

UNIVERZITA KARLOVA
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Analytická chemie



Bc. Petra Adámková

PRVKOVÁ ANALÝZA VYBRANÝCH DRUHŮ BYLIN PRO PŘÍPRAVU
ČAJOVÝCH NÁLEVŮ TECHNIKOU ICP-MS

Elemental analysis of selected herbs for the preparation of tea infusions
using the ICP-MS technique

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jakub Hraníček, Ph.D.

Praha 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

Jsem si vědoma toho, že případné využití výsledků, získaných v této práci, mimo Univerzitu Karlovu je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity.

V Praze, 20. srpna 2024.

Abstrakt

V této diplomové práci byly stanovovány koncentrace sodíku, hořčíku, draslíku, vápníku, manganu, mědi, železa, zinku, arsenu, kadmia a olova ve vybraných léčivých bylinách pro přípravu bylinných čajových nálevů. Pro analýzu byly vybrány vzorky od dvou konkurenčních výrobců dostupné na českém farmaceutickém trhu a vzorky od významného českého výrobce dostupné v běžném obchodě. Cílem této práce bylo vzájemné porovnání vybraných produktů daných výrobců z hlediska jejich prvkového složení. Byly provedeny experimenty zahrnující optimalizaci vzorkování. Dále byl proveden rozklad nálevových sáčků u vybraných vzorků a byla provedena jejich prvková analýza. V použité metodice byly zahrnuty rozklad v mikrovlnném zařízení za přítomnosti směsi kyseliny dusičné a kyseliny chlorovodíkové a analýza složení připravených roztoků pomocí techniky hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem. Bylo zjištěno, že koncentrace prvků jsou řádově srovnatelné jak podle druhu rostliny, tak i podle výrobce. Obsah těžkých kovů byl nalezen i v nálevových sáčcích. Bylo zjištěno, že výsledky měření jsou přesnější při přípravě směšného vzorku z deseti a více nálevových sáčků. V této práci bylo ověřeno, že použitá metoda hmotnostní spektrometrie byla díky nízkým limitům detekce vhodná pro stanovení koncentrací všech vybraných kovů.

Klíčová slova

Bylinný čaj, hmotnostní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou, ICP-MS, kovy, léčivá bylina, mikrovlnný rozklad

Abstract

In this thesis the concentrations of sodium, magnesium, potassium, calcium, manganese, copper, iron, zinc, arsenic, cadmium and lead were determined in medicinal herbs for the preparation of herbal tea infusions. Samples from two competing manufacturers on the Czech pharmaceutical market and samples from an important Czech manufacturer available in regular stores were selected for the analysis. The aim of this work was a mutual comparison of selected products of the given manufacturers in terms of their elemental composition. Experiments involving sampling optimization were performed. Further, the infusion bags were decomposed for selected samples and their elemental analysis was carried out. The applied method included decomposition in a microwave device in the presence of a mixture of nitric acid and hydrochloric acid and analysis of the composition of the prepared solutions using the inductively coupled plasma mass spectrometry technique. The results showed that the concentrations of the elements are of comparable order both according to the type of plant and also according to the manufacturer. The content of heavy metals was also found in tea bags. It was found that the measurement results are more accurate when preparing a mixed sample of ten or more infusion bags. In this work, it was verified that the mass spectrometry method used was suitable for determining the concentrations of all selected metals due to the low detection limits.

Key words

Herbal tea, inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS, medicinal herb, metals, microwave decomposition

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému školiteli RNDr. Jakobovi Hraníčkoví, Ph.D. za odborné vedení práce, vstřícnost a trpělivost a společně také děkuji RNDr. Elišce Novákové, Ph.D. za praktické rady a vytvoření přátelské atmosféry v celé laboratoři. Ráda bych poděkovala Ing. Žanetě Gerstbergerové za seznámení s výrobou bylinných čajových směsí a provozem ve společnosti Megafyt Pharma. Děkuji také RNDr. Haně Dejmkové, Ph.D. za konzultaci týkající se vzorkování sypkých rostlinných materiálů. Jsem velmi vděčná své rodině, přátelům a kolegům za veškerou podporu a motivaci při psaní této diplomové práce.

Obsah

1	Úvod	9
1.1	Cíl práce.....	9
2	Teoretická část	10
2.1	Bylinný čaj.....	10
2.1.1	Heřmánkový čaj	11
2.1.2	Kopřivový čaj.....	11
2.1.3	Mátový čaj	11
2.1.4	Meduňkový čaj.....	12
2.1.5	Řepíkový čaj	12
2.1.6	Šalvějový čaj.....	12
2.2	Význam stanovovaných prvků pro lidský organismus.....	13
2.2.1	Sodík.....	13
2.2.2	Draslík	14
2.2.3	Hořčík	14
2.2.4	Vápník	15
2.2.5	Mangan	15
2.2.6	Železo	16
2.2.7	Měď	16
2.2.8	Zinek.....	16
2.2.9	Arsen.....	17
2.2.10	Kadmium	17
2.2.11	Olovo	18
2.3	Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem	18
2.4	Mikrovlenný rozklad.....	19
2.5	Analýza prvků v bylinných čajích a léčivých rostlinách.....	19
3	Experimentální část	28

3.1	Používané chemikálie.....	28
3.2	Používané přístroje a pomůcky	28
3.3	Analyzované vzorky bylinných čajů	29
3.4	Příprava vzorků.....	31
3.4.1	Čistící cyklus rozkladných patron.....	31
3.4.2	Mikrovlnný rozklad.....	31
3.4.3	Příprava roztoku interního standardu a kalibračních roztoků.....	32
3.4.4	Vzorkování bylin pro přípravu čajů	33
3.4.5	Celkové zastoupení prvků ve vzorcích bylinných čajů	34
3.4.6	Příprava heřmánkového výluhu	36
3.4.7	Certifikovaný referenční materiál	37
3.5	Analýza vzorků bylin pro přípravu čajů.....	38
4	Výsledky a diskuse.....	41
4.1	Vzorkování bylin pro přípravu čajů	41
4.2	Celkové zastoupení prvků ve vzorcích bylinných čajů	43
4.3	Příprava heřmánkového výluhu a jeho analýza	48
4.4	Certifikovaný referenční materiál	50
5	Závěr.....	53
	Literatura	54

Použité symboly a zkratky

AAS	atomová absorpční spektrometrie
c	koncentrace [$\mu\text{g g}^{-1}$, mg g^{-1}]
CPS	počet pulsů za sekundu
F-AAS	plamenová atomová absorpční spektrometrie
GF-AAS	grafitová atomová absorpční spektrometrie
ICP-MS	hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
ICP-OES	optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
LOD	mez detekce
m	hmotnost [g]
NAA	neutronová aktivační analýza
p	tlak [bar]
P	výkon magnetronu [%]
PTFE	polytetrafluorethylen
RSD	relativní směrodatná odchylka
SD	směrodatná odchylka
t_1	doba pro dosažení teploty T [$^{\circ}\text{C}$]
t_2	doba udržování teploty T [$^{\circ}\text{C}$]
V	objem [l]
XRFS	radionuklidová rentgenová fluorescenční analýza

1 Úvod

Poznatky o léčivých účincích přírodních látek patří k nejcennějším odkazům kulturního vývoje lidské civilizace. Bylinné čaje jsou používány po celém světě především pro své příznivé účinky na lidský organismus. V této práci byly ve vybraných vzorcích léčivých bylin pro přípravu čajového nálevu stanovovány prvky, které se v rostlinách přirozeně vyskytují, plní specifické úlohy. Byla očekávána přítomnost hořčíku a vápníku (v množství větším než 1000 mg v 1 kg sušiny), dále manganu, železa, mědi a zinku (v množství menším než 100 mg v 1 kg sušiny). Dále byly stanovovány prvky, jejichž obsah může být důsledkem znečištění prostředí, technik zemědělské produkce v rámci ochrany před škůdci nebo se vyskytují v průmyslových hnojivech (arsen, kadmium, olovo). Celkem bylo stanoveno jedenáct prvků – sodík, hořčík, draslík, vápník, mangan, železo, měď, zinek, arsen, kadmium a olovo. Vzhledem k požadavku na dosažení nízkých limitů detekce a stanovení několika prvků současně byla pro tato stanovení využita instrumentální technika ICP-MS. V rámci této diplomové práce je slovní spojení vzorek bylinného čaje používáno pro usušenou porcovanou bylinu v nálevových sáčcích.

1.1 Cíl práce

Cílem této diplomové práce bylo stanovit celkové zastoupení vybraných prvků v léčivých bylinách pro přípravu čajového nálevu při různých způsobech vzorkování a ve dvou různých šaržích. V úvahu byl brán fakt, že prvky mohou být v rostlině obsaženy rovnoměrně nebo mohou být koncentrovány v některé její části. Pro analýzu bylo vybráno celkem šest druhů jednosložkových bylinných čajů – heřmánkový, kopřivový, mátový, meduňkový, šalvějový a řepíkový, které patří mezi nejprodávanější na českém farmaceutickém trhu. Pro analýzu byly použity bylinné čaje od dvou českých konkurenčních výrobců čajů dostupné na farmaceutickém trhu – Megafyt Pharma a Leros, dále vzorky jednoho významného českého tradičního výrobce dostupné v běžných obchodech – Jemča. Výsledky měření byly následně mezi sebou porovnány. Dalším cílem bylo seznámit se s výrobou bylinného čaje v České republice.

2 Teoretická část

2.1 Bylinný čaj

Bylinný čaj je definován jako nálev, který se připravuje přelitím bylin horkou vodou a následným louhováním po dobu nutnou k přenesení aromatických látek, chutí a zdraví prospěšných látek z bylin do nálevu. Doba louhování se pohybuje většinou od 5 do 15 minut. Bylinné čaje jsou často připravovány pro jejich přirozenou specifickou chuť, absenci kofeinu a příznivé účinky na naše zdraví. Užití bylinných čajů je nejen vnitřní, ale i zevní, například ve formě kloktadla, koupelí či obkladů [1].

Kvalitu bylinného čaje ovlivňuje technika sběru, sušení, a především samotné složení léčivé byliny. Samotnou kvalitu výluhu ovlivňuje například i stupeň rozdrobnění dané byliny, protože do výluhu prostupují i balastní látky, které mohou ovlivnit celkový účinek nebo organoleptické vlastnosti čajové směsi. Nesmí být obsaženy žádné pomocné látky a důležitým faktorem kvality je část byliny, která byla k výrobě čaje použita. Nejvyšší kvalita je kvalita lékopisná, s předepsanými parametry, která se používá u bylinných čajů schválených jako léčivý přípravek [1, 2, 3].

Články rostlinných drog jsou uvedeny ve speciální části Českého lékopisu. Vybrané vzorky bylinných čajů předkládaných v této diplomové práci mají rovněž svůj lékopisný článek (respektive konkrétní část rostliny, která byla na výrobu čaje použita). V lékopise jsou rovněž uvedeny čajové směsi, které jsou definovány jako směsi drog rozdrobněných nebo nerozdrobněných na předepsanou velikost částic, někdy i s přísadou dalších léčivých látek, určené nejčastěji k přípravě vodných nálevů nebo odvarů. Nálev i odvar se připravují vždy čerstvé, bezprostředně před použitím. Vhodnou stabilizací a standardizací se dosáhlo toho, že na farmaceutickém trhu se objevují kvalitní bylinné čaje [1, 2, 3].

Výrobci bylinných čajů, jejichž čaje byly v této diplomové práci použity jako vzorky, nakupují sušené bylinky u svých dodavatelů. Následuje kontrola kvality a jakosti, až poté probíhá plnění nálevových sáčků a balení do finální podoby.

2.1.1 Heřmánkový čaj

Heřmánek pravý, také heřmánek lékařský (*Matricaria chamomilla*), se využívá v lidovém léčitelství již po staletí a doposud v něm má své nezastupitelné místo. K přípravě čaje se používá heřmánkový květ (*Matricariae flos*).

Heřmánek kromě modře zbarvené silice (až 1,5 %) s hlavní složkou chamazulenem obsahuje účinný apigenin, bisabolol, matricin, flavonové glykosidy, kumarinové látky a další. Díky svým obsahovým látkám působí protizánětlivě, dezinfekčně, uvolňuje křeče a zvyšuje pocení. Vnitřně se heřmánkový čaj užívá jako karminativum, při střevních a žaludečních potížích a křečích trávicího traktu nebo při problémech s nespavostí. Inhalační podání také ulevuje od příznaků běžného nachlazení. Zevně se užívá například v obkladech či ve formě koupelí na špatně hojící se rány, při kožních vyrážkách a při ošetřování spálenin od slunce. Urychluje reparativní procesy, brání tvoření jizev a je účinný na revmatické otoky. Užívá se také jako kloktadlo při mírných zánětech dutiny ústní a bolestech zubů [2–8].

2.1.2 Kopřivový čaj

Kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica*) je bylina, která je u nás považována za hojně rozšířený plevel. Avšak historie tradiční léčby pomocí kopřiv sahá do středověku. Užívaná část kopřivy pro přípravu čaje je list (*Urticae folium*), někdy celá nať (*Urticae herba*).

Kopřiva obsahuje velké množství zeleného barviva – chlorofylu, kyselinu křemičitou a mravenčí, dále minerální látky jako je hořčík, vápník, draslík a železo. Důležitou obsahovou složkou je kyselina chlorogenová, která optimalizuje hladinu cukru v krvi a má antidiabetický efekt. Listy a nať kopřivy mají diuretický účinek a jsou součástí diabetických čajových směsí. Kopřivový čaj podporuje metabolismus a imunitní systém, také se používá při detoxikaci organismu. Zábál z kopřivového čaje se může použít při vlasové péči, podporuje lesk, pružnost i celkovou kvalitu [2, 3, 9].

2.1.3 Máťový čaj

Máta peprná (*Mentha piperita*) patří k tradičním léčivým rostlinám používaných od pradávna a je jednou z nejužívanějších léčivých rostlin po celém světě. K přípravě čaje se používá nať (*Menthae piperitae herba*).

