

Potenciometrijsko određivanje ukupnog sadržaja bakra u uzorcima čajeva od kadulje, kamilice i lipe

Hrvatin, Matea

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Chemistry and Technology / Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:167:478322>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-22**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of chemistry and technology - University of Split](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU
KEMIJSKO – TEHNOLOŠKI FAKULTET**

**POTENCIOMETRIJSKO ODREĐIVANJE UKUPNOG SADRŽAJA BAKRA U
UZORCIMA ČAJEVA OD KADULJE, KAMILICE I LIPE**

ZAVRŠNI RAD

MATEA HRVATIN

369

Split, listopad 2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
KEMIJSKO – TEHNOLOŠKI FAKULTET
PREDDIPLOMSKI STUDIJ
SMJER: KEMIJA

POTENCIOMETRIJSKO ODREĐIVANJE UKUPNOG SADRŽAJA BAKRA U
UZORCIMA ČAJEVA OD KADULJE, KAMILICE I LIPE

ZAVRŠNI RAD

MATEA HRVATIN

369

Split, listopad 2018.

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY
UNDERGRADUATE STUDY
STUDY ORIENTATION: CHEMISTRY

**POTENTIOMETRIC DETERMINATION OF TOTAL COPPER CONTENT IN
TEA SAMPLES OF SAGE, CHAMOMILLE AND LINDEN**

BACHELOR THESIS

MATEA HRVATIN

369

Split, October 2018.

Sveučilište u Splitu
Kemijско – tehnološki fakultet u Splitu
Preddiplomski studij kemije

Znanstveno područje: Prirodne znanosti

Znanstveno polje: Kemija

Tema rada je prihvaćena na XX. Sjednici Fakultetskog vijeća Kemijско – tehnološkog fakulteta

Mentor: izv. prof. dr. sc. Josipa Giljanović

Pomoć pri izradi: doc. dr. sc. Ante Prkić

**POTENCIOMETRIJSKO ODREĐIVANJE UKUPNOG SADRŽAJA BAKRA U UZORCIMA
ČAJEVA OD KADULJE, KAMILICE I LIPE**

Matea Hrvatin, 369

Sažetak:

U ovom završnom radu, potenciometrijskom metodom s bakrovom ion-selektivnom elektrodom, ispitivan je sadržaj bakra u 11 uzoraka biljnog materijala: 3 uzorka čaja od kadulje, 5 uzoraka čaja od kamilice i 3 uzorka čaja od lipe.

Uzorci čajeva prethodno su digestirani u mikrovalnoj pećnici s unutarnjom kontrolom tlaka i temperature. Svi uzorci čajeva kupljeni su u lokalnim trgovinama i uzgojeni na području Republike Hrvatske. Sva su mjerenja provedena u otopina konstantne vrijednosti pH od 4,75 korištenjem acetatnog pufera. Također, tijekom mjerenja, miješanje i temperatura održavali su se konstantnim.

Koncentracije bakra u uzorcima izračunate su iz baždarnog pravca dobivenog metodom slijednog razrjeđenja serije standardnih otopina bakrova(II) sulfata pentahidrata u koncentracijskom području pCu od 2-7. Izmjereni su potencijali otopina uzoraka čajeva, a iz baždarnog pravca, uvrštavajući izmjerene potencijale u jednadžbu iste, računane su pCu, vrijednosti, odnosno koncentracije bakrovih(II) kationa u pojedinom uzorku.

Ključne riječi: Potenciometrija, bakar, čaj, kadulja, kamilica, lipa

Rad sadrži: 29 stranica, 11 slika, 4 tablice, 0 priloga, 19 literaturnih referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Sastav povjerenstva za obranu:

- | | |
|---|-------------|
| 1. doc. dr. sc. Ante Prkić | predsjednik |
| 2. prof. dr. sc. Marija Bralić | član |
| 3. izv. prof. dr. sc. Josipa Giljanović | mentor |

Datum obrane: 30. listopada 2018.

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Kemijско – tehnološkog fakulteta Split, Ruđera Boškovića 35

BASIC DOCUMENTATION CARD

BACHELOR THESIS

University of Split
Faculty of Chemistry and Technology Split
Undergraduate study - Chemistry

Scientific area: Natural Science

Scientific field: Chemistry

Thesis subject was approved by Faculty Council of Faculty of Chemistry and Technology, session no.III.

Mentor: Ph.D. associate prof. Josipa Giljanović

Technical assistance: Ph.D. assistant prof. Ante Prkić

POTENTIOMETRIC DETERMINATION OF TOTAL COPPER CONTENT IN TEA SAMPLES OF SAGE, CHAMOMILLE AND LINDEN

Matea Hrvatin, 369

Abstract:

In this bachelor thesis, potentiometric method with copper ion-selective electrode, was applied for determination of copper content in 11 plant tea samples: 3 samples of sage tea, 5 samples of chamomile tea and 3 samples of lime tea. Tea samples were previously digested in a microwave oven with internal pressure and temperature control. All tea samples were purchased at the local market and origin were from Republic of Croatia. All measurements were performed in solutions of a constant pH value of 4.75 using an acetate buffer. During the measurement, stirring and temperature were constant.

The copper concentrations in the samples were calculated from the calibration curve obtained by the sequential dilution of a series of standard copper(II) sulfate pentahydrate solutions in the pCu concentration range from 2-7.

The potentials of the each tea samples were measured and through the formula of calibration curve was calculated pCu and the copper concentration.

Keywords: potentiometry, copper, sage, chamomile, linden

Thesis contains: 29 pages, 11 figures, 4 tables, 0 supplements, 19 references

Original in: Croatian

Defence committee:

- | | |
|--|--------------|
| 1. Ph.D. assistant prof. Ante Prkić | chair person |
| 2. Ph.D. full prof. Vesna Sokol | member |
| 3. Ph.D. associate prof. Josipa Giljanović | supervisor |

Defence date: 30 October 2018

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of Faculty of Chemistry and Technology Split, Ruđera Boškovića 35

Završni rad izrađen je u Zavodu za analitičku kemiju, Kemijsko – tehnološkog fakulteta u Splitu pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Josipe Giljanović, u razdoblju od travnja do listopada 2018. godine.

Neposredni voditelj bio je doc. dr. sc. Ante Prkić.

ZAHVALA

Zahvaljujem se svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Josipi Giljanović na susretljivosti, pristupačnosti i pomoći tijekom izrade završnog rada.

Zahvaljujem se doc. dr. sc. Anti Prkiću na pomoći i strpljenju tijekom izvođenja eksperimentalnog dijela završnog rada.

Zahvaljujem se svojim roditeljima, braći i sestri, noniću i noni te prijateljima za potporu koju su mi pružali tijekom cijelog mog školovanja.

Zahvaljujem se svom mužu za pruženu podršku u pisanju završnog rada.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

- ✓ napraviti baždarni pravac bakrene ion – selektivne elektrode te odrediti njeno koncentracijsko područje
- ✓ potenciometrijskom metodom odrediti sadržaj bakra u uzorcima biljnih čajeva, kadulje, kamilice i lipe
- ✓ na temelju baždarnog pravca odrediti koncentraciju bakra u svakom pojedinom uzorku čaja

SAŽETAK

U ovom završnom radu, potenciometrijskom metodom s bakrovom ion-selektivnom elektrodom, ispitivan je sadržaj bakra u 11 uzoraka biljnog materijala: 3 uzorka čaja od kadulje, 5 uzoraka čaja od kamilice i 3 uzorka čaja od lipe.

Uzorci čajeva prethodno su digestirani u mikrovalnoj pećnici s unutarnjom kontrolom tlaka i temperature. Svi uzorci čajeva kupljeni su u lokalnim trgovinama i uzgojeni na području Republike Hrvatske. Sva su mjerenja provedena u otopina konstantne vrijednosti pH od 4,75 korištenjem acetatnog pufera. Također, tijekom mjerenja, miješanje i temperatura održavali su se konstantnim.

