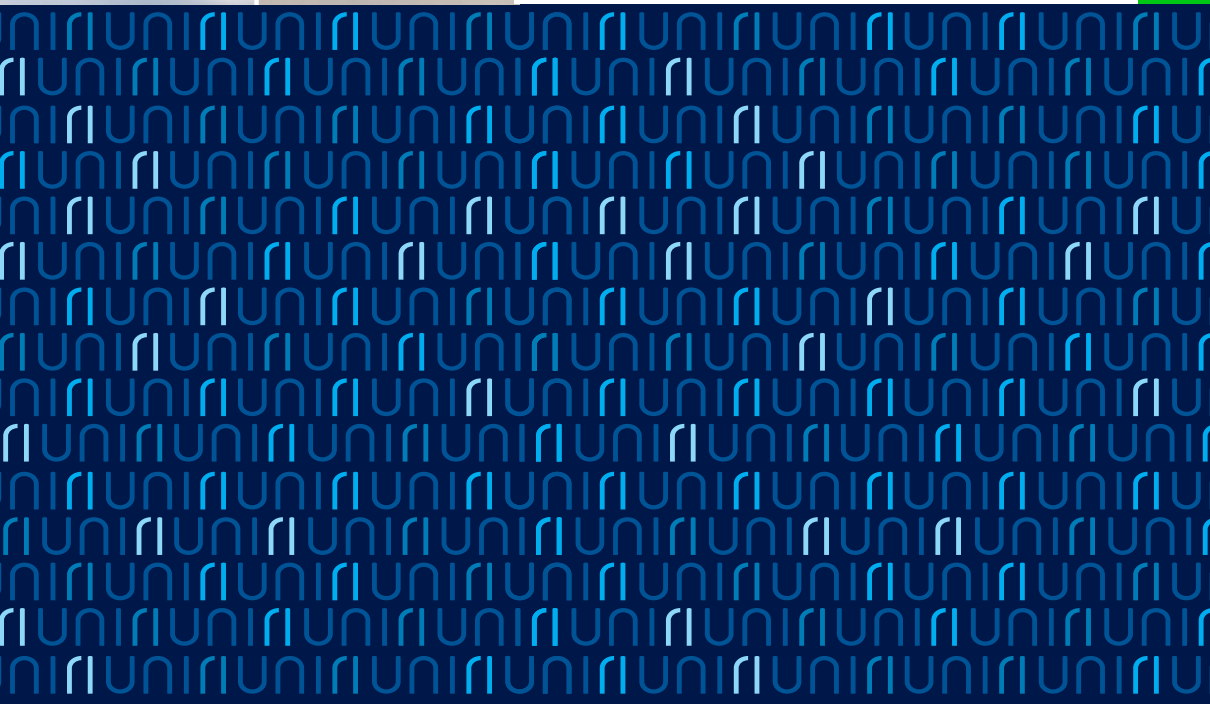


Mladenka Malenica
Sanja Dević Pavlić
Karlo Wittine

Priručnik za praktikum opće kemije



Mladenka Malenica, Sanja Dević Pavlić, Karlo Wittine
PRIRUČNIK ZA PRAKTIKUM OPĆE KEMIJE

Udžbenici Sveučilišta u Rijeci
Manualia Universitatis studiorum Fluminensis

Izdavač

Sveučilište u Rijeci, Odjel za biotehnologiju

Autori

Mladenka Malenica
Sanja Dević Pavlić
Karlo Wittine

Urednica

Mladenka Malenica

Recenzenti rada

Dr. sc. Ante Prkić, izv. prof.
Dr. sc. Svjetlana Krištafor, izv. prof.

Lektura i korektura

Isidora Vujošević

Grafička priprema i prijelom

mag. art. Sanja Jovanović za Centar za elektroničko nakladništvo Sveučilišne knjižnice Rijeka

Mjesec i godina objavljivanja

Studenj, 2020.

UDK

54(076.5)

ISBN 978-953-7720-47-6 (PDF)

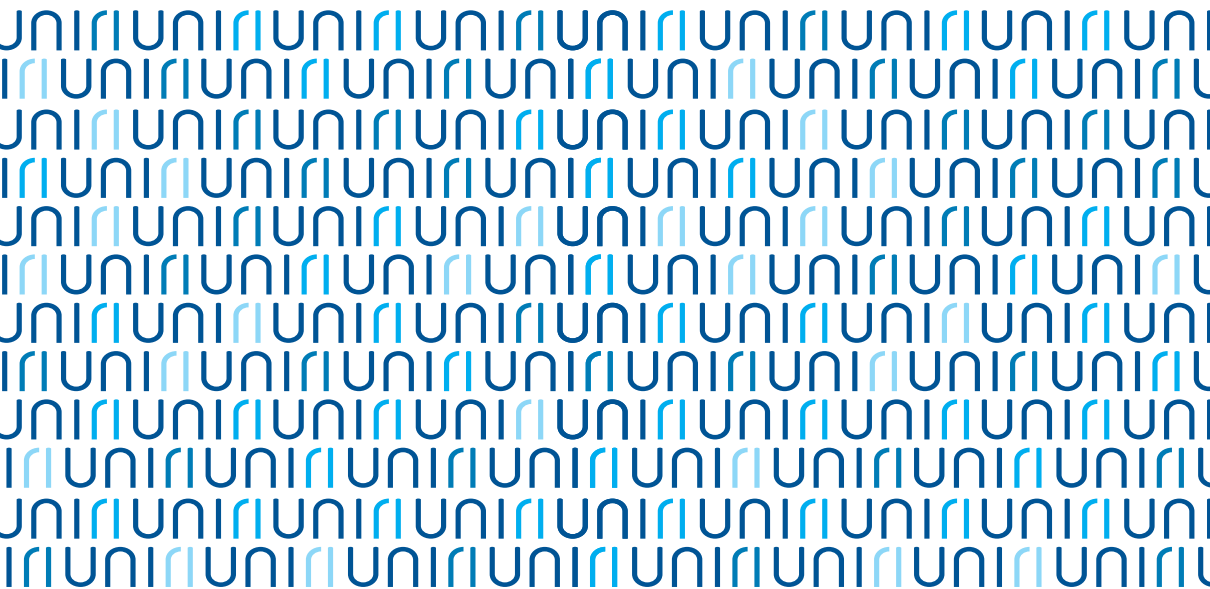
Odlukom Senata Sveučilišta u Rijeci (KLASA: 003-01/20-03/02, URBROJ: 2170-57-01-20-382, od 24. studenoga 2020. godine) ovo se djelo objavljuje kao izdanje Sveučilišta u Rijeci.

Priprema ovog Priručnika omogućena je uz financijsku potporu Zaklade Sveučilišta u Rijeci temeljem Ugovora (Klasa: 612-10/19-01/03, Ur.broj: 2170-57-06-19-3). Mišljenja izražena u ovom Priručniku mišljenja su autora i ne izražavaju nužno stajalište Zaklade Sveučilišta u Rijeci.



Mladenka Malenica
Sanja Dević Pavlić
Karlo Wittine

PRIRUČNIK ZA PRAKTIKUM OPĆE KEMIJE



UVOD

Priručnik za praktikum opće kemije nastao je iz potrebe studenata Biotehnologije i istraživanja lijekova na Sveučilištu u Rijeci za nastavnim materijalom koji bi omogućio lakše usvajanje znanja i stjecanje vještina u izvođenju laboratorijskih vježbi.

Priručnik je pripremljen u skladu s najboljom praksom izrade drugih nastavnih materijala jednake namjene (vidi popis literature na posljednjoj stranici). Na početku se studenti upoznaju s mjerama sigurnog rada u kemijskom laboratoriju te laboratorijskim priborom i postupcima. Nakon toga savladavaju laboratorijske vježbe iz odabranih tema teorijskog gradiva opće kemije s kojim su upoznati na predavanjima i seminarima. Priručnik sadrži 12 laboratorijskih vježbi koje se sastoje od teorijskog uvoda, ciljeva, popisa opreme, pribora i kemikalija potrebnih za izvođenje vježbe, postupka izvođenja te upute za prezentaciju rezultata u obliku skice, izračuna, grafičkog i tabličnog prikaza ili pisanog zaključka. Praktikum započinje pripremom otopina i metodama za razdvajanje pojedinih komponenti iz smjese: destilacijom, filtracijom, vakuum-filtracijom, ekstrakcijom, kromatografijom i kombiniranim metodama razdvajanja višekomponentne smjese, te se postupno stječu potrebne vještine za izvođenje narednih vježbi. Nakon što studenti steknu osnovna znanja i vještine za rad, u kemijskom laboratoriju izvode tematske vježbe: određuju standardni molarni volumen plinova kisika i vodika, entalpiju otapanja soli i reakcije neutralizacije, određuju provodnost elektrolita, sagledavaju kemijsku ravnotežu i Le Châtelierovo načelo kroz niz primjera kemijskih reakcija, upoznaju se sa zakonima kemijske kinetike kroz izračunavanje brzine kemijske reakcije, pripremaju acetatni i fosfatni puferški sustav i određuju kapacitet fosfatnog pufera. Praktikum završava elektrokemijskim procesima u sklopu kojih studenti sklapaju galvanske članke i mjere njihove elektrodne potencijale te provode postupak elektrolitičkog razlaganja vode.

Priručnik služi i kao vodič za pisanje laboratorijskog dnevnika te pomaže kritičkom sagledavanju obrade i prikaza rezultata laboratorijskog rada.

Savladavanje dobre laboratorijske prakse u kemijskom laboratoriju, samostalnost u izvođenju vježbi i razvoj kritičkog mišljenja osnovni je cilj kolegija opće kemije na Odjelu za biotehnologiju pri Sveučilištu u Rijeci, a ovaj priručnik omogućit će studentima lakše ostvarivanje tog cilja.

Zahvaljujem laborantici Azemini Eminović, mag. med. lab. dijagn., za pripremu i sudjelovanje na praktikumu opće kemije.

Zahvaljujem studentima Odjela za biotehnologiju, demonstratorima na kolegiju opće kemije za sugestije za unapređenjem ovog nastavnog materijala.

Mladenka Malenica
Rijeka, 2020.

Sadržaj

1. Pravila i mjere sigurnosti za rad u kemijskom laboratoriju	4
1.1. Postupci za siguran rad u laboratoriju	5
1.2. Rukovanje kemikalijama	6
1.3. Čuvanje i skladištenje kemikalija	7
1.4. Sigurnosno-tehnički listovi (STL) i označavanje štetnih tvari.....	7
1.5. Pružanje prve pomoći ozlijeđenom.....	8
2. Rad u praktikumu opće kemije	11
2.1. Upute za vođenje laboratorijskog dnevnika	11
2.2. Crtanje laboratorijskog pribora, aparatura i postupaka	11
2.3. Pranje i čišćenje laboratorijskog posuđa i pribora	11
3. Laboratorijsko posuđe, pribor i postupci	14
3.1. Laboratorijsko posuđe i pribor	14
3.2. Laboratorijski postupci	17
3.3. Priprema otopine zadanog sastava	23
Vježba 1: Priprema otopine krutine (soli).....	27
Vježba 2: Priprema otopina kiselina i lužina	29
4. Postupci rastavljanja čistih tvari iz smjesa	31
4.1. Rastavljanje heterogenih smjesa	31
4.2. Rastavljanje homogenih smjesa	34
Vježba 3: Filtracija i destilacija.....	38
Vježba 4: Ekstrakcija, kromatografija i razdvajanje više-komponentne smjese	43
5. Plinski zakoni	49
Vježba 5: Molarni volumen plina	52
6. Termokemija	58
Vježba 6: Entalpija otapanja soli i entalpija neutralizacije.....	62
7. Elektroliti	67
Vježba 7: Provodnost otopina elektrolita	70
8. Ravnoteža kemijske reakcije	73
Vježba 8: Ravnotežni sustavi u kemijskim reakcijama i Le Châtelierovo načelo	77
9. Kemijska kinetika	81
Vježba 9: Brzina kemijske reakcije	84
10. Puferski sustavi	89
Vježba 10: Priprema acetatnog i fosfatnog pufera.....	92
Vježba 11: Određivanje kapaciteta fosfatnog pufera	95
11. Elektrokemija	98
Vježba 12: Galvanski članci i elektroliza vode	101
12. Literatura	105
13. Popis kratica i pojmova	106

1. Pravila i mjere sigurnosti za rad u kemijskom laboratoriju

Za uspješan rad u laboratoriju potrebno je pridržavati se osnovnih pravila i napomena koje omogućavaju izvođenje vježbi na siguran način.

U laboratoriju pojedinac ne smije raditi sam jer ako dođe do bilo kakve nezgode, požara, eksplozije, posjekotina ili pak trovanja, nema tko pružiti prijeko potrebnu pomoć.

Za ulazak u laboratorij potrebno je imati (Slika 1.):

- zaštitne naočale
- zaštitni bijeli mantil s dugim rukavima dužine do ispod kukova (kutu)
- zaštitne rukavice (nitrilne)
- duge hlače i zatvorenu obuću.

Slika 1. Zaštitna sredstva za siguran rad u kemijskom laboratoriju



Dodatne mjere za siguran rad u laboratoriju:

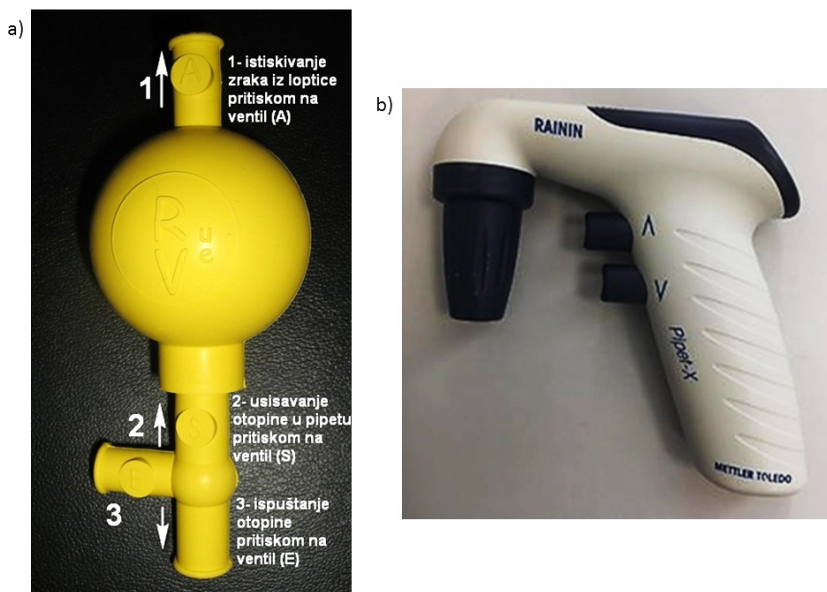
- Duga kosa mora biti svezana zbog upotrebe otvorenog plamena i opasnosti od zapaljenja.
- Zabranjeno je unošenje hrane i pića i njihova konzumacija u laboratoriju.

Prije svake vježbe potrebno je temeljito proučiti upute za izvođenje pojedinog eksperimenta te mjere opreza koje se pri tome moraju poduzeti radi vlastite sigurnosti i sigurnosti ostalih studenata u laboratoriju.

1.1. Postupci za siguran rad u laboratoriju

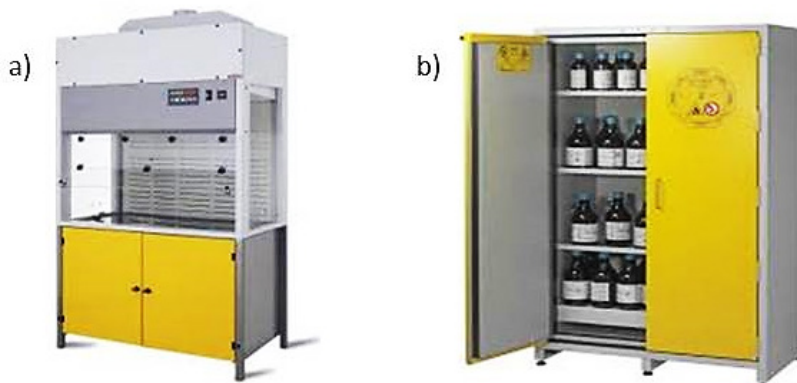
- Tekućine se u pipetu nikada ne usisavaju ustima, nego propipetom ili pipetrom jer se na taj način izbjegava slučajno usisavanje kemikalije u usta te mogućnost zaraze ako kraj pipete nije dobro opran i dezinficiran (Slika 2.).

Slika 2. Propipeta (a) i pipetor (b)



- Pokusi pri kojima se razvijaju otrovni ili štetni plinovi izvode se isključivo u digestoru (Slika 3.a).

Slika 3. Digestor (a) i ormar za čuvanje kemikalija (b)



- Ako je potrebno osjetiti miris neke kemikalije ili plina koji se razvija tijekom pokusa, to se nikada ne čini tako da se nos postavi iznad posude u kojoj se odvija reakcija i udahne punim plućima. Umjesto toga se lagano mahne rukom iznad posude i zrak iznad posude usmjeri prema nosu, nakon čega se kratko udahne.
- Nikada se ne zaviruje u posudu u kojoj se odvija kemijska reakcija ili u kojoj se nešto zagrijava zbog mogućeg prskanja sadržaja posude u lice.
- Pri zagrijavanju epruvete potreban je dodatni oprez kako se otvor epruvete ne bi usmjeravao prema drugim osobama u laboratoriju. Otvor epruvete najbolje je usmjeriti prema zidu.
- Oprez je nužan i kod rukovanja predmetima koji se zagrijavaju. Vrući stakleni predmeti hvataju se preko krpe, a ostali laboratorijskim kliještima. Ako postoji mogućnost da je neki predmet vruć, najprije ga se lagano i kratko dotakne prstima, a tek ga se onda uhvati rukom. Vrući predmeti se ne stavljaju izravno na površinu radnog stola da je ne oštete. Pod njih se podmetne ploča ili mrežica.

1.2. Rukovanje kemikalijama

- Boce za reagense moraju biti propisno označene i zatvorene. Nikada se ne uzimaju reagensi iz neoznačene boce ili boce na kojoj nije moguće jasno pročitati natpis.
- Tekući reagens u boci nikada se ne uzima tako da se izravno u bocu uroni kapalica ili pipeta jer se na taj način može onečistiti otopinu u boci. Umjesto toga tekući reagens se iz boce izlije u pripremljenu čistu i suhu čašu ili epruvetu te se dalje uzima iz te posude.
- Kruti reagensi se iz boce uzimaju čistom i suhom žlicom (žlicu je prije uzimanja reagensa potrebno oprati destiliranom vodom, a potom dobro obrisati, najbolje staničevinom ili komadom čistog papira za filtriranje).
- Nikada se ne otvara više od jedne boce istovremeno. Ako se otvore dvije ili više boca, lako se može dogoditi da se zabunom zamijene njihovi čepovi, čime bi se nepovratno onečistio reagens u boci. Ako se dogodi istovremeno otvaranje više boca, tada sve čepove prije zatvaranja boca obavezno treba oprati destiliranom vodom.
- Čepovi reagens-boca ne odlažu se na radni stol tako da donjim dijelom (koji ulazi u bocu) dodiruju radnu površinu. Na taj se način zagadi čep (a time i reagens u boci), a zaprlja se i radna površina stola. Kad se otvori boca, čep je najbolje zadržati u ruci. Ako ga se

mora odložiti, to se uvijek čini tako da ga se preokrene i gornjim dijelom (koji ne ulazi u reagens-bocu) položi na površinu stola.

- Nakon uporabe, bocu za reagens odmah zatvoriti njenim čepom i vratiti na policu.
- Suvišak reagensa nikada se ne vraća u bocu, već ga se prikuplja u posebnoj posudi za otpadne kemikalije, ili ga se ulijeva u izljev, ako je to dopušteno. Ako se reagens baca u izljev, uvijek se izljev ispere većom količinom vodovodne vode.
- Organska otapala nikada se ne bacaju u izljev, već u pripremljene boce za otpadna otapala. Odvodne i kanalizacijske cijevi načinjene su većinom od plastike (PVC) i organska otapala ih mogu oštetiti.
- Koncentrirane kiseline i lužine se prije bacanja u izljev razrjeđuju s većom količinom vodovodne vode, a nakon bacanja u izljev potrebno je pustiti da voda otječe barem pola minute.

1.3. Čuvanje i skladištenje kemikalija

- Kemikalije se skladište u ormarima za čuvanje kemikalija (Slika 3.b).
- Prilikom skladištenja kemikalija treba voditi računa o njihovim kemijskim svojstvima i međusobnim reakcijama. U istom prostoru ne smiju se čuvati reagensi koji bi mogli međusobno reagirati npr. amonijak i klorovodična kiselina.
- Jaka oksidacijska sredstva kao što su kalijev permanganat, jod, klorati, bikromati, peroksidi i sl. čuvaju se u posebnom prostoru.
- Lako hlapive i lako zapaljive organske tekućine poput etera, acetona, benzena, alkohola i sl. čuvaju se u posebnom prostoru podalje od izvora topline.
- Otrovnost kemikalije čuvaju se u posebnim zaključanim ormarima tako da se njihova upotreba može kontrolirati.
- Reagensi osjetljivi na svjetlost čuvaju se u tamnim bocama na mjestu koje je zaklonjeno od sunčane svjetlosti.

1.4. Sigurnosno-tehnički listovi (STL) i označavanje štetnih tvari

Sigurnosno-tehnički listovi osiguravaju potrebne informacije korisnicima kemikalija u svrhu zaštite ljudskog zdravlja i okoliša. Namijenjeni su

osobama koje rukuju kemikalijama i koje su odgovorne za sigurnost. Oblik i sadržaj STL-ova utvrđeni su u REACH uredbom Europske unije (Uredba EZ br. 1907/2006 Europskog parlamenta i vijeća, 18. prosinca 2006. godine). Sigurnosno-tehnički listovi su podijeljeni u 16 odjeljaka, a njihovo je korištenje (čitanje) i arhiviranje obavezno za kemikalije s kojima se radi. Također je obavezno nošenje sigurnosno-tehničkog lista dotične kemikalije kod liječnika u slučaju potrebe pružanja medicinske pomoći ozlijeđenom.

Opasnosti pri upotrebi opasnih tvari i smjese prikazane su piktoqramima u obliku dijamanta s crvenim obrubom.

Štetne tvari na kemikaliji označene su na deklaraciji koja sadrži:

- jedan ili više piktoqrama opasnosti (Slika 4.) koji trebaju prenijeti određene informacije o opasnosti tvari ili smjese (eksplozivnost, zapaljivost, oksidativnost, nagrizajuće djelovanje, otrovnost, štetnost, nadražujuće djelovanje i dr.)
- odgovarajuće oznake upozorenja (H) i oznake obavijesti (P) u skladu s razvrstavanjem tvari ili smjese
- upute za upotrebu, sredstva osobne zaštite, mjere prve pomoći, mjere gašenja požara i dr.

1.5. Pružanje prve pomoći ozlijeđenom










Pružanje prve pomoći ozlijeđenom ovisi o vrsti zadobivene ozljede. Kiseline i lužine izjedaju kožu i sluznicu, a u dodiru s kožom stvaraju teške opekotine. Njihove pare i magle nadražuju dišne organe i oči (mogu uzrokovati sljepoću), a progutana kiselina ili lužina izaziva teška oštećenja jednjaka, želuca i crijeva.

Prvu pomoć pri ozljedama uzrokovanim kiselinama i lužinama **čine tri temeljna pravila:**

1. Prvu pomoć pružiti što hitnije, sabrano i mirno.
2. Mjesta dodira s kemikalijama odmah isprati velikim volumenom tekuće vode.
3. U tijeku pružanja prve pomoći odmah zadužiti nekoga za pozivanje hitne pomoći.

Koncentrirane kiseline i lužine na koži izazivaju opekotine, stoga ozlijeđeno mjesto treba isprati velikom količinom vode, neutralizirati (opekotinu kiseline s 1-postotnom otopinom natrijeva hidrogenkarbonata, a opekotinu lužine s 1-postotnom otopinom borne kiseline), ponovo isprati vodom, namazati mašću za opekotine, prekriti sterilnom gazom i poviti zavojem.

Slika 4. Razvrstavanje i obilježavanje opasnih tvari i smjesa

GHS01	GHS02	GHS03
		
EKSPLODIRAJUĆA BOMBA	PLAMEN	PLAMEN IZNAD PRSTENA
<ul style="list-style-type: none"> - Nestabilni eksplozivni - Eksplozivni iz odjeljaka 1.1., 1.2., 1.3. i 1.4. - Samoreagirajuće tvari i smjese, tip A i B - Organski peroksidi, tip A i B 	<ul style="list-style-type: none"> - Zapaljivi plinovi, 1. kategorija opasnosti - Zapaljivi aerosoli, 1. i 2. kategorija opasnosti - Zapaljive tekućine, 1., 2. i 3. kategorija opasnosti - Zapaljive krutine, 1. i 2. kategorija opasnosti - Samoreagirajuće tvari i smjese, tip B, C, D, E, F - Piroforne tekućine, 1. kategorija opasnosti - Piroforne krutine, 1. kategorija opasnosti - Samozagrijavajuće tvari i smjese, 1. i 2. kategorija opasnosti - Tvari i smjese koje u dodiru s vodom oslobađaju zapaljive plinove, 1., 2. i 3. kategorija opasnosti - Organski peroksidi, tip B, C, D, E, F 	<ul style="list-style-type: none"> - Oksidirajući plinovi, 1. kategorija opasnosti - Oksidirajuće tekućine, 1., 2. i 3. kategorija opasnosti - Oksidirajuće krutine, 1., 2. i 3. kategorija opasnosti
GHS04	GHS05	GHS06
		
PLINSKA BOCA	NAGRIZANJE	MRTVAČKA GLAVA S PREKRIŽENIM KOSTIMA
<ul style="list-style-type: none"> - Plinovi pod tlakom - Stlačeni plinovi - Ukapljeni plinovi - Ohlađeno-ukapljeni plinovi - Otopljeni plinovi 	<ul style="list-style-type: none"> - Nagrizajuće za kožu, 1.A, 1.B i 1.C kategorija opasnosti - Teška ozljeda oka, 1. kategorija opasnosti - Nagrizajuće za metale, 1. kategorija opasnosti 	<ul style="list-style-type: none"> - Akutna toksičnost (gutanje, preko kože, udisanje), 1., 2. i 3. kategorija opasnosti
GHS07	GHS08	GHS09
		
USKLIČNIK	OPASNOST ZA ZDRAVLJE	OKOLIŠ
<ul style="list-style-type: none"> - Akutna toksičnost (gutanje, preko kože, udisanje), 4. kategorija opasnosti - Nadražujuće za kožu, 2. kategorija opasnosti - Nadražujuće za oko, 2. kategorija opasnosti - Preosjetljivost kože, 1. kategorija opasnosti - Toksičnost za ciljani organ – jednokratna izloženost, 3. kategorija opasnosti - Nadraživanje dišnog sustava - Narkotički učinci 	<ul style="list-style-type: none"> - Preosjetljivost ako se udiše, 1. kategorija opasnosti - Mutageni učinak na zametne stanice, 1.A, 1.B i 2. kategorija opasnosti - Karcinogenost, 1.A, 1.B i 2. kategorija opasnosti - Reproduktivna toksičnost, 1.A, 1.B i 2. kategorija opasnosti - Specifična toksičnost na ciljani organ – jednokratno izlaganje, 1. i 2. kategorija opasnosti - Specifična toksičnost na ciljani organ – ponavljano izlaganje, 1. i 2. kategorija opasnosti - Opasnost od aspiracije, 1. kategorija opasnosti 	<ul style="list-style-type: none"> - Opasno za vodeni okoliš

U slučaju dodira s očima prvo treba oprati ruke i odmah početi s ispiranjem tako da ozlijeđeni drži rukama očne kapke otvorenima te okreće oči u svim smjerovima kako bi voda dospjela u sve dijelove oka. Nakon ispiranja u oči se ne stavlja ništa, već se potraži hitna liječnička pomoć.

U slučaju gutanja kemikalija ne izaziva se povraćanje. U slučaju trovanja kiselinom na usta, treba popiti puno vode, a zatim razrijeđeno vapneno mlijeko ili žareni magnezijev oksid. Kod trovanja lužinom treba popiti puno vode, a zatim razrijeđenu otopinu octene kiseline ili soka od limuna. U slučaju trovanja organskim otapalom, usta isprati vodom, ali ne piti vodu.

U slučaju trovanja otrovnim plinovima prvi simptomi su glavobolja, mučnina i nagon za povraćanjem. Otrovanu osobu treba izvesti na svjež zrak i umiriti. Ako dođe do prestanka disanja, do dolaska hitne pomoći potrebno je davati umjetno disanje.

Rad s lako zapaljivim tvarima u blizini izvora paljenja čest je uzrok požara u laboratoriju. Zagrijavanje posuda sa zapaljivim tvarima smije se izvoditi samo električnim grijućim tijelima (grijućim kapama), nije dopušteno zagrijavanje otvorenim plamenom. Zapaljive se tvari iz reakcijske smjese nikada ne uklanjaju uparavanjem već samo destilacijom.

2. Rad u praktikumu opće kemije

Studenti prije pristupanja praktikumu opće kemije moraju proći osposobljavanje za zaštitu na radu i siguran rad u kemijskom laboratoriju.

Informacije se mogu naći na poveznici: <https://www.biotech.uniri.hr/hr/zastita-na-radu.html>

2.1. Upute za vođenje laboratorijskog dnevnika

Pravilna priprema za rad u praktikumu uključuje temeljito proučavanje priručnika prije svake vježbe kako bi student bio u stanju samostalno provesti vježbu i zapisati u laboratorijski dnevnik parametre potrebne za prikaz rezultata.

Laboratorijski dnevnik za pojedinu vježbu treba sadržavati broj i naslov vježbe, datum i prikaz rezultata vježbe (uputa za prikaz rezultata navedena je nakon svake vježbe). Primjer dijela laboratorijskog dnevnika prikazan je na Slici 5.

Aparature, pribor, grafički prikazi i tablice crtaju se olovkom dok se kemijskom olovkom označavaju pojedini dijelovi, prikazuju rezultati, objašnjavaju postupci ili principi.

Pojedinačne upute za izvođenje vježbi, parametre potrebne za izračun i sl. studenti će dobiti na početku vježbe, a tijekom vježbe rad svakog studenta vrednovat će voditelj praktikumske grupe.

Nakon završetka vježbe te nakon što je voditelj praktikumske grupe pregledao laboratorijski dnevnik, student je dužan oprati laboratorijsko posuđe koje je koristio tog dana.

2.2. Crtanje laboratorijskog pribora, aparatura i postupaka

Crtanje laboratorijskog pribora, aparatura i postupaka provodi se plošno. Ne crta se trodimenzionalno, niti se koriste metode sjenčanja ili bojanja radi dojma volumena. Kleme, mufe i sl. na aparaturama se crtaju kao ravne crtice u dodiru s laboratorijskim priborom (primjeri ispravnog crtanja prikazani su na Slici 6).

2.3. Pranje i čišćenje laboratorijskog posuđa i pribora

Nakon što završi vježba, korišteno laboratorijsko posuđe i pribor treba oprati vodovodnom vodom i deterdžentom, isprati većom količinom vodovodne vode, a potom dva do tri puta malom količinom destilirane vode.

