



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE POTRAVIN A BIOTECHNOLOGIÍ

INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY

ZINEK V POTRAVINOVÝCH DOPLŇCÍCH

ZINC IN FOOD SUPPLEMENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Katsiaryna Sauchanka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Veronika Řezáčová, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Číslo práce: FCH-BAK1281/2017 Akademický rok: 2018/19
Ústav: Ústav chemie potravin a biotechnologií
Studentka: **Katsiaryna Sauchanka**
Studijní program: Chemie a technologie potravin
Studijní obor: Potravinářská chemie
Vedoucí práce: **Ing. Veronika Řezáčová, Ph.D.**

Název bakalářské práce:

Zinek v potravinových doplncích

Zadání bakalářské práce:

1. Literární rešerše na téma vlastností a důležitosti zinku pro lidský organismus.
2. Shrnutí analytických metod využitelných pro stanovení zinku.
3. Experimentální stanovení zinku v potravinových doplncích.
4. Přehledné zpracování a zhodnocení získaných výsledků.

Termín odevzdání bakalářské práce: 24.5.2019:

Bakalářská práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí bakalářské práce.

Katsiaryna Sauchanka
student(ka)

Ing. Veronika Řezáčová, Ph.D.
vedoucí práce

prof. RNDr. Ivana Márová, CSc.
vedoucí ústavu

V Brně dne 31.1.2019

prof. Ing. Martin Weiter, Ph.D.
děkan

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je stanovení zinku ve vybraných druzích potravinových doplňků voltametrickou metodou. V první části práce jsou popsány obecné vlastnosti zinku, jeho výskyt, toxicita a vliv na organismus člověka. Dále jsou shrnuty možnosti stanovení zinku, včetně podrobného popisu voltametrické metody. V experimentální části je uveden postup optimalizace podmínek voltametrického stanovení zinku a aplikace optimizované metody na reálné vzorky.

Abstract

The aim of this bachelor thesis was to determine zinc in the dietary supplements by the voltammetric method. The general properties of zinc, its occurrence, toxicity and influence on human health are described in the first part. Next the methods, including a detailed description of the voltammetric analysis, are summarized. The experimental part is focused on the process of optimization of the conditions for zinc voltammetric analysis and the application of the optimised method on real samples.

Klíčová slova

Zinek, výživa člověka, metabolismus, potravinové doplňky, voltametrie, polarografie, rtuťové elektrody, pulzní metody.

Key words

Zinc, nutrition, metabolism, food supplements, voltammetry, polarography, mercury electrodes, pulse methods.

SAUCHANKA, K. *Stanovení zinku v potravinových doplňcích*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2019. 38 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Veronika Řezáčová, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FCH VUT.

.....

podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda podělovala vedoucí bakalářské práce Ing. Veronice Řezáčové, Ph.D. za odborné vedení, ochotu, trpělivost, pomoc a cenné rady během vypracování této bakalářské práce.

OBSAH

1	ÚVOD	5
2	TEORETICKÁ ČÁST	6
2.1	Zinek.....	6
2.1.1	Charakteristika zinku.....	6
2.1.2	Fyzikální a chemické vlastnosti.....	6
2.1.3	Výskyt zinku v přírodě.....	7
2.1.4	Využití zinku.....	7
2.1.5	Biochemické funkce zinku.....	8
2.1.6	Metabolismus.....	9
2.1.7	Deficit zinku u člověka.....	9
2.1.8	Toxicita zinku.....	10
2.1.9	Výskyt v potravinách.....	10
2.2	Metody stanovení zinku.....	12
2.2.1	Atomová absorpční spektrometrie (AAS).....	12
2.2.2	Atomová emisní spektrometrie (AES).....	12
2.3	Voltametrie.....	13
2.3.1	Instrumentace.....	13
2.3.2	Voltametrická cela.....	14
2.3.3	Pracovní elektrody.....	15
2.3.4	Referentní elektrody.....	17
2.3.5	Pomocné elektrody.....	17
2.4	Pulzní metody.....	17
2.4.1	Normální pulzní voltametrie.....	17
2.4.2	Diferenční pulzní voltametrie.....	17
2.4.3	Rozpouštěcí voltametrie.....	18
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	20
3.1	Použité přístroje a zařízení.....	20
3.2	Chemikálie.....	20
3.3	Postup optimalizace stanovení zinku.....	20
3.3.1	Vliv doby probublávání.....	20
3.3.2	Vliv velikosti kapky.....	21

3.3.3	Vliv iontové síly	21
3.3.4	Vliv pH	21
3.3.5	Vliv času depozice	21
3.3.6	Výsledné parametry metody	21
3.3.7	Kalibrační závislost	22
3.4	Stanovení zinku v potravinových doplňcích	22
4	VÝSLEDKY A DISKUZE	24
4.1	Vyhodnocení vlivu doby probublávání	24
4.2	Vyhodnocení vlivu velikosti kapky	25
4.3	Vyhodnocení vlivu iontové síly	26
4.4	Vyhodnocení vlivu pH	27
4.5	Vyhodnocení vlivu času depozice	28
4.6	Kalibrační závislost	29
4.7	Vyhodnocení stanovení zinku v potravinových doplňcích	30
5	ZÁVĚR	31
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	32
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	36

1 ÚVOD

Zinek je druhým nejrozšířenějším kovem v organismu člověka. V těle jsou přítomny 2 až 4 gramy zinku. Jeho největší množství se nachází v mozku, svalovinách, kostech, ledvinách a játrech. Je nezbytný pro katalytickou aktivitu více než 200 enzymů. Dále hraje důležitou roli v imunitní funkci, hojení ran, syntéze bílkovin a DNA a buněčném dělení. Zinek ovlivňuje vnímání vůní a chutí.

Nedostatek zinku v organismu člověka je obvykle způsoben nedostatečným příjmem nebo sníženou absorpcí zinku, zvýšenými požadavky organismu nebo zvýšenými ztrátami zinku z těla. Hlavním zdrojem zinku jsou fazole, maso zvířat, ořechy, ryby, obiloviny a mléčné výrobky. Pokud je příjem zinku z potravy nedostatečný, může být dodán ve formě potravinových doplňků. V současné době existuje celá řada potravinových doplňků obsahujících zinek.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Zinek

2.1.1 Charakteristika zinku

Zinek (chemický symbol Zn) je 30. prvek periodické soustavy prvků s elektronovou konfigurací [Ar] 3d¹⁰4s². Jde o modravě bílý, měkký a křehký kov s relativní atomovou hmotností 65,38 [1] [2].

Původ jeho názvu je nejasný. Je ale pravděpodobné, že byl odvozen od slova “Zinke“ (německy bodec nebo zub) podle vzhledu kovu [3] [4].

Zinkové rudy byly používány již přibližně od roku 1400 př. n. l. ve starověkém Egyptě či Řecku, a to spolu s mědí při výrobě mosazi. Až ve 13. století n. l. byl v Indii vyroben kovový zinek. Číňané používali v letech 1368 – 1644 zinkové mince. Ve středověké Evropě se zinek nevyráběl, dovážel se převážně z Indie a Číny a byl velmi drahý. Až v 18. století se začal zinek vyrábět v Anglii a následně ve Slezsku a v Belgii [1] [3] [4].

Zinek je součástí různých slitin, používá se při výrobě barviv a je nezbytný pro správný vývoj organismu.

2.1.2 Fyzikální a chemické vlastnosti

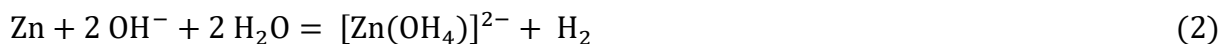
Zinek je modrobílý, lesklý kov. Je diamagnetický a elektricky vodivý. Krystalizuje v hexagonální krystalové soustavě. Za normálních teplot je tvrdý a křehký. V rozmezí teplot 100 až 150 °C je dobře tvarovatelný, nad touto teplotou opět křehne. Zinek na vlhkém vzduchu rychle ztrácí lesk, slučuje se s kyslíkem, sírou, fosforem a při zahřívání i s halogenidy [5] [6].

Práškový zinek na vzduchu při zahřívání hoří jasně svítivým modrozeleným plamenem. Má významné redukční vlastnosti. V neoxidujících kyselinách se Zn rozpouští za vývoje vodíku, viz následující rovnice (11111):



S koncentrovanými oxidujícími kyselinami jsou reakce složitější a rozpouštění zinku probíhá bez vzniku vodíku.

Zinek se rozpouští také ve vodných roztocích alkalických hydroxidů za vzniku zinečnanových hydroxokomplexů, viz rovnice (22). Má amfoterní charakter.



Ve sloučeninách je chemie zinku v podstatě omezena na sloučeniny Zn^{II}. Sloučeniny Zn^{II} jsou převážně bezbarvé. Velmi výrazná je tendence Zn^{II} tvořit komplexy s ligandy Cl⁻, Br⁻, I⁻, CN⁻, SCN⁻, NO₂⁻, OH⁻, CH₃COO⁻ aj. Tvoří rovněž stabilní komplexy s molekulami amoniaku, hydrazinu, thiomocoviny, aminů a mnohými dalšími organickými sloučeninami. Zinek je do jisté míry podobný hořčíku a existuje řada sloučenin Zn izomorfních s analogickými sloučeninami hořčíku [1] [6] [7].

Zinek tvoří slitiny s jinými kovy. K nejdůležitějším slitinám zinku patří mosaz.

Vlastnosti zinku jsou shrnuty v následující tabulce 1 (Tabulka 1).

Tabulka 1: Vlastnosti prvku [1] [5] [8]

Vlastnosti	Zn
Atomové číslo Z	30
Počet přírodních izotopů	5
Atomová hmotnost	65,38
Skupina	II.B
Perioda	4
Skupenství	pevné
Oxidační číslo	II
Vzhled čistého kovu	křehký při 298 K kujný 373 – 423 K lesklý, modrobílý
Hustota (25 °C) / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	7,14
Teplota tání T_t / K	693
Teplota varu T_v / K	1180
Elektronová konfigurace	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²
Elektronegativita	1,6
Poloměr kovu (pro koordinační číslo 12)/pm	134
Efektivní iontový poloměr / pm	II 74
	I –
Atomizační entalpie $\Delta_a H^\circ$ (298 K) / $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	130
První ionizační energie $E_{1,1}$ / $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	906,4
Druhá ionizační energie $E_{1,2}$ / $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	1733
Třetí ionizační energie $E_{1,3}$ / $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	3833
$E^\circ (M^{2+}/M)$ / V	– 0,7619
ΔH_{tav} / $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	7,28 ($\pm 0,01$)
$\Delta H_{výp}$ / $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	114,2 ($\pm 1,7$)
$\Delta H_{(jednoatomový\ plyn)}$ / $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	129,3 ($\pm 2,9$)
Měrný elektrický odpor (20 °C) / $\mu\Omega \text{ cm}$	5,8

2.1.3 Výskyt zinku v přírodě

V zemské kůře je zinek poměrně bohatě zastoupen. Průměrný obsah činí kolem $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Půda obsahuje zinek v rozmezí od 5 do $770 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Mořská voda pak obsahuje pouze $300 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. V atmosféře je obsah zinku $0,1 - 4 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ [4].

Zinek se v přírodě nachází v podobě sloučenin. Nejrozšířenější rudou je sulfid zinečnatý ZnS, který se vyskytuje jako minerál sfalerit (kubický) nebo méně běžný minerál wurzit (hexagonální). Další důležitou rudou je smithsonit ZnCO_3 a zásaditý uhličitán zinečnatý – kalamín. Velká naleziště těchto rud jsou v Kanadě, USA a Austrálii. Menší technický význam mají minerály zinkit ZnO , franklinit $\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ nebo hemimorfit $\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [1].

2.1.4 Využití zinku

Zinek je čtvrtým nejběžněji používaným kovem. Jeho použití je rozsáhlé. Značné množství se spotřebuje k pozinkování železných výrobků (plechy, trubky, dráty, šroubky aj). Pozinkované železné výrobky jsou velmi odolné proti atmosférické korozi, tzv. katodová ochrana. Velké uplatnění nachází zinek rovněž při výrobě suchých článků – baterií. V laboratoři slouží zinek

k přípravě vodíku a k redukcím. Významného praktického uplatnění mají slitiny zinku, a to hlavně mosaz a slitiny zinku s lehkými kovy [9] [10].