Koncentracije bakra u uzorcima izračunate su iz baždarnog pravca dobivenog metodom slijednog razrjeđenja serije standardnih otopina bakrova(II) sulfata pentahidrata u koncentracijskom području pCu od 2-7. Izmjereni su potencijali otopina uzoraka čajeva, a iz baždarnog pravca, uvrštavajući izmjerene potencijale u jednadžbu iste, računane su pCu, vrijednosti, odnosno koncentracije bakrovih(II) kationa u pojedinom uzorku.

Ključne riječi: Potenciometrija, bakar, čaj, kadulja, kamilica, lipa

SUMMARY

In this bachelor thesis, potentiometric method with copper ion-selective electrode, was applied for determination of copper content in 11 plant tea samples: 3 samples of sage tea, 5 samples of chamomile tea and 3 samples of lime tea. Tea samples were previously digested in a microwave oven with internal pressure and temperature control. All tea samples were purchased at the local market and origin were from Republic of Croatia.

All measurements were performed in solutions of a constant pH value of 4.75 using an acetate buffer. During the measurement, stirring and temperature were constant.

The copper concentrations in the samples were calculated from the calibration curve obtained by the sequential dilution of a series of standard copper(II) sulfate pentahydrate solutions in the pCu concentration range from 2-7.

The potentials of the each tea samples were measured and through the formula of calibration curve was calculated pCu and the copper concentration.

Keywords: potentiometry, copper, sage, chamomile, linden

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| UVOD | 1 |
| 1. OPĆI DIO | 2 |
| 1.1. ČAJ..... | 3 |
| 1.2. PRIPREMA ČAJA..... | 3 |
| 1.3. SASTAV ČAJA | 3 |
| 1.4. KADULJA | 4 |
| 1.5. KAMILICA | 5 |
| 1.6. LIPA | 6 |
| 1.7. BAKAR I NJEGOVA SVOJSTVA | 7 |
| 1.7.1. Povijest bakra | 7 |
| 1.7.2. Upotreba bakra | 7 |
| 1.8. BAKAR U LJUDSKOM ORGANIZMU | 8 |
| 1.9. BAKAR U HRANI | 9 |
| 1.10. POTENCIOMETRIJA | 11 |
| 1.10.1. Referentna elektroda | 12 |
| 1.10.2. Standardna vodikova elektroda..... | 12 |
| 1.10.3. Kalomel elektroda | 13 |
| 1.10.4. Ag/AgCl elektroda..... | 14 |
| 1.10.5. Indikatorska elektroda | 14 |
| 2. EKSPERIMENTALNI DIO..... | 16 |
| 2.1. MATERIJAL..... | 17 |
| 2.1.1. Uzorci | 17 |
| 2.1.2. Oprema | 17 |
| 2.1.3. Reagensi, standardi i otapala | 18 |
| 2.1.4. Priprema acetatnog pufera..... | 18 |
| 2.1.5. Priprema otopine $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ | 18 |
| 2.1.6. Priprema 10% NaOH | 19 |
| 2.1.7. Priprema uzorka | 19 |
| 2.2. METODA..... | 20 |
| 2.2.1. Izrada baždarnog pravca za određivanje koncentracije bakra | 20 |
| 3. RASPRAVA..... | 25 |
| 4. ZAKLJUČAK..... | 28 |
| 5. LITERATURA | 30 |

UVOD

Još u trećem tisućljeću prije Krista čaj se koristio isključivo u medicinske svrhe u Kini. Dobivao se kao i danas, kuhanjem listova biljke čajevca u vodi. Oko trećeg stoljeća poslije Krista čaj se počeo uvoditi kao svakodnevno piće, za početak u Aziji, a kasnije je brodovima, u 17.st., slučajno doveden u Europu. Engleska, koja je kao Britansko Carstvo u to vrijeme počela širiti svoj teritorij, je ritual ispijanja čaja proširila na svoje kolonije te je čaj postao svjetski poznato piće.¹

Danas se pojam čaj koristi u Hrvatskoj, ne samo za čaj od čajevca, Azijske biljke, nego i od raznoraznih biljaka koje imaju neke ljekovite i pozitivne učinke na ljudski organizam. U ovom radu će se govoriti o čajevima od kadulje, kamilice i lipe.

Jedan od elemenata koji se nalazi u čajevima je bakar. On je nužan za život ljudi i normalno funkcioniranje organizma. Kako i sve ostalo, tako i bakar treba biti u prihvatljivom rasponu u ljudskom organizmu, jer prevelike ili premale količine bakra izazivaju određene nuspojave.

Za ispitivanje bakra u uzorcima čajeva, koristit će se potenciometrijska metoda.

1. OPÍDIO

1.1. ČAJ

Pojam čaj potječe od Azijske biljke čajevac (lat. *Camellia sinensis*) kao aromatični napitak blago gorkog okusa.

Danas se čaj radi, ne samo od biljke čajevac, nego i od drugih biljaka koja imaju ljekovita svojstva. Osim listova, koriste se i cvjetovi, te ostali odgovarajući dijelovi biljke koji se sakupljaju u točno određenim mjesecima u godini kada imaju najbolja ljekovita svojstva.

1.2. PRIPREMA ČAJA

Postoji puno načina pripreme čaja koje ljudi koriste, priprema s hladnom vodom i priprema s vrućom vodom, ali nisu svi načini pripreme ljekoviti. Kod pripreme čaja s hladnom vodom potrebno je koristiti isključivo čistu, izvorsku vodu.²

Postupak pripremanja čaja s vrućom vodom:

1. Vodu grijati do vrenja, dok ne proključa
2. Maknuti vrelu vodu s izvora topline te ju ostaviti 5 minuta pokrivenu da odstoji
3. U vruću vodu staviti biljne sastojke i dobro promiješati
4. Pokriveni lončić s čajem držati neko vrijeme (ovisno o preporuci u receptu) da odstoji
5. Čaj procijediti i zasladiti po želji, ako se ne može piti nezaslađen.²

1.3. SASTAV ČAJA

Na sastav čaja utječu razni čimbenici kao što su klima, nadmorska visina, način proizvodnje itd. Najveći utjecaj na sastav ima stupanj fermentacije biljke.

Čaj sadrži mnogo komponenata, a neke najvažnije su:

- Tanin (polifenoli)
- Katehini
- Flavonoidi
- Teanin
- Kofein

Njihov pojedini udio u čaju ovisi o vrsti biljke i ostalim čimbenicima koji utječu na sastav.

Za boju, jačinu i puninu okusa odgovorni su tanini (polifenoli) i njihove kemijske promjene. Najvažniji polifenoli čaja su kateholi (katehini) i flavonoidi. Zbog njihovog antioksidacijskog djelovanja, čajevi imaju pozitivan učinak na organizam.³

Teanin je aminokiselina koja se uglavnom nalazi u zelenom čaju, a uz kofein utječe na kognitivne procese kod čovjeka.

Kofein je prirodni alkaloid. Stimulira izlučivanje hormona dopamina, a inhibira adenzin, neuroleptički hormon koji inhibira rad mozga, stoga podiže energiju organizma.

1.4. KADULJA

Kadulja (lat. *Salvia officinalis* L.) je nizak, samonikli, trajni grm koji raste uglavnom na području Sredozemnog mora. Raste na krševitom tlu te svojim razgranatim korijenjem smanjuje eroziju tla. U ljekovite svrhe koriste se mladi listići koji se beru prije cvjetanja. Biljka sadrži eterično ulje, tanine, smole itd. Zbog svojih sastojaka ima jak miris i oštar, gorko trpak, okus. Također se upotrebljava i kao začim za pripremu hrane.

Kadulja ima antiseptičko djelovanje te se zbog toga čaj od kadulje upotrebljava za ispiranje grla, kod upale desni, angine, protiv kašlja, prehlade, za liječenje hemoroida, menstrualnih tegoba i raznih drugih zdravstvenih poteškoća.



Slika 1. Biljka kadulja (lat. *Salvia officinalis* L.)