Listy máty peprné obsahují především silici s hlavní složkou mentholem s antibakteriálním účinkem, který dodává čaji nezaměnitelnou silně aromatickou chuť a vůni. Máťový čaj se vnitřně užívá při mírných obtížích zažívacího traktu, nechutenství, nadýmání

a plynatosti. Povzbuzuje chuť k jídlu, posiluje přirozenou obranyschopnost a imunitní systém. Příznivě také působí inhalace par při rýmě a zánětu průdušek [2, 3, 4, 10, 11].

2.1.4 Meduňkový čaj

Meduňka lékařská (*Melissa officinalis*) má v lidovém léčitelství dlouhou tradici. Pro svou medovou chuť dostala rostlina své české jméno. Na přípravu čaje se používají listy z meduňky (*Melissae folium*).

Listy meduňky jsou bohaté na silici s hlavními účinnými složkami citralem, citronelalem a geraniolem, dále obsahují hydroxyskořicové kyseliny s antioxidační aktivitou (např. rozmarýnovou či p-kumarovou), flavonoidy a třísloviny. Čaj se tradičně užívá k léčbě mírných zažívacích potíží, včetně nadýmání, plynatosti a napětí v břiše. Ulevuje od mírných příznaků psychického vypětí jako je neklid a podrážděnost, působí při poruchách spánku [2, 12, 13, 14].

2.1.5 Řepíkový čaj

Řepík lékařský (*Agrimonia eupatoria*) je v léčitelství známý již od středověku, kde byl například součástí tinktury využívané k ošetření střelných poranění na bitevních polích. Užívaná část řepíku je jeho celá nať (*Agrimoniae herba*).

Nať řepíku obsahuje třísloviny, dále silici či flavonová barviva. Vykazuje především svíravé, protizánětlivé, diuretické a dezinfekční účinky. Při vnitřním užívání zvyšuje vylučování žluči a pomáhá při lehkých nespecifických průjemových onemocněních. Zevně se teplý řepíkový čaj používá jako kloktadlo při zánětech horních cest dýchacích a v dutině ústní. Díky svému stahujícímu účinku se používá pro výplachy nosu během silné rýmy. Řepíkový čaj je možné použít jako obklad při kožních vyrážkách a odřeninách či jako přísada do koupelí při léčení hnisavých vyrážek, na hojení bércových vředů nebo při léčení hemoroidů [2, 15].

2.1.6 Šalvějový čaj

Léčivé účinky šalvěje lékařské (*Salvia officinalis*) jsou spojeny s mnoholetou tradicí sahající do starověké Persie, Číny nebo Egyptu. Pro přípravu čaje se používá nať (*Salviae herba*) charakteristického pachu, svíravé a nahořklé chuti.

Silice šalvěje obsahuje především thujon, salviol, cineol a třísloviny. Siličná složka v malých dávkách snižuje vylučování potu, působí protizánětlivě, baktericidně a mírně

diuretický. Vnitřně se užívá při mírných trávicích potížích, pálení žáhy a nadýmání. Šalvějový čaj také omezuje nadměrné pocení. Zevně se používá ve formě kloktadla při zánětech dutiny ústní a hrtanu, ve formě obkladů v kožním lékařství. Vzhledem ke značnému obsahu jedovatého thujonu je nutné u šalvějového čaje nepřekračovat dávkování a neužívat dlouhodobě. Navíc je přípravek určen jen pro dospělé, protože pro užití u dětí nejsou k dispozici dostatečné údaje [2, 16, 17].

2.2 Význam stanovovaných prvků pro lidský organismus

Esenciální prvky plní důležité fyziologické role v lidském těle. Jak nedostatek, tak i nadbytek může vést k závažným zdravotním komplikacím. Je důležité udržovat jejich vyvážený příjem prostřednictvím zdravé a vyvážené stravy, která by měla být zaměřená na pokrytí individuálních potřeb [21].

S vývojem nových a přesnějších technik je dnes umožněno stanovovat velmi nízké koncentrace. K výskytu těžkých kovů v životním prostředí přispívá do značné míry antropogenní činnost. Znečištění životního prostředí cizorodými látkami stále více nabývá globálního charakteru [58].

2.2.1 Sodík

Sodík je hlavním kationtem extracelulárních tekutin nezbytným pro řadu buněčných a tělesných funkcí. Denní doporučená potřeba sodíku pro dospělé je asi 1500 až 2300 mg, což je bezpečně zajištěno příjmem soli v potravě. Sodík je také nepostradatelný pro přenos nervových signálů a funkci svalů, včetně srdce. Několik studií se zabývalo snížením rizik kardiovaskulárních onemocnění v souvislosti se snížením příjmu sodíku a zvýšením příjmu draslíku. Kromě nejběžnějšího zdroje sodíku – chloridu sodného (kuchyňské soli) lze sodík přijímat i z mléčných výrobků, masných výrobků, pečiva, minerálních vod a z řady pochutin obsahující sůl jako konzervační látku. Přestože je nedostatek sodíku v těle relativně vzácný, může nastat fyziologicky v důsledku nadměrného pocení, dlouhodobého průjmu nebo zvracení. Může se projevovat únavou, bolestí hlavy, slabostí či křečemi ve svalech. Nadbytek sodíku je spojován především s rizikem vysokého krevního tlaku, což může mít významný vliv pro vznik kardiovaskulárních onemocnění, jako jsou srdeční infarkt a mrtvice. Další negativní účinek nadměrného příjmu sodíku je zadržování vody v těle vedoucí k otokům [18–21].

2.2.2 Draslík

Draslík má společně se sodíkem, vápníkem a chloridem důležitou roli při udržování rovnováhy tekutin v těle. Stejně jako sodík se významně podílí na přenosu nervových impulzů, tím ovlivňuje činnost svalů a krevní tlak. Jako kofaktor některých enzymů je podstatný pro metabolismus sacharidů a udržení acidobazické rovnováhy. Odhadovaný přiměřený denní příjem pro dospělého člověka je okolo 4 g draslíku, avšak daná hodnota se upravuje podle individuálních potřeb. Je studována spojitost mezi konzumací potravin bohatých na draslík a obvyklou vyšší hustotou kostní hmoty, což je důležité pro prevenci řídnutí kostí. Draslík se rovněž podílí na využití inzulínu tělem, a tím na regulaci hladiny glukózy v krvi. Bohatými zdroji draslíku jsou ovoce a zelenina, zvláště vyšší obsah draslíku se nachází v sušeném ovoci. Dobrymi zdroji draslíku jsou například banány, meruňky, pomeranče, švestky, rajčata, špenát, brambory, různé druhy ořechů nebo celozrnná mouka ze špaldy, žita a pohanky. K hromadění draslíku, a tedy jeho nadbytku v těle, dochází pouze při patologických stavech jako je například metabolická acidóza, poškození buněk nebo porušená funkce ledvin. Nedostatek draslíku v důsledku nevhodné výživy se vyskytuje jen výjimečně. Může se rozvinout při zvýšeném vylučování draslíku, např. v případě nadměrného pocení, chronického průjmu, silného zvracení nebo vlivem užívání některých léků (kličková diuretika) [21–26].

2.2.3 Hořčík

Hořčík je dalším nezbytným minerálem pro lidský organismus. Na hořčíku závisí mnoho funkcí látkové výměny energie, bílkovin a tuků. Přispívá k normální činnosti nervové soustavy a svalů, k snížení míry únavy a vyčerpání nebo také k udržení normálního stavu kostí a zubů. Bylo prokázáno, že hořčík pomáhá při depresi, optimalizuje hladinu krevního cukru, podílí se na snížení krevního tlaku, má protizánětlivé účinky a zlepšuje kvalitu spánku. Doporučený denní příjem hořčíku se uvádí na 300–400 mg pro dospělého člověka. Potřebný příjem se navyšuje například s věkem, protože v důsledku stárnutí se hořčík hůře vstřebává, nebo u sportovců, lidí s těžkou fyzickou prací či chronickým stresem. Bohatými zdroji hořčíku jsou například špenát, avokádo, mořské ryby, ořechy, semínka nebo kakao. Na doplňování hořčíku se mohou podílet také minerální vody obohacené tímto prvkem. Nedostatek hořčíku, vzhledem k jeho úloze v těle napříč různými systémy, se projevuje různými více či méně specifickými příznaky. Mezi ty nejčastější patří únava, svalová slabost a křeče, bolest hlavy až migréna, potíže se spánkem nebo narušená soustředěnost a zmatenost. Při nadbytku hořčíku mohou být

pozorovány například nechutenství, zvracení, svalová slabost či nepravidelný srdeční rytmus [27–32].

2.2.4 Vápník

Vápník je nejvíce zastoupeným minerálem v lidském těle. Je významný zejména pro stavbu kostí a zubů. Je nezbytný pro přenos podnětů ve svalech a nervech. Vápník se mimo jiné významně podílí na hemokoagulaci a při karcinogenezi. Doporučená denní dávka vápníku pro dospělé je 1 000 mg. Vyšší příjem vápníku je doporučován například u dětí ve fázi růstu, u žen během menopauzy, u lidí s intolerancí laktózy nebo u těhotných žen. Mléčné výrobky jsou nejbohatším a pro lidský organismus velmi dobře využitelným zdrojem vápníku. Velké množství vápníku obsahují rovněž některé druhy listové zeleniny (např. špenát, brokolice či kapusta), obilniny, ořechy a semínka. Nedostatek vápníku se může projevit jako důsledek dlouhodobé nevyvážené stravy. Lidský organismus kompenzuje jeho nedostatečný přísun uvolňováním vápníku z kostí, které jsou jeho největší zásobárnou v těle. Tato ztráta kostní hmoty a horší mineralizace kostí mohou vést ke vzniku křivice (u dětí) nebo osteoporózy (u dospělých). Dalšími příčinami nedostatku vápníku může být porucha vstřebávání vápníku ve střevě či zvýšené vylučování vápníku ledvinami. Pozorovaným příznakem nedostatku vápníku mohou být například svalové křeče. Nadbytku vápníku prakticky není možné dosáhnout prostřednictvím vyvážené stravy. Příčinou může být například předávkování doplňky stravy s obsahem vápníku či vitamínem D. Hladinu vápníku v krvi mohou zvyšovat některé druhy rakoviny, hormonální poruchy či dehydratace. Tento stav mohou provázet například zácpa, zvracení, nechutenství, bolesti hlavy a žízeň [21, 33–35].

2.2.5 Mangan

Mangan je esenciální stopový prvek a je důležitý jako kofaktor či aktivátor řady enzymů. Dostatečný příjem manganu je důležitý pro správný vývoj, reprodukci, tvorbu pojivových tkání, hojení ran nebo regulaci hladiny glukózy v krvi. Dále podporuje správnou funkci imunitního systému a pozitivně ovlivňuje krevtvorbu. Většina manganu vstupuje do lidského těla potravou, v menší míře dermálně a inhalačně. Mangan je obsažen například v neloupané rýži, ovesných vločkách, oříšcích, ananasu, kakau nebo čaji. Jeho nedostatek je spojen právě s funkcí enzymů obsahujících mangan a dochází ke změnám v metabolismu (například cholesterolu). Toxicita manganu spočívá především v jeho dlouhodobé inhalaci z kontaminovaného vzduchu, která působí negativně především na nervovou soustavu [21, 36, 37].

2.2.6 Železo

Železo je velmi důležitý esenciální stopový prvek, který se podílí na mnoha enzymatických reakcích, a především na produkci hemoglobinu nezbytného pro přenos kyslíku. Většina elementárního železa přítomného v našem těle je právě v jeho formě, zbývající železo je uloženo v játrech, slezině a myoglobinu ve svalových buňkách. Železo pozitivně ovlivňuje činnost nervového systému, snižuje míru vyčerpání nebo zlepšuje imunitu a odolnost. Doporučený denní příjem železa je u zdravých jedinců 10 mg pro muže a 15 mg pro ženy. Zvýšená potřeba železa je uváděna pro těhotné ženy, děti zejména v období rychlého růstu, ženy se silnou menstruací, pro pacienty po náročné chirurgické operaci či vegetariány. Nejvíce železe lze získat konzumací masa a vnitřností. Dalšími zdroji železa jsou luštěniny, ořechy, listová zelenina nebo meruňky. Avšak železo rostlinného původu má horší vstřebatelnost než železo ze živočišných produktů. Využití železa v těle zvyšuje například vitamín C a kyselina listová, opačným způsobem působí vláknina nebo vápník. Jedním z hlavních signálů nedostatku železa je únava a špatný spánek. Dále se projevuje závratí, bolestí hlavy, snížením svalové síly, dušností nebo bledou kůží. Dlouhodobý nadbytek železa vede k jeho ukládání do tkání a orgánů, v důsledku toho může dojít k poškození jater, slinivky či srdce [38–41].

2.2.7 Měď

Měď je dalším esenciálním stopovým prvkem nezbytným pro lidský organismus. Její přítomnost je nezbytná ve struktuře některých metaloenzymů plnící například antioxidační funkci nebo podílející se na metabolismu železa či tvorbě kolagenu. Měď podporuje normální činnost nervové soustavy, imunitní systém, účastní se tvorby melaninu a spolu s železem se podílí na krvetvorbě. Příjem mědi u dospělého člověka by se podle většiny zdrojů měl pohybovat od 1 až 2 miligramů denně. Zdrojem mědi jsou například játra, ovesné vločky, obilné klíčky, houby či lesní ovoce. Nedostatečný přísun mědi se může projevit chudokrevností, zpomalením duševního vývoje, sníženou obranyschopností, vypadáváním vlasů nebo ztrátou kvality kostí. Tento stav postihuje většinou nedonošené a podvyživené děti nebo jedince s poruchami vstřebávání. Nadbytek mědi je spíše vzácný, avšak existuje genetické onemocnění – Wilsonova choroba, při kterém nedokáže organismus měď správně zpracovat [21, 42, 43].