Laboratorijsko posuđe pere se za to predviđenim četkicama (nalaze se na svakom izljevu), bez struganja mehaničkim sredstvima. Ako se posuđe ne može oprati deterdžentom, za pranje se mogu koristiti organska otapala odnosno anorganske kiseline (npr. kromsumporna kiselina; potreban je oprez kod rukovanja ovom kemikalijom). Takav komad posuđa treba se predati voditelju praktične grupe, koji će objasniti kako ga očistiti ili će ga zamijeniti čistim komadom.

Nakon što se posuđe i pribor ispere destiliranom vodom, treba ga preokrenuti na čistu krpu zbog cijeđenja vode. Ako je postupak čišćenja uspio, na staklu neće biti vidljivih mrlja, a voda će se po njemu razlijevati u tankom i neprekinutom filmu. Ako na staklu ima mrlja, ili se voda na njemu zadržava u obliku kapljica, staklo nije dobro očišćeno i postupak čišćenja treba ponoviti.

Oprano se posuđe nikada ne briše krpom s unutarnje strane jer će se na taj način ponovo zaprljati, bez obzira koliko se činilo da je krpa koju se koristi čista. Ako je za pokus potrebno suho posuđe, može ga se brzo osušiti ispiranjem malom količinom etanola ili acetona (ta organska otapala su lako hlapljiva), a zatim do kraja osušiti strujom zraka ili u sušioniku.

Radni stol treba održavati u svakom trenutku čistim. Razlivene ili prosipane kemikalije najprije nekoliko puta obrisati mokrom krpom, a tek potom stol obrisati suhom krpom.

Tijekom rada u laboratoriju ruke treba prati što češće. Na kraju vježbe, prije izlaska iz laboratorija, obavezno oprati ruke sapunom.

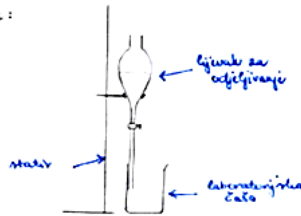
Slika 5. Primjer dijela laboratorijskog dnevnika

vježba 4:

21.3.2019

EKSTRAKCIJA, KROMATOGRAFIJA I RAZDVAJANJE VIŠEKOMPONENTNE SMJESKE

1) APARATURA ZA EKSTRAKCIJU:



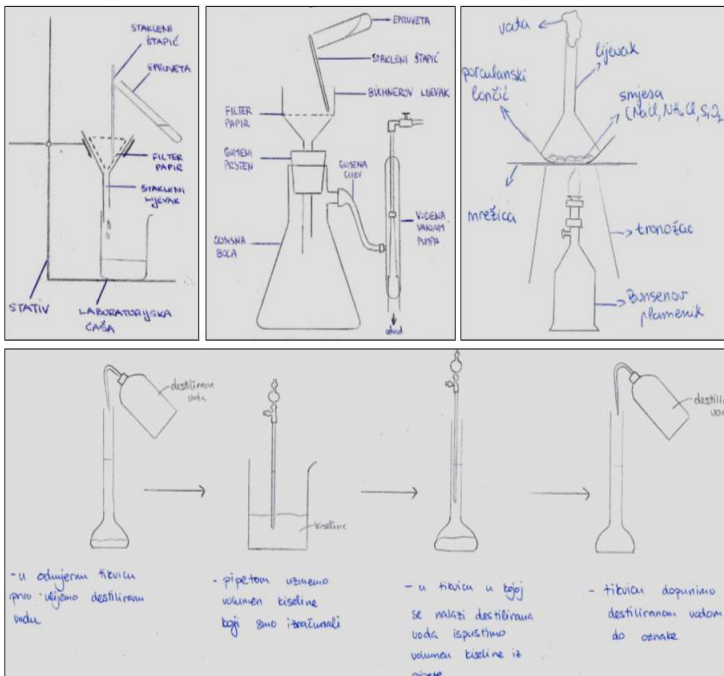
Princip ekstrakcije:

Ekstrakcija kalcij-kalcij moguća je zbog sposobne ravnokreće izmjenjivati dva sloja koji se međusobno ne miješaju i čiji je omjer koncentracija stalna bez obzira na promjene volumena i količinu otopljene tvari. Tijekom otopljene tvari izmjenjivaju slojeva otapala odvaja se na dodirnoj površini, te se zbog mućkavijem ljehva povećava dodirna površina otapala. Nakon izmučkivanja potrebno je otvoriti pipet ljehva za odjeljivanje zbog potrebe za izjednačavanjem faza. Višestruka ekstrakcija omogućuje potpuno uklanjanje tvari iz mješave. Ekstrakcija se temelji na različitim topljivosti tvari u otapalima.

Promjene u boji otapala:

Boja u istom otopine joda je narandžast boje, a mućkavijem u vode otopine joda i kloroforma god prelazi u kloroform zbog boje topljivosti u mješavi zbog toga će goraji sloj biti vrlo blage narandžast boje, a drugi ljubičaste. Kod drugog ođ izmučkivanja goraji sloj biti prazan, a drugi roze boje zbog manje količine otopljenog joda.

Slika 6. Primjeri crtanja laboratorijskih aparatura i skica



3. Laboratorijsko posuđe, pribor i postupci

3.1. Laboratorijsko posuđe i pribor

Laboratorijsko posuđe i pribor izrađuju se od različitih materijala čija je osnovna fizička i kemijska svojstva potrebno dobro poznavati kako bi se mogli ispravno upotrebljavati. U laboratoriju se najčešće koriste predmeti izrađeni od stakla, porculana, željeza i metalnih legura, drva te plastičnih masa (Slika 7.).

Stakleno posuđe

Staklo je čvrsta otopina različitih anorganskih oksida koja ima slabu toplinsku i električnu vodljivost. Zagrijavanjem na visoku temperaturu omekša i u takvom se stanju lako obrađuje (savijanjem, izvlačenjem, lijevanjem ili puhanjem). Kemijski je vrlo otporno; otapa se jedino u fluorovodičnoj kiselini (HF), i vrlo polako, u jako lužnatim otopinama.

Staklo je materijal koji se najčešće upotrebljava za izradu laboratorijskog posuđa i pribora (Slika 7.a). U tu se svrhu koristi obično staklo, kemijsko staklo i stakla za specijalne namjene (kvarcno staklo, optičko staklo i sl.).

Obično staklo je krhko i neotporno na nagle temperaturne promjene, stoga se nikada ne smije zagrijavati. Od običnog stakla izrađene su boce za tekuće reagense, boce za krutine, boce kapaljke, posudice za vaganje, kristalizirke, Petrijeve zdjelice, satna (urna) stakla, eksikator, lijevci (za prelijevanje kemikalija i filtraciju), lijevci za ekstrakciju, boce sisaljke, Woulffove boce, ispiralice za plinove, odmjerne posuđe (menzure, pipete, birete, odmjerne tikvice) i stakleni pipci. Niti jedan od tih predmeta ne smije se zagrijavati.

Za razliku od običnog stakla, kemijsko staklo ima veću čvrstoću i otpornost na nagle promjene temperature. Predmeti izrađeni od kemijskog stakla mogu se zagrijavati, pazeći pritom da je zagrijavanje jednoliko, tj. da se izbjegava prejako zagrijavanje na samo jednom dijelu površine predmeta. Da bi se postiglo jednoliko zagrijavanje, predmet se obično zagrijava preko keramičke mrežice ili u kupelji. Od kemijskog stakla izrađene su epruvete, laboratorijske čaše, Erlenmeyerove tikvice i ostale tikvice (okrugle, s ravnim dnom, srolike), tikvice za destilaciju, hladila, staklene aparature, staklene cijevi i drugi pribor. Ti predmeti mogu se zagrijavati.

Porculansko posuđe

Predmeti od porculana imaju znatno veću čvrstoću u odnosu na staklene predmete, a podnose više temperature. Otpornost porculana na kemikalije slična je staklu. Neki od uobičajenih porculanskih predmeta

koji se susreću u laboratoriju su Büchnerovi lijevci (za filtraciju pri sniženom tlaku), tarionici s batićem (za mrvljenje krutina), porculanski lončići, porculanske zdjelice i porculanske lađice (Slika 7.b). Porculanski lončići, zdjelice i lađice mogu se zagrijavati izravno na plinskom plameniku, bez uporabe keramičke mrežice, dok se tarionici, lijevci i pločice ne smiju zagrijavati.

Metalni pribor

Željezni stalci (stativi), spojke (mufe) i hvataljke (kleme) koriste se za pričvršćivanje pojedinih dijelova i slaganje aparatura. Spojke služe za pričvršćivanje hvataljki na stalak. Dio hvataljke u koji dolazi stakleni predmet mora biti obložen mekšim materijalom (gumom ili plutom), kako prilikom stezanja predmeta ne bi došlo do pucanja stakla. Postoji više vrsta hvataljki: hvataljke za cijevi, tikvice, hladila i birete. Hvataljka za birete pričvršćuje se izravno na stalak, bez uporabe spojke.

Od metala se izrađuju i prstenovi za filtraciju, plamenici, tronošci, žličice i spatule, stezaljke za gumene cijevi (po Mohru i po Hoffmanu), pincete, laboratorijska kliješta, metalni lončići (željezni, nikleni, platinski) i drugi metalni pribor (Slika 7.c).

Pribor od ostalog materijala

Plastične mase koriste se za izradu različitih cijevi, boca za držanje kemikalija, boca štrcaljki i drugog posuđa, obično kao jeftinija zamjena za staklene predmete ili za rad s kemikalijama koje nagrizaju staklo (Slika 7.d). Plastično posuđe nipošto se ne smije zagrijavati.

Guma i lateks upotrebljavaju se za izradu gumenih cijevi i čepova.

Azbest podnosi visoku temperaturu i loše provodi toplinu, zbog čega se koristi kao toplinski izolator u pećima za žarenje i sušionicima, za izradu azbestnih mrežica, azbestnih ploča i sl., ali zbog toksičnosti se zamjenjuje keramikom.

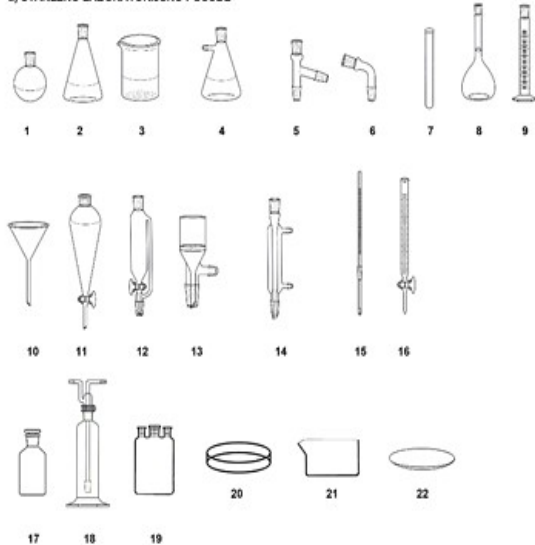
Drvo služi kao materijal za izradu stalaka (za epruvete), radnih ploha, polica, stolova i drugog.

Papir se koristi kao papir za filtraciju, kromatografski papir, lakmusov indikatorski papir i dr.

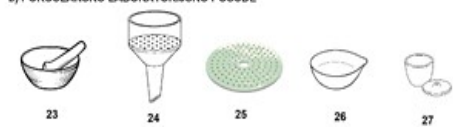
Valja spomenuti i silikonske masti koje se upotrebljavaju za podmazivanje pipaca.

Slika 7. Stakleno (a) i porculansko (b) laboratorijsko posuđe, metalni (c) i ostali (d) laboratorijski pribor

a) STAKLENO LABORATORIJSKO POSUĐE



b) PORCULANSKO LABORATORIJSKO POSUĐE



c) METALNI LABORATORIJSKI PRIBOR



d) OSTALI LABORATORIJSKI PRIBOR



a) STAKLENO LABORATORIJSKO POSUĐE

1. Okrugla tikvica
2. Erlenmeyerova tikvica
3. Čaša
4. Boca za odsisavanje
5. Nastavak za destilaciju
6. Lula za destilaciju
7. Epruveta
8. Odmjerna tikvica
9. Menzura
10. Običan lijevak
11. Lijevak za ekstrakciju
12. Lijevak za dokapavanje
13. Sinter lijevak s nastavkom
14. Liebigovo hladilo
15. Pipeta
16. Bireta
17. Reagens boca
18. Boca ispiralica
19. Woulffova boca
20. Petrijeva zdjelica
21. Kristalizirka
22. Satno stalce

b) PORCULANSKO LABORATORIJSKO POSUĐE

23. Tarionik
24. Büchnerov lijevak
25. Porculanska ploča za sušenje u eksikatoru
26. Keramička posudica
27. Lončić za žarenje

c) METALNI LABORATORIJSKI PRIBOR

28. Metalni stativ
29. Mufa
30. Hvataljka, klema
31. Metalni prsten
32. Metalni tronožac
33. Žičana mrežica sa keramičkom jezgrom
34. Prsten za žarenje
35. Laboratorijska kliješta
36. Pinceta

d) OSTALI LABORATORIJSKI PRIBOR

37. Stalak za epruvete
38. Boca štrcaljka
39. Drvena štipaljka

3.2. Laboratorijski postupci

Mjerenje mase (vaganje)

Jedno od najčešćih mjerenja u kemijskom laboratoriju je mjerenje mase. Masa predmeta određuje se vaganjem, odnosno usporedbom mase predmeta s masom standarda (utega).

Mjerenje mase predmeta izvodi se vagama. U kemijskom laboratoriju u uporabi su dvije vrste vaga koje se razlikuju po preciznosti: laboratorijske precizne vage, često se susreću i pod imenom analitičke vage (Slika 8.a) i tehničke vage (Slika 8.b).

Analitičke vage su one kojima je preciznost vaganja $\pm 0,0001$ g (kod posebno preciznih analitičkih vaga $\pm 0,00001$ g). Ugrađuju se u staklene ormariće s vratima u kojima su zaštićene od strujanja zraka. Takve vage zbog svoje osjetljivosti trebaju biti postavljene u posebnoj prostoriji, zaštićene od promjena temperature i vibracija, postavljene u horizontalni položaj (pomoću libele koja se nalazi uz vagu) na čvrsti mramorni ili neki drugi masivni stol.

Tehničke vage su one kojima je preciznost vaganja $\pm 0,01$ g ili $\pm 0,001$ g. Te vage služe za grubo mjerenje mase, a mogu biti različitih izvedbi, od mehaničkih laboratorijskih vaga s jednakim krakovima i dvije zdjelice, do automatskih (elektroničkih) vaga s jednom zdjelicom i digitalnim očitanjem mase.

Prije svakog vaganja potrebno je provjeriti nultu točku vage: očitati masu koju pokazuje vaga kad nije opterećena nikakvim predmetom. Ako je taj broj različit od nule, pritiskanjem dugmeta za postavljanje vage u nulti položaj, prikaz se automatski postavlja na nulu (to dugme obično je označeno slovom *T*, od riječi *Tara*, a postupak postavljanja vage u nulti položaj naziva se *tariranje*).

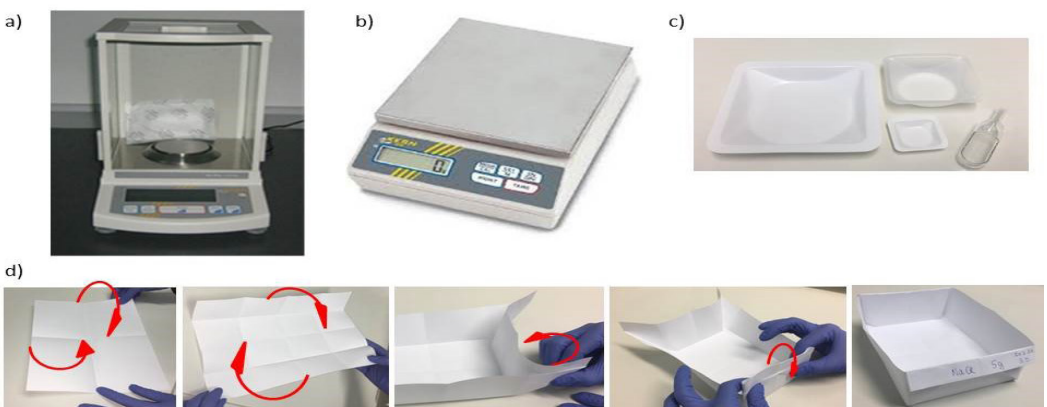
Prilikom vaganja potrebno je striktno se pridržavati sljedećih pravila:

1. Prije vaganja potrebno je provjeriti je li vaga postavljena u vodoravni položaj (za to služi libela ugrađena u kućište vage) i po potrebi provesti njeno niveliranje (nožice vage izvedene su s navojem, pa se njihovim okretanjem vaga može naginjati na željenu stranu (tehničke vage). Niveliranje i kalibraciju analitičkih vaga provode za to ovlaštene tvrtke.
2. Predmet koji se važe treba biti potpuno čist i suh te ohlađen na temperaturu prostorije u kojoj se nalazi vaga. Vlažni predmeti i predmeti zaprljani kemikalijama mogli bi uzrokovati koroziju plitica vage, a vaganje toplih predmeta, uslijed strujanja toplog zraka oko predmeta, daje pogrešnu, manju odvagu.

3. Predmet na vagu treba stavljati lagano, da se ne ošteti ležište plitice vage.
4. Kemikalije se nikada ne smiju vagati izravno na plitici vage, već na posebnoj papirnoj, staklenoj ili metalnoj lađici, satnom staklu ili u posudici za vaganje (Slika 8.c). Na Slici 8.d prikazana je priprema papirne lađice. Na bočnim stranicama obično se piše o kojoj kemikaliji se radi, odvaga, tko je vagao i datum. Tekućine je potrebno vagati u zatvorenoj boci kako bi se izbjegao gubitak mase uslijed isparavanja tekućine i spriječila mogućnost prolijevanja tekućine po vagi. Tekućine čije su pare jako korozivne (npr. koncentrirana klorovodična ili dušična kiselina) najbolje je ne vagati. U slučaju da se kemikalija prospe po plitici vage, vagu je potrebno odmah očistiti. Plitica vage čisti se laganim pometanjem kistom, a ako je jako zaprljana, potrebno ju je skinuti s vage i tek onda obrisati vlažnom, pa potom i čistom suhom krpom ili papirom za filtriranje.
5. Kod vrlo točnih mjerenja na analitičkoj vagi, predmet koji se važe čuva se prije vaganja u eksikatoru, u kojem je zaštićen od vlage. Predmet se nikada ne hvata golim rukama, kako na njemu ne bi ostali tragovi masnoće ili vlage s prstiju, već se za hvatanje predmeta koristi čista pinceta, ili se predmet obuhvati trakom čistog papira i traka oko predmeta stegne prstima.

Napomena: provjeriti maksimalno opterećenje analitičke vage prije stavljanja predmeta za vaganje i u skladu s time podesiti odvage (etiketa s podacima nalazi se nalijepljena na vagi).

Slika 8. Analitička (a) i tehnička vaga (b), posudice za vaganje (c) i priprema papirne lađice (d)



Mjerenje volumena

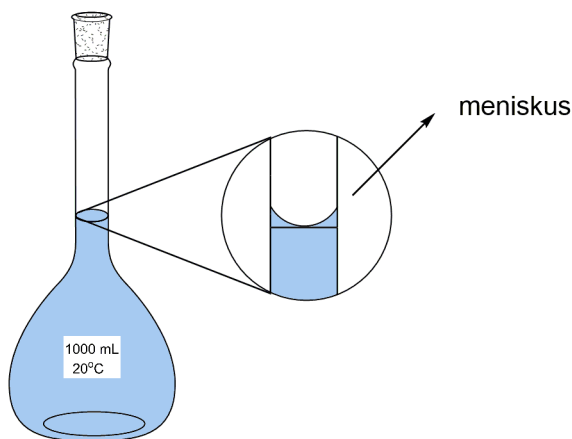
Za mjerenje volumena tekućina najčešće se koriste menzure, pipete, burete i odmjerne tikvice.

Sve odmjerne posuđe baždareno je ili na uljev ili na izljev. Kod baždarenja na uljev naznačeni volumen tekućine nalazi se u posudi, a postiže se ulijevanjem tekućine u posudu do prstenaste oznake volumena ugravirane na stijenci posude (tzv. marka). Kod baždarenja na izljev naznačeni volumen tekućine dobije se izlijevanjem tekućine iz pravilno napunjene odmjerne posude. Posuđe baždareno na uljev obično se označuje oznakom In, a ono baždareno na izljev oznakom Ex ili E.

Osim vrste baždarenja, na odmjernom posuđu navodi se i razred točnosti (A ili B), odnosno granica dopuštenog odstupanja volumena od deklarirane vrijednosti. S obzirom na to da volumen tekućine ovisi o temperaturi, na odmjernom posuđu mora biti naznačena i temperatura pri kojoj je izvedeno baždarenje (obično je to temperatura od 20 °C).

Prilikom očitavanja volumena tekućine u odmjernom posuđu, potrebno je paziti da se razina tekućine na marci odmjerne posude očitava u visini očiju, pri čemu se donji rub meniskusa tekućine mora poklopiti s markom ili oznakom na skali (Slika 9.). Za netransparentne (neprozirne) kapljevine očitava se gornji meniskus.

Slika 9. Podešavanje meniskusa



Menzure se koriste za grubo mjerenje volumena, a obično se izrađuju za volumene od 5 do 2000 cm³. Baždare se na uljev ili na izljev (Slika 10.a).

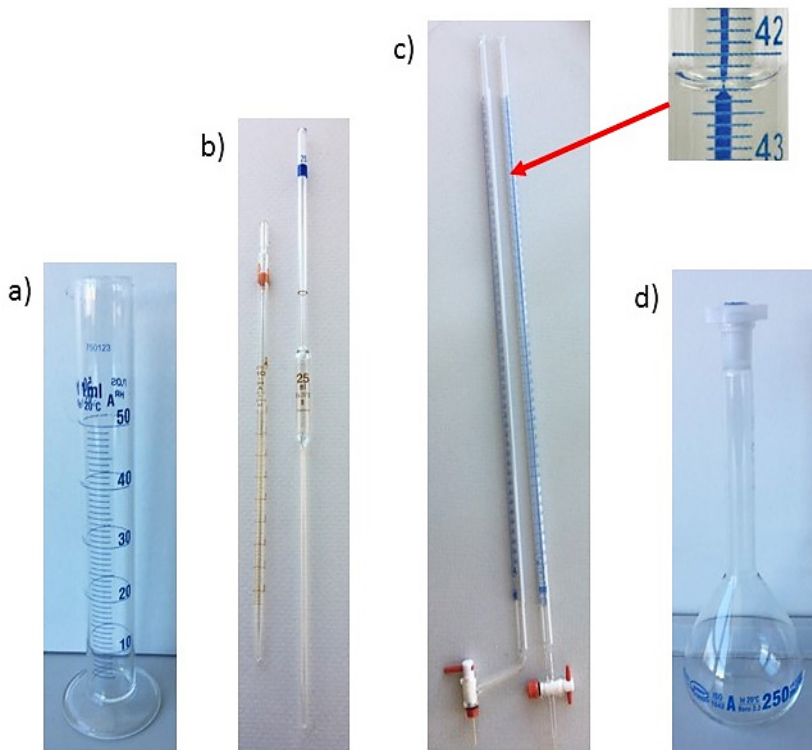
Pipete sa samo jednom oznakom volumena koriste se za precizna mjerenja. Izvode se kao ravne (graduirane) ili prijenosne, a najčešće se izrađuju za volumene od 1 do 100 cm³. Graduirane pipete koriste se za

manje točna mjerenja volumena i imaju skalu razdijeljenu na jedinice i desetinke mililitra. Najčešće se izrađuju za volumene od 1 do 20 cm³, a zbog svog širokog vrata manje su precizne od prijenosnih. Prijenosne (volumetrijske, pune, trbušaste) pipete upotrebljavaju se u volumetrijskoj analizi kada je potrebno točno uzeti manji volumen otopine uzorka ili reagensa. Gornja cijev prijenosne pipete ima na sebi prstenastu oznaku (marku) koja označava njen nazivni volumen. Sve pipete baždare se na izljev Ex (lat. *iz*) što znači da je pipeta baždarena na istjecanje ili izlijevanje tekućine (Slika 10.b). Za uvlačenje tekućine u pipetu koristi se poseban nastavak koji se stavlja na pipetu, tzv. propipeta, a danas su na tržištu dostupne i različite izvedbe automatskih pipeta, tzv. pipetori (Slika 2.). Usisavanjem se povuče tekućina malo iznad oznake (za precizniji rad obriše se vanjska stijenka pipete) i laganim popuštanjem tekućina se ispusti do oznake. Oznaka mora biti tangenta na donji rub meniskusa tekućine (Slika 9.). Daljnjim otpuštanjem tekućina slobodno isteče iz pipete, sačeka se još nekoliko sekundi i na kraju lagano povuče vrhom pipete po stijenci posude. Zabranjeno je ispuhivati pipetu.

Birete su dugačke staklene graduirane cijevi koje završavaju pipcem za ispuštanje tekućine i najčešće se koriste za titracije u kemijskoj analizi, iako ih je moguće koristiti uvijek kad je s velikom preciznošću potrebno ispustiti određeni volumen tekućine. Ako se bireta puni otopinom koja je kisela ili neutralna, pipac može biti od stakla, dok se za lužnate otopine obavezno koriste birete s pipcem od plastične mase (teflona) ili birete s gumenim nastavkom i stezaljkom (s obzirom na to da lužine nagriza staklo, stakleni pipac bi se nakon nekog vremena zaglavio u ležištu). Najviše susretane izvedbe bireta su Mohrova i Schellbachova bireta s plavom crtom na kojoj se razina tekućine lako očitava jer plava crta lomom svjetlosti u meniskusu dobiva oblik dvostrukog šiljka. Birete su uvijek baždarene na izljev (Slika 10.c).

Odmjerne tikvice su staklene tikvice ravnog dna s dugim i uskim vratom, koji završava ubrušenim grlom u koje ulazi brušeni stakleni ili plastični čep. Na vratu tikvice nalazi se prstenasta oznaka volumena. Najčešće se izrađuju za volumene od 5 do 2000 cm³. Odmjerne tikvice uvijek su baždarene na uljev (Slika 10.d).

Slika 10. Laboratorijsko posuđe za mjerenje volumena: menzura (a), graduirana i prijenosna pipeta (b), Mohrova (c, lijeva) i Schellbachova bireta (c, desna, uz meniskus dvostrukog šiljka) i odmjerne tikvica (d)



Zagrijavanje predmeta

Zagrijavanje nekog predmeta može se izvesti izravno – zagrijavanjem predmeta plamenikom ili na električnoj grijaćoj ploči, ili neizravno – preko kupelji ili keramičke mrežice. Kod izravnog zagrijavanja uvijek postoji opasnost nejednolikog zagrijavanja predmeta i njegovog pucanja uslijed toplinskog napreznja između toplijih i hladnijih dijelova predmeta. Da bi se postiglo jednoliko zagrijavanje predmeta plamenikom, potrebno je plamen pomicati jednoliko po cijeloj površini predmeta. Za neizravno zagrijavanje do temperature od 100 °C mogu poslužiti vodene kupelji (grijana posuda napunjena vodom u koju se uroni predmet koji treba zagrijavati). Kupelji punjene parafinskim ili silikonskim uljem, metalne kupelji i pješčane kupelji omogućuju zagrijavanje predmeta i na daleko više temperature. Kupelji se mogu grijati električnim grijačima ili plinskim plamenikom, a temperatura kupelji kontrolira se termometrom uronjenim u kupelj (Slika 11.a i b).

Epruvetu se može zagrijavati izravno u plamenu plinskog plamenika. Pri tome treba paziti na jednoliko zagrijavanje epruvete, pomičući je kroz plamen. Tekućina u epruveti nikada se ne zagrijava tako da se grije dno epruvete, već se epruvetu zagrijava pri vrhu stupca tekućine, uz obavezno protresanje epruvete kako bi se tekućina u njoj miješala i jednoliko zagrijavala. Kada bi se zagrijavalo samo dno epruvete, najintenzivnije bi se zagrijavala tekućina na dnu epruvete i taj bi se dio tekućine prvi zagrijao do vrenja. Pare koje bi nastale vrenjem tekućine na dnu epruvete potisnule bi ostatak tekućine i ona bi izletjela iz epruvete. Zbog toga je bitno kod zagrijavanja epruvete pripaziti da otvor epruvete nije okrenut prema osobama u laboratoriju. Idealno bi bilo kada bi se otvor epruvete koja se zagrijava mogao okrenuti prema zidu.

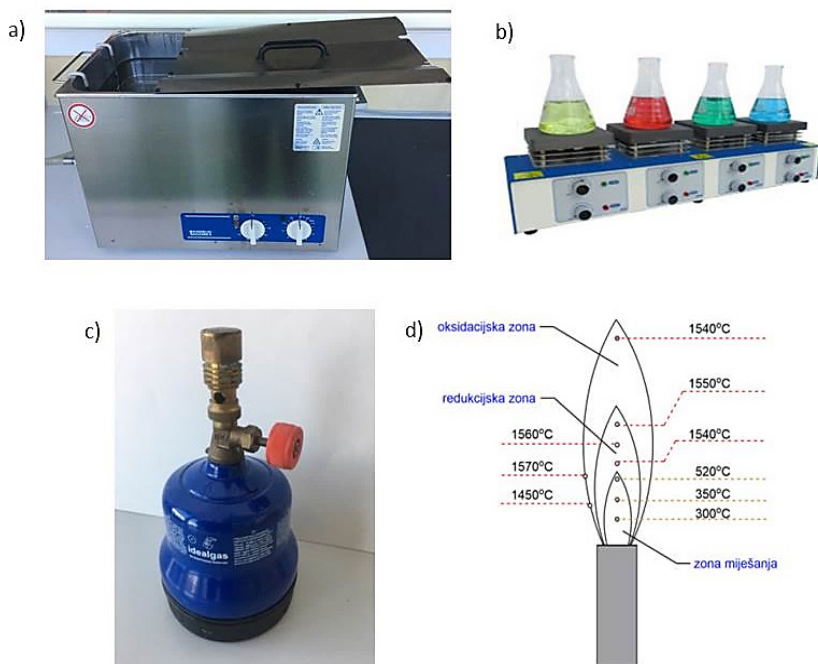
Plinski plamenici

U laboratoriju se najčešće koristi Bunsenov plinski plamenik (Slika 11.c). Sastoji se od postolja sa sapnicom, metalnog dimnjaka i prstena na donjem dijelu dimnjaka. Na dimnjaku i prstenu nalaze se otvori za ulaz zraka. Dovod zraka u dimnjak podešava se okretanjem prstena i prekrivanjem otvora. Istjecanjem mlaza plina velikom brzinom kroz sapnicu, u neposrednoj blizini plinskog mlaza javlja se podtlak koji usisava zrak u dimnjak. Smjesa zraka i plina miješa se u dimnjaku i izgara na njegovom vrhu. Bolji Bunsenovi plamenici imaju i ventil za regulaciju dovoda plina, a neki imaju i zasun povezan sa sigurnosnim elementom koji zatvara dovod plina u slučaju gašenja plamena. Plamenici sa štednim plamenom imaju uz dimnjak kapilaru na kojoj stalno gori plamičak kojim se pali plinska smjesa na izlazu iz dimnjaka. Paljenje i gašenje plamenika izvodi se plinskim zasunom.