1.5. KAMILICA

Kamilica (lat. *Matricaria chamomilla* L.) je jednogodišnja biljka, blagog i umirujućeg učinka pa je njen čaj pogodan i za djecu. Raste u poljima, livadama i travnjacima kao korov. Na uspravno razgranatim stabljikama nalaze se bijeli cvjetovi uskih listića. Za čaj se koriste samo cvjetovi, koji još nisu ocvali, uz mekani gornji dio stabljika. U cvjetovima se nalazi eterično ulje, organske kiseline i neke druge gorke tvari koje daju cvjetovima gorak okus. Eterično ulje djeluje protuupalno jer sužuje krvne žile.

Čaj od kamilice ublažava grčeve i bolove koji se pojavljuju u probavnom traktu te potiče znojenje. Koristi se i za obloge ili ispiranje upaljenih i natečenih dijelova tijela.



Slika 2. Kamilica (lat. *Matricaria chamomilla* L.)

1.6. LIPA

Lipa (lat. *Tilia L.*) je šumsko drvo koje može narasti do 40 metara u visinu i doseći do 500 godina. Raste na tlu koji je bogat mineralima i dovoljno vlažan. Svojom krošnjom stvara hlad pa se sadi u parkovima, na parkinzima, trgovima i slično. Medonosna je pa ju pčelari često sade u blizini svojih košnica. Deblo je obavijeno sivosmeđom korom, a listići su nepravilno srcolikog oblika sa sitno nazubljenim rubovima. Kora lipe upotrebljava se za izradu vrpce koje služe kasnije za izradu košara, obuće, u vrtlarstvu i vinogradarstvu. Drvo lipe koristi se još i u stolariji.⁶

Čaj od lipe radi se iz raznih vrsta roda lipe, *Tilia*. Za čaj se koriste cvjetovi, unutarnji sloj kore te drvo ispod njega. Oni imaju ljekovito djelovanje jer cvjetovi sadrže fenolne kiseline, flavonoide, eterična ulja i sluzi, a ostali dio sadrži također fenolne tvari i flavonoide. Blagi okus čaja pogodan je i za djecu, a ublažavanje kašlja, smirenje grčeva, prehlade, bubrega i sl. su slučajevi pri kojima lipin čaj ima učinka.



Slika 3. List i cvjetovi lipe (lat. *Tilia L.*)

1.7. BAKAR I NJEGOVA SVOJSTVA

Bakar je kemijski element 11. skupine periodnog sustava elemenata. U prirodi se nalazi u elementarnom stanju, u obliku sulfidnih ruda (halkopirit, CuFeS_2 , halkozin, Cu_2S , i kovelin, CuS) iz kojih se dobiva više od 80% bakra, te u obliku oksida poput kuprita, Cu_2O , hidroksikarbonata, $\text{Cu}(\text{OH})_2\text{CO}_3$, i azurita, $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$. Iz oksidnih ruda, bakar se dobiva uglavnom mokrim (hidrometalurškim) postupkom.

Crvenosmeđe je boje, a u elementarnom stanju je mekan, žilav i rastezljiv, zbog čega se lako oblikuje u tanke žice. Na zraku je relativno stabilan, iako se pod utjecajem atmosfere, na površini bakra stvara zelenobijela patina u svrhu zaštite.

1.7.1. Povijest bakra

U 4. tisućljeću pr. Kr. otkrićem bronce započela je izrada oruđa, oružja i nakita od bakra i njegovih slitina. Važnost otkrića bakra bila je velika te se razdoblje od 4. do kraja 3. tisućljeća naziva bakreno, odnosno brončano doba. Bronca, bakrena slitina, vrlo je otporna na koroziju te se lakše tali i oblikuje, a čvršća je od samoga bakra pa su je već Egipćani koristili za drenažni sustav pri gradnji. Rimljani su od nje izrađivali razna oruđa za svakodnevnu uporabu.

Razvojem industrije rasla je i upotreba bakra. Kako bi otkrio elektromagnetsku indukciju, Michael Faraday je koristio u svojem pokusu bakrenu žicu, koja ima izvanrednu električnu i toplinsku vodljivost. Time je počela komunikacija preko telegrafa, a potom i preko telefona. Bez bakrenih žica i kabela unutar njih, ta komunikacija ne bi bila moguća.

Zbog otpornosti prema koroziji i dobrih mehaničkih svojstava, bakrova slitina koristila se za izradu preciznih uređaja kao što su satovi, navigacijska oprema i slično.

1.7.2. Upotreba bakra

Zbog svojih svojstava, električne i toplinske vodljivosti, danas se bakar najviše koristi u elektrotehnici kao vodič struje u žicama.

Oksidirani se bakar kao jednovalentan ili dvovalentan koristi za bojanje staklenih površina.

U spoju, koji se naziva modra galica ($\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$), uništava nametnike koji napadaju biljke poput vinove loze, pa je iz tog razloga vrlo primjenjiv u vinogradarstvu.

U spoju s klorom, bakrov(II) klorid (CuCl_2), koristi se za proizvodnju nekih organskih boja i u pirotehnici.

Bakar se koristio i u građevinarstvu za izradu krovova, koji se danas mogu prepoznati po zelenoj boji, patini.

Slitine bakra imaju također odličnu toplinsku i električnu vodljivost, otporne su prema koroziji i imaju dobra mehanička svojstva. Zbog toga se koriste u elektronici, metalurgiji, pomorstvu i sl. za izradu prekidača, telefonskih vodova, raznih opruga, raznih dijelova elektromotora, radijatora, bojlera, limova, ventila, zupčanika, propelera, bižuterije itd.

1.8. BAKAR U LJUDSKOM ORGANIZMU

Bakar je vrlo važan element u ljudskom organizmu. On sudjeluje u stvaranju crvenih krvnih zrnaca, održavanju živčanog i imunološkog sustava.¹³ Nalazi se u enzimima zaduženima za proizvodnju energije (npr. Kompleks IV u oksidacijskoj fosforilaciji), za funkciju mozga te za izgradnju mijelinske ovojnice, koja je važna za brzi prijenos živčanog impulsa do mozga. U superoksid – dismutazi, enzimu za obranu organizma od reaktivnih kisikovih vrsta odgovornima za starost i neke bolesti, također se može naći kao kofaktor. Ima važnu ulogu u sintezi kolagena, bitne komponente kože, kostiju i vezivnog tkiva, te sudjeluje u pigmentaciji, stvaranju melanina.

Najveća koncentracija bakra može se naći u jetri, koja kontrolira količinu bakra u organizmu, i mozgu.

Manjak bakra u tijelu može izazvati razne poremećaje i bolesti. Pri nedovoljnoj količini bakra, najčešće se javlja anemičnost osobe jer bakar utječe na pokretljivost željeza u crvenim krvnim stanicama. Mogu se javiti i bolesti povezane s radom mozga i središnjeg živčanog sustava kao npr. Alzheimerova bolest, bolesti kostiju, poput osteoporoze, razne bolesti krvožilnog sustava i sl.

Višak bakra u tijelu je rijetka pojava, a može izazvati akutno i kronično trovanje. Simptomi otrovanja su povraćanje, bolovi u želucu i proljev. Jako otrovanje može

dovesti do hemolize, konvulzije, insuficijencije bubrega i jetre, kome te, na posljetku, smrti.

Bakar se svrstava u esencijalne nutrijente, što znači da ih ljudski organizam treba za normalan rad, a ne može ga sam proizvesti. Stoga se bakar u organizam unosi putem hrane. Pola ukupno unesene količine bakra, uglavnom preko bjelančevina, apsorbira se u ljudskom organizmu. Višak se izlučuje putem žuči.

Ioni bakra su otrovni za bakterije, gljivice, alge i slično, pa se koriste kao fungicidi.

Za čovjeka je važan odnos bakra i cinka jer on ima važnu ulogu u regulaciji krvnog kolesterola.

1.9. BAKAR U HRANI

Glavni izvori bakra u hrani su:

- Iznutrice
- Školjke
- Orašasto voće
- Suhe mahunarke
- Suho voće
- Cjelovite žitne pahuljice
- Grašak
- Kakao
- Gljive¹⁵

Preporučeni dnevni unos (RDA) razlikuje se u dobi i spolu, a vrijednosti su prikazane u tablici 1.