2.2.8 Zinek

Zinek je dalším neméně důležitým esenciálním stopovým prvkem, který se v lidském těle účastní mnoha biochemických reakcí. Má důležitou roli ve vývoji a funkci buněk imunitního

systemu. Podílí se na syntéze DNA, zvyšuje plodnost a potenci, vykazuje protizánětlivé účinky nebo urychluje hojení ran. Doporučená denní dávka zinku se uvádí v rozmezí 8 až 15 mg v závislosti na pohlaví, věku a stylu života (stresové zaměstnání, intenzivní cvičení). Zvýšený příjem je krátkodobě doporučován u lidí s oslabenou imunitou a jako prevence nemoci. Zinek je nejvhodnější přijímat přirozeně především z potravy, případně dodávat ve formě doplňků stravy. Jako jeden z nejbohatších zdrojů zinku se uvádí mořské plody, zejména ústřice. Dalšími běžnými zdroji zinku jsou maso, luštěniny, mléčné výrobky či semena a ořechy. Nedostatek zinku se projevuje především sníženou imunitou a s tím spojenými častějšími infekcemi, průjmy, opakovaným výskytem akné, řídnutím vlasů či neplodností. Předávkování zinku se v populaci vyskytuje jen výjimečně a projevuje se především potížemi trávicího traktu [44, 45, 46].

2.2.9 Arsen

Arsen je toxický prvek, který snadno bioakumuluje v potravních řetězcích. Hlavním přispěvatelem arsenu v životním prostředí je antropogenní činnost (hutní a rudný průmysl, spalování fosilních paliv, zemědělství). Arsen se vyskytuje ve třetím a pátém oxidačním stupni, přičemž nižší oxidační stupeň je toxičtější, v anorganické a méně toxické organické formě. Arsen je člověkem přijímán prostřednictvím kontaminované vody nebo potravy (například mořské plody, ryby, rýže). Dlouhodobé působení arsenu vykazuje karcinogenní a mutagenní účinky. Způsobuje rakovinu plic, močového měchýře a kůže. Dále potencuje rozvoj nádorů jater a ledvin [47–50].

2.2.10 Kadmium

Kadmium je prvek ze skupiny těžkých kovů vyskytující se v oxidačním stupni Cd^{2+} . Jeho toxicita spočívá především v jeho snadné kumulaci v organismu zejména v játrech a ledvinách. Koncentraci kadmia v životním prostředí navyšuje přednostně průmyslová výroba, dále spalování fosilních paliv či používání fosfátových hnojiv. Příjem kadmia do těla probíhá prostřednictvím inhalace emisí, kouřením cigaret či požitím kontaminované vody nebo kontaminovaných potravin (ryby, vnitřnosti, obilniny). V závislosti na vstupu kovu do těla se intoxikace projevuje dýchacími potížemi nebo nevolností až zvracením. Kadmium je schopno porušit průběh některých metabolických reakcí vytěsněním zinku z enzymů a inhibičním účinkem na antioxidantní enzymy. Kadmium je klasifikováno jako karcinogen

a teratogen. Poškozuje ledviny a kostní tkáň, narušuje funkci imunitního a kardiovaskulárního systému [51–54].

2.2.11 Olovo

Olovo je běžným environmentálním a průmyslovým kontaminantem, který se nachází ve stopovém množství ve vodě, v půdě a potravinách. Nejčastěji se vyskytuje jako dvojmocné. Olovo je klasifikováno jako možný lidský karcinogen. Má škodlivý vliv na nervovou soustavu, imunitní mechanismy, krevetvorbu či reprodukční orgány. V lidském těle se zabudovává do kostní hmoty namísto vápníku a výrazně se tak podílí na vzniku osteoporózy [53, 55, 56].

2.3 Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem

Pro analýzu vybraných vzorků bylinných čajů byla zvolena hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS). Předností této metody jsou velice nízké limity detekce dosažitelné téměř pro všechny prvky periodické tabulky a možnost stanovení více prvků ve vzorku současně. Tato metoda umožňuje zároveň kvalitativní a kvantitativní stanovení. ICP-MS je v současnosti využívána v rutinních analýzách v různých oblastech jako je potravinářský a chemický průmysl, výzkum životního prostředí nebo forenzní analýza a další [57, 58].

Hmotnostní spektrometr se skládá ze třech základních částí, kterými jsou iontový zdroj, hmotnostní analyzátor a detektor. Úlohou iontového zdroje je tvorba iontů analyzovaného vzorku, které následně prochází hmotnostním analyzátozem rozdělujícím ionty podle poměru hmotnosti a náboje. Poté ionty dopadají na detektor generující elektrický proud, který je úměrný počtu iontů, čímž dochází ke vzniku signálu detektoru. Připojeným řídicím počítačem je signál detektoru převeden na hmotnostní spektrum [57, 59].

Nadávkový vzorek je nejprve potřeba pomocí zmlžovače převést do formy aerosolu, který je následně transportován plazmovým plynem (nejčastěji argonem) k plazmové hlavici. Plazmová hlavice je tvořena třemi koncentrickými křemennými trubicemi. Plazma argonu dosahuje teplot 6 000–10 000 K. Energie je do argonového plazmatu, které dosahuje teplot 6 000–10 000 K, předávána prostřednictvím elektromagnetického pole, které je generováno radiofrekvenční cívkou. V plazmové hlavici dochází k atomizaci a ionizaci atomů přítomných ve vzorku. Ionty vyprodukované v plazmatu jsou následně usměřňovány iontovou optikou a přiváděny do hmotnostního kvadrupólového analyzátoru. Spojení iontového zdroje

pracujícího za atmosférického tlaku a hmotnostního spektrometru pracujícího ve vakuu zabezpečuje interface. Interface zajišťuje rovněž oddělení iontů vzorku od stínícího plynu argonu [57, 58, 59].

2.4 Mikrovlnný rozklad

Pro úpravu vzorků před samotnou analýzou pomocí metody ICP-MS se často používá mikrovlnný mineralizační systém, který umožňuje za specifických podmínek převedení pevných vzorků do kapalného stavu. Rozkladný proces probíhá při teplotě až 260 °C a do tlaků 100 bar v závislosti na použité rozkladné nádobě a charakteristice vzorku (organický či anorganický původ). Průběh celého rozkladného procesu je monitorován pomocí měřicí jednotky skutečné teploty uvnitř a na povrchu rozkladných nádob a měřicí jednotkou tlaku v rozkladné nádobě s nejvyšší navázkou vzorku [60].

Rozklad se provádí ve speciálních teflonových nebo křemenných nádobách vykazující chemickou odolnost vůči všem minerálním kyselinám a mechanickou odolnost i při vysokých teplotách dosahovaných při rozkladu. K naváženému množství vzorku v rozkladné nádobě se přidává kyselina (např. kyselina dusičná) nebo směs kyselin (např. kyselina dusičná/chlorovodíková/fluorovodíková), případně směs kyseliny a peroxidu vodíku. Při mikrovlnném mineralizačním procesu dochází k rozkladu organických látek a rozpuštění anorganických složek vzorku. Po ukončení rozkladného procesu musí výsledný produkt zchladnout a být odvětrán od oxidů dusíku vzniklých rozkladem kyseliny dusičné [57, 60].

2.5 Analýza prvků v bylinných čajích a léčivých rostlinách

Stanovením prvků člověku prospěšných a prvků pro člověka toxických přítomných v léčivých rostlinách a bylinných čajích se zabývala řada odborných článků. Níže jsou uvedeny vybrané z nich. V tabulkách jsou pro přehlednost a ilustraci vždy uváděny výsledky pouze pro bylinné druhy a v nich stanovované prvky, které jsou i předmětem předkládané diplomové práce.

Minerální obsah vybraných bylin a bylinných extraktů

Cílem tohoto článku bylo zjistit obsah minerálních látek ve vybraných bylinách a léčivých rostlinách a stanovit optimální dobu přípravy vodného extraktu potřebnou pro uvolnění minerálů do vody [61].

Asi 0,5 g rostlinného materiálu bylo vloženo do žíhacího kelímku a bylo přidáno 15 ml koncentrované kyseliny dusičné. Vzorky byly upraveny mikrovlnným rozkladem při teplotě 200 °C a výsledný obsah byl zředěn 100 ml vody. Koncentrace prvků byly stanoveny pomocí ICP-OES [61].

Obsahem článku byla rovněž příprava bylinného nálevu. Asi 2 g rostlinného materiálu byly zality 98 ml destilované vody a přivedeny k varu po dobu 5, 10 a 15 minut. Následně byl nálev zfiltrován přes filtrační papír. Filtrát (25 ml) byl zředěn 25 ml destilované vody a následně dávkován do přístroje ICP-OES [61].

Nejvíce sodíku a draslíku obsahoval heřmánek (2503,27 ppm a 27497,8 ppm), naopak chudší na tyto dva prvky byla kopřiva (227,44 ppm a 8080,2 ppm). Nejvíce hořčíku a vápníku obsahovala meduňka (3178,7 ppm a 10155,5 ppm), naopak nejméně hořčíku bylo nalezeno v kopřivě (1319,1 ppm) a nejméně vápníku bylo nalezeno v mátě (4200 ppm). Nejvíce manganu obsahovala máta (43,5 ppm), naopak nejméně manganu obsahovala kopřiva (10,57 ppm). Nejvíce mědi obsahovaly meduňka (7,88 ppm) a heřmánek (7,4 ppm), v meduňce bylo neleženo i nejvíce železa (1295,7 ppm). Nejméně mědi (1,53 ppm) a železa (106,7 ppm) obsahovala kopřiva. Nejvíce zinku obsahoval heřmánek (26,00 ppm), nejméně zinku obsahovala kopřiva (3,32 ppm). V článku byla věnována pozornost rovněž pro člověka škodlivým těžkým kovům. Nejvíce arsenu obsahoval heřmánek (16,4 ppm), nejvíce kadmia obsahovala šalvěj (0,41 ppm) a nejvíce olova obsahovaly meduňka (1,65 ppm) a heřmánek (1,31 ppm). V případě máty byly koncentrace těchto tří prvků pod limitem detekce [61].

Bylo zjištěno, že minerály se při přípravě nálevu uvolňují do vody v různé míře a desetiminutová doba louhování je dostačující pro transport člověku prospěšných minerálů do nálevu. Byliny a z nich připravené nálevy jsou tak dobrým zdrojem minerálů. Různorodost výsledků může být způsobena odlišností druhů bylin, lokací pěstování a geografickými parametry, vlastnostmi půdy nebo dobou sklizně a dalšími faktory [61].

Analýza minerálních a stopových prvků v léčivých rostlinách a jejich nálevech

Cílem této studie bylo stanovit dvanáct prvků (Al, B, Ba, Fe, Zn, Mn, Mg, K, Na, P, Cu, Sr a Ca) ve vybraných léčivých bylinách včetně heřmánku, máty, meduňky, šalvěje i kopřivy a jejich nálevech konzumovaných v Polsku za léčebným účelem. Vzorky bylin byly zakoupeny

od dvou různých výrobců, jednoho méně známého dostupného v místních obchodech a jednoho tradičního specializující se na léčivé rostliny a rostlinnou medicínu. Měření byla provedena pomocí ICP-OES [62].

Z usušených a zhomogenizovaných vzorků bylin byl odebrán podíl o hmotnosti 1 g, který byl kvantitativně převeden do křemenných kelímků a spálen v muflové peci při teplotě 350 °C po dobu 10 hodin. Po ochlazení bylo ke zbytku přidáno 5 ml 20% kyseliny chlorovodíkové a tato směs byla zahřívána do rozpuštění (asi 30 minut). Vzniklý roztok byl zředěn na asi 10 ml deionizovanou vodou, zfiltrován přes filtrační papír a doplněn na celkový objem 25 ml [62].

Pro stanovení koncentrace prvků v bylinných nálevech byl sáček (2 g) zalit 200 ml horké vody. Po deseti minutách (doba doporučená od výrobce) a třiceti minutách chladnutí byl sáček vyjmut a roztok byl odpařen téměř do sucha. K pevnému zbytku bylo přidáno 5 ml koncentrované kyseliny dusičné a 5 ml 30% peroxidu vodíku a roztok byl opět odpařen téměř do sucha. Pevný zbytek byl rozpuštěn v 10 ml horké vody, přefiltrován přes jemný filtr a doplněn na celkový objem 25 ml deionizovanou vodou [62].

Koncentrace prvků se lišily v závislosti na druhu byliny, v některých případech byl rozdíl i v tom, od jakého výrobce vzorek pocházel. Výsledky měření prvků v bylinách jsou shrnuty v tabulkách 2.1 a 2.2. Obsahy prvků po desetiminutovém a třicetiminutovém louhování čajů od tradičního výrobce jsou shrnuty v tabulkách 2.3 a 2.4. Na základě toho experimentu autoři rozdělily stanovované prvky do tří specifických skupin: vysoce extrahovatelné (>55 %) včetně K; středně extrahovatelné (20–55 %) včetně Mg, Na, P, B, Zn a Cu a špatně extrahovatelné (<20 %) včetně Al, Fe, Mn, Ba, Ca a Sr [62].

