom iz sirćetne kiseline gradeći vodu, pri čemu se gubi uticaj dodatnih  $\text{OH}^-$  iz baze. Date su jednačine u molekulskom i jonskom obliku:



U rastvoru pufera će se smanjiti koncentracija nejonizovane kiseline, a povećaće se koncentracija acetatnog anjona, pri čemu ne dolazi do značajne promene  $[\text{H}^+]$  i pH vrednosti rastvora iako je dodata jaka baza.

Koncentracija  $[H^+]$  jona u puferu koji se sastoji iz slabe kiseline i njene soli može da se izvede iz izraza za kiselinsku konstantu  $CH_3COOH$ :



$$K_a = \frac{[CH_3COO^-][H^+]}{[CH_3COOH]}$$

Uzimajući u obzir da je u rastvoru pufera došlo do suzbijanja disocijacije kiseline, ravnotežna koncentracija sirćetne kiseline je približno jednaka početnoj koncentraciji kiseline ( $c_a$ ), a ravnotežna koncentracija acetat jona je približno jednaka koncentraciji soli ( $c_s$ ).

$$[H^+] = K_a \cdot \frac{c_a}{c_s}$$

gde je

$K_a$  - konstanta disocijacije slabe kiseline

$c_a$  - koncentracija slabe kiseline

$c_s$  - koncentracija soli

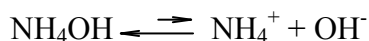
Ako se prethodna jednačina podvrgne negativnom dekadnom logaritmu dobija se Henderson-Haselbahova (Henderson-Hasselbalch) jednačina za kiseli pufer:

$$pH = pK_a + \log \frac{c_s}{c_a}$$

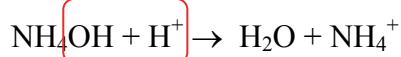
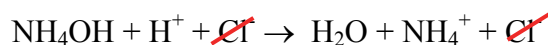
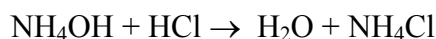
gde je  $pH = -\log [H^+]$ ; a  $pK_a = -\log K_a$

### ***Bazni puferski sistem***

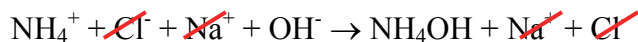
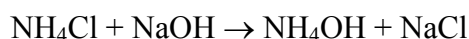
Slične reakcije se dešavaju i u rastvoru pufera koji je sastavljen od slabe baze i njene soli sa jakim kiselinom. Najpoznatiji bazni pufer je amonijačni pufer. Amonijačni pufer se sastoji od:  $NH_4OH$  i  $NH_4Cl$ . Ovde dolazi do suzbijanja disocijacije slabe baze usled dejstva zajedničkog jona. Disocijacija komponenata amonijačnog pufera prikazuje sa sledećim jednačinama:



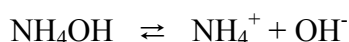
Pri dodatku jake kiseline,  $H^+$  joni kiseline reagovali sa  $NH_4OH$  gradeći vodu, a u rastvoru će se povećati koncentracija  $NH_4^+$  jona pri čemu će se gubiti uticaj dodatnih  $H^+$  jona kiseline. Date su jednačine u molekulskom i jonskom obliku:



Ukoliko se u pufer doda NaOH doći će do reakcije  $\text{NH}_4^+$  sa  $\text{OH}^-$  jonima iz dodate baze, formiraće se  $\text{NH}_4\text{OH}$ , a time i suzbiti efekat  $\text{OH}^-$  jona. Ovaj proces prikazuju jednačine u molekulskom i jonskom obliku:



U oba navedena slučaja pH rastvora se ne menja. Analogno, kao i kod kiselog puferskog sistema, relacija za izračunavanje  $[\text{OH}^-]$  može se izvesti iz bazne konstante amonijum-hidroksida:



$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]}$$

Uzimajući u obzir da je u rastvoru pufera došlo do suzbijanja disocijacije baze, ravnotežna koncentracija amonijum-hidroksida je približno jednaka početnoj koncentraciji baze ( $c_b$ ), a ravnotežna koncentracija amonijum jona je približno jednaka koncentraciji soli ( $c_s$ ).

$$[\text{OH}^-] = K_b \cdot \frac{c_b}{c_s}$$

gde je:

$K_b$  - konstanta disocijacije slabe baze

$c_b$  - koncentracija slabe baze

$c_s$  - koncentracija soli

Ako se prethodna jednačina logaritmuje ( $-\log_{10}$ ) dobija se Henderson-Haselbahova jednačina za bazni pufer:

$$\text{pOH} = \text{p}K_b + \log \frac{c_s}{c_b}$$

gde je  $\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$ ; a  $\text{p}K_b = -\log K_b$

Puferi zadržavaju svoje pufersko dejstvo sve dotle dok je količina dodate baze ili kiseline manja od količine slabe kiseline ili slabe baze u puferskoj smeši.

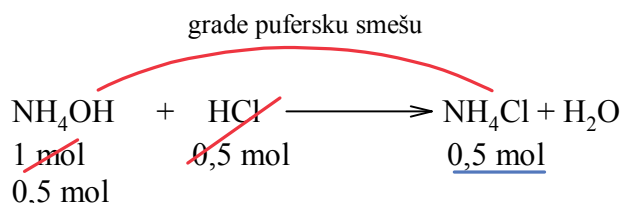
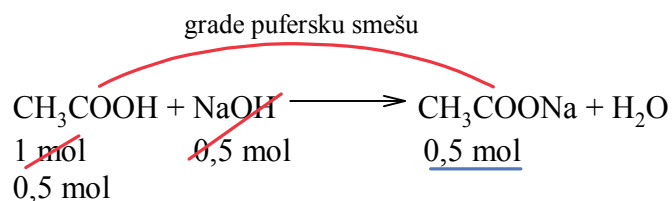
**Kapacitet pufera** predstavlja sposobnost pufera da se opire promeni pH pri dodatku kiseline ili baze. Što je koncentracija sastojaka pufera veća, veći je i kapacitet pufera. Pufer ima maksimalan kapacitet kada su koncentracije obe komponente puferskog sistema jednake  $c_a$  (ili  $c_b$ ) =  $c_s$ . Tada je  $\text{p}K_a = \text{pH}$  (ili  $\text{p}K_b = \text{pOH}$ ). Smatra se da pufer može da efikasno ostvari svoj efekat u granicama  $\text{pH} = \text{p}K_a \pm 1$  ( $\text{pOH} = \text{p}K_b \pm 1$ ).

### ***Dobijanje pufera u reakcijama neutralizacije***

Puferski sistem se lako može proizvesti mešanjem ekvimolarnih količina dvaju komponenata koje ga grade. Međutim, pufer može nastati i kao rezultat hemijske reakcije neutralizacije:

- slabe kiseline i upola manje količine jake baze (kiseli pufer) i
- slabe baze i upola manje količine jake kiseline (bazni pufer).

Sledeće reakcije opisuju nastajanje acetatnog i amonijačnog pufera u neutralizacionoj reakciji:



#### ***Primer 1:***

Koliko mg  $\text{CH}_3\text{COONa}$  treba dodati u  $100 \text{ cm}^3$  rastvora sirćetne kiseline koncentracije  $0,1 \text{ mol/dm}^3$ , da se dobije pH rastvora 3,74?  $K_a = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ .

#### ***Postupak rešavanja:***

$$V = 100 \text{ cm}^3 = 0,1 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{CH}_3\text{COOH}) = c_a = 0,1 \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = 3,74$$

$$K_a = 1,8 \cdot 10^{-5}$$

$$M(\text{CH}_3\text{COONa}) = 82 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{CH}_3\text{COONa}) = ? \text{ mg}$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-3,74} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

$$[\text{H}^+] = K_a \frac{c_a}{c_s} \text{ odakle proizilazi da je}$$

$$c(\text{CH}_3\text{COONa}) = \frac{c_a K_a}{[\text{H}^+]} = 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$$

$$n(\text{CH}_3\text{COONa}) = c \cdot V = 0,01 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ mol}$$

$$m(\text{CH}_3\text{COONa}) = n \cdot M = 10^{-3} \text{ mol} \cdot 82 \text{ g/mol} = 8,2 \cdot 10^{-2} \text{ g} = 82 \text{ mg}$$

**Tabela 2.14.** Ravnoteže u rastvorima soli koje hidrolizuju.

| Vrsta soli                    | Primeri soli                                                                                                                                                                         | Reakcija hidrolize soli                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Izraz za konstantu ravnoteže (konstanta hidrolize)                                                                                                  | Tip hidrolize                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Jake kiseline/<br>jake baze   | NaCl,<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub><br>NaNO <sub>3</sub><br>...                                                                                                                 | NaCl + H <sub>2</sub> O → /<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O → /<br>NaNO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O → /                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | /                                                                                                                                                   | Nema hidrolize                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Slabe kiseline/<br>jake baze  | NaCN<br>KNO <sub>2</sub><br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub><br>...                                                                                                                   | NaCN + H <sub>2</sub> O ⇌ NaOH + HCN<br>CN <sup>-</sup> + H <sub>2</sub> O ⇌ HCN + OH <sup>-</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | $K_h = \frac{[HCN] \cdot [OH^-]}{[CN^-]}$                                                                                                           | Bazna hidroliza                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Jake kiseline/<br>slabe baze  | NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub><br>AlCl <sub>3</sub><br>FeCl <sub>3</sub><br>...                                                                                                     | NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O ⇌ NH <sub>4</sub> OH + HNO <sub>3</sub><br>NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + H <sub>2</sub> O ⇌ NH <sub>4</sub> OH + H <sup>+</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $K_h = \frac{[NH_4OH] \cdot [OH^-]}{[NH_4^+]}$                                                                                                      | Kiselna hidroliza                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Slabe kiseline/<br>slabe baze | CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub><br>(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub><br>Al <sub>2</sub> (SO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub><br>(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S<br>... | CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O ⇌ CH <sub>3</sub> COOH + NH <sub>4</sub> OH<br>CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup> + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + H <sub>2</sub> O ⇌ CH <sub>3</sub> COOH + NH <sub>4</sub> OH<br><br>(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + 2H <sub>2</sub> O ⇌ 2NH <sub>4</sub> OH + H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub><br>2NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + H <sub>2</sub> O ⇌ 2NH <sub>4</sub> OH + H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | $K_h = \frac{[NH_4OH] \cdot [CH_3COOH]}{[NH_4^+] \cdot [CH_3COO^-]}$<br><br>$K_h = \frac{[NH_4OH]^2 \cdot [H_2CO_3]}{[NH_4^+]^2 \cdot [CO_3^{2-}]}$ | Rastvor reaguje neutralno,<br>slabo kiselo ili slabo bazno.<br><br>CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> daje neutralnu reakciju jer je<br>K <sub>NH<sub>4</sub>OH</sub> = K <sub>CH<sub>3</sub>COOH</sub><br><br>(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> daje slabo baznu reakciju jer je<br>K <sub>NH<sub>4</sub>OH</sub> > K <sub>H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></sub> . |

Tabela 2.15. Hemijske reakcije pufera.

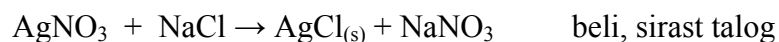
| Primer pufera      | Komponente pufera         | Reakcija pufera sa jakim bazom (NaOH)                                                                                                                                               | Reakcija pufera sa jakim kiselinom (HCl)                                                                                                                                    | Formula za izračunavanje $[H^+]$ ili $[OH^-]$ |
|--------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Acetatni pufer     | $CH_3COOH$<br>$CH_3COONa$ | $CH_3COOH + NaOH \longrightarrow CH_3COONa + H_2O$<br>$CH_3COOH + Na^+ + OH^- \longrightarrow CH_3COO^- + Na^+ + H_2O$<br>$CH_3COOH + OH^- \longrightarrow CH_3COO^- + H_2O$        | $CH_3COONa + HCl \longrightarrow CH_3COOH + NaCl$<br>$CH_3COO^- + Na^+ + H^+ + Cl^- \longrightarrow CH_3COOH + Na^+ + Cl^-$<br>$CH_3COO^- + H^+ \longrightarrow CH_3COOH$   | $[H^+] = K_a \frac{c_a}{c_s}$                 |
| Amonijačni pufer   | $NH_4OH$<br>$NH_4Cl$      | $NH_4Cl + NaOH \longrightarrow NH_4OH + NaCl$<br>$NH_4^+ + Cl^- + Na^+ + OH^- \longrightarrow NH_4OH + Na^+ + Cl^-$<br>$NH_4^+ + OH^- \longrightarrow NH_4OH$                       | $NH_4OH + HCl \longrightarrow NH_4Cl + H_2O$<br>$NH_4OH + H^+ + Cl^- \longrightarrow NH_4^+ + Cl^- + H_2O$<br>$NH_4OH + H^+ \longrightarrow NH_4^+ + H_2O$                  | $[OH^-] = K_b \frac{c_b}{c_s}$                |
| Bikarbonatni pufer | $H_2CO_3$<br>$NaHCO_3$    | $H_2CO_3 + NaOH \longrightarrow NaHCO_3 + H_2O$<br>$H_2CO_3 + Na^+ + OH^- \longrightarrow Na^+ + HCO_3^- + H_2O$<br>$H_2CO_3 + OH^- \longrightarrow HCO_3^- + H_2O$                 | $NaHCO_3 + HCl \longrightarrow H_2CO_3 + NaCl$<br>$Na^+ + HCO_3^- + H^+ + Cl^- \longrightarrow H_2CO_3 + Na^+ + Cl^-$<br>$HCO_3^- + H^+ \longrightarrow H_2CO_3$            | $[H^+] = K_a \frac{c_a}{c_s}$                 |
| Fosfatni pufer     | $KH_2PO_4$<br>$K_2HPO_4$  | $KH_2PO_4 + KOH \longrightarrow K_2HPO_4 + H_2O$<br>$K^+ + H_2PO_4^- + K^+ + OH^- \longrightarrow 2K^+ + HPO_4^{2-} + H_2O$<br>$H_2PO_4^- + OH^- \longrightarrow HPO_4^{2-} + H_2O$ | $K_2HPO_4 + HCl \longrightarrow KH_2PO_4 + KCl$<br>$2K^+ + HPO_4^{2-} + H^+ + Cl^- \longrightarrow 2K^+ + H_2PO_4^- + Cl^-$<br>$HPO_4^{2-} + H^+ \longrightarrow H_2PO_4^-$ | $[H^+] = K_a \frac{c_a}{c_s}$                 |

### 3. KVANTITATIVNA ANALIZA

Analitička hemija je hemijska disciplina u kojoj se izučavaju i razvijaju metode pomoću kojih se može utvrditi kvalitativni i kvantitativni sastav smeša, kao i hemijski sastav i struktura supstance. Prisutna je u mnogim oblastima nauke i tehnike gde se proizvode i koriste različiti materijali, u kliničkim laboratorijama, laboratorijama za kontrolu kvaliteta hrane, za ispitivanje kvaliteta vode i zemljišta, u zaštiti životne sredine, forenzici, itd. Analitička hemija obuhvata kvalitativnu i kvantitativnu analizu. Kvalitativnom analizom se određuje hemijski sastav, odnosno identitet hemijske vrste u uzorku, dok se kvantitativnom analizom određuje količina pojedinih komponenti. Da bi se hemijski sastojci razdvojili, detektovali i izmerili u analitičkoj hemiji koriste se različite metode među kojima se nalaze klasične metode razdvajanja i dokazivanja, ali i složenije metode koje uključuju upotrebu savremenih instrumenata (npr. gasna i tečna hromatografija sa upotrebom masene spektroskopije). U klasičnoj hemijskoj analizi, nakon razdvajanja supstanci, primenjuju se dokazne reakcije koje su obično praćene nekim karakterističnim efektom (npr. razvijanje boje kod bojenih reakcija).

#### Primeri bojenih reakcija (kvalitativna analiza)

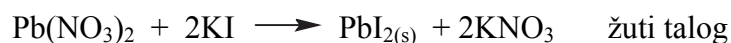
- Prisustvo hloridnog jona se dokazuje pomoću reagensa srebro-nitrata



- Dokazivanje  $\text{Fe}^{3+}$  sa  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  kada nastaje plavi kompleks (berlinsko plavo)



- Karakteristična reakcija za jone  $\text{Pb}^{2+}$  je reakcija sa KI kada nastaje žuti talog  $\text{PbI}_2$ .



#### Volumetrijske metode kvantitativne analize

Volumetrijske metode pripadaju grupi najvažnijih metoda kvantitativne hemijske analize jer su brze, ne zahtevaju komplikovanu opremu, jednostavne za izvođenje i može da se odredi veliki broj supstanci u širokoj oblasti koncentracija. U zavisnosti od vrste hemijske reakcije na kojoj se zasnivaju volumetrijske metode analize se dele na:

1. metode zasnovane na kiselinsko-baznim reakcijama ili KISELINSKO-BAZNE METODE ili metode neutralizacije. U zavisnosti da li koristimo kiselinu ili bazu kao titraciono sredstvo razlikujemo acidimetriju i alkalimetriju.
1. metode zasnovane na reakcijama oksido-redukcije ili REDOKS METODE
2. metode zasnovane na reakcijama građenja kompleksa ili KOMPLEKSOMETRIJSKE METODE
3. metode zasnovane na reakcijama taloženja ili TALOŽNE METODE

**Titracija** je tehnika koja se primenjuje za određivanje koncentracije/količine nekog rastvora. Kao što se vidi na slici postavke titracije (*Slika 3.1*), u erlenmajeru se nalazi rastvor supstance čija se koncentracija/količina određuje (titrovana supstanca ili titrand) kojem se iz birete kap po kap dodaje rastvor reagensa poznate koncentracije (titraciono sredstvo ili titrant) sve dok određivana supstanca potpuno ne izreaguje sa reagensom. Izračunavanje mase ili količine ispitivane supstance vrši se na osnovu

poznavanja toka hemijske reakcije (između titrovane supstance i titracionog sredstva), zatim koncentracije titracionog sredstva i njegove zapremine utrošene za titraciju.

### ***Tačka ekvivalencije i završna tačka titracije***

**Tačka ekvivalencije (TE)** - trenutak kada je dodata stehiometrijski ekvivalentna količina titracionog sredstva prema hemijskoj jednačini reakcije. To je teorijska završna tačka čiji se položaj u praksi može oceniti samo opažanjem neke fizičke promene koja je povezana sa njom - ova promena se manifestuje kao **završna tačka titracije (ZTT)**. Uglavnom se ZTT pojavi nešto pre ili kasnije od TE, a u idealnom slučaju se ZTT podudara sa TE.

### ***Postupak titracije***

Neophodan pribor:

- staklene kalibrisane posude: odmerni sud (merni sud, normalni sud ili odmerna tikvica), pipete (trbušaste i graduisane) i birete.
- čaše, erlenmajeri, menzure...

Pre početka titracije treba se uveriti da su sudovi potpuno čisti, da je slavina na bireti ispravna i da ne curi. Čistu biretu potrebno je isprati destilovanom vodom, a potom i standardnim rastvorom koji će se koristiti za titraciju i potom je sa rastvorom napuniti tačno do nule (proveriti da li je istisnut sav vazduh).

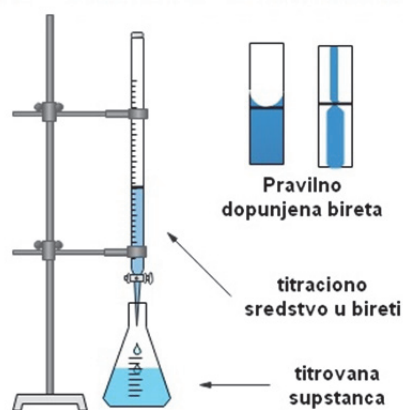
Titraciju započinjemo kada smo sigurni:

- da je bireta napunjena pravilno sa standardnim rastvorom do nule,
- da je u erlenmajeru tačno odmeren alikvot analize, i
- ukoliko koristimo indikator za ZTT potrebno je i njega sipati u erlenmajer

Titracija se započinje otvaranjem slavine da iz nje rastvor ističe u erlenmajer **kap po kap**. U toku titracije leva ruka se drži na slavini jer mora da se kontroliše brzina isticanja rastvora iz birete i na vreme da se zaustavi titracija, dok se desnom rukom drži erlenmajer i meša kružnim pokretima.

Važno je da od početka titracije svaka kap koja izađe iz birete upadne u erlenmajer sa rastvorom koji se titriše, da ne bi bilo gubitaka koji će dovesti do greške. Standardni rastvor iz birete se dodaje kap po kap sve dotle dok indikator ne promeni boju. Nakon toga se pažljivo na bireti očitava zapremina utrošenog titracionog sredstva.

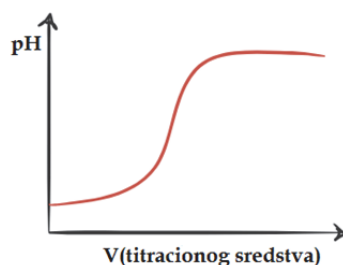
Svaka titracija se radi u najmanje tri ponavljanja, a kao rezultat se predaje srednja vrednost. Ukoliko je razlika između dve očitane zapremine veća  $0,2 \text{ cm}^3$ , probu treba ponoviti.



**Slika 3.1.** Postavka titracije.

### **Titracione krive**

**Titracione krive** su krive koje prikazuju promenu koncentracije ili logaritma brojčane vrednosti koncentracije neke supstance u zavisnosti od zapremine dodatog reagensa (*Slika 3.2*). Za svaku vrstu hemijskih reakcija možemo dobiti titracione krive koje se mogu izračunati i eksperimentalno odrediti. Postoji više tipova titracionih krivi, međutim kod acido-alkalimetrijskih titracija se koriste logaritamske titracione krive. Na apscisu titracione krive se nanosi zapremina dodatog reagensa, dok se na ordinatu nanosi pH ili pOH (kod drugih vrsta titracija se može naneti vrednost neke veličine koja se linearno menja sa promenom koncentracije reagujućih supstanci u rastvoru (npr. apsorbanca, elektroprovodljivost itd.).



**Slika 3.2.** Primer titracione krive.

Titracionu krivu i njeno izvođenje možemo opisati na primeru titracije  $100\text{cm}^3$  hlorovodonične kiseline koncentracije  $0,1\text{ mol/dm}^3$  sa rastvorom natrijum-hidroksida, koncentracije  $0,1\text{ mol/dm}^3$ . Kao i za svaki drugi grafik potrebno je odrediti koordinate nekoliko tačaka. Kod titracije važne su vrednosti u sledećim tačkama:

1) Na početku titracije (pre dodatka NaOH)

$$V(\text{NaOH}) = 0\text{ cm}^3 \quad \text{pH} = -\log(\text{H}^+) = -\log(0,1) = 1$$

2) Pre tačke ekvivalencije (npr. dodato je  $50\text{ cm}^3$  NaOH)

$$V(\text{NaOH}) = 50\text{ cm}^3 \quad V_u = 150\text{ cm}^3$$

$$\text{pH} = -\log c(\text{H}^+) = -\log(n/V_u) =$$

$$= \log((0,1\text{ mol/dm}^3 \cdot 0,1\text{ dm}^3 - 0,1\text{ mol/dm}^3 \cdot 0,05\text{ dm}^3)/0,15\text{ dm}^3) = 0,48$$

- možemo izračunati vrednosti za još jednu tačku pre TE npr. dodato je 99,9 cm<sup>3</sup> NaOH

$$V(\text{NaOH}) = 99,9 \text{ cm}^3 \quad V_u = 199,9 \text{ cm}^3$$

$$\text{pH} = -\log c(\text{H}^+) = -\log (n/V_u) =$$

$$= \log ((0,1 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,1 \text{ dm}^3 - 0,1 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0999 \text{ dm}^3) / 0,1999 \text{ dm}^3) = 4,3$$

### 3) U tački ekvivalencije

Sva kiselina je neutralisana sa bazom i pH je neutralno

$$\text{pH} = 7 \quad V(\text{NaOH}) = 100 \text{ cm}^3$$

### 4) Posle tačke ekvivalencije

$$V(\text{NaOH}) = 100,1 \text{ cm}^3 \quad V_u = 200,1 \text{ cm}^3$$

kako imamo u višku bazu računamo pOH, a vrednost pH ćemo dobiti iz relacije

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH}$$

$$\text{pOH} = -\log c(\text{OH}^-) = -\log (n/V_u) =$$

$$= \log ((0,1 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,1001 \text{ dm}^3 - 0,1 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,1 \text{ dm}^3) / 0,2001 \text{ dm}^3) = 4,3$$

$$\text{pH} = 14 - 4,3 = 9,7$$

$$\text{još jedna tačka: } V(\text{NaOH}) = 101 \text{ cm}^3 \quad V_u = 201 \text{ cm}^3$$

$$\text{pOH} = -\log c(\text{OH}^-) = -\log (n/V_u) =$$

$$= \log ((0,1 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,101 \text{ dm}^3 - 0,1 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,1 \text{ dm}^3) / 0,201 \text{ dm}^3) = 3,3$$

$$\text{pH} = 14 - 3,3 = 10,7$$

Dobijene rezultate možemo uneti u tabelu na osnovu kojih se konstruiše titraciona kriva.

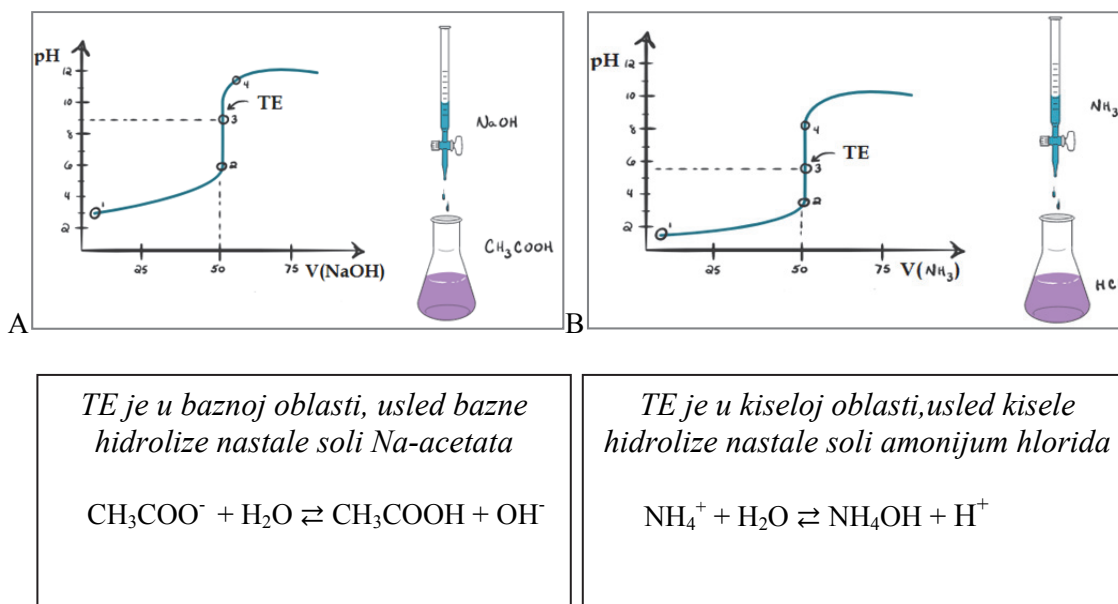
**Tabela 3.1.** Promena pH u zavisnosti od zapremine NaOH (pri titraciji rastvora HCl sa rastvorom NaOH).

| <i>V (NaOH)</i> | <i>pH</i> |
|-----------------|-----------|
| 0               | 1         |
| 50              | 0,48      |
| 99,9            | 4,3       |
| 100             | 7         |
| 100,1           | 9,7       |
| 101             | 10,7      |

U prethodno opisanom primeru pH u završnoj tački titracije je 7, odnosno sredina je neutralna. Međutim, nije neophodno da svaka nagrađena so u TE ima pH 7.

**Primer 1:** Date su dve titracione krive, dve različite titracije (titracija A - titruje se rastvor sirćetne kiseline sa Na-hidroksidom, titracija B - titruje se rastvor HCl sa amonijakom).

Pretpostaviti u kojoj sredini (kisela, neutralna, bazna) će biti TE i objasniti hemijskim reakcijama?



### Indikatori u volumetriji

Ako zamislimo da se u toku titracije odvija reakcija:  $\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{C} + \text{D}$

kraj titracije je momenat kada izreaguje sva titrovana supstanca A (A iščezne iz rastvora), odnosno momenat kada se pojave prvi primetni tragovi viška titracionog sredstva B. Ovaj momenat je završna tačka titracije (ZTT) i zavisno od hemijske reakcije može se detektovati na osnovu neke fizičke promene u rastvoru, vizuelno ili pomoću nekog instrumenta. Najčešće se u rastvor koji se titruje dodaje odgovarajući indikator koji će promenom boje ukazati na ZTT. Međutim, kod nekih hemijskih reakcija nije neophodno dodavanje indikatora da bi se vizuelno odredila ZTT, npr. titracija standardnim rastvorom kalijum-permanganata koji je obojen i prva kap koja bude u višku će da oboji titrovani rastvor i time ukaže na ZTT. To je takozvana samoindikacija ZTT. Ovakvi slučajevi su retki i uglavnom se titracije izvode u prisustvu indikatora. Indikatori su sredstva koja promenom neke svoje osobine (uglavnom boja, fluorescencija ili taloženje) ukazuju na završetak titracije. Njihovo delovanje se zasniva na konkurentnoj reakciji sa nekim od reaktanata reakcije koja se odvija u toku titracije. Indikatori moraju ispunjavati sledeće uslove:

- Osetljivost indikatora mora biti visoka, odnosno indikatori moraju biti intenzivno obojene supstance koje već u niskim koncentracijama (od  $10^{-4}$  do  $10^{-5}$  mol/dm<sup>3</sup> ili niže) dovoljno jasno boje titrovani rastvor. S obzirom da i indikatori učestvuju u reakciji titracije njihova koncentracija u rastvoru mora biti minimalna, kako indikatorska reakcija (na primer  $\text{In} + \text{B} \rightarrow \text{InB}$ ) ne bi uticala na rezultat titracije.
- Ravnoteža između dva indikatorska oblika mora se uspostaviti brzo, što znači da indikatorska reakcija u oba pravca mora teći gotovo trenutno.

Indikatori se dele prema vrstama hemijskih reakcija u kojima se primenjuju za određivanje kraja reakcije na:

- kiselinsko-bazne indikatore
- redoks indikatore
- metalo-indikatore
- adsorpcione indikatore

Ako su oba oblika indikatora obojena govorimo o dvobojnim indikatorima, a ako je jedan oblik obojen, a drugi bezbojan to su jednobojni indikator. U daljem tekstu će biti opisani neki uobučajeni indikator koji se koriste u hemiji. Kiselinsko-bazni indikator se koriste kod kiselo-baznih reakcija titracije, gde je potrebno da indikator može davati ili primati protone. To su intenzivno obojene slabe organske kiseline ili baze koje mogu da daju, odnosno primaju protone i pri tome da menjaju svoju boju.

**Tabela 3.2.** Neki kiselinsko-bazni indikator.

| Indikator          | interval prelaza | promena boje |                |
|--------------------|------------------|--------------|----------------|
|                    |                  | kiseli oblik | bazni oblik    |
| metil-žuto         | 2,9 - 4,0        | crven        | žut            |
| metil-oranž        | 3,2 - 4,4        | crven        | žut            |
| brom-krezol-zeleno | 3,8 - 5,4        | žut          | plav           |
| fenolftalein       | 8,0 - 9,8        | bezbojan     | roze-ljubičast |

### ***Rastvori koji se koriste u volumetrijskoj analizi***

U volumetrijskim analizama, pri titraciji kao titraciono sredstvo je važno da se koristi rastvor tačno poznate koncentracije koji se zove **standardni rastvor**. Kod ovih rastvora je jako važno da se zna koliko molova sadrži njihova određena zapremina. Ako svi rastvori sadrže 1 mol reagensa po litru, njihove zapremine će međusobno reagovati u stehiometrijskom odnosu (odnose se kao i broj molova u jednačini hemijske reakcije). Tako da se rastvori u volumetrijskoj analizi obično standardizuju tako da im koncentracije budu 1 mol/dm<sup>3</sup>, 0,1 mol/dm<sup>3</sup> ili 0,05 mol/dm<sup>3</sup> itd. Razlikujemo primarne i sekundarne standardne rastvore.

1. Primarni standardni rastvori se pripremaju od supstanci koje nazivamo primarnim standardnim supstancama. *Primarni standardi* su supstance koje moraju da zadovolje sledeće uslove:

- da su p.a. čistoće,
- da se ne menjaju stajanjem (da se ne raspadaju, ne isparavaju, nisu higroskopne, ne reaguju sa npr. CO<sub>2</sub> iz vazduha... tako da se koncentracija rastvora napravljenog od takve supstance ne menja tokom dužeg perioda).

Pripremanje primarnog standardnog rastvora zahteva naročitu pažnju i tačnost u radu. Odvija se pažljivim odmeravanjem primarne standardne supstance na analitičkoj vagi, prenošenjem i direktnim rastvaranjem u određenoj zapremini rastvarača tako da se dobije određena zapremina rastvora tačno poznate koncentracije. Primeri primarnih standardnih supstanci: NaCl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, natrijum-ftalat, oksalna kiselina itd.

2. Sekundarni standardni rastvori se pripremaju od supstanci koje ne zadovoljavaju kriterijume navedene za primarne standarde, odmeravanjem određene mase i rastvaranjem u rastvaraču (najčešće vodi). Tačna koncentracija takvih rastvora se mora utvrditi postupkom **standardizacije** tj. postupkom titracije tako napravljenog rastvora nekim drugim standardnim rastvorom uz odgovarajući indikator. Primeri sekundarnih standardnih supstanci: AgNO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, HCl, NaOH...

## VII laboratorijska vežba: ACIDIMETRIJA- Određivanje NaOH standardnim rastvorom HCl

### *Pripremanje i standardizacija rastvora hloridne kiseline*

Kako hloridna kiselina ne spada u primarne standardne supstance, tačna koncentracija rastvora hloridne kiseline se određuje pomoću rastvora natrijum karbonata. Prvo je potrebno razblažiti rastvor koncentrovane hlorovodonične kiseline i pripremiti rastvor HCl približne koncentracije 0,1 mol/dm<sup>3</sup>. Zatim je potrebno standardizovati rastvor (odrediti tačnu koncentraciju na četiri decimale) pomoću rastvora Na-karbonata.

#### **I Priprema rastvora HCl**

Na etiketi reagensa ćemo naći neophodne podatke o hemikaliji koje ćemo upotrebiti za izračunavanje.

Rastvor koncentrovane HCl ima  $\omega_1 = 37,2\%$  i  $\rho_1 = 1,19 \text{ g/cm}^3$

Ako želimo da napravimo 1 dm<sup>3</sup> razblaženog rastvora HCl, koncentracije 0,1 mol/dm<sup>3</sup> koliko zapreminu koncentrovane kiseline da odmerimo?

*Izračunavanje:*

$$c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2 = 0,1 \text{ mol}$$

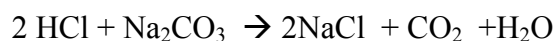
$$V_1 = \frac{m_r}{\rho} = \frac{\frac{m_s}{\omega}}{\rho} = \frac{\frac{n \cdot M}{\omega}}{\rho} = \frac{n \cdot M}{\omega \cdot \rho} = 8,245 \text{ cm}^3$$

Menzurom je potrebno odmeriti 8,2 cm<sup>3</sup> rastvora cc HCl u normalan sud od 1 dm<sup>3</sup> u kom već ima sipane destilovane vode!

#### **II Standardizacija:**

Odmeriti na analitičkoj vagi približno 0,1 g Na-karbonata i zabeležiti tačno odmerenu masu na 4 decimale. Kvantitativno preneti odmerenu masu u erlenmajer i rastvoriti u 25 cm<sup>3</sup> vode (odmeriti još dva puta Na-karbonat i napraviti još dve probe). U biretu kroz levak sipati napravljen rastvor HCl za standardizaciju. Nivo rastvora u bireti spustiti do nule. U erlenmajer dodati indikator metil-oranž (pri čemu se rastvor oboji u žuto) i postaviti ga na parče belog papira kako bi se lakše uočila promena boje. Iz birete postepeno dodavati rastvor HCl uz stalno mešanje do momenta kad boja rastvora u erlenmajeru postane blede-narandžasta. Titracija je tada završena, potrebno je zabeležiti nivo rastvora u bireti. Ponoviti postupak još dva puta sa preostale dve odmerene probe Na-karbonata.

*Hemijska reakcija:*



*Izračunavanje:* iz reakcije sledi

$$\begin{aligned} n(\text{HCl}) : n(\text{Na}_2\text{CO}_3) &= 2 : 1 \\ 2 n(\text{Na}_2\text{CO}_3) &= n(\text{HCl}) \end{aligned}$$

$$2 \frac{m}{M} (\text{Na}_2\text{CO}_3) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})$$

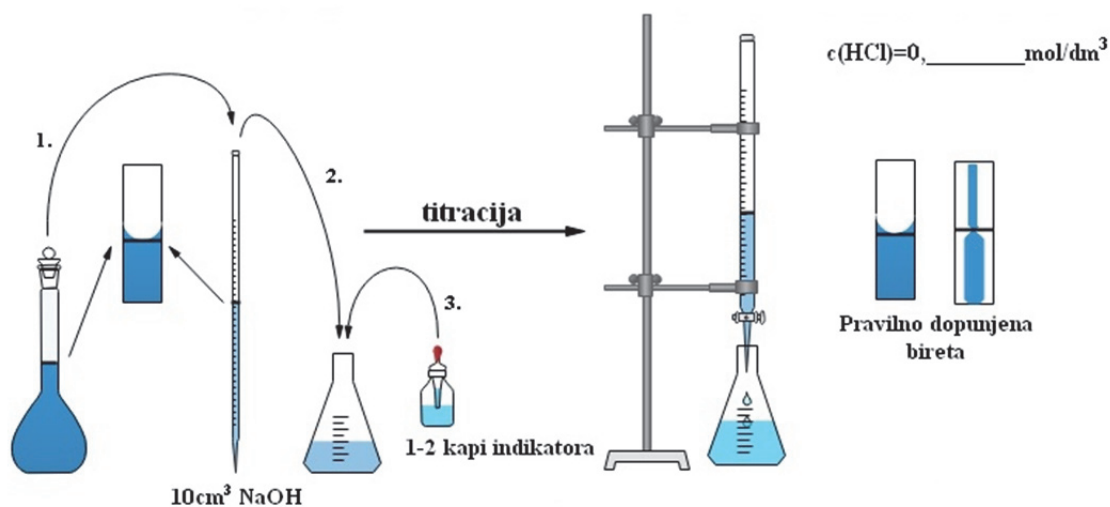
$$c(\text{HCl}) = 2 \frac{\frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3)}}{V(\text{HCl})}$$

### **Acidimetrija**

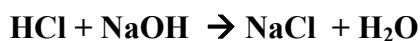
Sada kada smo standardizovali rastvor kiseline, možemo pristupiti određivanju baze. Zadatak u ovoj vežbi je da prateći uputstva rada odredite masu NaOH u dobijenoj analizi.

#### **Postupak:**

Analizu sa NaOH uzimate od laboranta i obavezno odmah zabeležite broj analize (napisan je na odmernom sudu). Dopunite odmah analizu u odmernom sudu sa destilovanom vodom do crte na sudu, zatvorite i promućkajte. U erlenmajer koji se nalazi na vašem stolu (zapremine 200-300 cm<sup>3</sup>) odmerite pipetom alikvot (10 cm<sup>3</sup>) koji ćete titrovati. Ovako pripremljenu probu ćete titrovati sa standardizovanom hloridnom kiselinom uz metil-oranž kao indikator.



#### **Izračunavanje:**



iz reakcije sledi sledeći stehiometrijski odnos:

$$n(\text{HCl}) : n(\text{NaOH}) = 1 : 1$$

$$n(\text{NaOH}) = n(\text{HCl})$$

$$n(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})} = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})$$

$$m(\text{NaOH}) =$$

**broj analize:**

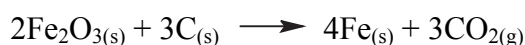
**rezultat:  $m(\text{NaOH}) =$**

**Overa asistenta:**

## 4. OKSIDO – REDUKCIJE

Reakcije oksido-redukcije ili redoks reakcije predstavljaju važnu vrstu hemijskih reakcija koje su uključene u osnovne procese živih bića (fotosinteza i disanje) kao i mnoge pojave u svakodnevnom životu (korozija i gorenje). Glavna karakteristika ovog tipa hemijske reakcije je da u njoj dolazi do prelaska elektrona između dve čestice reaktanata i samim tim do promene oksidacionog broja. Redoks reakcije se sastoje iz dve reakcije: **oksidacije koja predstavlja proces otpuštanja elektrona** sa nekog atoma, molekula ili jona i **redukcije koja predstavlja proces primanja elektrona** od strane nekog atoma, molekula ili jona.

Redoks reakcije se pokoravaju određenim pravilima koja bi trebalo usvojiti i primeniti. Na sledećem primeru je objašnjeno redom:



Potrebno je dati odgovore na sledeća pitanja:

1. Da li je ovo redoks reakcija i kako to znamo?

Da bi sa sigurnošću znali da li je neka reakcija redoks reakcija neophodno je ustanoviti da li je došlo do prenosa elektrona, a to se proverava određivanjem oksidacionih brojeva reaktanata i proizvoda reakcije.

Određivanjem oksidacionih brojeva svakog atoma reaktanta i proizvoda dobija se sledeće:



Oksidacioni broj gvožđa (Fe) i ugljenika (C) se promenio tokom reakcije, a ta promena je uslovljena razmenom elektrona. Jasno je da se radi o redoks reakciji.

2. Ako je redoks reakcija, šta se oksidovalo, a šta redukovalo u njoj?

U ovom primeru kod gvožđa se oksidacioni broj smanjio iz +3 u 0, što znači da je došlo do redukcije (redukovati – smanjivati; kada se oksidacioni broj smanjuje tokom reakcije znači da je u pitanju proces redukcije, jer dolazi do primanja elektrona).

Ugljenik je tokom reakcije povećao oksidacioni broj iz 0 u +4, što znači da je došlo do oksidacije (kada se oksidacioni broj povećava tokom reakcije znači da je u pitanju proces oksidacije, jer dolazi do otpuštanja elektrona).

3. Šta je redukciono sredstvo u ovoj reakciji?

Redukciono sredstvo je reaktant koji se oksiduje i samim tim omogućuje redukciju drugog reaktanta. U ovom slučaju redukciono sredstvo je ugljenik.

4. Šta je oksidaciono sredstvo u ovoj reakciji?

Oksidaciono sredstvo je reaktant koji se redukuje i samim tim omogućuje oksidaciju drugog reaktanta. U ovom slučaju oksidaciono sredstvo je gvožđe(III)-oksid.