Tablica 1. Preporučeni dnevni unos bakra u organizmu ovisno o dobi i spolu¹⁶

| SKUPINA | DOB (godine) | BAKAR (μg) |
|----------|--------------|-------------------------|
| DOJENČAD | <1 | 200 – 220 |
| DJECA | 1 – 3 | 340 |
| | 4 – 8 | 440 |
| MUŠKARCI | 9 – 13 | 700 |
| | 14+ | 900 |
| ŽENE | 9 – 13 | 700 |
| | 14+ | 900 |
| TRUDNICE | | 1000 |
| DOJILJE | | 1300 |

Za dojenčad je najveća dopuštena dnevna doza unosa bakra u organizam za dodatke prehrani 3 mg, odnosno za jedan obrok je 1 mg. Kod djece (1 – 8) ona iznosi 1000 – 3000 μg , a kod odraslih ona iznosi 5000 – 10000 μg bakra.¹⁶

1.10. POTENCIOMETRIJA

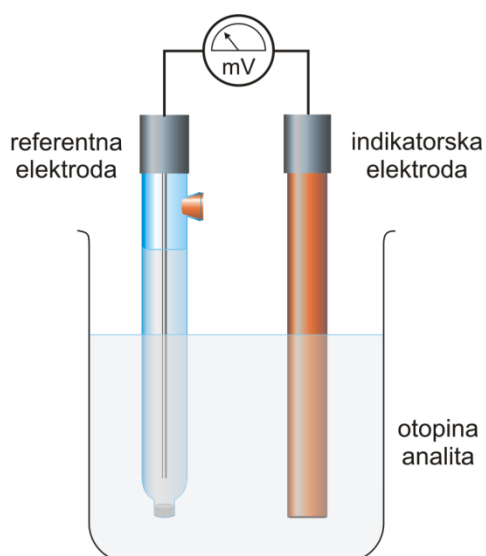
Potenciometrija je analitička metoda koja se temelji na mjerenju razlike potencijala između indikatorske i referentne elektrode kako bi se mogla odrediti nepoznata koncentracija analita. Ta razlika potencijala računa se prema jednadžbi:

$$E_{\text{članka}} = E_{\text{ind}} - E_{\text{ref}}$$

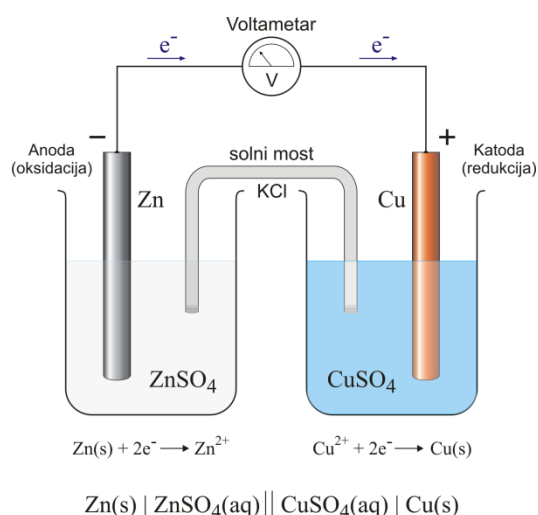
Uređaji koji se koriste za mjerenje potencijala nazivaju se potenciometri ili voltmetri. Kako bi se moglo izvršiti potenciometrijsko određivanje, potrebno je imati otopinu elektrolita (analita), u koju su uronjene dvije elektrode. One se međusobno ne dodiruju te su spojene na potenciometar kako bi na uređaju pokazale signal odziva. Kemijska reakcija koja se događa između elektrode i otopine je signal pobude, a razlika potencijala između elektroda je signal odziva.

U nekim člancima svaka elektroda stoji u svojoj otopini, a one su povezane elektrolitskim (solnim) mostom, koji je napunjen otopinom KCl radi prolaska iona iz jedne otopine elektrolita u drugu. Njime se ostvaruje električni kontakt između otopina bez miješanja.

Kontaktni se potencijal javlja u graničnom sloju dodira elektrode i otopine, ili na granici između dva elektrolita različitog sastava, ili dvaju različitih metala. Potrebno ga je svesti na minimum kako bi dobivena mjerenja bila što stvarnija. Kod članaka koji sadrže solni most, dobro pripremljeni solni most može smanjiti kontaktni potencijal.



Slika 4. Elektrokemijski članak s jednom otopinom elektrolita¹⁷



Slika 5. Elektrolitski članak s različitim otopinama elektrolita¹⁸

Potenciometrija se koristi kada je potrebno odrediti koncentraciju određenih iona u uzorku ili kada je potrebno odrediti završnu točku titracije, pri čemu se upotrebljava radna elektroda reaktivna na ispitivane ione.

1.10.1. Referentna elektroda

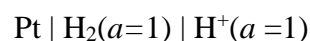
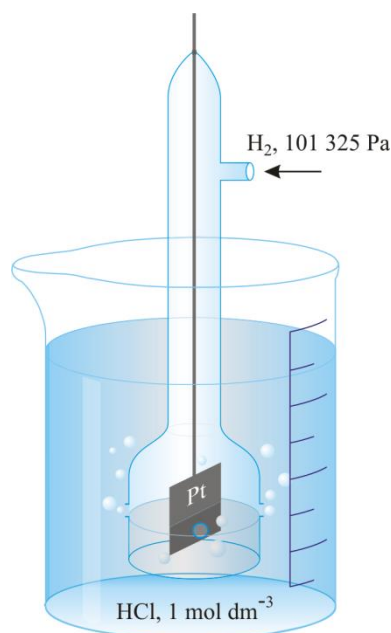
Referentna je ona elektroda koja ima poznati potencijal i koja je neovisna u odnosu na koncentraciju ispitivane otopine elektrolita. Služi tome da se dobije što točniji odziv indikatorske elektrode.

Referentna elektroda prema kojoj se određuju potencijali ostalih elektroda je standardna vodikova elektroda.

Najčešće korištene referentne elektrode u kemijskim laboratorijima su kalomel elektroda i Ag/AgCl elektroda.

1.10.2. Standardna vodikova elektroda

Standardna vodikova elektroda sadrži pločicu od spužvaste platine koja je uronjena u otopinu vodikovih iona, čiji je aktivitet jednak 1, te se kroz elektrodu propušta plinoviti vodik pod atmosferskim tlakom od 101 325 Pa.



Elektrodna reakcija polučlanka:



Potencijal se računa prema jednadžbi:

$$E = E^\circ - \frac{0,0592}{2} \log \frac{a_{\text{H}_2(\text{g})}}{a_{\text{H}^+}^2}$$

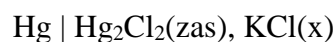
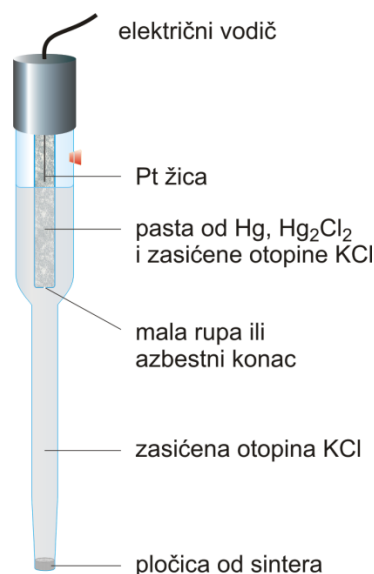
Slika 6. Shematski prikaz standardne vodikove elektrode¹⁷

Izravno nije moguće odrediti standardni potencijal elektrode stoga se kao standard uzima standardna vodikova elektroda, koja pri standardnim uvjetima (25°C, 101 325 Pa, 1M otopina elektrolita) iznosi nula volti. Dogovorno se uzima da je potencijal standardne vodikove elektrode pri svim temperaturama također jednak 0,000 V.