Ze zinkových slitin se vyrábějí jak strojní součásti, tak předměty denní potřeby. V automobilovém průmyslu se z nich odlévají téměř všechny karburátory, palivová čerpadla a jsou také součásti měřicích a kontrolních přístrojů. V elektronice se užívají jako součásti elektromotorů, převodů a pákových mechanismů; v optice jako součástí fotoaparátů a filmových kamer. Vyrábí se z nich též kování k nábytku a součásti kuchyňských strojů. Pod tlakem se z těchto slitin vyrábí miniaturní odlitky a části zdrhovadel. Zinkové slitiny vykazují tzv. superplasticitu, což je schopnost kovů k plastické deformaci při vhodných podmínkách [1] [3] [6].

Ze sloučenin zinku je významný ZnO, který se používá ve farmaceutickém průmyslu, ve sklářství (mléčné sklo) a kosmetice (bílý pigment – jinak zinková běloba). Chlorid, síran a octan zinečnatý se používá v papírenském průmyslu a textilním průmyslu (bělicí prostředky, potiskování tkanin) [4] [10].

Světová produkce zinku je poměrně stálá a činí kolem 6 milionů tun ročně. Nejvíce rudy se těží v Kanadě, většina z ní se však zpracovává jinde [1] [3].

2.1.5 Biochemické funkce zinku

Zinek je nejhojnější intracelulární stopový prvek přítomný v organismu člověka. Jeho hlavní biologické funkce můžeme rozdělit na tři skupiny: katalytické, strukturální a regulační [8].

Katalytické funkce

Zinek je nezbytný a přímo se zúčastní katalytických reakcí, které kontrolují velké množství buněčných procesů, včetně syntézy nukleonových kyselin, rychlosti buněčného dělení, růstu, regenerace, hojení ran nebo udržení integrální a bariérové funkce kůže [11] [12].

Strukturální funkce

Díky svým fyzikálně-chemickým vlastnostem hraje strukturální a funkční roli v některých proteinech, účastní se replikace a transkripce DNA, je kofaktorem více než 200 metaloenzymů (např. karboanhydráza, ALP, GMD, RNA a DNA polymeráza, thymidinkináza, karboxypeptidáza, alkoholdehydrogenáza, superoxidodismutáza), je součástí biomembrán a je přítomný v řadě transkripčních faktorů nebo stabilizuje některé komplexy hormonů s jejich receptory [11] [12].

Regulační funkce

Zinek reguluje jak enzymatickou aktivitu, tak i stabilitu proteinů [12].

Zinek dále:

- ovlivňuje syntézu specifického proteinu pro retinol (RBP, retinol binding protein),
- uplatňuje se při tvorbě inzulínu a prodlužuje jeho hypoglykemický účinek,
- zapojuje se do antioxidační ochrany organismu – jako součást enzymu superoxidodismutázy,
- stabilizuje buněčné membrány a snižuje tak riziko lipoperoxidace,
- snižuje toxický účinek olova a kadmia,

- má komplexní efekt v imunitním systému; při jeho deficitu je postižena především buněčná část imunity (pokles počtu a diferenciací T-lymfocytů, chemotaxe leukocytů a odpověď T-buněk na běžné antigeny),
- bez Zn se stává neaktivní hormon thymulin [8] [12] [13] [14].

2.1.6 Metabolismus

Vstřebávání

Převážné množství zinku je vstřebáváno v tenkém střevě, především v lačníku. V žaludku a v tlustém střevě se vstřebává pouze malé množství. Proces je regulován epiteliálními buňkami gastrointestinálního traktu [8] [13].

V průběhu trávení se uvolňují volné ionty zinku, které mohou tvořit koordinační komplexy s exogenními i endogenními ligandy, např. aminokyselinami, nukleovými kyselinami, dalšími organickými kyselinami či anionty jako jsou fosfáty. Nejčastějšími aminokyselinami jsou metionin, histidin a cystein [8] [15].

Po vstupu do buňky střevní sliznice se ionty zinku vážou na metalothionein, který zajišťuje transport zinku do krevního oběhu. Stimulace syntézy metalothioneinu záleží na obsahu zinku v potravě. Část zinku je však po odloupení slizničních buněk vyloučena [8] [11].

Celkový obsah Zn v těle je regulován jednak úrovní intestinální resorpce, jednak vylučováním endogenního zinku [8].

Transport

V krevní plazmě se volné ionty zinku vážou na albumin (60 %) a transferrin (10 %), a jejich koncentrace zůstává relativně konstantní. Vstřebávání zinku závisí na množství železa v organismu. Zinek se transportuje do jater a odtud se dále uvolňuje pro potřeby jiných tkání. Centrální nervový systém a kosti vychytávají zinek relativně pomalu. Rychlejší obrát je vykazován v erythrocytech a svalech, nejrychlejší pak v pankreatu, játrech, ledvinách a slezině [8] [11].

Vylučování

Zinek se vylučuje hlavně gastrointestinálním traktem, a to s pankreatickými šťávami, žlučí, gastroduodenálními sekrety, a také transepiteliálním přestupem z buněk sliznice. Během tohoto procesu se vylučuje z organismu přibližně polovina přítomného zinku. Přitom velká jeho část je znovu vstřebána ze střeva, díky čemuž může být udržována hladina zinku v organismu. Jedná se o důležitý proces regulace rovnováhy zinku. Menší část (cca 2 – 10 %) se vyloučí močí. Dále se může zinek z těla vylučovat ve vlasech, potu a v odlouplých kožních epitelích. V laktaci je vylučován rovněž mlékem [8] [11].

2.1.7 Deficit zinku u člověka

V současné době je deficit zinku rozšířeným problémem, a to jak v rozvojových, tak i ve vyspělých zemích. Nedostatek zinku v organismu je především důsledkem příjmu potravy s nízkým obsahem Zn. Deficit zinku může být také příznakem řady onemocnění, např. malabsorpční syndrom, enteropathie acrodermatitidy, Crohnovy choroby či cirhózy jater [8] [14] [16].

Nedostatek zinku v organismu člověka má vliv na funkci jak epidermálního, gastrointestinálního, nervového, imunitního, tak i kostního či reprodukčního systému. Projevy

mírného deficitu zinku nejsou klinicky výrazné, projevují se např. hubnutím, oligospermií nebo hyperamonemií. Závažnější deficit zinku je charakterizován následujícími klinickými příznaky: poruchy růstu u dětí a dospívajících, poruchy metabolismu kostí, u mužů hypogonadismem, u žen ovariální dysfunkcí (poruchy menstruace, hormonální disbalance), kožními změnami, alopecií, dystrofií nehtů, nechutenstvím, špatným hojením ran [17] [18] [19].

Těžký nedostatek zinku může být také dědičný. Nejtěžší z dědičných forem nedostatku zinku je *Acrodermatitis enteropathica*. Jde o vzácnou autosomálně recesivní metabolickou poruchu vyplývající z mutace intestinálního transportéru Zip4. Příznaky tohoto onemocnění zahrnují kožní léze, alopecii, neuropsychologické poruchy a snížení imunitní funkce [8] [20].

Nedostatku zinku v organismu lze předcházet, ať už pestrou vyváženou stravou nebo příjmem potravinových doplňků. Na trhu lze nalézt řadu preparátů, ať už jen zinek či v kombinaci. Jde například o kombinace:

- vitamín C + zinek;
- vitamín C + zinek + echinacea + šípek;
- zelený čaj + vitamín E + selen + zinek;
- selen + zinek + vitamín C + vitamín E;
- vápník + hořčík + zinek, aj.

2.1.8 Toxicita zinku

Toxicita Zn je nízká a k předávkování dochází pouze výjimečně. Typickými příznaky akutní otravy jsou nevolnost, zvracení, ztráta chuti k jídlu, bolesti žaludku, bolesti hlavy, průjem, bolest v epigastriu, letargie a únava. Je známo, že množství zinku v rozmezí od 225 do 450 mg může vyvolat ihned zvracení u dospělých. V případě chronického předávkování Zn v rozmezí 100 – 300 mg denně u dospělých dochází k nedostatku mědi, snížení koncentrace HDL, změnám v imunitní odpovědi a hladině lipoproteinů v séru. Dlouhodobý nadměrný přívod Zn snižuje vstřebávání fosfátů, způsobuje anémii a poruchy funkce trávicího traktu [8] [21] [22] [23].

2.1.9 Výskyt v potravinách

Nejlépeším zdrojem zinku v potravinách jsou ryby, mléčné výrobky, maso, fazole, ořechy a obiloviny. Pro většinu lidí jsou hlavním zdrojem zinku obiloviny. Hovězí maso je nejbohatším zdrojem zinku, zatímco drůbež a ryby obvykle poskytují podstatně méně zinku. Koncentrace zinku v potravinách je velmi variabilní a pohybuje se v hodnotách přibližně 1 až 50 mg/kg. Vysoký obsah bílkovin a vlákniny zvyšuje resorpci zinku z potravy, naopak např. kyselina fytová snižuje jeho využitelnost organismem [16] [22] [24]. Tabulka 2 uvádí množství Zn v potravinových surovinách a potravinách.

Tabulka 2: Obsah zinku ve významných potravinových surovinách a potravinách [21]

Potravina	Obsah Zn v mg · kg ⁻¹
Maso vepřové	17 – 40
Maso hovězí	30 – 43
Maso kuřecí	8,1 – 12
Játra vepřová	56 – 112
Ryby	3,3 – 27
Mléko plnotučné	3,4 – 4,7
Tvaroh	13 – 14
Sýry	34 – 44
Jogurt	5,3 – 5,6
Vejce slepičí	13 – 15
Vaječný bílek	2,0
Vaječný žloutek	38
Pšenice	26 – 38
Mouka pšeničná	8 – 36
Chléb celozrnný	13 – 29
Rýže loupaná	10 – 15
Hrách	20 – 49
Čočka	28 – 32
Fazole	21 – 38
Sója	29 – 67
Zelí	1,5 – 2,9
Květák	3,2 – 7,8
Špenát	4,3 – 13
Hlávkový salát	3,3 – 9,0
Rajčata	1,2 – 4,8
Mrkev	2,5 – 5,9
Hrášek	11 – 15
Cibule	3,1 – 5,2
Brambory	1,7 – 4,9
Jablka	0,2 – 4,9
Pomeranče	0,9 – 1,2
Banány	1,8 – 2,6
Jahody	1,1 – 1,9
Vlašské ořechy	24
Čaj černý	23 – 38
Káva pražená	6,1 – 8,0
Čokoláda mléčná	18 – 19

Doporučené denní dávky příjmu zinku jsou 5 mg pro děti do 1 roku, 3 – 5 mg pro děti od 1 roku do 8 let, 8 – 15 mg pro chlapce a muže (závisí na věku osoby), 8 – 9 mg pro dívky a ženy, 10 mg pro muže a ženy nad 50 let. Pro těhotné ženy se doporučuje dávka 15 mg a v období kojení 16 – 19 mg v závislosti na věku [16] [21] [22].

2.2 Metody stanovení zinku

2.2.1 Atomová absorpční spektrometrie (AAS)

Stanovení stopových množství chemických prvků metodou atomové absorpční spektrometrie (AAS) je dobře známo a často používáno. Tato metoda je vhodná pro stanovení Cu, Ni, Mn, Co, Fe, Ca, Mg, Ba, Sr, Al, Mo, V, Zn, Cd, Pb, Na, K.

Metoda využívá absorpce monochromatického záření emitovaného výbojkou vyzařující spektrální čáry daného prvku. Detekuje se rozdíl mezi původní a po absorpci sníženou intenzitou záření. U plamenové varianty AAS (F AAS) dochází k atomizaci při teplotách 1200 – 2800 °C v plamenu. Kapalný vzorek je nasáván přes zmlžovač a zmlžovací komoru do plamene, kde dochází k vypaření aerosolu vzorku. V atomizátoru dochází k pohlcení záření ze zdroje volnými atomy prvku. Záření dopadá na fotonásobič. Dále nastává zpracování signálu [8] [25] [26].