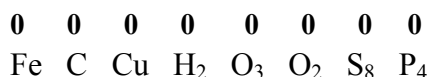
**Oksidacioni broj** je stanje u kom se nalazi atom u nekom jedinjenju i zavisi od broja elektrona koje je taj atom angažovao da bi nagradio hemijske veze sa drugim atomima. Označava se arapskim brojem **tačno iznad simbola elementa sa znakom + ili -** ispred broja, dok je kod jona obrnuto i naelektrisanje se piše u gornjem desnom uglu.

+2 -2 ← oksidacioni broj  
CaO

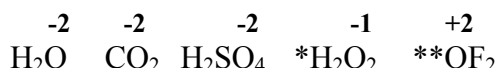
Ca<sup>2+</sup> ← naelektrisanje jona kalcijuma

Oksidacioni brojevi se određuju na osnovu nekoliko pravila:

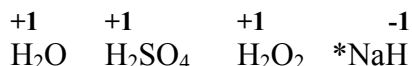
- oksidacioni broj atoma u elementarnom stanju i atoma u molekulu elemenata je nula:



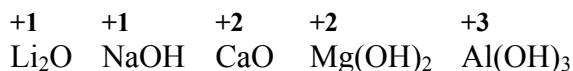
- oksidacioni broj kiseonika u svim jedinjenjima je uvek -2, izuzev u peroksidima\* (gde je -1) i u oksidu fluora\*\* OF<sub>2</sub> (gde je +2)



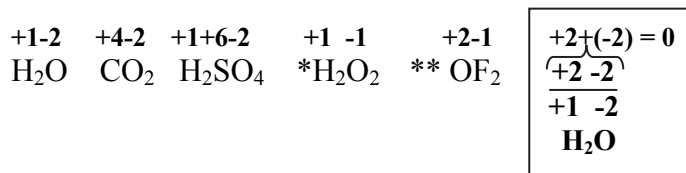
- oksidacioni broj vodonika je u svim jedinjenjima +1, izuzev u hidridima metala\* (gde je -1)



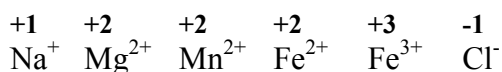
- oksidacioni broj metala iz prve grupe PSE je uvek +1, iz druge grupe +2, iz treće grupe +3



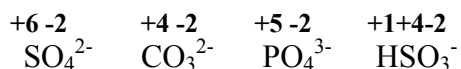
- zbir oksidacionih brojeva atoma u **neutralnom molekulu** je **nula**



- oksidacioni broj prostih jona jednak je **naboju** tog jona npr.



- zbir svih oksidacionih brojeva atoma u višeatomnim i kompleksnim jonima mora biti jednak naelektrisanju tog jona



U redoks reakcijama se čestice (atomi, molekuli i joni) koje razmenjuju elektrone nazivaju posebnim imenima i važno ih je zapamtiti i ne mešati. Čestica (atom, molekul ili jon) koja prima elektrone se naziva **oksidaciono sredstvo** (jer primanjem elektrona utiče na oksidaciju druge čestice). Suprotno, čestica (atom, molekul ili jon) koji otpušta elektrone se naziva **redukciono sredstvo** (jer otpuštanjem elektrona utiče na redukciju druge čestice). Drugim rečima, ono što se oksiduje je redukciono sredstvo, a ono što se redukuje je oksidaciono sredstvo.

Najpoznatija oksidaciona sredstva su kalijum-permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ), kalijum-hlorat ( $\text{KClO}_3$ ), kiseonik ( $\text{O}_2$ ), halogeni elementi (najjači je  $\text{F}_2$ ), azotna kiselina ( $\text{HNO}_3$ ) i dr. Oksidaciona sredstva se primenjuju za dezinfekciju i beljenje. Tako na primer hlor ( $\text{Cl}_2$ ) kao oksidaciono sredstvo ima veliki afinitet prema vodoniku; oduzimajući H vodi, oslobađa se kiseonik u nascentnom stanju (atomski kiseonik).

Najpoznatija redukciona sredstva su metali (posebno alkalni, ali i drugi) jer lako otpuštaju elektrone, zatim hidridi koji se primenjuju u organskoj hemiji ( $\text{NaBH}_4$ ,  $\text{LiAlH}_4$ ), kao i vodonik u prisustvu katalizatora platine, paladijuma ili nikla.

Kako redoks reakcije predstavljaju važne reakcije, veoma je bitno da se prepoznaju. Stoga je u narednom tekstu navedeno nekoliko primera redoks reakcija sa kojima treba da se upoznate.

### ***Reakcije sagorevanja***

Reakcije sagorevanja su redoks reakcije između molekularnog kiseonika ( $\text{O}_2$ ) i nekog jedinjenja u kojima nastaje proizvod sa kiseonikom. Kada je jedan reaktant ugljovodonik onda kao proizvod nastaju ugljen-dioksid i voda.



### ***Reakcije disproporcionisanja (disproporcije ili dismutacije)***

Reakcije disproporcionisanja su redoks reakcije u kojima se jedan reaktant i oksiduje i redukuje. Primeri su sledeće reakcije disproporcije hipohlorita  $\text{ClO}^-$  i vodonik-peroksida:



### ***Reakcije proste izmene***

Reakcije proste izmene su proste hemijske reakcije u kojima atomi proste supstance zamenjuju atome elemenata u molekulima složene supstance. Na primer, mnogi metali reaguju sa razblaženim kiselinama i formiraju soli uz izdvajanje vodonika.



### ***Oksidaciona svojstva kalijum-permanganata***

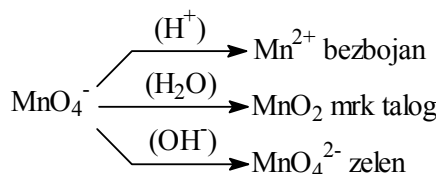
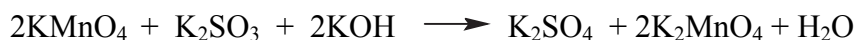
❖ Kalijum-permanganat (ili hipermangan, kako ga obično zovu u medicini),  $\text{KMnO}_4$ , je so koja se često koristi kao oksidaciono sredstvo, a njegova oksidaciona sposobnost zavisi od pH rastvora. Tako se u kiselj sredini redukuje do  $\text{Mn}^{2+}$  (primer reakcija rastvora permanganata i oksalne kiseline  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ):



❖ U slabo baznim i neutralnim rastvorima permanganat se redukuje do mrkog taloga mangan-dioksida  $\text{MnO}_2$  (četvorovalentni Mn):



❖ U jako baznim rastvorima permanganat se redukuje do zelenog manganata, jonom šestovalentnog mangana,  $\text{MnO}_4^{2-}$ :



### ***Postupak određivanja koeficijenata u jednačinama oksidoredukcionih reakcija (Izjednačavanje redoks reakcija)***

Postoje dva načina za određivanje koeficijenata u redoks reakciji:

1. korišćenjem metode promene oksidacionog broja (metoda razmene elektrona)
2. korišćenjem metode polureakcija oksidacije i redukcije

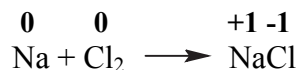
#### ***Metoda promene oksidacionog broja***

Metoda promene oksidacionog broja biće objašnjena na primeru jednostavne reakcije između elementarnog natrijuma i hlora kada nastaje so natrijum-hlorid. Nepotpuna jednačina hemijske reakcije tj. skelet redoks reakcije dat je jednačinom:

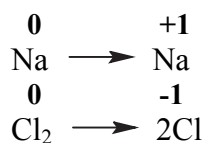


Kod metode promene oksidacionog broja reakcija se izjednačava pomoću sledećih koraka:

1. odrediti oksidacione brojeve svih atoma:



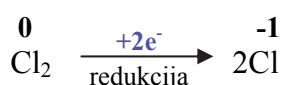
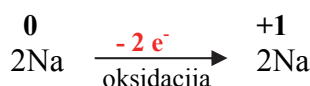
2. izdvojiti atome elemenata čiji se oksidacioni broj menja tokom reakcije (**šema razmene elektrona**) – broj atoma sa leve i desne strane u polureakciji mora biti jednak (tzv. **maseni bilans**). Voditi računa da kada u reakciji učestvuju molekuli elemenata (u ovom primeru to je molekul hlora,  $\text{Cl}_2$ ) broj atoma svakog elementa mora biti izjednačen u reakciji, pa se tako sa desne strane upisuje koeficijent 2 uz hlorid-jon  $2\text{Cl}^-$ :



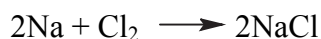
3. odrediti broj otpuštenih (oksidacija) i primljenih (redukcija) elektrona:



4. broj razmenjenih elektrona mora biti jednak (**elektronski bilans**), pa se u ovom koraku polureakcije pomnože odgovarajućim brojem (u ovom primeru se prva polureakcija pomnoži sa 2):



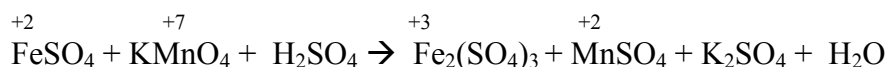
5. dobijeni koeficijenti u šemi razmene elektrona se uvrste u ukupnu jednačinu reakcije



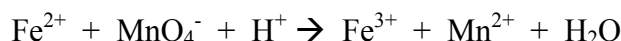
6. u sređenoj jednačini reakcije se proverí da li je jednak broj svih atoma sa leve i desne strane (sa leve strane imamo 2 atoma Na i sa desne takođe; sa leve strane imamo 2 atoma Cl i sa desne takođe).

### ***Metoda polureakcija (elektronsko-jonska metoda)***

Kod metode polureakcija, neophodno je jednačinu datu u molekulskom obliku prvo prevesti u jonski oblik. Dakle, sve jake elektrolite treba napisati u jonskom obliku s obzirom na to da u vodenom rastvoru usled elektrolitičke disocijacije oni proizvode odgovarajuće jone. Metoda polureakcija biće objašnjena na primeru reakcije između  $\text{FeSO}_4$  i  $\text{KMnO}_4$  u kiselj sredini ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Dat je skelet redoks reakcije:

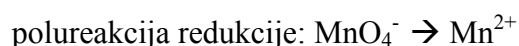


Jonski oblik prethodne jednačine dobija se tako što se svi elektroliti razlože na jone, a isti joni sa obe strane jednačine skrate. Tako u jednačini ostaju samo joni kod kojih dolazi do promene oksidacionog stanja (u ovom slučaju to su  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{MnO}_4^-$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  i  $\text{Mn}^{2+}$ ), kao i joni  $\text{H}^+$  (ili  $\text{OH}^-$  joni u baznoj sredini) i molekuli  $\text{H}_2\text{O}$  koji služe za izjednačavanje.



Procedura izjednačavanja se vrši u nekoliko koraka.

1. Prvo se **odvojeno napišu polureakcije oksidacije i redukcije**:

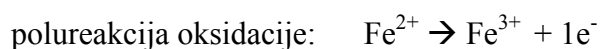


2. **Atomski (maseni) bilans:** U obe polureakcije izjednači se broj atoma elemenata koji menjaju oksidaciono stanje. U našem slučaju broj atoma gvožđa i mangana je jednak sa obe strane jednačine, pa prelazimo na izjednačavanje broja atoma kiseonika. Broj atoma kiseonika sa obe strane polureakcije izjednačava se upotrebljavajući jone  $H^+$  i molekule vode imajući u vidu da se reakcija dešava u kiselj sredini.

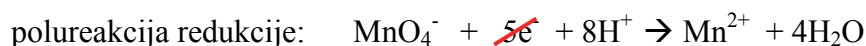
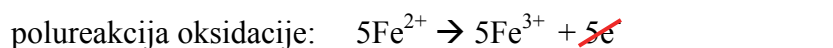
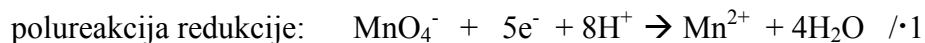
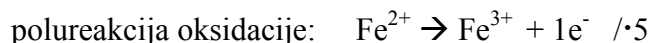


U slučaju da se reakcija dešavala u baznoj sredini, za izjednačavanje bi se koristili  $OH^-$  joni i molekuli vode.

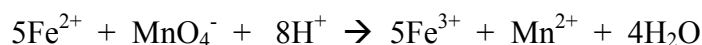
3. **Elektronski bilans.** Suma svih naelektrisanja sa obe strane jednačina mora biti jednaka. Izjednačavanje se postiže dodavanjem elektrona, sa leve ili desne strane u zavisnosti da li je u pitanju redukcija ili oksidacija.



4. U sledećem koraku je potrebno svesti **da broj razmenjenih elektrona bude isti u obe polureakcije** (u ovom slučaju prvu polureakciju množimo sa 5).



5. **sabiranjem polureakcija oksidacije i redukcije i skraćivanjem elektrona kojih ima isto sa obe strane jednačine dobija se konačna izbalansirana jednačina:**



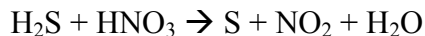
**Jednačina je ispravno izbalansirana ukoliko je:**

1. broj atoma svakog elementa isti sa obe strane jednačine (atomska ili masena bilansa)
2. suma naelektrisanja sa leve i desne strane ista (sa leve strane imamo 18 pozitivnih i 1 negativno naelektrisanje; sa leve strane imamo 17 pozitivnih naelektrisanja).

## VIII računski vežba: Redoks reakcije

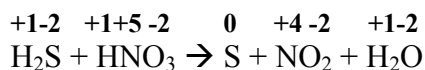
### Zadatak 1:

Metodom promene oksidacionog broja izjednačiti sledeću redoks reakciju:

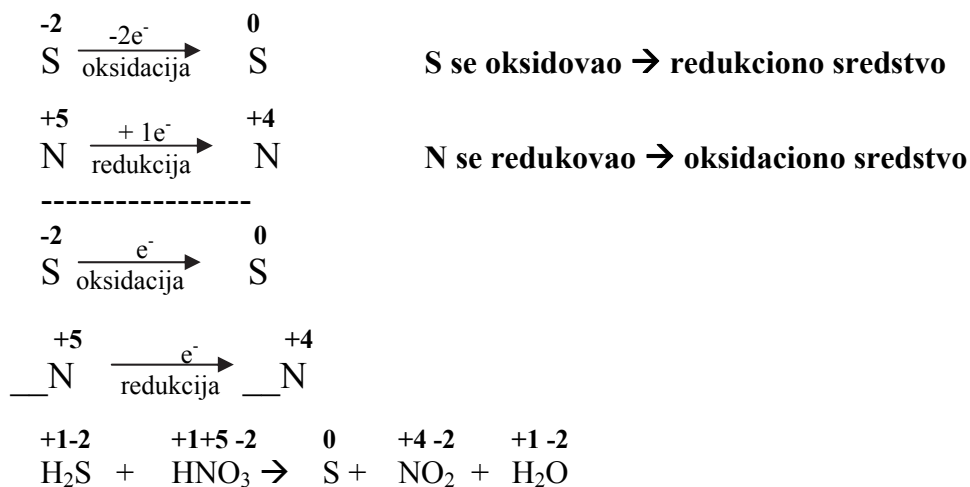


#### Postupak rešavanja:

Odrediti oksidacione brojeve svih atoma



Izdvajanje onih atoma kod kojih se menja oksidaciono stanje u šemu razmene elektrona

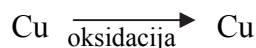
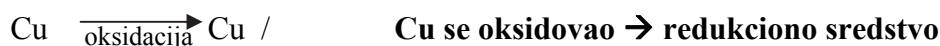
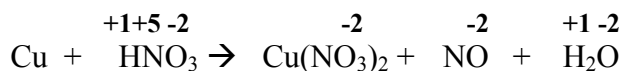


### Zadatak 2:

Metodom promene oksidacionog broja izjednačiti sledeću redoks reakciju:

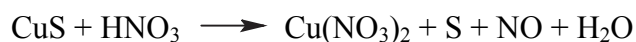
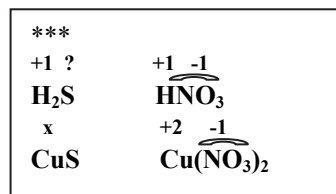
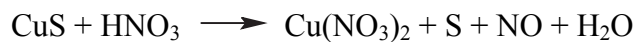


#### Postupak rešavanja:



**Zadatak 3:**

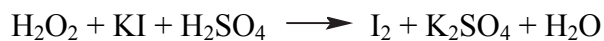
Metodom promene oksidacionog broja izjednačiti sledeću redoks reakciju:

**Postupak rešavanja:****Zadatak 4:**

Metodom promene oksidacionog broja izjednačiti sledeću redoks reakciju:

**Postupak rešavanja:****Zadatak 5:**

Metodom promene oksidacionog broja izjednačiti sledeću redoks reakciju:

**Postupak rešavanja:**

**Zadatak 6:**

Metodom promene oksidacionog broja izjednačiti sledeću redoks reakciju:



**Postupak rešavanja:**

**Zadatak 7:**

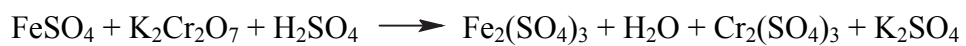
Metodom promene oksidacionog broja izjednačiti sledeću redoks reakciju:



**Postupak rešavanja:**

***Zadatak 8:***

Metodom promene oksidacionog broja izjednačiti sledeću redoks reakciju:



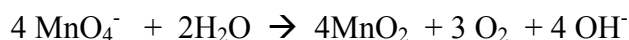
***Postupak rešavanja:***

***Overa asistenta:***

## IX laboratorijska vežba: PERMANGANOMETRIJA - Određivanje Fe(II) jona standardnim rastvorom $\text{KMnO}_4$

### *Pripremanje i standardizacija rastvora K-permanganata*

K-permanganat ne spada u primarne supstance, zato što čist preparat sadrži u tragovima  $\text{MnO}_2$ , vodeni rastvori nisu stabilni jer permanganat oksiduje vodu, a svetlost ubrzava reakciju<sup>4\*</sup>:



Tačna koncentracija rastvora  $\text{KMnO}_4$  se određuje pomoću pogodnog standardnog rastvora nekog redukcionog sredstva, kao na primer Na-oksalata. Prvo je potrebno napraviti rastvor približne koncentracije i ostaviti ga da stoji 7-10 dana pre standardizovanja (ovo je neophodno da bi sve organske supstance potpuno izreagovale). Takođe, umesto stajanja rastvor se može i prokuvati (1h) i ostaviti da stoji preko noći i nakon toga ga treba procediti od izdvojenog  $\text{MnO}_2$  (koristi se stakleni lončić za ceđenje G-1 - nikako filter hartija). Ovako pripremljen rastvor je spreman za standardizaciju jer je stabilan duže vreme ako se čuva u tamnoj boci zatvorenoj sa brušenim čepom (nikako gumeni).

### *I Priprema rastvora $\text{KMnO}_4$*

Želimo da napravimo  $1 \text{ dm}^3$  rastvora  $\text{KMnO}_4$ , koncentracije  $0,02 \text{ mol/dm}^3$ . Koliku masu  $\text{KMnO}_4$  da odmerimo?

*Izračunavanje:*

$$n = c \cdot V = 0,02 \text{ mol}$$

$$n = \frac{m}{M} \implies m = n \cdot M = 0,02 \text{ mol} \cdot 158,034 \text{ g/mol} = 3,16 \text{ g}$$

Na sahatnom staklu odmeriti tačnu masu  $\text{KMnO}_4$  i rastvoriti je u destilovanoj vodi (do  $1 \text{ dm}^3$ ). Rastvor pripremiti za standardizaciju prema postupku kako je opisano gore.

### *II Standardizacija:*

Za standardizaciju rastvora koristimo Na-oksalat ( $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ). Neophodno je da se rastvor Na-oksalata priprema od prethodno osušenog Na-oksalata (suši se u sušnici na  $130^\circ\text{C}$  tokom 2h, a zatim drži u eksikatoru). Odmeriti na analitičkoj vagi  $0,6700 \text{ g}$  Na-oksalata i rastvoriti sa malo destilovane vode i potom kvantitativno preneti u normalni sud od  $100 \text{ cm}^3$  i dopuniti pravilno do crte.

U biretu kroz levak sipati napravljen rastvor  $\text{KMnO}_4$  za standardizaciju. Nivo rastvora u bireti spustiti do nule (ili nekog celog podeoka u visini očiju i zabeležiti nivo). U erlenmajer preneti pipetom  $10 \text{ cm}^3$  napravljenog  $0,05 \text{ mol/dm}^3$  rastvora Na-oksalata. Kako hemijska reakcija teče u kiselost sredini dodati u erlenmajer  $10 \text{ cm}^3$  rastvora  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $1 \text{ mol/dm}^3$ ) i  $10 \text{ cm}^3$  destilovane vode. Rastvor u erlenmajeru zagrejati do  $80-90^\circ\text{C}$  i započeti titraciju. Uz neprestano mešanje erlenmajera dodavati kap po kap rastvora iz birete do momenta kada se blede ružičasta boja zadrži oko minut<sup>5\*</sup>. Titracija je tada

---

<sup>4\*</sup> Na zidovima birete se izdvaja mrki talog  $\text{MnO}_2$  nakon dužeg stajanja  $\text{KMnO}_4$  u bireti.

<sup>5\*</sup> Na početku titracije ružičasta boja se sporo gubi, međutim, nastali  $\text{Mn}^{2+}$  joni katalizuju reakciju pa će se od narednih dodatih kapi K-permanganata boja momentalno gubiti sve do ZTT.

završena, potrebno je zabeležiti nivo rastvora u bireti. Ponoviti postupak još dva puta sa druge dve odmerene probe Na-oksalata.

*Hemijska reakcija:*



*Izračunavanje:*

$$n(\text{KMnO}_4) : n(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 2 : 5$$

$$2 \cdot n(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 5 \cdot n(\text{KMnO}_4)$$

$$n = c \cdot V$$

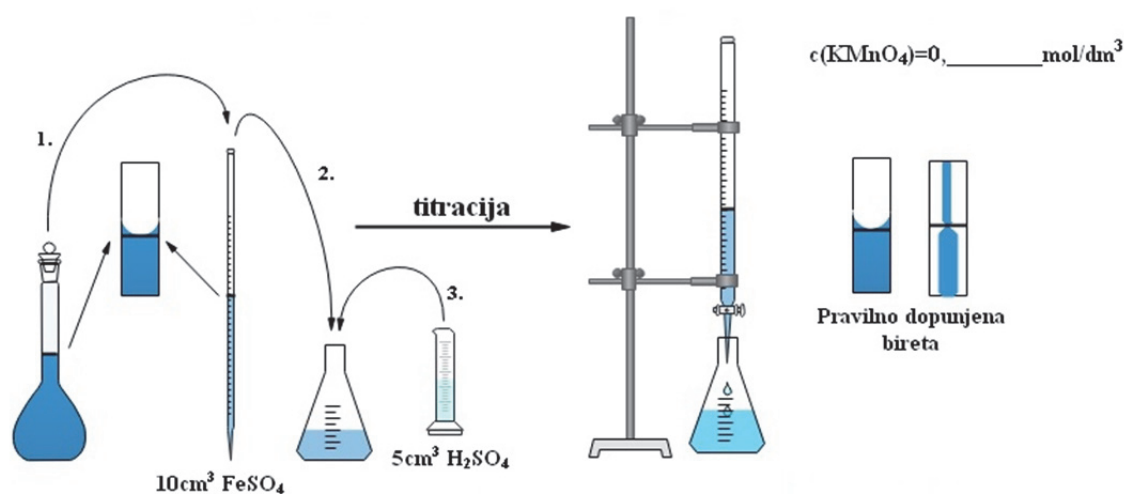
$$c(\text{KMnO}_4) = \frac{2 \cdot c(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4) \cdot V(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4)}{5 \cdot V(\text{KMnO}_4)}$$

### **Permanganometrija**

Pošto smo u prethodnom delu dobili podatak o koncentraciji rastvora K-permanganata, možemo pristupiti određivanju jona Fe(II). Zadatak u ovoj vežbi je da prateći uputstva rada odredite masu jona Fe(II) u dobijenoj analizi.

### **Postupak:**

Analizu sa gvožđem(II) uzimate od laboranta i obavezno odmah zabeležite broj analize (napisan je na odmernom sudu). Dopunite odmah analizu u normalnom sudu sa destilovanom vodom do crte na sudu, zatvorite i promućkajte. U erlenmajer koji se nalazi na vašem stolu (zapremine 200-300 cm<sup>3</sup>) odmerite pipetom alikvot (10 cm<sup>3</sup>) koji ćete titrisati. Zatim u erlenmajer dodajte menzurom oko 5 cm<sup>3</sup> rastvora 20%-tne H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Ovako pripremljenu probu ćete titrovati sa standardizovanim rastvorom KMnO<sub>4</sub>. Momenat kada se od poslednje dodate kapi zadrži bledo ružičasta boja oko 1 minut označava kraj titracije.



***Izračunavanje:***



iz reakcije sledi sledeći stehiometrijski odnos:

$$n(\text{FeSO}_4) : n(\text{KMnO}_4) = 10 : 2 = 5 : 1$$

$$n(\text{Fe}^{2+}) : n(\text{MnO}_4^-) = 5 : 1$$

$$n(\text{Fe}^{2+}) = 5 \cdot n(\text{MnO}_4^-)$$

$$n = c \cdot V$$

***broj analize:***

***rezultat:  $m(\text{Fe}^{2+}) =$***

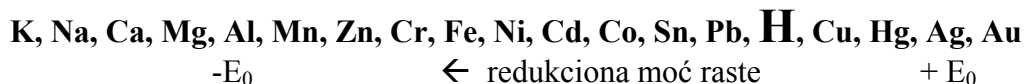
***Overa asistenta:***

## IX laboratorijska vežba (smer PT): Redoks reakcije metala

Metali u elementarnom stanju su uvek redukciona sredstva. Reagujući sa drugim supstancama atomi metala se oksiduju tj. otpuštaju elektrone i postaju pozitivni naelektrisani joni metala, što se uopšteno može prikazati na sledeći način:



Ukoliko se metali poređaju prema lakoći kojom podležu oksidaciji, dobija se naponski niz metala



u kome redukciona moć raste od zlata (Au) ka kalijumu (K). Iz naponskog niza se mogu dobiti sledeće informacije:

- na levoj strani niza su K i Na kao najjača redukciona sredstva, jer se lako oksiduju ("neplemeniti" metali), dok su njihovi joni najslabija oksidaciona sredstva jer teško primaju elektrone;
- niz se završava Ag i Au koji su najslabija redukciona sredstva jer teško otpuštaju elektrone ("plemeniti" metali), dok su njihovi joni najjača oksidaciona sredstva;
- reaktivniji metal istiskuje slabije reaktivne metale iz njihovih soli u reakciji proste izmene, tako npr. Fe istiskuje Cu iz  $\text{CuSO}_4$



Gvožđe može da redukuje jone svih metala koji se u naponskom nizu nalaze desno od njega ( $\text{Sn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ...) jer se time izdvajaju metali koji su slabija redukciona sredstva, a sami se lako redukuju (Sn, Pb...);

- svi metali koji su u nizu sa leve strane vodonika, kao jača redukciona sredstva istiskuju ga iz kiselina (redukuju  $\text{H}^{+}$  jon):



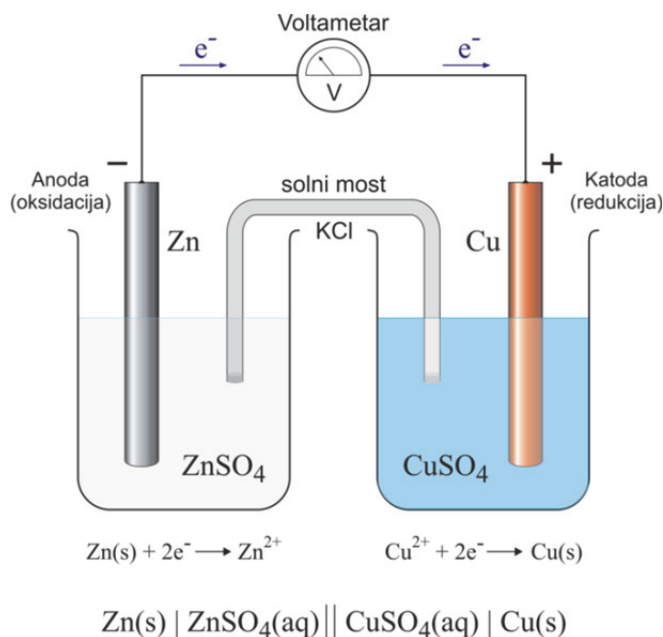
- dok metali sa desne strane vodonika to ne mogu, osim ukoliko kiselina ima oksidaciono delovanje (razblažena, a naročito koncentrovana  $\text{HNO}_3$ , koncentrovana  $\text{H}_2\text{SO}_4$  itd):



### Galvanska ćelija- baterija

Galvanska ćelija (galvanski element ili galvanski spreg) je sistem u kome se odvijaju procesi oksidacije i redukcije na odvojenim elektrodama (polureakcije). Ukoliko uzmemo dve posude u kojima se odvijaju polureakcije oksidacije i redukcije i elektrode povežemo provodnikom dolazi do usmerenog kretanja elektrona kroz žicu. Galvanski elementi su primarni izvori električne struje u kojima dolazi do pretvaranja hemijske

energije u električnu. Galvanske ćelije predstavljaju uređaje koji koriste hemijske (redoks) reakcije za stvaranje električne struje. Na *Slici 4.1.* prikazana je konstrukcija baterije.



**Slika 4.1.** Baterija.

Vidimo da postoje dve posude u kojima se nalaze rastvori cink-sulfata ( $\text{ZnSO}_4$ ) i bakar-sulfata ( $\text{CuSO}_4$ ). U obe posude su uronjeni metali (cink u posudi sa  $\text{ZnSO}_4$  i bakar u posudi sa  $\text{CuSO}_4$ ). Metal uronjen u rastvor svojih soli, odnosno svojih jona predstavlja **elektrodu**. Elektroda na kojoj se dešava reakcija oksidacije se zove **anoda** i obeležava se znakom minus “-“ (u ovom slučaju pločica od cinka). Elektroda na kojoj se dešava reakcija redukcije se zove **katoda** i obeležava se znakom plus “+” (u ovom slučaju pločica od bakra). Dve elektrode su povezane žicom i kao što se vidi na slici, putem nje se prenose elektroni, što je veoma bitno jer usmereno kretanje elektrona u provodniku predstavlja električnu struju.

Usmereno kretanje elektrona u provodniku postoji kada je jedan njihov kraj na višem potencijalu od drugog. **Redoks potencijal** ( $E$ ) predstavlja merilo sposobnosti primanja i otpuštanja elektrona za neki oksido-redukциони par. Nernst je 1889. godine došao do izraza kvantitativne zavisnosti redoks potencijala od koncentracije reaktanata redoks sistema:

$$E = E^0 + \frac{0,059}{n} \log \frac{[\text{ox}]}{[\text{red}]}$$

$E^0$  - standardni redoks potencijal (konstanta za posmatrani redoks par). Predstavlja onaj potencijal  $E$  koji se meri kada su pri standardnim uslovima:

$$[\text{Ox}] = [\text{Red}] = 1 \text{ mol/dm}^3$$

$n$  – broj izmenjenih, primljenih ili otpuštenih elektrona.

$[\text{Ox}]$  – koncentracija oksidovanog oblika,

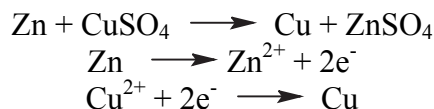
$[\text{Red}]$  – koncentracija redukovanog oblika iste supstance.

Ukoliko je  $E^0$  pozitivnija vrednost, utoliko je oksidaciono sredstvo jače, dok su za negativnije vrednosti  $E^0$  izražene redukcione sposobnosti.

### Ogled 1: Reakcija proste izmene

1) **Reagensi:** bakar, cink, rastvor ZnSO<sub>4</sub>, rastvor CuSO<sub>4</sub>

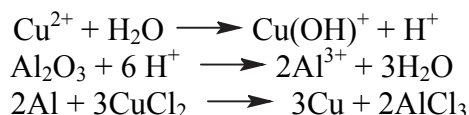
**Opis rada:** U jednu epruvetu staviti komadić bakra (Cu) i rastvor ZnSO<sub>4</sub>, a u drugu komadić cinka (Zn) i rastvor CuSO<sub>4</sub>. U prvoj epruveti nema promene, a u drugoj se na Zn taloži Cu:



Zn je kao jače redukciono sredstvo od Cu (nalazi se levo u odnosu na Cu u naponskom nizu metala) istisnuo Cu iz njegove soli. Ova reakcija predstavlja primer reakcije proste izmene u kojoj jedan element zamenjuje drugi u odgovarajućoj soli.

2) **Reagensi:** koncentrovan rastvor CuCl<sub>2</sub> i aluminijumska folija

**Opis rada:** Na laboratorijsku čašu staviti parče aluminijumske folije i formirati udubljenje u središnjem delu kako bi sipali koncentrovani rastvor CuCl<sub>2</sub>.



Aluminijum je metal koji je sklon pasivizaciji. Usled stvaranja zaštitne oksidne prevlake (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) otporan je na delovanje hemijskih supstanci sa oksidacionim dejstvom. Međutim ukoliko na aluminijum delujemo bakar-hloridom, doći će do redoks reakcije iz dva razloga. Prvi razlog su hlorid joni koji deluju tako što razaraju zaštitne oksidne prevlake metala (korozivno dejstvo). Usled korozivnog dejstva hlorid jona, svi metalni predmeti znatno brže korodiraju u morskoj vodi nego u slatkoj vodi. Drugi razlog je hidroliza Cu<sup>2+</sup> jona koja dovodi do zakišeljavanja rastvora (usled nastajanja H<sup>+</sup> jona) što dovodi do rastvaranja zaštitne oksidne prevlake (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Pošto se u naponskom nizu metala bakar nalazi posle aluminijuma, joni dvovalentnog bakra će oksidovati aluminijum do Al<sup>3+</sup> jona uz razvijanje vodonika i taloženje Cu.

### Ogled 2: Čišćenje srebrnih predmeta

Srebrni predmeti ponekad na površini "pocrne" zbog obrazovanja Ag<sub>2</sub>S (srebro-sulfida) koji se vrlo jednostavno može ukloniti pomoću aluminijumske folije. Naime, Al je jače redukciono sredstvo od Ag, pa redukuje Ag<sup>+</sup> jone iz Ag<sub>2</sub>S do metalnog srebra prema jednačini:



**Reagensi:** soda bikarbona (NaHCO<sub>3</sub>), voda, aluminijumska folija

**Opis rada:** U čašu sa toplom vodom staviti parče aluminijumske folije, malo sode bikarbonate (NaHCO<sub>3</sub>) i "pocrneli" srebrni predmet. Postupak se ponavlja sve dok predmet ne zasija punim sjajem.

**Overa asistenta:**

## 5. ORGANSKA HEMIJA

### 5.1. UVOD

#### **Organska hemija je hemija ugljenikovih jedinjenja.**

Jedinstvena sposobnost lakog povezivanja atoma ugljenika sa drugim atomima ugljenika jakim kovalentnim vezama, pri čemu nastaju polimerni lanci, uključivanje drugih elemenata u te molekule, kao i mogućnost različite hibridizacije atoma ugljenika (stvaranje jednostruke, dvostruke i trostruke veze) omogućuju formiranje velikog broja različitih organskih jedinjenja.

Ogroman broj organskih jedinjenja (135 miliona registrovanih do 2018. godine uključujući 67 miliona peptidnih i nukleotidnih sekvenci) klasifikuje se prema dva kriterijuma. Prvi kriterijum je **karakter ugljeničnog niza**, a drugi je prisustvo **funkcionalnih grupa** u molekulu.

Prema stuktornoj teoriji u organskoj hemiji, hemijske osobine nekog složenog jedinjenja zavise od prirode hemijskih elemenata koji ga sačinjavaju, njihove količine i hemijske strukture jedinjenja. Pod hemijskom strukturom podrazumeva se raspored i karakter hemijskih veza između atoma koji sačinjavaju molekul.

U okviru organske hemije razvile su se metode za utvrđivanje sastava organskih jedinjenja, količine pojedinih elemenata i u zadnje vreme svedoci smo velikog prodora fizičko-hemijskih metoda kojima se može utvrditi struktura jedinjenja. Pored toga radi se na iznalaženju zakonitosti na osnovu kojih se atomi raspoređuju u molekule kao i na vezi između strukture i hemijskih osobina. Sledeća šema prikazuje ispitivanje jednog organskog jedinjenja.

|                                                |                              |                                                               |
|------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| HEMIJSKE<br>OSOBINE<br>JEDINJENJA<br>ZAVISE OD | VRSTE<br>ATOMA U<br>MOLEKULU | način određivanja<br><br>KVALITATIVNA<br>ELEMENTARNA ANALIZA  |
|                                                | BROJA<br>ATOMA U<br>MOLEKULU | način određivanja<br><br>KVANTITATIVNA<br>ELEMENTARNA ANALIZA |
|                                                | STRUKTURE<br>MOLEKULA        | način određivanja<br><br>FIZIČKO-HEMIJSKE<br>METODE           |

S obzirom da postoji veza između strukture i hemijskih osobina jedinjenja sledi da ako je poznata struktura nekog organskog jedinjenja (na primer određena nekom fizičko-hemijskom metodom) na osnovu nje se može predvideti hemijsko ponašanje tog jedinjenja. S druge strane, ako su poznate hemijske osobine nekog organskog jedinjenja (utvrđuju se izvođenjem hemijskih reakcija) može se dobrim delom predvideti struktura datog hemijskog jedinjenja.

Na osnovu ovoga izvodi se i pojam **funkcionalne grupe** u organskim jedinjenjima. Ukoliko neka grupa organskih jedinjenja ima istu strukturu jednog dela

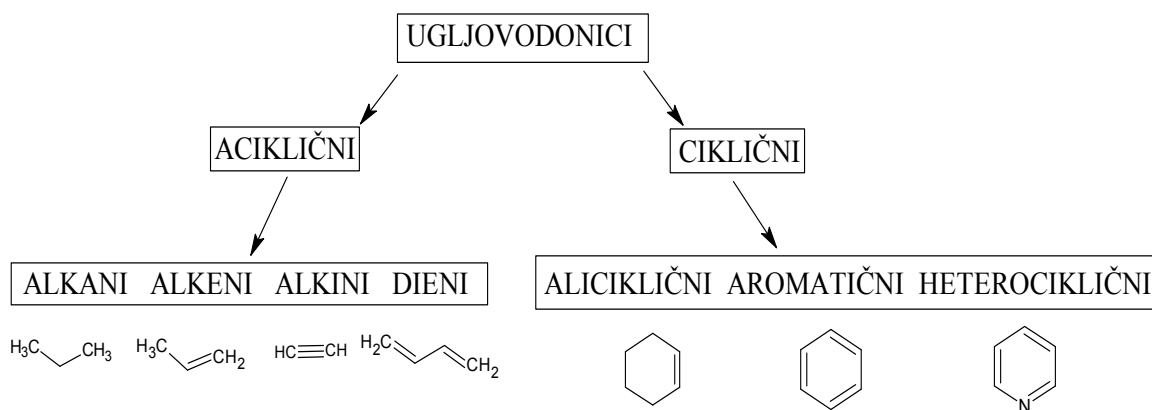
molekula, gde se vrše hemijske reakcije, sledi da ta grupa jedinjenja mora imati slične hemijske osobine. Prema tome, funkcionalne grupe su atomi ili grupe atoma koje se nalaze u molekulu organskog jedinjenja i određuju pripadnost određenoj vrsti jedinjenja a samim tim i njegove karakteristične hemijske osobine.

Sa druge strane, prema strukturi ugljeničnog skeleta organska jedinjenja se mogu podeliti na:

- aciklična i ciklična,
- zasićena (sa svim prostim vezama) i nezasićena (alkeni, alkini, dieni i polieni),
- alifatična (jedinjenja koja nisu aromatična) i aromatična,
- karbociklična i heterociklična (sadrže heteroatom kao što su N, O ili S).

Aromatična jedinjenja se u užem smislu mogu shvatiti kao derivati benzena. Jedinjenja koja nemaju aromatičan karakter kao što su npr. alkani, alkeni i alkini zovu se alifatična, a u slučaju da su ciklična, zovu se aliciklična jedinjenja (npr., cikloheksen).

### Podela ugljovodonika prema strukturi ugljeničnog skeleta



U zavisnosti od prirode funkcionalnih grupa derivati ugljovodonika se dele na pojedine klase prikazane u *Tabeli 5.1*.

U organskoj hemiji koristi se više načina za prikazivanje strukture molekula imajući u vidu složenost i kompleksnost organskih jedinjenja. Tipovi formula koje koristimo za prikazivanje organskih jedinjenja biće prikazani na primeru heksana:

#### 1) empirijska formula:



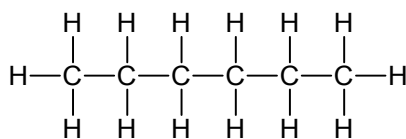
- prikazuje odnos broja atoma pojedinih elemenata u molekulu

#### 2) molekulaska formula (bruto formula):



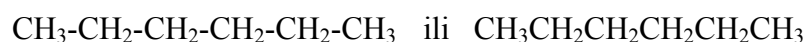
-prikazuje ukupan broj atoma svakog elementa u molekulu

### 3) strukturna formula:



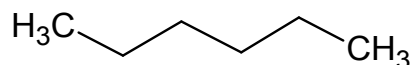
- prikazuje redosled i način na koji su svi atomi povezani u molekulu

### 4) skraćene strukturne formule (racionalne i kondenzovane formule):



- racionalne strukturne formule prikazuju jedinjenja na pojednostavljen način tako što se prikazuju samo veze između C-atoma, dok se kod kondenzovanih formula ni one ne prikazuju sem veza ili grupa koje je potrebno naglasiti.

### 5) skeletna strukturna formula (formula veza-crtica):



- još svedeniji način pisanja formule gde se ne prikazuju atomi ugljenika i vodonika, već samo C-C veze kao i funkcionalne grupe.

**Tabela 5.1.** Funkcionalne grupe i odgovarajuće klase organskih jedinjenja

| Vrsta jedinjenja     | Opšta formula                                                | Funkcionalna grupa                                    | Primer                                                               |
|----------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Alkani               | R-H                                                          | -                                                     | CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> propan               |
| Alkil-halogendi      | R-X,<br>(x = F, Cl, Br, J)                                   | - X                                                   | CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> Cl<br>1-hloropropan  |
| Alkoholi             | R-OH                                                         | - OH                                                  | CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH<br>1-propanol     |
| Alkeni               | R <sub>2</sub> C=CR <sub>2</sub>                             | C=C                                                   | CH <sub>3</sub> CH=CHCH <sub>3</sub><br>2-buten                      |
| Alkini               | R <sub>3</sub> C≡CR <sub>3</sub>                             | -C≡C-                                                 | CH <sub>3</sub> C≡CCH <sub>3</sub> 2-butin                           |
| Aldehidi             | $\text{R}-\overset{\text{H}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}$ | $-\overset{\text{H}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-$ | $\text{H}-\overset{\text{H}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}$ Metanal |
| Ketoni               | R-CO-R                                                       | -CO-                                                  | CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub> propanon                           |
| Karboksilne kiseline | R-COOH                                                       | -COOH                                                 | CH <sub>3</sub> COOH<br>etanska kiselina                             |
| Estri                | R-COOR'                                                      | -COO-                                                 | CH <sub>3</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub><br>etiletanoat      |
| Etri                 | R-O-R                                                        | -O-                                                   | CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub><br>dimetiletar                      |

## 5.2. UGLJOVODONICI

Problem imenovanja organskih jedinjenja prisutan je u organskoj hemiji od samog njenog početka. Jedinjenja su dobijala ime po pronalazačima, po mestima, po obliku molekula, po prirodnim izvorima i slično. Mnoga od ovih uobičajenih ili trivijalnih imena još uvek su u upotrebi. Danas postoji precizan sistem za imenovanje organskih jedinjenja. Ta sistemska nomenklatura, kojom se imenom jedinjenja opisuje njegova struktura, prvi put je uvedena 1892. god. na kongresu hemičara u Ženevi (Švajcarska) i poznata je pod nazivom Ženevska ili Nomenklatura po IUPAC-u (International Union of Pure and Applied Chemistry).