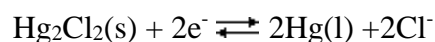
1.10.3. Kalomel elektroda

Kalomel elektroda sastoji se od paste (kalomela) koju čini živa uronjena u otopinu živina(I) klorida, Hg_2Cl_2 , koja kroz azbestni konac dolazi u dodir s otopinom kalijeva klorida, KCl , u koju je uronjena žica od platine. Ostali dio elektrode ispunjen je zasićenom otopinom KCl . Na dnu se nalazi pločica od sintera koja stvara kontakt elektrode s otopinom.

Potencijal ove elektrode pri 25°C iznosi 0,244 V.



Elektrodna reakcija polučlanka:



Potencijal se računa prema jednadžbi:

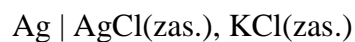
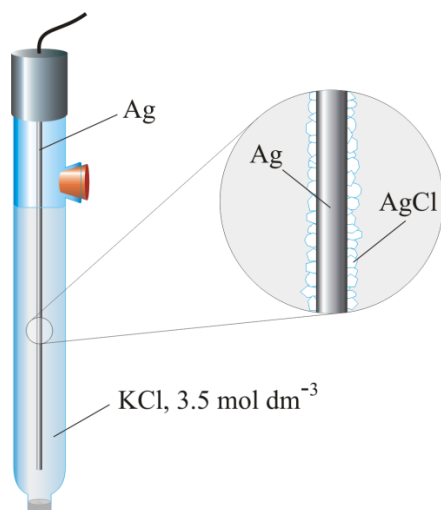
$$E = E^\circ - \frac{0,0592}{2} \ln a_{\text{Cl}^-}$$

Slika 7. Shematski prikaz kalomel elektrode¹⁷

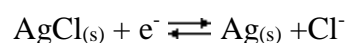
Nedostatak ove elektrode je nestabilnost potencijala s obzirom na promjenu temperature, a sadrži u sebi i živu koja je otrovna pa s elektrodom treba pažljivo rukovati.

1.10.4. Ag/AgCl elektroda

Srebro/srebrov klorid elektrodu sačinjava srebrna žica, na čijoj se površini nalazi tanki sloj srebrova klorida, koja je uronjena u zasićenu otopinu kloridnih iona (KCl i AgCl).



Elektrodna reakcija polučlanka:



Potencijal se računa prema jednadžbi:

$$E = E^\circ - 0,0592 \log a_{\text{Cl}^-}$$

Slika 8. Shematski prikaz Ag/AgCl elektrode¹⁷

Ova je elektroda veoma primjenjiva jer ne sadrži otrovne elemente, kao što je to slučaj kod kalomel elektrode. Jednostavna je za upotrebu, stabilnija je od kalomel elektrode te je lako dostupna. Zbog toga je najčešće primjenjiva referentna elektroda u laboratorijima.

Njen potencijal pri 25°C iznosi 0,199 V.

1.10.5. Indikatorska elektroda

Indikatorska elektroda je elektroda koja razvija potencijal u ovisnosti o aktivitetu iona, za koje je selektivna, koji se nalaze u elektrolitu. Odziv koji ona daje, posljedica je elektrokemijske reakcije koja se događa na površini elektrode. Zajedno s referentnom elektrodom djeluje kao galvanski članak. Postoje dvije vrste indikatorskih elektroda: konvencionalne i ion-selektivne (membranske) elektrode.

Konvencionalne elektrode dijele se na kovinske i plinske elektrode. Njihov potencijal izračunava se pomoću Nernstove jednačbe jer je razlika potencijala posljedica redoks – reakcije na elektrodi.

Nernstov izraz:
$$E_{\check{c}l} = E^{\circ} - \frac{0,0592}{z} \times \log \frac{[\text{red}]}{[\text{oks}]}$$

Ion-selektivne elektrode daju odziv na određenu vrstu iona, a ne na redoks – reakciju. Kod ovih se elektroda javlja razlika potencijala kada dođe do promjene slobodne entalpije reakcije prijelaza iona na membrani elektrode pomoću ionske izmjene, adsorpcije, ekstrakcije ili nekim drugim načinom.

2. EKSPERIMENTALNI DIO

2.1. MATERIJAL

2.1.1. Uzorci

Za eksperimentalni dio ovoga rada potenciometrijskom metodom analizirani su slijedeći uzorci:

Uzorak A1: kadulja, proizvođač *Holyplant*, Hrvatska

Uzorak A2: kadulja, proizvođač *Biofarm*, Hrvatska

Uzorak A3: lipa, proizvođač *Franck*, Hrvatska

Uzorak A4: lipa, proizvođač *Podravka*, Hrvatska

Uzorak A5: lipa, proizvođač *Travar MB*, Hrvatska

Uzorak A6: kadulja, proizvođač *Travar MB*, Hrvatska

Uzorak A7: kamilica, proizvođač *Pharmacy of SD County*, Hrvatska

Uzorak A8: kamilica, proizvođač *Palak*, Hrvatska

Uzorak A9: kamilica, proizvođač *Suban*, Hrvatska

Uzorak A10: kamilica, domaća proizvodnja, Hrvatska

Uzorak A11: kamilica, proizvođač *Agristar*, Hrvatska

2.1.2. Oprema

- Analitička vaga; Mettler, AT 261 (točnost $\pm 0,1$ mg), Švicarska
- pH metar; Metrohm
- Milivoltmetar; Mettler Toledo Seven Excellence, SAD
- Dvospojna referentna elektroda – Orion DJERE 90 – 02, SAD
- Radna Cu elektroda
- Uređaj za proizvodnju čiste vode, Milipore Simplicity, SAD
- Magnetska mješalica, Heindolph MR 3001, Njemačka
- Mikropipete 1000 – 5000 μ L, DragonMed, Kina
- Odmjerne tikvice
- Laboratorijske čaše
- Kivete

2.1.3. Reagensi, standardi i otapala

- Bakrov(II) sulfat pentahidrat, $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$, $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, pH= 4,75
- Acetatni pufer, HAc/NaAc, pH= 4,75
- Natrijev hidroksid, NaOH 10%-tni
- Destilirana voda

2.1.4. Priprema acetatnog pufera

Za pripremu acetatnog pufera potrebno je izvagati masu natrijeva acetata te izračunati volumen acetatne kiseline koji se dodaje kako bi se dobio pufer pH= 4,75.

Volumen kiseline izračunava se preko poznatih podataka na slijedeći način:

$$W(\text{HAc}) = 100\%$$

$$M(\text{HAc}) = 60,05 \text{ g mol}^{-1}$$

$$\rho(\text{HAc}) = 1,05 \text{ kg L}^{-1}$$

$$c(\text{HAc}) = \frac{\rho(\text{HAc})W(\text{HAc})}{M(\text{HAc})} = 17,49 \text{ mol L}^{-1}$$

$$c_1V_1 = c_2V_2$$

$$c_2 = 0,1\text{M}, V_2 = 1 \text{ L} \rightarrow V_1 = 0,0057 \text{ L} = 5,7 \text{ mL}$$

Masa natrijeva acetata izračuna se prema računu:

$$V(\text{NaAc}) = 1 \text{ L}$$

$$c(\text{NaAc}) = 0,1 \text{ mol L}^{-1}$$

$$M(\text{NaAc}) = 82,03 \text{ g mol}^{-1}$$

$$m(\text{NaAc}) = c(\text{NaAc})V(\text{NaAc})M(\text{NaAc}) \rightarrow m(\text{NaAc}) = 8,203 \text{ g}$$

U bocu od jedne litre ulije se malo vode te se doda 5,7 mL HAc i prethodno izvaganog NaAc 8,203 g, koji se u boci otopi. Ostatak boce nadopuni se destiliranom vodom. Zatim se mjeri pH pufera pomoću pH-metra. Izmjereni pH ovako pripremljenog pufera iznosio je 4,57 pa se dodatkom 10% NaOH povisio pH na željeni 4,75.