Tab. 2.1 Celkový obsah prvků v listech bylin v jednotkách $\mu\text{g/g}$ (od tradičního výrobce)

prvek	meduňka	máta	kopřiva	heřmánek	šalvěj
Na	168 ± 3	625 ± 1	168 ± 1	827 ± 2	62,0 ± 0,8
K	2354 ± 7	2257 ± 4	2433 ± 8	2085 ± 8	1541 ± 6
Mg	366 ± 2	337 ± 1	552 ± 2	279 ± 1	442 ± 1
Ca	401 ± 3	334 ± 3	1426 ± 8	169 ± 2	506 ± 5
Mn	11,0 ± 0,1	6,18 ± 0,03	6,91 ± 0,02	7,55 ± 0,02	10,5 ± 0,1
Fe	31,7 ± 0,2	29,2 ± 0,3	14,4 ± 0,1	16,8 ± 0,3	30,9 ± 0,2
Cu	1,42 ± 0,02	1,49 ± 0,02	1,83 ± 0,05	1,55 ± 0,03	1,15 ± 0,04
Zn	64,0 ± 0,5	60,4 ± 0,2	63,9 ± 0,2	75,5 ± 0,3	60,4 ± 0,2

Tab. 2.2 Celkový obsah prvků v listech bylin v jednotkách µg/g (od méně známého výrobce)

prvek	meduňka	máta	kopřiva	heřmánek	šalvěj
Na	293 ± 1	869 ± 9	206 ± 2	563 ± 3	133 ± 2
K	2022 ± 32	2106 ± 8	2782 ± 5	2524 ± 4	1233 ± 3
Mg	270 ± 2	422 ± 2	457 ± 1	218 ± 1	331 ± 2
Ca	359 ± 2	489 ± 3	903 ± 5	189 ± 2	276 ± 2
Mn	7,58 ± 0,08	12,0 ± 0,1	10,2 ± 0,1	13,8 ± 0,1	8,98 ± 0,08
Fe	38,7 ± 0,4	37,9 ± 0,5	22,1 ± 0,1	15,7 ± 0,2	67,1 ± 0,4
Cu	1,57 ± 0,01	1,75 ± 0,02	1,50 ± 0,02	1,38 ± 0,01	1,67 ± 0,04
Zn	66,3 ± 1,4	75,3 ± 0,1	73,1 ± 0,6	88,8 ± 0,5	56,6 ± 0,2

Tab. 2.3 Obsahy prvků v µg/g sušiny po desetiminutovém louhování (od tradičního výrobce)

prvek	meduňka	máta	kopřiva	heřmánek	šalvěj
Na	62,7 ± 3,4	178 ± 1	73,8 ± 0,5	330 ± 2	50,0 ± 1,9
K	2650 ± 74	1445 ± 6	1507 ± 8	868 ± 14	1162 ± 5
Mg	198 ± 5	87,3 ± 1,2	228 ± 1	55,2 ± 0,4	271 ± 2
Ca	21,0 ± 0,2	60,5 ± 0,5	93,6 ± 1,2	10,2 ± 0,1	10,4 ± 0,1
Mn	2,02 ± 0,03	1,17 ± 0,02	0,325 ± 0,014	1,00 ± 0,01	2,48 ± 0,14
Fe	3,90 ± 0,07	3,85 ± 0,05	1,47 ± 0,04	1,78 ± 0,03	6,23 ± 0,15
Cu	0,787 ± 0,022	0,241 ± 0,007	0,423 ± 0,005	0,682 ± 0,003	0,417 ± 0,019
Zn	11,5 ± 0,2	5,24 ± 0,26	40,3 ± 0,3	12,7 ± 0,2	11,2 ± 0,1

Tab. 2.4 Obsahy prvků v µg/g sušiny po třicetiminutovém louhování (od tradičního výrobce)

prvek	meduňka	máta	kopřiva	heřmánek	šalvěj
Na	24,8 ± 0,8	403 ± 5	72,0 ± 1,1	241 ± 2	32,5 ± 1,8
K	913 ± 11	993 ± 8	1592 ± 5	941 ± 4	1049 ± 5
Mg	282 ± 2	141 ± 2	217 ± 3	53,4 ± 0,8	264 ± 2
Ca	50,6 ± 0,4	77,9 ± 0,6	111 ± 1	10,5 ± 0,1	11,5 ± 0,1
Mn	1,35 ± 0,04	0,468 ± 0,006	0,349 ± 0,005	1,73 ± 0,02	1,63 ± 0,03
Fe	1,032 ± 0,03	1,57 ± 0,04	0,873 ± 0,006	2,12 ± 0,07	4,52 ± 0,08
Cu	0,748 ± 0,017	0,237 ± 0,003	0,398 ± 0,009	0,555 ± 0,012	0,320 ± 0,007
Zn	7,81 ± 0,23	2,72 ± 0,23	41,0 ± 0,5	9,52 ± 0,38	6,81 ± 0,12

Obsah prvků v nálevech se různě měnil. Pokles koncentrací prvků v nálevech, připravených z bylinných listů louhovaných po dobu 30 minut, lze vysvětlit tvorbou komplexů s organickými látkami, špatnou rozpustností ve vodných roztocích (pH bylinných nálevů se pohybovalo v rozmezí 5,2–6,5) a hydrolyzou v případě kovů, jako je Al, Fe, Cu a Mn. Hliník a železo mají navíc špatnou biologickou dostupnost v důsledku působení polyfenolů, které se ochotně vážou na trojmocné kovy a zabraňují jejich střevní absorpci [63].

Stanovení vybraných prvků ve vzorcích bylinných čajů a hodnocení rizik pro spotřebitele

Pro tuto studii bylo vybráno celkem dvanáct bylinných druhů včetně máty, šalvěže a heřmánku. Bylo použito celkem 220 vzorků bylinných čajů, které byly zakoupeny na různých prodejních místech (supermarkety, pouliční trh a obchod s bylinkami). Vzorky bylinných čajů byly vybrány na základě časté konzumace ve Španělsku a dostupnosti na španělském trhu. Cílem studie bylo ověřit analytickou metodu, stanovit hladiny devíti prvků (Fe, Mn, Cu, Zn, As, Hg, Pb, Cr, Cd), porovnat výsledky s přípustnými hodnotami dostupnými v literatuře a posoudit potenciální zdravotní riziko konzumace bylinných čajů na lidský organismus [64].

Přibližně 0,5 g vzorku bylo mikrovlnně rozkládáno po dobu 30 minut v prostředí směsi kyseliny dusičné (4 ml), peroxidu vodíku (2 ml) a kyseliny chlorovodíkové (1 ml). Pro přípravu nálevu bylo použito 1,5 g bylinného čaje, které bylo zalito 100 ml vroucí deionizované vody a ponecháno louhovat po dobu 5 minut. Analýza byla provedena pomocí AAS. Pro stanovení Mn, Fe, Zn a Cu byla použita F-AAS, pro stanovení Cd, Cr, Pb byla použita GF-AAS [64].

Koncentrace As, Pb a Cd byly v převážné většině studovaných bylinných čajů v souladu s maximálními přípustnými limity stanovenými WHO a Evropským lékopisem. Příjem těžkých kovů prostřednictvím bylinných nálevů nepředstavoval pro spotřebitele žádné zdravotní riziko. Koncentrace jednotlivých prvků ve vybraných bylinných čajích se výrazně lišily v závislosti na místě, kde byly vzorky zakoupeny [64].

Stanovení stopových prvků ve vzorcích bylinných čajů pomocí ICP-MS za využití různých metod úpravy vzorků

Předmětem této studie bylo stanovit koncentrace As, Ba, Cd, Co, Cu, Cr, Ni, Pb, Se, V, Zn ve dvaceti osmi vzorcích rostlin včetně heřmánku, šalvěže a meduňky. Vzorky byly zakoupeny v různých bylinkářstvích na území Turecka (v sypané formě nebo v sáčcích). Vzorky byly pro analýzu upraveny dvěma způsoby, mikrovlnným rozkladem vzorku bylinného čaje a přípravou bylinného nálevu [65].

Pro mikrovlnný rozklad bylo naváženo asi 0,2 g vzorku a vpraveno do rozkladné nádoby. K vzorku bylo přidáno 6 ml koncentrované kyseliny dusičné a 2 ml peroxidu vodíku. Rozklad probíhal od 80 °C do 150 °C po dobu 5 minut, poté 15 minut při 225 °C, následovalo chlazení 10 minut při 70 °C. Nakonec byly vzorky doplněny na objem 25 ml deionizovanou vodou. Při přípravě nálevu byly vzorky louhovány po dobu 10 minut ve vroucí pitné vodě. Následně byly vzniklé roztoky filtrovány a ke každému byla přidána 2% kyselina dusičná. Analýza byla provedena pomocí ICP-MS [65].

Koncentrace arsenu, kadmia a olovo v nálevech téměř všech bylin byly pod limitem detekce. Ve vzorcích heřmánku, šalvěže a meduňky se pohybovaly koncentrace mědi od 5,0 do 42 $\mu\text{g kg}^{-1}$, koncentrace zinku od 20,0 do 218 $\mu\text{g kg}^{-1}$. Obsahy prvků ve vzorcích upravených mikrovlnným rozkladem byly mnohem vyšší. Ve vzorcích heřmánku, šalvěže a meduňky byla naměřená nejvyšší hodnota pro arsen 208 $\mu\text{g kg}^{-1}$, pro olovo 522 $\mu\text{g kg}^{-1}$ a pro kadmium 131 $\mu\text{g kg}^{-1}$. Všechny výsledky měření vzorků upravených mikrovlnným rozkladem jsou uvedeny v tabulce 2.5. Na základě dosažených výsledků se jeví sypaná forma čajů jako užitečnější než forma nálevových sáčků. Rozdílnost výsledků mohla být způsobená odlišným rostlinným druhem a jeho schopností prvky absorbovat, minerálním složením půdy nebo klimatickými podmínkami, ve kterých byla rostlina pěstována [65].

Tab. 2.5 Výsledky měření vzorků upravených mikrovlnným rozkladem v $\mu\text{g kg}^{-1}$

	As	Pb	Cd	Zn	Cu
<i>sáček</i>					
heřmánek	176 ± 5	215 ± 9	50,0 ± 0,1	18155 ± 19	10608 ± 128
šalvěj	83,0 ± 4	522 ± 1	<LOD	28021 ± 14	4989 ± 52
<i>sypaná forma</i>					
heřmánek	208 ± 3	361 ± 3	48,0 ± 0,2	22355 ± 18	13321 ± 98
	156 ± 2	220 ± 4	131,0 ± 0,3	20477 ± 6	8358 ± 59
šalvěj	65,0 ± 2	50 ± 3	<LOD	15634 ± 4	7861 ± 32
	103 ± 1	63,0 ± 0,7	<LOD	8310 ± 0,4	4527 ± 21
	53,0 ± 3,0	<LOD	<LOD	10537 ± 1	7445 ± 46
meduňka	126 ± 7	<LOD	<LOD	17263 ± 5	12275 ± 127

Prvková stopová analýza rostlin rodu Salvia metodou ICP-MS

Ve studii bylo analyzováno pět druhů rostlin rodu *Salvia*. Celkem dvacet stopových prvků (Li, Be, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Ag, Cd, Cs, Ba, Hg, Tl, Pb, U) byly stanovovány pomocí ICP-MS. Jako vzorky byly použity části rostlin – semena, kořeny, listy, květy a jejich směsi [66].

Vzorky byliny byly omyty deionizovanou vodou a následně sušeny při 70 °C po dobu 48 hodin. Po usušení byl každý vzorek rozdrcen a 200 mg sušiny bylo umístěno do rozkladné nádoby z PTFE. K vzorku bylo přidáno 6 ml kyseliny dusičné a 2 ml peroxidu vodíku. Vzorek byl rozložen v mikrovlnném rozkladném zařízení. Vzniklý roztok byl přelit do zkumavky a bylo doplněno na celkový objem 25 ml [66].

Ve čtyřech různých částech bylin se koncentrace zinku pohybovaly v rozmezí 0,52 až 9,13 mg kg⁻¹, zatímco v jejich směsích bylo nalezeno 2,94–8,14 mg kg⁻¹. Obsah mědi se pohyboval v rozmezí 2,94–24,74 mg kg⁻¹, zatímco ve směsi částí bylin bylo nalezeno 0,96 až 3,53 mg kg⁻¹. Obsah arsenu se pohyboval v rozmezí 0,05–0,72 mg kg⁻¹. Vyšší koncentrace arsenu byly nalezeny v kořenech a listech oproti ostatním částem byliny. Obsah kadmia se pohyboval v rozmezí 4,40–64,80 µg kg⁻¹. Ve srovnání s jinými částmi rostliny byl pozorován vyšší obsah kadmia právě v kořenových částech všech druhů šalvěje. Koncentrace olova se pohybovaly v rozmezí 0,11–5,21 mg kg⁻¹ v různých částech rostliny, ve směsi v rozmezí 0,50–1,50 mg kg⁻¹ [66].

Stanovení vybraných stopových prvků v mátě a kopřivě a jejich nálevech

Cílem toho článku bylo stanovení As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, I, Li, Mg, Mn, Ni, Pb, Se, Sn, Sr, Ti, V a Zn v listech máty a kopřivy (vzorky v nálevových sáčcích) a z nich připravených nálevech [67].

Odvážené množství o hmotnosti 1 g bylo umístěno do rozkladné nádoby, bylo přidáno 5 ml koncentrované kyseliny dusičné a byl proveden mikrovlnný rozklad. Poté byl vzniklý roztok přeplněn do odměrné baňky a doplněn deionizovanou vodou na objem 100 ml. Pro přípravu nálevu byly zvoleny dva způsoby. Jeden nálevový sáček byl zalit 50 ml vroucí deionizované vody a byl ponechán louhovat 10 minut zakrytý hodinovým sklíčkem. Druhý nálevový sáček byl zalit 50 ml vroucí deionizované vody a vzorek byl zahříván na vodní lázni při 95 °C zakrytý hodinovým sklíčkem po dobu 15 minut. Následně byly nálevy přeplněny do 50ml odměrných baněk a doplněny vodou po rysku. Z každého roztoku bylo odebráno 5 ml do rozkladné nádoby, byly přidáno 3 ml koncentrované kyseliny dusičné a byl proveden mikrovlnný rozklad. Výsledný roztok byl přeplněn do 50 ml odměrných baněk a doplněn vodou

po rysku. Sáčky po vyluhování byly sušeny nejprve při 80 °C a poté při 105 °C do konstantní hmotnosti. Poté bylo ze sáčku odebráno přibližně přesně 1 g sušeného materiálu, které bylo umístěno do rozkladné nádoby, bylo přidáno 5 ml koncentrované kyseliny dusičné a byl proveden mikrovlnný rozklad. Analýza byla provedena pomocí AAS pro vápník a železo a pomocí ICP-MS pro ostatní prvky [67].