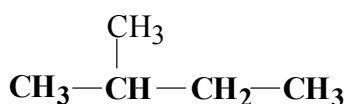
### *Pravila za nomenklaturu alkana po IUPAC-u u sažetom obliku glase:*

- Imena alkana završavaju se nastavkom **–an**
- Imena prvih 20 alkana normalnog niza označavaju broj ugljenikovih atoma u nizu i uglavnom su grčkog i latinskog porekla, pri čemu prva četiri alkana imaju posebna imena prihvaćena kao deo IUPAC-ovog sistema:

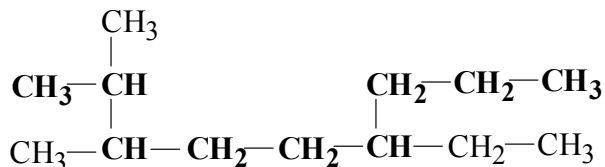
| <i><b>n</b></i> | <i><b>ime</b></i> | <i><b>formula</b></i>                                            |
|-----------------|-------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1               | metan             | CH <sub>4</sub>                                                  |
| 2               | etan              | CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>                                  |
| 3               | propan            | CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>                  |
| 4               | butan             | CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>  |
| 5               | pentan            | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>  |
| 6               | heksan            | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH <sub>3</sub>  |
| 7               | heptan            | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>  |
| 8               | oktan             | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> CH <sub>3</sub>  |
| 9               | nonan             | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH <sub>3</sub>  |
| 10              | dekan             | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> CH <sub>3</sub>  |
| 11              | undekan           | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>9</sub> CH <sub>3</sub>  |
| 12              | dodekan           | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>10</sub> CH <sub>3</sub> |
| 13              | tridekan          | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>11</sub> CH <sub>3</sub> |
| 14              | tetradekan        | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>12</sub> CH <sub>3</sub> |
| 20              | ikosan            | CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>18</sub> CH <sub>3</sub> |

Ova imena predstavljaju osnovu za imenovanje velikog dela svih organskih molekula.

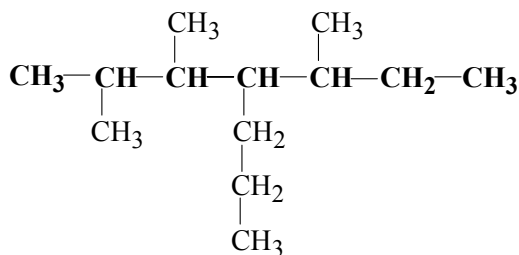
- ugljovodonici sa razgranatim lancem smatraju se derivatima normalnih ugljovodonika, a osnovnim ugljovodonikom se smatra najduži lanac u molekulu. Ako je jedinjenje građeno tako da ima dva ili više jednako dugih lanaca, kao osnovni uzima se onaj koji je najrazgranatiji. Grupe vezane za osnovni niz nazivaju se supstituenti.



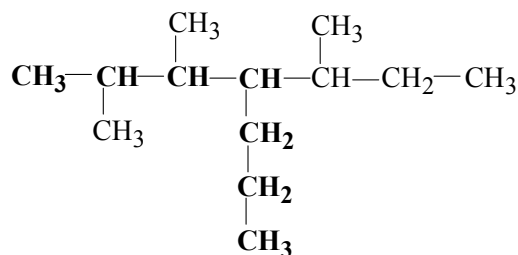
metil-supstituisani butan



etil- i metil-supstituisani nonan

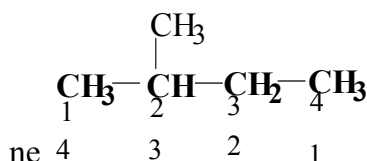


Derivat heptana  
ispravno određen niz

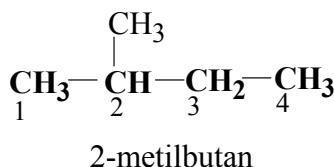


derivat heptana  
pogrešno određen niz

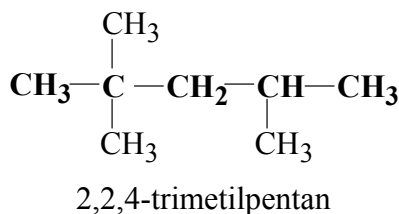
- numerisanje ugljenikovih atoma najdužeg niza počinje od onog kraja koji je najbliži supstituentu.



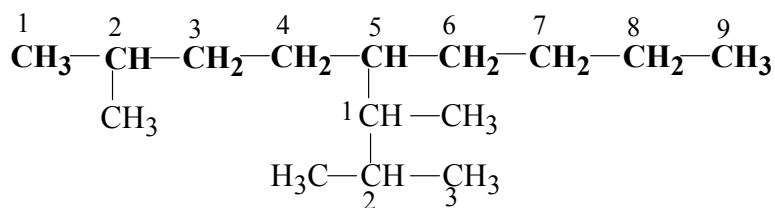
-ime alkana se piše tako što se označi ugljenikov atom na kome se nalazi supstituent brojem iza koga se stavlja crtica i sledi naziv alkil grupe i ime osnovnog niza.



- ukoliko molekul sadrži više istih supstituenata imenu alkil grupe prethode prefiksi di-, tri-, tetra-, itd. Mesta vezivanja za osnovni niz navode se zajednički pre imena supstituenata i razdvojena su zarezima



- imena alkil grupa ravnog niza dobijaju se zamenom nastavka **-an** u imenu alkana sa **-il** (npr. metan-metil, etan-etil). Ako je supstituent račvast, za izvođenje njegovog imena primenjuju se pravila kao za osnovni niz, a ugljenik koji je vezan za osnovni niz označava se brojem 1. Čitavo ime grupe stavlja se u zagradu

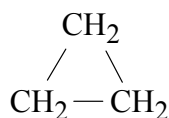


5-(1,2-dimetilpropil)-2-metil-nonan

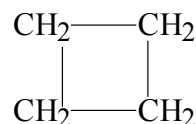
- ako ima više različitih alkil grupa u osnovnom nizu one se pišu ili abecednim redom ili po veličini.

### ***Pravila za nomenklaturu cikloalkana po IUPAC-u***

- cikloalkani se imenuju tako što se imenima alkana dodaje prefiks ciklo.

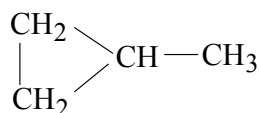


ciklopropan

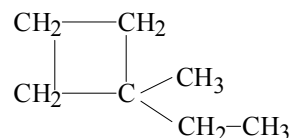


ciklobutan

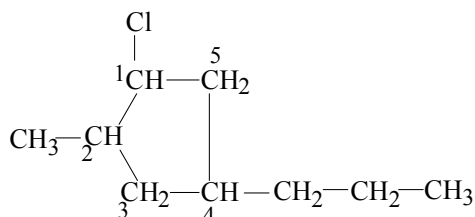
- numerisanje ugljenikovih atoma u prstenu cikličnog alkana potrebno je jedino ako se više od jednog supstituenta nalazi u prstenu. Kod monosupstituisanih sistema ugljenik za koji je supstituent vezan numeriše se brojem 1. Kod polisupstituisanih sistema numeracija se vrši najmanjim brojevima. Ako su moguća dva takva redosleda, abecednim redom se određuje prednost supstituenata



metilciklopropan



1-etil-1-metilciklobutan

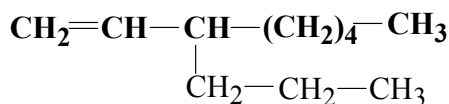


1-hlor-2-metil-4-propilciklopentan

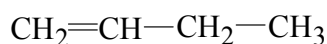
### ***Pravila za nomenklaturu alkena po IUPAC-u***

Dvostruka veza ugljenik-ugljenik je funkcionalna grupa karakteristična za alkene.

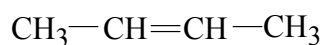
- imena alkena nastaju tako što se završetak **-an** u imenu alkana zamenjuje nastavkom **-en**
- osnovnim jedinjenjem smatra se najduži niz u kome se nalazi dvostruka veza



- mesto dvostruke veze označi se brojem polazeći od najbližeg kraja dvostruke veze

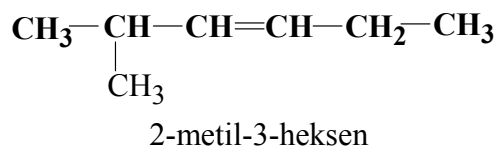
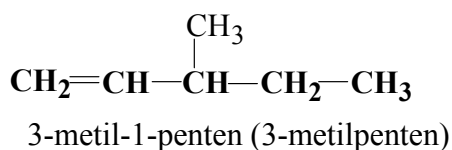


1-buten

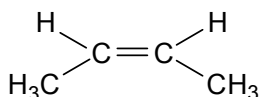


2-buten

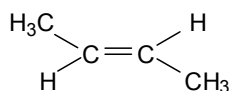
- imenu alkena kao prefiksi dodaju se imena supstituenata i numeriše se njihov položaj. Ako je osnovni niz alkena simetričan, numeriše se tako da prvi supstituent u nizu ima najmanji broj.



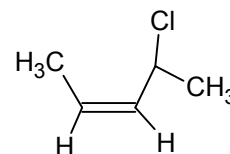
- kod 1,2-disupstituisanih alkena dva supstituenta se mogu nalaziti sa iste strane dvostruke veze (*cis* raspored) ili na suprotnim stranama (*trans* raspored)



*cis*-2-buten

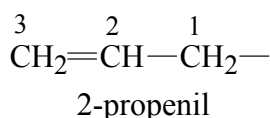


*trans*-2-buten



4-hlor-*cis*-2-penten

- supstituenti sa dvostrukim vezama (alkenil grupe) dobijaju naziv tako što se imenu alkena doda nastavak **-il**.

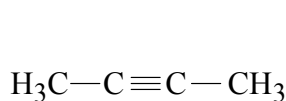


- Numerisanje supstituentnog niza počinje od mesta vezivanja za osnovni niz.

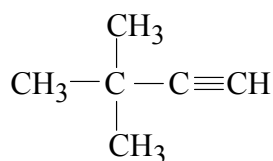
### **Pravila za nomenklaturu alkina po IUPAC-u**

Trostruka veza ugljenik-ugljenik je karakteristična za alkine.

- imena alkina nastaju tako što se završetak **-an** u imenu alkana zamenjuje sa nastavkom **-in**



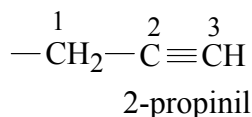
2-butin



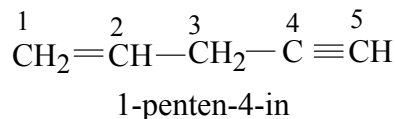
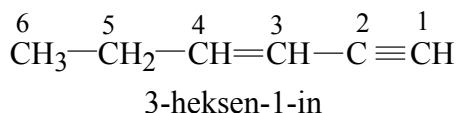
3,3-dimetil-1-butin (3,3-dimetilbutin)

- položaj trostruke veze u osnovnom nizu obeležen je brojem

- supstituenti sa trostrukom vezom imenuju se kao alkinil grupe



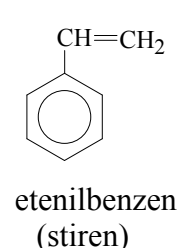
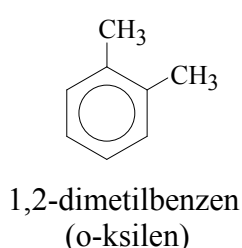
- ugljovodonik sa dvostrukom i trostrukom vezom imenuje se kao alken-in. Osnovni niz se numeriše polazeći od kraja najbližem bilo kojoj funkcionalnoj grupi, a ako su ekvivalentne po položaju, dvostruka veza dobija manji broj



### **Pravila za nomenklaturu aromatičnih ugljovodonika po IUPAC-u**

Smatra se da je benzen osnovni aromatični molekul molekulske formule C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>.

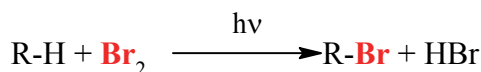
- monosupstituisani benzeni imenuju se navođenjem imena supstituenata pre reči benzen.
- kod više supstituisanih sistema 1,2-; 1,3- i 1,4- ili orto-, meta- i para- prefiksi označavaju međusobni položaj dva supstituenta, ili se prsten numeriče, a tako označeni supstituenti se navode po abecednom redu. Mnogi jednostavni supstituisani benzeni imaju trivijalne nazive.



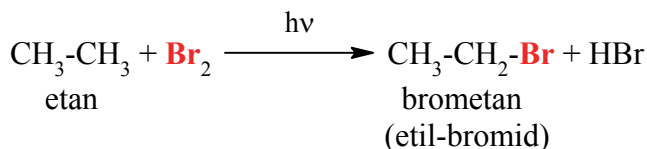
## **5.2.1. Hemijska svojstva ugljovodonika**

### **Zasićeni ugljovodonici**

Zasićeni ugljovodonici ili parafini su veoma stabilna jedinjenja. Opšta formula je C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>. Reaguju sa halogenim elementima (Cl<sub>2</sub> i Br<sub>2</sub>) u prisustvu svetlosti pri čemu se vrši reakcija supstitucije, uz izdvajanje halogenovodonične kiseline. Reakcije koje se odvijaju isključivo delovanjem svetlosti zovu se fotohemijske reakcije i označavaju se zapisivanjem oznake hv iznad strelice u jednačini (energija određena proizvodom h·v je jednaka energiji fotona svetlosti koja je neophodna za raskidanje veze između dva atoma broma).



ili u konkretnom slučaju na primeru etana

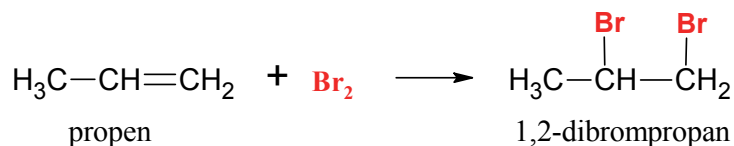


### **Nezasićeni ugljovodonici**

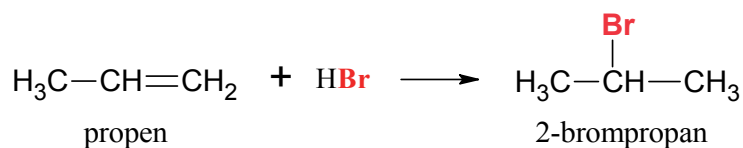
Ugljovodonici sa dvostrukom vezom nazivaju se olefini ili alkeni, opšte formule C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub> dok oni koji sadrže trostruku vezu su alkini, opšte formule C<sub>n</sub>H<sub>2n-2</sub>. Za razliku od alkana, alkeni i alkini su reaktivna jedinjenja, podležu reakcijama adicije, oksidacije i polimerizacije. Prisustvo dvostruke, odnosno trostruke veze uslovljava hemijsko

ponašanje ove klase jedinjenja, što znači da sva jedinjenja sa dvostrukom odnosno trostrukom vezom daju slične hemijske reakcije.

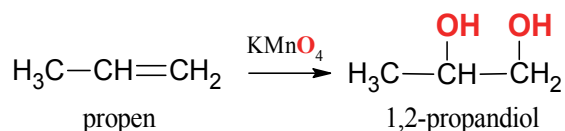
Hemijska jednačina reakcije adicije prikazana je na primeru adicije broma na nezasićeni ugljovodonik (alken):



Brom se adira na dvostruku vezu pri čemu nastaje zasićeni dibrom derivat, a karakteristična boja broma isčezava. Adicija halogenovodoničnih kiselina se pokorava pravilu koje je dao ruski naučnik Markovnikov: vodonikov atom se vezuje za onaj C-atom gde je već vezano više atoma vodonika.



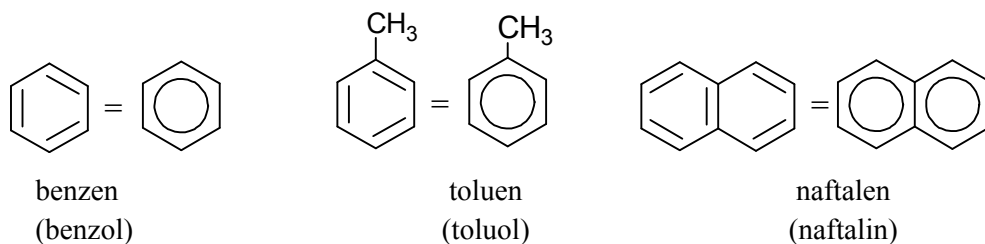
Nezasićena jedinjenja takođe podležu reakciji hidrosilacije koja zapravo predstavlja reakciju oksidacije dvostruke veze kada se na oba ugljenika uvodi po jedna –OH grupa. Reagens koji se koristi u reakciji je  $\text{KMnO}_4$ .



## Aromatični ugljovodonici

Aromatični ugljovodonici su organska jedinjenja ugljenika i vodonika, gde su ugljenikovi atomi povezani u **zatvoreni niz** (prsten) i obuhvaćeni su u sistem **konjugovanih (spregnutih) dvostukih veza**. Najpoznatiji aromatični ugljovodonik je benzen koji ima šest ugljenikovih atoma u prstenu sa tri konjugovane, naizmenične dvostruke veze. Prema Hikelovom pravilu aromatični karakter pokazuju svi ciklični molekuli koji sadrže  $(4n + 2)$   $\pi$ -elektrona, gde je  $n = 0, 1, 2, 3$ , itd; u konjugovanoj formi, tako da dolazi do potpune delokalizacije elektrona u celom prstenu (bez prekida). Formalno ova jedinjenja su izrazito nezasićena, ali zbog aromatičnog karaktera oni praktično ne pokazuju hemijske reakcije karakteristične za nezasićene ugljovodonike.

Jedina reakcija karakteristična za ova jedinjenja je **elektrofilna aromatična supstitucija** (kao kod zasićenih ugljovodonika)



**Tabela 5.2.** Reakcije ugljovodonika

| Klasa ugljovodonika             | $Br_2$                                                                                                      | $cc\ H_2SO_4$                                                                  | $cc\ HNO_3$                                                                     | $KMnO_4$                                                                                                                    |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Alkani</i>                   | $H_3C-CH_2-CH_3 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} H_3C-CH_2-CH_2Br$                                                 | /                                                                              | /                                                                               | /                                                                                                                           |
| <i>Nezasićeni ugljovodonici</i> | $H_3C-CH=CH_2 + Br_2 \longrightarrow \begin{array}{c} H_3C-CH-CH_2 \\   \quad   \\ Br \quad Br \end{array}$ | $H_2C=CH_2 + H-OSO_3H \longrightarrow H_3C-CH_2-OSO_3H$                        | $H_2C=CH_2 + H-ONO_2 \longrightarrow H_3C-CH_2-ONO_2$                           | $H_2C=CH_2 \xrightarrow{KMnO_4} \begin{array}{c} OH \quad OH \\   \quad   \\ H-C-C-H \\   \quad   \\ H \quad H \end{array}$ |
| <i>Aromatični ugljovodonici</i> | $\text{benzene} + Br_2 \xrightarrow{FeBr_3} \text{bromobenzene} + HBr$                                      | $\text{benzene} + HO-SO_3H \longrightarrow \text{benzenesulfonic acid} + H_2O$ | $\text{benzene} + HO-NO_2 \xrightarrow{cc\ H_2SO_4} \text{nitrobenzene} + H_2O$ | /                                                                                                                           |

**Tabela 5.3.** Rezime hemijskih svojstava ugljovodonika

| Klasa ugljovodonika                                           | Opšti hemijski karakter                                       | Tip hemijske reakcije                          | Uslov odvijanja hemijske reakcije                |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <i>ALKANI</i>                                                 | slaba reaktivnost<br>zovu se parafini zbog slabe reaktivnosti | Supstitucija<br>(slobodnoradikalski mehanizam) | svetlost                                         |
| <i>NEZASIĆENI UGLJOVODONICI</i><br>( <i>ALKENI I ALKINI</i> ) | hemijski reaktivni zbog višestrukih veza<br>(nezasićenost)    | Adicija i oksidacija (hidroksilacija)          | -                                                |
| <i>AROMATIČNI UGLJOVODONICI</i>                               | hemijski stabilni i neaktivni                                 | Elektrofilna aromatična supstitucija           | katalizator,<br>obično rigorozni hemijski uslovi |

## X laboratorijska vežba: Ugljovodonici (nomenklatura i hemijske reakcije)

### Ogled 1: Dejstvo broma na zasićene, nezasićene i aromatične ugljovodonike

**Reagensi:** Zasićen ugljovodonik - petroletar, nezasićeni ugljovodonik - jestivo ulje, benzene, rastvor broma u ugljentetrahloridu ( $\text{CCl}_4$ ) i  $\text{FeBr}_3$ .

**PAŽNJA:** Benzen je toksičan, kancerogen i zapaljiv. Ugljentetrahlorid je kancerogen i toksičan. Ogled izvoditi sa zaštitnim rukavicama, u digestoru!

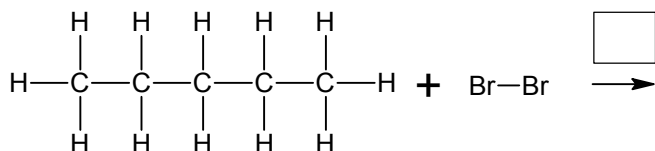
**Opis rada:** Pripremiti pet epruveta:

- u prve dve sipati po  $1\text{ cm}^3$  zasićenog ugljovodonika, u treću  $1\text{ cm}^3$  jestivog ulja, a u četvrtu i petu po  $1\text{ cm}^3$  benzena. Zatim se u svaku epruvetu doda ista zapremina rastvora broma i sadržaj epruveta dobro izmeša.
- Prva epruveta- epruveta sa zasićenim ugljovodonikom se stavi na tamno mesto (plakar), a druga epruveta se izloži direktnoj svetlosti (sijalice od 200 W). Nakon 30 minuta uporedi se sadržaj obe epruvete na promenu boje.
- U petu epruvetu se doda malo katalizatora  $\text{FeBr}_3$ , a zatim se sadržaj treće, četvrte i pete epruvete intenzivno mućka nekoliko minuta i obrati pažnja na promenu boje.

#### Zapažanja:

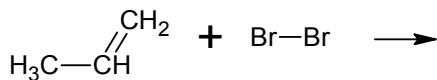
1. Promene u prve dve epruvete:

Dovršiti sledeću reakciju, imenovati sve učesnike u reakciji i napisati neophodan uslov reakcije:



2. Promena u trećoj epruveti:

Dovršiti sledeću reakciju, imenovati sve učesnike u reakciji i napisati neophodan uslov reakcije:



3. Promene u četvrtoj i petoj epruveti:

Dovršiti moguću reakciju i imenovati učesnike u reakciji:



## Ogled 2: Dejstvo koncentrovane sumporne kiseline (cc H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) na zasićene, nezasićene i aromatične ugljovodonike

**Reagensi:** Zasićeni ugljovodonik - petroletar, nezasićeni ugljovodonik - jestivo ulje, benzen i cc H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

**PAŽNJA:** Rad sa koncentrovanim kiselinama može biti opasan!

U ogledima koristiti suve epruvete jer bi reakcija zaostale vode u epruveti i koncentrovane kiseline mogla biti burna!

- ❖ U epruvete ne treba sipati više od 1 cm<sup>3</sup> organskog jedinjenja.
- ❖ Koncentrovana kiselina se sipa oprezno niz zid epruvete, ne više od 1 cm<sup>3</sup>.
- ❖ Otvor epruvete ne sme biti okrenut prema licu, niti prema kolegama, a ukoliko je reakcija praćena naglim oslobađanjem toplote, epruvetu hladiti pod mlazom vode.

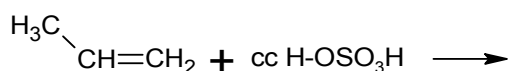
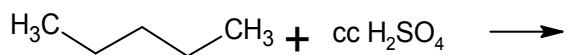
**Opis rada:** Pripremiti tri epruvete:

- U prvu epruvetu se sipa malo zasićenog ugljovodonika, a u drugu nezasićenog ugljovodonika.
- U prve dve epruvete se postepeno dodaje niz zid epruvete kap po kap koncentrovana H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Pri tome se posmatra da li dolazi do reakcije, što bi trebalo da se zapazi po promeni boje, rastvaranju ili oslobađanju toplote.
- **Treću reakciju izvodi demonstrator!** Sipati manju količinu benzena u epruvetu i postepeno dodavati koncentrovanu sumpornu kiselinu uz mućkanje i hlađenje zagrejjane epruvete pod mlazom vode do pojave smolastog proizvoda na dnu epruvete. Reakcioni proizvod izliti u prethodno pripremljeni rastvor sode bikarbone radi neutralizacije viška kiseline. Obratiti pažnju na karakterističan miris proizvoda reakcije sulfovanja benzena.

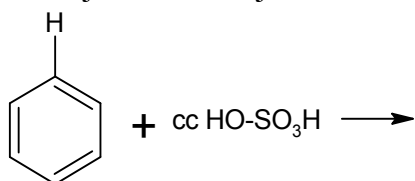
**Zapažanja:**

Promene u prvoj, drugoj i trećoj epruveti:

Dovršiti reakcije koje su moguće u uslovima ogleda i imenovati sve učesnike u reakciji:



Reakcija sulfovanja benzena:



### Ogled 3: Dejstvo koncentrovane azotne kiseline (cc HNO<sub>3</sub>) na zasićene, nezasićene i aromatične ugljovodonike

**Reagensi:** Zasićeni ugljovodonik - petroletar, nezasićeni ugljovodonik - jestivo ulje, benzen, cc HNO<sub>3</sub> i cc H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

**PAŽNJA:** Rad sa koncentrovanim kiselinama može biti opasan!

\*Pridrživati se pomenutih uputstava (strana 128)

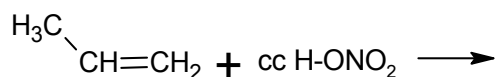
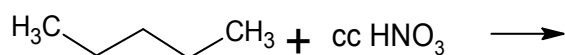
**Opis rada:** Pripremiti tri epruvete:

- U prvu epruvetu se sipa malo zasićenog ugljovodonika, a u drugu nezasićenog ugljovodonika.
- U prve dve epruvete se postepeno dodaje niz zid epruvete kap po kap koncentrovana HNO<sub>3</sub>. Pri tome se posmatra da li dolazi do reakcije, što bi trebalo da se zapazi po promeni boje, rastvaranju ili oslobađanju toplote.
- **Treću reakciju izvodi demonstrator!** U epruvetu se sipa malo cc H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> i pažljivo uz hlađenje epruvete doda ista zapremina cc HNO<sub>3</sub>. Na dobijenu smešu takođe uz hlađenje vodom i mešanje, postepeno se dodaje kap po kap benzena (polovina početne zapremine). Pojava žute smolaste mase, karakterističnog mirisa je dokaz reakcije nitrovanja. Reakcioni proizvod izliti u prethodno pripremljeni rastvor sode bikarbone radi neutralizacije viška kiseline. Obratiti pažnju na karakterističan miris proizvoda reakcije nitrovanja benzena.

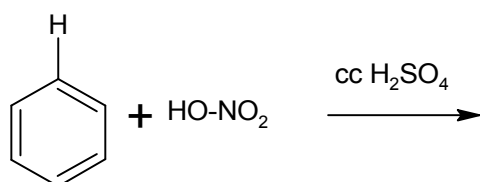
**Zapažanja:**

Promene u prvoj, drugoj i trećoj epruveti:

Dovršiti reakcije koje su moguće u uslovima ogleda i imenovati sve učesnike u reakciji:



Reakcija nitrovanja benzena:



#### **Ogled 4: Dejstvo kalijum-permanganata na zasićene, nezasićene i aromatične ugljovodonike:**

**Reagensi:** Zasićeni ugljovodonik - petroletar, nezasićeni ugljovodonik - jestivo ulje, benzen,  $\text{KMnO}_4$

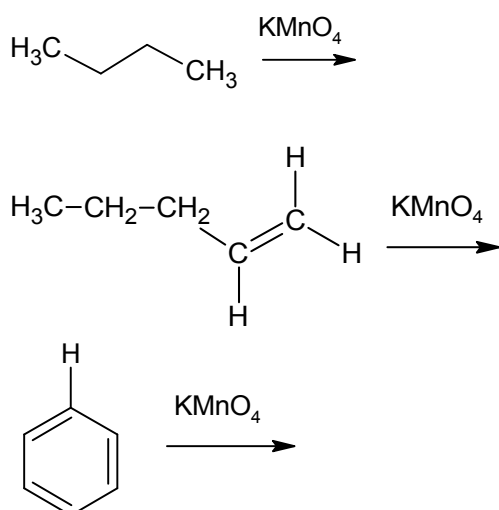
**Opis rada:** Pripremiti tri epruvete:

- U prvu epruvetu sipati malo zasićenog ugljovodonika, u drugu nezasićenog ugljovodonika, a u treću benzena.
- U sve tri epruvete dodati nekoliko kapi kalijum-permanganata uz neprestano mućkanje.

**Zapažanja:**

Promene u prvoj, drugoj i trećoj epruveti:

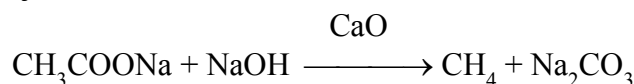
Dovršiti reakcije koje su moguće u uslovima ogleda i imenovati sve učesnike u reakciji:



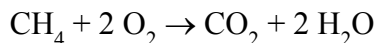
#### **Ogled 5: Dobijanje metana i njegove osobine**

Metan, najprostiji zasićeni ugljovodonik, je gas bez boje i mirisa, lakši od vazduha. Pokazuje sve reakcije karakteristične za zasićene ugljovodonike: ne reaguje sa kiselinama i oksidacionim sredstvima, a u prisustvu svetlosti podleže reakcijama supstitucije sa halogenim elementima.

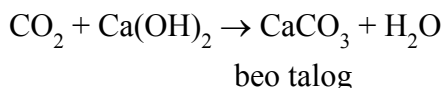
U laboratorijskim uslovima se dobija reakcijom anhidrovanog natrijum-acetata i natrijum-hidroksida u prisustvu kalcijum-oksida. Ova reakcija se može prikazati sledećom hemijskom jednačinom:



Kao svi ugljovodonici kada se zapali, metan sagoreva, pri čemu nastaje ugljen-dioksid i voda. Reakcija sagorevanja metana može se predstaviti sledećom hemijskom jednačinom:



Ugljen-dioksid koji tom prilikom nastaje može se dokazati dodavanjem krečne vode (rastvor kalcijum-hidroksida) pri čemu u prisustvu  $\text{CO}_2$  nastaje beo talog kalcijum-karbonata. Reakcija dokazivanja  $\text{CO}_2$  može se predstaviti sledećom hemijskom jednačinom:

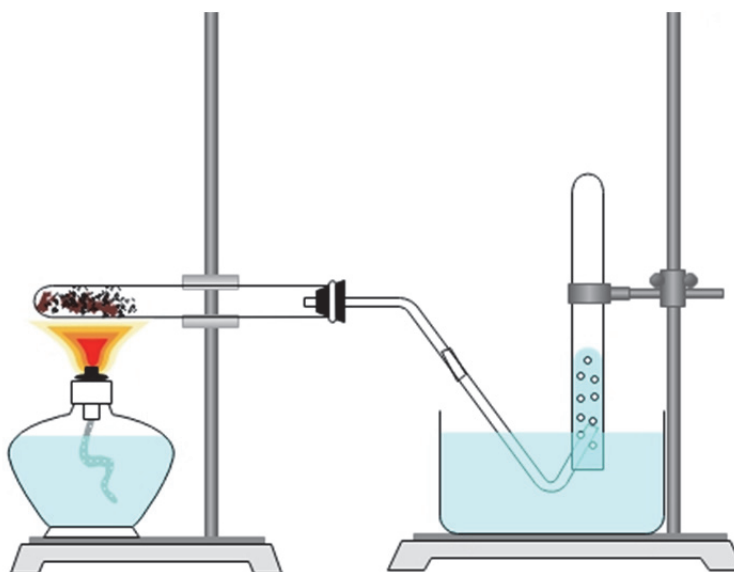


**PAŽNJA:** Prilikom paljenja metana, epruvetu držati što dalje od sebe, jer može doći do stvaranja eksplozivne smeše metan-vazduh, ukoliko vazduh prilikom zagrevanja reakcione smeše nije bio dovoljno odstranjen.

**Reagensi:** anhidrovani  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{CaO}$

**Aparatura:** Aparatura koja se koristi za dobijanje metana prikazana je na *Slici 5.1*.

**Opis rada:** U epruvetu sa gumenim čepom kroz koji prolazi odvodna staklena cev unese se oko 2 g isitnjenog  $\text{CH}_3\text{COONa}$  (prethodno osušenog da bi se udaljila vlaga) i 3 g isitnjene smeše  $\text{NaOH}$  i  $\text{CaO}$  u masenom odnosu 2:1. Sadržaj epruvete se dobro izmeša i sklopi se aparatura kao što je prikazana na slici. Epruveta sa smešom se kratko vreme zagreva da se iz nje istera vazduh, a gas metan, koji zatim počinje da se razvija hvata se pod vodom u epruvetu koja je obrnuto okrenuta i napunjena vodom. Kada se epruveta napuni metanom, zagrevanje se prekine, na otvor epruvete se stavi sahatno staklo i epruveta izvadi iz vode. Metan se zapali prinošenjem plameniku ili šibicom, pri čemu on sagoreva svetlim plamenom. U epruvetu u kojoj je sagoreo metan, doda se malo bistre krečne vode i dobro promućka pri čemu nastaje beo talog  $\text{CaCO}_3$ .



**Slika 5.1.** Aparatura za dobijanje metana.

## **Ogled 6: Dobijanje etina (acetilena)**

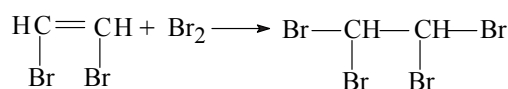
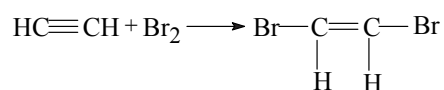
Acetilen se najčešće dobija laboratorijski dejstvom vode na kalcijum-karbid. Radi dokazivanja sposobnosti adicije dobijeni acetilen se uvodi u epruvetu u kojoj se nalazi bromna voda, pri čemu nastaje dibrometilen, a zatim tetrabrometan.

Kao i svi ugljovodonici acetilen sagoreva, pri čemu nastaje ugljendioksid.

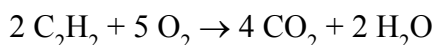
Reakcija dobijanja acetilena može se predstaviti sledećom hemijskom jednačinom:



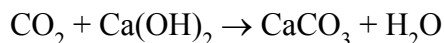
a reakcija adicije broma sledećim hemijskim jednačinama:



Hemijska jednačina reakcije sagorevanja acetilena:



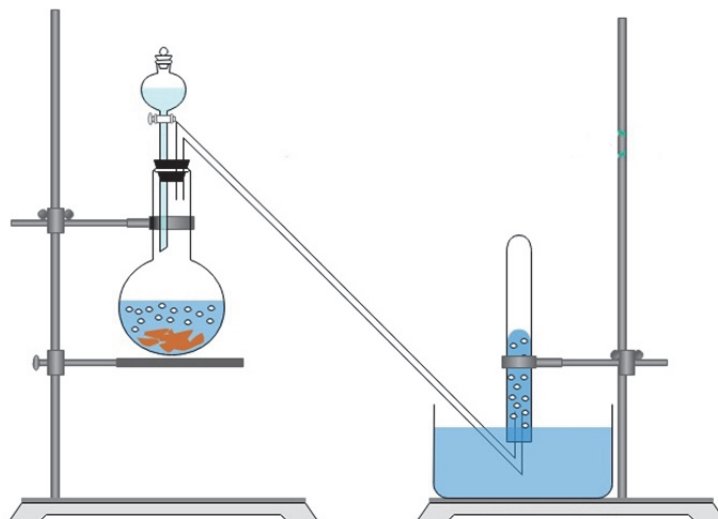
nastali ugljendioksid se dokazuje reakcijom sa krečnom vodom:



**Aparatura:** Aparatura za dobijanje acetilena prikazana je na sledećoj *Slici 5.2*.

**Reagensi:** Kalcijum-karbid, etanol, bromna voda, krečna voda

**Opis rada:** U epruvetu se stavi nekoliko zrna  $\text{CaC}_2$  i doda  $1 \text{ cm}^3$  etanola (etanol se dodaje da uspori reakciju nastajanja acetilena) i  $4 \text{ cm}^3$  vode. Epruveta se zatvori zapušačem kroz koji prolazi savijena odvodna cev na čiji kraj je postavljena druga epruveta uronjena u sud sa vodom. U ovu epruvetu se hvata gas acetilen koji se razvija u reakciji. Kada se epruveta napuni acetilenom izvadi se iz vode pri čemu se zatvori otvor epruvete. Epruveta se prinese plamenu: acetilen sagoreva čađavim plamenom. Ako se u tu epruvetu doda malo bistre krečne vode pojavljuje se beli talog  $\text{CaCO}_3$ .



**Slika 5.2.** Aparatura za dobijanje acetilena.

Kada se aceten uводи u rastvor bromne vode, zapaža se obezbojavanje bromne vode.

### **Ogled 7: Rastvorljivost benzena**

Benzen se slabo rastvara u vodi, ali se zato rastvara u mnogim organskim rastvaračima.

**Reagensi:** Benzen, voda, etar ili toluen

**Opis rada:** U dve epruvete se sipa malo benzena. U jednu epruvetu se doda ista zapremina vode, a u drugu etar ili toluena. Sadržaj obe epruvete se dobro promeša i posmatra se rastvorljivost benzena.

**Overa asistenta:**

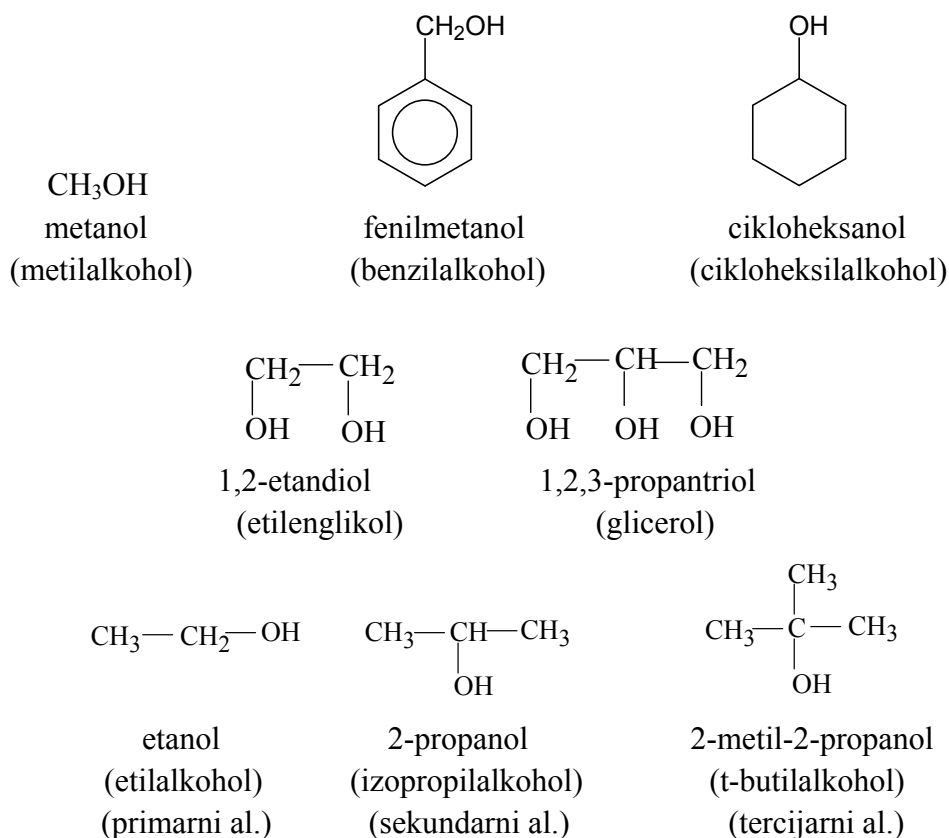
### 5.3. ORGANSKA JEDINJENJA SA KISEONIKOM (alkoholi, fenoli, aldehidi, ketoni i karboksilne kiseline)

#### Alkoholi

Alkoholi su organska jedinjenja koja u molekulu sadrže hidroksilnu funkcionalnu grupu, -OH, vezanu za alifatični ugljovodonični radikal.

Prema karakteru ugljeničnog niza, alkoholi mogu biti sa otvorenim nizom i ciklični, a prema broju hidroksilnih grupa u molekulu dele se monohidroksilne, dvohidroksilne, trohidroksilne i polihidroksilne alkohole.

U zavisnosti od karaktera ugljenikovog atoma za koji je vezana hidroksilna grupa, alkoholi se dele na primarne kod kojih je -OH grupa vezana za primarni C-atom, sekundarne kod kojih je -OH grupa vezana za sekundarni C-atom i tercijarne kod kojih je -OH grupa vezana za tercijarni ugljenik. Pored sistematskih (naučnih) naziva, često se koriste i trivijalni nazivi, naročito za niže članove (dati su u zagradama u daljem tekstu).

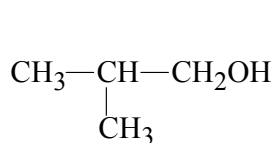


#### Nomenklatura alkohola po IUPAC-u

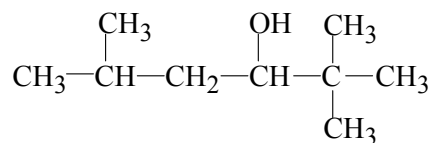
Sistemska nomenklatura po IUPAC-u tretira alkohole kao derivate alkana, a imena nastaju kada se imenu alkana doda sufiks **-ol**

- kod račvastih sistema ime alkohola se iz najdužeg niza na kome se nalazi OH-supstituent

- ugljenikovi atomi u osnovnom nizu numerišu se od kraja najbližeg OH-supstituentu
- imena drugih supstituenata izводе se prema pravilima za ugljovodonike

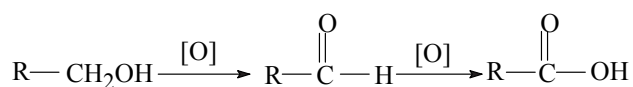


2-metil-1-propanol



2,2,5-trimetil-3-heksanol

Primarni alkoholi, za koje je karakteristična  $-\text{CH}_2\text{OH}$  grupa, oksidacijom daju aldehide, koji daljom oksidacijom daju kiseline sa istim brojem C atoma.