Prije paljenja Bunsenovog plinskog plamenika obavezno treba provjeriti je li prsten za regulaciju dovoda zraka zatvoren. Ako bi se palio plamenik s otvorenim dovodom zraka, smjesa plina i zraka mogla bi se zapaliti ne na vrhu dimnjaka, već u samom dimnjaku, neposredno uz sapnicu. Plamenik u kojem plin izgara u dimnjaku jako šušti, a plamen je obojen zelenkasto. S obzirom na to da je dimnjak od metala i dobar je vodič topline, plamenik se vrlo brzo grije. Osim što postoji velika mogućnost opekline ako se dira takav plamenik, može doći i do taljenja gumene cijevi koja dovodi plin u plamenik i zapaljenja plina na izlazu iz cijevi. U tom slučaju treba odmah zatvoriti plinski pipac na radnom stolu ili glavni plinski ventil. Plamenik kod kojeg plin izgara u dimnjaku treba odmah ugasiti, pričekati da se ohladi i tek ga tada ponovno upaliti. Plamen koji se dobije izgaranjem plina bez da je otvoren dovod zraka ima karakterističnu plavu boju i žuti obrub zbog kojeg se naziva svjetlećim plamenom. Takav plamen sadrži mnogo čađe i nije prikladan za zagrijavanje.

Otvaranjem otvora za dovod zraka postiže se optimalno sagorijevanje plinske smjese. Plamen lagano šušti i raslojava se u tri jasno vidljive zone (Slika 11.d). U najhladnijoj zoni uz dimnjak plin i zrak se miješaju i zagrijavaju do temperature paljenja (zona miješanja). Temperatura ove zone je od 300 do 500 °C. U drugoj, središnjoj zoni, plinska smjesa sagorijeva i temperatura poraste do 1500 °C. Budući da je količina zraka koja se nalazi u plinskoj smjesi nedovoljna za potpuno sagorijevanje, neki od nastalih produkata (CO i H₂) imaju veliku redukcijsku moć, pa se ovaj dio plamena zove redukcijska zona. Na vanjskom rubu plamena produkti dolaze u doticaj s okolnim zrakom i potpuno sagorijevaju. Sadržaj kisika je zbog neometanog pristupa zraku visok pa se ova zona naziva oksidacijska zona, a temperature u njoj dosežu od 1500 do 1600 °C.

Slika 11. Vodena kupelj (a), grijaće ploče (b), Bunsenov plamenik (c) i zone plamena (d)



3.3. Priprema otopine zadanog sastava

Sastav smjese iskazujemo omjerima, udjelima i koncentracijama. Najčešći su načini izražavanja sastava smjese pomoću masene (γ) i množinske koncentracije (c). U nekim slučajevima prikladno je sastav smjese izraziti molalitetom, volumnim ili množinskim udjelom (Tablica 1.).

Tablica 1. Iskazivanje sastava smjese

Oznaka	Naziv	Matematički izraz	Osnovne SI jedinice
Udjeli	maseni udio	$w = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$	1 ili % ($w \cdot 100$)
	volumni udio	$\varphi = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$	1 ili % ($\varphi \cdot 100$)
	množinski udio	$x = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^n n_i}$	1 ili % ($x \cdot 100$)
Koncentracije	masena koncentracija otopljene tvari A	$\gamma(A) = \frac{m(A)}{V(\text{otopina})}$	kg m ⁻³
	množinska koncentracija otopljene tvari A	$c(A) = \frac{n(A)}{V(\text{otopina})}$	mol m ⁻³
Molalnost	molalnost (molalitet) otopljene tvari A	$b(A) = \frac{n(A)}{m(\text{otapalo})}$	mol kg ⁻¹

SI: međunarodni sistem jedinica

Otopina željenog sastava može se prirediti na dva načina:

- otapanjem određene mase krute tvari u poznatom volumenu (masi) otapala (Vježba 1)
- razrjeđivanjem koncentriranije otopine (Vježba 2).

Točnost sastava pripremljene otopine ovisi o preciznosti prilikom:

- vaganja mase krute tvari
- pipetiranja određenog volumena otopine.

Priprema otopina krutina

Krutina se može vagati na posebnoj papirnatoj, staklenoj ili metalnoj lađici, satnom staklu ili u posudici za vaganje (Slika 8.c). Odvaga se može direktno ubaciti u odmjernu tikvicu ako se primjerice važe u staklenoj

lađici, uz ispiranje lađice. Ako se važe u papirnatoy lađici, odvaga se prebacuje u staklenu čašu savijajući lađicu u obliku tuljca za prolaz kemikalije pazeći pritom da se kemikalija ne prosipa. Zatim se odvaga otopi u malo destilirane vode te se preko lijevka i uz pomoć staklenog štapića pažljivo prenosi u odmjernu tikvicu uz ispiranje. Prilikom ispiranja (čāše, štapića i lijevka) treba paziti da volumen vode za ispiranje ne bude prevelik, kako se odmjerna tikvica ne bi prepunila iznad oznake. Nadopunjavanje destiliranom vodom do oznake na vratu tikvice provodi se u razini očiju (skinuti lijevak). Preciznije nadopunjavanje volumena tekućine u tikvici blizu marke provodi se kapalicom ili Pasteurovom pipetom. S obzirom na to da se u odmjernu tikvicu prenosi sva odvagana količina kemikalije (posuda u kojoj se vagala tvar koju otapamo ispire se nekoliko puta malim obrocima otapala) postupak se naziva *kvantitativnim prenošenjem* (Slika 12.). Tikvica se tada začepi i lagano protrese.

Kod najtočnijeg rada, pripremljenu otopinu često je potrebno i *standardizirati*, tj. odrediti joj točan sastav nekim od analitičkih postupaka.

Slika 12. Kvantitativno prenošenje



Priprema otopina kiselina i lužina razrjeđivanjem iz koncentriranijih otopina

Ako se otopina zadane koncentracije priprema razrjeđivanjem koncentriranije otopine, postupak je uglavnom isti. U tikvicu se pipetom prenese izračunati volumen koncentriranije otopine, a zatim se tikvica oprezno nadopuni vodom do oznake. Paziti kod priprema kiselina da se prvo doda manja količina destilirane vode u odmjernu tikvicu, ispusti izračunata količina kiseline i tek onda nadopuni ostatkom destilirane vode do oznake, s ciljem izbjegavanja dodavanja vode u kiselinu (VUK).

Priprema otopina prema udjelima ili omjerima

Često se u laboratorijima otopine razrjeđuju prema udjelima i omjerima. Ako je potrebno razrijediti neku tekućinu 10x, odnosno u omjeru 1 : 9, to je moguće napraviti na dva načina: pripremom u odmjernoj tikvici čiji ukupni volumen se podijeli na ukupno razrjeđenje; u ovom slučaju 10; i doda izračunati jedan dio u odmjernu tikvicu i nadopuni do oznake (ako se radi o tikvici od 250 cm³ taj jedan dio će biti 25 cm³, a nadopunjavanjem se dodaje ostalih 9 dijelova što ukupno čini razrjeđenje od 10x). Ako nije dostupno odmjerno posuđe, odabire se dostupno posuđe (npr. čaša), dodaje izračunati jedan dio tekućine koju se razrjeđuje (u ovom primjeru 25 cm³) i 9 dijelova tekućine kojom se razrjeđuje (u ovom primjeru 225 cm³) što je ukupno 10 dijelova ili 10x.

Vježba 1: Priprema otopine krutine (soli)

MJERE OPREZA I ZBRINJAVANJE OTPADA:

- koristiti zaštitnu odjeću i obuću
- pripremljene, u vodi otopljene soli bacati u izljev te ga odmah isprati tekućom vodom.

CILJEVI

- upoznavanje s laboratorijskim posuđem i priborom za pripremu otopina krutina (soli)
- upoznavanje s laboratorijskim tehnikama: vaganje i priprema otopina
- primjena stehiometrijskog računa za pripremu otopina soli
- pravilno crtanje pribora i aparatura
- upoznavanje s dobrom laboratorijskom praksom kod pranja i održavanja laboratorijskog posuđa.

OPREMA, PRIBOR I KEMIKALIJE

Oprema	Pribor	Kemikalije
analitička vaga	- odmjerna tikvica od 100 cm ³ i 50 cm ³ - staklena čaša od 25 cm ³ (ili 50 cm ³) - stakleni lijevak - štrcaljka za destiliranu vodu - plastična kapalica	Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O Fe(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O Al ₂ (SO ₄) ₃ ·5H ₂ O

POSTUPAK

Priprema zadane otopine krutine (soli): Zn(NO₃)₂·6H₂O, Fe(NO₃)₃·9H₂O ili Al₂(SO₄)₃·5H₂O, zadane množinske i/ili masene koncentracije u zadanom volumenu od (100 cm³ ili 50 cm³)

1. Voditelj praktikumske grupe zadaje parametre za pripremu otopine soli i provjerava stehiometrijski račun. Ako je račun točan, može se krenuti s pripremom otopina.

$$\gamma(A) = \frac{m(A)}{V(\text{otopina})}$$

$$c(A) = \frac{n(A)}{V(\text{otopina})}$$

2. Potrebnu masu za pripremu otopine soli izvagati na analitičkoj vagi ($\pm 0,0001$ g) u papirnatij lađici, prebaciti u staklenu čašu, otopiti miješajući staklenim štapićem i kvantitativno prenijeti u odmjerne tikvicu preko lijevka, uz pomoć staklenog štapića.
3. Štrcaljkom nadopuniti do oznake meniskusa (Slika 9.) destiliranim vodom. Za završno podešavanje meniskusa koristi se plastična kapalica (Pasteurova pipeta).

REZULTATI

1. Priložiti stehiometrijske račune za pripremu otopina soli.
2. Nacrtati skicu postupka pripreme otopine soli otapanjem u staklenoj čaši, a ispod slika označiti korake: vaganje – otapanje – kvantitativni prijenos – nadopuna do meniskusa.

Vježba 2: Priprema otopina kiselina i lužina

MJERE OPREZA I ZBRINJAVANJE OTPADA:

- koristiti zaštitnu odjeću i obuću
- potreban je poseban oprez prilikom rukovanja koncentriranim kiselinama i lužinama
- pripremati razrijeđene kiseline izbjegavanjem VUK-a
- pripremljene razrijeđene kiseline i lužine bacati u izljev te ga odmah isprati tekućom vodom.

CILJEVI

- upoznavanje s laboratorijskim posuđem i priborom za pripremu otopina kiselina i lužina
- upoznavanje s laboratorijskim tehnikama: mjerenje volumena i priprema otopina
- primjena stehiometrijskog računa za pripremu otopina kiselina i lužina razrjeđivanjem iz koncentriranijih otopina
- primjena stehiometrijskog računa za razrjeđivanje prema udjelima i omjerima
- pravilno crtanje pribora i aparatura.

OPREMA, PRIBOR I KEMIKALIJE

Oprema	Pribor	Kemikalije
	<ul style="list-style-type: none">- odmjerne tikvice od 100 cm³ i 50 cm³- propipeta- graduirana pipeta od 2 cm³ i 5 cm³- prijenosna pipeta- štrcaljka za destiliranu vodu- plastična kapalica	<p>koncentrirane kiseline: HCl, H₂SO₄</p> <p>lužina: NH₃(aq)*</p> <p>vodikov peroksid 30 %</p>

***Napomena:** amonijak je plin na sobnoj temperaturi, kada se otapa u vodi nastupa ravnoteža:

$\text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$. Prisutno je označavanje vodene otopine amonijaka i kao NH₄OH(aq), međutim s obzirom na to da je amonijak slaba baza, u otopini je taj oblik slabo prisutan.

POSTUPAK

Priprema otopine kiseline i lužine zadane množinske, masene koncentracije i zadanog udjela ili omjera razrjeđivanjem iz koncentriranih: HCl, H₂SO₄, NH₃(aq) ili H₂O₂ u zadanom volumenu od 100 cm³ ili 50 cm³

1. Voditelj praktikumske grupe zadaje parametre za pripremu otopina kiseline, lužina i pripremu otopina prema udjelima ili omjerima te provjerava stehiometrijski račun. Ako su računi točni, može se krenuti s pripremom otopina.
2. Pripremiti otopine kiseline ili lužine zadane koncentracije razrjeđivanjem iz koncentriranih otopina u originalnim ambalažama, prema podacima navedenim na deklaracijama.
Nije dozvoljeno pipetiranje iz originalnih boca te je potrebno pretočiti manji volumen u reagens-bocu (dovoljan za pipetiranje izračunatog volumena). Iz reagens-boce graduiranom ili prijenosnom pipetom odmjeriti potreban volumen i prenijeti ga u odmjernu tikvicu te štrcaljkom nadopuniti do oznake meniskusa destiliranom vodom. Za završno podešavanje meniskusa koristiti plastičnu kapalicu. Paziti kod priprema kiseline da se prvo doda manja količina destilirane vode u odmjernu tikvicu, zatim doda izračunata količina kiseline i tek onda nadopuni odmjerna tikvica destiliranom vodom do oznake, s ciljem izbjegavanja VUK-a.
3. Pripremiti otopine kiseline ili lužine zadane koncentracije razrjeđivanjem iz već razrijeđenih otopina kiseline i lužina prema podacima na laboratorijskim reagens-bocama.
Ponoviti postupak pripreme prikazan pod točkom 2.
4. Pripremiti otopinu 1-3-postotnog vodikovog peroksida iz 30-postotnog, prema podacima navedenim na deklaraciji. Kod računa pretpostaviti da je gustoća 1-3-postotnog vodikovog peroksida približno jednaka gustoći vode, 1 g cm⁻³ (kod jako razrijeđenih otopina, ako nije zadano, uzima se navedena aproksimacija).
Ponoviti postupak pripreme prikazan pod točkom 2.
5. Razrijediti otopinu dobivenu pod točkom 4. zadani broj puta.
Ponoviti postupak pripreme prikazan pod točkom 2.

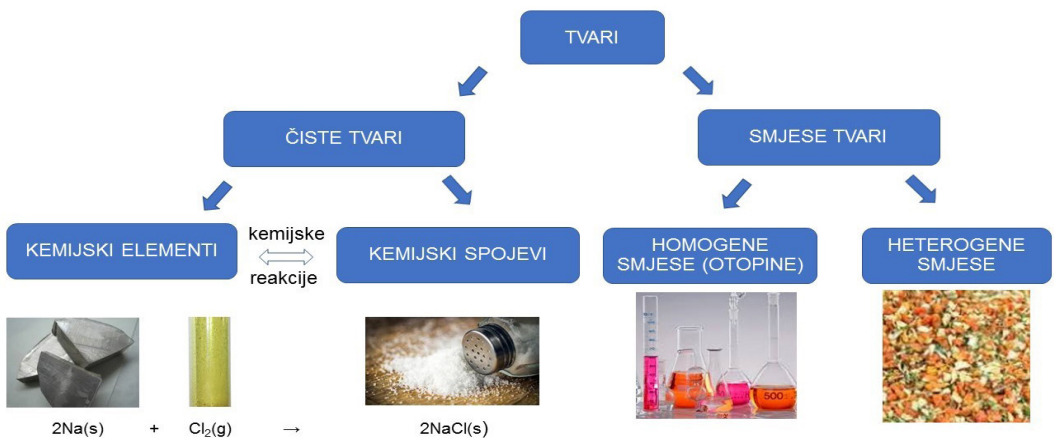
REZULTATI

1. Priložiti stehiometrijske račune za pripremu otopina.
2. Nacrtati skicu postupka pripreme otopine kiseline razrjeđivanjem iz koncentrirane, a ispod slika označiti korake: dodatak dijela vode u odmjernu tikvicu – pipetiranje koncentrirane kiseline – nadopuna do oznake.

4. Postupci rastavljanja čistih tvari iz smjese

Tvar je prema definiciji sve ono što zauzima prostor i posjeduje masu. Tvari se u prirodi mogu podijeliti na čiste tvari i smjese, homogene i heterogene (Slika 13.). Čiste tvari su homogene tvari točno određenog i stalnog kemijskog sastava i ostalih karakterističnih osobina. Čine ih kemijski elementi koji stupaju u kemijske reakcije te nastaju kemijski spojevi. Homogene smjese ili otopine su homogene tvari sastavljene od smjese čistih tvari. Heterogene tvari predstavljaju heterogene smjese različitih homogenih tvari. Homogene i heterogene smjese mogu se posebnim postupcima rastaviti na sastavne, tj. čiste tvari.

Slika 13. Podjela tvari



4.1. Rastavljanje heterogenih smjese

Čiste tvari se lako odjeljuju iz njihovih heterogenih smjese, fizičkim putem, na osnovi različitih fizikalnih svojstava tih čistih tvari.

U tu svrhu koristi se:

- sedimentiranje
- dekantiranje
- centrifugiranje
- filtriranje.

Sedimentiranje

Sedimentiranje je odjeljivanje suspenzija kod kojih je gustoća suspendirane tvari znatno veća od gustoće kapljevite tvari te se suspendirana tvar taloži na dno.

Dekantiranje

Uzastopni postupak sedimentiranja i odlijevanja kapljevine iznad taloga naziva se dekantiranje.

Centrifugiranje

Centrifugiranje je sedimentiranje ubrzano djelovanjem centrifugalne sile. Centrifugalna sila se postiže djelovanjem centrifuge (ručna, vodena, električna).

Filtriranje

Filtracijom se naziva postupak odjeljivanja komponenata heterogene smjese na temelju veličine čestica, propuštanjem smjese kroz pore filtarskog sredstva (filtarski papir, sinterirano staklo, porculan i sl). Čestice koje imaju promjer veći od promjera pora filtarskog sredstva zaostaju na njemu, dok čestice čija je veličina manja od promjera pora prolaze kroz filtarsko sredstvo. Obično se filtracijom odjeljuju krute čestice od otopine, no filtrirati se mogu i plinovi (npr. u klimatizacijskim uređajima filtracijom se uklanja prašina iz zraka). U slučaju da se filtrira suspenzija (tekućina koja sadrži raspršene krute čestice), bistra otopina koja prolazi kroz filtarsko sredstvo naziva se *filtrat*, a krute čestice koje su zaostale na filtarskom sredstvu nazivaju se *ostatak* ili *talog*.

U laboratorijskom radu najčešće se koriste tri postupka filtracije: *obična filtracija*, *filtracija kroz naborani filtarski papir* i *filtracija pod sniženim tlakom (vakuumaska filtracija)*. Kod obične filtracije kao filtarsko sredstvo koristi se filtarski papir kroz koji tekućina koja se filtrira protječe pod djelovanjem gravitacije. Ako se primjenjuje podtlak kod filtriranja, radi se o vakuumskoj filtraciji.

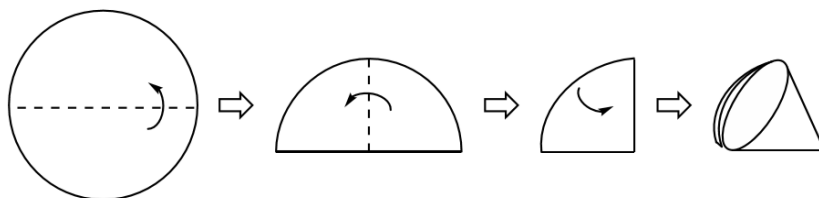
Postoji više vrsta filtarskih papira, a međusobno se razlikuju prema veličini pora. Za filtraciju se uvijek odabire filtarski papir s dovoljno malim porama da kroz njega ne prolaze čestice taloga, ali ipak ne suviše malima zbog brzine filtriranja. Izrada filtarskog papira čini se jednostavnom tehnikom, no postoji više načina izrade. Često se koriste različite tehnike pripreme (načina savijanja) kako bi se ostvarila identična svrha. Dvije su uobičajene tehnike: 1) izrada običnog filtarskog papira (Slika 14.) i 2) izrada naboranog filtarskog papira (Slika 15.).

1. Izrada običnog (ljevkastog, četverostruko presavijenog) filtarskog papira

Ako postoji potreba da se odvoji krutina koja se nalazi u smjesi krutina – kapljevina, uobičajeno je da se fine čestice kovitlaju i rasprše ako se tikvica naginje ili zatrese. Takve se smjese ne mogu jednostavno odvojiti

dekantiranjem, već se koristi gravitacijska filtracija. Gravitacijska filtracija se koristi kada se želi sačuvati filtrat (kapljevina koja je prošla kroz filtarski papir), dok će se krutina koja je zadržana na filtarskom papiru najvjerojatnije odbaciti.

Slika 14. Izrada običnog filtarskog papira. Crtkane linije predstavljaju mjesta presavijanja (nabiranja) filtarskog papira. Strelice ukazuju na smjer presavijanja



Najbolji je način da se smjesa krutina – kapljevina prelije preko tako načinjenog filtarskog papira (koji se nalazi u lijevku odgovarajućih dimenzija) kao da želimo dekantirati smjesu, držeći krutinu što duže na dnu tikvice iz koje prelijevamo smjesu. Kada krutina počne dolaziti na filtarski papir, postoji mogućnost da ona začepi pore filtarskog papira i/ili uspori filtraciju. Nakon što smo završili s filtracijom, uobičajeno isperemo krutinu na filtarskom papiru (i u tikvici iz koje smo prelijevali smjesu) s nekoliko obroka čistog otapala kako bismo dodatno povukli preostali spoj koji se vezao za krutinu u filtrat.

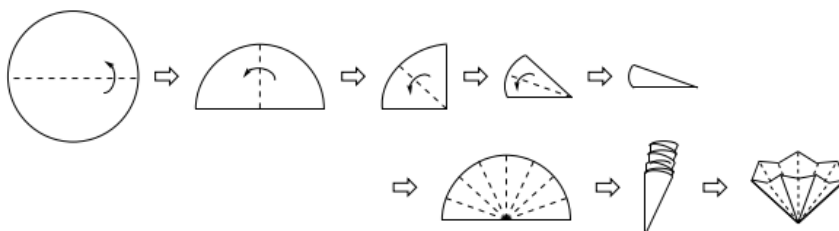
2. Izrada naboranog filtarskog papira

Filtracija preko naboranog filtarskog papira uobičajeno se koristi kada želimo ukloniti nečistoće koje su netopljive u otapalu u kojem je željeni spoj topljiv. Također se koristi u prekristalizacijama u kojima se koristi aktivni ugljen kako bi se uklonile obojene nečistoće od krutine (napomena: aktivni ugljen je fini prah i ne može ga se ukloniti dekantiranjem). Naborani filtarski papir ima mnogo pregiba i veliku površinu, što omogućuje brzu filtraciju.

Naborani filtarski papir koristi se kada želimo odfiltrirati vruće otopine spojeva (kristala) koji kristaliziraju procesom hlađenja. Važno je pritom da lijevak ostane vruć prilikom filtracije kontaktom s vrućim parama otapala jer bi se inače kristali mogli prijevremeno istaložiti na filtarskom papiru ili izlazu iz lijevka. Također je važno pritom filtrirati otopinu što brže te se stoga upotrebljava naborani filtarski papir. Što je veći broj nabora, površina dostupna za filtraciju je veća i filtracija je brža. Naborima se također ostvaruje prostor između filtarskog papira i staklenog lijevka, što omogućuje da zrak lakše izlazi iz tikvice u koju se slijeva otapalo sa željenim spojem.

Filtarski papir mora veličinom odgovarati veličini lijevka. Kada se stavi u lijevak, filtarski papir ne bi trebao biti kraći od šireg vrha lijevka jer bi se inače otopina mogla prelići s vanjske strane filtarskog papira prilikom ulijevanja otopine.

Slika 15. Izrada naboranog filtarskog papira. Crtkane linije predstavljaju mjesta presavijanja (nabiranja) filtarskog papira. Strelice ukazuju na smjer presavijanja.



4.2. Rastavljanje homogenih smjesa

Za odjeljivanje čistih tvari iz njihovih homogenih smjesa koristi se:

- destilacija (frakcijska i vakuumska destilacija)
- uparavanje
- sublimacija
- ekstrakcija (izmućkavanje)
- kromatografija.

Destilacija

Destilacija je proces koji se sastoji od uparavanja i ukapljivanja (Slika 17.). Destilacijom se odjeljuju kapljevite, lakše hlapljive tvari iz otopina, dok zaostaju teško hlapljive tvari. Smjesa koja se destilira može biti otopina koja sadrži otoplenu čvrstu tvar ili pak smjesa tekućina. Postupnim hvatanjem frakcija, tzv. frakcijskom destilacijom moguće je postupno odvojiti tvari vrlo bliskog vrelišta. *Vakuumska* ili *vakuum-destilacija* je destilacija pri sniženom tlaku, kod koje se aparatura za destilaciju priključuje na vakuum-pumpu kojom se izvlači zrak i stvara podtlak. Vakuumska destilacija primjenjuje se za odjeljivanje sastoj(a)ka tekućih smjesa u slučajevima kada sastojak ili sastojci koji se žele izolirati imaju visoko vrelište ili kada su osjetljivi na povišenu temperaturu. Vrelište tekućine ovisi o tlaku; što je tlak niži, to će i vrelište biti niže, pa će sastojak koji se želi izolirati destilirati pri nižoj temperaturi.

Uparavanje

Za razliku od destilacije, kod koje je sastojak koji se želi izolirati destilat (otapalo), uparavanje se koristi ako je željeni sastojak nehlapljivi ostatak (otopljena tvar).

Sublimacija

Sublimacija je izravan prijelaz iz čvrstog u plinovito stanje i opet natrag u čvrsto stanje, bez kapljevitog međustanja. Tim postupkom iz smjese se odjeljuju tvari koje sublimiraju.

Ekstrakcija

Ekstrakcija je izdvajanje neke tvari iz otopine, suspenzije ili čvrste tvari pomoću otapala. Temelji se na različitoj topljivosti neke tvari u otapalu u odnosu na polaznu fazu. Postoje dvije vrste ekstrakcija: *tekuće – tekuće* i *čvrsto – tekuće*.

Kod ekstrakcije tekuće – tekuće dolazi do raspodjele tvari između dvije tekuće faze koje se međusobno ne miješaju. Uspostavlja se ravnoteža jer je nakon razdvajanja otapala na dva sloja omjer koncentracija u otapalima stalan bez obzira na volumene otapala i količinu otopljene tvari. Tu pojavu definira Nernstov zakon razdjeljenja:

$$K = \frac{c_1}{c_2}$$

pri čemu su c_1 i c_2 ravnotežne koncentracije (množinske), a K je koeficijent razdjeljenja (stalan pri određenoj temperaturi). Ako je c_1 koncentracija tvari u otapalu manje gustoće (gornji sloj), onda se iz koeficijenta razdjeljenja može vidjeti kako će se tvar ponašati kod raspodjele između otapala. U slučaju $K > 1$ onda je $c_1 > c_2$, tvar je topljivija u otapalu manje gustoće i nakon ekstrakcije će koncentracija tvari u tom otapalu biti K puta veća nego u otapalu veće gustoće. Prijelaz tvari odvija se na dodirnoj površini dvaju otapala pa je potrebno površinu povećati mućkanjem u cilju veće uspješnosti, zbog čega se ekstrakcija tekuće – tekuće često naziva i *izmućkavanje*. Višestrukim izmućkavanjem tvar se može potpuno ekstrahirati iz smjese, a postupak se provodi u lijevku za odjeljivanje. Kod izmućkavanja treba uvijek voditi računa o tome da u lijevku nastaje pretlak koji se mora izjednačiti s vanjskim atmosferskim tlakom otvaranjem donjeg pipca (Slika 18.).

Kod ekstrakcije čvrsto – tekuće tvar se iz krutine izdvaja u tekuću fazu, tj. otapalo. Molekule od interesa mogu biti uklopljene unutar čvrste faze ili mogu za nju biti vezane međumolekulskim silama. Usitnjavanjem čvrste faze omogućava se prodiranje otapala u blizinu molekula i oslobađanje

iz čvrste faze u tekuću. Postupak ekstrakcije čvrsto – tekuće moguće je izvesti kuhanjem s otapalom u tikvici s povratnim vodenim hladilom što se naziva *refluksiranje*, nakon čega se najčešće provodi i ekstrakcija tekuće – tekuće radi što boljeg izdvajanja tvari.

Kromatografija

Kromatografija je metoda odvajanja smjesa tvari na sastavne komponente putem razdiobe između dvije faze: mobilne i stacionarne, u svrhu identifikacije, pročišćavanja ili kvantitativnog određivanja.

Mobilna faza je pokretna (plin, tekućina), a stacionarna faza je nepokretna (krutina, tekućina). Tvar se raspodjeljuje između mobilne i stacionarne faze, pri čemu se uspostavlja ravnoteža, tj. dio tvari ostane adsorbiran na stacionarnoj fazi, a dio se otopi u mobilnoj fazi. Kako se mobilna faza kreće i odnosi otoplenu tvar, ravnoteža se poremeti i da bi se ponovo uspostavila, otapa se nova količina tvari u svježije pristigloj mobilnoj fazi. Proces se odvija kroz niz adsorpcija i otapanja tako što mobilna faza sa sobom odnosi tvar u dio stacionarne faze na kojem još nema adsorbirane tvari. U adsorpcijskoj kromatografiji se kao mobilna faza upotrebljavaju otapala koja se razlikuju sposobnošću desorbiranja (eluiranja) tvari sa stacionarne faze.

Papirna kromatografija (Slika 19.) je postupak odjeljivanja komponenti smjesa pri čemu je stacionarna faza voda vezana na -OH skupine celuloze u filtarskom papiru, a mobilna faza otapalo ili neka smjesa otapala (u koju je uronjen filtarski papir). Mobilna faza nosi pojedine sastojke različitim brzinama u smjeru širenja otapala kroz filtarski papir. Širenje mobilne faze uvjetovano je djelovanjem kapilarnih sila. Odjeljivanje komponenata u smjesi ovisi ponajprije o njihovim topljivostima u mobilnoj i stacionarnoj fazi, ali i veličini ako je svojstvo topljivosti podjednako. Mjesto na kojem se nalazi uzorak označeno je kao *start* (početna točka od koje komponenta putuje). Fronta otapala (razvijača) je zona najveće udaljenosti mobilne faze od starta. Kada se fronta otapala približi rubu filtarskog papira, on se izvadi iz otapala te se detektiraju udaljenosti do kojih je došla komponenta.

Put koji je prešla komponenta u odnosu na otapalo izražava se veličinom koja se naziva faktor zadržavanja R_f (engl. *related to front*, mjerilo za pokretljivost tvari).

$$R_f = \frac{d_{uzorka}}{d_{otapala}}$$

Faktor zadržavanja upućuje na brzinu prolaska tvari kroz stacionarnu fazu, a definiran je kao omjer prijeđenog puta uzorka od starta (d_2 ili d_3 , Slika 19.b) i udaljenosti fronte otapala od starta (d_1 , Slika 19.b).

Ako komponente nisu obojene, da bi se izmjerile R_f vrijednosti, potrebno ih je učiniti vidljivima korištenjem UV-lampe, izlaganjem parama kristala joda ili prskanjem sumpornom kiselinom.

Za razdvajanje *višekomponentnih smjesa* potrebno je, na temelju karakteristika čistih tvari, odlučiti koje postupke primijeniti.