Další využívanou variantou je AAS s elektrotermickou atomizací (ETA AAS). Při tomto způsobu atomizace se dávkuje řádově μl vzorku do malé odporově vyhřívané kyvety. K atomizaci dochází postupným ohřevem kyvety průchodem elektrického proudu [25] [27].

Meze detekce se pohybují v řádu $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ pro F AAS až $\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$ u ETA AAS.

Příkladem stanovení zinku metodou AAS může být kontrola kvality piva, mléčných výrobků (plnotučného mléka, beztukového mléka, syrovátky), vína atd. [8] [28].

2.2.2 Atomová emisní spektrometrie (AES)

Atomová emisní spektrometrie je založena na registrování fotonů vzniklých přechody valenčních elektronů z vyšších energetických stavů na stavy nižší. Po atomizaci, případně částečné ionizaci, prvků obsažených ve vzorku ve vhodném budícím, tj. excitačním zdroji, přechází atomy nebo ionty do vyššího energetického stavu. Při návratu na nižší energetickou hladinu pak emitují charakteristické čárové spektrum. Intenzita spektrální čáry je úměrná obsahu prvku ve vzorku [8] [29].

Nejčastěji se jako budící zdroj využívá indukčně vázané plazma. Metoda je pak označována jako ICP - AES a umožňuje analyzovat téměř všechny prvky periodické tabulky, které je možno převést do roztoku, s citlivostí od jednotek $\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$ po stovky $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. ICP výboj je obvykle vytvořen v proudu argonu při atmosférickém tlaku. Vzniká po iniciaci plynu (Ar), který protéká křemennou plazmovou hlavicí; plazmová hlavička je umístěna v kruhové indukční cívice chlazené vodou, protékající uvnitř závitů cívky, a indukční cívkou, kterou protéká vysokofrekvenční proud generující oscilující elektromagnetické pole (siločáry jsou orientovány podél osy plazmové hlavičky v indukční cívice) [8] [30] [31] [32].

Po zažehnutí jiskrou se v proudícím plynu vytvoří volné elektrony, které ionizují další atomy argonu. Vlivem indukovaného elektromagnetického pole vznikají nabitě částice a dochází k indukčnímu ohřevu. Plazmový výboj dosahuje vysokých teplot 6000 – 10000 K, v důsledku čehož dochází snadno k vypaření aerosolu vzorku, disociaci, atomizaci a excitaci atomů a iontů prvků [8] [33] [34].

Intenzita spektrálních čar je závislá také na instrumentálních podmínkách měření: výkonu radiofrekvenčních generátoru, průtocích plynu plazmovou hlavicí, pozorovací výšce plazmového výboje nad indukční cívku či kvalitě a typu zmlžovacího systému [32].

Ve vzorcích biogenního původu se technickou ICP – AES nejčastěji zjišťují obsahy biogenních prvků jako je sodík, draslík, hořčík, vápník, železo nebo zinek [35].

ICP - AES se používá také pro stanovení zinku ve vzorcích krve, tkání a moči. Detekční limity u krve a tkání jsou $1 \mu\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$ a $0,2 \mu\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$ [36].

2.3 Voltametrie

Voltametrie je elektroanalytickou metodou, při níž se sleduje závislost elektrického proudu tekoucího pracovní elektrodou ponořenou v analyzovaném roztoku na potenciálu, který se na tuto elektrodu vkládá z vnějšího zdroje a s časem se mění. V případě, že v roztoku u pracovní elektrody není látka, která vykazuje redoxní vlastnosti, je elektroda polarizována a protéká jí pouze nabíjecí (kapacitní) proud potřebný na změnu jejího potenciálu. Je-li v okolí elektrody látka, která se při určitém potenciálu redukuje (tzv. depolarizátor), dojde k depolarizaci elektrody a elektrodou protéká elektrolytický (faradayický) proud. Velikost odpovídajícího anodického či katodického proudu je úměrná koncentraci tohoto depolarizátoru. Polarografie je pak voltametrická metoda, při které se jako pracovní elektroda používá rtuťová elektroda s obnovovaným povrchem [37] [38] [39].

Základy voltametrie položil profesor Jaroslav Heyrovský. První polarografickou křivku zaznamenal 10. února 1922, první automatický přístroj pro záznam křivek – polarograf byl sestaven o dva roky později. Za objev polarografické metody byla Jaroslavu Heyrovskému udělena Nobelova cena za chemii [40] [41].

Jednou z variant voltametrické analýzy je tzv. elektrochemická rozpouštěcí voltametrie (stripping voltametry). V první fázi analýzy dochází k redukčnímu nakoncentrování analytu na elektrodě, následně je pak měřen signál při rozpouštění. Metoda se využívá při stanovení zinku ve vodě, lidských vlasech nebo mořské vodě [42] [43] [44].

2.3.1 Instrumentace

V přítomnosti základního elektrolytu, kdy vedou proud v elektrické nádobce prakticky jen ionty tohoto elektrolytu, dosahuje zkoumaná látka povrchu elektrody jen difuzí. V tomto případě lze teoreticky odvodit průběh polarografické vlny [45].

Difuzní proud je mezní proud, při němž se po vzrůstu vlny v jistém potenciálovém rozmezí nemění výška vlny a přitom dochází k vyčerpání vrstvičky analytu v těsném okolí elektrody. Do tohoto ochuzeného prostoru přicházejí částice redukované nebo oxidované látky z nitra roztoku. Ilkovič uvážil koncentrační gradient v okolí kapkové elektrody, vypočítal počet částic dosahujících za časovou jednotku povrchu elektrody a zjistil změnu při povrchu kapkové elektrody během růstu kapky:

$$i_d = 0,627 n \cdot F \cdot c \cdot D^{\frac{1}{2}} \cdot m^{\frac{2}{3}} \cdot t^{\frac{1}{6}} \quad (3)$$

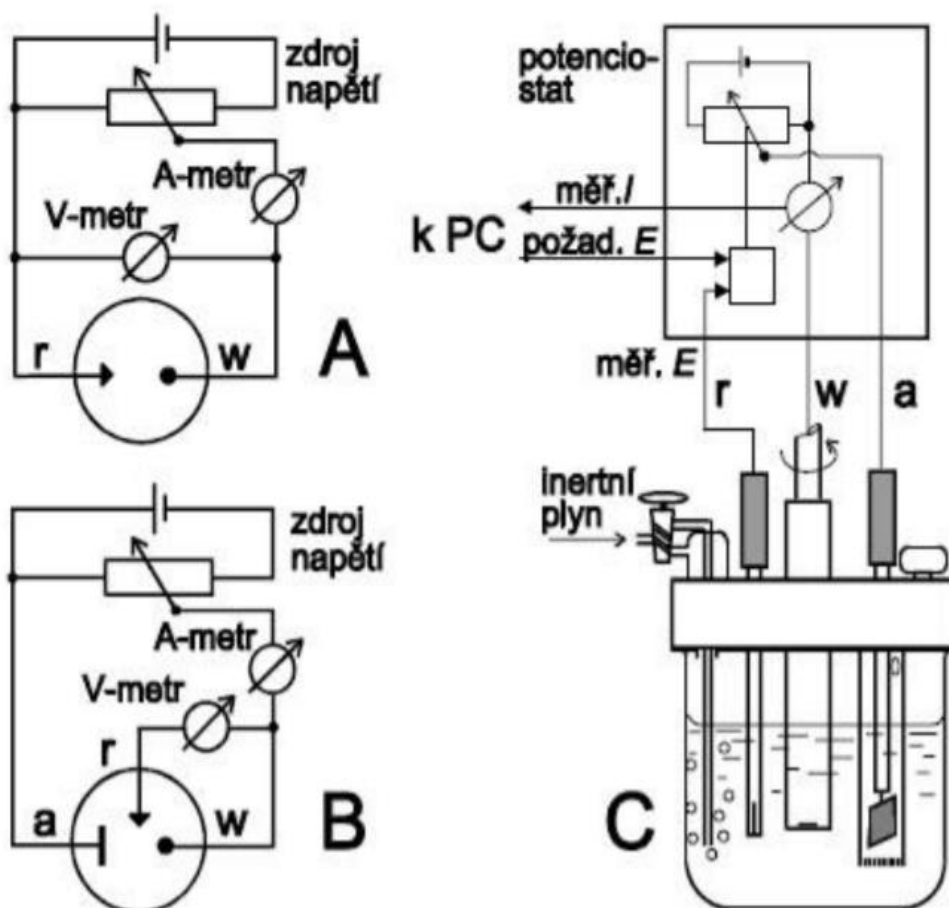
V uvedené rovnici i_d difúzní proud, n značí počet nábojů vyměněných při elektrodové reakci, F Faradayův náboj, m průtokovou rychlost, t dobu kapky, c koncentraci depolarizátoru a D difúzní koeficient. Numerický faktor 0,627 je souhrnem geometrických a fyzikálních faktorů [45].

2.3.2 Voltametrická cela

Elektrochemický článek pro voltametrická měření je označován jako voltametrická cela. Sestává se z pracovní a referentní elektrody v tzv. dvouelektrodovém uspořádání. V tříelektrodovém uspořádání obsahuje také třetí, pomocnou elektrodu (Obrázek 1) [37].

Napětí ze zdroje vkládané na pracovní a referentní elektrodu je měřeno voltmetrem a proud tekoucí článkem je měřen ampérmetrem. Vzhledem k tomu, že potenciál nepolarizovatelné referentní elektrody je konstantní, mění se se změnou vloženého napětí pouze potenciál polarizovatelné pracovní elektrody. Nevýhodou dvouelektrodového uspořádání voltametrického článku je, že potenciál pracovní elektrody není přesně znám, protože při průchodu proudem se část vloženého napětí ztratí na odporu analyzovaného roztoku. V praxi se proto používá tříelektrodového zapojení voltametrického článku. Proud teče pouze mezi pomocnou a pracovní elektrodou a skutečný potenciál pracovní elektrody se měří mezi pracovní a referentní elektrodou za bezproudového stavu. Elektrochemické reakce, které probíhají při průchodu proudem na pomocné elektrodě, se nesledují [37] [43] [46].

Zdrojem napětí v tříelektrodovém zapojení je elektronický potenciostat. Potenciostat je přístroj, který udržuje potenciál pracovní elektrody na požadované hodnotě tím, že požadovaný potenciál neustále porovnává s aktuálním změřeným potenciálem a případný rozdíl, způsobený např. úbytkem napětí na odporu roztoku, automaticky vyrovnává změnou napětí na pomocné elektrodě. Časový průběh požadovaného potenciálu a měření proudů řídí v moderních přístrojích počítač [37] [44] [46].



Obrázek 1: Schéma zapojení pro voltametrická měření v dvouelektrodovém (A) a tříelektrodovém (B) uspořádání; (C) – realizace voltametrické nádoby pro tříelektrodové zapojení; a – pomocná elektroda, r – referentní elektroda, w – pracovní elektroda [37].

2.3.3 Pracovní elektrody

Pracovní elektrody ve voltametrii jsou nejčastěji z tuhých materiálů (např. platinové, zlaté, stříbrné, uhlíkové) nebo rtuťové. Elektrody mohou mít různý tvar a používají se v klidném i míchaném roztoku; často je míchání roztoku zajišťováno přímo rotací, případně vibrační elektrody. Pro speciální elektroanalytická měření se používají mikroelektrody a jejich soubory [37] [40] [47].

Rtuťové elektrody

V praxi nejčastěji používáme jako pracovní elektrody rtuťové, protože rtuť oproti jiným materiálům má dvě důležité výhody:

- její povrch je homogenní a lze ho podle potřeby snadno obnovovat, takže každou analýzu je možno provádět vždy s novým, reprodukovatelně obnoveným elektrodovým povrchem;
- vysoká hodnota přepětí vodíku umožňuje pracovat s touto elektrodou v neutrálních roztocích při velmi negativních potenciálech [37] [43] [44].

Rtuťová kapková elektroda (DME = drop mercury electrode) je tvořena skleněnou kapilárou spojenou s rezervoárem rtuti. Na konci kapiláry odkapává rtuť v pravidelných intervalech.