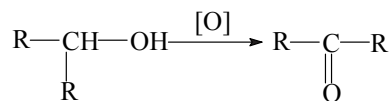


primarni alkohol

aldehid

organska kiselina

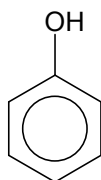
Sekundarni alkoholi oksidacijom daju ketone:



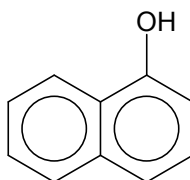
Tercijerni alkoholi se vrlo teško oksiduju. U specijalnim uslovima (visoka temperatura) oksiduju se uz cepanje ugljovodoničnog lanca, pri čemu se obrazuje smeša kiselina i ketona. U standardnim uslovima ovi alkoholi se neće oksidovati.

## Fenoli

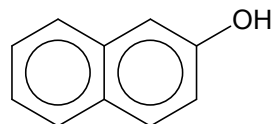
Fenoli su hidroksilni derivati aromatičnih ugljovodonika. Nastaju zamenom jednog ili više vodonikovih atoma u aromatičnom prstenu sa OH grupom.



fenol



$\alpha$  - naftol



$\beta$  - naftol

Monohidroksilni fenoli se lako rastvaraju u etru, a teško u vodi. Sa povećanjem broja -OH grupa u molekulu fenola raste rastvorljivost u vodi.

## Aldehidi i ketoni

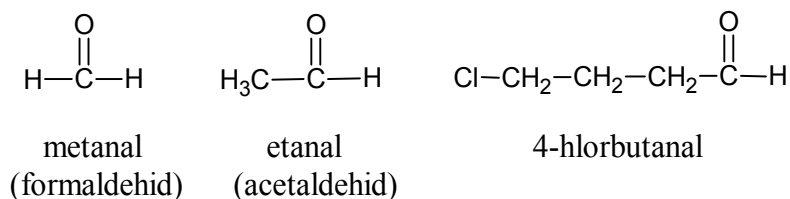
Aldehidi su jedinjenja koja u svojoj molekuli sadrže - C-H grupu. Nastaju oksidacijom primarnih alkohola, mogu se oksidovati u odgovarajuće kiseline i redukovati u odgovarajuće alkohole. Pri tome mogu reagovati i kao oksidaciona i kao redukciona sredstva, ali je njihova oksidaciona sposobnost, naročito u baznoj sredini, jako izražena. Redukuju alkalne rastvore  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ . Pored oksido-redukcionih reakcija za aldehide su karakteristične i reakcije nukleofilne adicije i kondenzacije.

Funkcionalna grupa ketona je - C=O. Nastaju oksidacijom sekundarnih alkohola. Reakcije karakteristične za ketone, izuzev oksido-redukcionih, slične su reakcijama koje pokazuju aldehidi.

### Nomenklatura aldehida po IUPAC-u

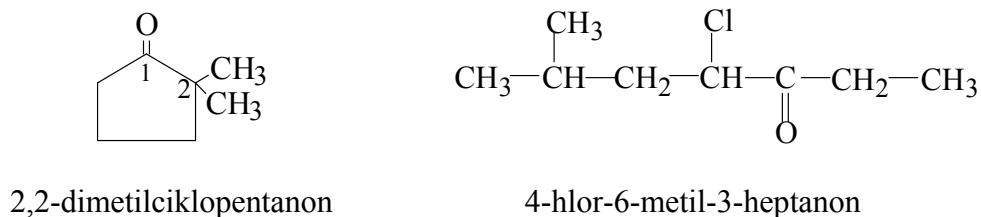
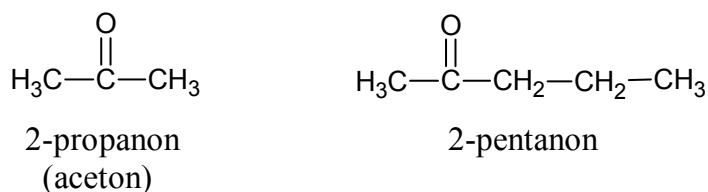
Sistemska nomenklatura po IUPAC-u aldehide tretira kao derivate alkana, a imena nastaju kada se imenu alkana doda sufiks **-al**. Niži predstavnici imaju trivijalna imena (data u zagradi).

- osnovni niz se numeriše polazeći od karbonilne grupe:



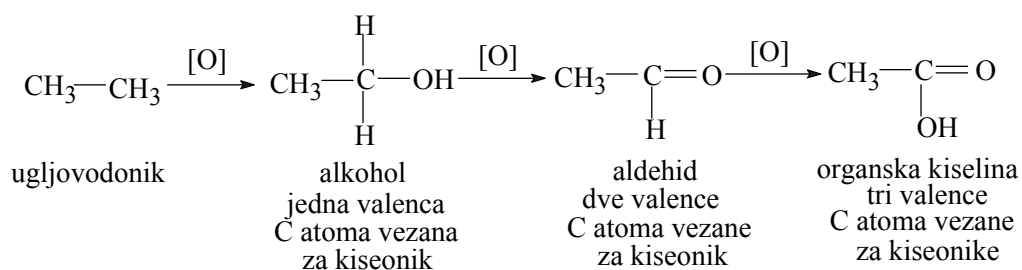
### Nomenklatura ketona po IUPAC-u

- ketoni se imenuju dodavanjem sufiksa **-on** imenu alkana.
- položaj karbonilne funkcije u najdužem nizu označen je takvim numerisanjem niza da karbonilna grupa zadobije najmanji mogući broj, bez obzira na prisustvo drugih supstituenata, hidroksilne grupe, dvostruke ili trostruke veze.
- ketoni mogu biti i deo prstena, te se tada imenuju kao cikloalkanoni

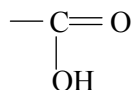


## Organske kiseline

Organske kiseline su viši oksidacioni proizvodi aldehida (nastalih oksidacijom primarnih alkohola). Sledeća šema prikazuje oksidacioni niz jedinjenja od ugljovodonika do organskih kiselina.

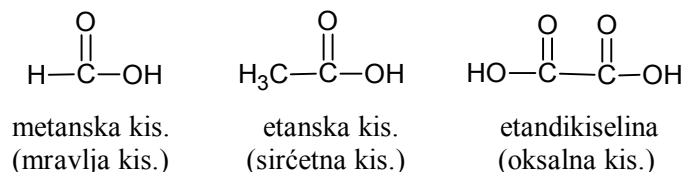


U kiselinama su tri kovalence ugljenikovog atoma vezane za kiseonik, pa su kiseline poslednji oksidacioni stupanj ugljovodonika koji se može postići bez cepanja ugljovodoničnog niza. Karakteristična funkcionalna grupa za organske kiseline je

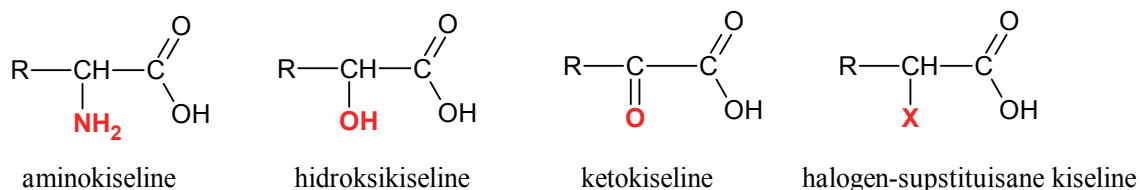


karboksilna grupa  $\text{—COOH}$ , strukturne formule:

Prema broju karboksilnih grupa organske kiseline se dele na monokarbonske, dikarbonske, trikarbonske i polikarbonske.



Pored zasićenih kiselina, poznate su i nezasićene kiseline, supstituisane kiseline i aromatične kiseline. **Supstituisane** kiseline nastaju zamenom jednog vodonikovog atoma u ugljovodoničnom radikalu kiseline, sa atomom halogena ili nekom drugom funkcionalnom grupom. Tako razlikujemo:



### Nomenklatura organskih kiselina po IUPAC-u

- imena karboksilnih kiselina izводе se dodatkom **—ska kiselina** imenu alkana
- osnovni niz alkanskih kiselina numeriše se pripisujući broj 1 karboksilnom ugljeniku, a zatim označavajući svaki supstituent najdužeg niza koji sadrži  $\text{—COOH}$  grupu.



- 5-butil-6-heptenska kiselina

- 

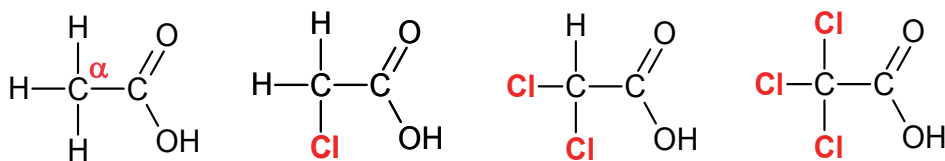
c1ccccc1C(=O)O


$$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})\text{OH}$$

$\gamma$        $\beta$        $\alpha$   
 4      3      2      1

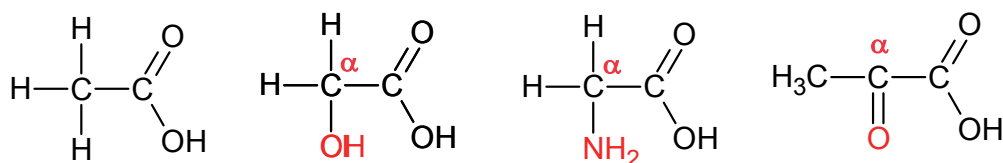
$$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{OH}}{\text{C}}}$$
$$\text{H}_2\text{C}^{\gamma}-\text{CH}_2^{\beta}-\text{CH}_2^{\alpha}-\text{C}^1(\text{OH})=\text{O}$$

138



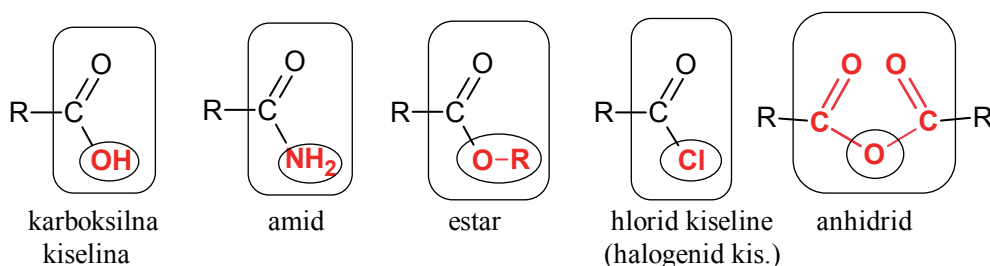
sirćetna kiselina   monohlorsirćetna kiselina   dihlorsirćetna kiselina   trihlorsirćetna kiselina

Supstitucijom vodonikovih atoma na  $\alpha$ -C atomu dobijaju se biološki značajni molekuli među kojima su  $\alpha$ -amino-kiseline koje predstavljaju gradivne blokove proteina, kao i  $\alpha$ -hidroksi i  $\alpha$ -keto-kiseline koje predstavljaju intermedijere u metabolizmu i široko su rasprostranjeni u živim organizmima.

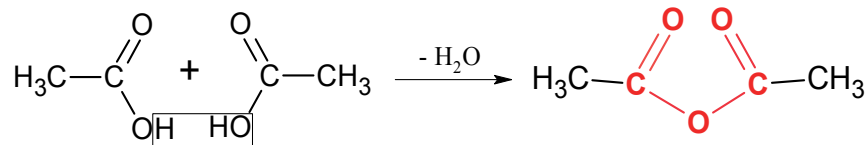


sirćetna kiselina   hidroksisirćetna kiselina (glikolna kiselina)   aminosirćetna kiselina (glicin)   2-oksopropanska kiselina ( $\alpha$ -ketopropionska kiselina ili pirogroždana kiselina)

Kada se izvrši supstitucija hidroksilne grupe u karboksilnoj grupi organskih kiselina različitim atomskim grupama dobijaju se **funkcionalni derivati** karboksilnih kiselina. Tako se mogu dobiti:

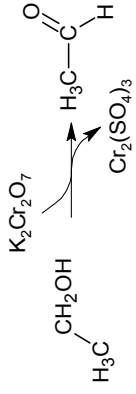
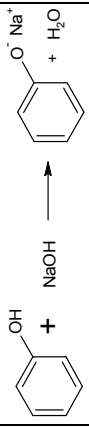
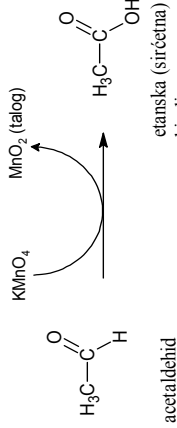
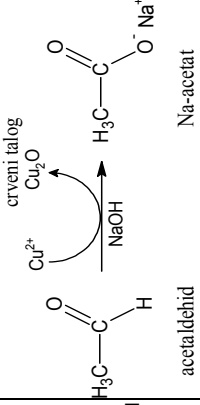
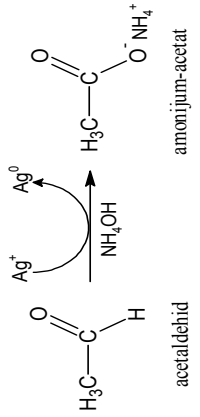


Amidi i estri su stabilna jedinjenja rasprostranjena u prirodi, dok su anhidridi, a naročito hloridi kiselina veoma nestabilna jedinjenja koja se dobijaju sintezom. Teorijski anhidridi nastaju dehidratacijom karboksilnih kiselina, međutim oni se praktično dobijaju reakcijom hlorida kiselina sa karboksilnim kiselinama ili njihovim solima.



Zajednička osobina svih derivata organskih kiselina je da u reakciji sa vodom (hidrolizom) daju odgovarajuće organske kiseline. Acetanhidrid usled svoje visoke reaktivnosti takođe reaguje sa alkoholima i aminima dajući odgovarajuće estre i amide. Acetanhidrid se često koristi u organskoj sintezi za prenos acetil ( $\text{CH}_3\text{CO}-$ ) grupa.

**Tabela 5.4.** Reakcije organskih jedinjenja sa kiseonikom (alkohola, fenola, aldehida, ketona i karboksilnih kiselina)

| <i>Klasa<br/>Organskih<br/>Jedinjenja</i> | <i>NaOH</i>                                                                                     | <i>KMnO<sub>4</sub> (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)</i>                  | <i>Felingova reakcija</i>                                                           | <i>Tollensova reakcija</i>                                                         |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Primarni<br/>alkoholi</i>              | /                                                                                               |  | /                                                                                   | /                                                                                  |
| <i>Fenoli</i>                             |              | /                                                                                   | /                                                                                   | /                                                                                  |
| <i>Aldehidi</i>                           | /                                                                                               |  |  |  |
| <i>Ketoni</i>                             | /                                                                                               | /                                                                                   | /                                                                                   | /                                                                                  |
| <i>Karboksilne<br/>Kiseline</i>           | $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$ | /                                                                                   | /                                                                                   | /                                                                                  |

## XI laboratorijska vežba: Organska jedinjenja sa kiseonikom

### Ogled 1: Rastvorljivost alkohola, fenola, karbonilnih jedinjenja i karboksilnih kiselina

**Reagensi:** metanol, etanol i amilalkohol (pentanol), fenol, aceton, mravlja, sirćetna i benzoeva kiselina

**PAŽNJA:** U ogledu koristiti zaštitne rukavice! Mravlja kiselina stvara plikove na koži. Fenol je izuzetno toksičan i lako prodire kroz kožu!

#### Opis rada:

- U prvu, drugu i treću epruvetu sipati po 1 cm<sup>3</sup> odgovarajućeg alkohola (metanola, etanola i amil-alkohola). Svakoj epruveti se doda ista zapremina vode. Potom se sadržine sve tri epruvete izmešaju i ostave da stoje.
- U četvrtu epruvetu se stavi malo fenola i doda voda uz mešanje.
- U petu epruvetu se sipa 1 cm<sup>3</sup> acetona, doda ista zapremina vode i promućka.
- U šestu i sedmu epruvetu se sipa po 1 cm<sup>3</sup> mravlje odnosno sirćetne kiseline, a u poslednju, osmu epruvetu se doda malo benzoeve kiseline pomoću laboratorijske kašike. U svaku epruvetu sipati po 1cm<sup>3</sup> destilovane vode i promućkati.

#### Zapažanja:

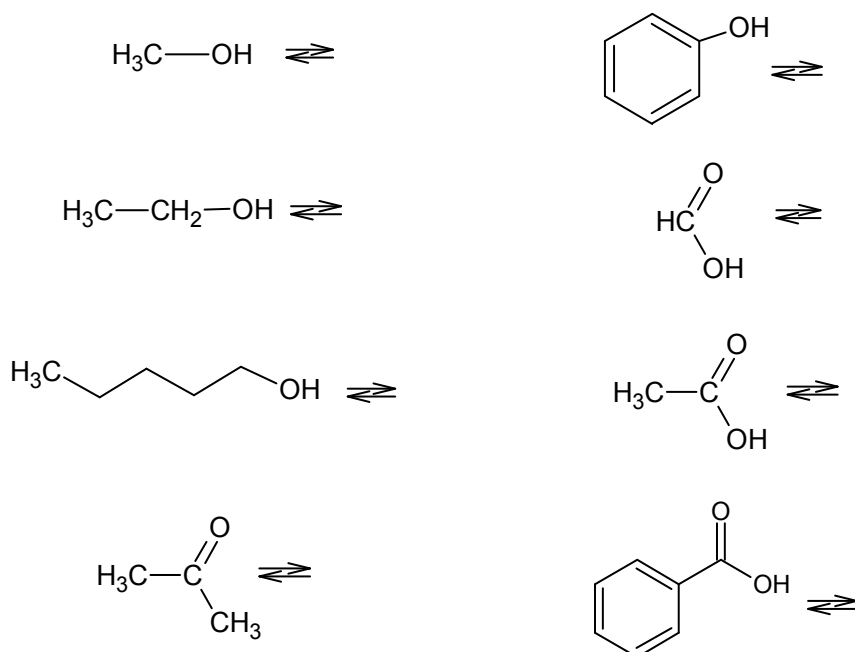
- rastvorljivost alkohola:
- rastvorljivost fenola:
- rastvorljivost acetona:
- rastvorljivost karboksilnih kiselina:

### Ogled 2: Kiselinsko bazna svojstva alkohola, fenola, karbonilnih jedinjenja i karboksilnih kiselina

**Opis rada:** U svaku epruvetu pripremljenu u prethodnom ogledu uroniti univerzalnu indikatorsku hartiju i izmeriti pH vrednost.

### Zapažanja:

Dovršiti jednačine elektrolitičke disocijacije jedinjenja koja su elektroliti:



### Ogled 3: Oksidacija alkohola pomoću hromne smeše

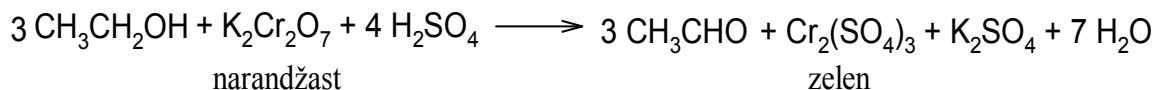
**Reagensi:** etanol, cc  $\text{H}_2\text{SO}_4$  i rastvor kalijum-dihromata ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , masenog udela, 5%)

**PAŽNJA:** Rad sa koncentrovanim kiselinama može biti opasan!

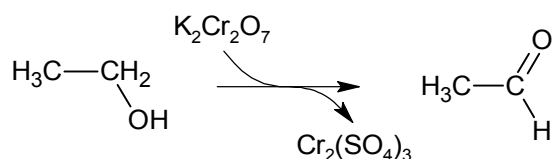
\*Pridržavati se pomenutih uputstava (strana 128)

**Opis rada:** U epruvetu se sipa malo rastvora  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  i pažljivo doda upola manja zapremina cc  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pri čemu se dobija “hromna smeša”-reagens za oksidaciju alkohola. U tako dobijenu smešu se oprezno doda malo etanola.

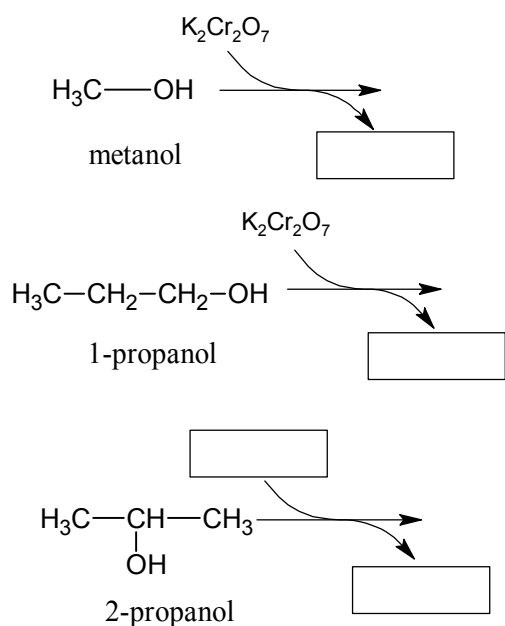
**Zapažanja:** Oksidacija alkohola se može pratiti po promeni boje iz narandžaste u zelenu, a nastali etanal (acetaldehid) se poznaje po karakterističnom mirisu:



Reakcija se može napisati u skraćenom obliku na sledeći način:



Dopuniti jednačine oksidacije date u skraćenom obliku:

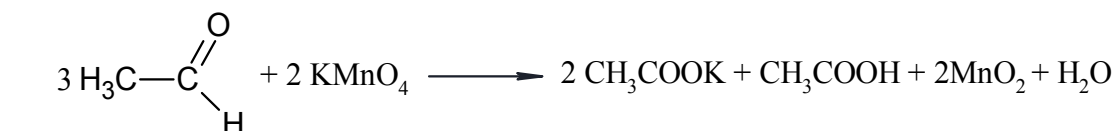
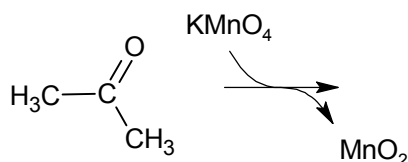
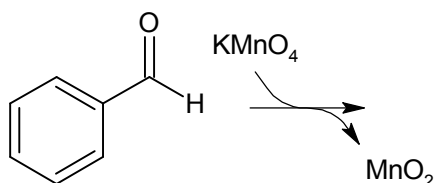


#### **Ogled 4: Ponašanje nekih aldehida i ketona prema rastvoru KMnO<sub>4</sub>**

**Reagensi:** acetaldehid, aceton, benzaldehid i kalijum-permanganat

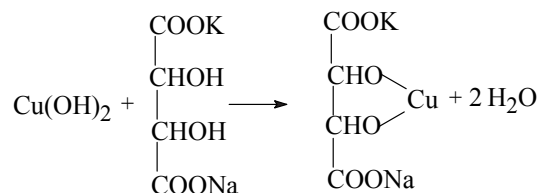
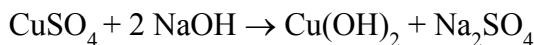
**Opis rada:** Pripreme se četiri epruvete i u svaku se sipa malo rastvora KMnO<sub>4</sub>. U prvu epruvetu se sipa kap acetaldehida, u drugu kap acetona, u treću kap benzaldehida, a u četvrtu kap KMnO<sub>4</sub> kao kontrola. Sadržaj epruveta se dobro izmeša i posle pet minuta se vrši poređenje boje sa bojom kontrolnog rastvora.

**Zapažanja:** Aldehidi se mogu oksidovati standardnim oksidacionim sredstvima kao što je kalijum-permanganat, dok se ketoni ne mogu oksidisati pri istim uslovima. Usled reakcije oksidacije, kod aldehida se pojavljuje mrki talog mangan-dioksida (MnO<sub>2</sub>).


$$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}} \xrightarrow{\text{KMnO}_4} \text{MnO}_2$$


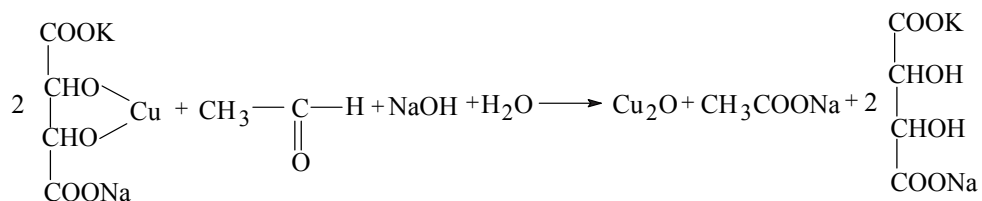
## 144

Felingov rastvor dobija se mešanjem jednakih zapremina dva rastvora, Feling I i Feling II. Feling I predstavlja razblaženi rastvor  $\text{CuSO}_4$ , a Feling II je rastvor kalijum-natrijum-tartarata i  $\text{NaOH}$ . Reakcije koje se odigravaju nakon mešanja Felinga I i Felinga II (1:1) mogu se predstaviti sledećim hemijskim jednačinama:

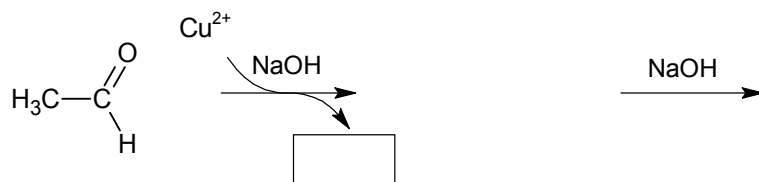


**Zapažanja:** Nakon nekoliko minuta zagrevanja dolazi do izdvajanja crvenog taloga  $\text{Cu}_2\text{O}$ .

Pri dodatku aldehida dolazi do sledeće reakcije:



Dovršiti jednačinu oksidacije u skraćenom obliku:

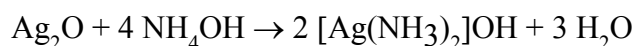
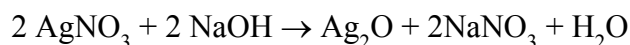


### **Ogled 6: Redukcija Tolensovog rastvora (reakcija srebrnog ogledala)**

**Reagensi:**  $\text{AgNO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$ , acetaldehid

**Opis rada:** U epruvetu se sipa  $\text{AgNO}_3$  i  $\text{NaOH}$ . Nastali  $\text{Ag}_2\text{O}$  se rastvori u  $\text{NH}_4\text{OH}$  pazeći pri tome da se  $\text{NH}_4\text{OH}$  ne doda u višku (dodavati postepeno, po par kapi uz intenzivno mućkanje). Na ovako pripremljen rastvor dodaje se oko  $1 \text{ cm}^3$  acetaldehida i rastvor blago promeša. Rastvor se zatim ostavi u vrelom vodenom kupatilu 10-15 min.

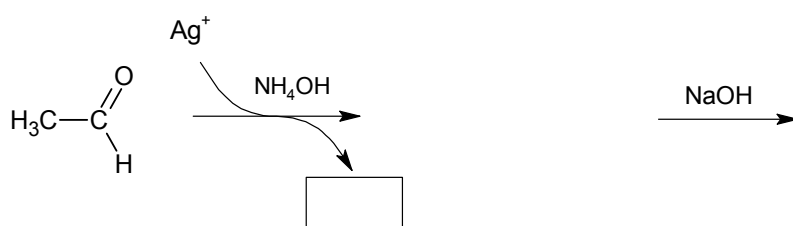
Reakcije dobijanja Tolensovog reagensa:



**Zapažanja:** Usled oksido-redukcione reakcije, na zidovima epruvete se taloži elementarno srebro u vidu srebrnog ogledala.

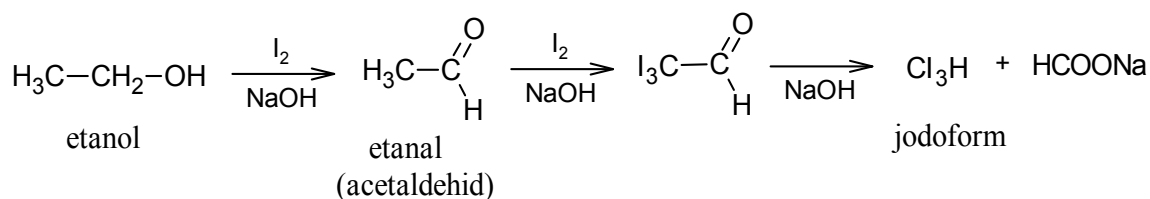


Napisati Tolensovu reakciju u skraćenom obliku:

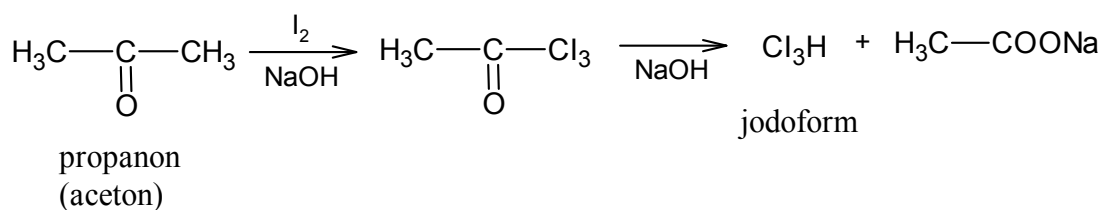


### Ogled 7: Jodoformska reakcija

Jodoformsku reakciju daju sva jedinjenja koja pored karbonilne grupe imaju metil grupu, tako ovu reakciju pored etanola daju acetaldehid, aceton i druga odgovarajuća jedinjenja. Reakcija se izvodi sa jodom u baznoj sredini. Smatra se da jodoformska reakcija na etanol teče u tri faze: prvo se vrši oksidacija etanola u etanal sa jodom, zatim se vrši supstitucija vodonika u metil grupi sa jodom i na kraju se dobijeni proizvod razlaže u baznoj sredini do jodoforma. Ovaj sled promena se može predstaviti sledećim nizom reakcija:



Pored alkohola, pozitivnu jodoformsku reakciju daju i aldehidi i ketoni. Jodoformska reakcija uz učešće acetona može se predstaviti sledećim nizom reakcija:



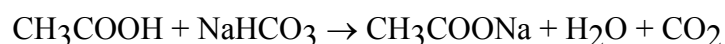
**Reagensi:** rastvor joda u etanolu, rastvor joda u acetonu i 5% rastvor  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

**Opis rada:** U rastvor joda u etanolu doda se vodeni rastvor  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  sve dok ne iščezne smeđe obojenje od joda. Ogled ponoviti sa rastvorom joda u acetonu.

**Zapažanja:** Hlađenjem se talože svetlo žuti kristali jodoforma koji se može prepoznati po karakterističnom mirisu.

### **Ogled 8: Reakcija karbonskih kiselina sa rastvorom $\text{NaHCO}_3$**

Mada su organske kiseline slabe kiseline, jače su od ugljene kiseline, što se dokazuje razlaganjem natrijum-bikarbonata u prisustvu organskih kiselina.

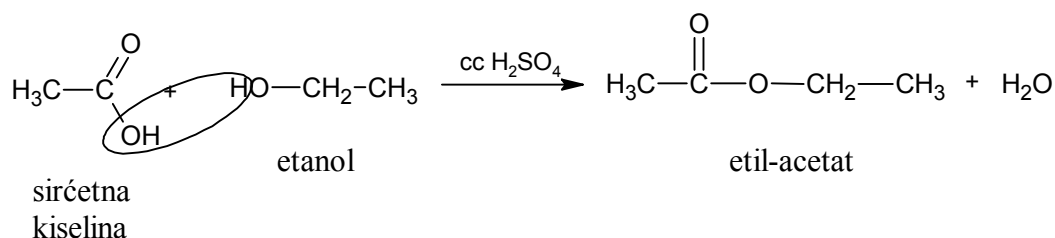


**Reagensi:** rastvor  $\text{NaHCO}_3$  masenog udela 5%, glacijalna (bezvodna)  $\text{CH}_3\text{COOH}$

**Opis rada:** U epruvetu se uspe malo rastvora  $\text{NaHCO}_3$  i doda jedna kap glacijalne  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pri čemu se izdvaja  $\text{CO}_2$  uz penušanje.

### **Ogled 9: Esterifikacija**

Estri nastaju uzajamnim dejstvom kiselina i alkohola, u prisustvu dehidratacionog sredstva (cc  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), radi pomeranja ravnoteže u smeru dobijanja estra.



**Reagensi:** Etanol, glacijalna sirćetna kiselina ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), cc  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , rastvor  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

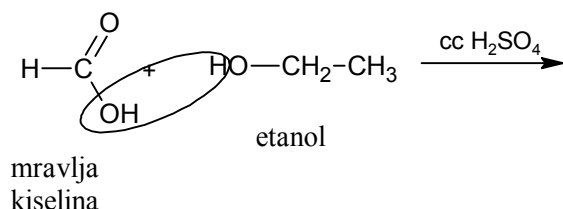
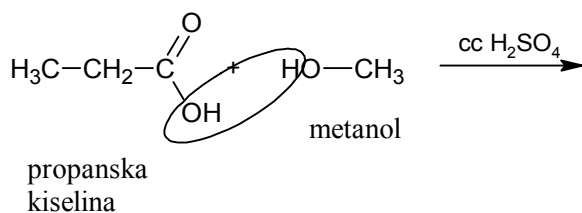
**PAŽNJA:** Rad sa koncentrovanim kiselinama može biti opasan!

**\*Pridržavati se pomenutih uputstava (strana 128)**

**Opis rada:** U epruvetu se sipa  $1 \text{ cm}^3$  etanola, zatim se doda  $1 \text{ cm}^3$  glacijalne sirćetne kiseline. Smeši dodati postepeno uz mešanje još  $1 \text{ cm}^3$  cc  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Zatim se epruveta ohladi i sadržaj uspe u čašu u kojoj se nalazi rastvor  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (radi neutralizacije neizreagovale sirćetne i sumporne kiseline) i odmah pomiriše.

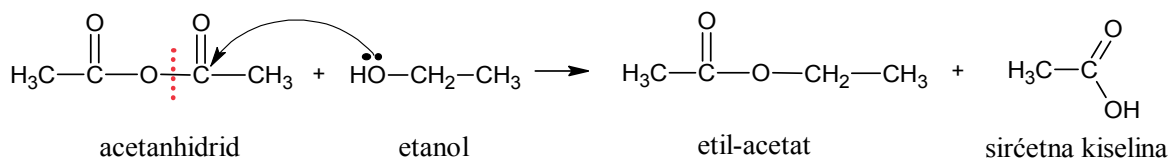
**Zapažanja:** Prijatan miris na voće svedoči da je u reakciji nastao estar.

Dovršiti sledeće reakcije i napisati nazive nastalih proizvoda:



### Ogled 10: Reakcija acetilovanja etanola

Anhidrid sirćetne kiseline (acetanhidrid) je poznati reagens za acetilovanje, uvođenje acetil grupe u druga jedinjenja. Estri se takođe mogu dobiti delovanjem anhidrida organskih kiselina na alkohole-reakcijom acetilovanja:



**Reagensi:** anhidrid sirćetne kiseline, etanol, rastvor  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

**PAŽNJA:** rad sa koncentrovanim kiselinama može biti opasan!

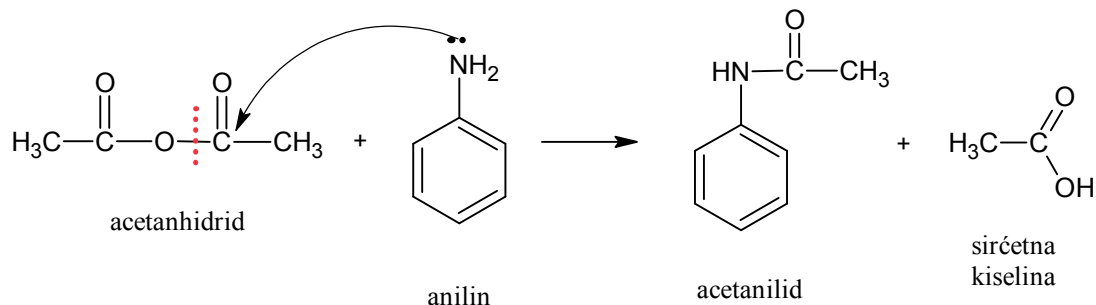
\*Pridržavati se pomenutih uputstava (strana 128)

**Opis rada:** U epruvetu se sipa malo anhidrida sirćetne kiseline i doda ista zapremina etanola. Epruveta se ohladi i sadržaj epruvete uspe u čašu sa rastvorom natrijum-karbonata.

**Zapažanja:** Osetiće se prijatan miris estra koji podseća na voće.

### **Ogled 11: Reakcija acetilovanja anilina**

Pomoću acetanhidrida acetil grupa se može preneti i na atom azota organskih amina ( $R-NH_2$ ). Ova reakcija će biti prikazana na primeru acetilovanja anilina (aromatičnog amina).



**Reagensi:** acetanhidrid, anilin

**Opis rada:** U epruvetu se sipa malo anilina i doda ista zapremina acetanhidrida, a zatim se smeša ohladi pod mlazom vode, pri čemu dolazi do izdvajanja taloga. Doda se trostruka zapremina vode, a zatim se zid epruvete trlja staklenim štapićem.

**Zapažanja:** Dolazi do izdvajanja kristala acetanilida.

**Overa asistenta:**

## 5.4. ORGANSKA JEDINJENJA SA AZOTOM I HETEROCIKLIČNA JEDINJENJA

Pored ugljenika, vodonika i kiseonika, azot je element koji se najčešće sreće u organskim jedinjenjima.

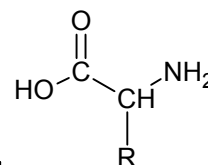
S obzirom na način na koji je azot vezan u molekulu, organska jedinjenja se dele na nekoliko klasa:

1. **nitro jedinjenja** koja sadrže nitro- grupu:  $-\text{NO}_2$ , npr.  $\text{CH}_3\text{-NO}_2$

2. **amini** koji sadrže amino-grupu:  $-\text{NH}_2$ , npr.  $\text{CH}_3\text{-NH}_2$

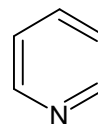
3. **amino-kiseline**,

biološki veoma važna jedinjenja jer su gradivni blokovi proteina:



4. **azotna heterociklična jedinjenja**,

kod kojih je atom azota inkorporiran u prsten:



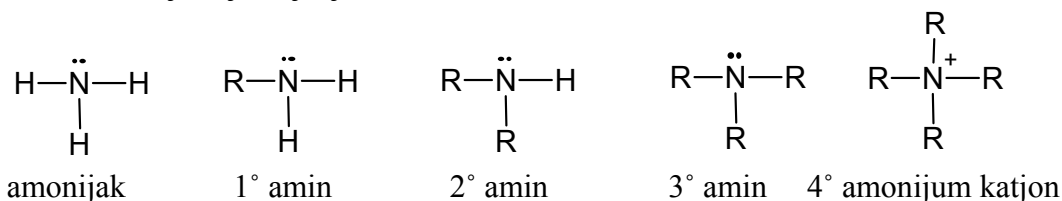
5. **peptidi i proteini**, prirodni polimeri koji se sastoje od amino-kiselina povezanih peptidnim vezama.

6. **nukleinske kiseline**, biopolimeri nukleotida koji sadrže azotne heterociklične baze (purinske i pirimidinske)

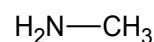
7. **alkaloidi**, derivati azotnih heterocikličnih jedinjenja, baznog karaktera i izraženog fiziološkog delovanja.

### Amini

Amini se mogu shvatiti kao derivati amonijaka koji nastaju zamenom vodonika alkil-grupama. Zamenom jednog po jednog vodonika, nastaju primarni, sekundarni i tercijarni amin. Ako se sva četiri vodonika iz  $\text{NH}_4^+$  zamene alkil grupama nastaju kvaternarna amonijum-jedinjenja.

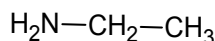


Primeri nekih amina:



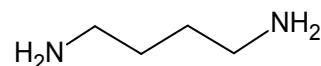
metanamin

(metal-amin)



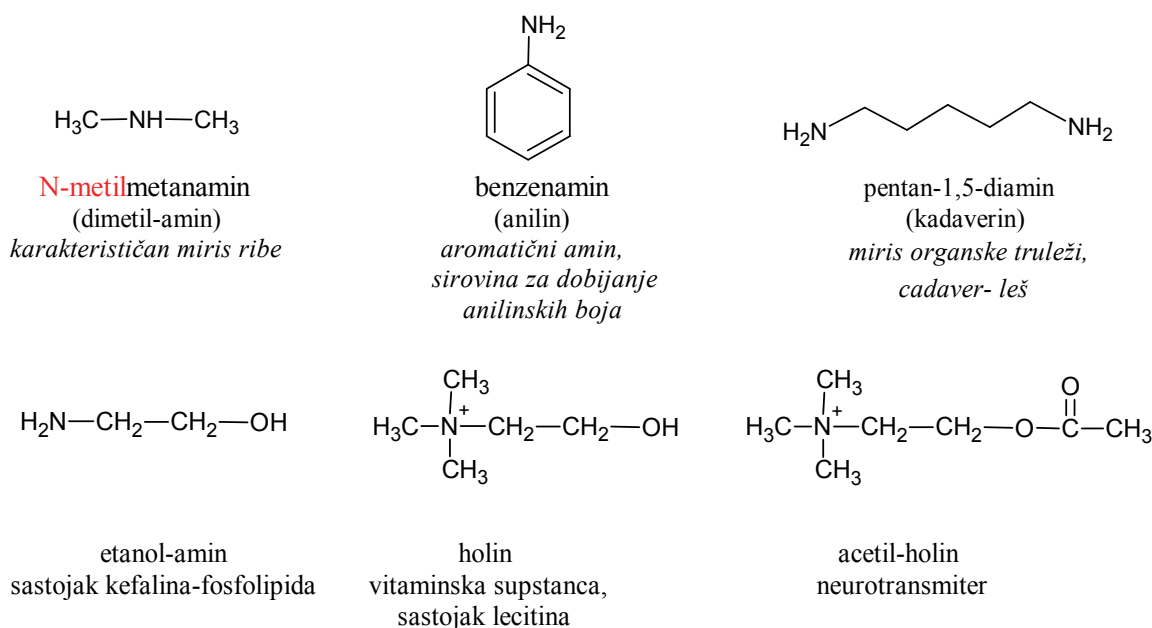
etanamin

(etil-amin)

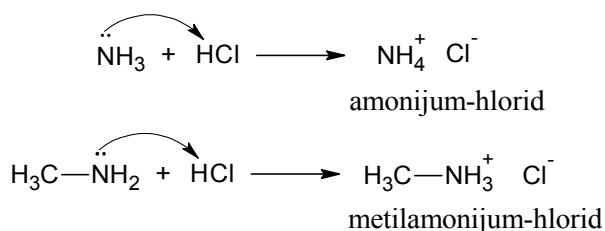


butan-1,4-diamin

(putrescin)

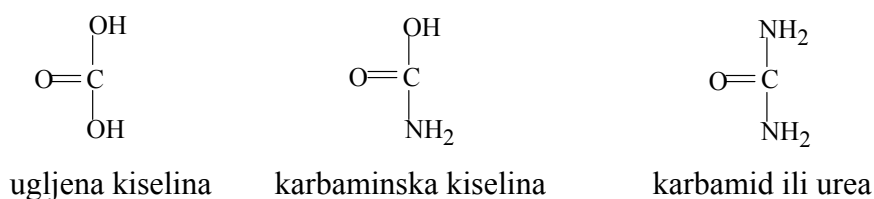


Bazni karakter organskih jedinjenja sa azotom uzrokovan je elektronskom strukturom azotovog atoma koji poseduje nevezani elektronski par kojim može da se veže neki drugi atom (kao npr. vodonik ili ugljenik) koordinativno-kovalentnom vezom. Tako se dobija četvorovalentni atom azota koji postaje pozitivno naelektrisan. Organske baze mogu da se neutrališu sa kiselinama produkujući odgovarajuće amonijum-soli:



## Karbamid

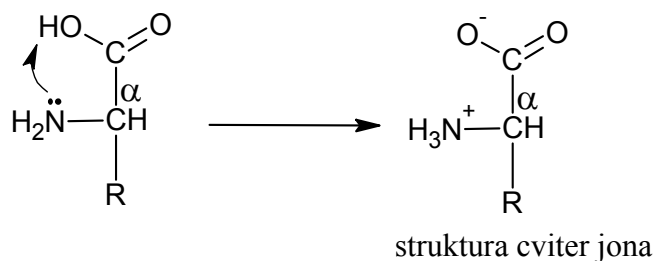
Karbamid ili urea je diamid ugljene kiseline.