Vježba 3: Filtracija i destilacija

MJERE OPREZA I ZBRINJAVANJE OTPADA:

- koristiti zaštitnu odjeću i obuću
- otopine netopljivih taloga ne bacati u odvod, već u adekvatne spremnike za otpad
- oprez pri radu s plamenikom
- vruće dijelove aparature za destilaciju hvatati krpom.

CILJEVI

- savladavanje postupaka filtracije, vakuumske filtracije i destilacije.

OPREMA, PRIBOR I KEMIKALIJE

	Oprema	Pribor	Kemikalije
filtracija		<ul style="list-style-type: none">- stakleni štapići- željezni stativ i prsten- Büchnerov lijevak- epruvete- stalak za epruvete- odsisna boca- vodena vakuum-pumpa- staklena čaša od 300 cm³- stakleni lijevak- gumene redukcije- filtarski papir- škare- staklene reagens-boce s pum-picom- štrcaljka za destiliranu vodu	<ul style="list-style-type: none">Pb(NO₃)₂ 0,1 mol dm⁻³AgNO₃ 0,1 mol dm⁻³HCl 1 mol dm⁻³FeCl₃ 0,1 mol dm⁻³NH₃(aq) 1 mol dm⁻³KI 0,1 mol dm⁻³destilirana voda

	Oprema	Pribor	Kemikalije
destilacija	Bunsenov plamenik	<ul style="list-style-type: none"> - okrugla tikvica od 100 cm³ - redukcija - nastavak za destilaciju - termometar - Liebigovo hladilo - lula za destilaciju - gumene ili silikonske cijevi - Erlenmeyerova tikvica - tronog - keramička mrežica - željezni stativi s klemama i mufama - tronožac - menzura 50 cm³ - kuglice za vrenje - šibice - indikatorski papir - plastična žličica - pinceta - stakleni štapić - čaša 50 cm³ 	<p>H₂SO₄ 2 mol dm⁻³ kristali CuSO₄·5H₂O</p>

POSTUPAK

Filtracija običnim filtarskim papirom

1. Sastaviti aparaturu kako je prikazano na Slici 16.a koristeći stakleni lijevak, željezni stativ i prsten, čašu od 200 cm³ i filtarski papir.
2. U epruveti pomiješati 1-2 cm³ AgNO₃ i 1-2 cm³ HCl te pričekati formiranje taloga.
3. Pripremiti običan filtarski papir prema uputama na Slici 14.
4. Pripremljeni filtarski papir staviti u lijevak i lagano ga namočiti destiliranom vodom koristeći bocu štrcaljku.
5. Preko staklenog štapića izliti otopinu iz epruvete u lijevak. Ispirati epruvetu destiliranom vodom dok se sav talog ne prenese u lijevak.

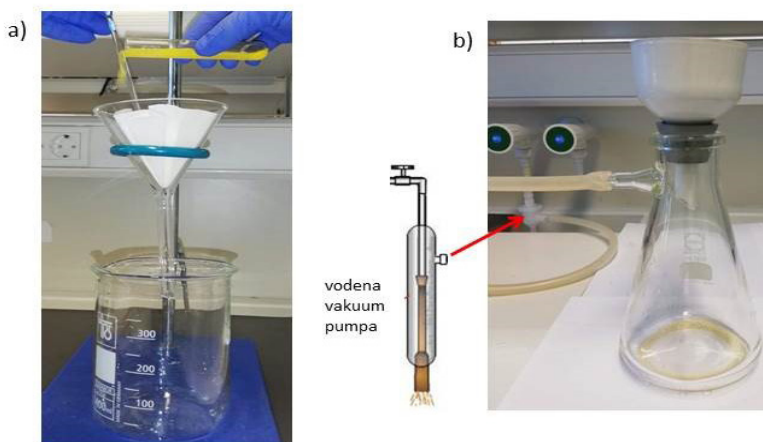
Filtracija naboranim filtarskim papirom

1. Sastaviti aparaturu kako je prikazano na Slici 16.a koristeći stakleni lijevak, željezni stativ i prsten, čašu od 300 cm³ i filtarski papir.
2. U epruveti pomiješati 1-2 cm³ Pb(NO₃)₂ i 1-2 cm³ KI i pričekati formiranje taloga.
3. Pripremiti naborani filtarski papir prema uputama na Slici 15.
4. Staviti naborani filtarski papir u lijevak i lagano ga namočiti destiliranom vodom koristeći bocu štrcaljku.
5. Preko staklenog štapića izliti otopinu iz epruvete u lijevak. Ispirati epruvetu destiliranom vodom dok se sav talog ne prenese u lijevak.

Vakuumska filtracija

1. U dvije epruvete pomiješati 1-2 cm³ FeCl₃ i 1-2 cm³ NH₃(aq), dobro protresti i pričekati formiranje taloga.
2. Talog iz prve epruvete profiltrirati korištenjem naboranog filtarskog papira prema gornjim uputama.
3. Za filtriranje taloga iz druge epruvete sastaviti aparaturu kako je prikazano na Slici 16.b koristeći Büchnerov lijevak, vodenu vakuum-pumpu, odsisnu bocu, gumenu cijev i filtarski papir. Vodenu vakuum-pumpu spojiti s vodovodnom cijevi tako da se skinu raspršivač vode (završni izljevni dio na vrhu slavine) i pumpa montira na slavinu preko navoja. Kako stvoreni podtlak ne bi povukao filtrat u odvod, potrebno je pri početku vakuumske filtracije najprije otvoriti slavinu (protok vodovodne vode) pa pričvrstiti cijev na odsisnu bocu te pri završetku filtracije prvo skinuti cijev pa zatvoriti slavinu.
4. Pripremiti filtarski papir tako da se prilikom postavljanja u Büchnerov lijevak pokriju rupe, ali ne da dopire do ruba lijevka kako se ne bi naborao te kako tekućina ne bi prolazila ispod filtarskog papira.
5. Büchnerov lijevak s filtarskim papirom postaviti u odsisnu bocu i lagano ga namočiti destiliranom vodom koristeći bocu štrcaljku.
6. Preko staklenog štapića izliti otopinu iz druge epruvete u lijevak.
7. Otvoriti protok vodovodne vode kroz vakuum-pumpu i pričvrstiti cijev na odsisnu bocu.

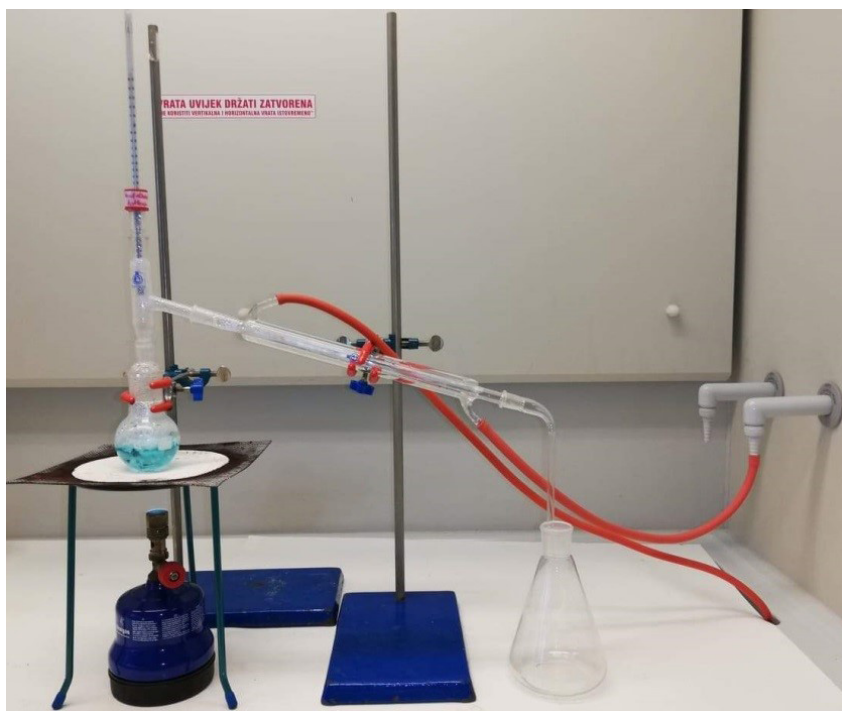
Slika 16. Aparatura za filtraciju (a) i vakuumsku filtraciju (b)



Destilacija

1. Sastaviti aparaturu prema Slici 17. koristeći tikvicu za destilaciju, nastavak za destilaciju, plamenik, tronog, keramičku mrežicu, Liebigovo hladilo, gumene cijevi, željezne stativne s klemama i mufama, lulu za destilaciju te Erlenmeyerovu tikvicu.
2. U tikvicu za destilaciju uliti 50 cm^3 destilirane vode, 1 cm^3 otopine sumporne kiseline, 1 žlicu bakrovog(II) sulfata pentahidrata i nekoliko kuglica za vrenje.
3. Univerzalnim indikatorskim papirom provjeriti pH vrijednost otopine. Izmjerenu vrijednost zapisati u laboratorijski dnevnik.
4. Otopinu zagrijati do vrenja pri čemu dolazi do prolaska para kroz Liebigovo hladilo, a na kraju hladila kondenzira destilat.
5. Pričekati dok se ne nakupi oko 3 cm^3 destilata u Erlenmeyerovoj tikvici.
6. Indikatorskim papirom provjeriti pH destilata. Izmjerenu vrijednost zapisati u laboratorijski dnevnik.

Slika 17. Aparatura za destilaciju



REZULTATI

Filtracija

1. Skicirati aparaturu za vakuumsku filtraciju te usporediti filtraciju želatinoznog taloga filtracijom i vakuumskom filtracijom.

Destilacija

1. Skicirati aparaturu za destilaciju sulfatno-kisele otopine bakrovog(II) sulfata pentahidrata i objasniti ukratko princip destilacije.
2. Koliko je iznosio pH otopine prije destilacije, a koliko pH destilata? Objasniti.

Vježba 4: Ekstrakcija, kromatografija i razdvajanje višekomponentne smjese

MJERE OPREZA I ZBRINJAVANJE OTPADA:

- koristiti zaštitnu odjeću i obuću
- otapala (jod u kloroformu) ne bacati u odvod, već u adekvatne spremnike za otpad
- oprez pri radu s plamenikom
- vruće dijelove aparature koja se koristi za razdvajanje višekomponentne smjese hvatati krpom.

CILJEVI

- savladavanje postupaka ekstrakcije, papirne kružne kromatografije i razdvajanja višekomponentne smjese.

OPREMA, PRIBOR I KEMIKALIJE

	Oprema	Pribor	Kemikalije
Ekstrakcija	Bunsenov plamenik	<ul style="list-style-type: none">- lijevak za odjeljivanje- stativ- željezni prsten- staklena čaša od 200 cm³- menzura od 10 cm³- pipeta od 5 cm³- propipeta- otpadna boca za kloroform	kloroform (CHCl ₃) vodena otopina joda
Kromatografija		<ul style="list-style-type: none">- škare- plastična Petrijeva zdjelica s poklopcem- filtarski papir- kapilarne kapaljke	NaOH 0,1 mol dm ⁻³ bromkrezol ljubičasto bromkrezol zeleno metilno narančasto erikrom crno T bromtimol modriilo

	Oprema	Pribor	Kemikalije
Razdvajanje smjese	Bunsenov plamenik	<ul style="list-style-type: none"> - tronožac - keramička mrežica - boca štrcaljka - stakleni lijevak - vata - filtarski papir - drvena hvataljka - porculanska zdjelica - stalak za epruvete - stakleni štapić - šibice - žličica 	NaCl NH ₄ Cl pijesak (SiO ₂) voda

POSTUPAK

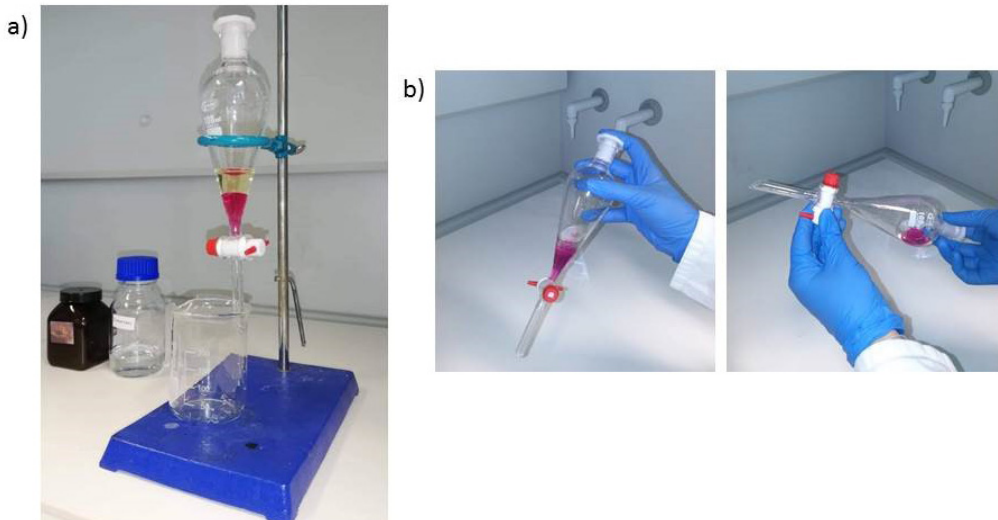
Ekstrakcija

1. Sastaviti aparaturu prema Slici 18.a.
2. U lijevak za odjeljivanje uliti oko 10 cm³ vodene otopine joda.
3. Dodati 5 cm³ kloroforma i dobro izmučkati. Prilikom izmučkavanja lijevak okrenuti naopako i povremeno otvarati pipac kako bi se tlak u lijevku izjednačio s vanjskim tlakom (Slika 18.b).
4. Lijevak staviti u željezni prsten na stativu i pustiti da se slojevi odijele. Gornji sloj je otopina joda u vodi, a donji sloj otopina joda u kloroformu. Jod se razdijelio između vode i kloroforma tako da je njegova koncentracija u kloroformu 250 puta veća nego u vodi.

$$250 = \frac{[I_2]_{(CHCl_3)}}{[I_2]_{(H_2O)}}$$

5. Donji sloj otpustiti u čašu, a u lijevak za odjeljivanje dodati još 5 cm³ kloroforma i ponoviti izmučkavanje.
6. Donji sloj opet otpustiti u čašu.

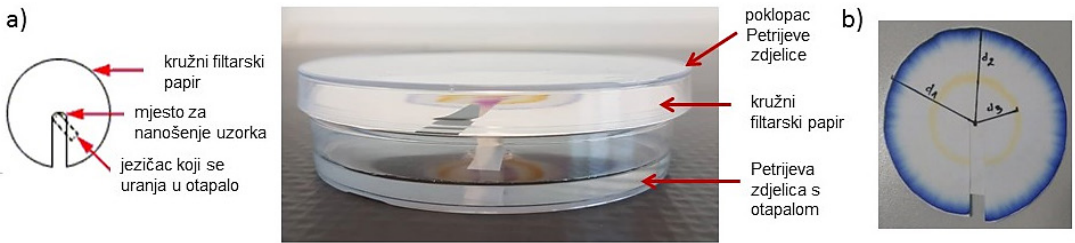
Slika 18. Aparatura za ekstrakciju (a), postupak izmučkavanja (b)



Papirna kružna kromatografija

1. Olovkom iscrtati kružni oblik na filtarskom papiru nekoliko mm veći od Petrijeve zdjelice. Prema iscrtanom, izrezati filtarski papir. Zarezati jezičac širine 0,5 cm od ruba papira do sredine gdje će se nanositi uzorak i skratiti ga za 1/3 (Slika 19.a).
2. U donji dio Petrijeve zdjelice uliti 0,1 mol dm⁻³ NaOH dok se ne prekrije dno zdjelice.
3. Na prethodno izrezani filtarski papir nanijeti uzorak nepoznatog sastava. Uzorak se nanosi tako da se kapilarnu kapaljku uroni u uzorak i zatim nježno prisloni u središte filtarskog papira. Postupak ponoviti 2 puta, a nakon svakog nanošenja pričekati da se nanese uzorak posuši. Širina mrlje uzorka mora biti nešto manja od 1 cm.
4. Zarezani jezičac saviti prema dolje te postaviti filtarski papir s uzorkom na donji dio Petrijeve zdjelice tako da je jezičac uronjen u otapalo. Poklopiti Petrijevu zdjelicu (Slika 19.a).
5. Ostaviti dok otapalo ne dođe cca 1 cm od ruba zdjelice, zatim ukloniti filtarski papir iz otapala i ostaviti da se posuši.

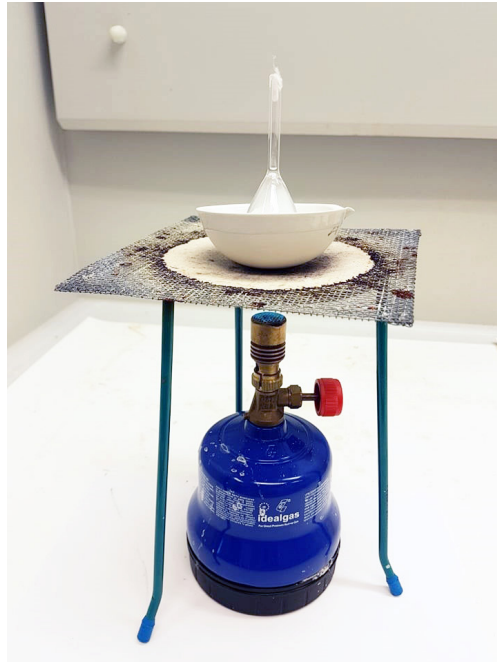
Slika 19. Aparatura za papirnu kromatografiju (a) i kromatogram (b) s označenom frontom otapala (d_1), put tvari 2 (d_2) i put tvari 3 (d_3)



Razdvajanje višekomponentne smjese

1. Sastaviti aparaturu prema Slici 20.
2. Izvagati praznu porculansku zdjelicu i stakleni lijevak. Odvage zapisati u laboratorijski dnevnik.
3. U porculanskoj zdjelici pomiješati otprilike po 2 g NaCl, NH_4Cl i pijeska. Točne odvage zapisati u laboratorijski dnevnik.
4. Zdjelicu s odvaganim NaCl, NH_4Cl i pijeskom poklopiti staklenim lijevkom čiji je uži kraj prethodno zatvoren vatom.
5. Zdjelicu postaviti na keramičku mrežicu iznad plamenika i zagrijavati otprilike 5 minuta dok NH_4Cl ne sublimira.
6. Hvataljkom pažljivo ukloniti stakleni lijevak, a porculansku zdjelicu maknuti s plamenika.
7. Ohladiti lijevak te ga izvagati. Odvagu zapisati u laboratorijski dnevnik.
8. Izvagati praznu epruvetu i odvagu zapisati u laboratorijski dnevnik. Pripremiti filtarski papir prema uputama iz prethodne vježbe (filtracija običnim filtarskim papirom), izvagati ga te odvagu zapisati u laboratorijski dnevnik.
9. U ohlađenu porculansku zdjelicu dodati malo vode, promiješati te filtrirati u izvaganu epruvetu tako da pijesak zaostane na filtarskom papiru.
10. Pijesak s filtarskim papirom prebaciti u čistu porculansku zdjelicu te prebaciti u sušionik kako bi otparila preostala voda. Nakon otparavanja i hlađenja izvagati filtarski papir sa zaostalim pijeskom te odvagu zapisati u laboratorijski dnevnik.
11. Vodu iz otopine natrijeva klorida iz staklene epruvete nakon filtracije otpariti na plameniku. Nakon otparavanja i hlađenja izvagati epruvetu s natrijevim kloridom te odvagu zapisati u laboratorijski dnevnik.

Slika 20. Zagrijavanje smjese



REZULTATI

Ekstrakcija

1. Skicirati aparaturu za ekstrakciju tekuće – tekuće i objasniti ukratko princip. Tijekom pokusa pratiti i objasniti promjene u boji otopina.

Papirna kružna kromatografija

1. Priložiti kromatogram s označenim zonama otapala i pojedinih sastojaka uzorka (Slika 19.b).
2. Izračunati R_f vrijednosti za svaku komponentu vašeg uzorka.
3. Na temelju kromatograma pojedinih sastojaka uzorka zaključiti od kojih se tvari sastojao vaš uzorak.

Razdvajanje višekomponentne smjese

1. Na temelju Tablice 2. obrazložiti zašto je primijenjena ova kombinacija metoda te navesti koji su fizikalni postupci primijenjeni za razdvajanje svake od komponenti smjese.

Tablica 2. Odabrane fizikalne karakteristike spojeva NaCl, NH₄Cl i SiO₂

Svojstvo	NaCl	NH ₄ Cl	SiO ₂
Topljivost g / 100 g H ₂ O pri 25 °C	35	37	netopljiv
Talište, °C	801	350	1600
Dodatna karakteristika	-	sublimira	-

2. Na temelju odvaga zabilježenih tijekom pokusa, u laboratorijskom dnevniku prikazati iskorištenja prema predlošku (Tablica 3.).

Tablica 3. Predložak za prikaz rezultata Vježbe 4

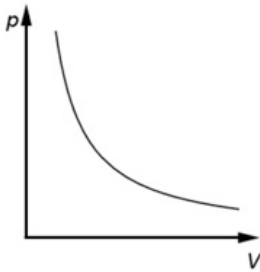
	NaCl	NH ₄ Cl	SiO ₂
Početna masa uzorka (g)			
Konačna masa uzorka nakon razdvajanja (g)			
Iskorištenje (konačno/početno) · 100 %			

3. Obrazložiti gubitak/prinos pojedinih sastojaka smjese prilikom razdvajanja.

5. Plinski zakoni

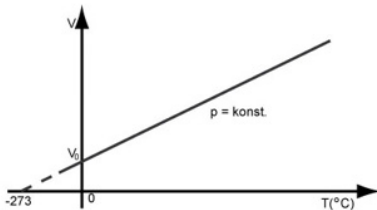
Plinskim zakonima definira se odnos između tlaka, temperature, volumena i količine plina, odnosno definira se ovisnost jedne varijable o drugoj, ako se ostale dvije drže konstantnima.

Boyle-Mariotteov zakon opisuje hiperbolom odnos tlaka i volumena uz uvjet konstantne temperature i količine plina:



$$V \propto \frac{1}{p} \quad p \cdot V = \text{konst.} \quad p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

Charlesov zakon (ili Gay-Lussacov) opisuje linearni odnos volumena i temperature uz uvjet konstantnog tlaka i količine plina. Volumen plina se povećava ako se povećava temperatura plina, i obrnuto. Pri temperaturi apsolutne nule ($-273,15 \text{ }^\circ\text{C}$ ili 0 K) volumen svih hipotetskih plinova (plinovi čije molekule imaju masu, nemaju volumen i ne prelaze u tekućinu ili krutinu) postaje nula.



$$V \propto T \quad V = \text{konst.} \cdot T \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

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

Isto vrijedi uz uvjete konstantnog tlaka i količine plina:

$$p \propto T \quad p = \text{konst.} \cdot T \quad \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

S obzirom na ovisnost svojstava plinova o temperaturi i tlaku postavljeni su standardni uvjeti temperature i tlaka (STP) pri kojima se mogu uspoređivati različiti plinovi. Standardna temperatura za plinove je $0 \text{ }^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K}$, a standardni tlak iznosi $101\,325 \text{ Pa}$.

Avogadrov zakon opisuje ovisnost volumena i količine plina pri konstantnoj temperaturi i tlaku plina. Jednaki volumeni različitih plinova uspoređivani pri istoj temperaturi i tlaku sadrže jednak broj molekula. Odnosno, jednak broj molekula različitih plinova, uspoređujući ih pri istoj temperaturi i tlaku, zauzima isti volumen.

$$V \propto n \quad \frac{V}{n} = konst.$$

Volumen plina po molu (V/n) još se naziva **molarni volumen**. Molarni volumen zauzima jedan mol tvari, a mijenja se s promjenom tlaka i temperature. Volumen plina uz standardne uvjete (temperatura 0 °C i tlak 101 325 Pa) iznosi 22,4 dm³ mol⁻¹.

Svaki od ova tri plinska zakona opisuje promjenu jedne varijable ako se druge dvije zadržavaju konstantnima:

$$V \propto \frac{1}{p} \quad V \propto T \quad V \propto n$$

Kombinacijom tih zakona nastaje jednadžba idealnog plina (uz pretpostavku da između molekula plina nema međumolekulskih sila te da molekule ne zauzimaju volumen):

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

p – tlak plina (Pa)

V – volumen (m³)

n – količina tvari (mol)

R – plinska konstanta 8,314 J K⁻¹ mol⁻¹

T – temperatura (K).

Boyle i Charles su zaključke za svoje zakone postavili na temelju ponašanja zraka što je smjesa plinova. Stoga, jednostavni plinski zakoni i jednadžba idealnog plina primjenjivi su jednako na smjesu nereaktivnih plinova kao i na individualne plinove.

$$p_{(ukupni)} = \frac{n_{(ukupni)} \cdot R \cdot T}{V} \quad (T = konst., V = konst)$$

$$V_{(ukupni)} = \frac{n_{(ukupni)} \cdot R \cdot T}{p} \quad (T = konst., p = konst)$$

Daltonovim zakonom dodatno je proširena studija na idealne plinske smjese. Ukupni tlak smjese plinova u određenom volumenu jednak je zbroju parcijalnih tlakova pojedinih sastojaka.

$$p_{(\text{ukupni})} = p_A + p_B + \dots \quad V_A = \frac{n_A \cdot R \cdot T}{p_{(\text{ukupni})}}; \quad V_B = \frac{n_B \cdot R \cdot T}{p_{(\text{ukupni})}}; \dots$$

$$V_{(\text{ukupni})} = V_A + V_B + \dots \quad \varphi(A) = \frac{V_A}{V_{(\text{ukupni})}} \cdot 100\%; \quad \varphi(B) = \frac{V_B}{V_{(\text{ukupni})}} \cdot 100\%; \dots$$

Ovaj zakon primjenjuje se i kod sakupljanja plina iznad vode (Vježba 5, sakupljanje plina iznad vode u boci za odsisavanje, E, Slika 21.) kada je on „mokar”, tj. sadrži plin od interesa i vodenu paru. Plin koji se sakuplja ekspandira u boci, zauzima volumen iznad vode i ima parcijalni tlak $p(\text{plin})$. Vodena para isto zauzima volumen iznad vode i ima parcijalni tlak $p(\text{H}_2\text{O})$. Tlak vodene pare ovisi isključivo o temperaturi vode (Tablica 4.). Prema Daltonovom zakonu, ukupan tlak mokrog plina u boci je zbroj dva parcijalna tlaka. Izjednačavanjem tlaka u boci s atmosferskim (podizanjem čaše, J, Slika 21.) vrijedi:

$$p_{(\text{ukupni})} = p_{(\text{plin})} + p_{(\text{H}_2\text{O})} \quad p_{(\text{plin})} = p_{(\text{atmosferski})} - p_{(\text{H}_2\text{O})}$$

Vježba 5: Molarni volumen plina

MJERE OPREZA I ZBRINJAVANJE OTPADA:

- koristiti zaštitnu odjeću i obuću
- potreban je oprez prilikom rukovanja s HCl 2 mol dm⁻³
- pripremljene razrijeđene kiseline i ostale otopine baciti u izljev te ga odmah isprati tekućom vodom.

CILJEVI

- upoznavanje s plinskim zakonima
- određivanje standardnog molarnog volumena plinova na temelju volumena kisika i vodika razvijenog u pokusima.

Oprema	Pribor	Kemikalije
analitička vaga	<ul style="list-style-type: none">- Erlenmeyerova tikvica od 250 cm³- boca za odsisavanje od 500 cm³- čaša od 200 cm³- gumeni čepovi s 1 rupom- staklene cijevi pod 90°- gumene ili silikonske cijevi- pumpica- gumena posudica- menzure od 25 cm³ i 100 cm³- stezaljka po Hoffmannu- pinceta- željezni stalak- mufa- klema	<p>za kisik:</p> <p>otopina vodikova peroksida, $w(\text{H}_2\text{O}_2) = 3\%$</p> <p>suhi pekarski kvasac</p> <p>za vodik:</p> <p>magnezij (prah)</p> <p>HCl 2 mol dm⁻³</p>

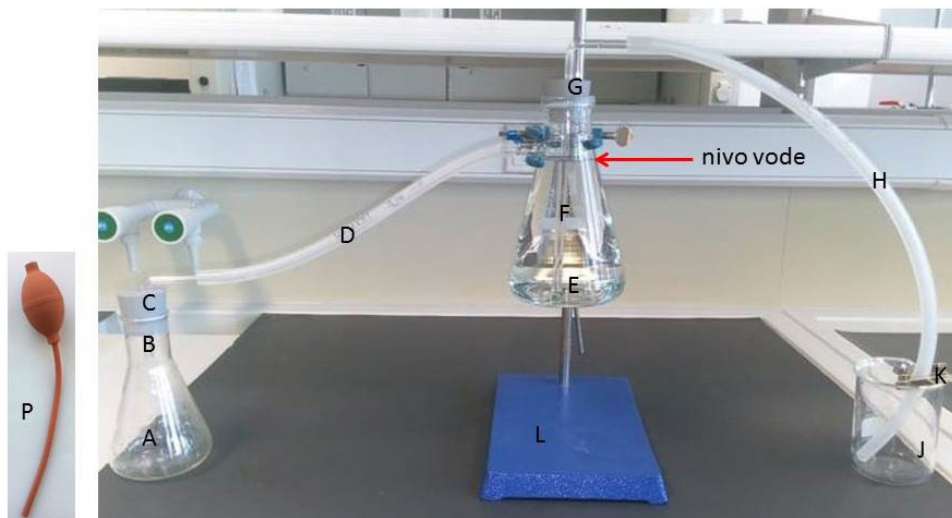
POSTUPAK

1. Određivanje standardnog molarnog volumena kisika

Da bi se izmjerio molarni volumen plina, mora se proizvesti određeni broj molova tog plina te izmjeriti njegova temperatura, volumen i tlak.

1. U menzuri odmjeriti 25 cm³ otopine vodikova peroksida i oprezno preliti u Erlenmeyerovu tikvicu (A, Slika 21.) tako da se ne smoči unutarnji dio grla (ako se smoči unutarnji dio grla tikvice, treba ga obrisati).
2. U gumenu posudicu staviti suhog kvasca skoro do vrha posudice. Pomoću dugačke pincete oprezno prebaciti posudicu s kvascem u Erlenmeyerovu tikvicu (A, Slika 21.). Paziti da prilikom stavljanja posudice u tikvicu vodikov peroksid ne dođe u dodir s kvascem u posudici te da se kvasac ne prosipa iz posudice.

Slika 21. Aparatura za određivanje molarnog volumena



3. Prema Slici 21. postaviti aparaturu tako da se boca za odsisavanje (E) napuni vodom otprilike do $\frac{3}{4}$ volumena (oznaka strelice na Slici 21.) i dobro začepi čepom (G) s provučenom staklenom cijevi (F) te montira na stalak (L).
4. Odvodnu cijev (H) postaviti u čašu (J) i otpustiti stezaljku (K).
5. Kroz staklenu cijev (B) provučenu kroz čep (C) Erlenmeyerove tikvice (A) pomoću pumpice (P) upuhati zrak tako da voda iz boce za odsisavanje (E) poteče u čašu (J) te se formira sifon. Čep brzo umetnuti u grlo Erlenmeyerove tikvice i dobro začepiti.