Kapka na DME roste nepřetržitě, protože rtuť vytéká z rezervoáru pod vlivem gravitace, a její povrch je neustále obnovován [37] [38] [39] [48].

Častěji se využívá statická rtuťová kapková elektroda (SMDE), kdy je v ústí kapiláry reprodukovatelně vytvořena visící rtuťová kapka, která může být v pravidelných intervalech obnovována [37] [49].

Visící rtuťové kapkové elektrody (HMDE) jsou speciální variantou rtuťových elektrod, u nichž lze celou analýzu provést na jedné rtuťové kapce. Před další analýzou se kapka odtrhne a vytvoří nová. Při jejich použití je možné pracovat v míchaném roztoku. Výhodou je menší spotřeba rtuti, menší opotřebování mechanických částí zařízení a menší nabíjecí proud. Nevýhodou jsou větší problémy s pasivací vzhledem k neobnovovanému povrchu této elektrody. Platí zde samozřejmě omezení, že rtuť lze v běžných pracovních elektrolytech polarizovat pouze v oblasti záporných potenciálů (proti nasycené kalomelové elektrodě) [37] [49] [50].

Dalším typem rtuťové elektrody je rtuťová filmová elektroda (MFE). Pevná elektroda (z uhlíku, platiny, zlata) je umístěna v roztoku rtuťnaté soli a udržována na potenciálu, při kterém probíhá redukce Hg^{2+} na Hg. Vyloučená rtuť ve skutečnosti není spojitým filmem, ale vytváří na povrchu nosiče soubor mikroskopických kapiček. Tento typ rtuťové elektrody postrádá výhodu obnovování povrchu, ale film lze z povrchu odstranit a podle potřeby vyloučit nový. Filmové elektrody nacházejí uplatnění v rozpouštěcí elektrochemické analýze, protože v důsledku nepatrného objemu rtuti jsou stanovení citlivější než při použití kapkových elektrod [37] [49].

Elektrody z tuhých materiálů

Tuhými elektrodami jsou v podstatě všechny elektrody jiné než rtuťové. Na rozdíl od rtuťových elektrod je povrch elektrod z tuhých materiálů více či méně nehomogenní a v průběhu elektrolýzy se na něm často vytváří filmy látek adsorbovaných z roztoku či látek vznikajících elektrodovými reakcemi. Sám materiál elektrod se může oxidovat či redukovat. Díky tomu, že elektrody z tuhých materiálů patří do skupiny hydrodynamických elektrod, jejich proud je závislý na rychlosti a charakteru toku roztoku (laminární, turbulentní) či pohybu elektrody (rotace, vibrace) [37] [49].

Elektrody z tuhých materiálů jsou pro voltametrickou analýzu významné z následujících důvodů:

- na rozdíl od rtuťových elektrod s nimi lze pracovat jak při záporném, tak i při kladném potenciálu,
- lze je použít v detektorech konstruovaných pro specifické použití, např. pro detekci v mikroseparačních metodách či pro kontinuální měření, kde použití rtuti není možné z důvodů jejího skupenství,
- lze je použít ve formě mikroelektrod ke stanovení látek v biologických objektech či přímo v živých organismech;
- na jejich povrch lze záměrně navázat různé látky, např. iontoměniče, zpravidla za účelem zvýšení selektivity stanovení, jde o tzv. modifikované elektrody;
- v mnoha aplikacích elektroanalytických stanovení jsou používány jako náhrada toxické rtuti.

Největší problém tuhých elektrod je v rychlosti, se kterou se mění povrch elektrody, v adsorpci roztoku na jejím povrchu nebo ve tvorbě oxidové vrstvy. Z toho důvodu tuhá elektroda vyžaduje častou údržbu použitím vhodného potenciálu nebo leštěním [37] [49].

2.3.4 Referentní elektrody

Referentní elektrody se vyznačují malým elektrickým odporem, nepolarizovatelností a konstantní hodnotou potenciálu, k němuž se vztahuje potenciál měrné (indikační) elektrody. Dnes se v praxi jako referentní elektrody používají elektrody II. druhu, především elektroda kalomelová, argenticchloridová nebo merkurosulfatová [37] [46] [51].

2.3.5 Pomocné elektrody

Pomocné elektrody bývají v tříelektrodovém uspořádání z inertního materiálu (Pt, C) a ve srovnání s pracovní elektrodou mívají podstatně větší povrch (plíšek, silnější drátek nebo tyčinka). Bývají od analyzovaného roztoku oddělovány fritou, aby se zabránilo kontaminaci roztoku případnými produkty elektrochemických reakcí, které na ní při průchodu proudu probíhají [37] [46] [51].

2.4 Pulzní metody

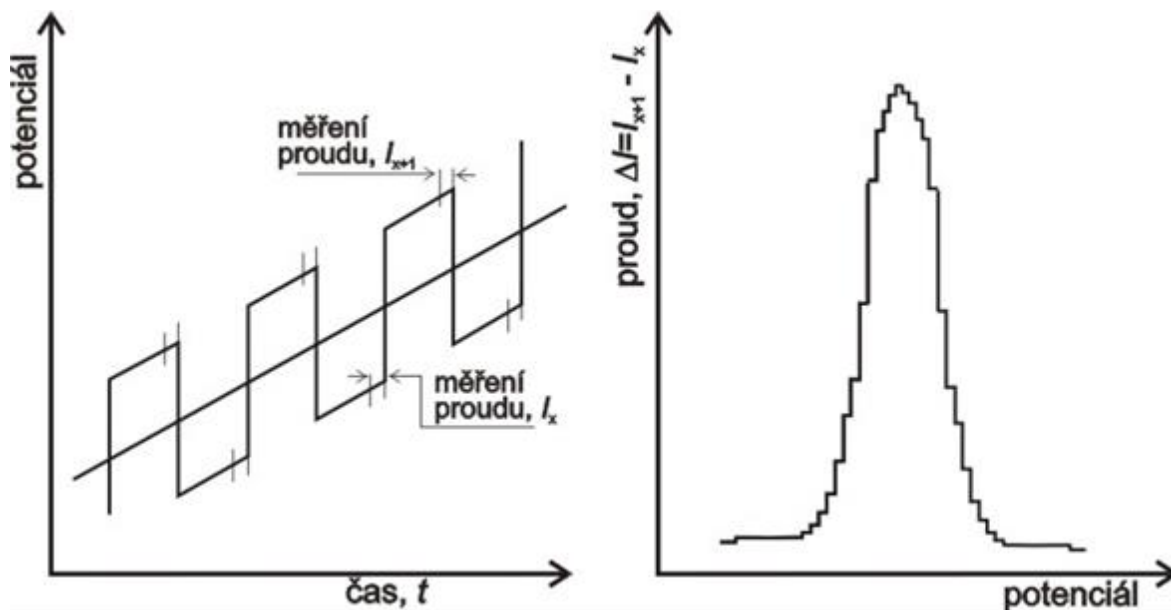
Pulzní polarografie je jednou z moderních elektroanalytických metod. Často se využívá ke zjišťování reverzibility elektrodového děje a k charakterizaci produktů elektrodových reakcí. Existuje několik modifikací pulzní voltametrie, které se liší způsobem a tvarem potenciálových pulsů vkládaných na elektrodu. Ve všech metodách se proud měří pouze po přesně definovanou dobu. Vývoj pulsních metod s sebou přinesl zvýšení poměru signál/šum (S/N), což se projeví v nižších mezích detekce [49] [52].

2.4.1 Normální pulzní voltametrie

V normální pulsní voltametii (NPV) jsou na elektrodu vkládány pulsy o šířce řádově desítek milisekund a o postupně rostoucí amplitudě. Proud je zaznamenáván na konci vloženého pulsu po dobu řádově jednotek až desítek milisekund. Při použití DME je na každou kapku vložen jeden puls těsně před koncem její doby života. Tato metoda je v principu vhodná také pro práci s tuhými elektrodami, protože elektroda je po velkou část doby analýzy na počátečním potenciálu, který může být zvolen tak, aby při něm nedocházelo k adsorpci látek a tvorbě filmů, které práci s tuhými elektrodami běžně komplikují [37] [49].

2.4.2 Diferenční pulzní voltametrie

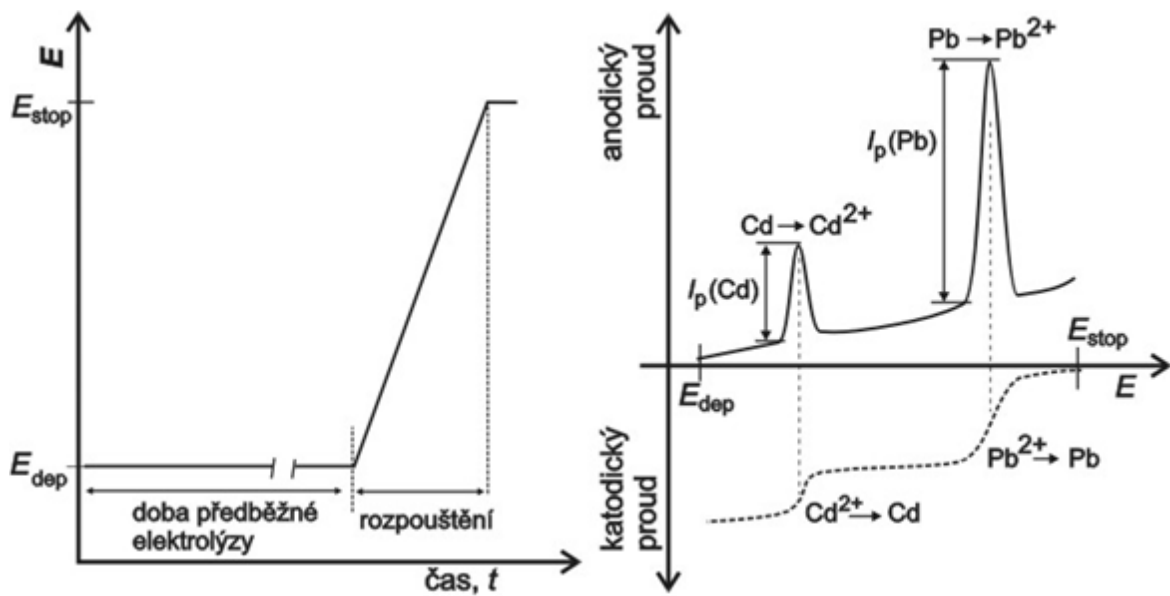
Diferenční pulzní polarografie (DPP) je mnohem citlivější metodou než klasická polarografie, a proto má velký význam v praxi. Při této metodě je puls vložen na každou kapku těsně před koncem doby jejího života. Registruje se rozdíl proudů před vložením pulsu a na jeho konci (Obrázek 2). Použitím kapkové elektrody s mechanickým odtrháváním kapek se výrazně snižuje spotřeba rtuti. Metoda je použitelná pro vzorky koncentrací až $10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ [49] [53].



Obrázek 2: Potenciálový program a proudová odezva při diferenční pulzní voltametii [45].

2.4.3 Rozpouštěcí voltametrie

Tato metoda je známá pod různými názvy – inverzní voltametrie, elektrochemická rozpouštěcí analýza, anodická nebo katodická stripovací voltametrie či stripping voltametrie. Rozpouštěcí voltametrie dosahuje ještě nižších mezí stanovitelnosti ($10^{-8} - 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$) než DPP, kterých je možno docílit předběžných nahromaděním analytu elektrolýzou za konstantního potenciálu na visící rtuťové kapkové elektrodě. Po zakoncentrování látky v rtuťové kapce se elektroda polarizuje ke kladným hodnotám potenciálu (Obrázek 3). Zakoncentrovaný kov se z amalgámu či povrchu elektrody anodicky oxiduje a rozpouští se. Proud se při rozpuštění obvykle sleduje pulzními polarografickými metodami [50] [53] [54].



Obrázek 3: Potenciálový program (vlevo) a proudové odezvy v rozpouštěcí voltametii. Signál (vpravo) je uveden spolu se signálem pro tradiční polarografii [50].

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Původní voltametrická metoda pro stanovení zinku byla vytvořena firmou Metrohm. Cílem této bakalářské práce je ověření a optimalizace postupu a následná aplikace pro stanovení zinku v potravinových doplňcích.