Karbamid je prvo veštački sintetizovano organsko jedinjenje (Veler, 1828). Bitan je sastojak urina sisara. Predstavlja jedno od najpoznatijih veštačkih đubriva.

## Amino-kiseline i proteini

Amino-kiseline spadaju u najvažnije molekule živih bića s obzirom da izgrađuju proteine. Većina amino-kiselina koje srećemo u prirodi su L- $\alpha$ -amino kiseline, jer se amino-grupa nalazi vezana za  $\alpha$ -C atom. Imajući u vidu da se u istom molekulu u susednom položaju nalaze kiselina i bazna grupa, može doći do unutarmolekulske neutralizacije kada nastaje bipolarni cviter (zwitter) jon:



Usled prisustva kisele i bazne funkcionalne grupe u istom molekulu amino-kiseline imaju amfoteran karakter tj. mogu se neutralisati i sa kiselinama i sa bazama i dati odgovarajuće soli. Slično se ponašaju i neorganski amfoterni hidroksidi kao npr.,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Pb}(\text{OH})_2$  itd (strana 29).

Ilustracija amfoternosti aluminijum-hidroksida:

- Reakcija sa kiselinom:  $\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{HCl} \rightarrow \text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$  nastaje so Al-hlorid
- Reakcija sa bazom:  $\text{H}_3\text{AlO}_3 + 3\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_3\text{AlO}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$  nastaje so Na-aluminat

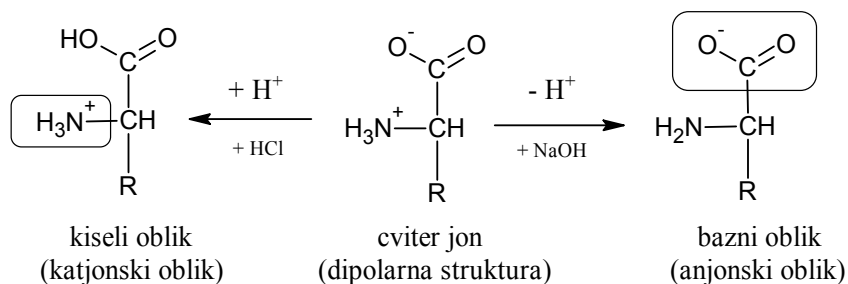
Ilustracija amfoternosti cink-hidroksida:

- Reakcija sa kiselinom:  $\text{Zn}(\text{OH})_2 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  nastaje so Zn-hlorid
- Reakcija sa bazom:  $\text{H}_2\text{ZnO}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{ZnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  nastaje so Na-cinkat

\*Reakcije amfoternih hidroksida (poput  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  i  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) sa bazama mogu se objasniti i nastajanjem kompleksnih jona  $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$  i  $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$  (pogledati stranu 79).

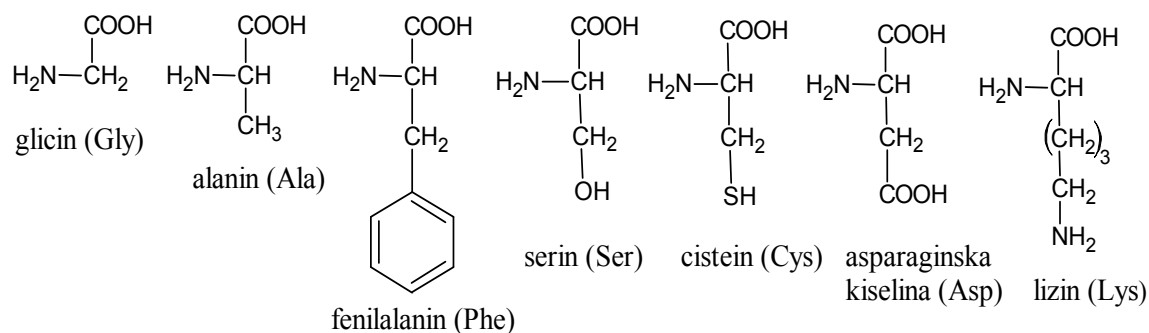


Ilustracija amfoternosti amino-kiselina:

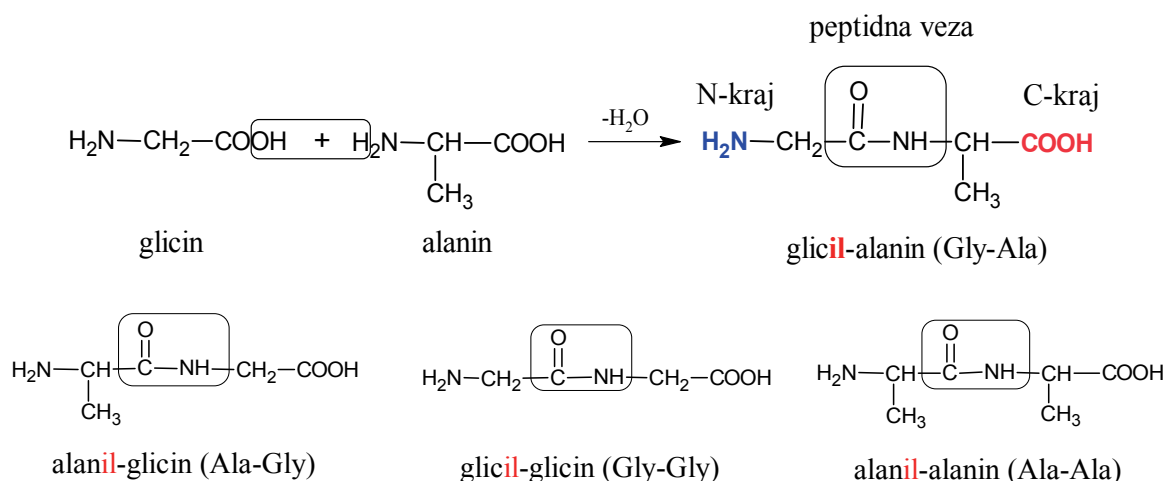


U prirodi postoji samo 20 proteinogenih amino-kiselina koje izgrađuju sve proteine živih bića. Amino-kiseline se označavaju troslovnim oznakama izvedenim iz

imena amino-kiselina. Najjednostavnija amino-kiselina je glicin (Gly) koja jedina nije optički aktivna. Ostale amino-kiseline se razlikuju prema strukturi bočnog niza vezanog za  $\alpha$ -C tako da se prema tome dele na aminokiseline sa nepolarnim bočnim nizom; aromatičnim bočnim nizom; sa baznim bočnim nizom; sa  $-\text{COOH}$  ( $-\text{CONH}_2$ ) grupama u bočnom nizu, sa  $-\text{OH}$  grupom i sa atomom sumpora u bočnom nizu. Na sledećoj slici je data po jedna amino kiselina iz svake grupe:



Amino-kiseline mogu da se vezuju među sobom stvaranjem peptidnih veza. Peptidna veza nastaje povezivanjem karboksilne grupe prve amino-kiseline sa amino-grupom druge amino-kiseline. Dve amino-kiseline mogu da daju četiri moguća dipeptida. Nastajanje dipeptida biće ilustrovano na primeru glicina i alanina:



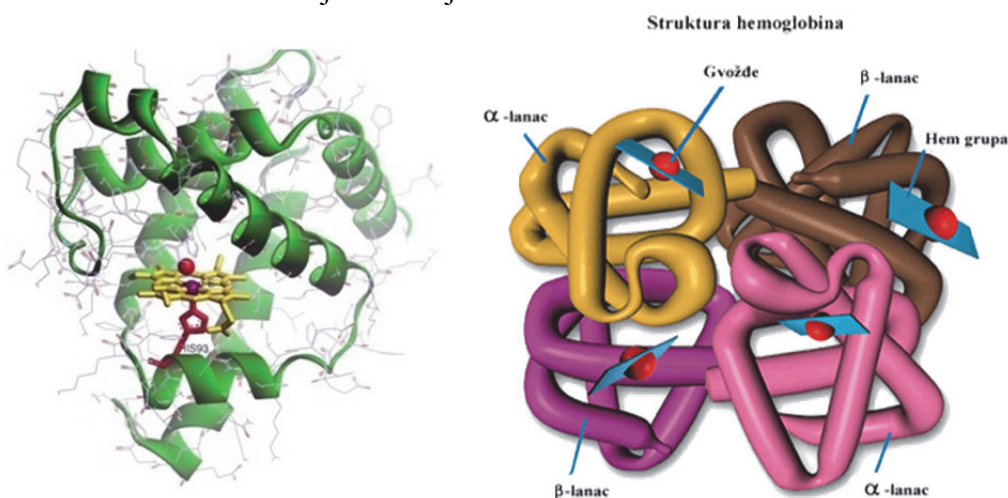
Jedinjenja koja u svom sastavu imaju do 10 amino-kiselina zovu se oligopeptidi, od 10-50 amino-kiselina polipeptidi, a jedinjenja koja sadrže više od 50 amino-kiselina zovu se proteini. Proteini su osnovni molekuli života koji su nosioci elementarnih životnih funkcija kao npr. enzimi (biološki katalizatori), hormoni (bioregulatori), transportni proteini (npr. hemoglobin), skladišni proteini (npr. ovoalbumin, kazein), gradivni proteini (npr. kolagen i keratin), zaštitni proteini (npr. antitela), toksini (npr. botulinum-toksin) i kontraktilni proteini (npr. osnovni elementi kontraktilnih sistema mišića).

Struktura proteina obuhvata tri nivoa organizacije:

- 1°struktura (redosled vezivanja amino-kiselina u polipeptidnom lancu),
- 2°struktura (organizacija lanca duž jedne ose u vidu spirale ili nabrane cik-cak strukture),

- 3°struktura (savijanje polipeptidnog lanca u prostoru što je omogućeno stvaranjem jonskih veza, kovalentnih veza (disulfidnih mostova), vodoničnih veza, hidrofobnih i dipol-dipol interakcija)
- 4°struktura (javlja se kod oligomernih proteina koji sadrže više proteinskih subjedinica).

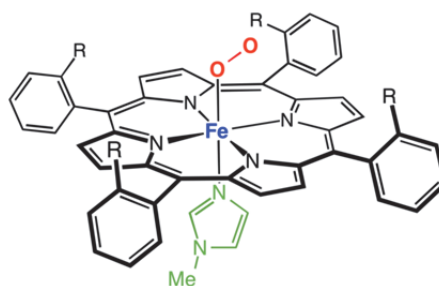
Na slici ispod (*Slika 5.3*) je prikazana tercijarna struktura mioglobina koji učestvuje u transportu kiseonika u mišićima. Mioglobin ima formu “nasumičnog klupčeta”-globularni protein. Za protein je preko amino-kiseline histidina vezan neproteinski deo (tzv. prostetična grupa) odgovoran za vezivanje kiseonika i zove se hem. Hemoglobin je tetramer koji se sastoji od četiri subjedinice (mioglobinu slične) povezane vodoničnim vezama. Za svaku od njih vezan je molekul hema.



**Slika 5.3.** 3°struktura mioglobina i 4° struktura hemoglobina (2α i 2β lanca).

Slike preuzete sa: <https://btk.az/en/pasient/xidmetler/laboratoriya/kardioloji-testl%C9%99r/339.html> i <https://thealevelbiologist.co.uk/adaptations-for-transport/haemoglobin/>

U centru hema, pomoću kovalentnih veza vezan je atom gvožđa Fe(II), preko koga se vezuje molekul kiseonika kada nastaje tzv. oksihemoglobin (HbO<sub>2</sub>), koji vrlo lako otpušta kiseonik i ponovo se pretvara u hemoglobin. Prikaz vezivanja kiseonika za hem dat je na *Slici 5.4*.



**Slika 5.4.** Hem (prostetična grupa mioglobina i hemoglobina).

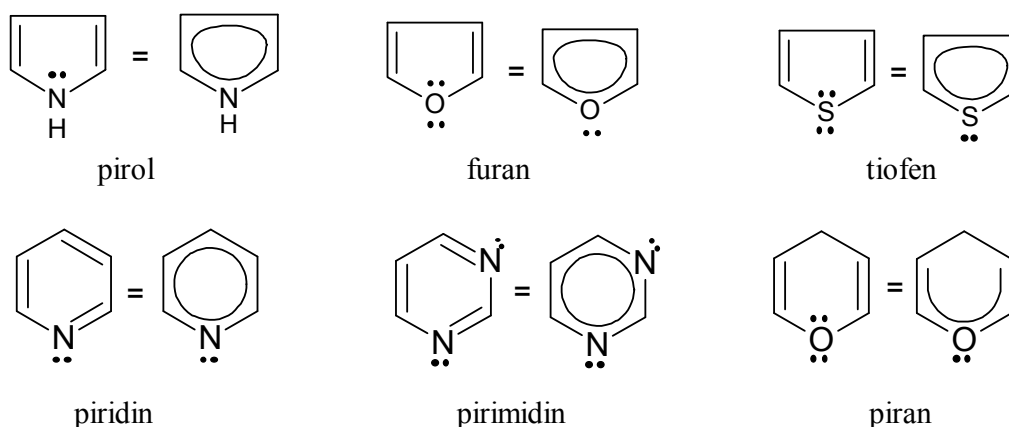
Slika preuzeta sa: <https://en.wikipedia.org/wiki/Myoglobin>

Hemoglobin je najvažniji složeni protein koji se nalazi u crvenim krvnim zrnima. Jedini se sa kiseonikom u oksihemoglobin i služi za prenošenje kiseonika iz pluća u tkiva. Toksični efekat ugljen-monoksida (CO) zasniva se osobini da se CO 240 puta lakše jedini sa hemoglobinom od kiseonika, pri čemu nastaje karboksihemoglobin, koji ima manju sposobnost prenosa kiseonika.

## Heterociklična jedinjenja (heterociklusi)

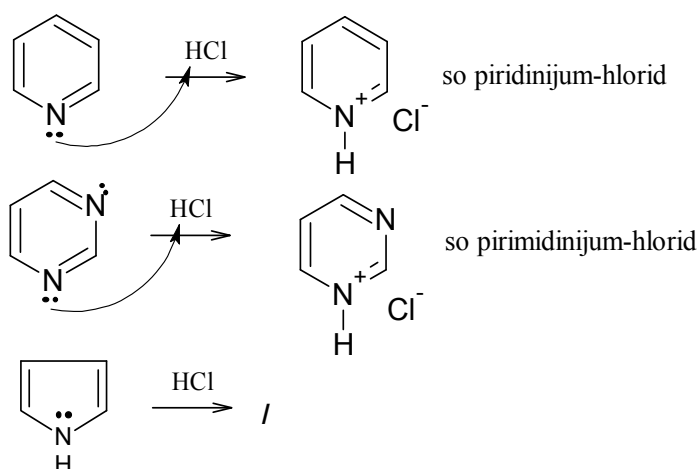
Jedinjenja kod kojih se tri ili više atoma nalaze u zatvorenom prstenu, nazivaju se cikličnim jedinjenjima. Ako su svi atomi u prstenu ugljenikovi, onda su to karbociklična jedinjenja, a ako sem ugljenikovih atoma prsten čine i drugi atomi onda su to heterociklična jedinjenja (gr., heteros-različit). Najčešći heteroatom su kiseonik, azot i sumpor.

Primeri nekoliko važnijih heterocikličnih jedinjenja:

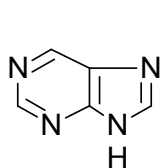


Kao što je prikazano na slici sva pomenuta jedinjenja (benzenoidna – analogna benzenu) imaju aromatični karakter. Izuzetak je piran. Po analogiji sa benzenom, neophodan uslov za aromatičnost je postojanje ukupno 6 elektrona (u  $\pi$ -vezama ili p-orbitalama) koji se delokalizuju duž čitavog prstena. Delokalizovani sistem nastaje preklapanjem p-orbitala svih atoma u prstenu kada nastaje stabilan elektronski sekstet. U slučaju pirana delokalizacija nije potpuna, zahvata samo deo prstena i to uslovljava odsustvo aromatičnog karaktera i stabilnosti.

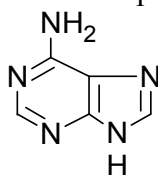
Azotna heterociklična jedinjenja (piridin i pirimidin) imaju bazni karakter po analogiji sa amonijakom usled prisustva azotovog atoma sa nevezanim elektronskim parom. Kod pirola izostaju bazna svojstva usled uključenosti nevezanog elektronskog para u delokalizaciju (simbolički prikazana prstenom).



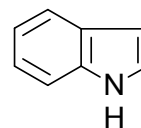
Heterociklična jedinjenja mogu imati dva ili više prstenova povezana pomoću dva susedna atoma-kondenzovani biciklični sistemi kao npr. purin i indol.



purin



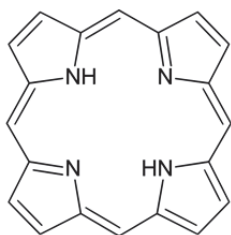
adenin (amino-purin)



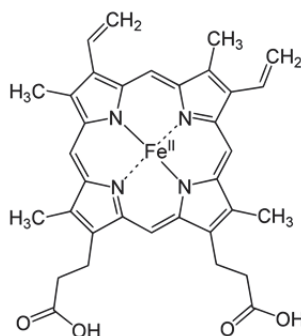
indol

Purin je osnova purinskih baza koje ulaze u sastav nukleinskih kiselina (adenin i guanin). Pirimidin je osnova pirimidinskih baza (timin, citozin i uracil). Indol je supstanca koja ulazi u sastav amino-kiselina triptofana, neurotransmitera serotonin, biljnih hormona auksina itd.

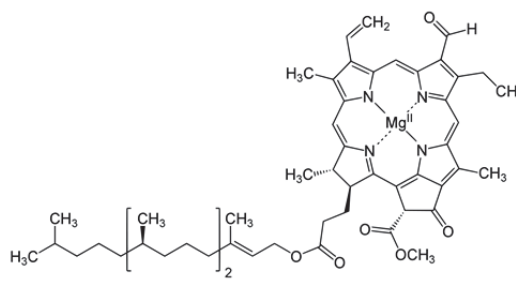
Pirol ulazi u sastav porfina čiji derivati su hem (prostetična grupa hemoglobin) i hlorofila kod biljaka. Porfin se sastoji od 4 pirolova prstena (tetrapiol), tako da sadrži 4 atoma azota koji mogu da vežu jone metala kovalentnim vezama. Hem sadrži divalentno gvožđe, a hlorofil divalentni magnezijum.



struktura porfina



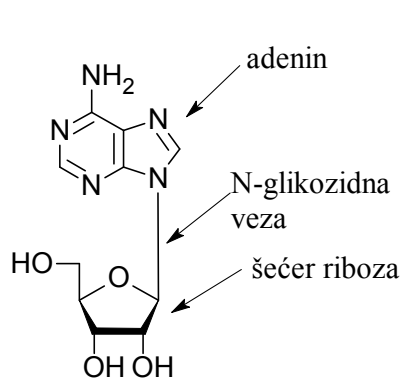
struktura hema



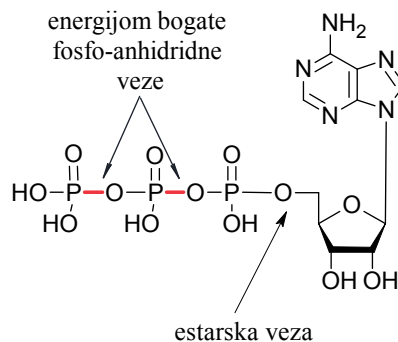
struktura hlorofila b

Piridin ulazi u sastav vitamina B<sub>3</sub> i B<sub>6</sub>, kao i u sastav alkaloida nikotina, a pirimidin u sastav barbiturata-lekova protiv epilepsije.

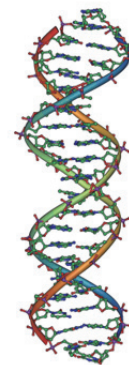
Vezivanjem purinskih ili pirimidinskih baza za šećer (ribozu ili 2-deoksi-D-ribozu) nastaju nukleozidi, a vezivanjem fosforne kisline za 5'-OH grupu šećera nukleozida nastaju nukleotidi:



nukleozid adenzin



nukleotid adenzin-trifosfat (ATP)



dvostruka spirala DNK

Jedan od najvažnijih molekula svih živih organizama je po hemijskom sastavu nukleotid- adenzinotrifosfat (ATP). Molekul ATP sadrži purinsku bazu adenin koja je N-glikozidnom vezom vezana za šećer ribozu, a slobodna -OH grupa u položaju 5' je estarskom vezom vezana za fosforu kiselinu. Tako nastaje adenzinmonofosfat (AMP). Naredna dva molekula fosforne kiseline se vezuju za AMP anhidridnim vezama koje su energijom bogate. Možemo reći da se u njima krije životna energija žive ćelije koja je u stvari hemijska energija fosfoanhidridnih veza. Po potrebi, ova energija se oslobađa hidrolizom jedne od fosfoanhidridnih veza:



Međusobnim vezivanjem nukleotida nastaju polinukleotidni nizovi molekula DNK (deoksiribonukleinska kiselina) i RNK (ribonukleinska kiselina). DNK je dvostruki spiralni molekul koji sadrži i prenosi genetsku informaciju kao redosled azotnih baza u lancu. DNK je jedini molekul koji ima osnovnu karakteristiku života, a to je reprodukcija (replikacija DNK). Genetska informacija ili genetski kod je instrukcija za sintezu proteina u čemu učestvuju i molekuli RNK. RNK je jednolančani molekul koji umesto deoksiriboze sadrži šećer ribozu, a umesto pirimidinske baze timin, sadrži uracil. Postoje tri vrste RNK-informaciona (iRNK) koja prenosi genetske informacije iz jedra u citoplazmu, transportna RNK (tRNK) koja vrši transport amino-kiselina u sintezi proteina i ribozomalna RNK (rRNK) koja ulazi u sastav samih ribozoma.

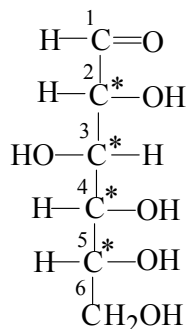
## 5.5. UGLJENI-HIDRATI

Ugljeni hidrati predstavljaju klasu organskih jedinjenja, koja su ime dobila na osnovu ranog zapažanja da mnogi od njih imaju molekulsku formulu  $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_n$ . Danas se ugljeni hidrati definišu kao supstance sastavljene iz polihidroksilnih aldehida i polihidroksilnih ketona i njihovih derivata. Prosti ugljeni hidrati imaju formulu  $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_n$  ( $n > 3$ ) i nazivaju se monosaharidi; prema broju ugljenikovih atoma u molekulu nazivaju se trioze ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ ), tetraze ( $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_4$ ), pentoze ( $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$ ), heksoze ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ), heptoze. U prirodi su najviše zastupljene pentoze i heksoze.

Povezivanjem dva ili više monosaharida preko kiseonikovog mosta nastaju oligosaharidi (2-10); dve monosaharidne jedinice disaharidi itd. Povezivanjem velikog broja monosaharida nastaju polisaharidi (skrob, celuloza i dr.).

### *Heksoze*

Struktura i nomenklatura monosaharida razmatraće se na primeru dve heksoze, jedne aldoheksoze (D(+)-glukoza) i jedne ketoheksoze (D(-)-fruktoza).

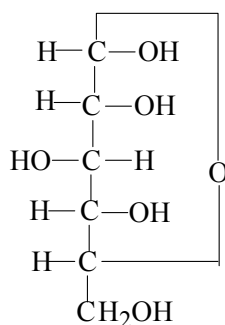


D(+)-glukoza (2,3,4,5,6- pentahidroksiheksanal)

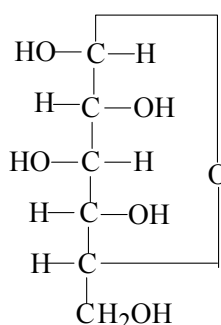
Zbog prisutnosti četiri asimetrična C atoma u molekulu aldoheksoza postoje ukupno 16 ( $2^4$ ) stereoisomera (8 u D seriji i 8 u L seriji). Prema tome D-glukoza je jedna od 16 mogućih izomernih struktura.

Mnoge karakteristične reakcije glukoze se ne mogu objasniti formulama u obliku polihidroksilnih aldehida, već formulom glukoze koja ima ciklični oblik-poluacetalni (semiacetalni). Glukoza može da se javlja i u obliku dva šestočlana prstena poluacetala, dakle dva stereoisomera, koji se razlikuju po konfiguraciji na poluacetalnom C-atomu, odnosno anomernom C-atomu i nazivaju se  $\alpha$  i  $\beta$  - anomeri.

Glukoza (groždani šećer) i fruktoza (voćni šećer) su najrasprostranjeniji i najvažniji prosti šećeri, obilato prisutni u voću i pojedinim industrijskim biljkama kao što su šećerna repa i šećerna trska.

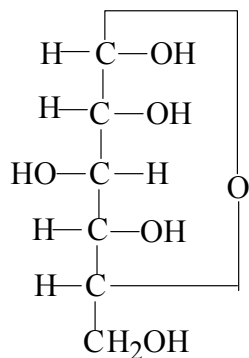


$\alpha$ -D-glukopiranoza

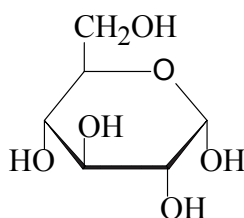


$\beta$ -D-glukopiranoza

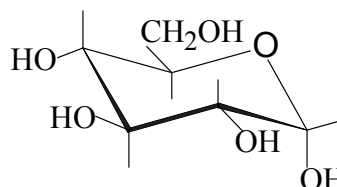
Sem navedenog načina prikazivanja strukture glukoze (Fišerova projekciona formula) koriste se i drugi načini prikazivanja ciklične strukture monosaharida.



Fišerova formula

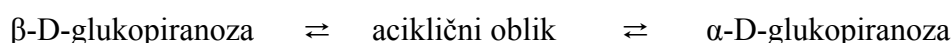


Hejvortova formula  
 $\alpha$ -D-glukopiranoze



Konformaciona formula

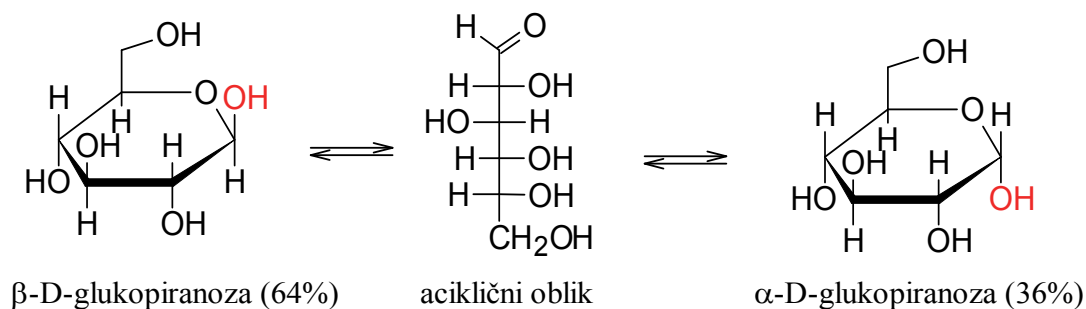
Ukoliko se rastvori u vodi čist  $\alpha$ - ili  $\beta$ -oblik, doći će do uspostavljanja ravnoteže između ta dva oblika preko acikličnog oblika glukoze. Ovaj proces izaziva promenu ugla optičke rotacije dok se ne ustali na  $[\alpha] = +52,5^\circ$  što odgovara ravnotežnoj smeši između  $\beta$ -oblika ( $\approx 2/3$  smeše) i  $\alpha$ -oblika ( $\approx 1/3$  smeše). Pomenuta pojava zove se mutarotacija.



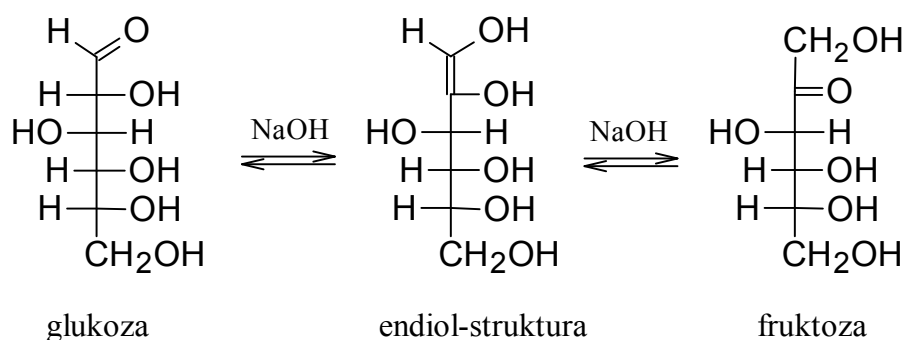
$$[\alpha] = +19^\circ (64\%)$$

$$[\alpha] = +112^\circ (36\%)$$

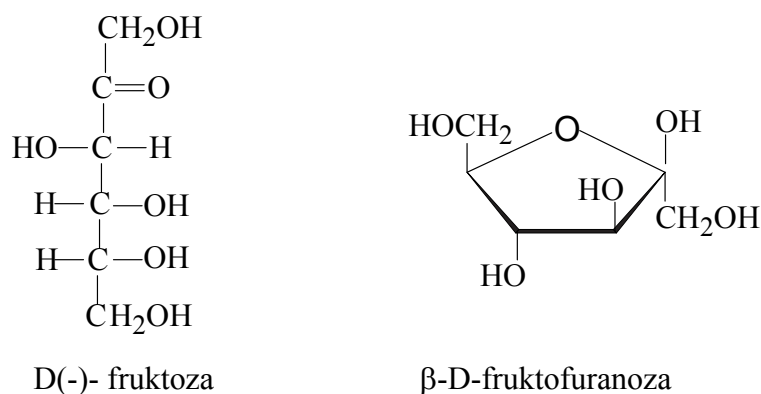
Ugao optičke rotacije ravnotežne smeše može se izračunati uzimanjem u obzir procentnog sadržaja oba izomera u smeši:  $0,64 \cdot 19^\circ + 0,36 \cdot 112^\circ = 52,5^\circ$



U baznoj sredini dolazi do uspostavljanja hemijske ravnoteže između različitih šećera, npr. glukoza se delom transformiše u fruktozu i obrnuto (preko endiol strukture):

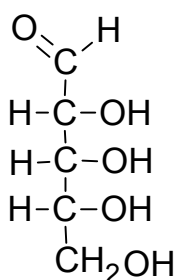


Fruktoza je kao što je već navedeno ketoheksosa (heksuloza) i predstavlja se sledećim formulama:

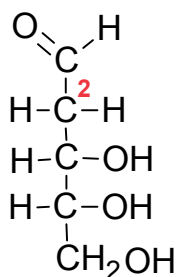
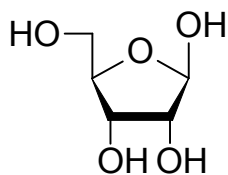


### **Pentoze**

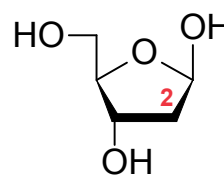
Najpoznatije pentoze su šećeri koji ulaze u sastav nukleinskih kiselina, riboza i 2-deoksi-D-riboza. Riboza ulazi u sastav nukleotida ribonukleinske kiseline, dok se 2-deoksi-D-riboza nalazi u deoksiribonukleotidima DNK (pogledati 156. stranu).



Fišerova i Hejvortova formula riboze

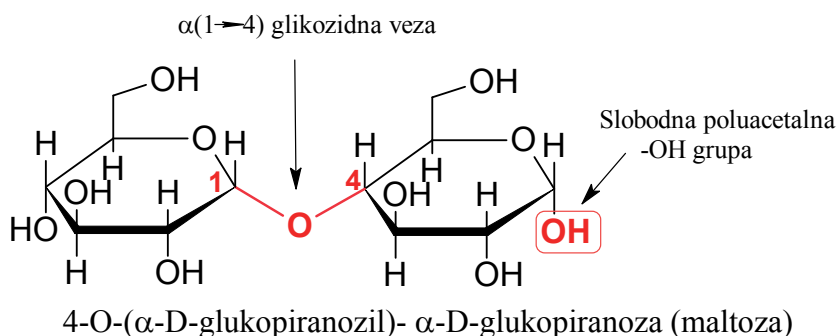


Fišerova i Hejvortova formula 2-deoksi-D-riboze

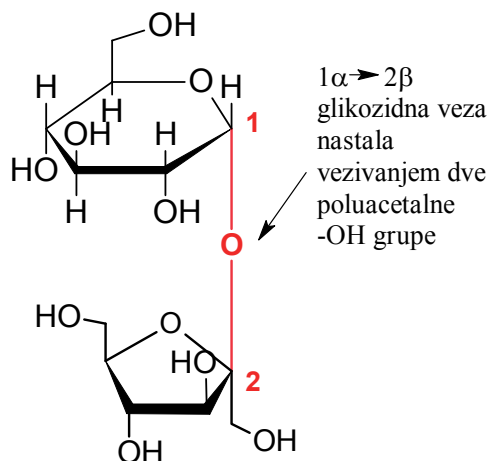


## Disaharidi

Najpoznatiji redukujući disaharid je maltoza. Dve glukozne jedinice u molekulu maltoze, vezane su u položaju 1 (neredukujuća polovina molekula) i položaju 4 (redukujuća polovina). Položaj poluacetalne -OH grupe na C-1 atomu neredukujućeg dela je  $\alpha$ . Znači, dva molekula glukoze su povezane  $\alpha(1\rightarrow4)$ -glikozidnom vezom u molekulu maltoze.



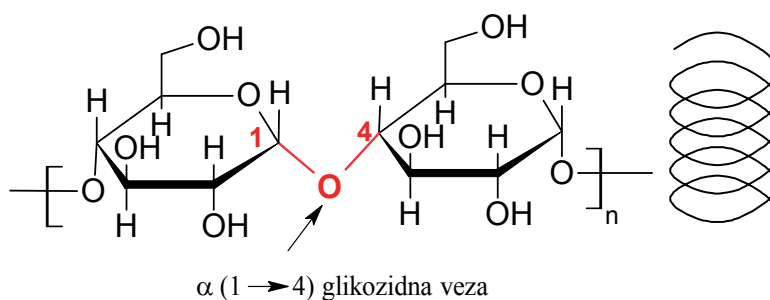
U molekulima neredukujućih disaharida monosaharidne jedinice su povezane  $(1\rightarrow1)$  ili  $(1\rightarrow2)$  glikozidnom vezom između dva anomerna ugljenikova atoma. Primer molekula neredukujućeg disaharida je saharoza.



$\alpha$ -D-glukopiranozil- $\beta$ -D-fruktofuranozid (saharoza)

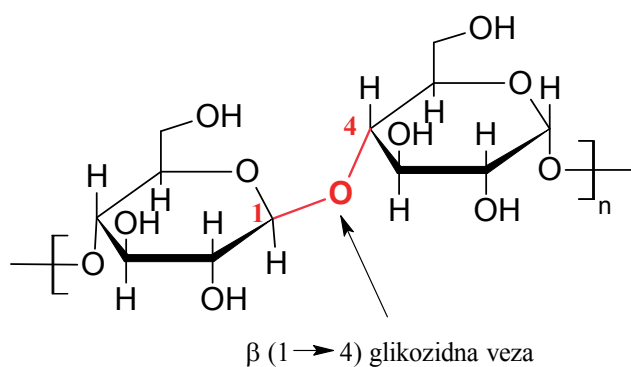
## Polisaharidi

U molekulima polisaharida, veliki broj monosaharidnih jedinaka je povezan  $\alpha$  ili  $\beta$  glikozidnom vezom. Glikozidna veza je ostvarena preko bar jedne poluacetalne -OH grupe monosaharida. Hidrolizom skroba nastaje disaharid maltoza te su prema tome kod skroba jedinice glukoze povezane  $\alpha(1 \rightarrow 4)$  glikozidnom vezom. Skrob (latinski-*amylum*) je rezervni polisaharid biljaka, nastaje i nalazi se u vidu skrobnih zrna u amiloplastima biljnih ćelija. Skrob predstavlja smešu dve vrste molekula: amiloze-nerazgranatog i spiralnog molekula i amilopektina-razgranatog molekula. Oba molekula se sastoje od čiste glukoze vezane  $\alpha(1 \rightarrow 4)$  glikozidnim vezama. Kod amilopektina, osnovni molekul se grana stvaranjem  $\alpha(1 \rightarrow 6)$  glikozidnih veza.



Segment strukture amiloze-nerazgranatog molekula skroba koji je spiralne strukture

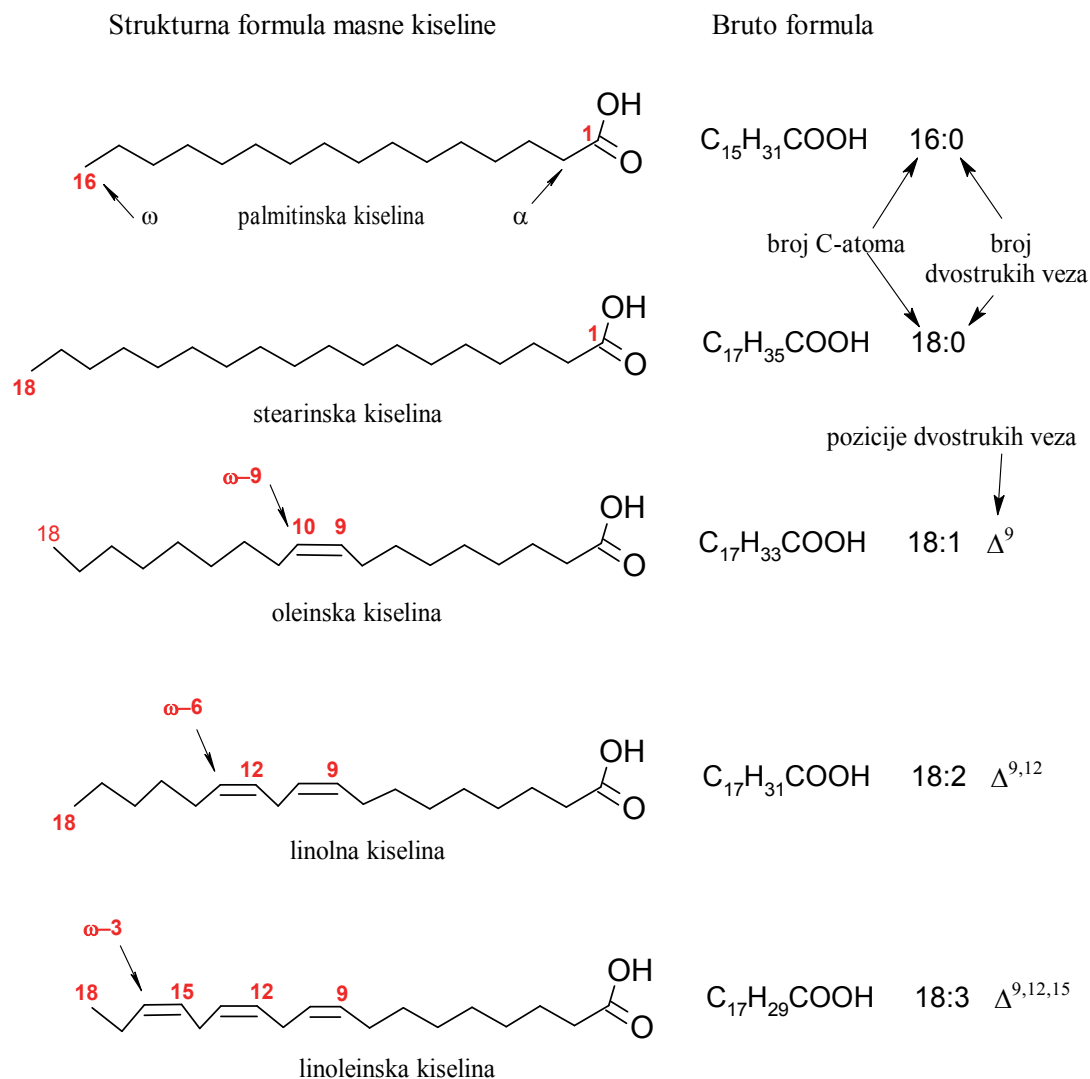
Navešćemo primer segmenta strukture polisaharida celuloze u kome su glukozne jedinice povezane  $\beta(1 \rightarrow 4)$  glikozidnom vezom. Celuloza je strukturni polisaharid i zajedno sa ligninom i hemicelulozom osnovni je sastojak drvne mase. Celuloza je najrasprostranjenije jedinjenje u biosferi uopšte (više od 50% ugljenika biosfere nalazi se u celulozi).