6. Paziti da se pritom ne protrese tikvica, kako vodikov peroksid ne bi došao u dodir s kvascem.
7. Nakon što se začepila Erlenmeyerova tikvica (A), voda bi iz cijevi (H) trebala prestati prelaziti u čašu (J). Ako voda i dalje nastavi teći (što se uočava po laganom povećanju razine vode u čaši, ili smanjenju razine vode u boci za odsisavanje), negdje u aparaturu ulazi zrak (tj. aparatura ne brtvi dobro), pa treba provjeriti sve spojeve na aparaturi.
8. Nakon provjere brtvljenja aparature, držeći cijev (H) uronjenu u vodu u čaši (J), podizanjem čaše izjednačiti razine vode u čaši i boci sisaljki (E). Na taj se način izjednači tlak zraka u aparaturi s atmosferskim tlakom.
9. Prstima stisnuti gumenu cijev (H), izvaditi je iz čaše (ne popuštati stisak da iz cijevi ne bi počela curiti voda) i stegnuti stezaljku (K).
10. Vodu iz čaše izliti, čašu s unutarnje strane obrisati krpom da bude suha, vratiti cijev (H) u čašu i otpustiti stezaljku (K). Aparatura je spremna za mjerenje.
11. Lagano nagnuti i protresti Erlenmeyerovu tikvicu (A) tako da se posudica s kvascem prevrne i kvasac pomiješa s vodikovim peroksidom. Kvasac je bogat enzimom katalazom, koji katalizira reakciju disproporcioniranja vodikova peroksida:

$$2\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g})$$
12. Razvijanje kisika vidljivo je po mjehurićima koji se burno razvijaju u tikvici. Nastali kisik istiskuje vodu iz boce za odsisavanje (E).
13. Povremeno, laganim kružnim pokretima promiješati sadržaj Erlenmeyerove tikvice (A).
14. Pričekati da u tikvici prestane razvijanje mjehurića kisika, a zatim ostaviti tikvicu stajati još otprilike 10 minuta, dok se sadržaj u njoj ne ohladi na sobnu temperaturu.
15. Podizanjem čaše ponovo izjednačiti razine vode u čaši i boci za odsisavanje, prstima stegnute gumenu cijev (H) i izvaditi cijev iz čaše (J).
16. Volumen vode u čaši izmjeriti menzuroom i u laboratorijski dnevnik zabilježiti izmjerenu vrijednost.
17. Rastaviti ostatak aparature i dijelove aparature oprati.
18. Na laboratorijskom termometru očitati temperaturu u laboratoriju, a vrijednost atmosferskog tlaka očitati na laboratorijskom barometru. Navedene vrijednosti tlaka i temperature zabilježiti u rezultate.

2. Određivanje standardnog molarnog volumena vodika

Pokus za proizvodnju vodika provesti na isti način kao pod 1. Na analitičkoj vagi odvagati 0,2 g magnezija u gumenoj posudi i prenijeti u Erlenmeyerovu tikvicu u kojoj je 25 cm³ HCl, 2 mol dm⁻³.

REZULTATI

Izračunati tražene vrijednosti prema predlošku.

1. Izračunati standardni molarni volumen kisika $V_m^\circ(O_2)$.

Podatci iz pokusa:

$$V(H_2O) = V(O_2) =$$

$$p(atm) =$$

$$p(H_2O, \text{temp} ______) =$$

$$p^\circ =$$

$$T^\circ =$$

$$T =$$

Standardni molarni volumen kisika, $V_m^\circ(O_2)$, računa se prema formuli:

$$V_m^\circ(O_2) = \frac{V^\circ(O_2)}{n(O_2)}$$

u kojoj je $n(O_2)$ množina kisika razvijenog u pokusu, a $V^\circ(O_2)$ volumen kisika, mjeren pri standardnim uvjetima tlaka i temperature (tj. pri $p^\circ = 101325 \text{ Pa}$ i $T^\circ = 273,15 \text{ K}$).

Nastali plin u aparaturi je kisik koji je sakupljan iznad vode pa sadržava i vodenu paru. Njega se na kraju mjerenja, izjednačavanjem razina vode, izjednačilo s atmosferskim tlakom $p(atm)$. Tlak kisika u aparaturi $p(O_2)$ dobiva se oduzimanjem tlaka vodene pare, $p(H_2O)$, od atmosferskog tlaka $p(atm)$ prema formuli:

$$p(O_2) = p(atm.) - p(H_2O)$$

Podatci o $p(H_2O)$ pri temperaturi na kojoj je izvršeno mjerenje nalaze se u Tablici 4.

Volumen razvijenog kisika jednak je volumenu vode istisnute u čašu tijekom eksperimenta:

$$V(O_2) = V(H_2O)$$

Da bi se taj volumen, iz uvjeta tlaka i temperature koji su vladali u laboratoriju tijekom mjerenja, preračunalo na uvjete standardnog tlaka (p°) i temperature (T°), treba se poslužiti relacijom:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \frac{p^\circ \cdot V^\circ}{T^\circ} \qquad V^\circ = \frac{p(O_2) \cdot V(O_2) \cdot T^\circ}{T \cdot p^\circ}$$

Nakon što se izračuna volumen V° razvijenog kisika pri standardnim uvjetima, množinu kisika $n(O_2)$ koja je potrebna za izračun standardnog molarnog volumena kisika $V_m^\circ(O_2)$ može se izračunati iz jednadžbe idealnog plina.

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \qquad n(O_2) = \frac{p(O_2) \cdot V(O_2)}{R \cdot T} \qquad V_m^\circ(O_2) = \frac{V(O_2)}{n(O_2)}$$

Tablica 4. Ravnotežni tlakovi vodene pare u području temperatura od 15 do 30 °C

$t / ^\circ\text{C}$	$p(\text{H}_2\text{O}) / \text{Pa}$	$t / ^\circ\text{C}$	$p(\text{H}_2\text{O}) / \text{Pa}$
15	1693	23	2784
16	1804	24	2957
17	1937	25	3168
18	2064	26	3361
19	2197	27	3565
20	2338	28	3780
21	2486	29	4009
22	2644	30	4245

1. Izračunati standardni molarni volumen vodika $V_m^\circ(\text{H}_2)$.

Podatci iz pokusa:

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

$$p(\text{atm}) =$$

$$p(\text{H}_2\text{O}, \text{temp} \text{_____}) =$$

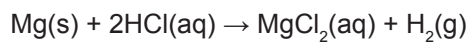
$$p^\circ =$$

$$T^\circ =$$

$$T =$$

Račun je isti kao pod 1., samo se koriste podatci za vodik.

Vodik će se stvarati u reakciji između magnezija s 2 mol dm^{-3} klorovodičnom kiselinom.



1. Skicirati aparaturu u trenutku odvijanja kemijske reakcije (označiti smjer gibanja plina i vode).

6. Termokemija

Općenito je energija sposobnost za provođenjem rada, a rad se provodi kada sila djeluje na nekoj udaljenosti. Svaka kemijska tvar, a time i svaki kemijski sustav, sadrži određenu količinu energije, tzv. unutarnju energiju. Toplina je kinetička energija sustava povezana s nasumičnim gibanjem molekula, dok je kemijska energija dio unutarnje energije povezan s kemijskim vezama i međumolekulskim interakcijama. Toplina, kao i rad, veličina je koja opisuje količinu energije koja se izmijeni između sustava i okoline. Toplina je energija koja se s jednog tijela prenese na drugo tijelo, uslijed razlike u temperaturi ta dva tijela i to s toplijeg tijela na hladnije. Prijenosom topline s toplijeg tijela na hladnije povećava se kinetička energija čestica hladnijeg tijela (na primjer, čestice plina počinju se brže gibati, a ioni u kristalnoj rešetki krutine počinju jače titrati), dok toplije tijelo kroz koliziju čestica gubi kinetičku energiju. Toplinska energija se prenosi dok se srednje molekularne kinetičke energije dva tijela ne izjednače, odnosno temperature tijela ne postanu jednake. Jedinica za toplinu je džul (J).

Veza između promjene temperature nekog tijela (ΔT) i prenesene topline (Q) dana je relacijom:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

gdje je (m) masa tijela, a (c_p) specifični toplinski kapacitet tijela, izražen u jedinicama $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$. Ta relacija omogućuje izračunavanje topline koju je nekom tijelu mase m potrebno dovesti (ili oduzeti) da bi mu se temperatura promijenila za ΔT . Ako se zna koliko je topline neko tijelo izmijenilo s okolinom, na temelju gornje jednadžbe može se izračunati za koliko mu se pritom promijenila temperatura.

Koliko je topline potrebno za promjenu temperature ovisi o:

- temperaturnoj promjeni
- količini tvari
- prirodi tvari (vrsta atoma ili molekula).

Voda ima visoku vrijednost specifičnog toplinskog kapaciteta ($4,18 \text{ J g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ pri $25 \text{ }^\circ\text{C}$) u odnosu na krutine i plinove, a to je posljedica vodikovih veza između molekula vode.

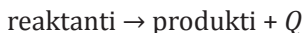
U općenitom kemijskom procesu izmjena energije prikazuje se kroz relaciju:

reaktanti \rightarrow produkti,

ako je sadržaj energije reaktanata veći od sadržaja energije produkata, tada tijekom kemijske reakcije dolazi do oslobađanja viška energije:



a ako se ta energija oslobađa u obliku topline (Q), tu promjenu se može prikazati s:

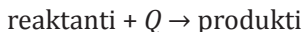


Oslobodena toplina utrošit će se na zagrijavanje sustava i okoline, pa će se kod takvog procesa tijekom reakcije opaziti porast temperature reakcijskog sustava. Takvi se procesi nazivaju **egzotermnim procesima**.

S druge strane, ako je sadržaj energije produkata veći od sadržaja energije reaktanata, tijekom reakcije mora doći do utroška (apsorpcije) energije:



Ako se i ovdje energija apsorbira u obliku topline, proces se može prikazati s:



Zbog apsorpcije topline iz sustava ili okoline, tijekom reakcije opazit će se da temperatura reakcijskog sustava opada. Proces kod kojih se toplina apsorbira nazivaju se **endotermnim procesima**.

U cilju točnog mjerenja toplinskih promjena reakcijski sustav koji se proučava mora biti toplinski izoliran od okoline, kako se toplina oslobodena u procesu ne bi gubila u okolinu ili kako toplina iz okoline ne bi prelazila na sustav i time ga zagrijavala. Uređaji koji omogućuju takva mjerenja nazivaju se **kalorimetri**. Kalorimetar se sastoji od dobro izolirane zatvorene posude tankih stijenki, u kojoj se odvija promatrani proces, te mjernih instrumenata koji omogućuju precizno mjerenje temperature. Zakon očuvanja energije definira da u interakcijama sustava i okoline ukupna energija ostaje konstantna, energija se niti ne stvara, niti uništava pa je stoga:

$$Q(\text{sustav}) + Q(\text{okolina}) = 0 \quad Q(\text{sustav}) = -Q(\text{okolina})$$

odnosno,

$$Q(\text{reakcije}) = -Q(\text{kalorimetar})$$

Toplina reakcije pri konstantnom tlaku jednaka je promjeni entalpije ΔH ,

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

a molarna entalpija reakcije definira se kao toplina koja se troši ili oslobađa pri reakciji jednog mola tvari:

$$\Delta H_{(\text{reakcije})} = -\frac{Q_{(\text{reakcije})}}{n_{(\text{tvari})}} \quad (\text{J mol}^{-1})$$

Većina se kemijskih procesa, uključujući i one u živim organizmima, odvija u uvjetima konstantnog tlaka (najčešće je to atmosferski tlak). Pri konstantnom tlaku i temperaturi, toplina apsorbirana ili oslobođena tijekom nekog kemijskog procesa vidljiva je iz promjene entalpije (ΔH). Promjena entalpije tijekom nekog kemijskog procesa (tzv. entalpija reakcije) definira se kao razlika između entalpije produkata i entalpije reaktanata:

$$\Delta H = H(\text{produkti}) - H(\text{reaktanti})$$

Drugim riječima, da bi se odredilo promjenu entalpije pri nekoj kemijskoj reakciji, potrebno je samo izmjeriti toplinu koja se pri toj reakciji apsorbira ili oslobodi. Ako je za neku reakciju $\Delta H < 0$, iz gornjeg izraza proizlazi da je $H(\text{produkti}) < H(\text{reaktanti})$ i takva je reakcija egzotermna. Obrnuto, ako je za neku reakciju $\Delta H > 0$, proizlazi da je $H(\text{produkti}) > H(\text{reaktanti})$ i takva je reakcija endotermna.

U slučaju otapanja ionskog spoja događa se nekoliko procesa, a svaki je definiran promjenom entalpije. Potrebno je dovesti energiju kako bismo razdvojili molekule otapala i razbili kristalnu rešetku ionskog spoja dok se energija oslobađa tijekom solvatacije (hidratacije ako je otapalo voda). Primjer endoternog i egzoternog otapanja soli prikazan je Slikom 22. Ako su ukupna entalpija potrebna za razbijanje međumolekulskih sila otapala i entalpija kristalne rešetke veće od entalpije hidratacije (solvatacije), ukupni proces otapanja soli je endoterman (Slika 22., primjer NH_4Cl). Suprotno, ako su ukupna entalpija potrebna za razbijanje međumolekulskih sila otapala i entalpija kristalne rešetke manje od entalpije solvatacije, ukupni proces otapanja soli je egzoterman (Slika 22., primjer CaCl_2).

Prilikom prijelaza nekog kemijskog sustava iz određenog početnog stanja u određeno konačno stanje, oslobođena ili apsorbirana količina topline (promjena entalpije) ne ovisi o putu reakcije, tj. ona je ista bez obzira na to zbiva li se reakcija u jednom stupnju ili u više stupnjeva što je definirano **Hessovim zakonom**.

Ne postoji način određivanja apsolutne vrijednosti entalpija, već samo promjene, zbog toga što je nemoguće odrediti entalpije za sve moguće reakcije.

Eksperimentalno su određene samo tzv. standardne entalpije nastajanja (stvaranja) tvari $\Delta_f H^0$ (indeks f dolazi od engl. *formation* = nastajanje), definirane kao promjena entalpije reakcije kojom se neka tvar sintetizira iz elementarnih tvari u standardnom stanju. Na primjer, standardna entalpija nastajanja vode jednaka je promjeni entalpije pri reakciji:

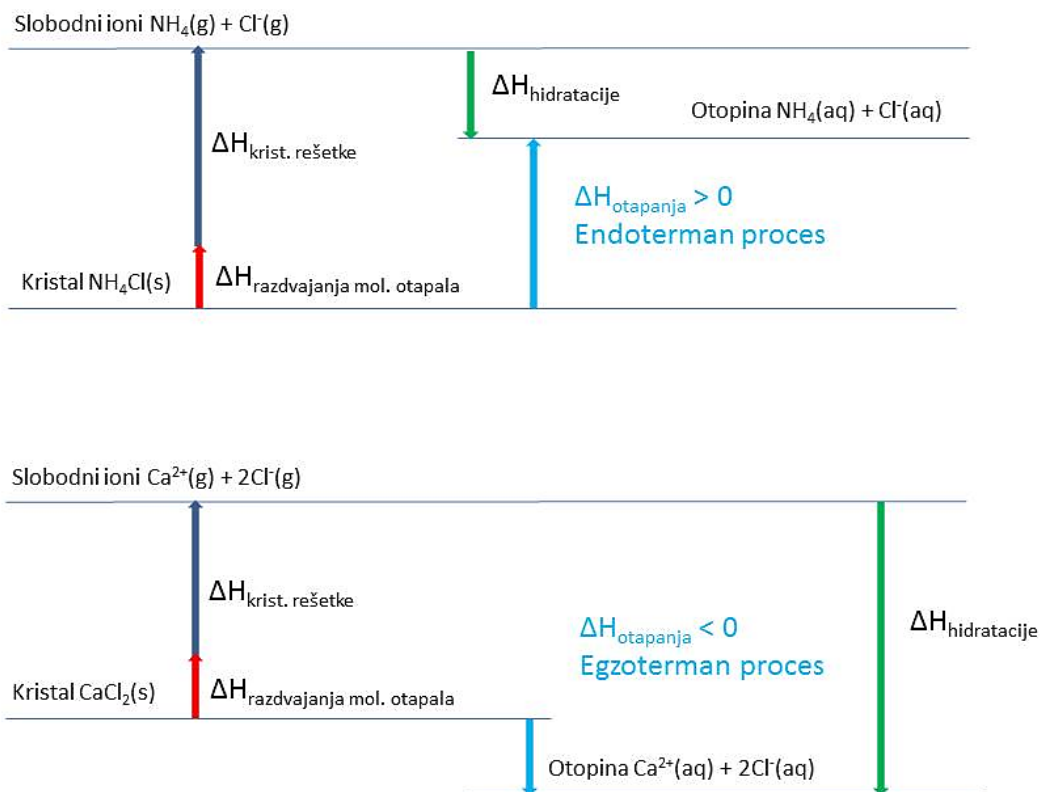


Dogovorno je uzeto da su standardne entalpije nastajanja tvari u elementarnom stanju jednake nuli. Poznavajući standardne entalpije nastajanja tvari (a one se nalaze u tablicama, u kemijskim priručnicima), za svaku reakciju se može izračunati promjenu entalpije tako da se od sume standardnih entalpija nastajanja produkata oduzme suma standardnih entalpija nastajanja reaktanata.

$$\Delta H = \sum \Delta_f H^0(\text{produkti}) - \sum \Delta_f H^0(\text{reaktanti})$$

Pritom je potrebno standardnu entalpiju nastajanja svakog produkta, odnosno reaktanta pomnožiti stehiometrijskim koeficijentom uz taj produkt, odnosno reaktant.

Slika 22. Endotermni i egzotermni procesi prilikom otapanja soli



Vježba 6: Entalpija otapanja soli i entalpija neutralizacije

MJERE OPREZA I ZBRINJAVANJE OTPADA:

- koristiti zaštitnu odjeću i obuću
- potreban oprez prilikom rukovanja s 2 mol dm^{-3} i 3 mol dm^{-3} otopinama kiselina i lužina
- potreban oprez zbog razvijanja topline tijekom reakcija neutralizacije
- pripremljene razrijeđene kiseline i lužine bacati u izljev te ga odmah isprati tekućom vodom.

CILJEVI

- upoznavanje s osnovama termokemije i energijskim promjenama kod kemijskih reakcija kalorimetrijskim mjerenjem molarne entalpije otapanja zadane soli i molarne entalpije neutralizacije zadane kiseline (ili lužine)
- izračunavanje entalpije otapanja soli i entalpije neutralizacije na temelju eksperimentalnih i literaturnih podataka
- primjena Hessova zakona.

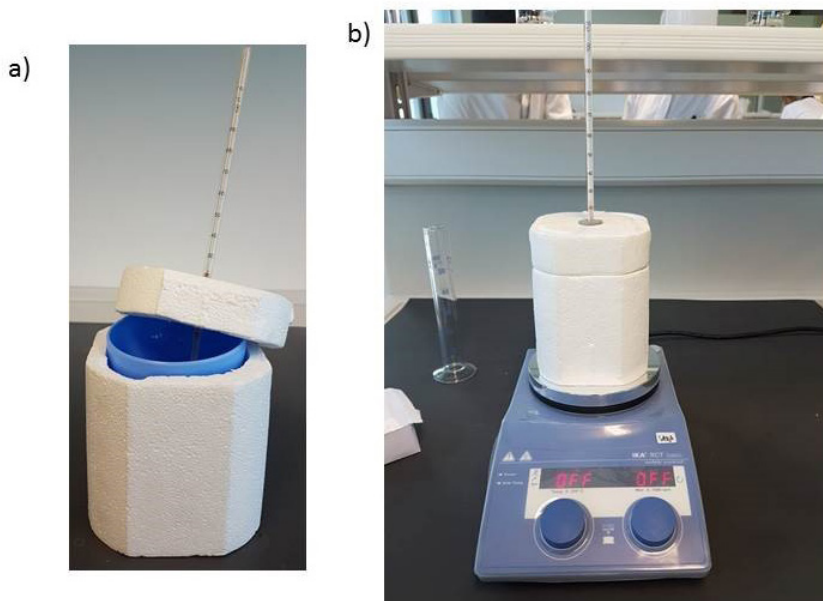
Oprema	Pribor	Kemikalije
analitička vaga	- alkoholni termometar	NH_4Cl
stiroporni kalorimetar	- menzura od 25 i 50 cm^3	NH_4NO_3
magnetska miješalica	- zaporna ura (štoperica)	CaCl_2
magnet	- boca štrcaljka	Na_2CO_3
	- čaša za ispiranje termometra	HCl i HNO_3 3 mol dm^{-3}
	- Beckmannov termometar	NaOH , $\text{NH}_3(\text{aq})$, H_2SO_4 2 mol dm^{-3} destilirana voda

POSTUPAK

Kalorimetar improvizirati tako da se za reakcijsku posudu upotrijebi plastična čaša umetnuta u stiroporni spremnik i pokrivena stiropornim poklopcem (Slika 23.a). Termometar provući kroz stiroporni poklopac i uroniti u čašu. Stiropor je slab vodič topline tako da je otopina u čaši

toplinski dobro izolirana od okoline. Sama čaša ima malu masu, pa je i toplina koju čaša apsorbira vrlo mala (taj dio topline ne troši se na zagrijavanje reakcijskog sustava, pa uzrokuje pogrešku u mjerenju). Prilikom mjerenja lukovica termometra treba biti u potpunosti uronjena u otopinu u kalorimetru, ali ne smije doticati stijenke kalorimetra (čaše). Konstrukcija jednog takvog improviziranog kalorimetra na magnetskoj miješalici, koja služi za miješanje otopine magnetom ubačenim u plastičnu čašu, prikazana je na Slici 23.b.

Slika 23. Kalorimetar: izolirana čaša za reakcijsku smjesu s termometrom (a) i kalorimetar postavljen na magnetsku miješalicu za miješanje reakcijske smjese (b)



U kalorimetru treba pomiješati dvije otopine koje trenutno reagiraju pri čemu se oslobodi određena količina topline te temperatura smjese u kalorimetru trenutačno raste. Međutim, termometar će zbog tromosti konačnu vrijednost temperature pokazati tek nakon 30 sekundi. S obzirom na to da se zbog malih toplinskih gubitaka u okolinu smjesa u kalorimetru cijelo vrijeme i hladi, ako se nastavi očitavati temperatura koju pokazuje termometar, primijetit će se njezino lagano opadanje. Za početnu temperaturu (t_0) kod određivanja entalpije otapanja soli treba uzeti temperaturu vode, a kod određivanja entalpije neutralizacije izmjeriti temperaturu otopina prije miješanja.

Očitane vrijednosti temperature tijekom pokusa unijeti u koordinatni sustav, kao funkcije vremena kada su očitane, te kroz dobivene točke provući pravac i ekstrapolirati do trenutka kad su otopine pomiješane.

Dobit će se promjena temperature (Δt) reakcijske smjese u trenutku kad su otopine pomiješane (Slika 24.).

Poznavajući masu otopine u kalorimetru, njen specifični toplinski kapacitet i promjenu temperature reakcijske smjese, izračunati oslobođenu toplinu tijekom reakcije. S obzirom na to da je improvizirani kalorimetar koji se koristi u mjerjenju otvoren prema atmosferi, reakcija se u njemu odvija u uvjetima konstantnog tlaka, pa je oslobođena toplina jednaka promjeni entalpije tijekom te reakcije.

Određivanje entalpije otapanja soli

1. Ovisno o soli koju zadaje voditelj laboratorijske grupe, na tehničkoj vagi u lađici izvagati otprilike 10 g NH_4Cl , NH_4NO_3 , Na_2CO_3 , odnosno 6 g CaCl_2 . Točnu odvagau soli zabilježiti u laboratorijski dnevnik.
2. U čistu i suhu plastičnu čašu kalorimetra iz menzure uliti točno 50 cm^3 destilirane vode.
3. U vodu uroniti termometar provučen kroz stiroporni poklopac tako da mu je lukovica u potpunosti uronjena, ali da ne dotiče niti dno čaše, niti njene stijenke.
4. Pokrenuti magnetsku miješalicu i očitati temperaturu. Očitano temperaturu zabilježiti kao početnu temperaturu u laboratorijski dnevnik.
5. U vodu dodati odvagano sol (nadignuti stiroporni poklopac s termometrom da se može dodati sol), pokrenuti štopericu i početi očitavati što točnije temperaturu koju pokazuje termometar (očitanje je na 0,05 °C) svakih 10 sekundi sljedeće 3 minute (bilježiti vrijeme proteklo od trenutka kad se pokrenula štoperica).

Određivanje entalpije neutralizacije

1. Otopine se moraju u laboratoriju nalaziti barem 3 sata prije početka vježbi, kako bi poprimile jednaku temperaturu.
2. Ovisno o zadanoj lužini u suhu plastičnu čašu kalorimetra menzурom uliti 50 cm^3 otopine te lužine.
3. U otopinu uroniti termometar provučen kroz stiroporni poklopac tako da mu je lukovica u potpunosti uronjena, ali da ne dotiče niti dno čaše, niti njene stijenke.
4. U menzuru uliti 50 cm^3 otopine HCl ili HNO_3 (isprati menzuru ako se koristi ona u kojoj se odmjerila lužina), odnosno 25 cm^3 otopine H_2SO_4 , ovisno o tome koju je voditelj praktikumske grupe zadao.

- Pokrenuti magnetsku miješalicu i očitati temperaturu te zabilježiti kao početnu temperaturu u laboratorijski dnevnik.
- Otopinu kiseline iz menzure uliti u kalorimetar (nadigne se stiro-porni poklopac s termometrom da se može dodati kiselina). Pokrenuti štopericu, svakih 5 sekundi sljedeće 2 minute bilježiti vrijeme proteklo od trenutka kad se pokrene štoperica i očitati što točnije temperaturu koju pokazuje termometar (očitanje je na 0,05 °C).

REZULTATI

- Prikazati rezultate očitavanja temperature prema predlošcima u Tablici 5.

Tablica 5. Predlošci za prikaz rezultata Vježbe 6

Zadana sol	
Odvagana masa soli / m (g)	
Temperatura vode prije dodatka soli / t_0 (°C)	
vrijeme/s	
t /°C	

Zadana lužina		$c = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mol dm}^{-3}$	$V = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm}^3$
Zadana kiselina		$c = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mol dm}^{-3}$	$V = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm}^3$
Temperatura otopine odmah nakon miješanja t_0 /°C			
vrijeme/s			
t /°C			

- Grafički prikazati promjenu temperature otopine u vremenu i iz dobivenog grafa odrediti maksimalnu promjenu temperature otopine u reakcijama uzrokovanu:
 - otapanjem zadane soli
 - neutralizacijom zadane kiseline i lužine.

Označiti t_0 (početna temperatura), t_k (konačna temperatura) i Δt na grafu te prilagoditi skalu i položaj grafa s ciljem jasnog prikaza (Slika 24.). Na y osi očitati t_k kao sjecište s pravcem koji se dobije povlačenjem pravca po vrhu krivulje (za egzotermni dijagram) ili po dnu krivulje (za endotermni

dijagram), kroz nekoliko točaka s istom temperaturom. Vrijednost Δt se izračunava kao $\Delta t = t_k - t_o$.

3. Izračunati toplinu (q) utrošenu ili oslobođenu tijekom reakcija.

Mase dobivenih otopina jednake su:

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

$$m(\text{otopina}) = m(\text{otop. kiseline}) + m(\text{otop. lužine})$$

Masu otopine lužine, odnosno kiseline treba izračunati iz volumena pojedine otopine, uz pretpostavku da njihove gustoće iznose $\rho = 1,0 \text{ g cm}^{-3}$. Za specifični toplinski kapacitet svih otopina treba pretpostaviti da je jednak specifičnom toplinskom kapacitetu vode ($c_p(\text{H}_2\text{O}) = 4,18 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

4. Na temelju izračunate topline i množine otopljene soli (množinu izračunati iz izvagane mase soli), odrediti molarnu entalpiju otapanja zadane soli (toplina koja se troši ili oslobađa pri otapanju jednog mola soli):

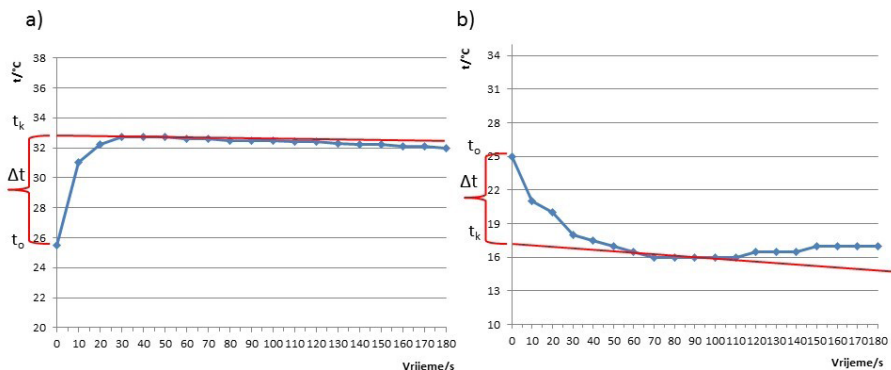
$$\Delta H(\text{otapanja}) = - \frac{Q}{n(\text{sol})}$$

Na temelju izračunate topline neutralizacije i množine mjerodavnog reaktanta (iz jednadžbe neutralizacije, na temelju poznatih koncentracija i volumena otopina kiseline i baze odrediti koji je mjerodavni reaktant), odrediti molarnu entalpiju neutralizacije zadane kiseline i lužine (toplina koja se oslobodi pri neutralizaciji jednog mola kiseline (ili baze) otopljene u velikoj količini otapala (najčešće vode):

$$\Delta H(\text{neutralizacije}) = - \frac{Q}{n(\text{mjerodavni reaktant})}$$

5. Na temelju izmjerene vrijednosti entalpije reakcija (endotermna/egotermna) zaključiti o odnosu vrijednosti entalpija: kristalne rešetke, hidratacije i neutralizacije.

Slika 24. Primjeri grafičkog prikaza egzotermne (a) i endotermne (b) promjene temperature otopine u vremenu i očitavanje Δt na y osi



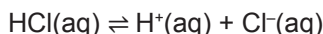
7. Elektroliti

Elektroliti su tvari koje u rastaljenom ili otopljenom stanju provode električnu struju pomoću slobodnih, pokretljivih iona. Pod utjecajem vanjskog električnog polja, ti se ioni gibaju prema suprotno nabijenim elektrodama – pozitivno nabijeni kationi prema negativnoj elektrodi (katodi), a negativno nabijeni anioni prema pozitivnoj elektrodi (anodi). Posljedica tog procesa je prijenos naboja kroz otopinu, tj. tok električne struje.

Elektroliti se dijele na prave elektrolite (ionski spojevi) i potencijalne elektrolite (kovalentni spojevi s parcijalnim ionskim karakterom kovalentne veze).

Prema stupnju disocijacije (ionizacije) elektroliti se mogu podijeliti na jake i slabe. Kao jaki elektroliti ponašaju se vodene otopine ionskih spojeva, odnosno kovalentnih spojeva koji su u otopini gotovo potpuno ionizirani. Njihove otopine dobro provode električnu struju. Slabi elektroliti su u otopini samo djelomično ionizirani, a njihove otopine slabo provode električnu struju.