3.1 Použité přístroje a zařízení

Pro stanovení zinku ve vzorcích byl použit přístroj 663 VA Stand for Autolab Potentiostats firmy Metrohm, Švýcarsko (Obrázek 4). Jako pracovní elektroda byla použita rtuťová elektroda MME (Multi Mode Electrode), u níž byl nastaven mód SMDE (Static Mercury Drop Electrode). Jako referenční elektroda sloužila argentochloridová ($\text{Ag} | \text{AgCl} | \text{KCl}$) a jako pomocná uhlíková.



Obrázek 4: Přístroj 663 VA Stand for Autolab Potentiostats.

3.2 Chemikálie

Jako zásobní roztok byl použit komerčně dostupný roztok Zn o koncentraci $1,000 \pm 0,002 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ v 2 % HNO_3 ASTASOL® Analytika spol. s.r.o., Praha.

3.3 Postup optimalizace stanovení zinku

3.3.1 Vliv doby probublávání

V každém vodném roztoku uchovávaném volně na vzduchu je rozpuštěn kyslík. Kyslík se voltametriky redukuje. V záznamu pak vykazuje dvě stejně vysoké vlny, které překrývají vlny depolarizátorů v širokém rozsahu potenciálů. Probubláváním inertním plynem dochází

k odstranění kyslíku ze vzorku. Výrobce poskytnutá metoda stanovení Zn doporučuje nastavení doby probublávání na 300 s.

Ze standardního roztoku Zn o koncentraci $1 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ byl připraven zásobní roztok zinku o koncentraci $250 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. Ke 20 ml tohoto roztoku byl do polarografické nádoby přidán dle doporučení 1 ml $2 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ octanového pufru a 0,2 ml $3 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ chloridu draselného. Byla sledována odezva pro různé doby probublávání, konkrétně pro 0, 60, 120, 180, 240, 300 a 360 sekund. Porovnáním získaných výsledků byla nalezena vhodná doba probublávání.

3.3.2 Vliv velikosti kapky

Správný výběr velikosti kapky má vliv na citlivost provedených stanovení. Doporučené nastavení velikosti kapky (drop size) ve zvolené metodě je 3. Podle analogii s předešlým postupem byla provedena měření s velikostí kapky 1, 2, 3 (z nastavení přístroje) při analýze roztoku zinku o koncentraci $250 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. Porovnáním intenzity signálu byla ověřena vhodná velikost kapky.

3.3.3 Vliv iontové síly

Změnou přidaného objemu chloridu draselného o koncentraci $3 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ je možné sledovat závislost velikosti signálu odezvy na iontové síle. K 20 ml zásobního roztoku o koncentraci $250 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ a 1 ml $2 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ octanu sodného byl postupně přidáván roztoku chloridu draselného o koncentraci $3 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ v různých objemech, konkrétně pak 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 a 0,5 ml. Porovnáním intenzit signálů byl zhodnocen vliv množství přítomného KCl, tj. byla nalezena vhodná iontová síla prostředí.

3.3.4 Vliv pH

Původní metoda doporučuje pro stanovení Zn přidání octanu sodného. Pro ověření vhodnosti tohoto roztoku bylo provedeno následující měření: ke 20 ml zásobního roztoku o koncentraci $250 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ bylo přidáno 0,2 ml $3 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ chloridu draselného a 1 ml $2 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ roztoku octanu sodného (pH = 7,9). Následně místo octanu sodného byl postupně přidán nejprve 1ml kyseliny octové o koncentraci $1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ (pH = 2,3) a v další sérii octanový pufr, konkrétně směs kyseliny octové s octanem sodným 1:1 (pH = 4,8). Porovnáním intenzity signálů byla ověřena vhodnost použití roztoku s příslušnou hodnotou pH.

3.3.5 Vliv času depozice

Depoziční čas ovlivňuje množství stanoveného analytu. Původní metoda doporučuje nastavení délky depozičního času na 60 s. Objem 20 ml zásobního roztoku s koncentrací $250 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$, 1 ml $2 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ octanu sodného a 0,2 ml $3 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ chloridu draselného bylo analyzováno při různých časech depozice Zn z roztoku na SDME elektrodu. Doba depozice byla konkrétně 20, 40, 60, 80 a 100 sekund.

3.3.6 Výsledné parametry metody

Do polarografické nádoby bylo vždy napipetováno 20 ml analyzovaného roztoku. Bylo přidáno 0,2 ml $3 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ KCl a 1 ml $2 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ octanu sodného.

Všechna měření byla prováděna ve 3 opakováních.

Parametry metody pro stanovení zinku jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 3).

Tabulka 3: Nastavení přístroje 663 VA Stand for Autolab Potentiostats

Parametr	Hodnota
Working electrode	SMDE
Stirrer speed	2000 rpm
Purge time	240 s
Drop size	3
Condition potencial	0 V
Deposition potencial	- 1,2 V
Deposition time	60 s
Pulse amplitude	0,05 V
Start potencial	- 1,2 V
End potencial	- 0,75 V
Voltage step	0,005 V
Voltage step time	0,6 V
Sweep rate	0,01 V

3.3.7 Kalibrační závislost

Jako kalibrační metoda byla zvolena metoda kalibrační křivky. Pro požadovaný koncentrační rozsah byl nejprve připraven pracovní roztok Zn s koncentrací $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Následným ředěním byly získány kalibrační roztoky v koncentračním rozsahu $0 - 1000 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ zinku. Všechny roztoky byly analyzovány za stejných podmínek, tj. 20 ml kalibračního roztoku, 1 ml octanu sodného o koncentraci $2 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ a 0,2 ml chloridu draselného o koncentraci $3 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ při výše uvedeném nastavení přístroje. Kalibrační křivka byla sestavena jako závislost výšky signálu na koncentraci zinku v roztoku.

3.4 Stanovení zinku v potravinových doplncích

Cílem této bakalářské práce bylo stanovit množství zinku ve vybraných potravinových doplncích. Náhodně byly vybrány následující vzorky potravinových doplňků.

Vzorek 1 - Livol Multivitamin Dospělí (Orkla Health A/S, Dánsko)

Doplňek stravy **Livol Multivitamin Dospělí** je určen k snížení míry únavy a vyčerpání, normální funkci imunitního systému, napomáhá ke správné psychické a mentální činnosti. Také podporuje správnou činnost nervové soustavy, podílí se na udržení normálního stavu zraku, kostí a zubů. Tableta obsahuje 9 mg zinku ve formě oxidu zinečnatého.

Vzorek 2 – Livol Multivitamin Děti (Orkla Health A/S, Dánsko)

Přípravek **Livol Multivitamin Děti** slouží k doplnění vitamínů a minerálů pro děti, které mají sníženou imunitu. Také podporuje normální psychickou a mentální činnost, přispívá k udržení normálního stavu zraku, kostí a zubů. Zinek o hmotnosti 5 mg je v přípravku rovněž zastoupen ve formě oxidu zinečnatého.

Vzorek 3 – Vápník, hořčík, zinek (Green-Swan Pharmaceuticals ČR)

Doplňek stravy **Vápník, hořčík, zinek** slouží pro optimalizaci fungování lidského těla. Zajišťuje zdravý stav kostí, zubů, kůže, vlasů a pokožky. Také podporuje imunitní funkce. Jedna tableta obsahuje 8,5 mg zinku ve formě oxidu zinečnatého.

Vzorek 4 – Mart'anci (Walmark, a.s., ČR)

Mart'anci je multivitaminový a multiminerální komplex pro děti. Obsahuje celou řadu vitamínů, minerálů a stopových prvků, které tělu dodávají energii, podporují fyziologický růst a zdravý vývoj organismu. Zinek o hmotnosti 5 mg je zde zastoupen ve formě citrátu zinečnatého.

Vzorek 5 – Zinek (RosenPharma, a.s., ČR)

Šumivý doplněk stravy **Zinek** přispívá k udržení správné funkce metabolismu a podporuje imunitní systém. Také slouží k udržení normální hladiny testosteronu krvi, normální plodnosti a reprodukci. Zinek je zde zastoupen ve formě citrátu zinečnatého. Množství zinku v jedné tabletě činí 20 mg.

Vzorek 6 - Calcium, magnezium, zinek (RosenPharma a.s., ČR)

Šumivý doplněk stravy **Calcium, magnezium, zinek** je určen pro dospělé a děti od 3 let. Slouží k udržení normálního stavu kostí, zubů, pokožky, nehtů a zraku. Tableta obsahuje 10 mg zinku ve formě citrátu zinečnatého.

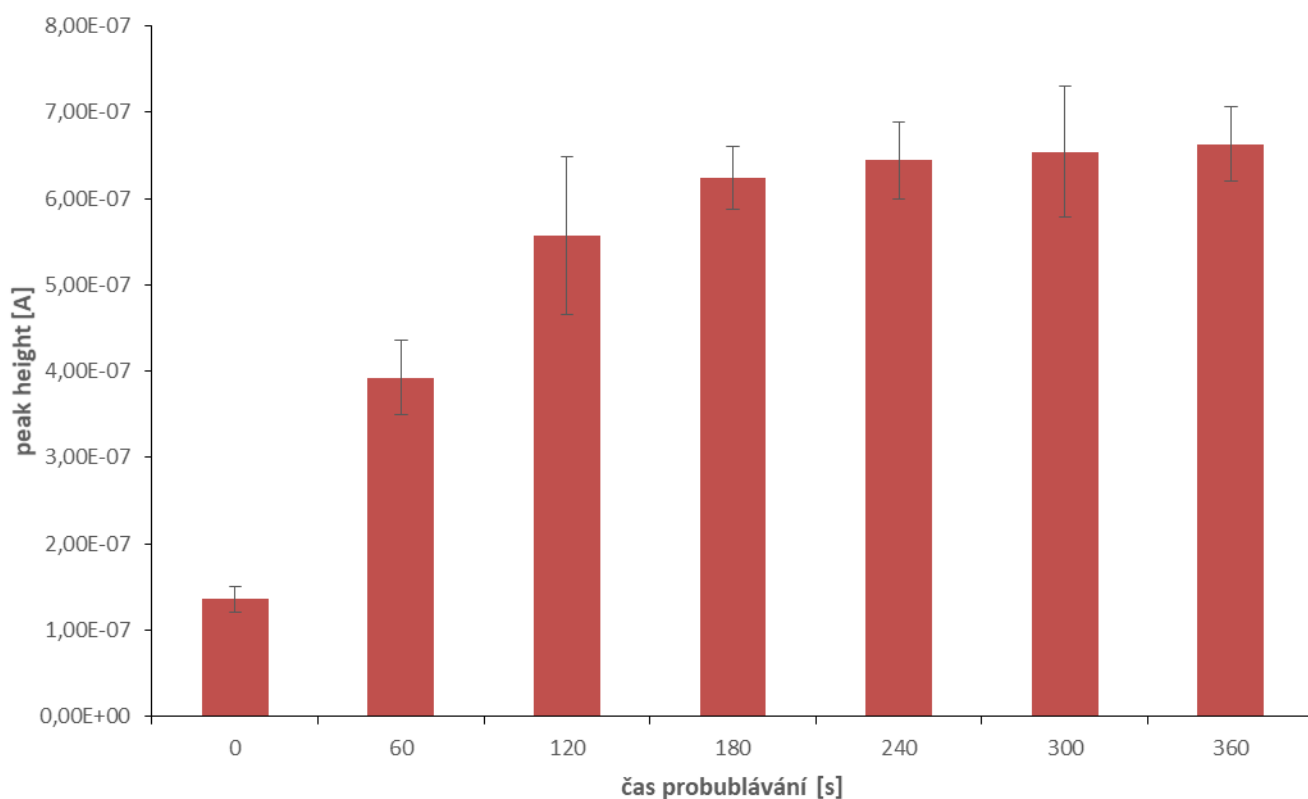
Vzorek 7 – Vápník, hořčík, zinek (VITAR, s.r.o., ČR)

Přídavek **Vápník, hořčík, zinek** je určen k udržení normálního stavu kostí a zubů v období dospívání, při rekonvalescenci po úrazech se zlomeninami, osobám ohroženým řídnutím kostní hmoty a současně i lidem s vyšší fyzickou zátěží. Zinek je zastoupen ve formě citrátu zinečnatého. Jeho obsah v jedné tabletě činí 3,75 mg.