Segment strukture celuloze

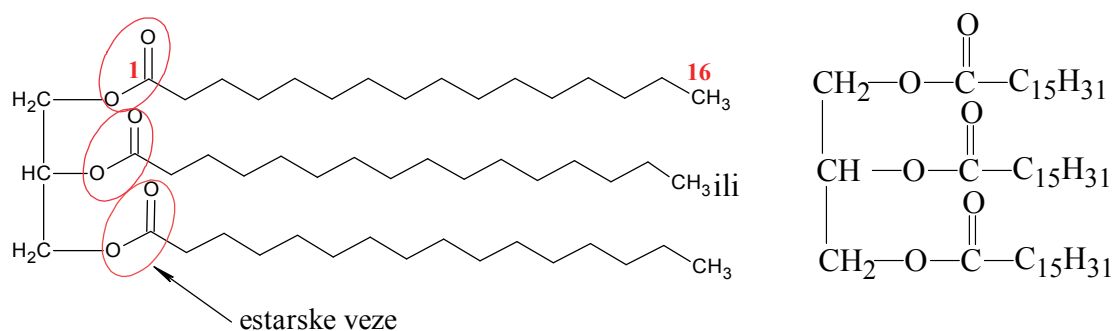
## 5.6. MASTI I ULJA

Masti i ulja su estri trohidroksilnog alkohola glicerola i viših masnih kiselina (trigliceridi). Više masne kiseline su monokarbonske kiseline sa parnim brojem ugljenikovih atoma (od 4 do 30). Masne kiseline spadaju u najrasprostranjenije lipide i nalaze se u živim organizmima kako slobodne, tako i u vezanom stanju i to najčešće u obliku estara. Na osnovu prisustva dvostruke veze, masne kiseline se dele na zasićene i nezasićene. Po pravilu se prva dvostruka veza javlja između 9 i 10 C atoma. U sastav masti i ulja najčešće ulaze sledeće više masne kiseline:



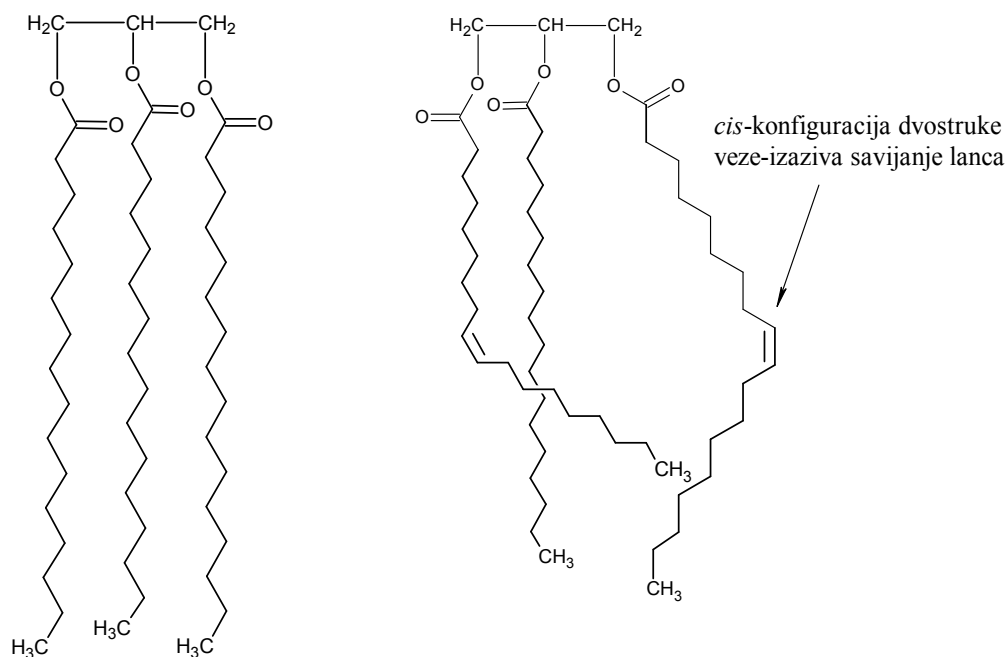
Oleinska kiselina je jedna od najviše zastupljenih nezasićenih masnih kiselina u jestivim uljima (u maslinovom ulju čini oko 80%) i pripada  $\omega$ -9 masnim kiselinama (položaj dvostruke veze je na 9-om C atomu sa metil kraja masne kiseline). Linolna kiselina je najpoznatija  $\omega$ -6 masna kiselina, a linoleinska kiselina  $\omega$ -3 masna kiselina. Linolna i linoleinska kiselina su esencijalne za razliku od ostalih masnih kiselina što znači da organizam ne može da ih proizvede i da se unose putem hrane. Dobar izvor linolne kiseline ( $\omega$ -6) su suncokretovo, kukuruzno i sojino ulje, a najbolji izvor linoleinske kiseline ( $\omega$ -3) je laneno ulje.

Reakcijom esterifikacije trohidroksilnog alkohola glicerola i viših masnih kiselina nastaju triacilgliceroli. Reakcija esterifikacije teče postupno od monoacilglicerola, preko diacilglicerola do triacilglicerola. Data je struktura jednog triacilglicerola, molekula tripalmitil-glicerola (glicerol-tripalmitata):



Cela strukturna formula masti i skraćena strukturna formula

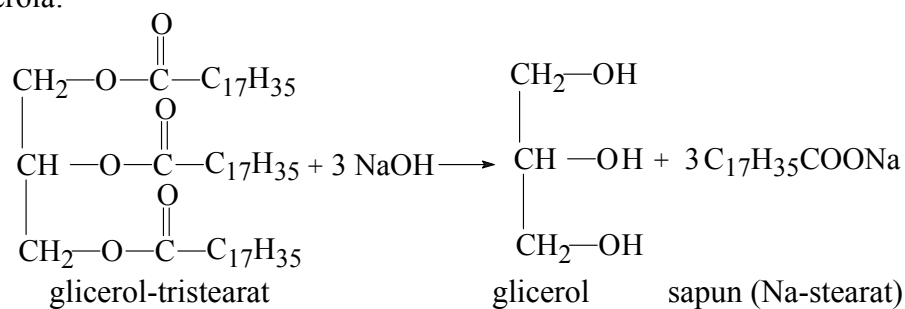
U mastima uglavnom dominiraju zasićene masne kiseline (palmitinska i stearinska kiselina), dok su u uljima prisutne i znatne količine nezasićenih masnih kiselina koje uslovljavaju tečno agregatno stanje ulja.



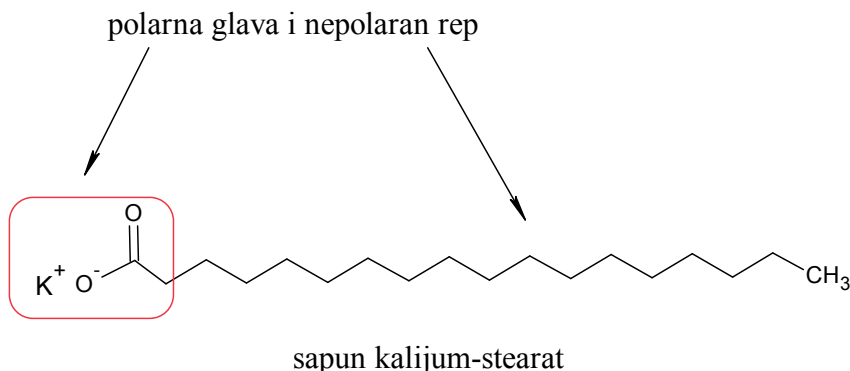
struktura masti tripalmitoil-glicerola

struktura ulja dioleoilpalmitoil- glicerola

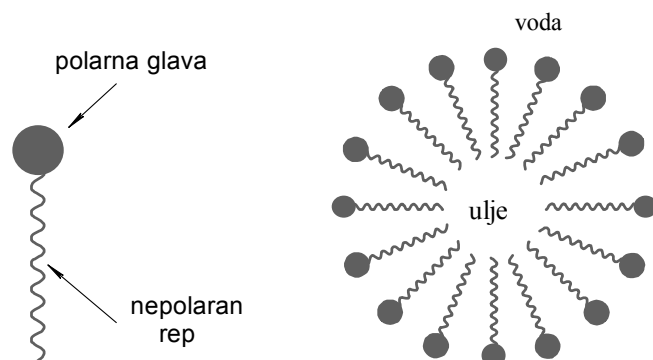
Saponifikacija je reakcija masti sa alkalnim hidroksidima kada nastaju sapuni uz izdvajanje glicerola:



Sapuni su alkalne soli viših masnih kiselina. To su amfifilne materije što znači da u sebi sadrže polarne i nepolarne delove (“polarna glava” i “nepolaran rep”).

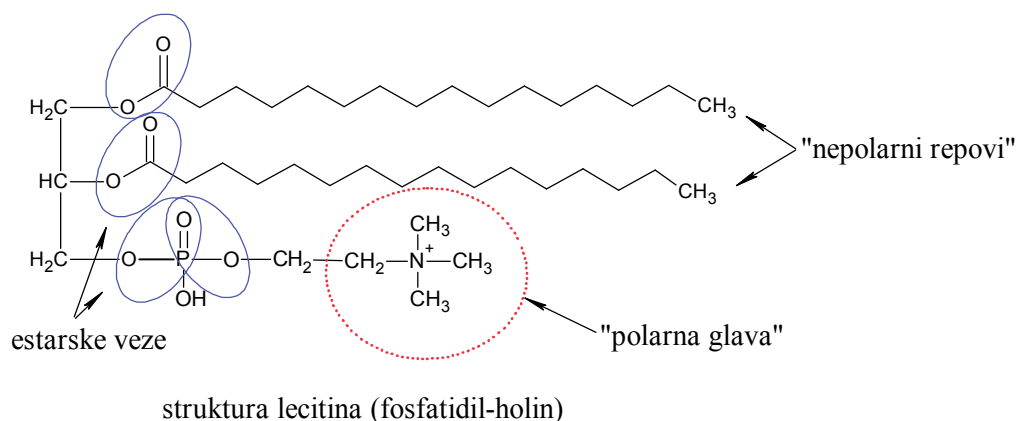


Polarna glava je naelektrisani karboksilatni anjon, a nepolarni rep je dug ugljovodonični niz. Usled ovakve strukture, sapuni imaju svojstva deterdženata (surfaktanti ili tenzidi). Uklanjanje masnoća prilikom pranja, objašnjava se orijentisanjem nepolarnih repova ka česticama masti i ulja, dok se polarne glave orijentišu ka polarnoj vodi. Na taj način se lipidne partikule odvlače u vodu prilikom pranja (*Slika 5.5*):

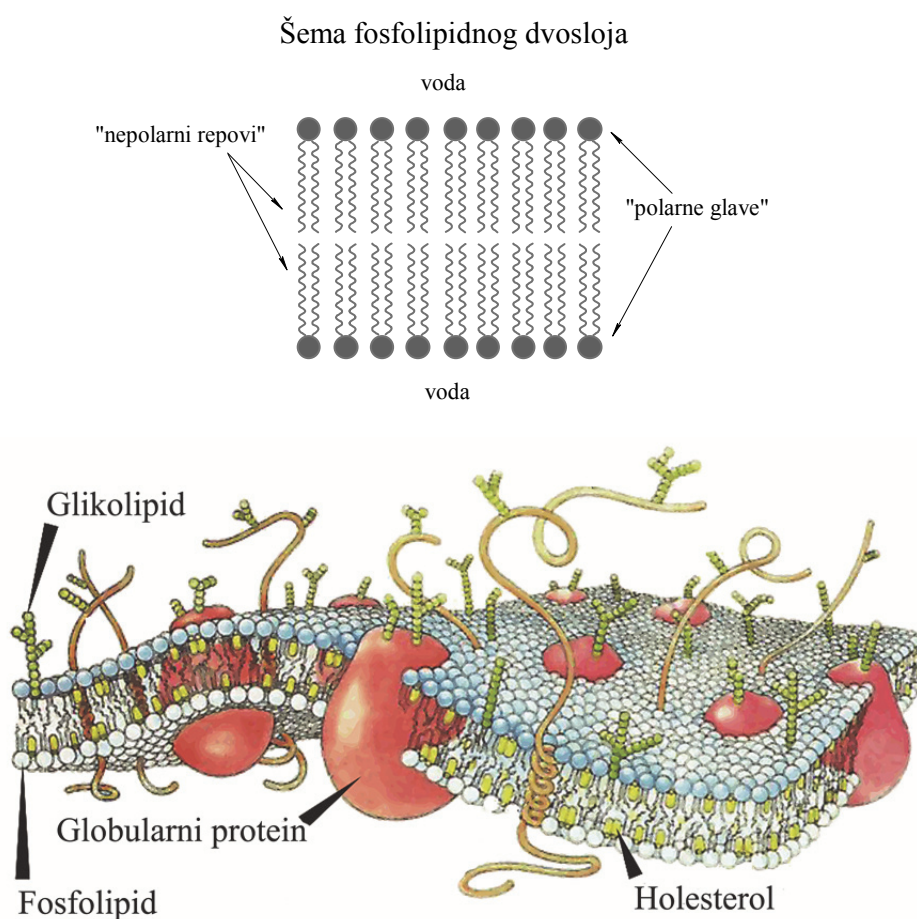


**Slika 5.5.** Amfifilna (polarno-nepolarna) struktura sapuna i šema koloidne čestice ulja okružene molekulima sapuna.

Amfifilnu (polarno-nepolarnu) prirodu imaju i fosfolipidi, složeni lipidi koji u svojoj strukturi imaju i fosforu kiselinu koja je estarski vezana za jednu –OH grupu glicerola. Kod lecitina, veoma rasprostranjenog fosfolipida u prirodi, preko jedne od –OH fosforne kiseline estarskom vezom vezan je amino-alkohol holin. Kvaternerni N-atom holina je pozitivno naelektrisan i predstavlja “polarnu glavu” molekula, a dva ugljovodonična bočna niza koji pripadaju vezanim masnim kiselinama su “nepolarni repovi”.

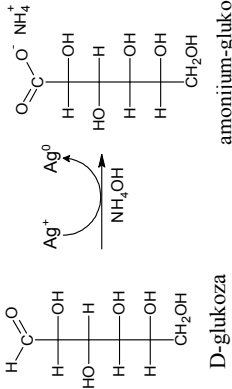
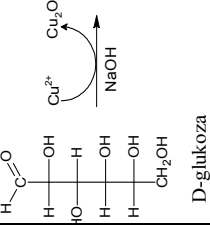
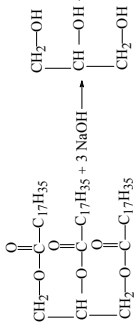


Lecitin je najzastupljeniji fosfolipid ćelijskih membrana. Membrane mogu spontano da nastanu kada se fosfolipidi rastvaraju u vodi. Tada se nepolarni delovi molekula orijentišu jedni prema drugima, dok su polarne glave uronjene u polarnu vodu i tako nastaje fosfolipidni dvosloj. Ćelijske membrane pored fosfolipida sadrže holesterol kao i proteine koji su uronjeni u "reku fosfolipida". Na *Slici 5.6* prikazan je savremeni tečno-mozaični (fluidno-mozaični) model ćelijske membrane.



**Slika 5.6.** Tečno-mozaični (fluidno-mozaični) model ćelijske membrane (Slika je preuzeta sa: [https://sh.wikipedia.org/wiki/%C4%86elijska\\_membrana#/media/Datoteka:Cell\\_membrane\\_drawing-en.svg](https://sh.wikipedia.org/wiki/%C4%86elijska_membrana#/media/Datoteka:Cell_membrane_drawing-en.svg))

**Tabela 5.5.** Reakcije organskih jedinjenja sa azotom, ugljenih hidrata, masti, ulja i sapuna

| <b>KLASA<br/>ORGANSKIH<br/>JEDINJENJA</b>                                                             | <b>HCl (razblažena)</b>                                                                                                   | <b>NaOH</b>                                                                           | <b>Tolensova reakcija</b>                                                                                           | <b>Felingova reakcija</b>                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>AZOTNA<br/>ORGANSKA<br/>JEDINJENJA</b><br>(1°, 2°, 3°,<br>AROMATIČNI AMINI,<br>HETEROCIKLUSI SA N) | $\text{H}_3\text{C}-\text{NH}_2 + \text{HCl} \longrightarrow \text{H}_3\text{C}-\text{NH}_3^+ \text{Cl}^-$                | /                                                                                     | /                                                                                                                   | /                                                                                                             |
| <b>REDUKUJUĆI<br/>ŠEĆERI</b><br>(GLUKOZA,<br>FRUKTOZA,<br>MALTOZA)                                    | HIDROLIZA GLIKOZIDNE VEZE*<br>maltoza $\longrightarrow$ glukoza + glukoza                                                 | IZOMERIZACIJA<br>glukoza $\rightleftharpoons$ fruktoza                                | <br>D-glukoza<br>amoniјum-glukonat | <br>D-glukoza<br>Na-glukonat |
| <b>NEREDUKUJUĆI<br/>ŠEĆERI<br/>(SAHAROZA)</b>                                                         | HIDROLIZA GLIKOZIDNE VEZE*<br>saharoza $\longrightarrow$ glukoza + fruktoza<br>(invertni šećer)                           | /                                                                                     | /                                                                                                                   | /                                                                                                             |
| <b>MASTI I ULJA</b>                                                                                   | HIDROLIZA ESTARSKE VEZE*<br>mast (ulje) $\rightleftharpoons$ glicerol +<br>više masne kiseline                            |  | /                                                                                                                   | /                                                                                                             |
| <b>SAPUNI</b>                                                                                         | $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COONa} + \text{HCl} \longrightarrow \text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH} + \text{NaCl}$ | /                                                                                     | /                                                                                                                   | /                                                                                                             |

\*Reakcije hidrolize se odvijaju na povišenoj temperaturi u prisustvu neorganskih kiselina kao katalizatora

## XII laboratorijska vežba: Organska jedinjenja sa azotom, ugljeni hidrati, masti i ulja

### Ogled 1. Reakcija anilina i karbamida sa koncentrovanim kiselinama

Reagensi: anilin, karbamid, cc HCl i cc HNO<sub>3</sub>

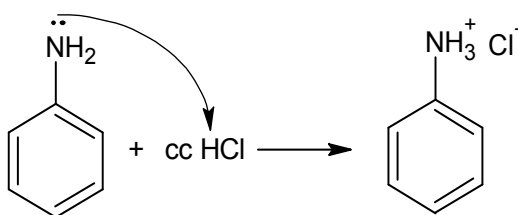
**PAŽNJA:** Rad sa koncentrovanim kiselinama može biti opasan!

\*Pridržavati se pomenutih uputstava (strana 128). Anilin je poput ostalih aromata toksična supstanca.

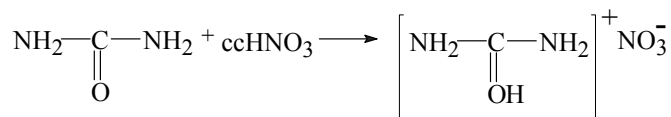
**Opis rada:** U prvu epruvetu se sipa 1 cm<sup>3</sup> anilina, a zatim polako cc HCl niz zid epruvete uz protresanje epruvete i hlađenje ispod mlaza vode. U drugu epruvetu se sipa malo rastvora karbamida i oprezno doda oko 1 cm<sup>3</sup> cc HNO<sub>3</sub>. Sadržaj epruvete se dobro promeša, a zatim se hladi.

**Zapažanja:** U oba slučaja pojavljuje se beo talog soli azotnih baza sa mineralnim kiselinama, anilinijum-hlorid, karbamid-nitrat.

Dobijanje soli anilina:



Dobijanje soli karbamida:



### Ogled 2: Bazni karakter i stabilnost piridina

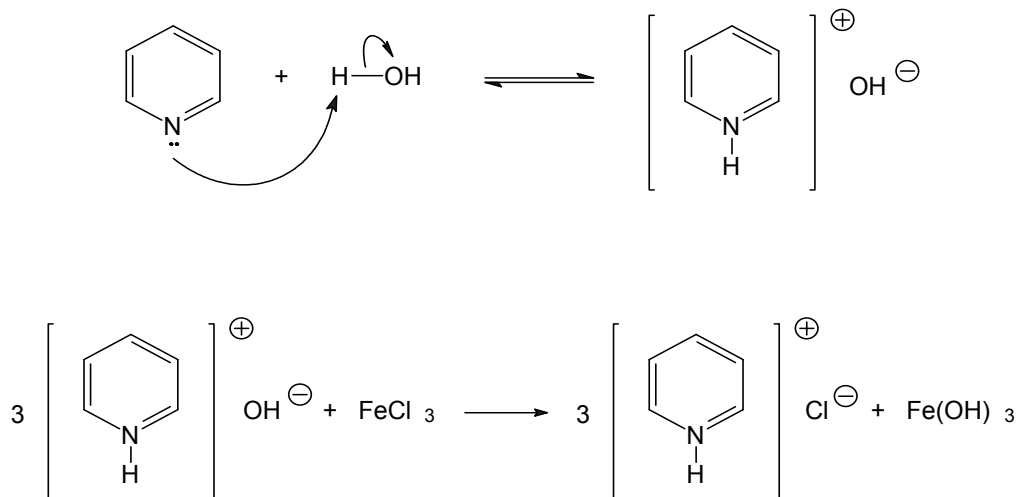
Reagensi: Piridin, plavi lakmus papir, rastvor FeCl<sub>3</sub> masenog udela 1%, rastvor KMnO<sub>4</sub> masenog udela 0,5%

**PAŽNJA:** Piridin je toksična supstanca vrlo neprijatnog mirisa. Iritans je za kožu i zapaljiv je. Ogled izvoditi sa zaštitnim rukavicama, u digestoru!

**Opis rada:** U epruvetu se sipa 1 cm<sup>3</sup> piridina i doda se 5 cm<sup>3</sup> vode. Dobijeni rastvor se podeli u 2 epruvete, i urade se sledeće reakcije:

- Kap rastvora piridina se stavi na crvenu lakmus hartiju koja će promeniti boju u plavu jer je piridin baznog karaktera. U prvu epruvetu sa rastvorom piridina dodati 1 cm<sup>3</sup> rastvora FeCl<sub>3</sub>.
- U drugu epruvetu sa rastvorom piridina se sipa ista zapremina rastvora KMnO<sub>4</sub>.

**Zapažanja:** Dodatkom  $\text{FeCl}_3$  u prvu epruvetu izdvaja se crveno-mrk talog gvožđe(III)-hidroksida zbog bazne reakcije rastvora (bazne hidrolize). U drugoj epruveti, boja rastvora  $\text{KMnO}_4$  se ne menja dužim stajanjem kao ni pri zagrevanju do ključanja. Ova postojanost prema oksidaciji je posledica aromatičnog karaktera piridina.



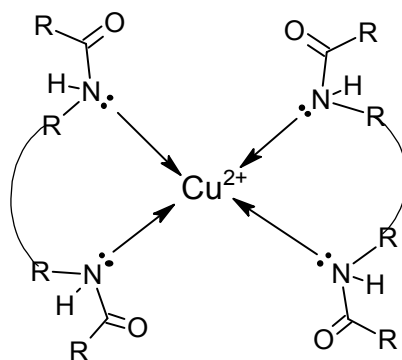
### Ogled 3: Biuretska reakcija

Polipektidi i proteini sadrže peptidne veze:  $\text{—OC—CH(R)—NH—CO—CH(R)—NH—}$  koje u slabo baznoj sredini daju crveno-ljubičast kompleks u prisustvu  $\text{Cu}^{2+}$ . Ova reakcija se stoga koristi kao dokazna reakcija za polipeptide i proteine kao i za njihovo kvantitativno određivanje.

**Reagensi:** rastvor želatina, rastvor  $\text{NaOH}$  masenog udela 10%, rastvor  $\text{CuSO}_4$  masenog udela 1%.

**Opis rada:** U epruvetu sipati oko  $1 \text{ cm}^3$  rastvora želatina i dodati istu zapreminu rastvora  $\text{NaOH}$  a zatim 1-2 kapi rastvora  $\text{CuSO}_4$ .

**Zapažanja:** Dodatkom  $\text{Cu}^{2+}$  jona u vodeni rastvor proteina u baznoj sredini dolazi do nastanka kompleksa crveno-ljubičaste boje:



#### **Ogled 4: Molisch-ov test za rastvorne ugljene hidrate**

Molisch-ov test je reakcija kojom se dokazuje ugljenohidratna priroda neke nepoznate supstance. Ovu reakciju pokazuju svi rastvorni ugljeni hidrati.

**Reagensi:** zasićeni alkoholni rastvor  $\alpha$ -naftola, saharoza, cc  $H_2SO_4$

**PAŽNJA:** Rad sa koncentrovanim kiselinama može biti opasan!

\*Pridržavati se pomenutih uputstava (strana 128)

**Opis rada:** 2-3 kapi rastvora  $\alpha$ -naftola se doda u 2 cm<sup>3</sup> veoma razblaženog rastvora saharoze (odnosno ugljenog hidrata u opštem slučaju); nekoliko cm<sup>3</sup> cc  $H_2SO_4$  se sipa oprezno u epruvetu niz zidove, tako da se formiraju dva sloja.

**Zapažanja:** Pri dodatku cc  $H_2SO_4$  nastaje tamnoljubičasta boja u obliku prstena.

#### **Ogled 5: Reakcija šećera sa Tolensovim rastvorom (reakcija srebrnog ogledala)**

Pojava srebrnog ogledala je dokaz da je glukoza redukujući šećer. Saharoza kao neredukujući šećer ne daje reakciju sa Tolensovim reagensom.

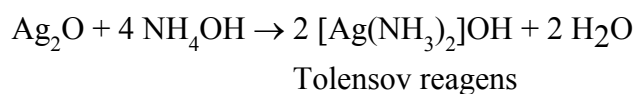
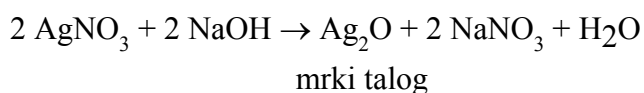
**Reagensi:** saharoza, glukoza, Tolensov reagens (za njegovu pripremu rastvor  $AgNO_3$  masenog udela 1%, razblaženi rastvor NaOH, razblaženi rastvor amonijaka).

**Napomena:** Tolensov reagens se pravi neposredno pred upotrebu tako što se rastvoru  $AgNO_3$  doda rastvor NaOH, pri čemu se taloži mrk talog  $Ag_2O$  koji se zatim rastvori u malom višku amonijaka.

**Opis rada:** U čistu i suhu epruvetu pripremi se oko 2 cm<sup>3</sup> Tolensovog reagensa i doda se 2 cm<sup>3</sup> rastvora glukoze. Epruveta se stavi u ključalo vodeno kupatilo i zagreva sve dok se na zidove epruvete ne istaloži srebro u vidu srebrnog ogledala.

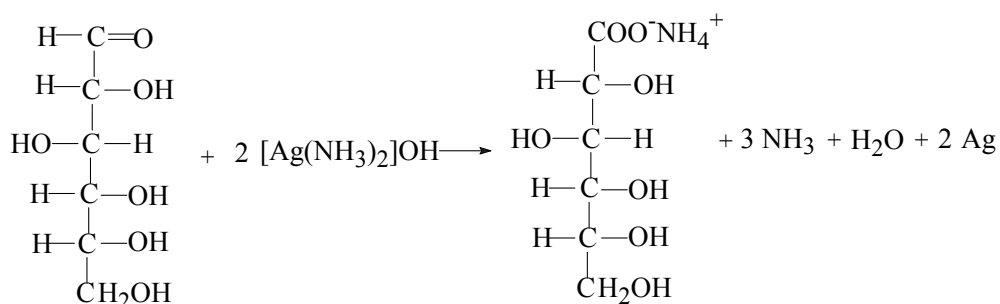
Pri izvođenju Tolensove reakcije odigravaju se hemijske reakcije koje se mogu predstaviti sledećim hemijskim jednačinama:

Priprema Tolensovog reagensa:

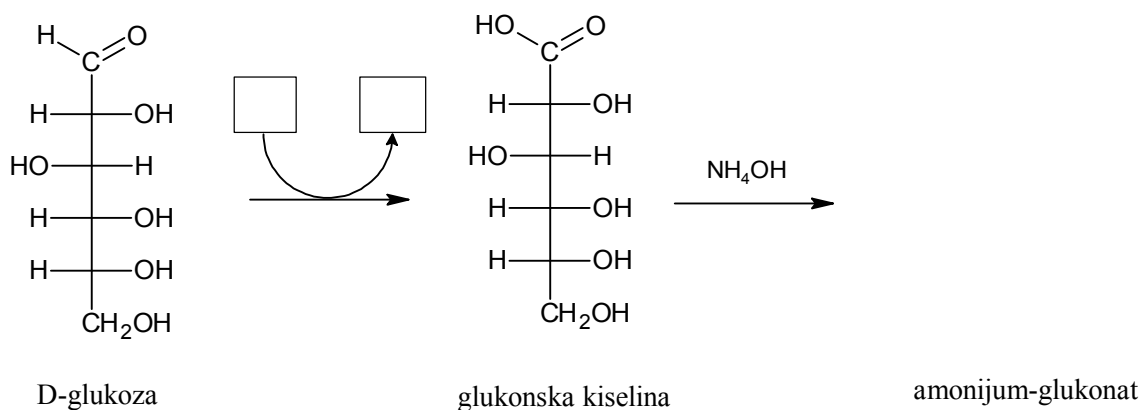


**Zapažanja:** Rezultat redukcije Tolensovog reagensa je pojava srebrnog ogledala na zidovima epruvete. Istovremeno se glukoza oksidiše u glukonsku kiselinu koja u prisustvu amonijum-hidroksida gradi so amonijum-glukonat.

Reakcija Tolensovog reagensa sa glukozom:



Dovršiti reakciju srebrnog ogledala u skraćenom obliku:



### Ogled 6: Reakcija šećera sa Felingovim rastvorom

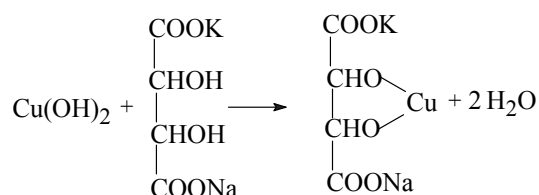
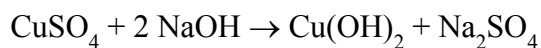
Ova reakcija spada u tipične redoks procese, i kao u prethodnom slučaju, služi za utvrđivanje redukcijske sposobnosti šećera. Redukujući šećeri reagujući sa Felingovim rastvorom se oksiduju u odgovarajuće kiseline, a kompleksno jedinjenje bakra(II) (Felingov rastvor) se redukuje do  $\text{Cu}_2\text{O}$ , koji se taloži kao talog crvene boje.

**Reagensi:** Rastvori glukoze i saharoze, Feling I i II

**Opis rada:** Neposredno pre izvođenja reakcije u epruveti se pomešaju približno iste zapremine rastvora Feling I i Feling II. U tako dobijenu mešavinu doda se  $2 \text{ cm}^3$  rastvora glukoze (ogled uraditi i sa saharozom).

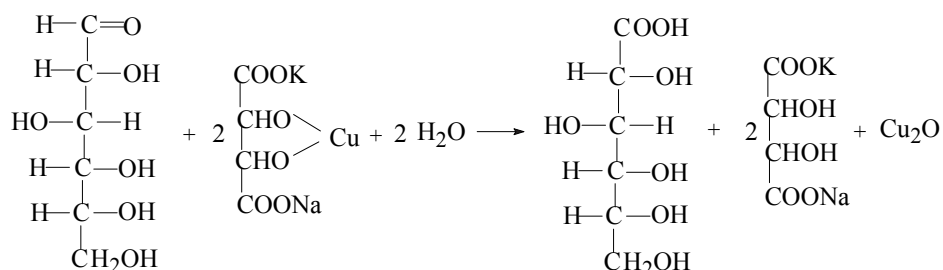
Pri izvođenju Felingove reakcije odigravaju se hemijske reakcije koje se mogu predstaviti sledećim hemijskim jednačinama:

Reakcije pri mešanju Felinga I i II:

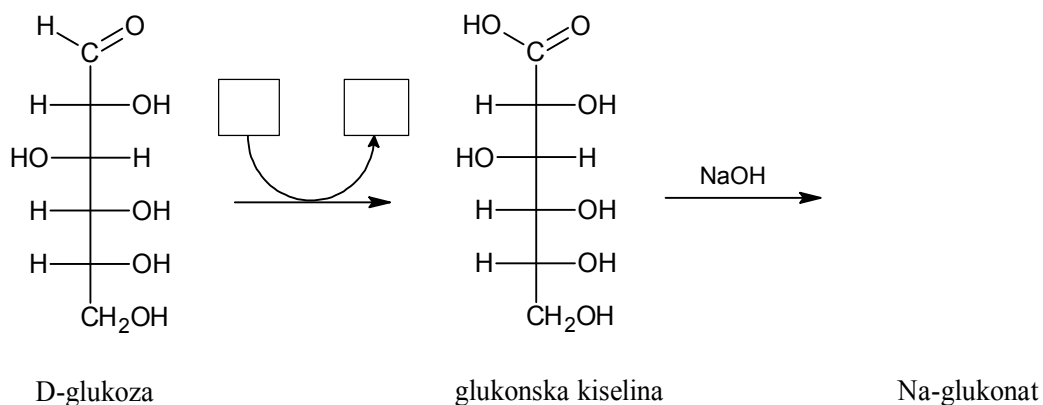


**Zapažanja:** Rezultat redukcije Felingovog reagensa je pojava crvenog taloga  $\text{Cu}_2\text{O}$  uz istovremenu oksidaciju glukoze u glukonsku kiselinu. U prisustvu NaOH, glukonska kiselina daje so Na-glukonat.

Reakcija Felingovog rastvora sa glukozom:



Dovršiti Felingovu reakciju u skraćenom obliku:



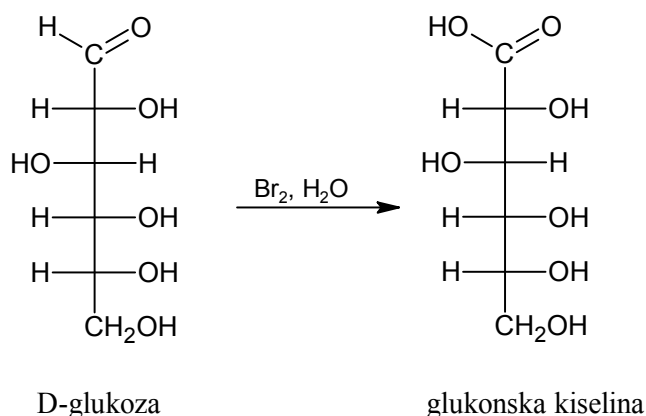
### Ogled 7: Oksidacija monosaharida bromnom vodom

Oksidacija monosaharida bromnom vodom ide veoma sporo, pri čemu aldoheksoze prelaze u polioksikiseline. Glukoza daje glukonsku kiselinu. Ova reakcija može da posluži za razlikovanje ketoza i aldoza (npr., glukoze i fruktoze koja ne daje pozitivnu reakciju).

**Reagensi:** Rastvor glukoze, fruktoze, bromna voda, rastvor  $\text{FeCl}_3$

**Opis rada:** Paralelno raditi sa rastvorima glukoze i fruktoze. U epruvetu se sipa oko 1 cm<sup>3</sup> rastvora glukoze (fruktoze) i oko 5-6 cm<sup>3</sup> bromne vode i zagreva na vodenom kupatilu oko 15 minuta. Ako se za to vreme rastvor ne obezboji, zagrevanje se vrši direktno na plameniku, tako da smeša ključa (pažljivo oko 2 minuta). Nakon zagrevanja, u obe epruvete dodati veoma razblažen rastvor FeCl<sub>3</sub>.

Ukoliko u reakciji nastaje  $\alpha$ -hidroksikarbonska kiselina pojaviće se tamno-žuta boja usled nastajanja kompleksa sa jonima Fe<sup>3+</sup>. Aldoze daju ovu reakciju jer se u reakciji sa Br<sub>2</sub> oksidišu u  $\alpha$ -hidroksikiseline, dok ketoze ne podležu oksidaciji sa bromnom vodom.

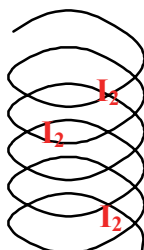


### **Ogled 8: Reakcija skroba sa jodom**

Skrob u reakciji sa jodom na sobnoj temperaturi daje karakteristično obojenje plave boje.

**Reagensi:** Skrobna suspenzija, razblažen rastvor I<sub>2</sub>, voda

**Opis rada:** u epruvetu se sipa oko 3 cm<sup>3</sup> vode i 3-4 kapi suspenzije skroba. U dati rastvor se doda nekoliko kapi rastvora I<sub>2</sub>, pri čemu se stvara intenzivno plava boja koja zagrevanjem isčezava, a hlađenjem se ponovo pojavljuje.

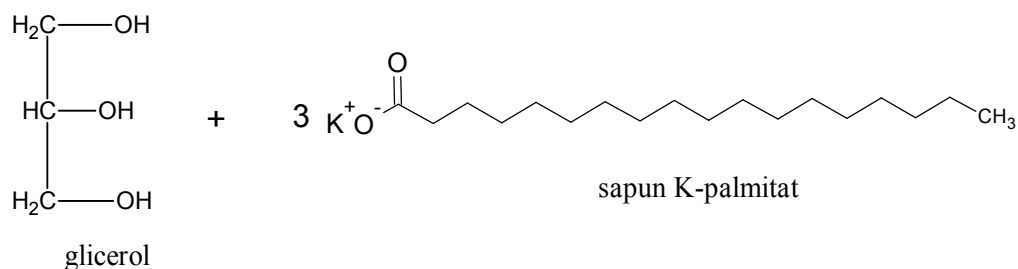
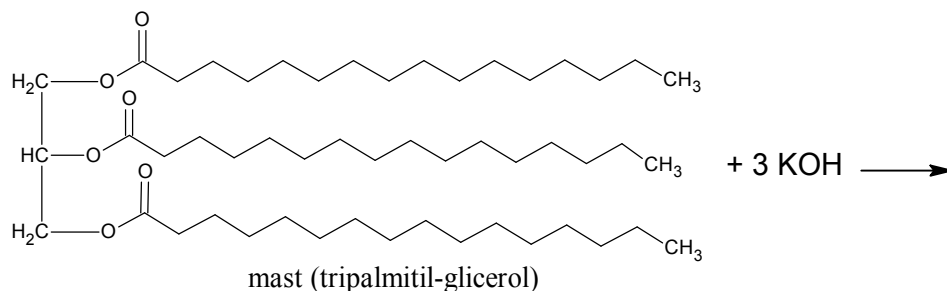


Inkluzioni kompleks skroba sa jodom plave boje

### **Ogled 9: Saponifikacija masti i ulja**

**Regensi:** ulje, alkoholni rastvor NaOH masenog udela 10%

**Opis rada:** U epruvetu se sipa malo (1 - 2 cm<sup>3</sup>) alkoholnog rasvora NaOH i doda 2 do 3 kapi ulja. Epruveta se stavi u vodeno kupatilo i ostavi da stoji 10 minuta. Nakon toga, epruveta se hladi pod mlazom vode pri čemu se izdvaja pihtijasti talog sapuna.



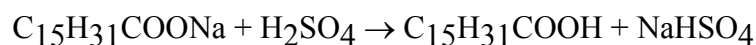
### **Ogled 10: Sapuni kao soli viših masnih kiselina**

**Reagensi:** 1g usitnjenog i spraćenog sapuna, cc H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaOH (konc. 6 mol/dm<sup>3</sup>)

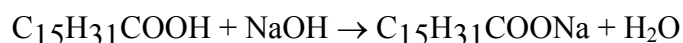
**PAŽNJA:** Rad sa koncentrovanim kiselinama može biti opasan! Reakciju izvodi demonstrator!

**Opis rada:** U epruvetu staviti 1 g usitnjenog i spraćenog sapuna. Dodavati postepeno cc H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> niz zid epruvete dok se sapun ne rastvori. Zatim, oprezno dodavati vodu u rastvorenu smešu po par kapi, uz hlađenje pod mlazom vode, dok se ne pojave dva sloja. Nakon toga u epruvetu sipati NaOH (konc. 6 mol/dm<sup>3</sup>) i dobro promućkati.

**Zapažanja:** Dodavanjem cc H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dolazi do reakcije istiskivanja viših masnih kiselina iz svojih alkalnih soli-sapuna:



Dodavanjem vode u reakcionu smešu dolazi do formiranja dva sloja od kojih je gornji sloj izdvojenih masnih kiselina koje su nepolarne i ne rastvaraju se u vodi. Daljim dodatkom NaOH u reakcionu smešu, regeneriše se sapun što dovodi do rastvaranja gornjeg sloja i formiranja rastvora sapuna koji je mutan.



**Overa asistenta:**

## XII laboratorijska vežba (smer UV): Određivanje ukupne tvrdoće vode

Tvrdoću vode čine rastvorene kalcijumove i magnezijumove soli. Kalcijum i magnezijum se u vodama nalaze u obliku bikarbonata, karbonata, sulfata, hlorida, nitrata i silikata, koji zajedno čine ukupnu tvrdoću vode. Tvrdoća vode se meri stepenima tvrdoće. Kod nas se za merenje tvrdoće vode najčešće koriste nemački stepeni tvrdoće vode:

1 nemački stepen = 10 mg CaO/dm<sup>3</sup> vode

Osim nemačkog stepena tvrdoće vode koriste se i francuski i engleski stepeni tvrdoće vode:

1 engleski stepen = 10 mg CaCO<sub>3</sub>/0,7 dm<sup>3</sup> vode

1 francuski stepen = 10 mg CaCO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup> vode

Soli koje čine tvrdoću vode date su u *Tabeli 5.6*.

**Tabela 5.6.** Soli koje čine tvrdoću vode

| Ukupna tvrdoća vode | Karbonatna tvrdoća   | Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub><br>Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>                                                                                                                               | Prolazna tvrdoća |
|---------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
|                     | Nekarbonatna tvrdoća | CaCO <sub>3</sub><br>MgCO <sub>3</sub>                                                                                                                                                                 | Stalna tvrdoća   |
|                     |                      | CaCl <sub>2</sub><br>MgCl <sub>2</sub><br>CaSO <sub>4</sub><br>MgSO <sub>4</sub><br>Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub><br>Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub><br>CaSiO <sub>3</sub><br>MgSiO <sub>3</sub> |                  |

Bikarbonati se razlažu dužim zagrevanjem vode.



Zbog toga se bikarbonatna tvrdoća naziva i prolaznom tvrdoćom, a tvrdoća vode koja zaostaje nakon zagrevanja je stalna tvrdoća.

Prema nemačkim stepenima tvrdoća vode može biti:

- |                   |         |                          |
|-------------------|---------|--------------------------|
| 1. Vrlo meka      | 0 – 5   | nemačkih stepeni tvrdoće |
| 2. Meka           | 5 – 10  | nemačkih stepeni tvrdoće |
| 3. Srednje tvrda  | 10 – 15 | nemačkih stepeni tvrdoće |
| 4. Prilično tvrda | 15 – 22 | nemačkih stepeni tvrdoće |
| 5. Tvrda          | 22 – 30 | nemačkih stepeni tvrdoće |
| 6. Vrlo tvrda     | > 30    | nemačkih stepeni tvrdoće |

Određivanje tvrdoće vode vrši se veoma često, jer tvrda voda ima veliki sadržaj mineralnih soli koje se vremenom talože na zidove industrijskih i melioracionih postrojenja i kao takva utiče na pucanje zidova cevi i kotlova. Voda koja se koristi za

navodnjavanje ne sme da sadrži veliki procenat soli jer time bitno utiče na kvalitet i kvantitet poljoprivredne proizvodnje.