2.1.5. Priprema otopine $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$

Za pripremu $0,010 \text{ mol L}^{-1}$ otopine $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ u odmjernu tikvicu od 250 mL doda se 8,2 mL $0,3062 \text{ mol L}^{-1}$ $\text{CuSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$ te se tikvica nadopuni destiliranom vodom do oznake.

2.1.6. Priprema 10% NaOH

pH uzoraka čajeva iznosi 0,5. Da bi uzorci imali pH= 4,75, potrebno je dodati određeni volumen 10% NaOH za njihovu djelomičnu neutralizaciju. Taj volumen računa se na sljedeći način:

$$\text{pH} = 0,5 \Rightarrow [\text{H}^+] = 0,316 \text{ mol L}^{-1}$$

$$V = 10\text{mL}$$

$$W(\text{NaOH}) = 10\% = 2,5 \text{ mol L}^{-1}$$

$\text{pH} = 4,5 \Rightarrow [\text{H}^+] = 3,16 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ (zaostala koncentracija jake kiseline, dalje označena kao $c(\text{HA})$)

$$\text{Jednadžba za neutralizaciju: } c(\text{HA}) = \frac{c_a V_a - c_b V_b}{V_a + V_b}$$

Uvrštavanjem vrijednosti dobije se traženi volumen, V_b , koji iznosi 1,25 mL.

Dodavanjem 1,25 mL 10% NaOH pH vrijednost iznosi 4,5 te se ostatak epruvete s uzorkom i 10% NaOH nadopuni prethodno napravljenim acetatnim puferom od pH= 4,75.

2.1.7. Priprema uzorka

Za pripremu uzoraka čajeva potrebno je imati mikrovalnu pećnicu s unutarnjim sustavom tlaka i temperature. Za postupak mikrovalne digestije uzima se 4 mL dušične kiseline i 2 mL vodikova peroksida. Tlak i temperatura za vrijeme pripreme uzoraka iznosi 0,7 – 1 MPa i 210 - 240°C. Mikrovalna digestija vrši se u dva ciklusa. Prvi traje 25 minuta, a drugi 15 minuta. Ohlađeni uzorci razrjeđuju se destiliranom vodom u odmjernim tikvicama te se prebacuju u kivete od 50 mL. Izmjeri se pH vrijednost pomoću pH – metra. Ta vrijednost iznosi 0,5 pa se 1 mL uzorka uzima u drugu kivetu i pH se korigira dodatkom 10%-tne NaOH i pufera do oznake kivete na otprilike pH= 4,75.

2.2. METODA

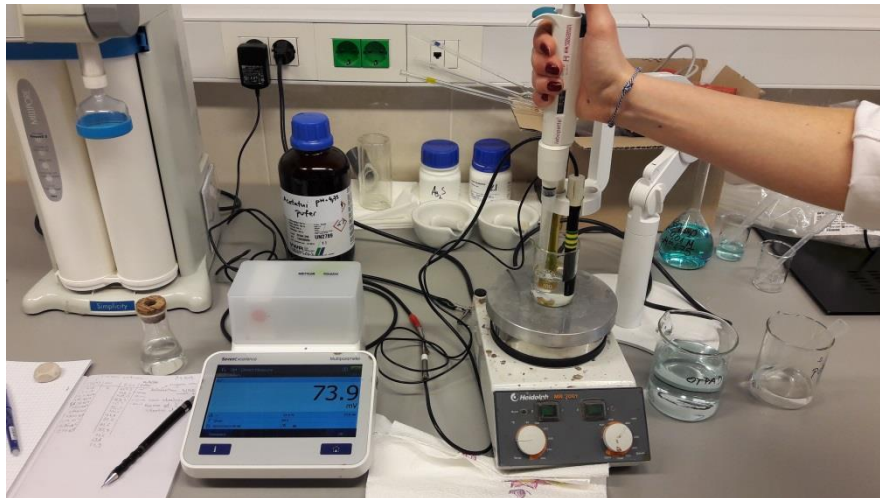
Za određivanje prisutnosti bakra u čajevima u ovom radu koristi se bakrova elektroda, a metoda kojom se vrši mjerenje je potenciometrija.

2.2.1. Izrada baždarnog pravca za određivanje koncentracije bakra

Baždarni pravac koristi se za određivanje ukupne količine bakra u uzorcima čajeva.

Za izradu baždarnog pravca koristi se $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$. Pri početnom mjerenju uzima se 40mL 0,01M $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ te se očitava potencijal. Zatim se pri svakom daljnjem mjerenju 20mL otopine zamjenjuje s 20mL acetatnog pufera (pH= 4,75) dok razlika u potencijalu između 2 mjerenja ne bude 2 - 4mV.

Sva mjerenja ponovljena su tri puta a svi prikazani rezultati predstavljaju srednju vrijednost mjerenja.



Slika 9. Aparatura za mjerenje potencijala

2. REZULTATI

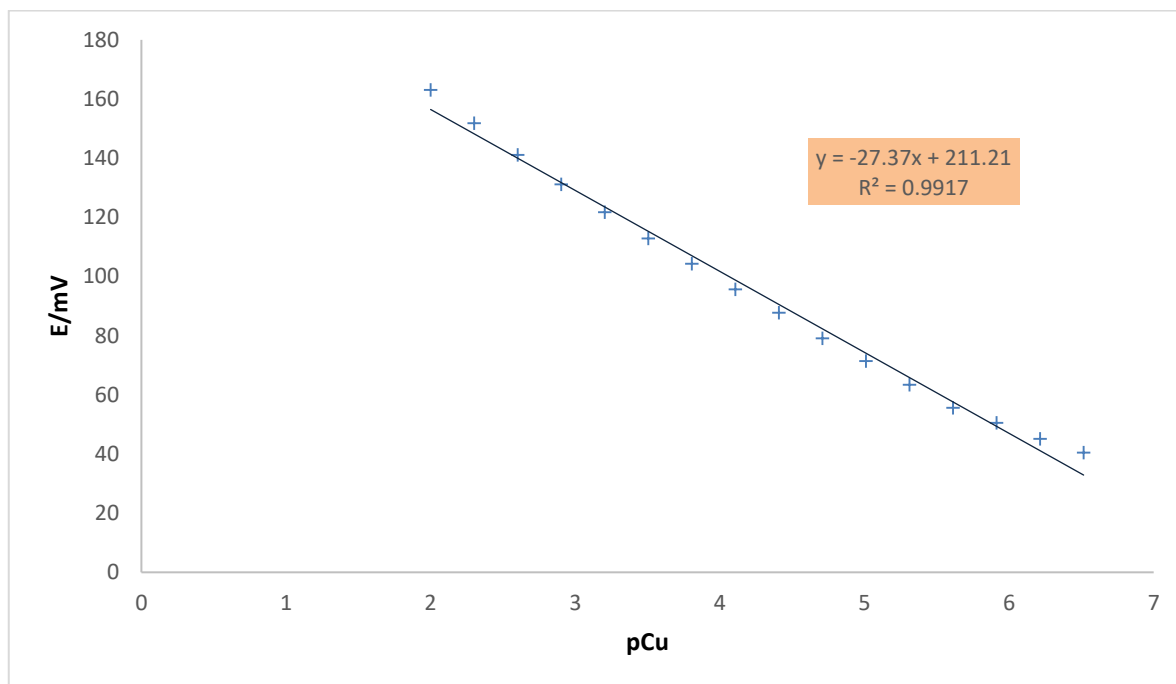
Izračun i rezultati eksperimentalnog dijela završnog rada prikazani su u tablicama 2 – 4 i postupcima opisanima ispod njih.

Mjerenja su se vršila s otopinama koje su imale pH= 4,75.