Ze získaných dat bylo zjištěno, že prvky mají různou schopnost extrahovat se do výluhu. V případě kadmia byl rozdíl i v dané rostlině, snadno se vyluhuje z listů kopřivy, nikoliv však z listů máty. Účinnost louhování byla pro některé prvky různá v závislosti na metodě přípravy nálevu, naopak u některých prvků na způsobu přípravy nálevu nezáleželo. Pro ilustraci jsou v tabulce 2.6 uvedeny výsledné koncentrace prvků nalezené v mátovém čaji [67].

Tab. 2.6 Výsledky měření pro mátový čaj v mg kg⁻¹

prvek	suchý vzorek	výluh	podíl po louhování
Ca	15331 ± 492	2871 ± 107	13642 ± 240
Mg	5778 ± 216	2219 ± 99	3664 ± 42
Fe	239 ± 20	20,2 ± 2,2	212 ± 24
Mn	188 ± 3	26,6 ± 0,3	183 ± 3
Zn	51,0 ± 6,1	6,34 ± 0,41	48,4 ± 0,3
Pb	2,41 ± 0,11	1,12 ± 0,14	1,45 ± 0,03
As	0,122 ± 0,031	0,048 ± 0,004	0,068 ± 0,005
Cd	0,090 ± 0,005	0,008 ± 0,001	0,089 ± 0,001

Určení elementárního složení rumunských léčivých rostlin pomocí neutronové aktivační analýzy

Předmětem toho článku bylo stanovení několika prvků včetně K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, a As v sedmi druzích rostlin včetně heřmánku a máty, které se na území Rumunska používají v alternativní medicíně [68].

Asi 100 g každé rostliny bylo volně sušeno na vzduchu a poté jemně rozemleto v keramickém mlýnku. Následně bylo toto množství přeseťo přes síto s otvory o velikosti 0,5 mm. Průměrný vzorek byl získán kvartací, který byl sušen v sušárně při 105 °C do konstantní hmotnosti. Analýza byla provedena pomocí NAA [68].

Výsledky měření jsou shrnuty v tabulce 2.7. Ve vzorcích rostlin byl nejvíce zastoupeným prvkem draslík. U vzorků rostlin byla pozorována podobnost v poměru obsahu

vápníku a hořčíku. Arsen byl ve vzorcích rostlin nalezen v koncentracích, které nepředstavují při konzumaci čaje pro člověka žádné riziko [68].

Tab. 2.7 Výsledky měření pomocí NAA pro mátu a heřmánek v mg kg⁻¹, RSD v %

	Heřmánek		máta	
	koncentrace	RSD	koncentrace	RSD
Na	2875	5,8	1649	6,1
K	28330	3,7	18270	3,7
Mg	3243,33	4,8	7298,65	4,3
Ca	9944,35	5,7	16295,94	4,7
Mn	117,25	3,7	113,43	3,7
Fe	239,1	8,1	498,2	9,3
Cu	23,36	45,5	23,3	41,6
Zn	38,73	5	39,97	4,7
As	<0,41	—	<0,12	—

Radionuklidová röntgenfluorescenční analýza vybraných prvků ve vzorcích řepíkového čaje po zakoncentrování

Předmětem článku je zkoumání obsahu vybraných prvků (Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Hg a Pb) ve vzorcích řepíkového sypaného čaje a z nich připravených nálevech. Pevné vzorky byly homogenizované a lisované do tablet a přímo analyzované. Připravené výluhy byly analyzované po zakoncentrování prvků pomocí dvou srážecích činidel – thioacetamidu a diethyldithiokarbamátu amonného a následnou filtrací sraženin přes nitrocelulózový filtr. Filtrační papír s adsorbovanými komplexy je analyzován metodou XRFS [69].

Výsledné koncentrace ve vzorku řepíkového čaje byly 15,12 µg g⁻¹ pro mangan; 29,09 µg g⁻¹ pro železo; 11,99 µg g⁻¹ pro měď; 18,65 µg g⁻¹ pro zinek. Koncentrace olova byly pod limitem detekce (2,77 µg g⁻¹). Zatímco ve výluhu byly stanoveny pouze mangan, železo a měď. Nejvíce se vylouhovala měď (44,45 %) za použití thioacetamidu jako srážecího činidla [69].

3 Experimentální část

3.1 Používané chemikálie

Deionizovaná voda (0,07 μS a 0,055 μS)

Kyselina chlorovodíková (34–37%), p.a., šarže 2020 (Analytika, Česká republika)

Kyselina dusičná ($\geq 65\%$), semiconductor grade, šarže L2720 (Honeywell, Německo)

Certifikovaný referenční materiál ASTASOL AN9094MFN (As, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, Tl, V, Zn; koncentrace všech prvků 100 mg l^{-1}), šarže 0004 (Analytika, Česká republika)

Certifikovaný referenční materiál ASTASOL-MIX AN9091MN (Ca, K, Mg, Na; koncentrace všech prvků 1000 mg l^{-1}), šarže 0007 (Analytika, Česká republika)

Certifikovaný referenční materiál METRANAL-CRM AN-BM02 Biologický materiál/Zelený čaj (Analytika, Česká republika)

Ladící roztok pro ICP-MS (Ce, Co, Li, Mg, Ti, Y; koncentrace všech prvků 1 $\mu\text{g l}^{-1}$) (Agilent Technologies, USA)

Interní standard INTMIX01-250 (Bi, In, Sc, Tb, Y; koncentrace všech prvků 10 mg l^{-1} , matrice 5% HNO_3 (v/v) (Analytika, Česká republika)

3.2 Používané přístroje a pomůcky

Rozkladné zařízení Speedwave Xpert, rozkladné patrony DAP60 (Berghof, Německo)

Hmotnostní spektrometr Agilent 7900 ICP-MS (Agilent Technologies Inc., USA)

Analytické váhy (Sartorius, Česká republika)

Sušárna Memmert UNB 400 (Mettler GmbH, Německo)

Zdroj deionizované vody o vodivosti 0,055 μS Milli-Qplus (Millipore, USA)

Automatické pipety (Thermo Fisher Scientific, USA)

Porcelánová třecí miska, kovová třecí miska s tloučkem

Membránový filtr MCE, velikost pórů 0,45 μm

Veškeré odměrné sklo bylo před použitím opláchnuto deionizovanou vodou (0,07 μS).

3.3 Analyzované vzorky bylinných čajů

Pro stanovení obsahu vybraných prvků bylo použito celkem osm vzorků bylinných čajů, a to šest různých druhů od dvou různých výrobců zakoupených v lékárně – Megafyt Pharma (U Elektrárny 516, 252 46, Vrané nad Vltavou, Česká republika) a Leros (U Národní galerie 470, 156 00, Praha 5-Zbraslav, Česká republika), dále tři druhy čajů od výrobce Jemča (Znojemska 687, Jemnice, Česká republika) zakoupené v supermarketu. V diplomové práci byly od každého druhu čaje použity dvě různé šarže. Dostupné informace od výrobce o daném čaji jsou shrnuty v tabulkách 3.1, 3.2, 3.3. V tabulkách byly použity zkratky MP pro výrobce Megafyt Pharma, L pro výrobce Leros, J pro výrobce Jemča.

Tab. 3.1 Dostupné informace od výrobce o daném vzorku bylinného čaje

Číslo vzorku	Název	Výrobce	hmotnost sáčku/dávky g	Doporučený objem vody ml	Doporučená doba louhování min
1	Heřmánkový čaj	MP	1,5	150	15
2	Šalvějový čaj	MP	1,5	250	15
3	Meduňkový čaj	MP	1,5	250	15
4	Mátový čaj	MP	2,0	250	15
5	Řepíkový čaj	MP	1,5	250	15
6	Kopřivový čaj	MP	1,5	250	5-10
7	Heřmánkový čaj	L	1,0	250	15
8	Šalvějový čaj	L	1,5	250	10-15
9	Meduňkový čaj	L	1,0	250	5-10
10	Mátový čaj	L	1,5	250	5-7
11	Řepíkový čaj	L	1,5	250	10-15
12	Kopřivový čaj	L	1,0	250	10
13	Heřmánkový čaj	J	1,2	250	12
14	Meduňkový čaj	J	1,5	250	15
15	Mátový čaj	J	1,5	250	12

Nálevové sáčky byly balené v papírových krabičkách a plastových fóliích, od firmy Megafyt Pharma byl navíc každý sáček zvlášť zabalen v plastovém obalu.

Tab. 3.2 Dostupné informace od výrobce čajů (číslo šarže, minimální trvanlivost)

Číslo vzorku	Název	Výrobce	Číslo šarže	Minimální trvanlivost
1	Heřmánkový čaj	MP	209122022	09. 12. 2024
2	Šalvějový čaj	MP	225012023	25. 01. 2025
3	Meduňkový čaj	MP	209112022	09. 11. 2024
4	Mátový čaj	MP	202112022	02. 11. 2024
5	Řepíkový čaj	MP	230092022	30. 09. 2024
6	Kopřivový čaj	MP	10102022	10. 10. 2024
7	Heřmánkový čaj	L	L110123	04 2025
8	Šalvějový čaj	L	L060223	02 2025
9	Meduňkový čaj	L	L260123	01 2025
10	Mátový čaj	L	L210323	03 2025
11	Řepíkový čaj	L	L110423	04 2026
12	Kopřivový čaj	L	L030223	02 0025
13	Heřmánkový čaj	J	2502L108209	04 2026
14	Meduňkový čaj	J	2602L107614	04 2026
15	Mátový čaj	J	2901L107986	03 2026

Tab. 3.3 Dostupné informace od výrobce čajů (číslo šarže, minimální trvanlivost)

Číslo vzorku	Název	Výrobce	Číslo šarže	Minimální trvanlivost
1	Heřmánkový čaj	MP	219062023	19. 06. 2025
2	Šalvějový čaj	MP	205092023	05. 09. 2025
3	Meduňkový čaj	MP	219072023	19. 07. 2025
4	Mátový čaj	MP	202112022	02. 11. 2024
5	Řepíkový čaj	MP	226052023	26. 05. 2025
6	Kopřivový čaj	MP	03032023	03. 03. 2025
7	Heřmánkový čaj	L	L201123	11 2025
8	Šalvějový čaj	L	L102023	10 2025
9	Meduňkový čaj	L	L250923	09 2025
10	Mátový čaj	L	L211123	11 2025
11	Řepíkový čaj	L	L041223	12 2026
12	Kopřivový čaj	L	L281123	11 2025
13	Heřmánkový čaj	J	2301L109691	01 2027
14	Meduňkový čaj	J	2701L107614	04 2026
15	Mátový čaj	J	1402L109449	12 2026

3.4 Příprava vzorků

3.4.1 Čistící cyklus rozkladných patron

Před samotným rozkladem vzorků bylo provedeno čištění teflonových rozkladných nádob. Do nádob byl odměřen 1 ml koncentrované kyseliny chlorovodíkové a 9 ml koncentrované kyseliny dusičné a byl spuštěn čistící cyklus podle předvoleného programu (Tabulka 3.4). Po dokončení čistícího cyklu byl obsah patron zlikvidován a patrony byly vypláchnuty deionizovanou vodou (0,07 μS) a vysušeny. Vzhledem k tomu, že rozkladné nádoby nemají prakticky žádný paměťový efekt, bylo dostačující nádoby vždy po každé sérii rozkladu vzorků bylinných čajů důkladně propláchnout deionizovanou vodou (0,07 μS) a vysušit. Čistící cyklus byl znovu proveden před rozkladem certifikovaného referenčního materiálu.

Tab. 3.4 Program čištění patron

Číslo kroku	T °C	p bar	t_1 min	t_2 min	P %
1	170	35	5	5	90
2	200	35	1	15	90
3	50	35	1	10	0
4	50	0	0	0	0
5	50	0	0	0	0

t_1 – doba pro dosažení teploty T , t_2 – doba udržování teploty T , P – maximální výkon magnetronu

3.4.2 Mikrovlnný rozklad

Pro rozklad všech vzorků léčivých bylin pro přípravu čajového nálevu byl dodržován následující postup. Ze vzorku bylo odváženo množství o hmotnosti přibližně přesně 0,25 g, které bylo následně opatrně vpraveno do čistých a suchých rozkladných nádob. Poté bylo k pevným vzorkům přidáno 5 ml koncentrované kyseliny dusičné a obsah nádob byl ponechán stát přes noc v digestoři, aby došlo k řádnému smočení bylin. Následující den byly k obsahu v nádobách přidány 2 ml deionizované vody (0,055 μS). Bylo zkontrolováno, zda na stěnách neulpívají části bylin, rozkladné nádoby byly řádně uzavřeny a byl proveden rozklad v mikrovlnném mineralizačním zařízení dle zvoleného programu (Tabulka 3.5). Po ukončení rozkladného cyklu byly nádoby ponechány v zařízení stát přibližně 20 minut, aby došlo

k pozvolnému snížení teploty a tlaku. Poté byl obsah patron přelit do 50ml centrifugačních zkumavek, rozkladné nádoby byly dvakrát vypláchnuty deionizovanou vodou (0,055 μS). Byla provedena vizuální kontrola, zda byly vzorky zcela rozloženy. Následně byly zkumavky se vzorky doplněny deionizovanou vodou po rysku.

Tab. 3.5 Program mikrovlnného rozkladu bylinného materiálu

Číslo kroku	T °C	p bar	t_1 min	t_2 min	P %
1	150	30	5	10	70
2	200	35	2	20	80
3	50	20	1	10	0

t_1 – doba pro dosažení teploty T , t_2 – doba udržování teploty T , P – maximální výkon magnetronu

3.4.3 Příprava roztoku interního standardu a kalibračních roztoků

Na přípravu roztoku interního standardu byl použit roztok certifikovaného materiálu INTMIX01-250 o koncentraci prvků 10 mg l^{-1} a 2% roztok kyseliny dusičné. Bylo odpipetováno 1,25 ml zásobního roztoku a doplněno na celkový objem 250 ml 2% kyselinou dusičnou. Výsledná koncentrace prvků v roztoku interního standardu byla 0,05 mg l^{-1} .