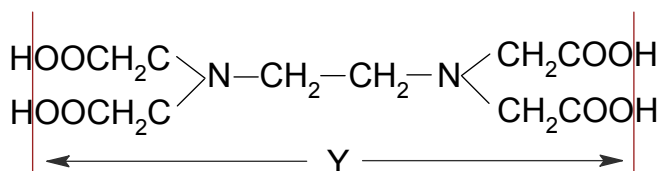
Ukupna tvrdoća vode se određuje kompleksometrijski<sup>7</sup>, titracijom standardnim rastvorom etilendiamintetrasirćetne kiseline, skraćeno EDTA<sup>8</sup>. Završna tačka titracije se određuje vizuelno uz indikator eriohromcrno T, koji sa jonima  $\text{Ca}^{2+}$  i  $\text{Mg}^{2+}$  gradi kompleks manje stabilnosti od kompleksa koje ovi joni grade sa EDTA.

Pošto se u strukturi EDTA nalaze četiri karboksilne grupe, odnosno četiri „kisela“ atoma vodonika ( $-\text{COOH}$ ), EDTA se često u reakcijama piše kao  $\text{H}_4\text{Y}$ . Oznakom „Y“ obeležen je ostatak molekula, odnosno,  $\text{Y}^{4-} = (\text{CH}_2\text{N})_2(\text{CH}_2\text{COO})_4^{4-}$  je etilendiamintetraacetatni jon.

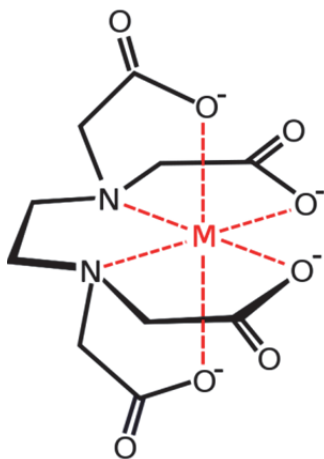
### Postupak određivanja

U erlenmajer se pipetom odmeri  $50 \text{ cm}^3$  vode iz vodovoda koja je prethodno isticala desetak minuta iz slavine. U probu se menzurom doda  $5 \text{ cm}^3$  amonijačnog pufera  $\text{pH} = 9$  i oko  $0,02 \text{ g}$  indikatora eriohromcrno T. Uzorak vode se zatim titriše rastvorom EDTA koncentracije  $0,01 \text{ mol/dm}^3$  do promene crvene boje u plavu.

\*U tački ekvivalencije oslobađa se višak indikatora čija je boja različita u odnosu na boju kompleksa EDTA-indikator.



Struktura EDTA ( $\text{H}_4\text{Y}$ )

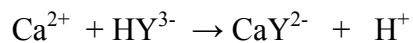


<sup>7</sup> Kompleksometrija je volumetrijska metoda koja se zasniva na građenju kompleksa titrovane supstance i titracionog sredstva.

<sup>8</sup> Zapravo, zbog slabe rastvorljivosti EDTA u vodi, koristi se dihidrat dinatrijumove soli ove kiseline ( $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), koji se naziva kompleksom III.

***Izračunavanje rezultata:***

Na osnovu jednačine reakcije:



$$n(\text{Ca}^{2+}) : n(\text{HY}^{3-}) = 1 : 1$$

$$n(\text{HY}^{3-}) = n(\text{Ca}^{2+}) = n(\text{CaO})$$

$$\text{Pošto je: } n = c \cdot V \quad \text{ i } \quad n = \frac{m}{M}$$

$$n(\text{CaO}) = n(\text{HY}^{3-}) = c(\text{HY}^{3-}) \cdot V(\text{HY}^{3-})$$

$$m(\text{CaO}) = \frac{c(\text{HY}^{3-}) \cdot V(\text{HY}^{3-})}{M(\text{CaO})} \text{ g (u } 50 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O})$$

$$m(\text{CaO}) = \quad \cdot 20 \cdot 10^3 \text{ mg (u } 1 \text{ dm}^3 \text{ H}_2\text{O})$$

$$\text{Kako je } 1^\circ\text{N} = 10 \text{ mg CaO/dm}^3$$

$$\text{onda je } x^\circ\text{N} = \text{ \_\_\_\_\_\_ mg CaO/dm}^3$$

tvrdća vode u  $^\circ\text{N}$  iznosi:

$$x^\circ\text{N} = \frac{m(\text{CaO})}{10 \text{ mg CaO/dm}^3} =$$

***Overa asistenta:***

## **XII laboratorijska vežba (smer PT): Kiselinski ili neutralizacioni broj tečnih goriva i maziva**

Goriva i maziva sadrže i kisele materije koje mogu nastati kao rezultat rafinacije nafte, dodavanja različitih aditiva za poboljšanje mazivih i gorivih sposobnosti, prisustva naftenskih kiselina iz nafte, dužom upotrebom maziva itd.

U procesu rafinacije nafte koriste se i kiselna rafinacija dejstvom  $H_2SO_4$  pomoću koje se talože ugljovodonici aromatičnog karaktera, smole i asfaltne materije, ali se ne odstranjuju lakši aromati. Posle procesa rafinacije pomoću  $H_2SO_4$  vrši se neutralizacija natrijum-hidroksidom. Deo  $H_2SO_4$  koji se u ovom procesu ne neutralizuje povećava ukupnu kiselost goriva i maziva. Ovim procesom kisele rafinacije nafte poboljšavaju se opšta svojstva destilata samo u manjoj meri. U toku dalje prerade mazivima se dodaju masne kiseline i ulja, organske (adipidinska) i neorganske kiseline (orto-silicijumova, fosforna) koje takođe utiču na ukupnu kiselost maziva. Dodaju se i takozvane sapunske masti koje u sebi sadrže sapunsku komponentu (Li, Na, Ca, Ba i Al soli viših masnih kiselina) koje takođe povećavaju kiselost.

Tečna goriva koja se dobijaju destilacijom sirove nafte pokazuju kiselu reakciju zbog prisustva HCl koja nastaje razlaganjem magnezijum-hlorida iz sirove nafte. Kiselost goriva takođe mogu da povećaju i aditivi koji se gorivu dodaju zbog poboljšanja gorivih osobina.

Da bi se odredila ukupna kiselost određuje se neutralizacioni broj i sadržaj slobodnih mineralnih kiselina i baza u gorivima i neupotrebljenim i upotrebljenim mazivima poreklom iz nafte (mineralna ulja) kao i u mineralnim uljima sa dodacima ulja životinjskog porekla.

Kiselinski broj,  $K_{br}$  (kod tečnih goriva, ulja i masti za podmazivanje ovaj broj se naziva i neutralizacioni broj,  $N_{br}$ ), predstavlja broj mg KOH potrebnih za neutralizaciju slobodnih masnih kiselina u 1 g tečnog goriva, ulja ili masti za podmazivanje.

### ***Postupak određivanja***

10 g dizel goriva se stavi u erlenmajerovu tikvicu od  $250\text{ cm}^3$  i u erlenmajer se zatim doda  $50\text{ cm}^3$  smeše etil-alkohol:voda (1:1) i ostavi da ključa 5 minuta na vodenom kupatilu. Zatim se doda nekoliko kapi indikatora fenolftaleina i titriše se standardnim rastvorom  $0,1\text{ mol/dm}^3$  KOH (alkoholni rastvor) do pojave crvene boje. Istovremeno se titruje i proba bez goriva koja sadrži istu količinu rastvarača i indikatora kao i proba sa gorivom.

### ***Izračunavanje rezultata***

Izračunavanje rezultata se vrši pomoću sledeće formule koja definiše neutralizacioni broj:

$$N_{br} = \frac{(a-b) \cdot 5,61}{c} = \quad \text{mg KOH/g}$$

$a$  - broj  $\text{cm}^3$   $0,1 \text{ mol/dm}^3$  KOH utrošenih za probu sa gorivom

$b$  - broj  $\text{cm}^3$   $0,1 \text{ mol/dm}^3$  KOH utrošenih za probu bez goriva

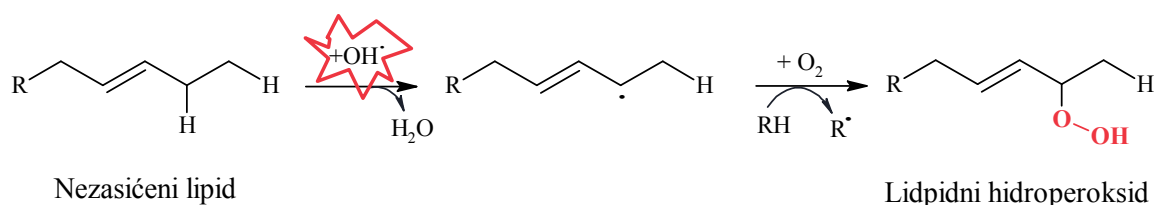
$c$  - masa goriva u gramima

5,61 - relativna molekulska masa  $0,1 \text{ mola}$  KOH

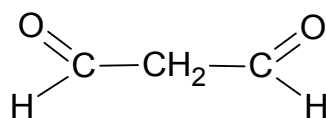
***Overa asistenta:***

### XIII laboratorijska vežba (biološki smerovi): Intenzitet lipidne peroksidacije

Lipidna peroksidacija je lančana reakcija oksidacije lipida koja je inicirana delovanjem slobodnih radikala kiseonika. Slobodni radikali poseduju nespareni elektron suled čega su hemijski vrlo aktivni. Najreaktivniji oblik kiseonika je hidroksil-radikal ( $\text{HO}^\bullet$ ) koji može da započne (inicira) lančanu reakciju lipidne peroksidacije kada nastaju lipidni peroksidi.



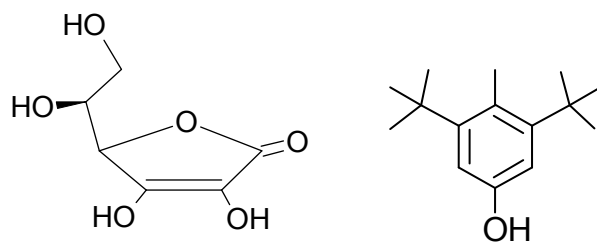
Daljom razgradnjom lipidnih peroksida, kao krajnji proizvodi lipidne peroksidacije, nastaju toksični aldehidi manje molekulske mase, od kojih je najpoznatiji **malonil-dialdehid** (MDA). U živim bićima i biološkim uzorcima uopšte, do nagomilavanja MDA dolazi u stanjima poznatim kao **oksidativni stres**, kada količina reaktivnih oblika kiseonika (npr.  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{HO}^\bullet$  itd.) naglo poraste.



Struktura malonil-dialdehida (MDA)

Do užegnuća masti i ulja dolazi usled prisustva nezasićenih masnih kiselina. Pri dužem stajanju na vazduhu dolazi do peroksidacije lipida kada nastaju složene smeše raznih isparljivih aldehida, ketona i nižih masnih kiselina. Lipidna peroksidacija je uzrok užegnuća masti usled čega se javlja karakterističan neprijatan miris.

Antioksidanti su prirodne supstance ili sintetička jedinjenja koja usporavaju proces lipidne peroksidacije. U živim ćelijama ulogu antioksidanata igraju neki vitamini (vitamin C i E), glutation (po hemijskom sastavu je tripeptid) kao i mnoga druga jedinjenja uključujući enzime (superoksid-dismutaza, različite peroksidaze i katalaza). U tehnologiji hrane često se koriste različiti sintetički antioksidanti kao npr., butilovani hidroksitoluen (BHT).



Strukture vitamina C i BHT (butilovanog hidroksi-toluena)

### **Postupak određivanja**

Odmeriti 1g brokolija na vagi i macerirati ga sa 20 cm<sup>3</sup> rastvora za ekstrakciju (sa TBA reagensom). Rastvor za ekstrakciju se dobija tako što se pomeša 10 cm<sup>3</sup> 10% perhlorne kiseline (HClO<sub>4</sub>) zasićene na hladno sa TBA i 30 cm<sup>3</sup> 20% trihlorsirćetne kiseline-TCA (20 g TCA + 80 g vode).

Paralelno sa radnom probom uraditi i korekciju macerirajući 1g uzorka sa 20 cm<sup>3</sup> rastvora za ekstrakciju, ali bez TBA reagensa (dakle, sa čistom 20% TCA).

Homogenat (**radna proba i korekcija**) se zatim zagreva 20 min na 95 °C, ohladi i centrifugira 10 min na 3500 <sup>0</sup> min<sup>-1</sup>.

Tiobarbiturna kiselina reaguje sa proizvodima lipidne peroksidacije, među kojima je najvažniji MDA, dajući proizvod ružičaste boje. Apsorbancija supernatanta se očitava spektrofotometrijski na 532 nm.

### **Izračunavanje rezultata**

Intenzitet lipidne peroksidacije određen je svim proizvodima koji reaguju sa tiobarbiturnom kiselinom (TBARS-"Thiobarbituric acid reactive substances" ili "supstance reaktivne prema TBA"), a izražava se preko najvažnijeg proizvoda lipidne peroksidacije, količine MDA. Intenzitet LP izražen je brojem nmol MDA po gramu uzorka izračunava se na osnovu formule izvedene iz Lamber-Berovog zakona:

$$A = \varepsilon \cdot b \cdot c$$

gde je: *A*- apsorbancija

*ε*- linearni molarni koeficijent apsorpcije

*b*- širina kivete (1 cm)

*c*- koncentracija uzorka

Imajući u vidu da je  $\varepsilon = 1,56 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-1} \text{ dm}^3/\text{mol}$  za glavni proizvod lipidne peroksidacije (MDA-TBA adukt), ukupna količina supstanci reaktivnih prema TBA (TBARS) može se izračunati prema sledećoj formuli:

$$c = A_{532} / (\varepsilon \cdot b); \quad n = c \cdot V = A_{532} \cdot V / (\varepsilon \cdot b)$$

Nulu spektrofotometra podesiti samim rastvorom za ekstrakciju (**slepa proba ili blank**).

Korigovati očitavanje apsorbance:  $A_{532} = A_{532} \text{ (radna proba)} - A_{532} \text{ (korekcija)}$  =

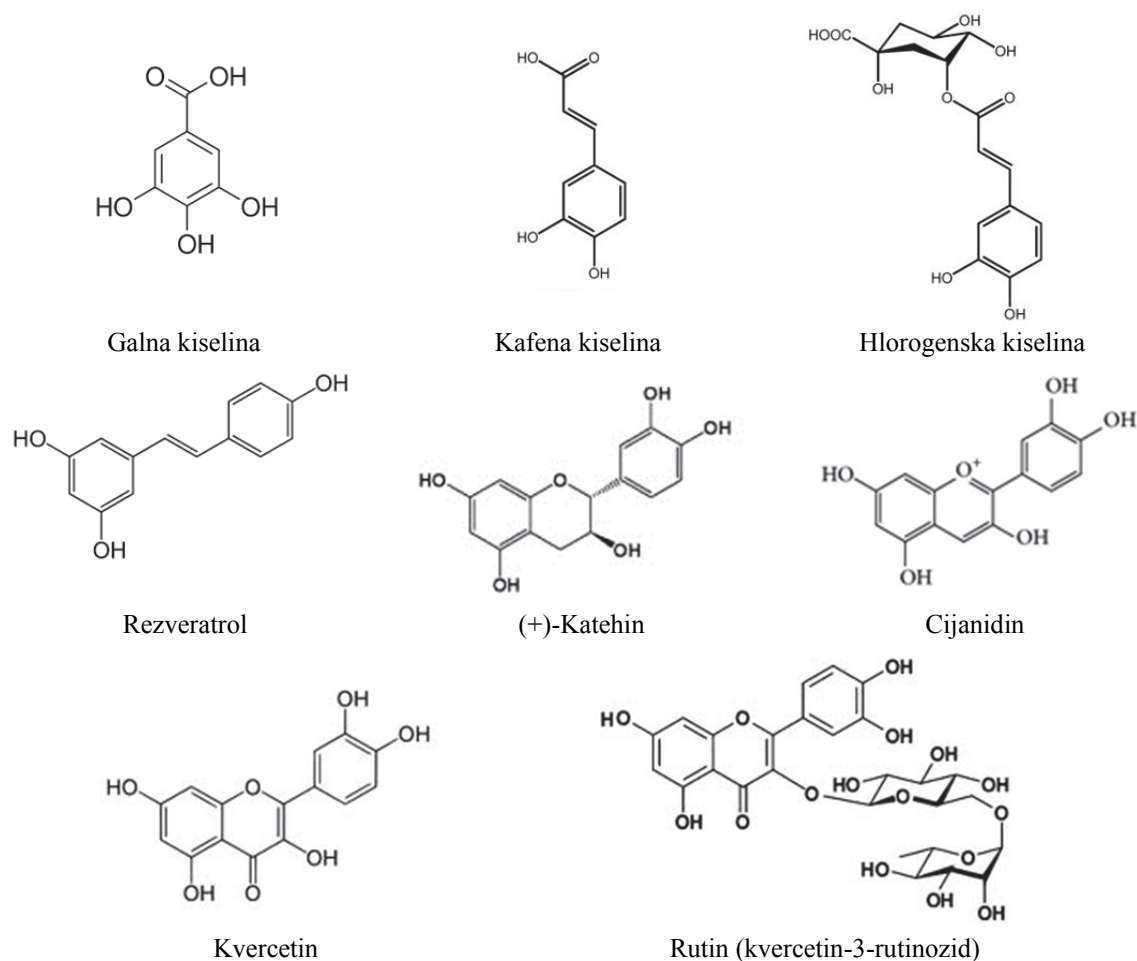
$$TBARS = \frac{A \cdot 20 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3}{1,56 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-1} \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}} = A_{532} \cdot 128,2 \text{ nmol MDA/g}$$

$$TBARS = \quad \quad \quad \text{nmol MDA/g}$$

**Overa asistenta:**

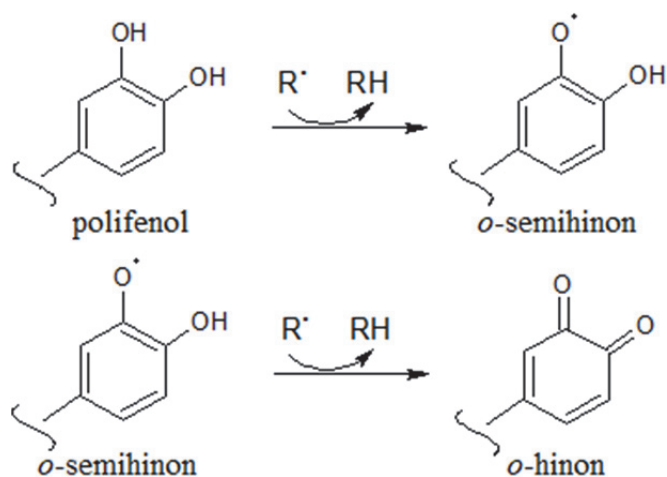
## XIV laboratorijska vežba (biološki smerovi): Određivanje sadržaja ukupnih fenola

Hemijska jedinjenja koja sintetizuju biljke mogu se podeliti na primarne i sekundarne biomolekule. Sekundarni biomolekuli biljkama pomažu da se prilagode različitim uslovima sredine, da se odbrane od patogena i od brojnih drugih stresogenih faktora. U sekundarne biomolekule ubrajaju se i fenolna jedinjenja. To su molekuli koji u svojoj strukturi imaju najmanje jedan aromatični prsten ( $C_6$ ) za koji su vezane jedna ili više hidroksilnih ( $-OH$ ) grupa. Strukture nekih fenolnih jedinjenja prikazane su na slici 5.7.



**Slika 5.7.** Strukture pojedinih fenolnih jedinjenja

Fenolna jedinjenja imaju izraženo antioksidantno delovanje. U uslovima stresa nastaju brojni slobodni radikali, koji usled velike reaktivnosti mogu da poremete normalno funkcionisanje ćelija, da se vežu za primarne biomolekule i da naruše njihove strukture i funkcije. Fenolna jedinjenja imaju sposobnost da „hvataju“, odnosno neutrališu slobodne radikale ( $R^{\bullet}$ ). Jedan od mehanizama neutralisanja slobodnih radikala prikazan je na slici 5.7.



**Slika 5.8.** Mehanizam neutralisanja slobodnih radikala

Fenoli su veoma značajni i za čoveka, jer imaju brojna pozitivna dejstva na ljudski organizam. Pored antioksidantnog delovanja, različite klase ovih biomolekula ispoljavaju antiinflamatorno, antikancerogeno, antimikrobno, kardioprotektivno i mnoga druga dejstva. Iz ovog razloga ljudi od davnina u narodnoj medicini koriste biljke bogate fenolnim jedinjenjima. Takođe, u uslovima stresa, u biljkama mogu da se aktiviraju putevi biosinteze fenolnih jedinjenja kako bi se biljka što bolje prilagodila i zaštitila od nepovoljnih uslova. Stoga povećan sadržaj fenolnih jedinjenja može da bude indikator pretrpljenog stresa.

#### ***Određivanje sadržaja ukupnih fenola Folin-Ciocalteu (Folin-Čokalte) metodom***

Metoda se zasniva na transferu elektrona sa fenolnog jedinjenja na Folin-Čokalte (FC) reagens, koji čine smeša fosfomolibdenske i fosfovolframove kiseline, gradeći plavo obojen kompleks. Intenzitet plave boje, koji je proporcionalan količini fenolnih jedinjenja u uzorku, meri se spektrofotometrijski, na talasnoj dužini  $\lambda = 760 \text{ nm}$ . Identičan postupak određivanja se primenjuje za ekstrakt uzorka i za standardni rastvor galne kiseline, koji će služiti da se napravi **kalibraciona kriva** i preko nje izračuna sadržaj fenolnih jedinjenja u uzorku.

**Priprema uzorka:** na vagi se odmeri 5 g svežeg brokolija, vodeći računa da se uzme ravnomerna količina cveta i drške. Biljni materijal se prenese u avan, doda malo kvarcnog peska i homogenizuje se sa 20 ml 70% etanola. Sadržaj se prenese u staklenu čašu od 50 ml, poklopi se i stavi na ultrazvučno kupatilo 15 min na 20 °C. Nakon ultrazvučne ekstrakcije, sadržaj iz čaše se prenese u plastičnu kivetu i centrifugira se na 3500 *rpm* tokom 15 min. Supernatant (rastvor iznad taloga) se prebaci u čistu kivetu i koristi se za dalju analizu.

**Priprema standardnog rastvora galne kiseline:** na analitičkoj vagi se odmeri 100 mg (0,1 g) galne kiseline, prebaci u odmerni sud od 100 ml, koji se zatim dopuni vodom do crte. Ovako pripremljen rastvor ima masenu koncentraciju 1 mg/ml. Od ovog osnovnog rastvora napravi se serija razblaženih rastvora koji će dalje biti korišćeni u postupku određivanja.

**Tabela 5.7.** Serija razblaženja osnovnog rastvora galne kiseline za kalibracionu krivu

| R. br. | Željena koncentracija $\gamma_2$ ( $\mu\text{g/ml}$ ) | V osnovnog rastvora koncentracije $\gamma_1 = 1 \text{ mg/ml}$ $V_1$ ( $\mu\text{l}$ ) | V vode ( $\mu\text{l}$ ) $V_2 - V_1$ |
|--------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1      | 0                                                     | 0                                                                                      | 1000                                 |
| 2      | 25                                                    | 25                                                                                     | 975                                  |
| 3      | 50                                                    | 50                                                                                     | 950                                  |
| 4      | 100                                                   | 100                                                                                    | 900                                  |
| 5      | 200                                                   | 200                                                                                    | 800                                  |
| 6      | 400                                                   | 400                                                                                    | 600                                  |

Proračun razblaženja:

$$\gamma_1 \cdot V_1 = \gamma_2 \cdot V_2$$

### Postupak određivanja

U epruvetu se automatskom pipetom odmeri 50  $\mu\text{l}$  uzorka (ili rastvora standarda), 150  $\mu\text{l}$  destilovane vode i 1 ml 0,1 M FC reagensa. Nakon 10 minuta doda se 800  $\mu\text{l}$  7,5% rastvora  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  i reakcioni medijum se ostavi 1 h na sobnoj temperaturi da bi se odigrala reakcija i razvila boja. Sadržaj iz epruvete se zatim prebaci u kivetu za spektrofotometar i izmeri apsorbancija na  $\lambda = 760 \text{ nm}$ . Prvo se izmeri apsorbancija reakcionih proba za standard, počevši od najmanje koncentracije, pa redom do najveće, zatim se očitava apsorbancija uzorka.

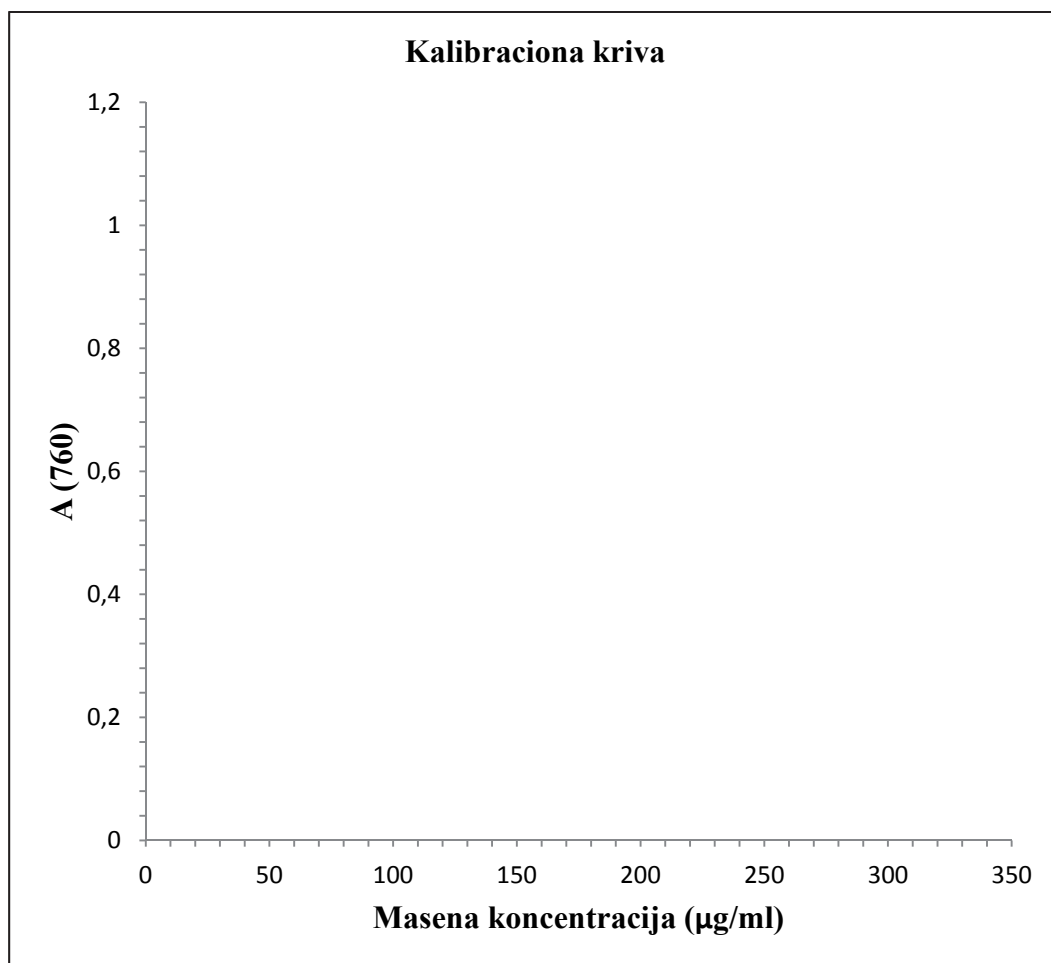
U narednu tabelu upisati vrednosti apsorbancije izmerene na spektrofotometru i izračunati srednju vrednost apsorbancije za svaki uzorak.

**Tabela 5.8.** Vrednosti očitanih apsorbancija

| R. br. | Koncentracija galne kiseline ( $\mu\text{g/ml}$ ) | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_{\text{sr}} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3}$ |
|--------|---------------------------------------------------|-------|-------|-------|---------------------------------------------|
| 1      | 0                                                 |       |       |       |                                             |
| 2      | 25                                                |       |       |       |                                             |
| 3      | 50                                                |       |       |       |                                             |
| 4      | 100                                               |       |       |       |                                             |
| 5      | 200                                               |       |       |       |                                             |
| 6      | 300                                               |       |       |       |                                             |
| 7      | Ekstrakt brokolija                                |       |       |       |                                             |

### Izračunavanje rezultata

Na osnovu izmerenih vrednosti absorbancije nacrtati **kalibracionu krivu** za standardni rastvor galne kiseline. Zatim grafički odrediti sadržaj fenolnih jedinjenja u ekstraktu brokolija, izražen kao  $\mu\text{g}$  ekvivalenata galne kiseline po 1 ml ekstrakta.



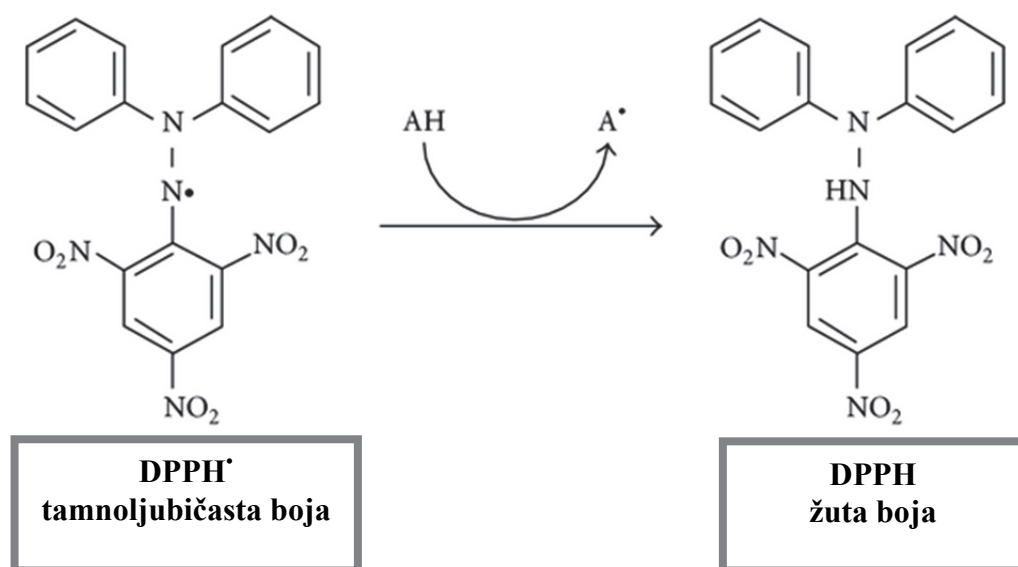
X = \_\_\_\_\_  $\mu\text{g/ml}$

Sadržaj fenolnih jedinjenja u ekstraktu brokolija iznosi \_\_\_\_\_ ekvivalenata galne kiseline.

**Overa asistenta:**

## XV laboratorijska vežba (biološki smerovi): Određivanje antioksidantne aktivnosti DPPH testom

DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) test predstavlja jedan od najčešće korišćenih testova za ispitivanje antioksidantne aktivnosti ekstrakata. Zasniva se na upotrebi sintetičkog jedinjenja radikalne prirode – DPPH<sup>•</sup>, tamnoljubičaste boje. U prisustvu jedinjenja koja imaju sposobnost da doniraju vodonik ili prenesu elektron, DPPH<sup>•</sup> radikal se redukuje i pritom obezbojava (*Slika 5.9.*). Poznato je da biljni ekstrakti sadrže različita polifenolna jedinjenja, koja poseduju sposobnost “hvatanja” slobodnih radikala i time pokazuju antioksidantnu aktivnost. Praćenje transformacije ljubičasto obojenog DPPH<sup>•</sup> radikala u redukovanu, žuto obojenu formu, odnosno, promena apsorbancije nakon dodatka ispitivanog ekstrakta se koristi kao merilo antioksidantne aktivnosti tog ekstrakta. Veći stepen obezbojavanja označava veću redukcionu sposobnost odnosno veću antioksidantnu aktivnost ekstrakta.



**Slika 5.9.** Redukcija DPPH<sup>•</sup> radikala. AH, antioksidantno jedinjenje iz ekstrakta donira vodonik (H) DPPH<sup>•</sup> radikalu pri čemu dolazi do obezbojavanja ili pojave blede žute boje koja potiče od pikril grupe.

### Postupak određivanja

Biljni materijal (5 g brokolija) se homogenizuje sa 20 ml 70% etanola u avanu sa tučkom. Homogenat se prenese u plastičnu kivetu od 50 ml, zatvori čepom i stavi na ultrazvučno kupatilo 15 min na 20 °C. Nakon ultrazvučne ekstrakcije, sadržaj se centrifugira na 3500 *rpm* tokom 15 min. Supernatant dobijen nakon centrifugiranja predstavlja etanolni ekstrakt brokolija koji se prebacuje u čistu kivetu i koristi za određivanje antioksidantne aktivnosti ekstrakta merenjem sposobnosti hvatanja DPPH<sup>•</sup> radikala.

Etanolni ekstrakt brokolija se koristi za pripremanje radnih razblaženja u 70% etanolu, sledećih koncentracija: 200, 150, 100, 50 i 25 mg/ml prema datoj tabeli.

**Tabela 5.9.** Tabela razblaženja uzorka

| Željena koncentracija $\gamma_2$ (mg/ml) | V osnovnog rastvora koncentracije $\gamma_1 = 250$ mg/ml $V_1$ ( $\mu$ l) | V 70% etanola ( $\mu$ l) $V_2 - V_1$ |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 200                                      | 800                                                                       | 200                                  |
| 150                                      | 600                                                                       | 400                                  |
| 100                                      | 400                                                                       | 600                                  |
| 50                                       | 200                                                                       | 800                                  |
| 25                                       | 100                                                                       | 900                                  |

Proračun razblaženja:

$$\gamma_1 \cdot V_1 = \gamma_2 \cdot V_2$$

DPPH reagens se priprema rastvaranjem 0,0158 g DPPH u 100 ml etanola. Potom se 22.5 ml dobijenog etanolnog rastvora razblaži do 100 ml sa metanolom.

**Radna proba** se priprema mešanjem 200  $\mu$ l etanolnog ekstrakta sa 2 ml DPPH reagensa. Za svako razblaženje uzorka rade se tri radne probe. Pripremiti i 3 ponavljanja za **kontrolu** koja sadrži 2 ml DPPH reagensa i 200  $\mu$ l 70% etanola.

Intenzitet boje se očitava na spektrofotometru na 515 nm nakon inkubacije na sobnoj temperaturi u mraku nakon sat vremena. Očitane apsorbance uneti u tabelu sa rezultatima.

#### Izračunavanje rezultata

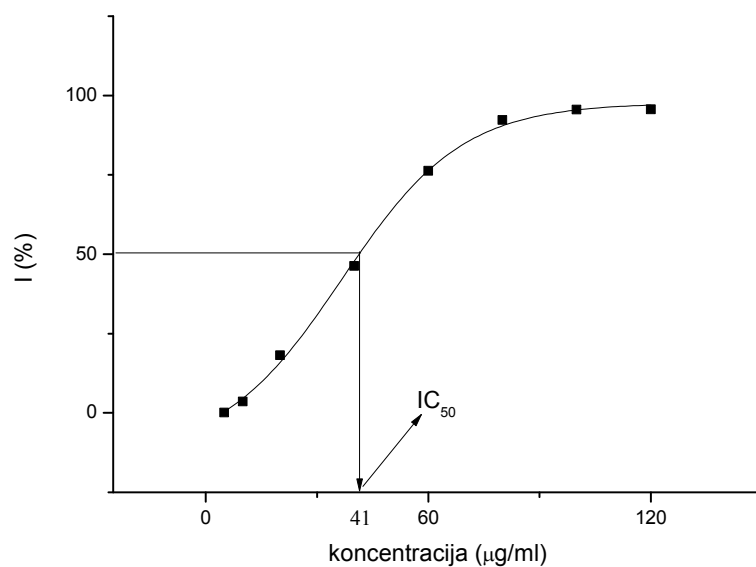
**Tabela 5.10.** Vrednosti očitanih apsorbancija i rezultata za inhibiciju DPPH

| Koncentracija uzorka $\gamma_2$ (mg/ml) | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_{sr}$ | Inhibicija DPPH (%) |
|-----------------------------------------|-------|-------|-------|----------|---------------------|
| 200                                     |       |       |       |          |                     |
| 150                                     |       |       |       |          |                     |
| 100                                     |       |       |       |          |                     |
| 50                                      |       |       |       |          |                     |
| 25                                      |       |       |       |          |                     |
| <b>Kontrola:</b>                        |       |       |       |          |                     |

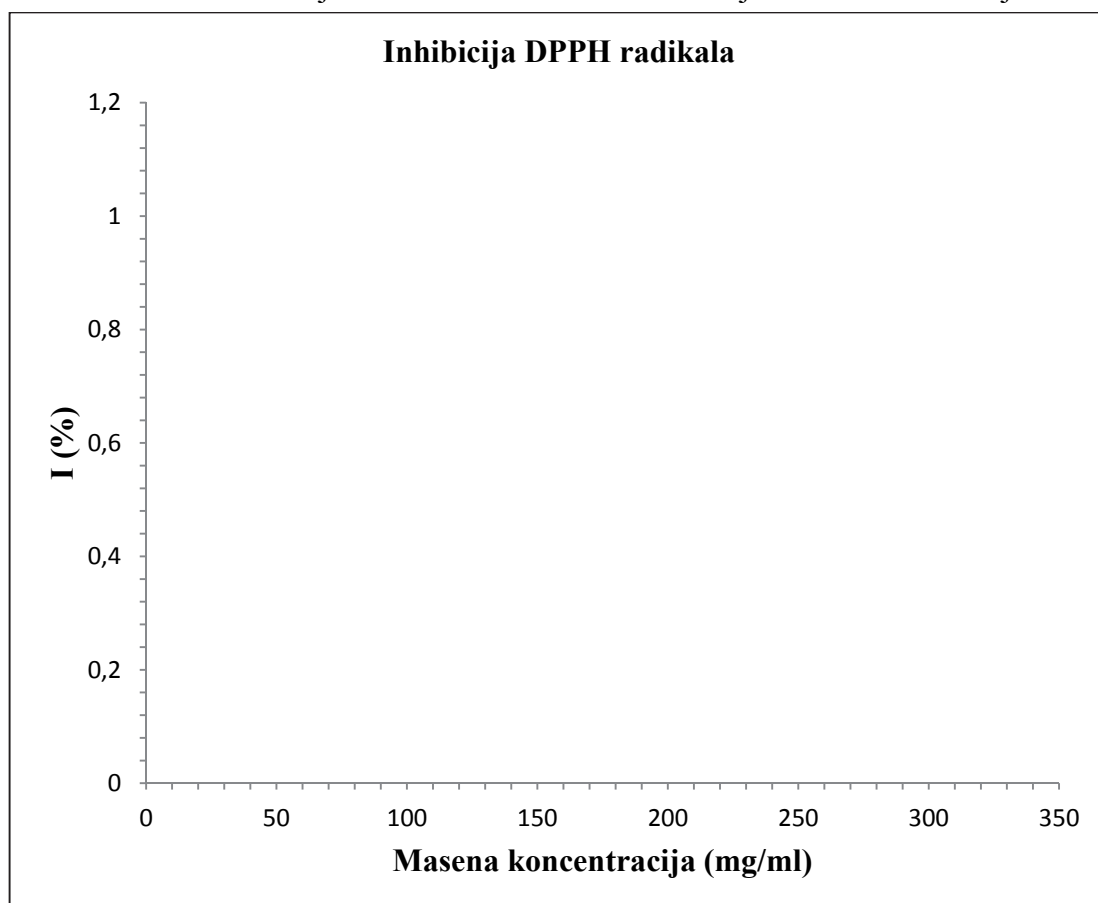
Na osnovu sledeće jednačine izračunati stepen neutralizacije DPPH radikala i uneti u tabelu sa rezultatima:

$$\text{Inhibicija DPPH} = 100 - \frac{A_{sr}}{A_{kontrola}} \cdot 100$$

Nacrtati krivu zavisnosti inhibicije DPPH radikala od koncentracije uzorka i očitati  $IC_{50}$  vrednost (koncentracija uzorka pri kojoj je neutralisano 50% radikala). Uporediti dobijenu vrednost sa vrednošću standarda – askorbinske kiseline, čija je  $IC_{50} = 41$   $\mu$ g/ml. Kriva zavisnosti inhibicije DPPH radikala od koncentracije askorbinske kiseline data je na sledećem grafikonu.



Kriva zavisnosti inhibicije DPPH radikala od koncentracije ekstrakata brokolija:



$IC_{50}$  vrednost za ekstrakt brokolija iznosi: \_\_\_\_\_ mg/ml

**Overa asistenta:**

## 6. LITERATURA

- Amiđ, D., Organska kemija za studente agronomске struke, Školska knjiga, Zagreb, 2008.
- Arsenijević, S., Opšta i neorganska hemija, Naučna knjiga, Beograd, 1990.
- Arsenijević, S., Organska hemija, Naučna knjiga, Beograd, 1990.
- Atkins, P.W., Clugston, M.J., Načela fizikalne kemije, Školska knjiga, Zagreb, 1992.
- Bogunović, Lj., Poleti, D., Popović, M., Stević, S. Praktikum opšte hemije, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, 1991.
- Čeković, Ž., Krstić M., Đerić B., Molekuli u tajnama života i svetu oko nas, Zavod za udžbenike, Beograd, 2009.
- Čeković, Ž., Upotreba molekula-hemijski eseji o molekulima i njihovim primenama, Zavod za udžbenike, Beograd, 2012.
- Dalmacija, B., Karlović, E., Tamaš, Z. Praktikum iz hemijske tehnologije, PMF – Institut za hemiju, Novi Sad, 1995.
- Filipović, I., Lipanović, S., Opća i anorganska kemija, Školska knjiga, Zagreb, 1989.
- Glinka, N.L., Zadaci i vežbe iz opšte hemije, Naučna knjiga, Beograd, 1991.
- Janjić, T., Teorijski osnovi analitičke hemije, Naučna knjiga, Beograd, 1994.
- Jovanović, M.S., Vučurović, B.D., Analitička hemija – kvantitativna analiza, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, 1988.
- Kastori, R., Fiziologija Biljaka, Feljton d.o.o., Novi Sad, 1998.
- Kaurinović, B., Popović, M. "Praktikum za vežbe iz Hemije (sa radnom sveskom)", PMF, Novi Sad, 2017.
- Kevrešan, S., Kandrač, J., Nikolić, J. Osnovi računanja u hemiji - zbirka zadataka, izdavačka delatnost "M&N", Novi Sad, 1995.
- Mirković, S., Čorbić, M., Opšta hemija za studente stomatologije, Izdavačko preduzeće Nauka, Beograd, 2004.
- Perišić-Janjić, N., Radosavljević, S., Češljević, V., Praktikum eksperimentalnih vežbi iz opšte i neorganske hemije, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 1985.
- Pine, S., Organska kemija, Školska knjiga, Zagreb, 1994.
- Predić, T., Praktikum-agrohemija i ishrana biljaka, Poljoprivredni institut Republike Srpske, Banja Luka, 2011.
- Rajković, M.B., Karljković-Rajić, K., Vučurović, B., Đorđević, S. Analitička hemija, Savremena administracija, Beograd, 1993.
- Rikovski, I., Džamić, M., Rajković, M., Praktikum iz analitičke hemije, Građevinska knjiga, Beograd, 1991.
- Rikovski, I.: Neorganska hemija, Građevinska knjiga, Beograd, 1990.
- Rikovski, I.: Organska hemija, Građevinska knjiga, Beograd, 1990.
- Sikirica, M., Stehiometrija, Školska knjiga, Zagreb, 1984.
- Štajner, D., Kevrešan, S., Hemija, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 2006.
- Štajner, D., Budinčević, M., Kevrešan, S.: Praktikum iz hemije za studente Poljoprivrednog fakulteta, DOO IPC, Novi Sad, 1996.
- Stojanović, N., Dimitrijević, M., Andrejević, V.: Organska hemija za studente medicine, veterine i stomatologije, Medicinska knjiga, Beograd, 1997.
- Vračar, Lj., Despić, A., Dražić, V., Đorđević, K., Jovanović, D., Jovanović, S., Maksimović, M., Nikolić, B., Ovcin, D., Šepa, D., Eksperimentalna fizička hemija, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, 1990.
- Žigrai, I., Šuranji, T., Osnovi kvantitativne hemijske analize, I deo, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, 1993.