Tablica 2. Potencijal otopine $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$, pH= 4,75 , dobiveni metodom slijednog razrijeđenja

| $c(\text{Cu}^{2+})/\text{mol L}^{-1}$ | E/mV | pCu |
|---------------------------------------|--------|---------|
| 0,01 | 163,1 | 2,0000 |
| 0,005 | 151,8 | 2,30103 |
| 0,0025 | 141,1 | 2,60206 |
| 0,00125 | 131,1 | 2,90309 |
| 0,000625 | 121,7 | 3,20412 |
| 0,000313 | 112,9 | 3,50515 |
| 0,000156 | 104,25 | 3,80618 |
| $7,81 \times 10^{-5}$ | 95,65 | 4,10721 |
| $3,91 \times 10^{-5}$ | 87,7 | 4,40824 |
| $1,95 \times 10^{-5}$ | 79,1 | 4,70927 |
| $9,77 \times 10^{-6}$ | 71,4 | 5,0103 |
| $4,88 \times 10^{-6}$ | 63,4 | 5,31133 |
| $2,44 \times 10^{-6}$ | 55,6 | 5,61236 |
| $1,22 \times 10^{-6}$ | 50,5 | 5,91339 |
| $6,1 \times 10^{-7}$ | 45,1 | 6,21442 |
| $3,05 \times 10^{-7}$ | 40,4 | 6,51545 |
| $1,53 \times 10^{-7}$ | 36,3 | 6,81648 |
| $7,63 \times 10^{-8}$ | 31,3 | 7,11751 |
| $3,81 \times 10^{-8}$ | 29,5 | 7,41854 |

Iz rezultata prikazanih u tablici 2 (narančasto označene vrijednosti), dobivena je jednačba pravca prema kojoj se izračunava koncentracija bakra u uzorcima čajeva. Za crtanje baždarnog pravca uzete su vrijednosti potencijala koje odgovaraju molarnim vrijednostima bakrovih iona u rasponu od $0,010 \text{ mol L}^{-1}$ do $3,05 \times 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$, a prikazane su u tablici 2.



Slika 10. Baždarni pravac, pH= 4,75

Izmjereni potencijali iz tablice 3. uvrštavaju se u jednačbu dobivenu iz baždarnog pravca te se dobiva vrijednost pCu:

$$E = -27,37pCu + 211,21$$

Primjer računa:

uzorak A1

$$E = 73,4\text{mV}$$

$$73,4 = -27,37pCu + 211,21 \rightarrow pCu = 5,035075$$

Tablica 3. Srednje vrijednosti potencijala u uzorcima čajeva (A1 – A11), pH= 4,75

| UZORAK | E/Mv | pCu |
|--------|------|----------|
| A1 | 73,4 | 5,035075 |
| A2 | 71,3 | 5,111801 |
| A3 | 71,1 | 5,119109 |
| A4 | 71,4 | 5,108148 |
| A5 | 70,0 | 5,159299 |
| A6 | 58,6 | 5,575813 |
| A7 | 51,5 | 5,835221 |
| A8 | 56,0 | 5,670807 |
| A9 | 59,3 | 5,550237 |
| A10 | 48,3 | 5,952137 |
| A11 | 52,3 | 5,805992 |

Dobivene vrijednosti pCu iz tablice 3. koriste se za izračun koncentracije bakra u uzorcima čajeva prema jednadžbi:

$$pCu = -\log[Cu^{2+}]$$

Primjer računa:

uzorak A1

$$pCu = 5,035075$$

$$5,035075 = -\log[Cu^{2+}] \rightarrow [Cu^{2+}] = 9,22 \times 10^{-6} M$$

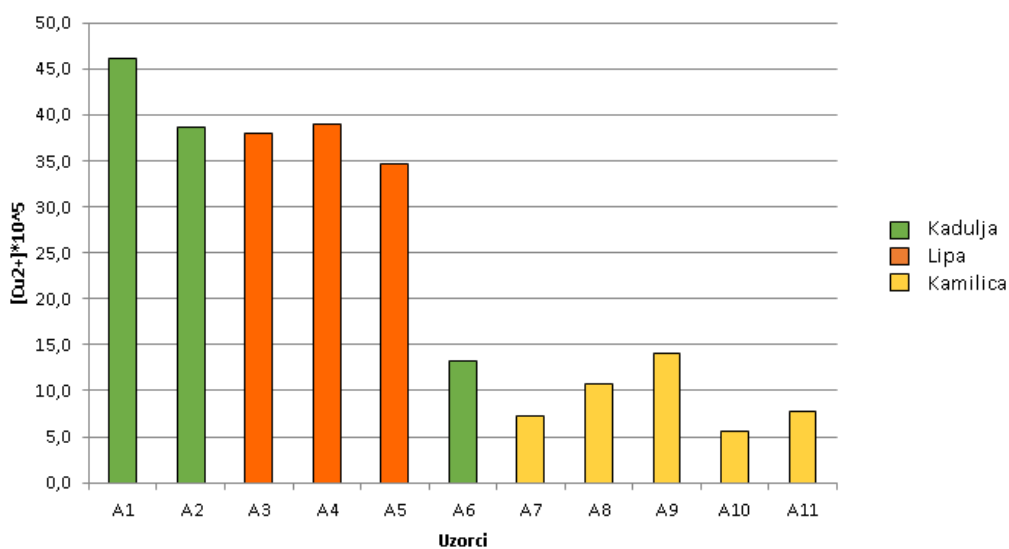
Izračunata se koncentracija množi sa 50 zbog razrjeđenja uzorka prilikom pripreme. (2.1.7. Priprema uzorka). Nakon množenja, dobiva se stvarna koncentracija u uzorku.

Vrijednosti se nalaze u tablici 4.

Tablica 4. Izračunate ukupne koncentracije bakra u uzorcima

| UZORAK | [Cu ²⁺]/mol L ⁻¹ izračunati | [Cu ²⁺]/mol L ⁻¹ stvarni* |
|--------|---|---|
| A1 | 9,22×10 ⁻⁶ | 4,61×10 ⁻⁴ |
| A2 | 7,73×10 ⁻⁶ | 3,87×10 ⁻⁴ |
| A3 | 7,6×10 ⁻⁶ | 3,80×10 ⁻⁴ |
| A4 | 7,8×10 ⁻⁶ | 3,90×10 ⁻⁴ |
| A5 | 6,93×10 ⁻⁶ | 3,46×10 ⁻⁴ |
| A6 | 2,66×10 ⁻⁶ | 1,33×10 ⁻⁴ |
| A7 | 1,46×10 ⁻⁶ | 7,31×10 ⁻⁵ |
| A8 | 2,13×10 ⁻⁶ | 1,07×10 ⁻⁴ |
| A9 | 2,82×10 ⁻⁶ | 1,41×10 ⁻⁴ |
| A10 | 1,12×10 ⁻⁶ | 5,58×10 ⁻⁵ |
| A11 | 1,56×10 ⁻⁶ | 7,82×10 ⁻⁵ |

*([Cu²⁺]/mol L⁻¹ stvarni) dobiven je množenjem ([Cu²⁺]/mol L⁻¹ izračunati)*50 radi razrjeđenja 1 mL uzorka na 50 mL te taj stupac pokazuje stvarnu koncentraciju bakra u uzorku.

**Slika 11.** Sadržaj bakra u odnosu na biljni materijal

3. RASPRAVA

Za normalan rad i funkcioniranje, čovjeku su potrebne određene tvari, koje mu daju energiju, čuvaju ga od raznih infekcija, vanjskih utjecaja, i sl. U prirodi, pa tako i kod čovjeka, uvijek je važna ravnoteža pa prevelike ili premale količine tvari mogu dovesti do trovanja organizma. Neke tvari ljudski organizam može sam proizvesti, a neke čovjek mora unijeti hranom. U hrani se nalaze mineralne tvari, koje se svrstavaju u esencijalne nutrijente. Mineralne tvari nalaze se, između ostalog, i u biljkama, a njihova koncentracija ovisi o svojstvima same biljke, koncentraciji elemenata u tlu i vremenskim uvjetima. Jedan od esencijalnih nutrijenata je bakar. On je, uz ostale minerale, prisutan i u listovima raznih biljaka.