4 VÝSLEDKY A DISKUZE

4.1 Vyhodnocení vlivu doby probublávání

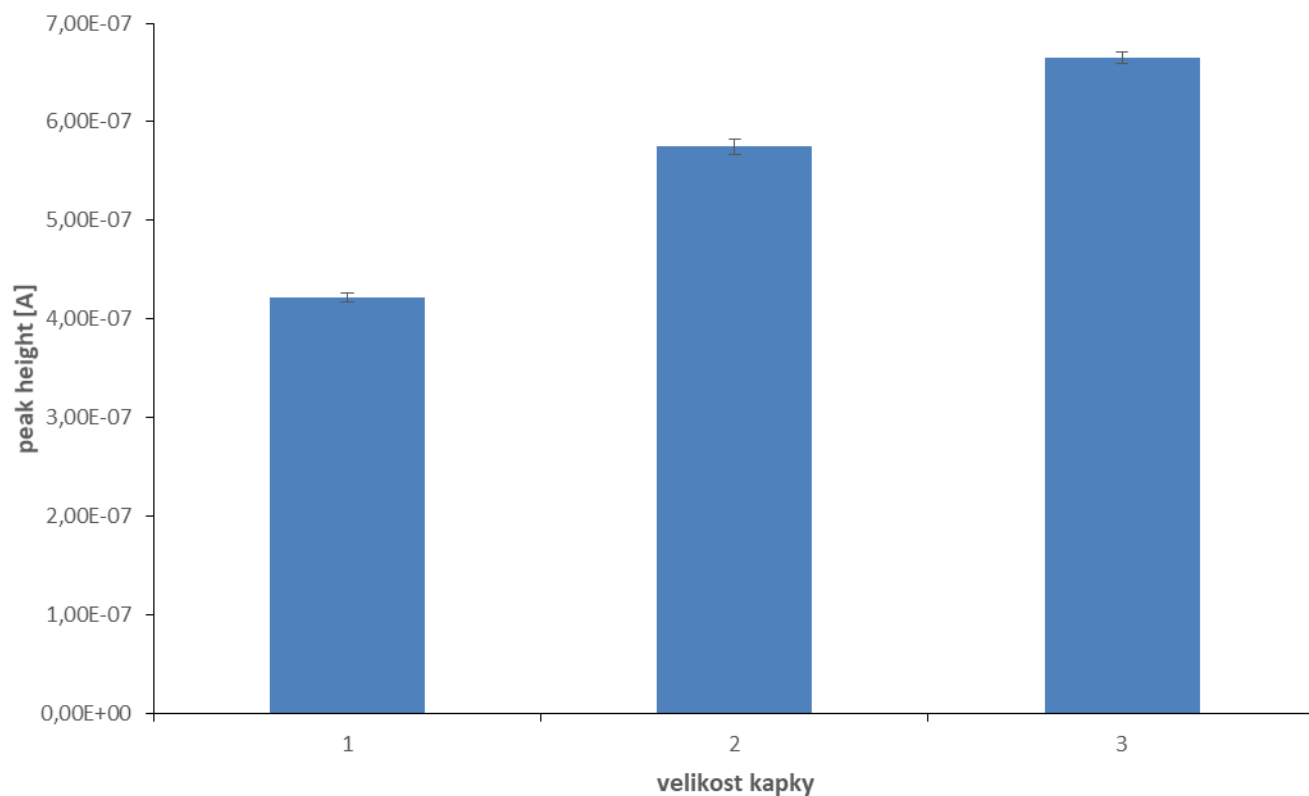
Pro ověření, zda je doporučených 300 sekund nejvhodnějším časem probublávání pro stanovení zinku anodickou rozpouštěcí voltametrií, byly porovnány velikosti signálů získaných pro různé dlouhé doby probublávání. Jak je vidět na obrázku 5 (Obrázek 5), rozdíly ve výšce signálu se se zvyšujícím se časem snižují. Při nastavení doby probublávání na hodnoty 240 s, 300 s a 360 s se intenzita signálu významně neliší. Čas probublávání 240 s byl přijat jako dostatečná doba pro metodu stanovení Zn.



Obrázek 5: Vliv doby probublávání na velikost signálu.

4.2 Vyhodnocení vlivu velikosti kapky

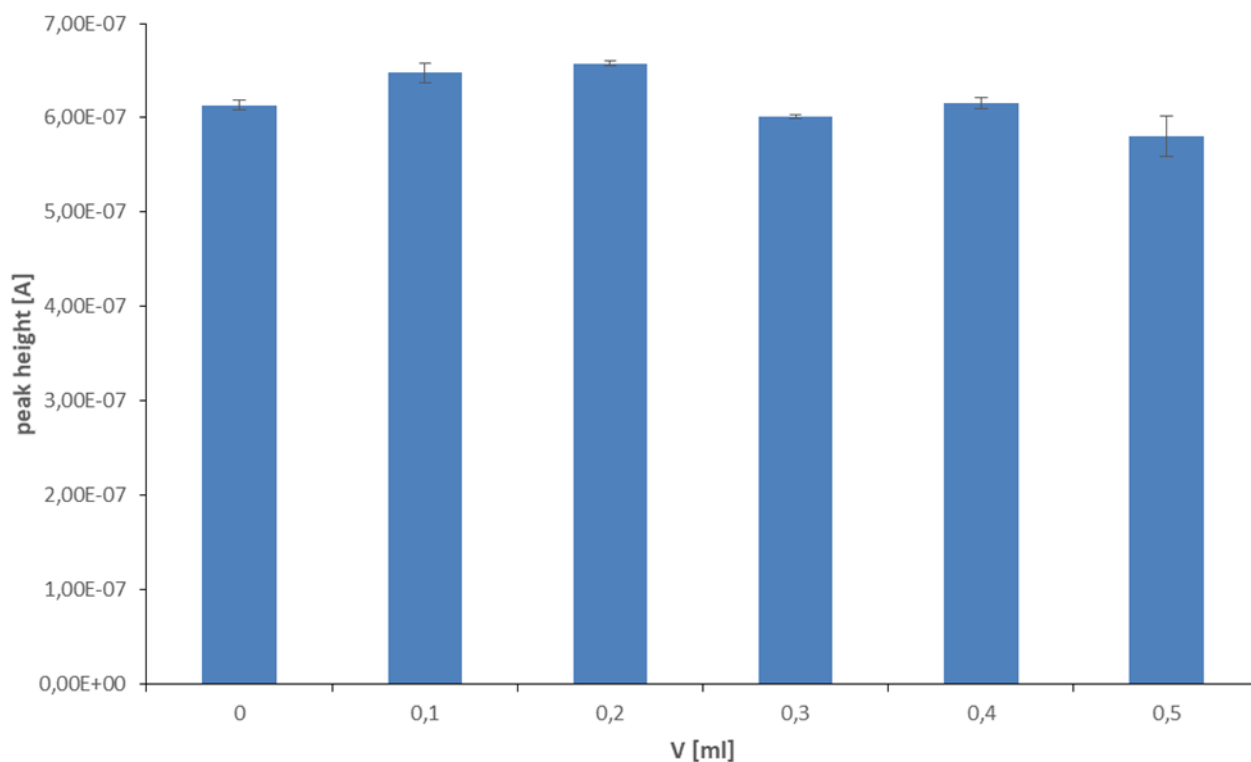
Pro ověření, zda je velikost kapky 3 nejvhodnější pro stanovení zinku, byly porovnány velikosti výšky signálu při nejmenší (1), střední (2) a největší (3) velikosti kapky. Jak je vidět z grafu na obrázku 6 (Obrázek 6), s velikostí kapky roste množství stanovovaného analytu. Při velikosti kapky 3, která byla doporučena v původní metodě, je intenzita signálu nejvyšší. Proto byla pro všechna stanovení tato velikost kapky využita.



Obrázek 6: Vliv velikosti kapky na výšku signálu.

4.3 Vyhodnocení vlivu iontové síly

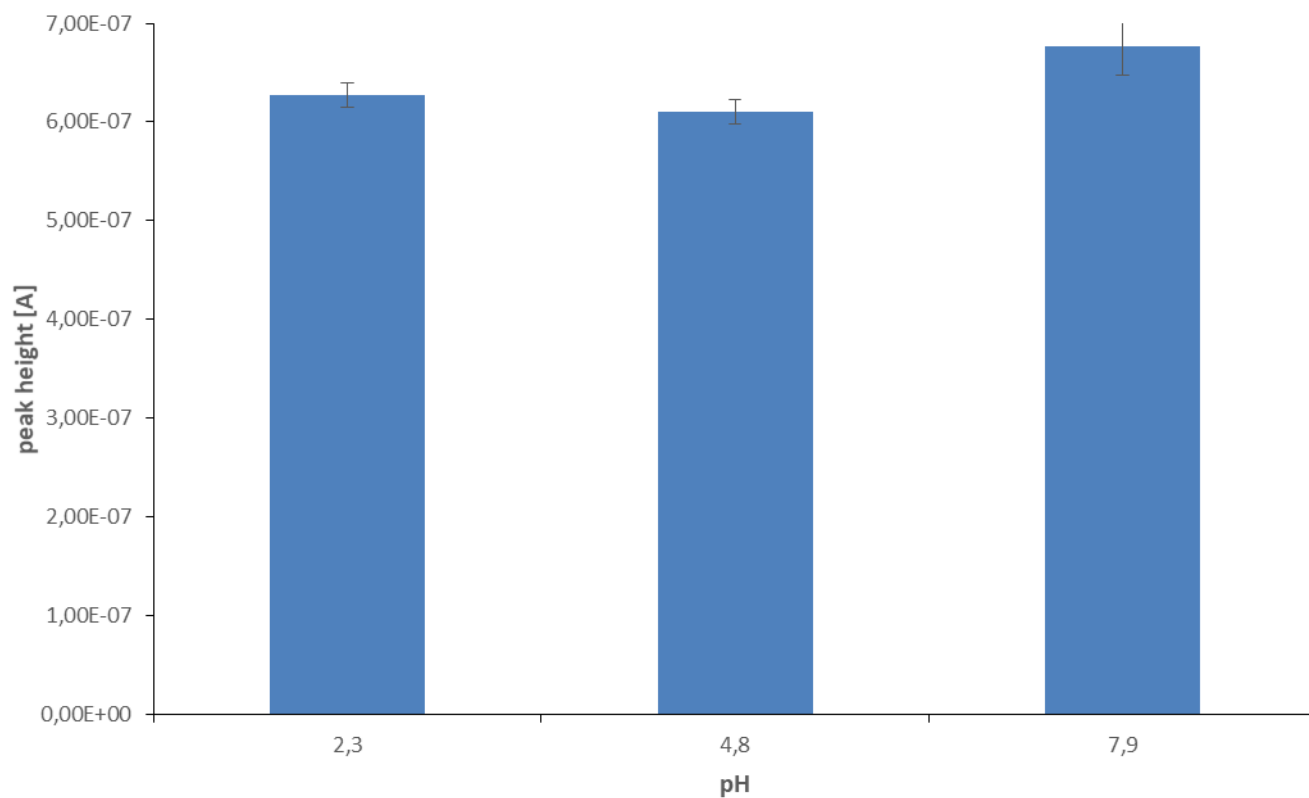
Porovnáním intenzity signálu pro různé objemy chloridu draselného je možné konstatovat, že přidavek různého množství KCl nemá jednoznačný vliv na dané měření. Jak je vidět na obrázku 7 (Obrázek 7), při přidání 0; 0,1 a 0,2 ml chloridu draselného intenzita signálu vzrůstá. Při dalším zvětšení objemu KCl na hodnoty 0,3; 0,4 a 0,5 ml je intenzita signálu nižší. Objem přidavku 2 ml chloridu draselného o koncentrace $3 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ke 20 ml analyzovaného roztoku byl převzat z doporučení pro danou metodu stanovení Zn.



Obrázek 7: Vliv iontové síly na velikost signálu.