## 7. PRILOG

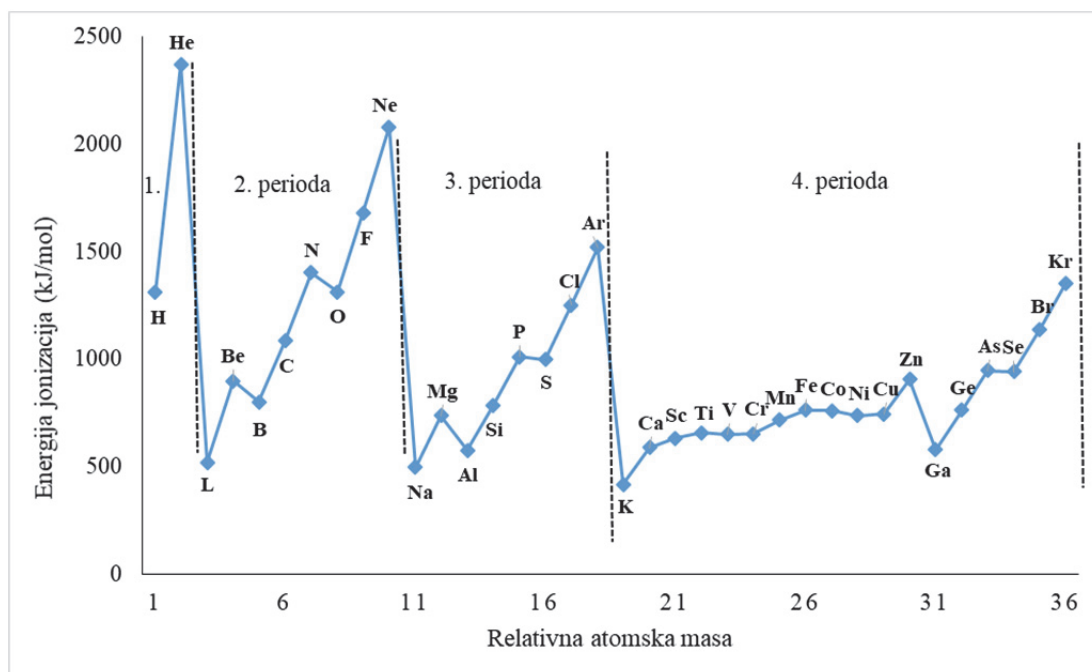
Prilog 1. Atomi radijusi elemenata u periodnom sistemu<sup>9</sup>

|   | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | 8         | 9         | 10        | 11        | 12        | 13        | 14        | 15        | 16        | 17        | 18        |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | H<br>1    |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           | He<br>31  |
| 2 | Li<br>167 | Be<br>112 |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           | F<br>42   | Ne<br>38  |
| 3 | Na<br>190 | Mg<br>145 |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           | Ar<br>71  |
| 4 | K<br>243  | Ca<br>194 | Sc<br>184 | Ti<br>176 | V<br>171  | Cr<br>166 | Mn<br>161 | Fe<br>156 | Co<br>152 | Ni<br>149 | Cu<br>145 | Zn<br>142 | Ga<br>136 | Ge<br>125 | As<br>114 | Se<br>103 | Br<br>94  | Kr<br>88  |
| 5 | Rb<br>265 | Sr<br>219 | Y<br>212  | Zr<br>206 | Nb<br>198 | Mo<br>190 | Tc<br>183 | Ru<br>178 | Rh<br>173 | Pd<br>169 | Ag<br>165 | Cd<br>155 | In<br>156 | Sn<br>145 | Sb<br>133 | Te<br>123 | I<br>115  | Xe<br>108 |
| 6 | Cs<br>298 | Ba<br>253 | La<br>208 | Hf<br>208 | Ta<br>200 | W<br>193  | Re<br>188 | Os<br>185 | Ir<br>180 | Pt<br>177 | Au<br>174 | Hg<br>171 | Tl<br>156 | Pb<br>154 | Bi<br>143 | Po<br>135 | At<br>127 | Rn<br>120 |

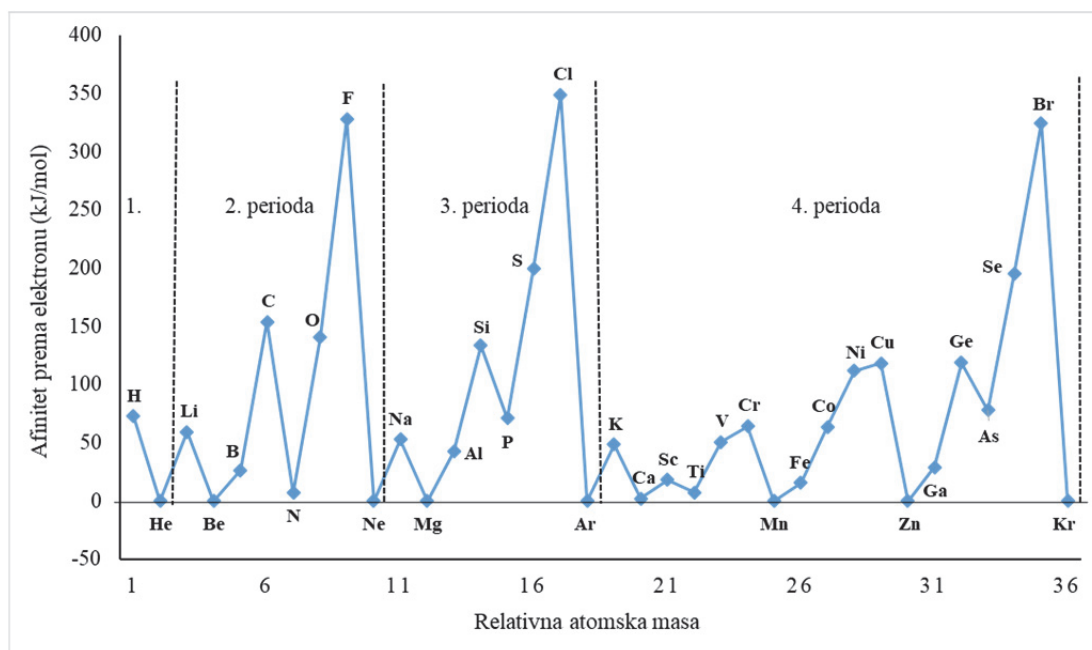
● *Metali*  
 ● *Metaloidi*  
 ● *Nemetali*

<sup>9</sup> Atomi radijusi su izračunati na osnovu teorijskog modela i dati su u pikometrima (Enrico Clement ii sar., 1967)

**Prilog 2. Dijagrami promene zavisnosti energije jonizacije i afiniteta prema elektronu po periodama PSE**



**Dijagram 1.** Promene energije jonizacije po periodama PSE



**Dijagram 2.** Promene afiniteta prema elektronu po periodama PSE

**Prilog 3. Najvažnije konstante izražene jedinicama SI sistema**

| Konstanta                                                | Oznaka                         | Vrednost u SI jedinicama                                                  |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Apsolutna nula temperature                               | 0 K                            | -273,15 °C                                                                |
| Avogadrov broj                                           | $N_A$                          | $6,023 \cdot 10^{23}$ 1/mol                                               |
| Brzina svetlosti u vakuumu                               | $c$                            | $2,998 \cdot 10^8$ m/s                                                    |
| Gasna konstanta                                          | $R$                            | 8,314 J/K·mol                                                             |
| Faradejeva konstanta                                     | $F$                            | $9,649 \cdot 10^4$ C/mol                                                  |
| Gustina vode na 4 °C                                     | $\rho$ (H <sub>2</sub> O) 4 °C | 1000 kg/m <sup>3</sup> (1 g/cm <sup>3</sup> )                             |
| Unificirana jedinica atomske mase                        | $u$                            | $1,66056 \cdot 10^{-27}$ kg                                               |
| Masa elektrona                                           | $m_e$                          | $9,109534 \cdot 10^{-31}$ kg                                              |
| Masa protona                                             | $m_p$                          | $1,67648 \cdot 10^{-27}$ kg                                               |
| Masa neutrona                                            | $m_n$                          | $1,674954 \cdot 10^{-27}$ kg                                              |
| Naelektrisanje elektrona                                 | $e$                            | $1,602 \cdot 10^{-19}$ C                                                  |
| Molarna zapremina (idealnog gasa pod normalnim uslovima) | $V_m$                          | $2,242 \cdot 10^{-2}$ m <sup>3</sup> /mol<br>(22,42 dm <sup>3</sup> /mol) |
| Plankova konstanta                                       | $h$                            | $6,625600 \cdot 10^{-34}$ J·s                                             |

**Prilog 4. Standardne entalpije stvaranja nekih hemijskih jedinjenja**

| Naziv supstance       | Hemijska formula i agregatno stanje | Entalpije stvaranja $\Delta_f H^\circ$ (298) kJ/mol |
|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Aluminijum(III)-oksid | $Al_2O_3(g)$                        | -1670,0                                             |
| Amonijak              | $NH_3(g)$                           | -49,2                                               |
| Amonijak              | $NH_3(aq)$                          | -80,8                                               |
| Azot(II)-oksid        | $NO(g)$                             | 90,5                                                |
| Azot(IV)-oksid        | $NO_2(g)$                           | 33,9                                                |
| Bakar(II)-oksid       | $CuO(s)$                            | -155,1                                              |
| Benzol                | $C_6H_6(l)$                         | 49,0                                                |
| Benzol                | $C_6H_6(g)$                         | 82,9                                                |
| Butan                 | $C_4H_{10}(g)$                      | -138,4                                              |
| Etan                  | $C_2H_6(g)$                         | -84,7                                               |
| Etanol                | $C_2H_5OH(g)$                       | -235,2                                              |
| Etanol                | $C_2H_5OH(l)$                       | -277,6                                              |
| Eten                  | $C_2H_4(g)$                         | 52,3                                                |
| Etin                  | $C_2H_2(g)$                         | 226,7                                               |
| Gvožđe(III)-oksid     | $Fe_2O_3(s)$                        | -822,2                                              |
| Hlorovodonik          | $HCl(g)$                            | -92,2                                               |
| Hidrazin              | $N_2H_4(l)$                         | 50,2                                                |
| Jodovodonik           | $HI(g)$                             | 25,9                                                |
| Kalcijum-oksid        | $CaO(s)$                            | -636,0                                              |
| Kalijum-hlorat        | $KClO_3(s)$                         | -391,2                                              |
| Kalijum-hlorid        | $KCl(s)$                            | -436,0                                              |
| Metan                 | $CH_4(g)$                           | -74,8                                               |
| Metanol               | $CH_3OH(g)$                         | -201,2                                              |
| Metanol               | $CH_3OH(l)$                         | -238,6                                              |
| Natrijum-oksid        | $Na_2O(s)$                          | -416,0                                              |
| Pirit                 | $FeS_2(s)$                          | -177,9                                              |
| Propan                | $C_3H_8(g)$                         | -187,7                                              |
| Sumpor(IV)-oksid      | $SO_2(g)$                           | -297,1                                              |
| Sumpor(VI)-oksid      | $SO_3(g)$                           | -395,8                                              |
| Ugljenik(II)-oksid    | $CO(g)$                             | -110,9                                              |
| Ugljenik(IV)-oksid    | $CO_2(g)$                           | -393,5                                              |
| Ugljenik(IV)-oksid    | $CO_2(aq)$                          | -412,8                                              |
| Urea                  | $NH_2CONH_2(aq)$                    | -319,2                                              |
| Voda                  | $H_2O(l)$                           | -285,8                                              |
| Voda                  | $H_2O(g)$                           | -241,8                                              |
| Vodonikperoksid       | $H_2O_2(l)$                         | -187,0                                              |

**Prilog 5. Pregled proizvoda rastvorljivosti (*P*) nekih jedinjenja na 25 °C**

| Formula jedinjenja                              | Proizvod rastvorljivosti | Formula jedinjenja                | Proizvod rastvorljivosti | Formula jedinjenja              | Proizvod rastvorljivosti |
|-------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Pb <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 1 x 10 <sup>-54</sup>    | Fe(OH) <sub>2</sub>               | 1,8 x 10 <sup>-15</sup>  | ZnCO <sub>3</sub>               | 2 x 10 <sup>-10</sup>    |
| HgS                                             | 4 x 10 <sup>-53</sup>    | PbCO <sub>3</sub>                 | 1,5 x 10 <sup>-15</sup>  | AgCl                            | 1,7 x 10 <sup>-10</sup>  |
| Ag <sub>2</sub> S                               | 1,6 x 10 <sup>-49</sup>  | MnS                               | 1,4 x 10 <sup>-15</sup>  | BaSO <sub>4</sub>               | 1,1 x 10 <sup>-10</sup>  |
| CuS                                             | 8,5 x 10 <sup>-45</sup>  | Mn(OH) <sub>2</sub>               | 4 x 10 <sup>-14</sup>    | BaCO <sub>3</sub>               | 8,1 x 10 <sup>-9</sup>   |
| Ba <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 6 x 10 <sup>-39</sup>    | Zn(OH) <sub>2</sub>               | 1,8 x 10 <sup>-14</sup>  | CaCO <sub>3</sub>               | 4,8 x 10 <sup>-9</sup>   |
| Fe(OH) <sub>3</sub>                             | 4 x 10 <sup>-38</sup>    | PbCrO <sub>4</sub>                | 1,8 x 10 <sup>-14</sup>  | CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | 2,6 x 10 <sup>-9</sup>   |
| Al(OH) <sub>3</sub>                             | 2 x 10 <sup>-32</sup>    | AgBr                              | 5,3 x 10 <sup>-13</sup>  | SrCO <sub>3</sub>               | 1,6 x 10 <sup>-9</sup>   |
| Cr(OH) <sub>3</sub>                             | 6,3 x 10 <sup>-31</sup>  | MgNH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub> | 2,5 x 10 <sup>-13</sup>  | MgF <sub>2</sub>                | 8 x 10 <sup>-8</sup>     |
| CdS                                             | 3,6 x 10 <sup>-29</sup>  | Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>   | 8,2 x 10 <sup>-12</sup>  | SrC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | 5,6 x 10 <sup>-8</sup>   |
| Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 2 x 10 <sup>-29</sup>    | CuI                               | 5 x 10 <sup>-12</sup>    | PbF <sub>2</sub>                | 4 x 10 <sup>-8</sup>     |
| PbS                                             | 4,2 x 10 <sup>-28</sup>  | Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>  | 1,1 x 10 <sup>-12</sup>  | AgOH                            | 2 x 10 <sup>-8</sup>     |
| Sn(OH) <sub>2</sub>                             | 3 x 10 <sup>-27</sup>    | AgSCN                             | 1,1 x 10 <sup>-12</sup>  | PbSO <sub>4</sub>               | 1,6 x 10 <sup>-8</sup>   |
| CoS                                             | 2 x 10 <sup>-25</sup>    | MnCO <sub>3</sub>                 | 8,8 x 10 <sup>-11</sup>  | SrSO <sub>4</sub>               | 2,8 x 10 <sup>-7</sup>   |
| ZnS                                             | 4,5 x 10 <sup>-24</sup>  | CaF <sub>2</sub>                  | 4 x 10 <sup>-11</sup>    | BaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | 2,4 x 10 <sup>-7</sup>   |
| NiS                                             | 1,4 x 10 <sup>-24</sup>  | Mg(OH) <sub>2</sub>               | 3,4 x 10 <sup>-11</sup>  | Ca(OH) <sub>2</sub>             | 5,5 x 10 <sup>-6</sup>   |
| FeS                                             | 3,7 x 10 <sup>-19</sup>  | PbC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>   | 3,3 x 10 <sup>-11</sup>  | BaF <sub>2</sub>                | 2,4 x 10 <sup>-6</sup>   |
| Cu(OH) <sub>2</sub>                             | 1,6 x 10 <sup>-19</sup>  | FeCO <sub>3</sub>                 | 2,1 x 10 <sup>-11</sup>  | MgC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | 8,6 x 10 <sup>-5</sup>   |
| Ag <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>                 | 1,8 x 10 <sup>-18</sup>  | CuSCN                             | 1,6 x 10 <sup>-11</sup>  | Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 7,7 x 10 <sup>-5</sup>   |
| Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>                 | 1,3 x 10 <sup>-18</sup>  | SrF <sub>2</sub>                  | 7,9 x 10 <sup>-10</sup>  | CaSO <sub>4</sub>               | 6,1 x 10 <sup>-5</sup>   |
| Pb(OH) <sub>2</sub>                             | 4,6 x 10 <sup>-16</sup>  | CuCO <sub>3</sub>                 | 2,5 x 10 <sup>-10</sup>  | MgCO <sub>3</sub>               | 2,6 x 10 <sup>-5</sup>   |
| AgI                                             | 1 x 10 <sup>-16</sup>    | BaCrO <sub>4</sub>                | 2,4 x 10 <sup>-10</sup>  | PbCl <sub>2</sub>               | 1,6 x 10 <sup>-5</sup>   |

**Prilog 6. Pregled konstanti disocijacije kiselina *K<sub>a</sub>* i slabih baza *K<sub>b</sub>***

| Kiseline        | Formula                                      | <i>K<sub>a</sub></i>    | Kiseline         | Formula                                       | <i>K<sub>a</sub></i>    |
|-----------------|----------------------------------------------|-------------------------|------------------|-----------------------------------------------|-------------------------|
| Perhlorna       | HClO <sub>4</sub>                            | ~10 <sup>10</sup>       | Sirćetna         | CH <sub>3</sub> COOH                          | 1,76 x 10 <sup>-5</sup> |
| Hlorovodonična  | HCl                                          | ~10 <sup>7</sup>        | Ugljena          | H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                | 4,3 x 10 <sup>-7</sup>  |
| Sumporna        | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>               | ~10 <sup>3</sup>        |                  | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                 | 4,7 x 10 <sup>-11</sup> |
| Azotna          | HNO <sub>3</sub>                             | 25                      | Sumporvodonična  | H <sub>2</sub> S                              | 8,5 x 10 <sup>-8</sup>  |
| Trihlorsirćetna | CCl <sub>3</sub> COOH                        | 2 x 10 <sup>-2</sup>    |                  | HS <sup>-</sup>                               | 1,2 x 10 <sup>-13</sup> |
| Oksalna         | H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | 5,6 x 10 <sup>-2</sup>  | Borna            | H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                | 5,8 x 10 <sup>-10</sup> |
|                 | HC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>-</sup>  | 5,4 x 10 <sup>-5</sup>  | Cijanovodonična  | HCN                                           | 6,2 x 10 <sup>-10</sup> |
| Sumporasta      | H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>               | 1,7 x 10 <sup>-2</sup>  | Vodonik peroksid | H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>                 | 2,4 x 10 <sup>-12</sup> |
|                 | HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                | 6,2 x 10 <sup>-8</sup>  | <b>Baze</b>      |                                               |                         |
| Fosforna        | H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>               | 7,5 x 10 <sup>-3</sup>  | Dimetilamin      | (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NH            | 7,4 x 10 <sup>-4</sup>  |
|                 | H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>  | 6,2 x 10 <sup>-8</sup>  | Etilamin         | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub> | 4,6 x 10 <sup>-4</sup>  |
|                 | HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>               | 4,0 x 10 <sup>-13</sup> | Metilamin        | CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>               | 4,4 x 10 <sup>-4</sup>  |
| Fluorovodonična | HF                                           | 5,6 x 10 <sup>-4</sup>  | Amonijak         | NH <sub>3</sub>                               | 1,8 x 10 <sup>-5</sup>  |
| Azotasta        | HNO <sub>2</sub>                             | 5,1 x 10 <sup>-4</sup>  | Hidroksilamin    | NH <sub>2</sub> OH                            | 9,6 x 10 <sup>-9</sup>  |
| Mravlja         | HCOOH                                        | 1,8 x 10 <sup>-4</sup>  | Piridin          | C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> N               | 1,5 x 10 <sup>-9</sup>  |
| Benzoeva        | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COOH           | 6,46 x 10 <sup>-5</sup> | Anilin           | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub> | 4,2 x 10 <sup>-10</sup> |

**Prilog 7. Standardni redoks potencijali nekih redoks sistema**

| Polureakcija redukcije                                                                        | $E^{\circ}(\text{V})$ |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| $\text{Li}^{+} + \text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Li}$                                   | -3,03                 |
| $\text{K}^{+} + \text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{K}$                                     | -2,92                 |
| $\text{Ba}^{2+} + \text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Ba}$                                  | -2,90                 |
| $\text{Sr}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Sr}$                                 | -2,89                 |
| $\text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Ca}$                                 | -2,87                 |
| $\text{Na}^{+} + \text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Na}$                                   | -2,71                 |
| $\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Mg}$                                 | -2,37                 |
| $\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Al}$                                 | -1,66                 |
| $\text{Mn}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Mn}$                                 | -1,19                 |
| $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{H}_2 + 2\text{OH}^{-}$          | -0,83                 |
| $\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Zn}$                                 | -0,76                 |
| $\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Cr}$                                 | -0,74                 |
| $\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Fe}$                                 | -0,44                 |
| $\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Cd}$                                 | -0,40                 |
| $\text{Co}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Co}$                                 | -0,28                 |
| $\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Sn}$                                 | -0,14                 |
| $\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Pb}$                                 | -0,13                 |
| $2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{H}_2$                                 | 0,00                  |
| $\text{Sn}^{4+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+}$                            | 0,13                  |
| $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Cu}$                                 | +0,34                 |
| $\text{I}_2 + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons 2\text{I}^{-}$                                 | +0,62                 |
| $\text{Fe}^{3+} + \text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$                             | +0,77                 |
| $\text{Ag}^{+} + \text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Ag}$                                   | +0,80                 |
| $\text{Br}_2 + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons 2\text{Br}^{-}$                               | +1,09                 |
| $\text{O}_2 + 4\text{e}^{-} + 2\text{H}^{+} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_2$          | +1,23                 |
| $\text{Cl}_2 + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons 2\text{Cl}^{-}$                               | +1,36                 |
| $\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Au}$                                 | +1,50                 |
| $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$ | +1,77                 |
| $\text{Co}^{3+} + \text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Co}^{2+}$                             | +1,84                 |
| $\text{F}_2 + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons 2\text{F}^{-}$                                 | +2,87                 |

**Prilog 8. Trivijalni nazivi i primena pojedinih jedinjenja u poljoprivredi, tehnici i svakodnevnom životu**

| Formula                                                           | Hemijski naziv (IUPAC)        | Trivijalni naziv                     | Upotreba                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| HCl                                                               | hlorovodonična kiselina       | sona kiselina                        | za čišćenje u domaćinstvima, u metalnoj industriji                              |
| H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>                                     | vodonik-peroksid              | hidrogen                             | dezinfekcija, ispiranje rana                                                    |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                                    | sumporna kiselina             | vitriol, vitriolno ulje              | u proizvodnji veštačkih đubriva                                                 |
| KNO <sub>3</sub>                                                  | kalijum-nitrat                | šalitra                              | veštačko đubrivo, konzervisanje hrane (E252), proizvodnja baruta                |
| NaNO <sub>3</sub>                                                 | natrijum-nitrat               | čilska šalitra                       | veštačko đubrivo                                                                |
| NaOH                                                              | natrijum-hidroksid            | masna (živa, kamena, kaustična) soda | proizvodnja sapuna, za čišćenje u domaćinstvima                                 |
| NaClO                                                             | natrijum-hipohlorit           | varikina                             | izbeljivanje, dezinfekcija vode                                                 |
| NaHCO <sub>3</sub>                                                | natrijum-hidrogenkarbonat     | soda bikarbona                       | sredstvo za narastanje testa                                                    |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                                   | natrijum-karbonat             | soda                                 | prehrambeni aditiv (E500), proizvodnja sapuna, stakla, papira, boja             |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> • 10H <sub>2</sub> O              | natrijum-sulfat dekahidrat    | Glauberova so                        | proizvodnja deterdženata, papira, u medicini kao laksativ                       |
| MgSO <sub>4</sub> • 7H <sub>2</sub> O                             | magnezijum-sulfat heptahidrat | gorka so, epsomit                    | veštačko đubrivo, u medicini kao laksativ i bronhodilatator                     |
| CaSO <sub>4</sub> • 2H <sub>2</sub> O                             | kalcijum-sulfat dihidrat      | gips                                 | u građevinarstvu                                                                |
| CaO                                                               | kalcijum-oksidi               | živi (negašeni) kreč                 | u građevinarstvu                                                                |
| Ca(OH) <sub>2</sub>                                               | kalcijum-hidroksid            | gašeni kreč                          | u građevinarstvu                                                                |
| CaCO <sub>3</sub>                                                 | kalcijum-karbonat             | krečnjak, kreda, kalcit, mermer      | antacid, neutralizacija kiselih zemljišta, u građevinarstvu                     |
| KMnO <sub>4</sub>                                                 | kalijum-permanganat           | hipermangan                          | baktericid, ublažavanje ekcema i čišćenje rana                                  |
| CuSO <sub>4</sub> • 5H <sub>2</sub> O                             | bakar(II)-sulfat pentahidrat  | plavi kamen, plava galica            | fungicid                                                                        |
| FeSO <sub>4</sub> • 7H <sub>2</sub> O                             | gvožđe(II)-sulfat heptahidrat | zelena galica, zeleni vitriol        | u veterinarskoj medicini kao adstringens, dodatak stočnoj hrani                 |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | amonijum-gvožđe(II)-sulfat    | Morova so                            | reagens u analitičkoj laboratoriji, kod redoks titracija-izvor Fe <sup>2+</sup> |
| ZnSO <sub>4</sub> • 7H <sub>2</sub> O                             | cink-sulfat heptahidrat       | bela galica, beli vitriol, golosarit | dezinficijens, antiseptik, emetik                                               |
| NH <sub>4</sub> Cl                                                | amonijum-hlorid               | nišador                              | lek za kašalj, dodatak stočnoj hrani                                            |

### Prilog 9. Osobine važnijih organskih rastvarača

| Rastvarač                | Formula                                       | Molarna masa (g/mol) | Tačka ključanja (t <sub>k</sub> , °C) | Tačka topljenja (t <sub>p</sub> , °C) | Tačka paljenja (t <sub>p</sub> , °C) | Gustina (ρ, g/ml) | Toksičnost (ppm) | Napomena                           |
|--------------------------|-----------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|------------------|------------------------------------|
| Aceton                   | CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>             | 58,1                 | 56,2                                  | -95,3                                 | -30                                  | 0,790             | 1000             | zapaljiv                           |
| Acetonitril              | CH <sub>3</sub> CN                            | 41,1                 | 81,6                                  | -45,2                                 | 5                                    | 0,786             | 40               | zapaljiv, suzavac                  |
| Benzen                   | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>                 | 78,1                 | 80,1                                  | 5,5                                   | -11                                  | 0,874             | 8                | karcinogen, zapaljiv               |
| 1-Butanol                | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O              | 74,1                 | 117,3                                 | -89,5                                 | 35                                   | 0,810             | 100              | zapaljiv, iritant                  |
| 2-Butanol                | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O              | 74,1                 | 99,5                                  | -114,7                                | 26                                   | 0,808             | 100              | zapaljiv, iritant                  |
| Cikloheksan              | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>                | 84,0                 | 80,7                                  | 6,6                                   | -18                                  | 0,779             | 300              | zapaljiv, iritant                  |
| Dietil-etar              | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O              | 74,1                 | 34,5                                  | -116,2                                | -40                                  | 0,714             | 400              | zapaljiv, iritant, gradi perokside |
| 1,2-Dihloretan           | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> | 99,0                 | 83,5                                  | -35,4                                 | 15                                   | 1,235             | 20               | karcinogen, zapaljiv               |
| Dihlormetan              | CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>               | 85,0                 | 39,8                                  | -95,1                                 | -                                    | 1,327             | 200              | otrovan, zapaljiv                  |
| Dimetilsulfoksid (DMSO)  | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> OS              | 78,1                 | 189,0                                 | 19,0                                  | 89                                   | 1,100             | 200              | iritant, zapaljiv                  |
| Etanol                   | CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH            | 46,0                 | 78,5                                  | -117,3                                | 8                                    | 0,789             | 1000             | zapaljiv, otrovan                  |
| Etil-acetat              | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>  | 88,1                 | 77,1                                  | -83,6                                 | -3                                   | 0,900             | 400              | zapaljiv, iritant                  |
| Heksan                   | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>                | 86,2                 | 69,0                                  | -95,0                                 | -23                                  | 0,660             | 50               | zapaljiv, iritant, otrovan         |
| Heptan                   | C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>                | 100,2                | 98,4                                  | -90,5                                 | -4                                   | 0,680             | 85               | zapaljiv, štetan                   |
| Hloroform                | CHCl <sub>3</sub>                             | 119,4                | 61,7                                  | -63,5                                 | -                                    | 1,483             | 10               | karcinogen, osjetljiv na svetlost  |
| Metanol                  | CH <sub>3</sub> OH                            | 32,0                 | 65,0                                  | -93,9                                 | 11                                   | 0,791             | 200              | zapaljiv, otrovan                  |
| Pentan                   | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>                | 72,1                 | 36,1                                  | -129,7                                | -49                                  | 0,626             | 600              | zapaljiv                           |
| Piridin                  | C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> N               | 79,1                 | 115,5                                 | -41,6                                 | 20                                   | 0,982             | 5                | zapaljiv, iritant                  |
| 1-Propanol               | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O               | 60,1                 | 97,4                                  | -126,5                                | 15                                   | 0,804             | 200              | zapaljiv, iritant                  |
| 2-Propanol (izopropanol) | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O               | 60,1                 | 82,4                                  | -89,5                                 | 22                                   | 0,786             | 400              | zapaljiv, iritant                  |
| Sirćetna kiselina        | CH <sub>3</sub> COOH                          | 60,0                 | 117,9                                 | 16,6                                  | -                                    | 1,049             | 10               | korozivna                          |
| Toluen                   | C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>                 | 92,2                 | 110,6                                 | -95,0                                 | 4                                    | 0,867             | 200              | zapaljiv, iritant                  |
| Ugljen-tetrahlorid       | CCl <sub>4</sub>                              | 153,8                | 76,5                                  | -22,9                                 | -                                    | 1,594             | 10               | karcinogen, veoma toksičan         |

# PERIODNI SISTEM ELEMENATA

<http://www.periodni.com>

|  |  |           |  |            |  |            |  |               |  |           |  |            |  |           |  |           |  |             |  |              |  |             |  |              |  |            |  |            |  |              |  |              |  |              |  |             |  |
|--|--|-----------|--|------------|--|------------|--|---------------|--|-----------|--|------------|--|-----------|--|-----------|--|-------------|--|--------------|--|-------------|--|--------------|--|------------|--|------------|--|--------------|--|--------------|--|--------------|--|-------------|--|
|  |  | GRUPA     |  |            |  |            |  |               |  |           |  |            |  |           |  |           |  | 18 VIIIA    |  |              |  |             |  |              |  |            |  |            |  |              |  |              |  |              |  |             |  |
|  |  | 1 IA      |  |            |  |            |  |               |  |           |  |            |  |           |  |           |  | 2 VIIA      |  |              |  |             |  |              |  |            |  |            |  |              |  |              |  |              |  |             |  |
|  |  | 1 1.0079  |  |            |  |            |  |               |  |           |  |            |  |           |  |           |  | 2 4.0026    |  |              |  |             |  |              |  |            |  |            |  |              |  |              |  |              |  |             |  |
|  |  | H         |  |            |  |            |  |               |  |           |  |            |  |           |  |           |  | He          |  |              |  |             |  |              |  |            |  |            |  |              |  |              |  |              |  |             |  |
|  |  | VODONIK   |  |            |  |            |  |               |  |           |  |            |  |           |  |           |  | HELIJUM     |  |              |  |             |  |              |  |            |  |            |  |              |  |              |  |              |  |             |  |
|  |  | 2 IIA     |  |            |  |            |  |               |  |           |  |            |  |           |  |           |  |             |  |              |  |             |  |              |  |            |  |            |  |              |  |              |  |              |  |             |  |
|  |  | 3 6.941   |  | 4 9.0122   |  |            |  |               |  |           |  |            |  |           |  |           |  |             |  |              |  |             |  |              |  |            |  |            |  |              |  |              |  |              |  |             |  |
|  |  | Li        |  | Be         |  |            |  |               |  |           |  |            |  |           |  |           |  |             |  |              |  |             |  |              |  |            |  |            |  |              |  |              |  |              |  |             |  |
|  |  | LITIJUM   |  | BERILIJUM  |  |            |  |               |  |           |  |            |  |           |  |           |  |             |  |              |  |             |  |              |  |            |  |            |  |              |  |              |  |              |  |             |  |
|  |  | 11 22.990 |  | 12 24.305  |  |            |  |               |  |           |  |            |  |           |  |           |  |             |  |              |  |             |  |              |  |            |  |            |  |              |  |              |  |              |  |             |  |
|  |  | Na        |  | Mg         |  |            |  |               |  |           |  |            |  |           |  |           |  |             |  |              |  |             |  |              |  |            |  |            |  |              |  |              |  |              |  |             |  |
|  |  | NATRIJUM  |  | MAGNEZIJUM |  |            |  |               |  |           |  |            |  |           |  |           |  |             |  |              |  |             |  |              |  |            |  |            |  |              |  |              |  |              |  |             |  |
|  |  | 3 IIIB    |  | 4 IVB      |  | 5 VB       |  | 6 VIB         |  | 7 VIIB    |  | 8          |  | 9 VIIIB   |  | 10        |  | 11 IB       |  | 12 IIB       |  | 13 IIIA     |  | 14 IVA       |  | 15 VA      |  | 16 VIA     |  | 17 VIIA      |  | 18 VIIIA     |  |              |  |             |  |
|  |  | 19 39.098 |  | 20 40.078  |  | 21 44.956  |  | 22 47.867     |  | 23 50.942 |  | 24 51.996  |  | 25 54.938 |  | 26 55.845 |  | 27 58.933   |  | 28 58.693    |  | 29 63.546   |  | 30 65.38     |  | 31 69.723  |  | 32 72.64   |  | 33 74.922    |  | 34 78.96     |  | 35 79.904    |  | 36 83.798   |  |
|  |  | K         |  | Ca         |  | Sc         |  | Ti            |  | V         |  | Cr         |  | Mn        |  | Fe        |  | Co          |  | Ni           |  | Cu          |  | Zn           |  | Ga         |  | Ge         |  | As           |  | Se           |  | Br           |  | Kr          |  |
|  |  | KALIJUM   |  | KALCIJUM   |  | SKANDIJUM  |  | TITAN         |  | VANADIJUM |  | HROM       |  | MANGAN    |  | GVOŽĐE    |  | KOBALT      |  | NIKAL        |  | BAKAR       |  | CINK         |  | GALIJUM    |  | GERMANIJUM |  | ARSEN        |  | SELEN        |  | BROM         |  | KRIPTON     |  |
|  |  | 37 85.468 |  | 38 87.62   |  | 39 88.906  |  | 40 91.224     |  | 41 92.906 |  | 42 95.96   |  | 43 (98)   |  | 44 101.07 |  | 45 102.91   |  | 46 106.42    |  | 47 107.87   |  | 48 112.41    |  | 49 114.82  |  | 50 118.71  |  | 51 121.76    |  | 52 127.60    |  | 53 126.90    |  | 54 131.29   |  |
|  |  | Rb        |  | Sr         |  | Y          |  | Zr            |  | Nb        |  | Mo         |  | Tc        |  | Ru        |  | Rh          |  | Pd           |  | Ag          |  | Cd           |  | In         |  | Sn         |  | Sb           |  | Te           |  | I            |  | Xe          |  |
|  |  | RUBIDIJUM |  | STRONCIJUM |  | ITRIJUM    |  | CIRKONIJUM    |  | NIOBIJUM  |  | MOLIBDEN   |  | TEHNIJUM  |  | RUTENIJUM |  | RODIJUM     |  | PALADIJUM    |  | SREBRO      |  | KADMIJUM     |  | INDIJUM    |  | KALAJ      |  | ANTIMON      |  | TELUR        |  | JOD          |  | KSENON      |  |
|  |  | 55 132.91 |  | 56 137.33  |  | 57-71      |  | 72 178.49     |  | 73 180.95 |  | 74 183.84  |  | 75 186.21 |  | 76 190.23 |  | 77 192.22   |  | 78 195.08    |  | 79 196.97   |  | 80 200.59    |  | 81 204.38  |  | 82 207.2   |  | 83 208.98    |  | 84 (209)     |  | 85 (210)     |  | 86 (222)    |  |
|  |  | Cs        |  | Ba         |  | La-Lu      |  | Hf            |  | Ta        |  | W          |  | Re        |  | Os        |  | Ir          |  | Pt           |  | Au          |  | Hg           |  | Tl         |  | Pb         |  | Bi           |  | Po           |  | At           |  | Rn          |  |
|  |  | CEZIJUM   |  | BARIJUM    |  | Lantanoidi |  | HAFNIJUM      |  | TANTAL    |  | VOLFRAM    |  | RENIJUM   |  | OSMIJUM   |  | IRIDIJUM    |  | PLATINA      |  | ZLATO       |  | ŽIVA         |  | TALIJUM    |  | OLOVO      |  | BIZMUT       |  | POLONIJUM    |  | ASTAT        |  | RADON       |  |
|  |  | 87 (223)  |  | 88 (226)   |  | 89-103     |  | 104 (267)     |  | 105 (268) |  | 106 (271)  |  | 107 (272) |  | 108 (277) |  | 109 (276)   |  | 110 (281)    |  | 111 (280)   |  | 112 (285)    |  | 113 (...)  |  | 114 (287)  |  | 115 (...)    |  | 116 (291)    |  | 117 (...)    |  | 118 (...)   |  |
|  |  | Fr        |  | Ra         |  | Ac-Lr      |  | Rf            |  | Db        |  | Sg         |  | Bh        |  | Hs        |  | Mt          |  | Ds           |  | Rg          |  | Cn           |  | Uut        |  | Fl         |  | Uup          |  | Lv           |  | Uus          |  | Uuo         |  |
|  |  | FRANCIJUM |  | RADIJUM    |  | Aktinoidi  |  | RATERFORDIJUM |  | DUBNIJUM  |  | SIBORGIJUM |  | BORIJUM   |  | HASIJUM   |  | MAJTNERIJUM |  | DARMŠTATIJUM |  | RENDGENIJUM |  | KOPERNICIJUM |  | UNUNTRIJUM |  | FLEROVIJUM |  | UNUNPENTIJUM |  | LIVERMORIJUM |  | UNUNSEPTIJUM |  | UNUNOKTIJUM |  |

GRUPA  
IUPAC PREPORUKA  
(1985)

GRUPA  
CHEMICAL ABSTRACT SERVICE  
(1986)

ATOMSKI BROJ

SIMBOL

RELATIVNA ATOMSKA MASA (1)

NAZIV ELEMENTA

PERIODA

1

2

3

4

5

6

7

<http://www.periodni.com>

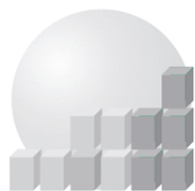
## LANTANOIDI

|           |           |             |           |            |           |           |             |           |             |           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|-------------|-----------|------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 57 138.91 | 58 140.12 | 59 140.91   | 60 144.24 | 61 (145)   | 62 150.36 | 63 151.96 | 64 157.25   | 65 158.93 | 66 162.50   | 67 164.93 | 68 167.26 | 69 168.93 | 70 173.05 | 71 174.97 |
| <b>La</b> | <b>Ce</b> | <b>Pr</b>   | <b>Nd</b> | <b>Pm</b>  | <b>Sm</b> | <b>Eu</b> | <b>Gd</b>   | <b>Tb</b> | <b>Dy</b>   | <b>Ho</b> | <b>Er</b> | <b>Tm</b> | <b>Yb</b> | <b>Lu</b> |
| LANTAN    | CERIJUM   | PRAZEODIJUM | NEODIJUM  | PROMETIJUM | SAMARIJUM | EUROPIJUM | GADOLINIJUM | TERBIJUM  | DISPROZIJUM | HOLMIJUM  | ERBIJUM   | TULIJUM   | ITERBIJUM | LUTECIJUM |

## AKTINOIDI

|           |           |               |           |            |            |            |           |            |              |              |           |               |           |             |
|-----------|-----------|---------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|------------|--------------|--------------|-----------|---------------|-----------|-------------|
| 89 (227)  | 90 232.04 | 91 231.04     | 92 238.03 | 93 (237)   | 94 (244)   | 95 (243)   | 96 (247)  | 97 (247)   | 98 (251)     | 99 (252)     | 100 (257) | 101 (258)     | 102 (259) | 103 (262)   |
| <b>Ac</b> | <b>Th</b> | <b>Pa</b>     | <b>U</b>  | <b>Np</b>  | <b>Pu</b>  | <b>Am</b>  | <b>Cm</b> | <b>Bk</b>  | <b>Cf</b>    | <b>Es</b>    | <b>Fm</b> | <b>Md</b>     | <b>No</b> | <b>Lr</b>   |
| AKTINIJUM | TORIJUM   | PROTAKTINIJUM | URAN      | NEPTUNIJUM | PLUTONIJUM | AMERICIJUM | KIRIJUM   | BERKELIJUM | KALIFORNIJUM | AJNSTAJNIJUM | FERMIJUM  | MENDELJEVIJUM | NOBELIJUM | LAVRENCIJUM |

Copyright © 2013 Eni Generali



[www.periodni.com](http://www.periodni.com)

(1) Atomic Weights of the Elements 2007,  
Pure Appl. Chem., 81, No. 11, 2131-2156 (2009)