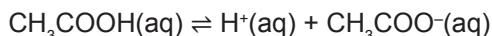
Kovalentni spojevi u vodenoj otopini disociraju zbog djelomično ionskog karaktera pojedine kovalentne veze. Na primjer, u molekuli klorovodika ionski karakter veze H–Cl prilično je izražen zbog velike razlike u elektronegativnosti klora i vodika:



H^+ kao takav ne egzistira u vodenoj otopini, već je vezan za molekulu vode i njegova stvarna struktura je H_3O^+ , hidronijev ion koji dalje stupa u interakciju s vodom i stvara spojeve primjerice H_5O_2^+ , H_7O_3^+ , H_9O_4^+ i mnoge druge. Ove interakcije se nazivaju hidratacijom i hidratizirani proton se prikazuje kao $\text{H}^+(\text{aq})$.

U molekuli sumporne kiseline veze O–H su polarizirane, pa se pod utjecajem dipolnih molekula vode heterolitički cijepaju, pri čemu nastaju ioni H_3O^+ i HSO_4^- . Kod iona HSO_4^- još uvijek postoji jedna veza O–H koja se može dalje cijepati. Međutim, kako je ion HSO_4^- već negativno nabijen, odcjepljenje pozitivnog iona H^+ postaje otežano, što objašnjava zašto ion HSO_4^- u vodenoj otopini ne disocira tako jako kao sumporna kiselina. Lakoća kojom će kod neke oksokiseline pucati veza O–H ovisi o jakosti te veze. Što je atom kisika vezan na elektronegativniji centralni atom, te što je na taj centralni atom vezano više drugih atoma kisika, to je gustoća elektronskog oblaka u vezi O–H više pomaknuta prema centralnom atomu. Zbog toga je veza O–H slabija, pa se lakše cijepa pod utjecajem dipolnih molekula vode, a spoj se ponaša kao jači elektrolit. Time se, na primjer, može objasniti zašto se H_2SO_4 i HClO_4 ponašaju kao jaki elektroliti, a H_3BO_3 i HClO kao slabi elektroliti. U vodenoj otopini octene kiseline

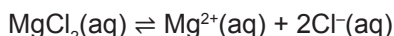
koja je slabi elektrolit samo dio kiseline se disocira na ione, odnosno većina ostaje nedisocirana u obliku $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$:



Ioni H_3O^+ i OH^- u vodenoj otopini jako dobro vode električnu struju. Razlog tome leži u posebnom mehanizmu vođenja električne struje. Dok ostali ioni u vodenoj otopini električnu struju vode tako što se fizički gibaju prema suprotno nabijenoj elektrodi, ioni H_3O^+ i OH^- s molekulama vode povezani su jakim vodikovim vezama. Zahvaljujući vodikovim vezama elektroni s molekule vode mogu relativno lako prelaziti na ione H_3O^+ i OH^- , čime se i veze između atoma pomiču. Takvim pomicanjem veza između molekula vode i iona H_3O^+ , odnosno OH^- , naboj se prenosi znatno brže nego kad bi se ti ioni samo gibali pod utjecajem električnog polja.

Ionski spojevi otapaju se u vodi zbog jakog dipolnog karaktera molekula vode. Molekule vode vežu se na ione na površini kristala i na taj način smanjuju utjecaj električnog polja susjednih iona na površinske ione. Zbog toga veza površinskih iona sa susjednim članovima u kristalnoj rešetki slabi i ioni se oslobađaju u otopinu. Ion oslobođen iz kristalne rešetke ionskog spoja u vodenoj je otopini u potpunosti obavijen molekulama vode koje su na njega vezane ionsko-dipolnim vezama, a često i kovalentnom vezom. Proces vezanja molekula vode na ione u otopini naziva se hidratacija, a za sam ion se kaže da je u vodenoj otopini hidratiziran. Stupanj hidratacije iona, tj. jakost veze i broj vezanih molekula vode ovisi o veličini i naboju iona. Što je ion manji, odnosno što je njegov naboj veći, to je gustoća naboja iona (omjer naboja i volumena iona) veća, pa on jače privlači dipolne molekule vode i jače je hidratiziran.

Ionski spojevi u vodenoj otopini potpuno disociraju primjerice,



Kod potpuno disociranih spojeva mogu se preračunati koncentracije iona.

U slučaju MgCl_2 nastaju Cl^- za svaki Mg^{2+} ion, pa će tako primjerice u 0,005 M otopini MgCl_2 biti 0,005 M Mg^{2+} i 0,01 M Cl^- , odnosno $[\text{Mg}^{2+}] = 0,005 \text{ mol dm}^{-3}$, $[\text{Cl}^-] = 0,01 \text{ mol dm}^{-3}$, $[\text{MgCl}_2] = 0 \text{ mol dm}^{-3}$.

Neelektroliti su prisutni u vodenoj otopini u nepromijenjenom obliku primjerice metanol, $\text{CH}_3\text{OH}(\text{aq})$.

Električna provodnost (σ) fizikalna je veličina koja opisuje svojstvo tvari za provođenjem električne struje. Električna provodnost otopina može se odrediti mjerenjem električne vodljivosti (G), pomoću konduktometrijske

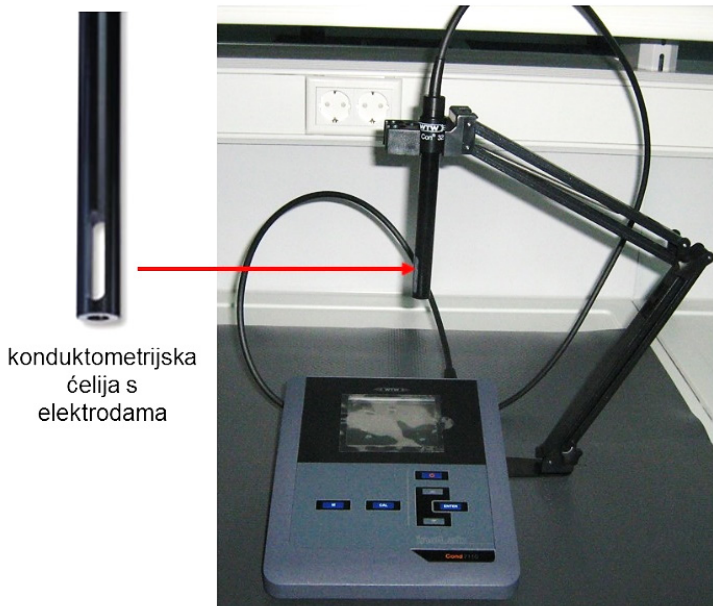
ćelije (Slika 25.) koja se sastoji od dviju paralelnih elektroda definirane površine (A), međusobno razmaknutih za udaljenost (l):

$$\sigma = \frac{G \cdot l}{A}$$

Mjerna je jedinica električne provodnosti Siemens po metru ($S \text{ m}^{-1}$).

Vodljivost otopine ovisi o koncentraciji i prirodi samih iona, površini elektroda (tj. površini presjeka stupca tekućine između elektroda) i razmaku između elektroda konduktometrijske ćelije (Slika 25.). SI jedinica za električnu provodnost je $S \text{ m}^{-1}$, ali se u praksi koristi 100 puta veća jedinica, $S \text{ cm}^{-1}$.

Slika 25. Konduktometar i elektroda konduktometra



Vježba 7: Provodnost otopina elektrolita

MJERE OPREZA I ZBRINJAVANJE OTPADA:

- koristiti zaštitnu odjeću i obuću
- potreban je oprez prilikom rukovanja s 2 mol dm⁻³ i 3 mol dm⁻³ otopinama kiselina i lužina
- pripremljene razrijeđene kiseline, lužine i otopljene soli baciti u izljev te ga odmah isprati tekućom vodom.

CILJEVI

- upoznavanje sa svojstvima jakih, odnosno slabih elektrolita
- stjecanje praktičnih iskustava u samostalnom pripremanju otopina i mjerenju njihove provodnosti
- predviđanje ponašanja elektrolita na temelju njihove strukture.

Oprema	Pribor	Kemikalije
analitička vaga	- odmjerna tikvica od 100 cm ³	HCl 3 mol dm ⁻³
konduktometar	- čaša od 25 cm ³	CH ₃ COOH 1 mol dm ⁻³
	- lijevak	NaOH 2 mol dm ⁻³
	- stakleni štapić	NH ₄ OH 2 mol dm ⁻³
	- staničevina	NH ₄ Cl 2 mol dm ⁻³
	- destilirana voda	KCl 2 mol dm ⁻³
	- plastična čaša za ispiranje elektrode	CH ₃ COONa 2 mol dm ⁻³
	- pipeta od 10 cm ³	NaCl 2 mol dm ⁻³
	- propipeta	
	- plastične samostojeće epruvete (Falcon) 50 cm ³	

POSTUPAK

Voditelj praktikumske grupe zadatak će svakom studentu 5 elektrolita čiju će provodnost ispitivati. Zadani elektrolit određene koncentracije student priprema samostalno. Kiseline i baze se priređuju razrjeđivanjem 3, 2 ili 1 mol dm⁻³ otopina.

1. U odmjernoj tikvici od 100 cm^3 , razrjeđivanjem koncentriranije otopine ili odvagom krutine, prirediti otopinu zadanog elektrolita.
2. Pripremljenoj otopini izmjeriti provodnost pomoću digitalnog konduktometra (Slika 25.). Prije mjerenja, konduktometrijsku ćeliju treba dobro isprati destiliranom vodom i lagano obrisati staničevinom da se s nje uklone kapljice vode. Otopinu iz odmjerne tikvice prelići u plastičnu Falcon epruvetu, a zatim u nju uroniti konduktometrijsku ćeliju. Konduktometrijsku ćeliju izvući iz otopine u epruveti i natrag uroniti nekoliko puta, kako bi se unutrašnjost ćelije dobro isprala otopinom čija se vodljivost mjeri. Pri zadnjem uranjanju ćelije, neposredno prije mjerenja, pripaziti da u ćeliji ne zaostane mjehur zraka. Kada se očitavanje na konduktometru ustali, zabilježiti izmjerenu provodnost u laboratorijski dnevnik.
3. Konduktometrijsku ćeliju izvući iz posudice i isprati uranjanjem u destiliranu vodu.
4. Preostale otopine pripremljenih elektrolita u odmjernim tikvicama koristiti za pripremu otopina pomiješanih elektrolita (1 : 1). Izmjeriti provodnosti pomiješanih elektrolita te upisati u laboratorijski dnevnik.

REZULTATI

1. Napisati izračun za pripremu elektrolita.
2. Prikazati rezultate provodnosti pojedinih elektrolita i otopina pomiješanih elektrolita prema predlošcima u Tablici 6.
3. Na temelju izmjerenih vrijednosti poredati jake i slabe elektrolite po porastu provodnosti.
4. Objasniti koji su uzroci što se neki ispitani spojevi ponašaju kao slabi, a neki kao jaki elektroliti.
5. Napisati reakcije miješanja 2 elektrolita (Tablica 6.) u vodenoj otopini (označiti agregatna stanja).
6. Objasniti rezultate miješanja i jačinu elektrolita $\text{HCl} + \text{NaOH}$ te $\text{NH}_3(\text{aq}) + \text{CH}_3\text{COOH}$ uspoređujući vrijednosti prije i nakon miješanja.

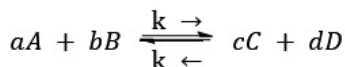
Tablica 6. Predlošci za prikaz rezultata Vježbe 7

otopina	HCl	CH ₃ COOH	NaOH	NH ₃ (aq)	NH ₄ Cl	KCl	CH ₃ COONa	NaCl	destilirana voda	vodovodna voda
$\sigma / \text{mS cm}^{-1}$										

otopina	HCl + NaOH	HCl + NH ₃ (aq)	HCl + CH ₃ COOH	NH ₃ (aq) + CH ₃ COOH	NaCl + CH ₃ COOH
$\sigma / \text{mS cm}^{-1}$					

8. Ravnoteža kemijske reakcije

Norveški kemičari Guldberg i Waage su postavili zakon o djelovanju masa koji definira ravnotežno stanje. Većina kemijskih reakcija je reverzibilna, tj. produkti reakcije reagiraju ponovno tvoreći reaktante. Općenito se može pisati:



Zakon o djelovanju masa govori da je pri stalnoj temperaturi omjer umnožaka koncentracija produkata i koncentracija reaktanata potenciranih apsolutnim vrijednostima njihovih stehiometrijskih brojeva stalan te je za općenitu reakciju konstanta ravnoteže dana izrazom:

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

Konstanta ravnoteže reakcije jednaka je omjeru konstanti brzine reverzibilne i ireverzibilne reakcije koje imaju konstantnu vrijednost, pa vrijedi za elementarne reakcije da je:

$$v_{\rightarrow} = k_{\rightarrow} \cdot [A]^a \cdot [B]^b$$

$$v_{\leftarrow} = k_{\leftarrow} \cdot [C]^c \cdot [D]^d$$

$$v_{\rightarrow} = v_{\leftarrow} \quad k_{\rightarrow} \cdot [A]^a \cdot [B]^b = k_{\leftarrow} \cdot [C]^c \cdot [D]^d$$

$$\frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b} = \frac{k_{\rightarrow}}{k_{\leftarrow}} = K_c$$

Taj izraz poznat je pod imenom *zakon o djelovanju masa* ili *zakon kemijske ravnoteže*. Konstanta (K_c) naziva se **konstantom kemijske ravnoteže**. Brojčana vrijednost (K_c) određuje položaj ravnoteže. Što je konstanta ravnoteže veća, reakcija je više pomaknuta udesno (u smjeru produkata). Kada je sustav postigao ravnotežu, ostaje u ravnoteži dok se ne promijene uvjeti. U izraz za konstantu ravnoteže u homogenim sustavima uvrštavaju se koncentracije plinova i/ili koncentracije tvari otopljene u vodenim otopinama. U heterogenim sustavima izraz za konstantu ravnoteže ne sadržava koncentracije čvrste ili tekuće faze pojedine komponente, tj. čiste krutine i tekućine. Vrijednost konstante ravnoteže mijenja se **samo promjenom temperature**.

Brzina reverzibilne reakcije smanjuje se s vremenom jer dolazi do opadanja koncentracije reaktanata dok se brzina ireverzibilne reakcije povećava s vremenom jer dolazi do povećanja koncentracije produkata. Kada A i B prelaze u oblik C i D , istom brzinom kojom C i D prelaze u oblik A i B , sustav je u ravnoteži. Odnosno, kemijska ravnoteža nastupa kada se napredna ($v \rightarrow$) i povratna ($v \leftarrow$) reakcija događaju istom brzinom, a njihovi se međusobni učinci poništavaju, tj. dok se koncentracije reaktanta i produkta ne mijenjaju.

Kemijske ravnoteže su dinamičke ravnoteže. Primjerice, kada tekućina isparava unutar zatvorenog spremnika, nakon nekog vremena molekule u plinovitom stanju kondenziraju u tekuće stanje istom brzinom kojom tekućina isparava. Iako molekule u dinamičkom procesu prelaze iz jedne faze u drugu, između tekuće i parne, tlak pare ostaje konstantan tijekom vremena.

Le Châtelierovo načelo: Ako se na ravnotežni sustav djeluje vanjskim čimbenicima, promjenom temperature, tlaka ili koncentracije sudionika reakcije, sustav će reagirati na način koji vraća ponovo u stanje ravnoteže. Za pomoć pri predviđanju smjera u kojem će se odvijati kemijska reakcija, primjenjuje se reakcijski kvocijent, Q_c , koji slijedi matematički izraz konstante kemijske ravnoteže, ali za koncentracije kada sustav nije u ravnotežnom stanju. Odnosno, prikazuje količinu produkata i reaktanata u danom trenutku.

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

Ako je $Q_c < K_c$, u reakcijskom sustavu ima više reaktanata u odnosu na produkte, $Q_c > K_c$ ukazuje na veću koncentraciju produkata, a kada je $Q_c = K_c$, sustav je u ravnoteži. Manji Q_c u odnosu na K_c znači da će smjer odvijanja kemijske reakcije ići u desno, prema produktima, u cilju uspostavljanja ravnoteže i obrnuto veći Q_c u odnosu na K_c znači smjer odvijanja kemijske reakcije u lijevo, prema reaktantima.

Utjecaj promjene koncentracije sudionika reakcije

U ravnotežnom sustavu ravnoteža je pomaknuta prema desno ako se dodaju A ili B (reaktanti), tj. prema lijevo ako se dodaju C ili D (produkti). Primjerice, u Tablici 7. prikazana je reakcija s iznosima molova sudionika reakcije u ravnotežnom stanju i iznos konstante, utjecaj dodatka reaktanta na iznos konstante i ponovno uspostavljanje ravnoteže s promijenjenim vrijednostima molova reaktanata i produkata s ciljem ponovnog uspostavljanja vrijednosti konstante ($V_{\text{spremnika}} = 10 \text{ dm}^3$).

Tablica 7. Promjena ravnotežnih uvjeta i Le Châtelierovo načelo

	$2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$			Iznos konstante ravnoteže:
ravnoteža:	0,32 mol	0,16 mol	0,68 mol	$K_c = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 \cdot [\text{O}_2]} = \frac{0,0046}{0,0000164} = 280,5$
dodatak:	0,32 mol	0,16 mol	1,00 mol	$Q_c > K_c = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 \cdot [\text{O}_2]} = \frac{0,0282}{0,0000164} = 1719,5$
ravnoteža:	0,54 mol	0,27 mol	1,46 mol	$K_c = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 \cdot [\text{O}_2]} = \frac{0,0213}{0,0000787} = 270,6$

Dodatkom 1 mol SO_3 u reakcijsku smjesu ($V = \text{konst.}$) reakcijski kvocijent Q_c postaje veći od K_c . Prema Le Châtelierovom načelu promjena se dešava u smjeru smanjenja koncentracije SO_3 , pomak je prema lijevo uslijed čega se povećavaju koncentracije reaktanata SO_2 i O_2 . Rezultat ove promjene je ponovno uspostavljena vrijednost K_c .

Utjecaj promjene tlaka ili volumena na ravnotežu

Postoji nekoliko načina na koje se može promijeniti tlak u ravnotežnom sustavu pri konstantnoj temperaturi, primjerice dodatkom ili oduzimanjem reaktanata ili produkata u plinovitom stanju. Nadalje, smanjenjem volumena sustava povećava se tlak i obrnuto, povećanjem volumena sustava smanjuje se tlak. Kada se smanjuje volumen ravnotežnog sustava smjese plinova, pomak je ravnoteže u smjeru smanjivanja molova plina. Kada se volumen povećava, pomak ravnoteže je u smjeru stvaranja više molova plinova. U ravnotežnom sustavu (reakcija u Tablici 7.) pri istoj temperaturi i tlaku, 2 mola $\text{SO}_3(\text{g})$ zauzimaju manji volumen nego smjesa 2 mol $\text{SO}_2(\text{g})$ i jedan mol $\text{O}_2(\text{g})$ pa smanjenje volumena pogoduje stvaranju $\text{SO}_3(\text{g})$.

Utjecaj temperature na ravnotežu

Promjena temperature u ravnotežnom sustavu mijenja se dovođenjem topline (povećava se temperatura) ili oduzimanjem topline (snižava se temperatura). Na osnovi Le Châtelierova načela dovođenje topline pogoduje reakcijama u kojima se apsorbira toplota (endotermne reakcije) i ravnoteža se pomiče u desno. Oduzimanje topline pogoduje reakcijama u kojima se oslobađa toplota (egzotermne reakcije) i ravnoteža se pomiče u desno.

Primjerice, entalpija za reakciju iz Tablice 7. iznosi $\Delta H^\circ = -197,8 \text{ kJ}$ što pokazuje da je reakcija egzotermna. Prema tome, povratna je reakcija endotermna. Povećanje temperature pogoduje povratnoj reakciji,

a smanjenje temperature pogoduje pak naprednoj reakciji. Pretvorba SO_2 u SO_3 favorizirana je na niskoj temperaturi. Ovdje treba razlikovati pomak ravnoteže od promjene u brzini reakcije koja se događa uslijed temperaturnih promjena. Dok ravnoteža egzotermnih i endotermnih reakcija može biti pomaknuta na desno i na lijevo uslijed povišenja temperature, brzina egzotermne i endotermne reakcije uvijek će se povećati povišenjem temperature. Promjena temperature uzrokuje pomake u ravnoteži i mijenja vrijednost konstante ravnoteže.

Utjecaj dodatka katalizatora

Dodatak katalizatora u reakciju ubrzava i naprednu i povratnu reakciju. Ravnoteža se brže uspostavlja, ali se ravnotežne koncentracije ne mijenjaju. Katalizatori snižavaju energiju aktivacije, E_a , i nemaju utjecaj na ravnotežne uvjete povratne reakcije.

Vježba 8: Ravnotežni sustavi u kemijskim reakcijama i Le Châtelierovo načelo

MJERE OPREZA I ZBRINJAVANJE OTPADA:

- koristiti zaštitnu odjeću i obuću
- potreban poseban oprez prilikom rukovanja koncentriranom HCl
- potreban oprez prilikom rukovanja s 1-6 mol dm⁻³ otopinama kiselina i lužina
- prilikom zagrijavanja epruveta potreban poseban oprez – otvor epruvete usmjeriti prema zidu ili vertikalnom dijelu stola
- netopljive taloge zbrinjavati u za to predviđene spremnike
- pripremljene razrijeđene kiseline i lužine te topljive taloge bacati u izljev te ga odmah isprati tekućom vodom.

CILJEVI

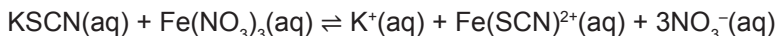
- sagledati kemijsku ravnotežu na primjerima kemijskih reakcija
- objasniti posljedice na ravnotežu koje se dešavaju zbog promjene vanjskih čimbenika
- objasniti Le Châtelierovo načelo.

Oprema	Pribor	Kemikalije
	- stalak za epruvete - staklene epruvete - Pasterove pipete s pumpicom - drvena štipaljka - plastična žličica - stakleni štapići	KSCN 0,1 mol dm ⁻³ Fe(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O 0,1 mol dm ⁻³ FeCl ₃ ·6H ₂ O 0,1 mol dm ⁻³ kristali Na ₂ HPO ₄ NaOH 6 mol dm ⁻³ Co(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O 0,1 mol dm ⁻³ HCl koncentrirana i 1 mol dm ⁻³ K ₂ CrO ₄ 0,1 mol dm ⁻³ H ₂ SO ₄ 3 mol dm ⁻³ octena kiselina 1 mol dm ⁻³ metilno narančasto 0,1 mol dm ⁻³ kristali krutog CH ₃ COONa kristali NH ₄ NO ₃ CuSO ₄ ·5H ₂ O 0,1 mol dm ⁻³ NH ₃ (aq) 1 mol dm ⁻³ zasićena otopina NH ₄ Cl destilirana voda

POSTUPAK

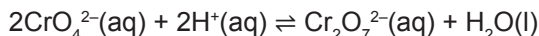
Pripremiti zadane ravnotežne sustave i opisati promjene koje se događaju.

Kalijev tiocijanat – željezov(III) nitrat ravnoteža



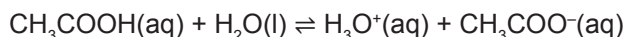
1. Odmjeriti 10 kapi 0,1 mol dm⁻³ kalijevog tiocijanata KSCN u epruvetu. Zapisati boju.
2. Dodati 5 kapi 0,1 mol dm⁻³ Fe(NO₃)₃. Zapisati opažanja.
3. Dodati destilirane vode do pola epruvete, do pojave svjetlosmeđe boje.
4. Razdijeliti otopinu jednoliko u 6 epruveta. Prvu ostaviti kao referentnu.
5. U drugu epruvetu dodati 5-10 kapi 0,1 mol dm⁻³ KSCN, kap po kap, do promjene boje, u treću na isti način dodati 5-10 kapi 0,1 mol dm⁻³ Fe(NO₃)₃, u četvrtu na isti način 0,1 M FeCl₃, u petu par kristalića Na₂HPO₄, a u šestu par kapi 6 mol dm⁻³ NaOH. Zagrijati petu epruvetu skoro do vrenja.

Kromat-dikromat ravnoteža



1. Odmjeriti ≈ 5 cm³ 0,1 mol dm⁻³ kalijevog kromata K₂CrO₄ u epruvetu. Zapisati boju.
2. Dodati 3 M sumporne kiseline, H₂SO₄, kap po kap, dok se ne promijeni boja. Zapisati opažanja.
3. Dodati 6 M natrijevog hidroksida, NaOH, kap po kap u prethodnu reakcijsku smjesu dok ne dođe do promjene boje. Zapisati opažanja.

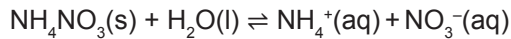
Octena kiselina ravnoteža



1. Dodati ≈ 10 cm³ 1 mol dm⁻³ octene kiseline u epruvetu. Zapisati boju.
2. Dodati 3-4 kapi metilno narančasto i zapisati promjenu. Odliti ≈ 1/3 od ove smjese u drugu epruvetu: koristiti kao referentno.
3. U ostatak dodati kristale krutog natrijeva acetata (CH₃COONa). Promućkati da bi se otopili kristali. Dodati još kristala ako je potrebno. Promatrati promjene i zapisati.

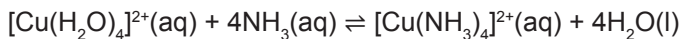
4. Odliti $\frac{1}{2}$ ove smjese u posebnu epruvetu, jednu koristite referentno.
5. U preostali dio iz 4: dodati 6 mol dm^{-3} NaOH kap po kap do promjene boje i zapisati promjene.

Amonijev nitrat ravnoteža



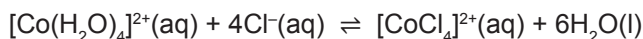
1. Napuniti epruvetu oko 1 cm kristalima amonijevog nitrata.
2. Dodati destilirane vode do pola volumena koji zauzima sol i protresti (ne otopiti sve kristale). Zapisati eventualne temperaturne promjene, opipati rukom.
3. Odgovoriti na pitanje: Je li u ovoj reakciji toplina na strani produkta ili reaktanta?
4. Predvidjeti koje promjene će se desiti zagrijavajući otopinu.
5. Zagrijati otopinu i objasniti predviđanja.

Ravnoteža bakrovog(II) kationa



1. Dodati oko 2 cm^3 $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ CuSO_4 u epruvetu. Zapisati karakterističnu boju.
2. Dodati nekoliko kapi 1 mol dm^{-3} NH_3 . Zapisati promjene i objasniti.
3. Dodati još nekoliko kapi 1 mol dm^{-3} NH_3 . Zapisati promjene i objasniti.
4. Dodati nekoliko kapi (do prve promjene) 1 mol dm^{-3} HCl. Zapisati i objasniti.
5. Napisati kemijske reakcije i objasniti pojedine korake. Poslužiti se literaturom.

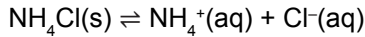
Kobaltov(II) kation ravnoteža



1. Dodati 10 kapi $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ kobaltovog(II) nitrata u epruvetu. Zapisati boju.
2. Dodati 10 kapi koncentrirane HCl i promućkati. Zapisati opažanja.
3. Dodati 10 kapi destilirane vode i promućkati. Zapisati opažanja.
4. Zagrijati epruvetu na nižoj temperaturi na plameniku i zapisati opažanja.
5. Ohladiti epruvetu i zapisati opažanja.

- Baciti sadržaj epruvete u odgovarajući spremnik za otpad.
- Ponoviti korake 1, 4 i 5 (preskočite korake 2. i 3.). Zapisati sličnosti i razlike.
- Ponovo zagrijati i ohladiti epruvetu i zapisati razlike.

Ravnoteže u zasićenim otopinama – amonijev klorid

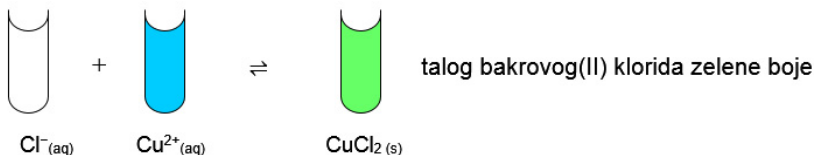


- Dodati $\approx 3 \text{ cm}^3$ zasićene otopine NH_4Cl u epruvetu. Zapisati boju.
- Dodati koncentriranu HCl kap po kap, i zapisati promjene.
- Ohladiti epruvetu pod mlazom vode iz slavine. Zapisati opažanja.
- Zagrijati otopinu 3. oprezno na Bunsenovom plameniku. Zapisati opažanja.
- Ponoviti hlađenje – grijanje ciklus barem još dva puta.
- Napisati izraz za konstantu produkta topljivosti gornje reakcije i objasniti Le Châtelierovo načelo na osnovi dodatka zajedničkog iona.
- Objasniti Le Châtelierovo načelo na osnovi dodavanja ili oduzimanja topline, tj. označiti Q u reakciji s obzirom na promjene koje su se desile.

REZULTATI

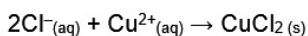
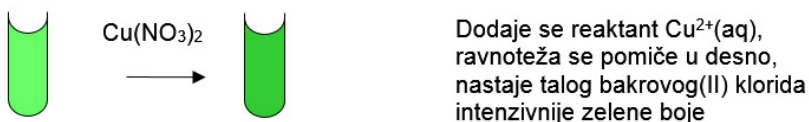
- Skicirati pokus (niz epruveta) i bojama označiti promjene.

Primjer: nastaje talog bakrovog(II) klorida zelene boje



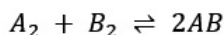
- Prikazati pomak ravnoteže, objasniti Le Châtelierovo načelo.

Primjer: Dodatak $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$



9. Kemijska kinetika

Kemijska kinetika proučava brzinu kemijskih reakcija, njihov mehanizam te ovisnost brzine reakcije o različitim čimbenicima. Brzina reakcije u nekom trenutku ovisi prvenstveno o koncentraciji reaktanata u tom trenutku i o temperaturi pri kojoj se reakcija odvija, ali također i o agregatnom stanju i ukupnoj površini reaktanata, katalizatorima te o vrstama čestica. Brzina reakcije definira se kao **brzina nastajanja određenog produkta ili nestajanja određenog reaktanta** (negativni predznak u izrazu za brzinu), tj. promjena njihove koncentracije u vremenu. Za općenitu reakciju:



brzina je dana izrazom:

$$v = \frac{1}{2} \frac{\Delta[AB]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[A_2]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[B_2]}{\Delta t}$$

gdje su $[A_2]$ i $[B_2]$ koncentracije reaktanata (mogu se označavati i kao $c(A_2)$, $c(B_2)$), a $[AB]$ (ili $c(AB)$) koncentracija produkta. Δ označava promjenu npr. koncentracije, $\Delta c = c(\text{konačno}) - c(\text{početno})$, ili vremena, $\Delta t = t(\text{konačno}) - t(\text{početno})$.