4.4 Vyhodnocení vlivu pH

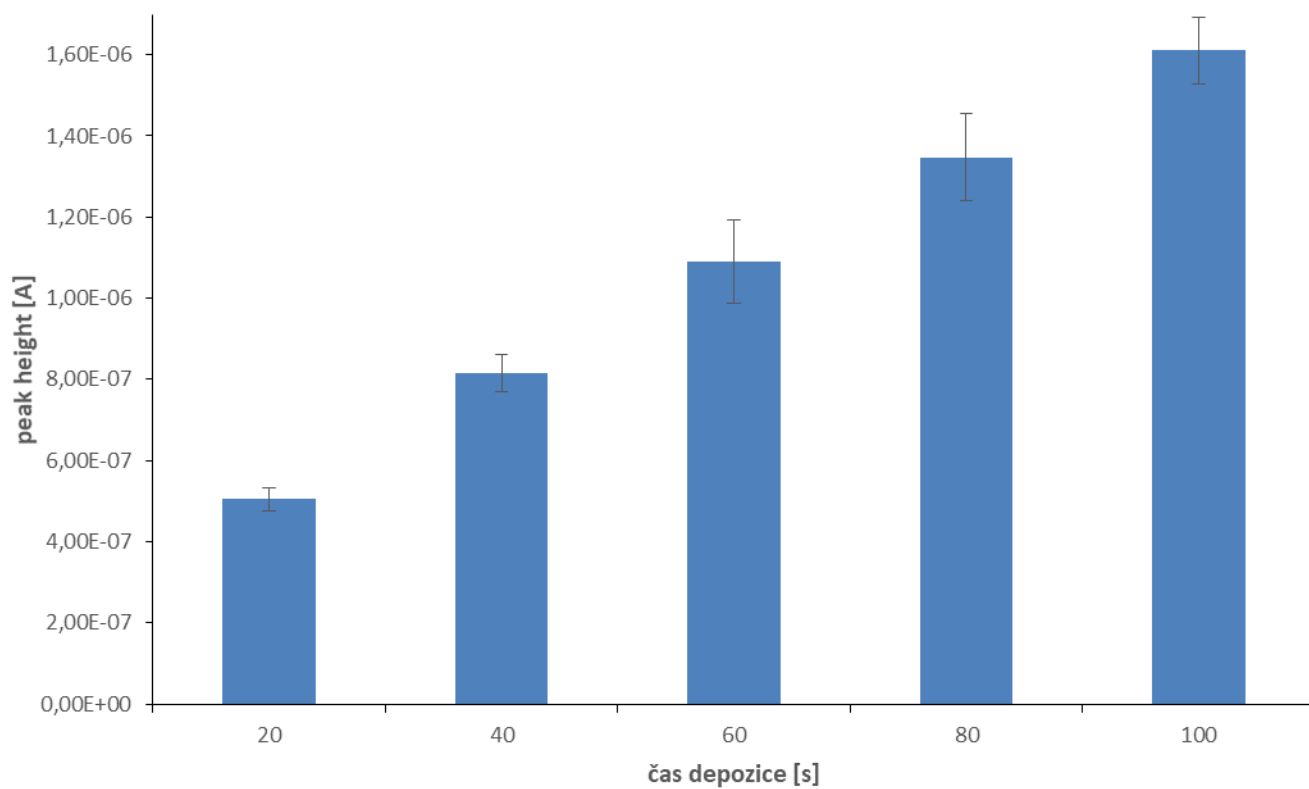
Pro ověření, zda je octan sodný nejvhodnějším elektrolytem pro stanovení zinku ve vybraných vzorkách, byly porovnány intenzity signálu při pH 2,3 (kyselina octová), pH 4,8 (směs kyseliny octové a octanu sodného v poměru 1:1) a pH 7,9 (octan sodný). Jak je vidět z obrázku 8 (Obrázek 8) při pH 7,9, což odpovídá octanu sodnému, je velikost signálu nejvyšší. Octan sodný byl potvrzen jako vhodný pro danou metodu.



Obrázek 8: Vliv pH na velikosti signálu.

4.5 Vyhodnocení vlivu času depozice

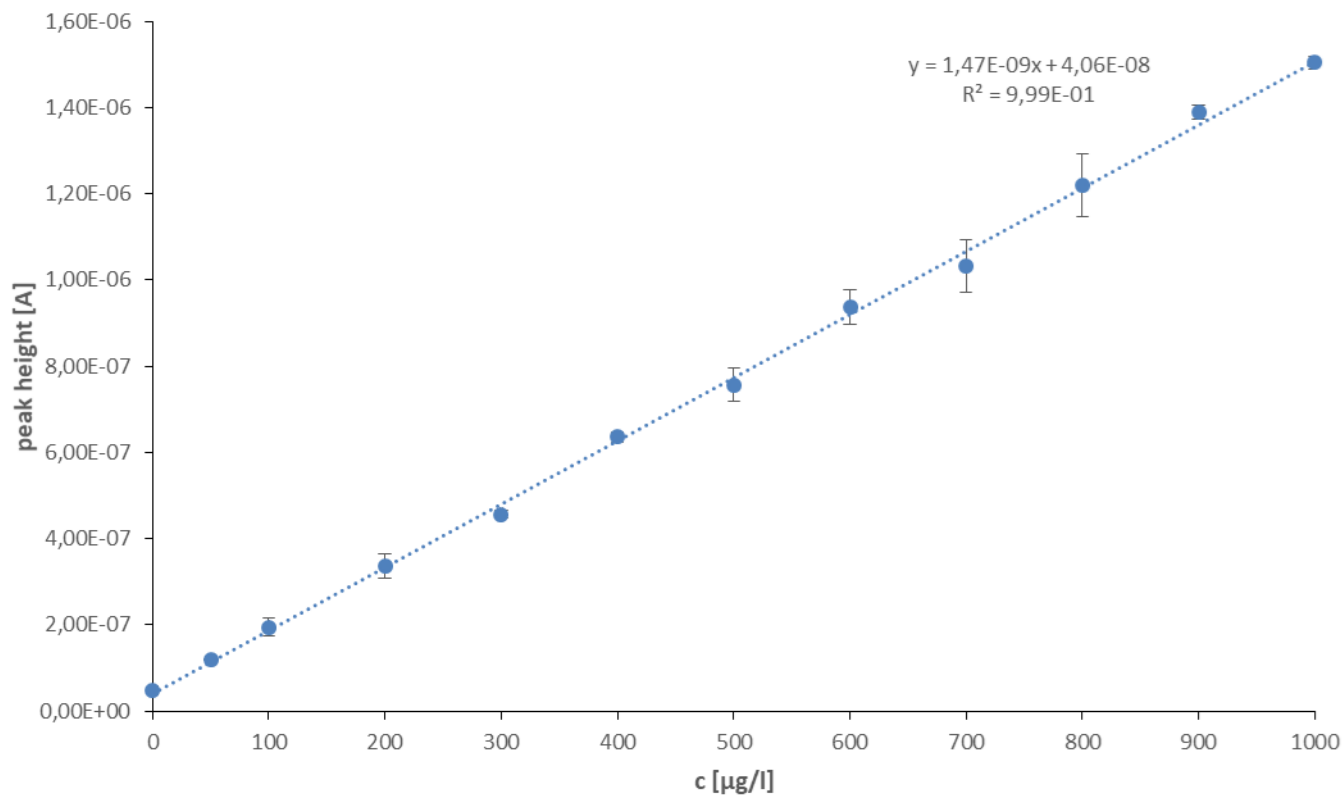
Depoziční čas, tj. čas, při kterém je z roztoku vylučován analyt na SMDE, ovlivňuje stanoveného množství analytu. Z grafu na obrázku 9 (Obrázek 9) je patrné, že stanovené množství Zn vzrůstá lineárně s rostoucím časem depozice. Zvolený čas depozice 60 s byl přebrán z doporučení výrobce.



Obrázek 9: Vliv depozičního času na velikost signálu.

4.6 Kalibrační závislost

Kalibrační křivka byla sestavena proměřením roztoků s koncentrací Zn 0, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 a 1000 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. Graficky je zpracována v grafu na obrázku 10 (Obrázek 10). Je patrné, že odezvy Zn v daném koncentračním intervalu mají lineární závislost.



Obrázek 10: Kalibrační křivka.

Z rovnice regrese byly odvozeny hodnoty limitu detekce LOD (4) a limitu kvantifikace LOQ (5) metody.

$$LOD = \frac{3 \cdot s_b}{S} = 0,035 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1} \quad (4)$$

$$LOQ = \frac{10 \cdot s_b}{S} = 0,118 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1} \quad (5)$$

kde s_b je směrodatná odchylka hodnot, S je citlivost daná směrnici kalibrační křivky.

4.7 Vyhodnocení stanovení zinku v potravinových doplňcích

Každý vybraný vzorek jedné tablety příslušného potravinového doplňku byl rozpouštěn v 1 litru destilované vody za laboratorní teploty. Stanovení bylo provedeno dále v 10-krát zředěných roztocích za podmínek uvedených v tabulce 3 (Tabulka 3). Výsledky stanovení jsou zpracovány v tabulce 4 (Tabulka 4).

Tabulka 4: Experimentálně stanovené a výrobcem uvedené množství zinku v tabletách

Vzorky	Množství zinku v tabletě uvedené výrobcem [mg]	Stanovené množství zinku v tabletě [mg]
Vzorek 1	9	10,99 ± 1,06
Vzorek 2	5	5,94 ± 0,78
Vzorek 3	8,5	6,65 ± 0,74
Vzorek 4	5	4,47 ± 0,52
Vzorek 5	20	15,85 ± 1,61
Vzorek 6	10	8,08 ± 1,25
Vzorek 7	3,75	2,18 ± 0,54

Z naměřených dat vyplývá, že zvolená analytická metoda je vhodná pro analýzu zinku v potravinových doplňcích. Jak je vidět z výsledků, mezi výrobcem deklarovaným a v bakalářské práci stanoveným množstvím Zn je rozdíl. Důvodem rozdílného množství obsahu zinku v tabletě může být to, že potravinové doplňky nejsou považovány za léky a není přísně kontrolován obsah jednotlivých složek v celkovém množství. Další možnost rozdílu může být zapříčiněna tím, že při stanovení byl problém s rozpustností některých vzorků.

Na základě výsledků lze konstatovat, že zvolená metoda je použitelná pro stanovení zinku v potravinových doplňcích.

5 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo stanovit množství zinku ve vybraných druzích potravinových doplňků pomocí voltametrické analýzy. V první části je shrnuta teorie týkající se vlastností a důležitosti zinku pro lidský organismus. Dále jsou popsány používané metody stanovení zinku, z nichž je blíže rozvedena využitá voltametrická metoda.

Před stanovením reálných vzorků byly optimalizovány podmínky měření. Optimalizace vhodných podmínek zahrnovala výběr vhodné doby probublávání, vhodné velikosti kapky, vhodného objemu chloridu draselného (iontová síla), vhodného pH a vhodného času depozice. Výsledkem tohoto postupu je optimalizovaná metoda rozpouštěcí voltametrie pro stanovení zinku s nízkými hodnotami limitu detekce a kvantifikace, konkrétně pak $LOD = 0,035 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ a $LOQ = 0,118 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$.