Kalibrační řada certifikovaného referenčního materiálu AN9094MFN (koncentrace prvků 100 mg l^{-1}) byla připravena odpipetováním 0,15 ml zásobního roztoku a doplněním 2% kyselinou dusičnou na celkový objem 15 ml (výsledná koncentrace prvků v roztoku 1 mg l^{-1}) a následným pětinasobným ředěním tohoto roztoku. Výsledné koncentrace jednotlivých prvků v kalibračních roztocích byly 0; 1,6; 8,0; 40; 200 a 1000 $\mu\text{g l}^{-1}$. Kalibrační řada certifikovaného referenčního materiálu AN9091LN (koncentrace prvků 1000 mg l^{-1}) byla připravena odpipetováním 0,15 ml zásobního roztoku a doplněním 2% kyselinou dusičnou na celkový objem 15 ml (výsledná koncentrace prvků v roztoku 1 mg l^{-1}) a následným pětinasobným ředěním tohoto roztoku. Výsledné koncentrace jednotlivých prvků v kalibračních roztocích byly 0; 0,08; 0,4; 2; 10 a 50 mg l^{-1} .

3.4.4 Vzorkování bylin pro přípravu čajů

Na základě návštěvy společnosti Megafyt Pharma, kde jsem byla seznámena mimo jiné i s plněním bylinné čajové směsi do nálevových sáčků, které probíhalo pomocí velké automatické sypky, byla do diplomové práce začleněna kapitola týkající se způsobu vzorkování bylin. Při automatickém plnění nálevových sáčků bylinou může přirozeně docházet k tomu, že v nálevovém sáčku může být některá část byliny (list, květ, stonek) ve větším zastoupení. Tato skutečnost, za předpokladu že se prvky v bylině nerovnoměrně distribuují, by mohla při odběru vzorku k rozkladu z pouze jednoho nálevového sáčku zkreslovat výsledky. Vzorkování z jednoho nálevového sáčku bylo z tohoto důvodu vyhodnoceno jako nevyhovující a bylo přistoupeno k přípravě směsných vzorků z většího počtu nálevových sáčků.

Pro experiment byl zvolen jeden produkt skládající se z celé natě rostliny (Mátový čaj, Megafyt Pharma, šarže 202112022) a jeden produkt obsahující pouze určitou část rostliny, například květ (Heřmánkový čaj, Leros, šarže L110123). Obsah tří nálevových sáčků daného čaje byl důkladně zhomogenizován v porcelánové třecí misce. Ze vzniklého směsného vzorku bylo celkem do pěti rozkladných patron odváženo přibližně přesně 0,25 g (Tabulka 3.6) a byl proveden mikrovlnný rozklad (viz. kap. 3.4.2).

Tab. 3.6 Navážky jednotlivých vzorků bylinných čajů

vzorek	hmotnost g	vzorek	hmotnost g
M_MA1	0,25301	L_HE1	0,25524
M_MA2	0,24789	L_HE2	0,25702
M_MA3	0,25220	L_HE3	0,25380
M_MA4	0,25056	L_HE4	0,25095
M_MA5	0,25215	L_HE5	0,25110

M – Megaphyt Pharma, L – Leros, MA – máta čaj, HE – heřmánek

Dále bylo ze směsných vzorků odebráno množství bylinného materiálu (Tabulka 3.7) doporučené pro přípravu čajového nálevu za podmínek doporučených výrobcem (Tabulka 3.1). Po uplynulé době louhování byl nálev zfiltrován přes filtrační papír, filtrát byl odlit do dvou 50ml centrifugačních zkumavek za současného okyselení 1,5 ml koncentrované kyseliny dusičné a byl tak připraven k analýze. Zachycený pevný podíl byl na filtračním papíře v Petriho miskách ponechán volně stát v laboratoři do usušení. Po dvou dnech bylo z tohoto podílu

odebráno v duplikátech přibližně přesně 0,25 g (Tabulka 3.8) do rozkladných nádob a byl proveden mikrovlnný rozklad (viz. kap. 3.4.2).

Tab. 3.7 Navážené množství čajů pro přípravu nálevu

číslo vzorku	vzorek	výrobce	hmotnost g
1	heřmánkový čaj	Leros	0,97326
2	heřmánkový čaj	Leros	1,00183
3	mátový čaj	Megafyt Pharma	2,00131
4	mátový čaj	Megafyt Pharma	2,00549

Tab. 3.8 Navážené množství pevného podílu po louhování

číslo vzorku	vzorek	hmotnost g	hmotnost g
1	heřmánkový čaj	0,25973	0,24850
2	heřmánkový čaj	0,24769	0,25091
3	mátový čaj	0,24538	0,25327
4	mátový čaj	0,25560	0,24779

3.4.5 Celkové zastoupení prvků ve vzorcích bylinných čajů

Pro jednu ze dvou šarží vzorků bylinných čajů byl zvolen následující postup vzorkování. Celkem pět nálevových sáčků každého vzorku bylinného čaje bylo homogenizováno v porcelánové třecí misce. Z připraveného směšného vzorku bylo v duplikátech odebráno přibližně přesně 0,25 g (Tabulka 3.9) a byl proveden mikrovlnný rozklad (viz. kap. 3.4.2).

Pro druhou šarži vzorků bylinných čajů byl zvolen následující postup vzorkování. Celkem deset nálevových sáčků každého vzorku bylinného čaje bylo homogenizováno ve velké kovové třecí misce. Z připraveného směšného vzorku bylo v duplikátech odebráno přibližně přesně 0,25 g (Tabulka 3.10) a byl proveden mikrovlnný rozklad (viz. kap. 3.4.2)

Tab. 3.9 Navážky jednotlivých vzorků v duplikátech (první šarže)

vzorek	hmotnost g	vzorek	hmotnost g
M_HE1	0,25301	M_HE2	0,25524
M_ŠA1	0,25056	M_ŠA2	0,25095
M_MA1	0,24789	M_MA2	0,25702
M_ME1	0,25220	M_ME2	0,25380
M_KO1	0,25529	M_KO2	0,25489
M_ŘE1	0,25215	M_ŘE2	0,25110
L_HE1	0,25650	L_HE2	0,25600
L_ŠA1	0,24750	L_ŠA2	0,25165
L_MA1	0,24903	L_MA2	0,25188
L_ME1	0,25041	L_ME2	0,25235
L_KO1	0,25043	L_KO2	0,25025
L_ŘE1	0,25398	L_ŘE2	0,25229
J_HE1	0,25153	J_HE2	0,25070
J_MA1	0,25015	J_MA2	0,25149
L_ME1	0,25417	L_ME2	0,25655

M – Megafyt Pharma, L – Leros, J – Jemča, HE – heřmánkový čaj, ŠA – šalvějový čaj,
MA – mátový čaj, ME – meduňkový čaj, KO – kopřivový čaj, ŘE – řepíkový čaj

Tab. 3.10 Navážky jednotlivých vzorků v duplikátech (druhá šarže)

vzorek	hmotnost g	vzorek	hmotnost g
M_HE1	0,24418	M_HE2	0,24647
M_ŠA1	0,26227	M_ŠA2	0,25419
M_MA1	0,25813	M_MA2	0,26729
M_ME1	0,24659	M_ME2	0,25339
M_KO1	0,26793	M_KO2	0,24734
M_ŘE1	0,25732	M_ŘE2	0,25440
L_HE1	0,25246	L_HE2	0,25726
L_ŠA1	0,24254	L_ŠA2	0,25685
L_MA1	0,25755	L_MA2	0,25024
L_ME1	0,24352	L_ME2	0,24206
L_KO1	0,26267	L_KO2	0,25735
L_ŘE1	0,25044	L_ŘE2	0,25450
J_HE1	0,25855	J_HE2	0,24678
J_MA1	0,25050	J_MA2	0,24932
L_ME1	0,24862	L_ME2	0,24402

M – Megafyt Pharma, L – Leros, J – Jemča, HE – heřmánkový čaj, ŠA – šalvějový čaj,
MA – mátový čaj, ME – meduňkový čaj, KO – kopřivový čaj, ŘE – řepíkový čaj

3.4.6 Příprava heřmánkového výluhu

Pro experiment byl vybrán vzorek heřmánkového čaje vzhledem k jeho složení z jedné části byliny (květů heřmánku). Vzorek heřmánkový čaje byl navíc k dostání od všech třech výrobců a výsledky tak bylo možno mezi sebou navzájem porovnat. Pro experiment byly použity vzorky heřmánkové čaje z druhé šarže (Tabulka 3.3). Nejprve byly připraveny čajové nálevy dle doporučení dostupných od výrobce (Tabulka 3.1). Poté byly nálevové sáčky vyjmuty a sušeny na hodinových sklíčkách v sušárně při teplotě 90 °C po dobu čtyř a půl hodiny do konstantní hmotnosti. Nálevové sáčky byly rozstříhány, opatrně byl vyjmut veškerý čajový materiál, který byl rozdělen do tří až čtyř podílů vážící 0,2–0,3 g (Tabulka 3.11). Následně byly tyto podíly rozloženy pomocí mikrovlnného zařízení (viz. kap. 3.4.2).

Tab. 3.11 Hmotnosti podílů odebraného čajového materiálu po usušení

vzorek sáčku	podíl 1 g	podíl 2 g	podíl 3 g	podíl 4 g
Jemča	0,27285	0,24050	0,21044	-
Leros	0,26681	0,27875	0,23551	0,20065
Megafyt	0,26177	0,25680	0,23021	0,15454

Po odebrání čajového materiálu byly sáčky rozstříhány na malé části, vloženy do rozkladných patron a byla přidána rozkladná směs, tedy 7 ml koncentrované kyseliny dusičné a 1 ml koncentrované kyseliny chlorovodíkové. Patrony byly ponechány stát přibližně 20 minut v digestoři. Poté byly vzorky rozloženy pomocí přednastaveného doporučeného programu mikrovlnného zařízení pro rozklad plastových materiálů (Tabulka 3.12).

Tab. 3.12 Program mikrovlnného rozkladu nálevových sáčků

Číslo kroku	T °C	p bar	t_1 min	t_2 min	P %
1	160	35	5	15	50
2	220	35	5	25	60
3	50	25	1	10	0

t_1 – doba pro dosažení teploty T , t_2 – doba udržování teploty T , P – maximální výkon magnetronu

Nálevy byly odlity do centrifugačních zkumavek, okyseleny 2% kyselinou dusičnou a připraveny tak k analýze.

3.4.7 Certifikovaný referenční materiál

Pro ověření, zda se stanovované prvky při rozkladu neztrácí, byl proveden rozklad a analýza referenčního materiálu. Byl vybrán referenční materiál rostlinného původu METRANAL-CRM AN-BM02 Biologický materiál/Zelený čaj. Koncentrace všech prvků, které jsou stanovány v rámci této diplomové práce, byly v tomto materiálu ve vhodných rozmezech. Bylo naváženo přibližně přesně 0,2–0,3 g certifikovaného referenčního materiálu (Tabulka 3.13). Odvážené množství bylo zalito 50 ml vroucí vody a ponecháno louhovat po dobu 10 minut. Následně byl výluh chlazen ve vodní lázni po dobu 2 minut a poté pod tlakem zfiltrován přes membránový filtr. Filtrát byl připraven k analýze doplněním do celkového objemu 50 ml deionizovanou vodou za současného okyselení 1,5 ml koncentrované kyseliny dusičné. Pevný podíl po louhování zachycený filtrem byl volně ponechán stát v Petriho misce v digestoři do druhého dne. Louhování bylo provedeno celkem třikrát.

Tab. 3.13 Navážené množství certifikovaného referenčního materiálu pro přípravu výluhu

vzorek	1	2	3
hmotnost g	0,20475	0,34846	0,30542

Pro stanovení prvků v certifikovaném referenčním materiálu bylo v triplikátech odváženo přibližně přesně 0,2 g (Tabulka 3.14), které bylo opatrně vpraveno do čistých a suchých rozkladných nádob a následně byl proveden mikrovlnný rozklad (viz. kap. 3.4.2).

Tab. 3.14 Navážené množství certifikovaného referenčního materiálu pro mikrovlnný rozklad

vzorek	1	2	3
hmotnost g	0,19046	0,19859	0,20555

Ze suchého pevného podílu po louhování bylo odebráno množství pro mikrovlnný rozklad. Z nejnižší navážky pro přípravu výluhu bylo odebráno pouze jednou vzhledem k tomu, že rostlinný materiál příliš ulpíval na filtru. Zbylé dva podíly byly rozděleny na přibližně dvě stejné části (Tabulka 3.15) a opět byl proveden mikrovlnný rozklad (viz. kap. 3.4.2).

Tab. 3.15 Navážené množství suchého pevného podílu po louhování pro mikrovlnný rozklad

vzorek	1	2.1	2.2	3.1	3.2
hmotnost g	0,10368	0,10493	0,09620	0,09589	0,08501

3.5 Analýza vzorků bylin pro přípravu čajů

Prvková analýza byla provedena pomocí hmotnostního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem. Pro vyhodnocení koncentrací prvků ve vzorku byl použit vždy jeden izotop stanovovaného prvku (Tabulka 3.16).