Brzina kemijske reakcije definira se izrazom:

$$v = k \cdot [A_2]^m \cdot [B_2]^n$$

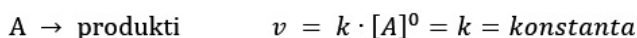
Veličina k naziva se **konstantom brzine reakcije**, daje odnos brzine reakcije i koncentracije reaktanata te je karakteristična za neku reakciju pri određenoj temperaturi i ovisna je o prisustvu katalizatora. Veća vrijednost k znači bržu reakciju. Eksponent m i n se mora odrediti eksperimentalno, to je uvijek mali broj koji može biti decimalan, negativan ili jednak 0, može biti, ali često nije, vezan za stehiometrijske koeficijente a i b u nekoj općenitoj jednadžbi:



Ako je $m = 1$, kaže se da je reakcija prvog reda s obzirom na A , a ako je $n = 2$, reakcija je drugog reda s obzirom na B . Ukupan red reakcije je suma svih eksponenata: $m + n + \dots$, a pokazuje broj reaktanata čije koncentracije utječu na brzinu reakcije. Red reakcije je eksperimentalno utvrđena činjenica, može se odrediti na osnovi početnih brzina za različite početne koncentracije ili grafičkom metodom.

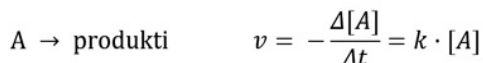
Reakcije nultog reda

U reakcijama nultog reda suma eksponenata $m + n + \dots = 0$.



Reakcije prvog reda

U reakcijama prvog reda suma eksponenata $m + n + \dots = 1$. Kod tih reakcija brzina nestajanja mjerodavnog reaktanta (odnosno brzina nastajanja produkta) kod stalne temperature proporcionalna je njegovoj koncentraciji u reakcijskoj smjesi:



Reakcije drugog reda

U reakcijama drugog reda suma eksponenata $m + n + \dots = 2$.



Na brzinu kemijske reakcije utječu svi čimbenici kojima se povećava uspješnost sudara, odnosno povećava broj sudara čestica, povećava kinetička energija čestica ili smanjuje energija aktivacije reakcije. Ti čimbenici su: koncentracija, temperatura, agregacijsko stanje, građa čestica i katalizatori.

Utjecaj temperature na brzinu kemijske reakcije

Iz praktičnog iskustva očekuje se veća brzina kemijskih reakcija na višim temperaturama jer će više čestica imati energiju jednaku ili veću od energije aktivacije, E_a . Tako se za ubrzavanje biokemijskih reakcija povisuje temperatura, a da bi se usporile pak neke druge reakcije, ona se snizuje (primjerice držanje mlijeka u hladnjaku s ciljem sprečavanja kiseljenja). Vrijednost konstante brzine kemijske reakcije mijenja se s promjenom temperature, a taj odnos prikazan je **Arrheniusovom jednadžbom**:

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

Utjecaj građe molekule i agregacijskog stanja

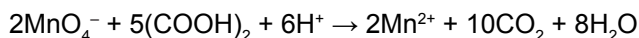
Za reakciju su najpogodniji mali, kugličasti ioni kod kojih je zbog jakog elektrostatskog privlačenja reakcija brza. Brže će reagirati dvije polarne molekule (privlačenje dipola) nego polarna i nepolarna (privlačenje dipola i induciranog dipola), a najsporije će se odvijati reakcije većih molekula kod kojih reagiraju samo određeni dijelovi molekula. Smanjivanjem slobode gibanja od plinovitog prema krutom agregatnom stanju smanjuje se i brzina reakcije. Međutim, brzina reakcije u čvrstom agregatnom stanju može se povećati ako se reaktantima poveća površina. Primjerice, posebno su opasne prašine u rudnicima koje se mogu upaliti iskrom iz električnog prekidača ili statičkog elektriciteta.

Utjecaj katalizatora

Katalizatori omogućuju alternativni reakcijski put niže energije aktivacije. Katalizatori sudjeluju u kemijskoj reakciji, ali se tijekom reakcije ne mijenjaju. Kod homogene katalize reakcija se provodi u jednoj fazi, a kod heterogene se provodi na dodirnoj površini dvije faze.

Utjecaj različitih faktora na brzinu reakcije na primjeru redukcije kalijevog permanganata oksalnom kiselinom

Redukcija permanganata (MnO_4^-) u kiselom mediju s otopinom oksalne kiseline (COOH)₂ složenog je mehanizma, a sumarno se prikazuje jednadžbom:



Brzina ove reakcije može se mjeriti na temelju nestanka ljubičaste boje otopine KMnO_4 (Slika 26.) pa se na toj reakciji može vidljivo demonstrirati utjecaj koncentracije reaktanata, kao i utjecaj temperature na brzinu reakcije. Budući da se brzina reakcije tijekom vremena mijenja, pretpostavlja se da je reakcija prvog reda. Osim toga, ova reakcija pripada grupi pozitivnih autolitičkih reakcija, tj. reakcija u kojima kao katalizator djeluje manganov(II) ion (Mn^{2+}).

Slika 26. Redukcija kalijevog permanganata oksalnom kiselinom



Vježba 9: Brzina kemijske reakcije

MJERE OPREZA I ZBRINJAVANJE OTPADA:

- koristiti zaštitnu odjeću i obuću
- potreban oprez prilikom rukovanja s $2 \text{ mol dm}^{-3} \text{ H}_2\text{SO}_4$
- pripremljene razrijeđene kiseline i ostale otopine baciti u izljev te ga odmah isprati tekućom vodom.

CILJEVI

- upoznavanje sa zakonima kemijske kinetike
- savladavanje praktične primjene računanja brzine kemijske reakcije
- definiranje utjecaja različitih čimbenika na brzinu reakcije.

Oprema	Pribor	Kemikalije
termostat	- Erlenmeyerova tikvica od 250 cm^3 - volumna pipeta od 10 cm^3 - graduirana pipeta od 5 i 10 cm^3 propipeta - termometar	KMnO_4 $0,02 \text{ mol dm}^{-3}$ $(\text{COOH})_2$ $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$ H_2SO_4 2 mol dm^{-3} MnSO_4 $0,01 \text{ mol dm}^{-3}$

POSTUPAK

Pipete nije potrebno prati, ali ih treba flomasterom označiti i koristiti iste za odgovarajuću kemikaliju (10 cm^3 oksalna kiselina, 10 cm^3 sumporna kiselina, $5 \text{ cm}^3 \text{ KMnO}_4$, 5 cm^3 sumporna kiselina, 5 cm^3 voda). Zabilježiti u laboratorijski dnevnik vrijeme potrebno za obezbojenje, a rezultate prikazati tablično.

Utjecaj temperature

1. U tri Erlenmeyerove tikvice otpipetirati u svaku po 10 cm^3 otopine oksalne kiseline i 10 cm^3 otopine H_2SO_4 .
2. Tikvice termostatirati na 3 različite temperature: $10 \text{ }^\circ\text{C}$, sobna temperatura i $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Jednu tikvicu staviti u hladnjak na $+4 \text{ }^\circ\text{C}$ ili u hladnu kupelj, drugu tikvicu ostaviti na sobnoj temperaturi, a treću staviti u kupelj na $35 \text{ }^\circ\text{C}$.

3. Nakon otprilike 15 minuta, kad otopine poprime željenu temperaturu (temperature otopina u tikvicama provjeriti termometrom), dodati u svaku tikvicu po 3 cm^3 otopine KMnO_4 . Otopine promiješati i mjeriti vrijeme potrebno da dođe do obezbojenja.

Utjecaj koncentracije H_2SO_4 (pH)

1. U tri Erlenmeyerove tikvice otpipetirati u svaku po 10 cm^3 otopine oksalne kiseline. U prvu dodati 9 cm^3 vode i 1 cm^3 otopine H_2SO_4 , u drugu 5 cm^3 vode i 5 cm^3 H_2SO_4 , a u treću samo 10 cm^3 H_2SO_4 .
2. Zatim u svaku tikvicu dodati po 3 cm^3 otopine KMnO_4 . Otopine brzo promućkati i mjeriti vrijeme potrebno da se obezboje (reakcija je spora, treba pokrenuti štopericu i istovremeno pratiti obezbojenje sve 3 tikvice).

Utjecaj koncentracije KMnO_4

1. U tri Erlenmeyerove tikvice otpipetirati prijenosnim pipetama po 10 cm^3 otopine oksalne kiseline i 10 cm^3 otopine H_2SO_4 .
2. U prvu tikvicu dodati 2 cm^3 , a u drugu 1 cm^3 vode.
3. Graduiranom pipetom u prvu tikvicu dodati 1 cm^3 otopine KMnO_4 i odmah mjeriti vrijeme koje je potrebno da dođe do obezbojenja, tj. da se cijeli KMnO_4 prisutan u probi reducira do manganova(II) iona. Na isti način u drugu tikvicu dodati 2 cm^3 , a u treću 3 cm^3 KMnO_4 i ponoviti postupak.

Na isti način može se pokazati i utjecaj koncentracije oksalne kiseline na brzinu reakcije, samo što se u tom slučaju koncentracija KMnO_4 drži konstantnom, a mijenja se jedino koncentracija oksalne kiseline. Voda se dodaje zato da volumen smjese bude uvijek isti.

Katalitičko djelovanje manganova(II) iona

1. U dvije Erlenmeyerove tikvice otpipetirati u svaku po 10 cm^3 otopine oksalne kiseline, 10 cm^3 otopine H_2SO_4 . U prvu tikvicu dodati 4 kapi otopine MnSO_4 te odmah nakon toga dodati 3 cm^3 otopine KMnO_4 . U drugu tikvicu dodati 4 kapi vode te odmah nakon toga dodati 3 cm^3 otopine KMnO_4 .
2. Neposredno nakon dodatka KMnO_4 otopine promućkati i mjeriti vrijeme potrebno za obezbojenje.

REZULTATI

Rezultate prikazati tablično prema predlošcima (Tablice 8. – 11.).

1. Prikazati tablično utjecaj temperature na brzinu kemijske reakcije.

Tablica 8. Predložak za prikaz rezultata praćenja utjecaja temperature na brzinu reakcije

Utjecaj temperature			
tikvica	10 °C	Sobna _____ °C	35 °C
V/mL			
H ₂ C ₂ O ₄			
H ₂ SO ₄			
KMnO ₄			
t/s			
Zaključak:			

2. Prikazati tablično utjecaj pH vrijednosti na brzinu kemijske reakcije. Izračunati brzinu reakcije. Pretpostaviti da je reakcija prvog reda i za nestajanje reaktanta glasi:

$$v(\text{H}_2\text{SO}_4) = -\frac{1}{6} \cdot \frac{\Delta c(\text{H}_2\text{SO}_4)}{\Delta t} / \text{mol dm}^{-3} \text{s}^{-1}$$

$$\Delta c(\text{H}_2\text{SO}_4) = c_{\text{konačno}} - c_{\text{početno}}$$

$c_{\text{konačno}} = 0$, obezbojenje, nestaje H⁺ iona u reakciji

$c_{\text{početno}}$, preračunati razrijeđivanjem iz dodanog volumena H₂SO₄
($c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$) zadane koncentracije

Δt je vrijeme potrebno za obezbojenje reakcijske smjese

Tablica 9. Predložak za prikaz rezultata praćenja utjecaja pH na brzinu reakcije

Utjecaj koncentracije H₂SO₄ (pH)			
tikvica	1.	2.	3.
V/mL			
H ₂ C ₂ O ₄			
H ₂ SO ₄			
H ₂ O			
KMnO ₄			
t/s			
v/ mol dm ⁻³ s ⁻¹			
Zaključak:			

3. Prikazati tablično utjecaj koncentracije reaktanta na brzinu kemijske reakcije prema predlošku. Pretpostaviti da je reakcija prvog reda jer su koncentracije ostalih reaktanata za sve pokuse iste. Izraz za brzinu nestajanja reaktanta KMnO₄ glasi:

$$v(\text{MnO}_4^-) = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta c(\text{MnO}_4^-)}{\Delta t} / \text{mol dm}^{-3} \text{s}^{-1}$$

Brzinu računati po istom principu kao pod 2.

Tablica 10. Predložak za prikaz rezultata praćenja utjecaja koncentracije reaktanta na brzinu reakcije

Utjecaj koncentracije KMnO₄			
tikvica	1.	2.	3.
V/mL			
H ₂ C ₂ O ₄			
H ₂ SO ₄			
H ₂ O			
KMnO ₄			
t/s			
v/mol dm ⁻³ s ⁻¹			
Zaključak:			

4. Prikazati tablično prema predlošku utjecaj katalizatora (Mn^{2+}) na brzinu kemijske reakcije.

Tablica 11. Predložak za prikaz rezultata praćenja utjecaja katalizatora na brzinu reakcije

Utjecaj katalizatora (Mn^{2+})		
tikvica	1.	2.
V/mL		
$H_2C_2O_4$		
H_2SO_4		
H_2O / kapi		
$MnSO_4$ / kapi		
$KMnO_4$		
t/s		
Zaključak:		

10. Puferski sustavi

Puferi su dvokomponentni sustavi u ravnoteži koji se sastoje od **smjese slabih kiselina i njihovih soli (konjugirane baze) ili slabih baza i njihovih soli (konjugirane kiseline)**.

Karakteristika slabe kiseline je da u vodenoj otopini slabo ionizira, što znači da se u ravnotežnom stanju nalazi pretežito u neioniziranom obliku (proton donor), za razliku od njezine soli koja je u pravilu potpuno disocirana. Upravo zbog potpune disocijacije, pufersku sol čine anioni koji djeluju kao bazna komponenta pufera (proton akceptor). Tako se npr. acetatni puferski sustav sastoji od octene kiseline i natrijevog acetata, a fosfatni pufer se sastoji od dihidrogen fosfata, H_2PO_4^- (kisele komponente) i hidrogen fosfata, HPO_4^{2-} (bazične komponente).

Sposobnost pufera za vezivanjem dodanih H^+ ili OH^- iona može se objasniti Le Châtelierovim načelom koje kaže da svaka promjena koja se izvodi na sustavu u ravnoteži dovodi do takvog pomaka ravnoteže kojim se sustav opire vanjskom djelovanju. Konkretno, to znači da proton donor, octena kiselina (HA) u acetatnom puferu koja je u vodenoj otopini praktički neionizirana, sadržava rezervnu količinu H^+ iona, koji mogu neutralizirati višak OH^- tvoreći H_2O . Do neutralizacije dolazi jer se sustav opire promjeni ravnoteže koja je nastala unosom OH^- . Istovremeno s reakcijom neutralizacije teći će i dodatna ionizacija octene kiseline da bi se u sustavu nadoknadili H^+ ioni utrošeni neutralizacijom s OH^- ionima. Ako u acetatni pufer dodamo jaku kiselinu, također ne dolazi do osjetnog povećanja pH vrijednosti jer će konjugirana baza, CH_3COO^- , vezati H^+ te će nastati molekula octene kiseline.

Općenito se može reći da je djelovanje pufera posljedica dviju reverzibilnih reakcija, koje teku istovremeno da bi se održale ravnoteže određene konstantama K_w i K_a .

Svaki puferski sustav ima područje djelovanja koje je definirano kiselim komponentom, **$\text{p}K_a \pm 1$** , i u kojem je najučinkovitiji. Pufer je najučinkovitiji kada sadržava obje komponente pufera u jednakoj količini, odnosno kada je **pH jednak $\text{p}K_a$** .

Postupnim dodavanjem OH^- u puferski sustav troši se kiselina komponenta, a nastaje bazična komponenta, i obrnuto, u slučaju dodatka H^+ . Pufer se može pripremiti i miješanjem otopina soli čiji anioni čine konjugirano kiseli par te djelomičnom neutralizacijom slabe kiseline (baze) jakim bazom (kiselinom).

Acetatni pufer sastoji se od octene kiseline (slaba kiselina) i njezine konjugirane baze (acetatni ion).



slaba kiselina konjugirana baza

$$K_a = 1,75 \cdot 10^{-5} \quad pK_{a1} = 4,76 \quad \text{pH} = 3,76 - 5,76$$

Fosfatni pufer se najčešće koristi u laboratorijima i ima značajnu ulogu u održavanju pH vrijednosti otopina.

Fosfatna kiselina je triprotonska kiselina pa fosfatni pufer može imati 3 para kiselih odnosno bazičnih komponenti i 3 pH područja djelovanja:



slaba kiselina konjugirana baza

$$K_{a1} = 7,1 \cdot 10^{-3} \quad pK_{a1} = 2,15 \quad \text{pH} = 1,15 - 3,15$$



slaba kiselina konjugirana baza

$$K_{a2} = 6,3 \cdot 10^{-8} \quad pK_{a2} = 7,20 \quad \text{pH} = 6,20 - 8,20$$



slaba kiselina konjugirana baza

$$K_{a3} = 4,2 \cdot 10^{-13} \quad pK_{a3} = 12,38 \quad \text{pH} = 11,38 - 13,38$$

Najčešće korišten je fosfatni pufer sa $pK_a = 7,21$ čije je djelovanje samo u području pH od 6,21 do 8,21. Odgovoran za regulaciju pH unutar stanice gdje je koncentracija fosfata višestruko veća nego u izvanstaničnom prostoru.

Za računanje pH vrijednosti puferskih sustava koristi se **Henderson-Hasselbalchova jednadžba**. Za kiseli pufer se navedena jednadžba izvodi iz izraza za konstantu ionizacije slabe kiseline, K_a

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

iz koje se zatim može izraziti $[\text{H}^+]$.

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

Logaritmiranjem jednadžbe i množenjem s -1 dobiva se izraz:

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

U puferskoj smjesi je kiselina vrlo slabo ionizirana, a sol gotovo potpuno disocirana te praktički svi anioni potječu iz puferne soli.

Koncentracija aniona može se zamijeniti koncentracijom soli te se Henderson-Hasselbalchova jednažba onda najčešće izražava kao:

$$pH = pK_a + \log \frac{[sol]}{[kiselina]} \quad pH = -\log[H^+] \quad pK_a = -\log K_a$$

Iz jednažbe je vidljivo da **pH pufera direktno ovisi o vrijednosti konstante ionizacije slabe kiseline** ili baze, kao i o odnosu koncentracija kisele i bazične komponente pufera u otopini.

Henderson-Hasselbalchova jednažba pokazuje da je pK kiseline brojčano jednak pH otopine, kada su molarne koncentracije puferske kiseline i njene konjugirane baze jednake.

Iz jednažbe je također vidljivo da se, razrjeđivanjem pufera, pH praktički ne mijenja jer se razrjeđivanjem ne mijenja ni odnos koncentracija kisele i bazične komponente.

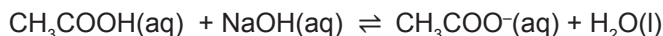
Kapacitet pufera je definiran količinom jake baze odnosno jake kiseline koja dodana u 1 L pufera izaziva promjenu pH za 1 pH jedinicu.

Stoga se kapacitet pufera može izračunati prema izrazu:

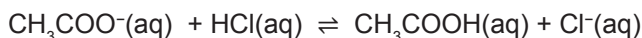
$$C_{(pufera)} = \frac{n_{(baze)}}{V_{(pufera)} \cdot \Delta pH} = - \frac{n_{(kiseline)}}{V_{(pufera)} \cdot \Delta pH}$$

a ovisi o koncentraciji i kemijskom sastavu pufera.

Dodatkom jake baze u puferi sustav dolazi do reakcije sa slabom kiselinom i povećava se koncentracija konjugirane baze; primjerice za acetatni pufer,



a dodatkom jake kiseline reagira konjugirana baza.



Vježba 10: Priprema acetatnog i fosfatnog pufera

MJERE OPREZA I ZBRINJAVANJE OTPADA:

- koristiti zaštitnu odjeću i obuću
- pripremljene otopine baciti u izljev.

CILJEVI

- savladavanje tehnika pripreme pufera.

Oprema	Pribor	Kemikalije
pH-metar analitička vaga	- propipete - pipeta od 5 cm ³ i od 10 cm ³ - čaše od 100 cm ³ i od 50 cm ³ - destilirana voda - plastična čaša za ispiranje elektrode - staničevina - stakleni štapić	CH ₃ COONa·3H ₂ O CH ₃ COOH 1 mol dm ⁻³ NaOH 1 mol dm ⁻³ HCl 1 mol dm ⁻³ KH ₂ PO ₄ K ₂ HPO ₄

POSTUPAK

Primjer izračuna pripreme acetatnog pufera

Izračunati molove natrijevog acetata i octene kiseline primjenjujući Henderson-Hasselbalchovu jednadžbu:

$$pH = pK_a + \log \frac{[sol]}{[kiselina]}$$

broj molova (n) kiseline + broj molova (n) konjugirane baze (soli) = broj molova (n) pufera

$$K_a = 1,75 \cdot 10^{-5}$$

Primjer: priprema 0,05 dm⁻³ acetatnog pufera 0,2 mol dm⁻³. Takav pufer sadrži 0,2 mola komponenti pufera po litri. Dio je u obliku octene kiseline, a dio je u obliku acetata (soli). Koncentracija acetata može se označiti sa y

$$y = c(\text{CH}_3\text{COO}^-)$$

$$\text{onda je } c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,2 - y$$

$$5 = 4,76 + \log \frac{y}{0,2 - y}$$

$$y = c(\text{CH}_3\text{COO}^-) = 0,126 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,2 - 0,126 = 0,074 \text{ mol dm}^{-3}$$

CH_3COO^- dolazi iz $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ($M = 136 \text{ g mol}^{-1}$) pa je prema tome masa $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ potrebna za pripremu pufera:

$$m = M \cdot c \cdot V = 136 \text{ g mol}^{-1} \cdot 0,126 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,05 \text{ dm}^3 = 0,857 \text{ g}$$

CH_3COOH dolazi iz octene kiseline koncentracije primjerice 1 mol dm^{-3} , prema tome:

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

$$V_1 = 0,074 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,05 \text{ dm}^3 / 1 \text{ mol dm}^{-3} = 0,0037 \text{ dm}^3 = 3,7 \text{ cm}^3$$

Priprema acetatnog pufera

Odvagu natrijevog acetata otopiti u malo destilirane vode u čaši od 50 ili 100 cm^3 uz pomoć staklenog štapića. Prethodno izračunati volumen 1 mol dm^{-3} octene kiseline dodati u istu čašu i uliti destilirane vode (do otprilike 30 cm^3). Izmjeriti pH vrijednost na pH-metru (Slika 27.) i podesiti sa 1 mol dm^{-3} HCl ili 1 mol dm^{-3} NaOH miješajući štapićem. Nakon podešavanja nadopuniti do oznake od 50 ili 100 cm^3 destiliranom vodom te izmiješati štapićem.

Slika 27. pH-metar



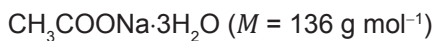
REZULTATI

1. Koristeći primjer, izračunati potrebne komponente za pripremu zadanog acetatnog i fosfatnog pufera.
2. Pripremiti zadani acetatni i fosfatni pufer.

Acetatni pufer

$$V = \text{_____ cm}^3, c = \text{_____ mol dm}^{-3}$$

$$\text{pH} = \text{_____} (3,76 - 5,76)$$



$$K_a = 1,75 \cdot 10^{-5}$$

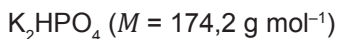
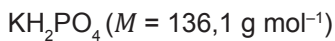
$$\text{CH}_3\text{COOH} = \text{_____ mol dm}^{-3}$$

Fosfatni pufer

$$V = \text{_____ cm}^3, c = \text{_____ mol dm}^{-3}$$

$$\text{pH} = \text{_____} (1,15 - 3,15 \text{ ili } 6,20 - 8,20 \text{ ili } 11,38 - 13,38)$$

$$K_{a1} = 7,1 \cdot 10^{-3}, K_{a2} = 6,3 \cdot 10^{-8}, K_{a3} = 4,2 \cdot 10^{-13}$$



$$\text{H}_3\text{PO}_4 = \text{_____ mol dm}^{-3}$$

Vježba 11: Određivanje kapaciteta fosfatnog pufera

MJERE OPREZA I ZBRINJAVANJE OTPADA:

- koristiti zaštitnu odjeću i obuću
- pripremljene otopine baciti u izljev.

CILJEVI

- razumijevanje pojma puferskog kapaciteta
- pripremanje niza fosfatnog pufera različitih pH vrijednosti
- određivanje kapaciteta fosfatnog pufera prema kiselini i lužini.

Oprema	Pribor	Kemikalije
pH metar analitička vaga	- plastične bočice s poklopcem (za niz fosfatnog pufera i za kapacitet pufera prema kiselini i bazi) - propipete - pipeta od 1 cm ³ i 10 cm ³ - čaše od 100 cm ³ i od 25 cm ³ - destilirana voda - plastična čaša za ispiranje elektrode - staničevina - menzure od 25 cm ³ - lijevak - stakleni štapić - kapaljka za bromtimol modrilo	KH ₂ PO ₄ 0,06 mol dm ⁻³ K ₂ HPO ₄ 0,06 mol dm ⁻³ NaOH 0,01 mol dm ⁻³ HCl 0,01 mol dm ⁻³ bromtimol modrilo

POSTUPAK

Priprema niza fosfatnog pufera i mjerenje pH

Niz puferskih smjesa točno određenog pH dobije se miješanjem određenih volumena otopina KH₂PO₄ i K₂HPO₄ istih koncentracija kao što je prikazano u Tablici 12.

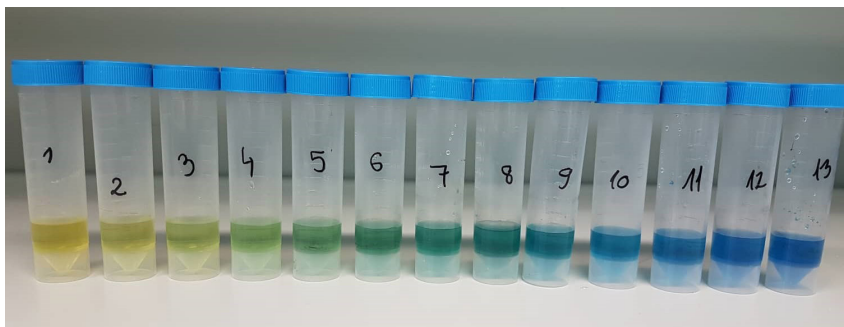
1. Nakon miješanja određenih volumena otopina KH_2PO_4 i K_2HPO_4 za svaku pojedinu smjesu izmjeriti pH vrijednost pH-metrom i zapisati u tablicu u laboratorijski dnevnik.

Tablica 12. Niz puferskih smjesa

Smjesa	V (0,06 M KH_2PO_4) / cm^3	V (0,06M K_2HPO_4) / cm^3	pH vrijednost
1	10	0	
2	9,5	0,5	
3	9	1	
4	8	2	
5	7	3	
6	6	4	
7	5	5	
8	4	6	
9	3	7	
10	2	8	
11	1	9	
12	0,5	9,5	
13	0	10	

2. Nakon mjerenja u pufersku smjesu dodati 2 kapi indikatora, bromtimol modrila, nakon čega se razvije boja ovisna o pH otopine (od žute do zelenomodre, Slika 28.).

Slika 28. Puferski niz nakon dodatka bromtimol modrila – pH raspon



Određivanje kapaciteta pufera prema lužini i kiselini

3. Otopinu pufera (10 cm^3) pripremiti miješanjem 5 cm^3 $0,06 \text{ mol dm}^{-3}$ otopine K_2HPO_4 i 5 cm^3 $0,06 \text{ mol dm}^{-3}$ otopine KH_2PO_4 , te dodati 2 kapi indikatora. Iz prethodne tablice očitati pH pri novonastalim omjerima otopina.

4. Kapacitet fosfatnog pufera prema lužini određuje se tako da se u 10 cm³ navedene puferske otopine doda 20 cm³ otopine NaOH koncentracije 0,01 mol dm⁻³. Boja otopine će se promijeniti. Usporedbom dobivene boje s bojama puferskog niza indikatorskih otopina odrediti novu pH vrijednost otopine, a kapacitet pufera izračunati prema izrazu:

$$c_{(\text{pufera})} = \frac{n_{(\text{baza})}}{V_{(\text{pufera})} \cdot \Delta\text{pH}}$$

$n(\text{baza})$ = množina dodane baze; $c(\text{baza}) \cdot V(\text{baza})$

$V(\text{pufera})$ = volumen puferske otopine

ΔpH = promjena pH puferske otopine

5. Kapacitet fosfatnog pufera prema kiselini određuje se tako da se u 10 cm³ puferske otopine pripremljene pod 1. doda 20 cm³ otopine HCl koncentracije 0,01 mol dm⁻³. Boja otopine će se promijeniti. Usporedbom dobivene boje i boje indikatorskih otopina odrediti novu pH vrijednost otopine, a kapacitet pufera izračunati prema izrazu:

$$C_{(\text{pufera})} = - \frac{n_{(\text{kiseline})}}{V_{(\text{pufera})} \cdot \Delta\text{pH}}$$

$n(\text{kiselina})$ = količina dodane kiseline; $c(\text{kiselina}) \cdot V(\text{kiselina})$

$V(\text{pufera})$ = volumen puferske otopine

ΔpH = promjena pH puferske otopine

REZULTATI

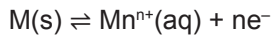
1. Upisati izmjerene vrijednosti niza fosfatnog pufera prema Tablici 12. u laboratorijski dnevnik.
2. Izračunati kapacitet pufera prema lužini.
3. Izračunati kapacitet pufera prema kiselini.
4. Napisati reakcije između komponenti acetatnog pufera ako se dodaje H₂SO₄ i KOH.
5. Napisati reakcije između komponenti fosfatnog pufera (za sva 3 područja djelovanja) ako se dodaje HCl i NaOH.

11. Elektrokemija

Elektrokemijski procesi su svi kemijski procesi koji su izazvani djelovanjem električne struje. **Galvanski članci (naponski članci, Voltini članci)** su uređaji u kojima se odvija **spontana** reakcija pri čemu se kemijska energija pretvara u električnu. Pojednostavljeno se može definirati kao putovanje elektrona kroz vodič. Galvanski članak se postavlja u dva odvojena polučlanka kojeg čini metal (elektroda) uronjen u otopinu vlastitih iona u kojima će se odvijati polureakcije. Dvije vrste reakcija su moguće između iona metala elektrode i metalnih iona u otopini:

1. metalni ion (M^{n+}) iz otopine u kontaktu s elektrodom može preuzeti n elektrona i reducirati se
2. atom metala M na površini elektrode može otpustiti n elektrona, oksidirati se i prijeći u otopinu kao M^{n+} .

Ravnotežni sustav se može prikazati kao:



U jednom polučlanku odvijat će se reakcija oksidacije koja je izvor elektrona. Ti elektroni putuju u strujnom krugu do sljedećeg polučlanka i provode reakciju redukcije. Elektroda na kojoj se provodi oksidacija zove se anoda, a na katodi se provodi redukcija. Dodatno je potreban elektrolitski most koji dozvoljava ionima putovanje između dviju posuda održavajući električki neutralne otopine. Hoće li metal biti reducens ili oksidans, ovisi o standardnom elektrodnom potencijalu, E° (Slika 29.b), koji prikazuje tendenciju za procesom redukcije u odnosu na standardnu vodikovu elektrodu (SHE) i o drugoj polovici članka. Potencijal SHE dogovorno iznosi $E^{\circ} = 0$ V, pri svim temperaturama. Što je veća težnja za oksidacijom, to je negativniji standardni elektrodni potencijal metala.