Náhodně vybrané vzorky potravinových doplňků byly nejprve převedeny do roztoku. Obsah Zn byl stanoven za optimálních podmínek. Stanovené množství zinku v jednotlivých potravinových doplňcích neodpovídalo přesně množství, které uváděli výrobci. Důvodem může být pravděpodobně to, že potravinové doplňky nejsou považovány za léky a při výrobě není přesně kontrolován obsah jednotlivých složek v celkovém množství.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HÁJEK, Bohumil. Anorganická chemie. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962. ISBN PK-A-0007.857 1-0479.676.
- [2] LEŠKO, Juraj, Jan TRŽIL a Roman ŠTARHA. Anorganická chemie. 2. vyd. Ostrava: VŠB, 2011. ISBN 978-80-248-2398-0.
- [3] GREENWOOD, N.N a A200 EARNSHAW. Chemistry of the Elements. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997. ISBN 0750633654.
- [4] RHEINZINK. History of Zinc, its production and usage. Rheinzink, 2013.
- [5] HOUSECROFT, Gatherine E. a Alan G. SHARPE. *Anorganická chemie*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2014. ISBN 978-80-7080-872-6.
- [6] KLIKORKA, Jiří, Bohumil HÁJEK a Jiří VOTINSKÝ. *Obecná a anorganická chemie*. 2., nezm. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.
- [7] MUCK, Alexander a Oldřich PALETA. *Základy chemie ke studiu na VŠCHT*. Praha: Vysoká škola chemiko-technologická, 1996. ISBN 80-7080-258-8.
- [8] VÁVROVÁ, Jaroslava Vávrová. *Vitaminy a stopové prvky*. Pardubice: SEKK, 2007. ISBN 978-80-254-1171-1.
- [9] SANDSTEAD, HH. Understanding zinc - recent observations and interpretations. *JOURNAL OF LABORATORY AND CLINICAL MEDICINE*. 1994, **1994**(8083574), 322-327. ISSN 0022-2143.
- [10] KURSA, M.: Perspektivy rozvoje výroby a použití materiálů na bázi neželezných kovů v technické praxi 3. tisíciletí. VŠB – TU Ostrava, 2001, 13 s.
- [11] Roohani N, Hurrell R, Kelishadi R, Schulin R. Zinc and its importance for human health: An integrative review. *Journal of Research in Medical Sciences : The Official Journal of Isfahan University of Medical Sciences*. 2013;18(2):144-157.
- [12] KOLACHI, N. F., T. G. KAZI, S KHAN, S. K. WADHWA, J. A. BAIG, H. I. AFRIDI, A. Q. SHAH a F SHAH. Multivariate optimization of cloud point extraction procedure for zinc determination in aqueous extracts of medicinal plants by flame atomic absorption spectrometry. *Food and Chemical Toxicology*. 2011, 49(10), 2548-2556. DOI: 10.1016/j.fct.2011.06.065.
- [13] Institute of Medicine (US) Panel on Micronutrients. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Washington (DC): National Academies Press (US); 2001. 12, Zinc. Available from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK222317/>
- [14] AS, Prasad. The role of zinc in gastrointestinal and liver disease. *Clin Gastroenterol*. 1983, 12(3), 713-41
- [15] FAA, Gavino, Valeria M. NURCHI, Alberto RAVARINO, Daniela FANNI, Sonia NEMOLATO, Clara GEROSA, Peter VAN EYKEN a Karel GEBOES. Zinc in gastrointestinal

and liver disease. *Coordination Chemistry Reviews*. 2008, 252(10-11), 1257-1269. DOI: 10.1016/j.ccr.2007.09.024.

[16] MARET, W a HH SANDSTEAD. Zinc requirements and the risks and benefits of zinc supplementation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2006, 20(1), 3-18. DOI: 10.1016/j.jtemb.2006.01.006.

[17] AGERBO, Pia a Hanne Fejer ANDERSEN. *Vitaminy a minerály pro zdravý život*. Praha: Grada, 1997. ISBN ISBN 80-7169-489-4.

[18] PLUM, Laura M, Lothar RINK a Hajo HAASE. The Essential Toxin: Impact of Zinc on Human Health. *Int J Environ Res Public Health*. 2010, Apr; 7(4), 1342–1365. DOI: 10.3390/ijerph7041342.

[19] SALGUEIRO, M. J., M. ZUBILLAGA, A. LYSIONEK, et al. Zinc status and immune system relationship. *Biological Trace Element Research*. 2000, 76(3), 193 - 205.

[20] Roohani, N., Hurrell, R., Kelishadi, R., & Schulin, R. (2013). Zinc and its importance for human health: An integrative review. *Journal of research in medical sciences : the official journal of Isfahan University of Medical Sciences*, 18(2), 144-57.

[21] VELÍŠEK, Jan. *Chemie potravin 2*. 2 vyd. Tábor: OSSIS, 2002. ISBN 80-86659-01-1.

[22] Nordqvist, J. (2017, December 5). "What are the health benefits of zinc?." *Medical News Today*. Retrieved from <https://www.medicalnewstoday.com/articles/263176.php>

[23] *Food and Nutrition Bulletin*. 2. The United Nations University: United Nations University Press, 2004. ISBN 0379-5721.

[24] MODRÁ, Helena, Zdeňka SVOBODOVÁ, Zuzana ŠIROKÁ a Jana BLAHOVÁ. *Toxikologie potravin - vybrané kapitoly*. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, 2014. ISBN 978-80-7305-750-3.

[25] MAGARINI, Riccardo. Elemental Analysis of Beer by Flame Atomic Absorption Spectrometry with the PinAAcle 900 AAS. *PerkinElmer*, Inc. 2015.

[26] BERMEJO, P., A. BERMEJO a R. DOMINGUEZ. Direct determination of Fe and Zn in different components of cow milk by FAAS with a high performance nebulizer. *Talanta*. 1997, 45(2), 325-330. DOI: 10.1016/S0039-9140(97)00125-2.

[27] GHAEDI, M, K MORTAZAVI, M MONTAZEROZOHORI, A SHOKROLLAHI a M SOYLAK. Flame atomic absorption spectrometric (FAAS) determination of copper, iron and zinc in food samples after solid-phase extraction on Schiff base-modified duolite XAD 761. *Materials Science and Engineering: C*. 2013, 33(4), 2338-2344. DOI: 10.1016/j.msec.2013.01.062.

[28] KOSE BARAN, Eda a Sema BAGDAT YASAR. Zinc and nickel determination in liquid edible oils by FAAS after the extraction. *Eur. J. Lipid Sci. Technol*. 2012, 114, 1320–1326. DOI: 10.1002/ejlt.201100081.

- [29] ACETO, M, O ABOLLINO, MC BRUZZONITI, E MENTASTI, C SARZANIN a M MALANDRINO. Determination of metals in wine with atomic spectroscopy (flame-AAS, GF-AAS and ICP-AES); a review. *Food Additives & Contaminants*. 2002, 19(2), 126-133. DOI: 10.1080/02652030110071336.
- [30] KEFALA, G, A ECONOMOU, A VOULGAROPOULOS a M SOFONIOU. A study of bismuth-film electrodes for the detection of trace metals by anodic stripping voltammetry and their application to the determination of Pb and Zn in tapwater and human hair. *Talanta*. 2003, 61(5), 603-610. DOI: 10.1016/S0039-9140(03)00350-3.
- [31] MA, R., CW MCLEOD, K TOMLINSON a RK POOLE. Speciation of protein-bound trace elements by gel electrophoresis and atomic spectrometry. *Electrophoresis*. 2004Aug, 25(15), 2469-77. DOI: 10.1002/elps.200405999.
- [32] HARRIS, Daniel C. *Quantitative Chemical Analysis*. 7. New York: W. H. Freeman and Company, 2007. ISBN 0-7167-7041-5.
- [33] AYLOR, Andrew. Measurement of zinc in clinical samples. *Ann Clin Biochem*. 1997, 34, 142-150.
- [34] Faroon O, Ashizawa A, Wright S, et al. Toxicological Profile for Cadmium. Atlanta (GA): Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US); 2012 Sep. 7, ANALYTICAL METHODS. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK158833/>
- [35] MASSON, P., T. DALIX a S. BUSSIÈRE. Determination of Major and Trace Elements in Plant Samples by Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometry. *Taylor and Francis Online*. 2010, 41(3), 231-243. DOI: 10.1080/00103620903460757.
- [36] ATANASSOVA, D, V STEFANOVA a E RUSSEVA. Co-precipitative pre-concentration with sodium diethyldithiocarbamate and ICP-AES determination of Se, Cu, Pb, Zn, Fe, Co, Ni, Mn, Cr and Cd in water. *Talanta*. 1998, 48(5), 1237-1243. DOI: 10.1016/S0039-9140(98)00211-2.
- [37] *Elektroanalytické metody: Sborník přednášek z kurzu*. Český Těšín: 2 THETA, 2001. ISBN 80-86380-07-6.
- [38] ŠEVČÍK, Jiří a František GRAMBAL. *Úvod do polarografie*. Olomouc: rektorát University Palackého v Olomouci, 1972. ISBN 63/II/10.
- [39] TOCKSTEIN, Antonín. *Theoretická polarografie*. Praha: Přírodovědecké vydavatelství, 1952. ISBN 55 720-51-9-III-1.
- [40] PRAUS, Petr a Jiřina VONTOROVÁ. *Analytická chemie II*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2015. ISBN 978-80-248-3734-5.
- [41] KEFALA, G, A ECONOMOU, A VOULGAROPOULOS a M SOFONIOU. A study of bismuth-film electrodes for the detection of trace metals by anodic stripping voltammetry and their application to the determination of Pb and Zn in tapwater and human hair. *Talanta*. 2003, 61(5), 603-610. DOI: 10.1016/S0039-9140(03)00350-3.

- [42] CONSTANT, M.G. a Van den BERG. Determination of the zinc complexing capacity in seawater by cathodic stripping voltammetry of zinc—APDC complex ions. *Marine Chemistry*. 1985, 16(2), 121-130.
- [43] BAREK, Jiří, František OPEKAR a Karel ŠTULÍK. *Elektroanalytická chemie*. 1. Univerzita Karlova v Praze: Karolinum, 2005. ISBN 80-246-1146-5.
- [44] OPEKAR, František. *Základní analytická chemie*. Praha: Karolinum, 2003, 201 s. : il. ISBN 80-246-0553-8.
- [45] ZUMAN, Petr. *Základy polarografie*. Praha: Přírodovědecké vydavatelství, 1952. ISBN Brána k vědění.
- [46] Jiří Berek , Arnold G. Fogg , Alexandr Muck & Jiří Zima (2001) *Polarography and Voltammetry at Mercury Electrodes, Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 31:4, 291-309, DOI: 10.1080/20014091076776.
- [47] ZÝKA, Jaroslav. *Analytická příručka. 1.díl. 3. přeprac. a rozš. vyd.* Praha : Bratislava: SNTL - Nakladatelství technické literatury ; Alfa, 1979, 678. : il.
- [48] HEYROVSKÝ, Jaroslav a Petr ZUMAN. *Úvod do praktické polarografie*. 3 vyd. Praha: ČSAV, 1964. ISBN 21-014-64.
- [49] OSREDKAR, J., Sustar N. (2011) Copper and Zinc, Biological Role and Significance of Copper/Zinc Imbalance. *J Clinic Toxicol* S3:001. doi: 10.4172/2161-0495.S3-001
- [50] KRÍŽEK, Martin a Jan ŠÍMA. *Analytická chemie*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2015. ISBN 978-80-7394-486-5.
- [51] CHENCE, H. *Polarografia i voltametria. Teoritičeskije osnovy i analitičeskaja praktika*. 1. Minsk: Binom, 2008. ISBN 978-5-94774-357-9.
- [52] GALVEZ, Jesus. Pulse Polarography: Effects of Electrode Sphericity on the Current-Potential Curves in Normal Pulse Polarography, Reverse Pulse Polarography, and Differential Pulse Polarography. *Analytical Chemistry*. 1985, 57(3), 585-591. DOI: 10.1021/ac00280a006.
- [53] KLOUDA, Pavel. *Moderní analytické metody*. Třetí, upravené vydání. Ostrava: Pavel Klouda - nakladatelství Pavko, 2016. ISBN 978-80-86369-22-8.
- [54] CHURÁČEK, Jaroslav, Petr BOČEK, Zdeněk DEYL, Aleš HORNA, Pavel JANDERA, Jaroslav JANÁK, Josef JANČA a Robert KALVODA. *Nové trendy v teorii a instrumentaci vybraných analytických metod*. Praha: Academia, 1993, 387 s. ISBN 80-200-0010-0.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AAS	Atomová absorpční spektrometrie
ETA AAS	Atomová absorpční spektrometrie s elektrotermickou atomizací
AES	Atomová emisní spektrometrie
ICP – AES	Atomová emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
DME	Rtuťová kapková elektroda
SMDE	Statická rtuťová kapková elektroda
HMDE	Visící rtuťová kapková elektroda
MFE	Rtuťová filmová elektroda
DPP	Diferenční pulzní voltametrie
NPV	Normální pulzní voltametrie
LOD	Mez detekce
LOQ	Mez stanovitelnosti