Tab. 3.16 Vybrané izotopy analyzovaných prvků se zvolenými interními standardy

Prvek	vybraný izotop	zvolený interní standard
Sodík	^{23}Na	^{45}Sc
Hořčík	^{24}Mg	^{45}Sc
Draslík	^{39}K	^{45}Sc
Vápník	^{44}Ca	^{45}Sc
Mangan	^{55}Mn	^{45}Sc
Železo	^{56}Fe	^{45}Sc
Měď	^{63}Cu	^{45}Sc
Zinek	^{66}Zn	^{45}Sc
Arsen	^{75}As	^{89}Y
Kadmium	^{111}Cd	^{115}In
Olovo	^{208}Pb	^{209}Bi

Do automatického dávkovače byly umístěny kalibrační roztoky, roztok interního standardu a samotné vzorky, při čemž měření koncentrací sodíku, draslíku, hořčíku a vápníku ve vzorcích bylo provedeno separátně od stanovení ostatních prvků. Po uvedení přístroje do režimu měření bylo provedeno automatické ladění. Pro měření byly roztoky vzorků (kromě připravených výluhů) pětkrát ředěny vzhledem k vysoké koncentraci kyselin, která by mohla poškodit přístroj. Dále byla provedena vizuální kontrola, zda se ve vzorcích nenachází usazenina, která

by mohla ovlivňovat průběh měření. U všech měření byly použity následující experimentální podmínky (Tabulka 3.17).

Tab. 3.17 Experimentální podmínky měření přístrojem ICP-MS

Parametr přístroje	Hodnota parametru
Průtok plazmového plynu	15,0 l min ⁻¹
Průtok argonu zmlžovačem	1,05 l min ⁻¹
Průtok pomocného plynu	0,90 l min ⁻¹
Rychlost otáček peristaltické pumpy	0,10 rps
Teplota mlžné komory	2 °C
Hloubka vzorkování	10,0 mm
Radiofrekvenční výkon	1550 W
Plasma mode	General Purpose

Analýza byla provedena bez reakčního plynu („no gas mode“) na základě zkušenosti z mé bakalářské práce [70], ve které se v naprosté většině výsledky z režimů bez reakčního plynu a s reakčním plynem rovnaly, a ve které tak bylo přistoupeno k vyhodnocení výsledků z režimu bez reakčního plynu.

Po ukončení základního ladícího kroku (optimalizaci) bylo přistoupeno k měření kalibračních závislostí a zjištění základních charakteristik stanovení vybraných prvků. Údaje z kalibrační závislosti jednotlivých prvků určené přístrojem a LOD jsou uvedeny v tabulkách 3.18 a 3.19.

Tab. 3.18 Parametry kalibračních závislostí a LOD pro koncentrace sodíku, hořčíku, draslíku a vápníku ve vzorcích bylinných čajů

prvek	směrnice CPS mg ⁻¹ L	úsek CPS	R^2	LOD mg L ⁻¹
Na	26 177 000	9 258 600	0,9999	0,011
Mg	18 327 000	7 834 900	0,9999	0,003
K	51 035 000	17 890 000	0,9999	0,012
Ca	16 665 800	106 360	0,9998	0,018

Tab. 3.19 Parametry kalibračních závislostí a LOD pro koncentrace přechodných kovů
ve vzorcích bylinných čajů

prvek	směrnice CPS μg^{-1} L	úsek CPS	R^2	LOD $\mu\text{g L}^{-1}$
Mn	94 860	133 408	0,9999	0,011
Fe	71 890	6 037 500	0,9999	1,8
Cu	94 969	41 652	0,9999	0,079
Zn	11 775	452 562	0,9995	1,5
As	94 923	80 299	0,9999	0,018
Cd	94 738	233 530	0,9999	0,056
Pb	94 757	216 878	0,9999	0,013

Měření byla provedena celkem třikrát. Výsledky stanovení prvků byly prezentovány jako medián s relativní směrodatnou odchylkou. Byl vypočten konfidenční interval (CI) jako násobek směrodatné odchylky při zvolené hladině významnosti 0,95 dělený druhou odmocninou z počtu měření.

Medián je prostřední hodnota výsledků seřazených podle velikosti nebo aritmetický průměr prostředních dvou hodnot, je-li počet výsledků sudé číslo. Směrodatná odchylka (SD) je mírou preciznosti souboru všech dat, vydělením střední hodnotou souboru výsledků je vypočítána relativní směrodatná odchylka (RSD). Mez detekce (LOD) je nejmenší koncentrace analytu ve vzorku, kterou můžeme danou analytickou metodou detegovat. Pro výpočty byly použity vzorce:

$$m = c \cdot V$$

$$c = \frac{m_{\text{analyt}}}{m_{\text{vzorek}}}$$

$$SD = \frac{c}{100} \cdot RSD$$

Koncentrace naměřené přístrojem ICP-MS byly násobené příslušným ředícím faktorem. Výsledné hodnoty koncentrace jednotlivých prvků byly přepočteny na gram suché byliny. Uvedená výsledná hodnota koncentrace jednotlivých prvků je mediánem tří měření opatřená konfidenčním intervalem na hladině významnosti 0,95.

4 Výsledky a diskuse

4.1 Vzorkování bylin pro přípravu čajů

Tento experiment byl proveden za účelem zjištění vlivu způsobu vzorkování byliny (vzorkování celé natě rostliny nebo pouze jedné její části, např. květu, listu, natě), na variabilitu získaných výsledků. Výsledky tohoto experimentu jsou shrnuty v tabulkách 4.1, 4.2 a 4.3.

Bylo prokázáno, že odběr pěti podílů ze směsného vzorku (obsahující všechny části rostliny) pro mikrovlnný rozklad byl vhodně zvolen vzhledem k tomu, že relativní směrodatná odchylka výsledků byla nižší než 10 %. V případě vzorku mátového čaje lze tedy konstatovat, že díky důkladné homogenizaci a odběru pěti dílčích vzorků pro mikrovlnný rozklad byl minimalizován vliv skutečnosti, že v některých nálevkových sáčcích může být některá část byliny ve větším zastoupení. V případě vzorku heřmánkového čaje byl tento výsledek očekáván vzhledem k tomu, že se bylinná směs skládá pouze z květů heřmánku.

Tab. 4.1 Výsledky měření suchého podílu, podílu po louhování, výluhu v mg g^{-1} pro sodík, hořčík, draslík a vápník

	$c(\text{Na})$ mg g^{-1}	$c(\text{Mg})$ mg g^{-1}	$c(\text{K})$ mg g^{-1}	$c(\text{Ca})$ mg g^{-1}
heřmánkový čaj (Leros)	$0,414 \pm 0,009$	$3,05 \pm 0,40$	$27,8 \pm 3,9$	$5,16 \pm 0,12$
mátový čaj (Megafyt Pharma)	$0,580 \pm 0,015$	$7,30 \pm 0,69$	$19,5 \pm 1,8$	$14,8 \pm 0,2$
podíl po louhování (heřmánek)	$0,043 \pm 0,004$	$2,10 \pm 0,06$	$2,47 \pm 0,07$	$7,45 \pm 0,35$
podíl po louhování (máta)	$0,042 \pm 0,002$	$4,64 \pm 0,60$	$1,80 \pm 0,25$	$18,2 \pm 0,30$
výluh (heřmánek)	$0,510 \pm 0,019$	$1,58 \pm 0,05$	$26,2 \pm 0,60$	<LOD
výluh (máta)	$0,711 \pm 0,012$	$3,73 \pm 0,07$	$17,2 \pm 0,3$	$0,756 \pm 0,026$

V některých případech má podíl po louhování nebo výluh vyšší koncentraci prvků než suchý podíl. V případě výsledků měření výluhů to může být způsobeno faktem, že výluh byl připravován pouze z jednoho odběru vzorku bylinné směsi. Na výsledky měření podílu po louhování mohlo mít vliv to, že podíl po louhování nebyl rozložen celý, nýbrž byly pro mikrovlnný rozklad z podílu po louhování odebrány dvě navážky.

U alkalických kovů a kovů alkalických zemin bylo zjištěno, že sodík, hořčík a draslík jsou snadno extrahovatelné na rozdíl od vápníku. Z této čtveřice prvků je nejvíce zastoupeným prvkem draslík, naopak nejméně zastoupeným prvkem sodík. Koncentrace manganu, železa, mědi a zinku se při porovnání vzorků heřmánkového a mátového čaje pohybovaly ve stejných řádech. Z této čtveřice přechodných kovů se měď jeví jako nejsnadněji extrahovatelná. V obou vzorcích bylinných čajů byly nalezeny nízké koncentrace arsenu, kadmia a olova. Koncentrace se pohybovaly v setinách až desetínách mikrogramů na gram suché byliny. Jako nejsnadněji extrahovatelný z této trojice těžkých kovů se jeví arsen.

Tab. 4.2 Výsledky měření suchého podílu, podílu po louhování, výluhu v $\mu\text{g g}^{-1}$ pro mangan, železo, měď a zinek

	$c(\text{Mn})$ $\mu\text{g g}^{-1}$	$c(\text{Fe})$ $\mu\text{g g}^{-1}$	$c(\text{Cu})$ $\mu\text{g g}^{-1}$	$c(\text{Zn})$ $\mu\text{g g}^{-1}$
heřmánkový čaj (Leros)	101 ± 3	204 ± 17	$7,57 \pm 0,24$	$21,9 \pm 0,8$
mátový čaj (Megafyt Pharma)	107 ± 4	331 ± 14	$8,70 \pm 0,24$	$26,7 \pm 0,9$
podíl po louhování (heřmánek)	111 ± 6	306 ± 15	$4,73 \pm 0,23$	$26,7 \pm 1,9$
podíl po louhování (máta)	115 ± 3	430 ± 19	$9,15 \pm 0,07$	$31,5 \pm 0,9$
výluh (heřmánek)	$34,4 \pm 0,7$	$15,7 \pm 0,8$	$7,39 \pm 0,15$	$5,95 \pm 0,34$
výluh (máta)	$22,5 \pm 0,4$	$12,3 \pm 1,7$	$3,30 \pm 0,08$	$1,70 \pm 0,03$

Tab. 4.3 Výsledky měření suchého podílu, podílu po louhování, výluhu v $\mu\text{g g}^{-1}$ pro arsen, kadmium a olovo

	$c(\text{As})$ $\mu\text{g g}^{-1}$	$c(\text{Cd})$ $\mu\text{g g}^{-1}$	$c(\text{Pb})$ $\mu\text{g g}^{-1}$
heřmánkový čaj (Leros)	$0,173 \pm 0,041$	$0,428 \pm 0,018$	$0,320 \pm 0,011$
mátový čaj (Megafyt Pharma)	$0,382 \pm 0,047$	$0,093 \pm 0,009$	$0,552 \pm 0,022$
podíl po louhování (heřmánek)	$0,342 \pm 0,028$	$0,557 \pm 0,027$	$0,629 \pm 0,046$
podíl po louhování (máta)	$0,184 \pm 0,023$	$0,127 \pm 0,005$	$0,710 \pm 0,035$
výluh (heřmánek)	$0,276 \pm 0,030$	$0,063 \pm 0,002$	$0,103 \pm 0,015$
výluh (máta)	$0,228 \pm 0,023$	$0,045 \pm 0,001$	$0,049 \pm 0,004$

4.2 Celkové zastoupení prvků ve vzorcích bylinných čajů

V tomto experimentu byla pro každý vzorek bylinného čaje vzata k analýze jedna ze dvou zakoupených šarží. Pro každý vzorek bylinného čaje bylo celkem pět nálevových sáčků smíšeno dohromady a bylo homogenizováno v porcelánové třecí misce. Tím vznikl vždy směsný vzorek každé byliny pro přípravu čaje. Stejný postup byl opakován i pro druhou šarži každého vzorku bylinného čaje, ale místo pěti nálevových sáčků bylo homogenizováno deset. Výsledné koncentrace prvků jsou shrnuty v tabulkách 4.4–4.9.

Tab. 4.4 Výsledné koncentrace sodíku, hořčíku, draslíku a vápníku v mg g^{-1} (první šarže)

	$c(\text{Na})$ mg g^{-1}	$c(\text{Mg})$ mg g^{-1}	$c(\text{K})$ mg g^{-1}	$c(\text{Ca})$ mg g^{-1}
M_HE	$1,04 \pm 0,02$	$3,29 \pm 0,01$	$27,9 \pm 0,2$	$8,50 \pm 0,20$
M_KO	<LOD	$5,20 \pm 0,04$	$22,8 \pm 0,2$	$30,8 \pm 0,8$
M_MA	$0,685 \pm 0,017$	$7,18 \pm 0,36$	$17,9 \pm 0,6$	$17,1 \pm 0,6$
M_ME	<LOD	$8,18 \pm 0,23$	$18,6 \pm 0,6$	$14,0 \pm 0,5$

	$c(\text{Na})$ mg g^{-1}	$c(\text{Mg})$ mg g^{-1}	$c(\text{K})$ mg g^{-1}	$c(\text{Ca})$ mg g^{-1}
M_ŠA	<LOD	$4,89 \pm 0,03$	$13,5 \pm 0,1$	$18,7 \pm 0,3$
M_ŘE	<LOD	$2,74 \pm 0,01$	$15,1 \pm 0,2$	$11,8 \pm 0,1$
L_HE	$0,533 \pm 0,002$	$3,84 \pm 0,34$	$29,3 \pm 2,9$	$9,61 \pm 0,31$
L_KO	<LOD	$3,99 \pm 0,04$	$26,4 \pm 1,0$	$22,3 \pm 0,1$
L_MA	$0,769 \pm 0,147$	$5,63 \pm 0,21$	$20,7 \pm 0,6$	$16,7 \pm 1,6$
L_ME	<LOD	$3,59 \pm 0,05$	$23,9 \pm 0,1$	$14,3 \pm 0,1$
L_ŠA	<LOD	$5,20 \pm 0,50$	$12,8 \pm 0,8$	$15,7 \pm 0,8$
L_ŘE	<LOD	$3,38 \pm 0,08$	$11,3 \pm 0,3$	$15,1 \pm 0,3$
J_HE	$2,72 \pm 0,03$	$2,83 \pm 0,01$	$24,3 \pm 0,4$	$7,80 \pm 0,07$
J_MA	$5,13 \pm 0,46$	$5,60 \pm 0,31$	$31,9 \pm 2,2$	$12,0 \pm 0,4$
J_MED	<LOD	$4,10 \pm 0,13$	$21,4 \pm 0,4$	$13,2 \pm 0,4$