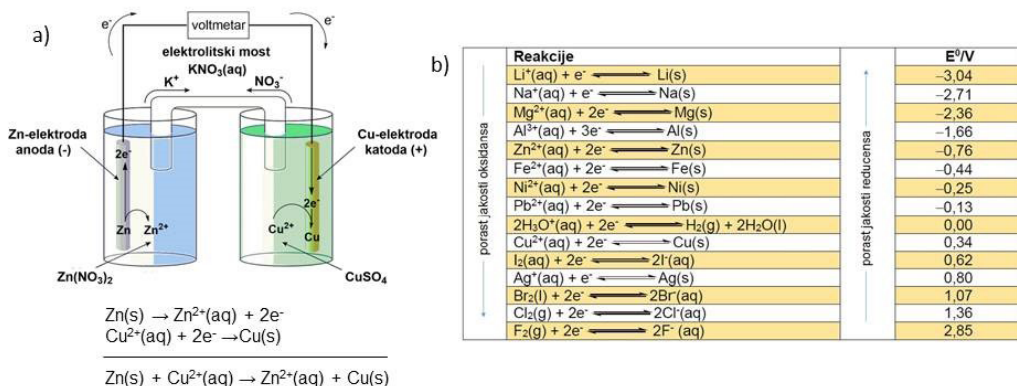
Očitavajući vrijednost na voltmetru za pojedini galvanski članak (Slika 29.a) dobiva se vrijednost **elektromotorne sile ili elektrodnog potencijala članka** (V). Vrijednost elektrodnog potencijala članka, E_{ci} , predstavlja tendenciju elektrona za putovanjem od jednog do drugog polučlanka. Ako je razlika potencijala članka $1 \text{ V} = 1 \text{ J C}^{-1}$, to predstavlja energiju od 1 džula za svaki kulon naboja koji prolazi kroz strujni krug. Što je veći napon, to je veća elektromotorna sila elektrona.

Umjesto crtanja cjelokupnog galvanskog članka prihvaćen je jednostavniji dijagram prema IUPAC-u uz nekoliko pravila:

- Anoda, elektroda na kojoj se događa oksidacija, piše se lijevo u dijagramu.
- Katoda, elektroda na kojoj se događa redukcija, piše se desno u dijagramu.

- Granica između različitih faza (elektrode i otopine) predstavljena je jednom okomitom crtom (|).
- Granica između dva polučlanka, uobičajeno je to elektrolitski most, predstavljena je s dvije vertikalne crte (||), a čestice u otopini pišu se s jedne i druge strane dviju vertikalnih crta. Različite vrste tvari unutar iste otopine odvajaju se zarezom.

Slika 29. Galvanski članak (a) i standardni redukcijski potencijali (b)



Za galvanski članak prikazan na Slici 29. dijagram treba napisati u obliku:

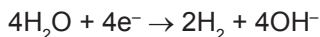


Potencijal članka računa se kao razlika u redukcijskim potencijalima katode i anode pa je za članak na Slici 29:

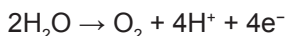
$$E_{\text{čl}} = E_{\text{redukcija}} - E_{\text{oksidacija}} = E_{\text{katoda}} - E_{\text{anoda}} = 0,34 - (-0,76) = 1,1 \text{ V}$$

U **elektrolitskim člancima** odvija se elektroliza, električna energija se primjenjuje s ciljem odvijanja **nepontane** reakcije. Elektroliza se često koristi za dobivanje elemenata koji su previše reaktivni da bi se nalazili slobodni u prirodi.

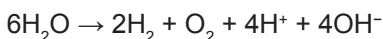
Elektrolizom vode dobivaju se plinovi vodik i kisik. Redukcija se odvija na katodi uz nastajanje plina vodika i OH⁻ iona. Elektroni potrebni za redukciju dolaze iz izvora električne energije.



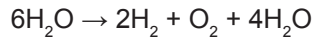
Oksidacija se odvija na anodi, pri čemu se stvaraju plin kisik i H⁺ ioni. Elektroni koji se stvaraju vraćaju se u izvor električne energije.



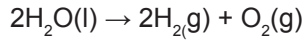
Sumirajući dvije polureakcije dobiva se:



Ioni H^+ i OH^- koji se stvaraju združuju se tvoreći $4H_2O$.



Pojednostavljeno:



Katodi se pripisuje u nekim slučajevima pozitivan, a u nekim slučajevima negativan pol. To je zato što je katoda elektroda gdje se odvija redukcija. U slučaju galvanskog članka ova redukcija teče spontano i „troše” se elektroni, pa katoda ima pozitivan naboj. Kod elektrolitičkog članka, redukcija je prisilna, proizvode se elektroni, pa katoda nosi negativan naboj. Anoda u oba slučaja ima obrnutu situaciju.

Vježba 12: Galvanski članci i elektroliza vode

MJERE OPREZA I ZBRINJAVANJE OTPADA:

- koristiti zaštitnu odjeću i obuću
- poseban oprez prilikom korištenja kuglica NaOH
- oprez prilikom korištenja zapaljenog drvca
- pripremljene otopine za galvanske članke ne bacati u izljev, već vraćati u reagens-boce za ponovnu upotrebu
- pripremljenu otopinu za elektrolizu baciti u izljev te ga odmah oprati tekućom vodom.

CILJEVI

- upoznavanje s elektrokemijskim procesima, postavljanjem galvanskih članaka i mjerenjem njihovih elektrodnih potencijala
- sagledavanje nespontanih elektrokemijskih reakcija na primjeru elektrolitičkog razlaganja vode.

Oprema	Pribor	Kemikalije
galvanski članak	<ul style="list-style-type: none">- plastične čaše od 250 cm³- epruvete- elektrolitski most (0,5 M KNO₃ s agarom)- izolirane bakrene žice- krokodil-nastavci- brusni papir- voltmetar- baterija od 9 V- drvene štikaljke- drveni štapići- metalne elektrode (Cu, Zn, Fe, Pb, Al, Ag)- stalak za epruvete- boca štrcaljka	<ul style="list-style-type: none">Cu(SO₄)₂·5H₂O 1 mol dm⁻³Zn(NO₃)₂·6H₂O 1 mol dm⁻³Pb(NO₃)₂ 1 mol dm⁻³Fe(NO₃)₃·9H₂O 1 mol dm⁻³AlCl₃·6H₂O 1 mol dm⁻³AgNO₃ 1 mol dm⁻³kuglice NaOH

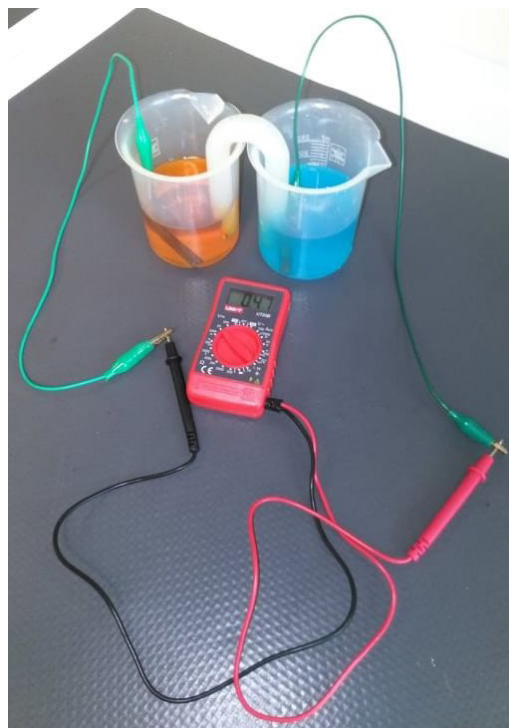
POSTUPAK

Galvanski članak

Svaki polučlanak postaviti tako da se metalna elektroda uroni u elektrolitsku otopinu koja sadržava iste metalne ione (Slika 30.), npr. bakrenu elektrodu uroniti u otopinu bakrovoga(II) sulfata. Za svaki galvanski članak bit će potrebna dva polučlanka, zato se postavljaju blizu jedan drugome i povežu elektrolitskim mostom (staklena U-cijev sa zasićenom otopinom KNO_3 u agaru).

1. Napuniti čašu do otprilike $\frac{1}{3}$ elektrolitskom otopinom. Očistiti elektrode koristeći brusni papir i tada uroniti elektrodu u odgovarajuću otopinu.
2. Uхватiti svaku od elektroda izoliranom bakrenom žicom s krokodil-nastavkom.
3. Drugi kraj izolirane bakrene žice uhvatiti s krokodil-nastavkom za krajeve voltmetra. Očitati napon na instrumentu i zabilježiti očitano. Ako voltmetar pokazuje negativnu vrijednost, brzo zamijeniti žice na krajevima voltmetra.
4. Ponoviti pokus za druge kombinacije polučlanka.

Slika 30. Povezivanje galvanskog članka i mjerenje napona



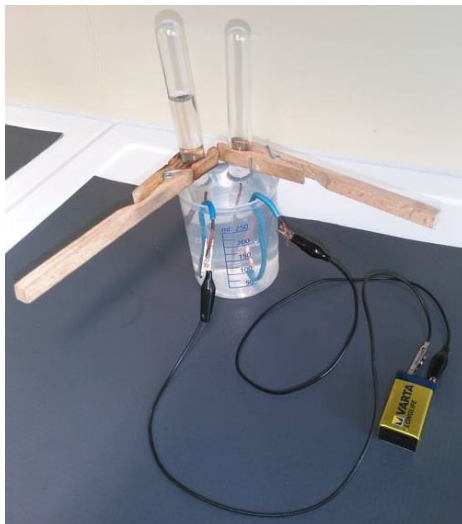
Elektroliza vode

1. Napuniti čašu do $\frac{3}{4}$ visine destiliranom vodom.
2. Napuniti epruvete vodom i naopako okrenute uroniti u čašu. Ovaj korak je jednostavniji ako se otvoreni kraj epruvete pokrije komadićem papira (obje epruvete moraju biti pune vode bez mjehurića zraka) i prilikom okretanja i uranjanja u čašu pustiti neka papirić padne u vodu.
3. Dodati žličicu kuglica NaOH.
4. Učvrstiti epruvete štipaljka i provući neizolirani kraj bakrene žice unutar epruveta, a drugi kraj uhvatiti krokodil-nastavkom i povezati s izvorom struje (baterijom). Time je započela elektroliza vode (Slika 31.).
5. Nastaviti pokus dok se nekoliko cm^3 plina ne skupi u epruvetama.
6. Dokazati plinove oslobođene tijekom elektrolize vode.

Prisutnost vodika testirati u epruveti koja je bila vezana za negativni pol izvora struje. Epruvetu izvaditi iz čaše držeći je drvenom štipaljkom i dopustiti izlaz vode te kratko prisloniti otvor na krpu. Nakon djelomičnog sušenja otvoru epruvete prinijeti upaljeni drveni štapić. Blijedo plavičasta zraka ili pucanj potvrdit će prisutnost plina vodika.

Prisutnost kisika testirati u epruveti koja je bila vezana za pozitivni pol izvora struje. Epruvetu izvaditi na isti način, a otvoru epruvete prinijeti drveni štapić koji na vrhu ima malo žara (štapić prethodno zapaliti i pustiti ga malo neka gori, zatim puhnuti i ugasiti plamen). Ako se štapić ponovo zapali, prisutan je kisik.

Slika 31. Aparatura za elektrolizu vode



REZULTATI

1. Nacrtati 1 galvanski članak koji zadaje voditelj praktikumske grupe (čaše, elektrode, elektrolitski most, žice, otopine, voltmetar), označiti katodu i anodu, tok struje i smjer kretanja iona u elektrolitskom mostu.
2. Ispod crteža napisati reakcije koje se odvijaju na katodi, a koje na anodi, tj. je li riječ o oksidaciji ili redukciji. Napisati sumarnu jednadžbu.
3. Upisati očitane napone u predložak tablice (Tablica 13.), koristeći tablicu standardnih redukcijskih potencijala (Slika 29.b). Napisati postupak i izračunati teoretski potencijal članka te napisati galvanske članke kao dijagrame prema preporuci IUPAC-a.

Tablica 13. Predložak za prikaz rezultata Vježbe 12

Polučlanak (elektrode)		Napon očitani (V)	Izračunati potencijal članka (V)	Galvanski dijagrami
Cu	Zn			
Cu	Pb			
Zn	Pb			
Cu	Fe			
Pb	Fe			
Fe	Zn			
Al	Zn			
Ag	Cu			

4. Nacrtati pokus elektrolize, napisati polureakcije koje se dešavaju na elektrodama, utvrditi oksidaciju ili redukciju i prema tome označiti anodu ili katodu, označiti tijek elektrona.

12. Literatura

1. B. Averill, P. Eldredge, Chemistry: Principles, Paterns, and Applications, Pearson Education Inc., San Francisco, 2007.
2. T. L. Brown, H. E. LeMay, Jr., B. E. Bursten, C. J. Murphy: Chemistry: The Central Science, 10th Ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2005.
3. R. Chang, K. A. Goldsby, General Chemistry: The Essential Concepts, 7th Ed., McGraw-Hill Companies Inc., 2014.
4. D. D. Ebbing, S. D. Gammon, General Chemistry, 11th Ed, Belmont: Brooks/Cole Cengage Learning, 2016.
5. I. Filipović, S. Lipanović, Opća i anorganska kemija (I. dio), Školska knjiga, Zagreb, 1991.
6. J. Giacometti, Priručnik za vježbe iz kemije za studente medicinsko-laboratorijske dijagnostike, Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2007.
7. J. Kotz, P. Treichel, J. Townsend, D. Treichel, Chemistry and Chemical Reactivity, 9th Ed., Cengage Learning, 2019.
8. J. McMurry and R. C. Fay: Chemistry, 3rd Ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2001.
9. R. H. Petrucci, F. G. Herring, J. D. Madura i C. Bissonnette, General chemistry: Principles and Modern Applications, 10th Ed., Pearson Canada Inc., Toronto, Ontario, 2010.
10. J. Rupčić, Č. Milin, R. Domitrović, M. Tota, Priručnik za seminare i vježbe iz medicinske kemije i biokemije I, Medicinski fakultet, 2006.
11. M. Silberberg, Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change, 3rd Ed., McGraw Hill, Boston, 2003.
12. N. J. Tro, Chemistry: A Molecular Approach, 5th Ed., Pearson, 2020.
13. S. S. Zumdahl, S. A. Zumdahl, Chemistry, 5th Ed., Houghton Mifflin Company, New York, 2000.
14. Uredba EZ br. 1907/2006 Europskog parlamenta i vijeća, 18. prosinca 2006.; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R1907&from=hr> (zadnji pristup 18. 2. 2020.)

13. Popis kratica i pojmova

Arrheniusova jednadžba: daje odnos konstante brzine kemijske reakcije i temperature, koji je prikazan jednadžbom:

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

Avogadrov zakon: opisuje ovisnost volumena i količine plina pri konstantnoj temperaturi i tlaku plina. Jednaki volumeni različitih plinova uspoređivani pri istoj temperaturi i tlaku sadrže jednak broj molekula.

$$\frac{V}{n} = konst.$$

Boyle-Mariotteov zakon: opisuje hiperbolom odnos tlaka i volumena uz uvjet konstantne temperature i količine plina:

$$p \cdot V = konst.$$

Brzina reakcije: definira se kao brzina nastajanja određenog produkta ili nestajanja određenog reaktanta, tj. promjena njihove koncentracije u vremenu.

Charlesov zakon (ili Gay-Lussacov): opisuje linearni odnos volumena i temperature uz uvjet konstantnog tlaka i količine plina. Volumen plina se povećava ako se povećava temperatura plina, i obrnuto.

$$V = konst. \cdot T \quad p = konst. \cdot T$$

Centrifugiranje: sedimentiranje ubrzano djelovanjem centrifugalne sile.

Daltonov zakon: definira da je ukupni tlak smjese plinova u određenom volumenu jednak zbroju parcijalnih tlakova pojedinih sastojaka:

$$p_{(ukupni)} = p_A + p_B + \dots \quad V_A = \frac{n_A \cdot R \cdot T}{p_{(ukupni)}}; \quad V_B = \frac{n_B \cdot R \cdot T}{p_{(ukupni)}}; \dots$$

Dekantiranje: uzastopno sedimentiranje i odlijevanje kapljevine iznad taloga.

Destilacija: odjeljivanje kapljevite, lakše hlapljive tvari iz otopina zagrijavanjem, dok zaostaju teško hlapljive tvari. Tekućina se zagrijava na temperaturu vrenja, a nastale se pare kondenziraju i prikupljaju (destilat). Odvajanje tekućina bliskog vrelišta provodi se frakcijskom destilacijom u kontinuiranom postupku niza destilacija pri kojem se parna faza obogaćuje lakše hlapivom komponentom u odnosu na kapljevitu fazu. Za tvari osjetljive na povišenu temperaturu primjenjuje se vakuumska destilacija jer se sniženjem tlaka snižava i vrelište smjese.

Digestor: standardna oprema kemijskoga laboratorija koja nalikuje na ostakljeni, zatvoreni i ventilirani ormar s pomičnim prednjim ostakljenim vratima u kojemu se provode kemijske reakcije.

Ekstrakcija: izdvajanje neke tvari iz otopine, suspenzije ili čvrste tvari pomoću otapala na temelju različite topljivosti u otapalu u odnosu na polaznu fazu.

Električna provodnost (σ): fizikalna veličina koja opisuje svojstvo tvari za provođenje električne struje. Mjerna je jedinica električne provodnosti Siemens po metru ($S\ m^{-1}$). Električna provodnost otopina može se odrediti mjerenjem električne vodljivosti (G), pomoću konduktometrijske ćelije koja se sastoji od dviju paralelnih elektroda definirane površine (A), međusobno razmaknutih za udaljenost (l):

$$\sigma = \frac{G \cdot l}{A}$$

Elektrodni potencijal članka (elektromotorna sila članka): predstavlja tendenciju elektrona za putovanjem od jednog do drugog polučlanka. Ako je razlika potencijala članka $1\ V = 1\ J/C$, to predstavlja energiju od 1 džula za svaki kulon naboja koji prolazi kroz strujni krug. Što je veći napon, to je veća elektromotorna sila elektrona.

Elektrolitski članak: uređaj u kojem se električna energija primjenjuje s ciljem odvijanja nespontane reakcije, elektrolize. Elektroliza se često koristi za dobivanje elemenata koji su previše reaktivni da bi se nalazili slobodni u prirodi. Elektrolizom vode dobivaju se plinovi vodik i kisik. Redukcija se odvija na katodi uz nastajanje plina vodika i OH^- iona.

Filtriranje: odjeljivanja komponenata heterogene smjese na temelju veličine čestica, propuštanjem smjese kroz pore filtarskog sredstva (filtarski papir, sinterirano staklo, porculan i sl).

Galvanski članak (naponski, Voltin članak): uređaj koji se sastoji od dva polučlanka, a svaki polučlanak od elektrode uronjene u elektrolit u kojima se odvija spontana reakcija pri čemu se kemijska energija pretvara u električnu.

Henderson-Hasselbalchova jednadžba: izraz za računanje pH vrijednosti puferskih sustava:

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

Hessov zakon: prilikom prijelaza nekog kemijskog sustava iz određenog početnog stanja u određeno konačno stanje, oslobođena ili apsorbirana količina topline (promjena entalpije) ne ovisi o putu reakcije, tj. ona je ista bez obzira na to zbiva li se reakcija u jednom stupnju.

Kalorimetar: uređaj za mjerenje toplinskih promjena. Reakcijski sustav koji se proučava mora biti toplinski izoliran od okoline, kako se toplina oslobođena u procesu ne bi gubila u okolinu ili kako toplina iz okoline ne bi prelazila na sustav i time ga zagrijavala. Kalorimetar se sastoji od dobro izolirane zatvorene posude tankih stijenki, u kojoj se odvija promatrani proces, te mjernih instrumenata koji omogućuju precizno mjerenje temperature.

Kapacitet pufera: količina jake baze odnosno jake kiseline koja dodana u 1 L pufera izaziva promjenu pH za 1 pH jedinicu.

Katalizatori: tvari koje sudjeluju u kemijskoj reakciji, ali se tijekom reakcije ne mijenjaju. Oni snižavaju energiju aktivacije (E_a), ubrzavaju i naprednu i povratnu reakciju, ravnoteža se brže uspostavlja, ali se ravnotežne koncentracije ne mijenjaju.

Konstanta brzine reakcije (k): daje odnos brzine reakcije i koncentracije reaktanata te je karakteristična za neku reakciju pri određenoj temperaturi i ovisna je o prisustvu katalizatora. Veća vrijednost k znači bržu reakciju.

Kromatografija: odvajanje smjese tvari na sastavne komponente putem razdiobe između dvije faze: mobilne i stacionarne, u svrhu identifikacije, pročišćavanja ili kvantitativnog određivanja.

Le Châtelierovo načelo: ako se na ravnotežni sustav djeluje vanjskim čimbenicima, promjenom temperature, tlaka ili koncentracije sudionika reakcije, sustav će reagirati na način koji vraća ponovo u stanje ravnoteže.

Molarni volumen: volumen koji zauzima jedan mol tvari, a mijenja se s promjenom tlaka i temperature. Volumen plina, uz standardne uvjete (temperatura 0 °C i tlak 101 325 Pa) iznosi 22,4 dm³ mol⁻¹.

Oksidans: tvar koja prima elektrone (reducira se) i time oksidira druge tvari.

Piktogrami (slikovni znakovi sa značenjem simbola): pri upotrebi opasnih tvari i smjese prikazuju se piktogrami u obliku dijamanta s crvenim obrubom, a prenose određene informacije o opasnosti tvari ili smjese

(eksplozivnost, zapaljivost, oksidativnost, nagrizajuće djelovanje, otrovnost, štetnost, nadražujuće djelovanje i dr.).

Pipetor: uređaj koji se natakne na pipete i služi za sigurno usisavanje tekućina u pipete.

Propipeta: gumena loptica s ventilima koja se natakne na pipete i služi za sigurno usisavanje tekućina u pipete.

Puferi: dvokomponentni sustavi koji se sastoje od smjese slabih kiselina i njihovih soli (konjugirane baze) ili slabih baza i njihovih soli (konjugirane kiseline).

Red reakcije: zbroj potencija u izrazu koji povezuje brzinu reakcije s koncentracijama sudionika u toj reakciji. Primjerice, uz pretpostavku da je eksperimentalno utvrđena jednačba za brzinu reakcije, $v = k \cdot [A]^2 \cdot [C]^3$, red reakcije iznosi $2 + 3 = 5$.

Reducens: tvar koja otpušta elektrone (oksidira se) i time reducira druge tvari.

Sedimentiranje: odjeljivanje suspenzija kod kojih je gustoća suspendirane tvari znatno veća od gustoće kapljevite tvari te se suspendirana tvar taloži na dno.

Sigurnosno-tehnički listovi (STL): osiguravaju potrebne informacije korisnicima kemikalija u svrhu zaštite ljudskog zdravlja i okoliša osobama koje rukuju kemikalijama i koje su odgovorne za sigurnost. Oblik i sadržaj STL-ova utvrđeni su REACH uredbom Europske unije (Uredba EZ br. 1907/2006 Europskog parlamenta i vijeća, 18. prosinca 2006. godine).

Solvatacija (hidratacija): proces vezanja molekula otapala na ione ion-dipolnom vezom (ako je otapalo voda, radi se o hidrataciji).

Standardna entalpija nastajanja (stvaranja) tvari ($\Delta_f H^\circ$): definira promjenu entalpije reakcije kojom se neka tvar sintetizira iz elementarnih tvari u standardnom stanju. Dogovorno je uzeto da su standardne entalpije nastajanja tvari u elementarnom stanju jednake nuli. Poznavajući standardne entalpije nastajanja tvari (a one se nalaze u tablicama, u kemijskim priručnicima) za svaku reakciju se može izračunati promjenu entalpije tako da se od sume standardnih entalpija nastajanja produkata oduzme suma standardnih entalpija nastajanja reaktanata.

Specifični toplinski kapacitet tijela (c_p): toplina koju treba dovesti (ili oduzeti) 1 kg neke tvari da se temperatura promijeni za 1 K.

Standardna vodikova elektroda (SHE): sastoji se od elektrode od platine uronjene u otopinu vodikovih iona koncentracije 1 mol dm^{-3} kroz koju se propušta plinoviti vodik pod tlakom od $101\,325 \text{ Pa}$. Potencijal SHE dogovorno iznosi $E^\circ = 0 \text{ V}$, pri svim temperaturama.

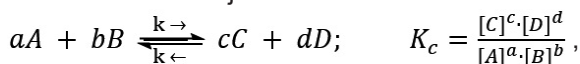
Standardni redukcijski potencijal (standardni elektrodni potencijal, E°): vrijednost (V) koja prikazuje tendenciju metala za procesom redukcije u prvoj polovici članka u odnosu na standardnu vodikovu elektrodu (SHE) u drugoj polovici članka pri standardnim uvjetima (koncentracija 1 mol dm^{-3} , tlak $101\,325 \text{ Pa}$ i temperatura $25 \text{ }^\circ\text{C}$).

Sublimacija: izravan prijelaz iz čvrstog u plinovito stanje i opet natrag u čvrsto stanje, bez kapljevito međustanja.

Toplina: kinetička energija sustava povezana s nasumičnim gibanjem molekula i opisuje količinu energije koja se izmijeni između sustava i okoline. Toplinska energija se prenosi dok se srednje molekularne kinetičke energije dva tijela ne izjednače, odnosno temperature tijela ne postanu jednake. Jedinica za toplinu je džul (J). Veza između promjene temperature nekog tijela (ΔT) i prenesene topline (Q) dana je relacijom: $Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$, gdje je (m) masa tijela, a (c_p) specifični toplinski kapacitet tijela, izražen u jedinicama $\text{J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

Uparavanje: odjeljivanje nehlapljivog ostatka (otopljene tvari) iz otopine izdvajanjem otapala u obliku pare zagrijavanjem otopine i/ili snižavanjem tlaka (vakuum-uparavanje).

Zakon o djelovanju masa (ili zakon kemijske ravnoteže): u ravnotežnom stanju pri stalnoj temperaturi omjer umnožaka koncentracija produkata i koncentracija reaktanata potenciranih apsolutnim vrijednostima njihovih stehiometrijskih brojeva je stalan. Za općenitu reakciju konstanta ravnoteže dana je izrazom:



a konstanta (K_c) naziva se konstantom kemijske ravnoteže.

PERIODNI SUSTAV ELEMENATA

SKUPINA

PERIODA

RELATIVNA ATOMSKA MASA (2)

SKUPINE IUPAC

SKUPINE CAS

ATOMSKI BROJ

SIMBOL

NAZIV ELEMENTA (1)

Metali, Polumetali, Nemetali

Alkalijski metali, Zemnoalkalijski metali, Prijelazni elementi, Lantanoidi, Aktinoidi

Halogeni elementi, Halogeni elementi, Plemeniti plinovi

AGREGATNO STANJE (100 °C; 101 kPa)

Ne - plin, Fe - krutina, Ga - tekućina, Tc - sintetski

1	1A																18	VIIIA	
1	1.0079																	2	4.0026
	H																	He	
	VODIK																	HELIJ	
2	3	4											13	14	15	16	17	18	
	6.941	9.0122											10.811	12.011	14.007	15.999	18.998	20.180	
	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
	LITIJ	BERILIJ											BOR	UGLJIK	DUŠIK	KISIK	FLUOR	NEON	
3	11	12											13	14	15	16	17	18	
	22.990	24.305											26.982	28.086	30.974	32.065	35.453	39.948	
	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
	NATRIJ	MAGNEZIJ											ALUMINIJ	SILICIJ	FOSFOR	SUMPOR	KLOR	ARGON	
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
	39.098	40.078	44.956	47.867	50.942	51.998	54.938	55.845	58.933	58.693	63.546	65.39	69.723	72.64	74.922	78.96	79.904	83.80	
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
	KALIJ	KALCIJ	SKANDIJ	TITANIJ	VANADIJ	KROM	MANGAN	ŽELJEZO	KOBALT	NIKAL	BAKAR	CINK	GALLIJ	GERMANIJ	ARSEN	SELENIJ	BROM	KRIPTON	
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
	85.468	87.62	88.906	91.224	92.906	95.94	(98)	101.07	102.91	106.42	107.87	112.41	114.82	118.71	121.76	127.60	126.90	131.29	
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
	RUBIDIJ	STRONCIJ	ITRIJ	CIRKONIJ	NIOBJ	MOLIBDEN	TEHNECIJ	RUTENIJ	RODIJ	PALADIJ	SREBRO	KADMIJ	INDIJ	KOSTAR	ANTIMON	TELURIJ	JOD	KSENON	
6	55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	
	132.91	137.33	La-Lu	178.49	180.95	183.84	186.21	190.23	192.22	195.08	196.97	200.59	204.38	207.2	208.98	(209)	(210)	(222)	
	Cs	Ba	Lantanoidi	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
	CEZIJ	BARIJ	Lantanoidi	HAFNIJ	TANTAL	VOLFRAM	RENIJ	OSMIJ	IRIDIJ	PLATINA	ZLATO	ŽIVA	TALIJ	OLOVO	BIZMUT	POLONIJ	ASTAT	RADON	
7	87	88	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112							
	(223)	(226)	Ac-Lr	(261)	(262)	(266)	(264)	(277)	(268)	(281)	(272)	(285)							
	Fr	Ra	Aktinoidi	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uuu	Uuu	Uub							
	FRANCIJ	RADIJ	Aktinoidi	RUTERFORDIJ	DUBNIJ	SEABORGIJ	BOHRIJ	HASSIJ	MEITNERIJ	UNUNNILIJ	UNUNUNIJ	UNUNBIJ							

LANTANOIDI

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
138.91	140.12	140.91	144.24	(145)	150.36	151.96	157.25	158.93	162.50	164.93	167.26	168.93	173.04	174.97
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
LANTAN	CERIJ	PRASEODIMIJ	NEODIMIJ	PROMETIJ	SAMARIJ	EUROPIJ	GADOLINIJ	TERBIJ	DISPROZIJ	HOLMIJ	ERBIJ	TULIJ	ITERBIJ	LUTECIJ

AKTINOIDI

89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
(227)	232.04	231.04	238.03	(237)	(244)	(243)	(247)	(247)	(251)	(252)	(257)	(258)	(259)	(262)
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
AKTINIJ	TORIJ	PROTAKTINIJ	URANIJ	NEPTUNIJ	PLUTONIJ	AMERICIJ	KURIJ	BERKELIJ	KALIFORNIJ	EINSTEINIJ	FERMIJ	MENDELEVIJ	NOBELIJ	LAWRENCIJ

(1) Hrvatska nomenklatura anorganske kemije, ed. V. Simeon, Školska knjiga, Zagreb, 1996. Pure Appl. Chem., 68, 2471-2473 (1997) za imena elemenata od rednog broja 104 do 109.

(2) Pure Appl. Chem., 73, No. 4, 667-683 (2001) Relativne atomske mase su zaokružene na pet značajnih znamenki. Za elemente koji nemaju stabilnih nuklida u zagradama je dan maseni broj najduže živećeg izotopa. Izuzetak su Th, Pa i U koji imaju karakterističan izotopski sastav u zemljinj kori.

ISBN 978-953-7720-47-6 (PDF)