Zadatak završnog rada bio je ispitati, potenciometrijskom metodom s bakrovom elektrodom, sadržaj bakra u 11 uzoraka biljnog materijala (3 uzorka od kadulje, 5 od kamilice i 3 od lipe), koji su se koristili za pripremu čaja. Svi uzorci uzeti su na području Republike Hrvatske. Dobiveni rezultati prikazani u ovom radu predstavljaju ukupni sadržaj bakra u odabranim uzorcima čajeva. Sva su mjerenja provedena pri pH vrijednosti 4,75.

U završnom radu određen je ukupni sadržaj bakra korištenjem bakrove ion-selektivne elektrode i potenciometrijske metode. Na početku rada, bakrova je elektroda testirana prema bakrovim ionima u otopini modre galice, $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$, poznate koncentracije u svrhu provjere odziva elektrode. Testiranje odziva elektrode ispitano je metodom slijednog razrjeđenja, pri $\text{pH} = 4,75$ u području koncentracije bakra od $0,010 \text{ mol L}^{-1}$ do $3,81 \times 10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$. Tijekom mjerenja, miješanje i temperatura održavali su se konstantnim. Rezultati ispitivanja nalaze se u tablici 2. Iz dobivenih potencijala, napravljen je baždarni pravac prikazan na slici 10. Linearno dinamičko područje koncentracije željeza je u rasponu od $0,010 \text{ mol L}^{-1}$ do $3,05 \times 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$. Dobivena jednadžba za ovo područje je $E = -27,37\text{pCu} + 211,21$. Koeficijent linearne regresije iznosi 0,9917, što ukazuje na dobru linearnost, a nagib krivulje od 27,37 mV u dobrom je slaganju s teorijskom vrijednošću Nernstove jednadžbe za dvovalentne katione od 29 mV.. Uvrštenjem potencijala nepoznatog uzorka u ovu jednadžbu, dat će poprilično točnu koncentraciju bakra.

U ispitivanim uzorcima čajeva izmjerene su koncentracije bakra u rasponu od $5,58 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ do $4,61 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$.

Najnižu koncentraciju bakra, $5,58 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$, imao je uzorak A10, kamilica, domaća proizvodnja, Hrvatska. Najvišu koncentraciju bakra, $4,61 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$, imao je uzorak

A1, kadulja, proizvođač *Holyplant*, Hrvatska. Prosječan sadržaj bakra u uzorcima iznosi $2,32 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$.

U svim uzorcima čajeva od kamilice sadržaj bakra niži je od prosječnog. Uzorci čajeva od lipe svugdje imaju otprilike jednaku koncentraciju bakra, dok koncentracija bakra u uzorcima od kadulje varira.

Usporedbom rezultata mjerenja, može se zaključiti da kamilica ima najmanji afinitet za bakar. Uvjeti uzgoja i rasta lipe za pripremu čaja bili su slični te se nije dogodila veća apsorpcija bakra iz okoliša. Kod kadulje se pokazalo da vanjski čimbenici utječu na apsorpciju bakra u biljku te će svaki čaj od kadulje imati drukčiju koncentraciju bakra.

Preporučeni dnevni unos bakra za dojenčad je do 220 μg , za djecu do osme godine do 400 μg , za muškarce i žene od devete do trinaeste godine 700 μg , a nakon četrnaeste godine života 900 μg , za trudnice 1000 μg , a za dojilje čak 1300 μg . Zbog niskog sadržaja bakra u čajevima od kamilice, samo je čaj od kamilice preporučljiv za djecu i dojenčad. Pri konzumaciji ostalih čajeva, lako može doći do trovanja organizma viškom bakra ako se prijeđe gornja granica. Za ostale dobne skupine, ovisno o vrsti čaja, konzumacijom dvije do tri šalice čaja, a za dojilje i malo više, moguće je opskrbiti organizam dovoljnim sadržajem bakra kao esencijalnog nutrijenta. Ovi rezultati predstavljaju ukupni sadržaj bakra u čaju. U čajnoj infuziji, količine bakra su niže, a kako se konzumira samo čajna infuzija, preporučuje se ispitivanje sadržaja bakra u čajnim infuzijama prije konačne preporuke ispitanih čajeva kao dovoljnog izvora bakra za organizam.

4. ZAKLJUČAK

- ✓ Bakrova je elektroda testirana prema bakrovim ionima u otopini modre galice, $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$, poznate koncentracije u svrhu provjere odziva elektrode metodom slijednog razrjeđenja, pri $\text{pH} = 4,75$ u području koncentracije bakra od $0,010 \text{ mol L}^{-1}$ do $3,81 \times 10^{-08} \text{ mol L}^{-1}$. Linearno dinamičko područje koncentracije željeza je u rasponu od $0,010 \text{ mol L}^{-1}$ do $3,05 \times 10^{-07} \text{ mol L}^{-1}$.
- ✓ Izmjerene su koncentracije bakra u uzorcima čajeva u rasponu od $5,58 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ do $4,61 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$. Najnižu koncentraciju bakra, $5,58 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$, imao je uzorak A10, kamilica, domaća proizvodnja, Hrvatska. Najvišu koncentraciju bakra, $4,61 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$, imao je uzorak A1, kadulja, proizvođač *Holyplant*, Hrvatska. Prosječan sadržaj bakra u uzorcima iznosi $2,32 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$.
- ✓ Svi uzorci čajeva od kamilice sadrže manju koncentraciju bakra od prosječne. Sastav čaja od kadulje ovisi o uvjetima rasta biljke, dok čaj od lipe sadrži gotovo istu koncentraciju bakra, neovisno o vanjskim uvjetima.

5. LITERATURA

1. www.britannica.com/topic/tea-beverage (pristupljeno dana 1.10.2018.)
2. www.zzjzpgz.hr/nzl/48/zdr.htm (pristupljeno dana 2.10.2018.)
3. Kopjar, M., Knežević, I., Piližota, V., 2013, *Sadržaj polifenola, antocijana i antioksidativna aktivnost voćnih čajeva*, Osijek
4. Nobre, A., C., Rao, A., Owen G., N., 2008, *L-theanine, a natural constituent in tea, and its effect on mental state*, Nizozemska: Unilever Food and Health Research Institute
5. Lima, C., F., Carvalho, F., suradnici, 2004, *Evaluation of toxic/protective effects of the essential oil of Salvia officinalis on freshly isolated rat hepatocytes. Toxicology in Vitro*, Portugal: Department of Biology, Centre of Biology, School of Sciences, University of Minho, Campus de Gualtar
6. <https://www.gozd-les.com/slovenski-gozdovi/drevesa/lipa> (pristupljeno 8.10.2018.)
7. <https://www.bodiekeo.si/lipa-in-lipovec> (pristupljeno 8.10.2018.)
8. *Zdravnik v hiši*, 1978, Ljubljana: Tiskarna ČGP Delo
9. Ašič, S., 1984, *Pomoć iz domaće lekarne*, Celje: Mohorjeva družba
10. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=5387> (pristupljeno 8.10.2018.)
11. <https://copperalliance.org.uk/about-copper/copper-history/copper-through-the-ages/> (pristupljeno 9.10.2018.)
12. Generalić, E., <http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/cu/spojevi.html#SPOJEVI> (pristupljeno 9.10.2018.)
13. www.dijeta.co/bakar (pristupljeno 15.10.2018.)
14. Berg, J., M., Tymoczko, J., L., Stryer, L., 2013, *Biokemija*, 1.izdanje (hrvatsko), Zagreb: Školska knjiga
15. www.msd-prirucnici.placebo.hr (pristupljeno 15.10.2018.)
16. Institute of Medicine: Food and Nutrition Board, 2002, *Dietary Reference Intakes For Vitamin A, VitaminK, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenium, Nickel, Silicon, Vanadium and Zinc*, Washington DC: National Academies Press, P.772773
17. Generalić, E., https://www.periodni.com/enig/potencijometrijski_senzori.html (pristupljeno 16.10.2018.)
18. Generalić, E., <https://periodni.com/glosar.php?hr=galvanski+clanak> (pristupljeno 16.10.2018.)
19. Holler, J., F., Skoog, D., West, D., M., 1999, *Osnove analitičke kemije*, Zagreb: Školska knjiga