M – Megafyt Pharma, L – Leros, J – Jemča, HE – heřmánkový čaj, ŠA – šalvějový čaj, MA – mátový čaj, ME – meduňkový čaj, KO – kopřivový čaj, ŘE – řepíkový čaj

Tab. 4.5 Výsledné koncentrace manganu, železa, mědi a zinku v $\mu\text{g g}^{-1}$ (první šarže)

	$c(\text{Mn})$ $\mu\text{g g}^{-1}$	$c(\text{Fe})$ $\mu\text{g g}^{-1}$	$c(\text{Cu})$ $\mu\text{g g}^{-1}$	$c(\text{Zn})$ $\mu\text{g g}^{-1}$
M_HE	$50,0 \pm 0,92$	134 ± 8	$10,5 \pm 0,4$	171 ± 1
M_KO	$85,6 \pm 0,1$	237 ± 1	$7,15 \pm 0,27$	150 ± 1
M_MA	111 ± 2	378 ± 14	$10,6 \pm 0,7$	136 ± 1
M_ME	$48,5 \pm 1,1$	139 ± 2	$8,55 \pm 1,10$	$83,2 \pm 1,4$
M_ŠA	$43,3 \pm 2,6$	418 ± 25	$9,60 \pm 0,17$	210 ± 6
M_ŘE	$33,3 \pm 0,1$	146 ± 4	$7,84 \pm 0,48$	$84,1 \pm 0,2$
L_HE	108 ± 10	238 ± 6	$8,33 \pm 1,23$	110 ± 5
L_KO	$42,1 \pm 0,2$	176 ± 4	$7,33 \pm 0,74$	$76,6 \pm 2,8$
L_MA	101 ± 1	404 ± 16	$8,01 \pm 0,71$	109 ± 5
L_ME	$69,5 \pm 4,2$	599 ± 11	$10,1 \pm 0,70$	139 ± 2
L_ŠA	$88,7 \pm 9,7$	1746 ± 163	$8,15 \pm 0,78$	$85,4 \pm 0,8$
L_ŘE	$45,9 \pm 3,6$	493 ± 4	$6,39 \pm 0,76$	$99,4 \pm 1,1$
J_HE	$63,4 \pm 1,9$	186 ± 1	$7,27 \pm 0,21$	$68,7 \pm 1,1$
J_MA	$67,0 \pm 6,5$	512 ± 4	$14,2 \pm 1,6$	$80,3 \pm 1,1$
J_MED	$54,9 \pm 1,5$	292 ± 2	$9,72 \pm 0,08$	142 ± 1

M – Megafyt Pharma, L – Leros, J – Jemča, HE – heřmánkový čaj, ŠA – šalvějový čaj, MA – mátový čaj, ME – meduňkový čaj, KO – kopřivový čaj, ŘE – řepíkový čaj

Tab. 4.6 Výsledné koncentrace arsenu, kadmia a olova v $\mu\text{g g}^{-1}$ (první šarže)

	$c(\text{As})$ $\mu\text{g g}^{-1}$	$c(\text{Cd})$ $\mu\text{g g}^{-1}$	$c(\text{Pb})$ $\mu\text{g g}^{-1}$
M_HE	<LOD	$0,197 \pm 0,005$	<LOD
M_KO	$0,142 \pm 0,008$	<LOD	$0,421 \pm 0,001$
M_MA	$0,120 \pm 0,006$	<LOD	$0,485 \pm 0,006$
M_ME	$0,064 \pm 0,009$	<LOD	<LOD
M_ŠA	$0,139 \pm 0,004$	<LOD	$0,450 \pm 0,002$
M_ŘE	<LOD	<LOD	<LOD
L_HE	$0,079 \pm 0,002$	<LOD	$0,273 \pm 0,013$
L_KO	$0,118 \pm 0,034$	<LOD	$0,324 \pm 0,020$
L_MA	$0,129 \pm 0,017$	<LOD	$0,538 \pm 0,048$
L_ME	$0,225 \pm 0,033$	<LOD	$0,527 \pm 0,013$
L_ŠA	$0,801 \pm 0,012$	<LOD	$1,88 \pm 0,21$
L_ŘE	$0,180 \pm 0,011$	<LOD	$0,859 \pm 0,086$
J_HE	<LOD	$0,718 \pm 0,015$	<LOD
J_MA	$0,183 \pm 0,012$	<LOD	$0,291 \pm 0,045$
J_MED	$0,093 \pm 0,007$	<LOD	$0,349 \pm 0,021$

M – Megafyt Pharma, L – Leros, J – Jemča, HE – heřmánkový čaj, ŠA – šalvějový čaj,
MA – mátový čaj, ME – meduňkový čaj, KO – kopřivový čaj, ŘE – řepíkový čaj

 Tab. 4.7 Výsledné koncentrace sodíku, hořčíku, draslíku a vápníku v mg g^{-1} (druhá šarže)

	$c(\text{Na})$ mg g^{-1}	$c(\text{Mg})$ mg g^{-1}	$c(\text{K})$ mg g^{-1}	$c(\text{Ca})$ mg g^{-1}
M_HE	$0,843 \pm 0,022$	$3,02 \pm 0,01$	$29,0 \pm 0,1$	$8,67 \pm 0,03$
M_KO	<LOD	$4,70 \pm 0,59$	$21,5 \pm 2,1$	$30,9 \pm 5,1$
M_MA	$0,489 \pm 0,004$	$6,38 \pm 0,22$	$16,5 \pm 0,6$	$15,2 \pm 0,5$
M_ME	<LOD	$6,15 \pm 0,72$	$20,1 \pm 1,5$	$13,4 \pm 1,4$
M_ŠA	<LOD	$4,60 \pm 0,31$	$13,8 \pm 1,1$	$20,6 \pm 1,1$
M_ŘE	<LOD	$2,85 \pm 0,12$	$16,3 \pm 0,9$	$13,5 \pm 0,8$
L_HE	$0,358 \pm 0,026$	$3,58 \pm 0,24$	$26,0 \pm 2,0$	$7,18 \pm 0,57$
L_KO	<LOD	$4,34 \pm 0,03$	$27,9 \pm 0,5$	$31,3 \pm 0,9$
L_MA	$0,259 \pm 0,026$	$2,67 \pm 0,15$	$21,4 \pm 0,9$	$15,2 \pm 0,7$
L_ME	<LOD	$3,40 \pm 0,28$	$28,5 \pm 1,3$	$11,6 \pm 0,8$
L_ŠA	<LOD	$5,42 \pm 0,31$	$13,9 \pm 0,6$	$17,4 \pm 1,5$
L_ŘE	<LOD	$3,64 \pm 0,48$	$12,0 \pm 1,4$	$15,4 \pm 2,1$

	$c(\text{Na})$ mg g^{-1}	$c(\text{Mg})$ mg g^{-1}	$c(\text{K})$ mg g^{-1}	$c(\text{Ca})$ mg g^{-1}
J_HE	$6,43 \pm 0,11$	$2,76 \pm 0,05$	$20,2 \pm 0,3$	$9,07 \pm 0,17$
J_MA	$5,78 \pm 0,14$	$6,01 \pm 0,04$	$32,0 \pm 0,1$	$14,3 \pm 0,7$
J_MED	<LOD	$3,56 \pm 0,02$	$20,5 \pm 0,1$	$12,6 \pm 0,1$

M – Megafyt Pharma, L – Leros, J – Jemča, HE – heřmánkový čaj, ŠA – šalvějový čaj, MA – mátový čaj,
ME – meduňkový čaj, KO – kopřivový čaj, ŘE – řepíkový čaj

Tab. 4.8 Výsledné koncentrace manganu, železa, mědi a zinku v $\mu\text{g g}^{-1}$ (druhá šarže)

	$c(\text{Mn})$ $\mu\text{g g}^{-1}$	$c(\text{Fe})$ $\mu\text{g g}^{-1}$	$c(\text{Cu})$ $\mu\text{g g}^{-1}$	$c(\text{Zn})$ $\mu\text{g g}^{-1}$
M_HE	$38,4 \pm 2,6$	109 ± 10	$9,93 \pm 0,86$	177 ± 1
M_KO	$73,4 \pm 2,8$	184 ± 5	$5,31 \pm 0,32$	149 ± 8
M_MA	103 ± 3	335 ± 28	$8,73 \pm 0,44$	131 ± 1
M_ME	$41,8 \pm 1,1$	128 ± 2	$6,89 \pm 0,09$	$84,3 \pm 2,4$
M_ŠA	$43,8 \pm 1,0$	423 ± 14	$9,93 \pm 0,01$	203 ± 2
M_ŘE	$33,0 \pm 1,1$	107 ± 10	$6,69 \pm 0,07$	$82,8 \pm 0,5$
L_HE	102 ± 2	431 ± 10	$7,58 \pm 0,48$	110 ± 4
L_KO	$74,1 \pm 0,3$	427 ± 7	$7,61 \pm 0,14$	$73,8 \pm 3,6$
L_MA	$75,0 \pm 0,5$	515 ± 12	$7,26 \pm 0,14$	107 ± 3
L_ME	$45,5 \pm 1,1$	710 ± 40	$7,74 \pm 0,05$	144 ± 1
L_ŠA	130 ± 2	3042 ± 1	$9,55 \pm 0,28$	$85,4 \pm 1,1$
L_ŘE	$87,2 \pm 0,3$	1081 ± 21	$7,29 \pm 0,21$	$99,7 \pm 2,4$
J_HE	$53,9 \pm 5,2$	335 ± 27	$8,32 \pm 0,13$	$68,3 \pm 2,7$
J_MA	$76,3 \pm 5,9$	677 ± 68	$16,4 \pm 0,27$	$80,6 \pm 1,5$
J_MED	$54,4 \pm 0,7$	296 ± 8	$9,22 \pm 0,24$	147 ± 1

M – Megafyt Pharma, L – Leros, J – Jemča, HE – heřmánkový čaj, ŠA – šalvějový čaj, MA – mátový čaj,
ME – meduňkový čaj, KO – kopřivový čaj, ŘE – řepíkový čaj

Tab. 4.9 Výsledné koncentrace arsenu, kadmia a olova v $\mu\text{g g}^{-1}$ (druhá šarže)

	$c(\text{As})$ $\mu\text{g g}^{-1}$	$c(\text{Cd})$ $\mu\text{g g}^{-1}$	$c(\text{Pb})$ $\mu\text{g g}^{-1}$
M_HE	$0,120 \pm 0,004$	$0,159 \pm 0,012$	<LOD
M_KO	$0,192 \pm 0,017$	<LOD	$0,273 \pm 0,032$
M_MA	$0,131 \pm 0,006$	<LOD	$0,377 \pm 0,030$
M_ME	$0,584 \pm 0,002$	<LOD	<LOD
M_ŠA	$0,163 \pm 0,002$	<LOD	$0,513 \pm 0,007$
M_ŘE	$0,203 \pm 0,042$	<LOD	<LOD
L_HE	$0,125 \pm 0,008$	$0,387 \pm 0,020$	$0,374 \pm 0,056$
L_KO	$0,159 \pm 0,011$	<LOD	$0,683 \pm 0,081$
L_MA	$0,192 \pm 0,009$	<LOD	$0,706 \pm 0,043$
L_ME	$0,256 \pm 0,015$	<LOD	$0,729 \pm 0,093$
L_ŠA	$1,13 \pm 0,01$	$0,129 \pm 0,011$	$3,26 \pm 0,12$
L_ŘE	$0,314 \pm 0,011$	<LOD	$1,91 \pm 0,14$
J_HE	$0,085 \pm 0,004$	$0,243 \pm 0,014$	<LOD
J_MA	$0,131 \pm 0,005$	<LOD	$0,346 \pm 0,052$
J_MED	$0,109 \pm 0,007$	<LOD	$0,689 \pm 0,453$

M – Megafyt Pharma, L – Leros, J – Jemča, HE – heřmánkový čaj, ŠA – šalvějový čaj, MA – mátový čaj, ME – meduňkový čaj, KO – kopřivový čaj, ŘE – řepíkový čaj

Ve shodě s výsledky z experimentu vzorkování bylin pro přípravu čaje, pro všechny vzorky bylinných čajů platí, že z alkalických kovů a kovů alkalických zemin byl nejvíce zastoupen draslík, nejméně sodík. Ze čtveřice přechodných kovů (Mn, Fe, Cu, Zn) bylo ve všech vzorcích bylinných čajů nejvíce zastoupeno železo. Nejvyšší koncentrace železa byla nalezena u vzorku L_ŠA z obou šarží ($1746 \mu\text{g g}^{-1}$ a $3042 \mu\text{g g}^{-1}$). Koncentrace manganu se pohybovaly v rozmezí $33,0\text{--}130 \mu\text{g g}^{-1}$, koncentrace mědi v rozmezí $5,31\text{--}16,4 \mu\text{g g}^{-1}$ a koncentrace zinku v rozmezí $76,6\text{--}210 \mu\text{g g}^{-1}$. Nejvyšší koncentrace zinku byla nalezena ve vzorku M_ŠA z obou šarží ($210 \mu\text{g g}^{-1}$ a $203 \mu\text{g g}^{-1}$).

Nejvyšší koncentrace arsenu byla nalezena ve vzorku L_ŠA z obou šarží ($0,801 \mu\text{g g}^{-1}$ a $1,13 \mu\text{g g}^{-1}$). Nejvyšší naměřená koncentrace kadmia byla $0,718 \mu\text{g g}^{-1}$, při čemž obsah kadmia byl potvrzen pouze ve vzorcích heřmánkového a šalvějového čaje. Nejvyšší naměřená koncentrace olova byla $3,260 \mu\text{g g}^{-1}$ u vzorku L_ŠA z obou šarží. Z toho lze usuzovat, že tyto dva druhy bylin mají větší schopnost kumulovat těžké kovy ve svých částech.

Světová zdravotnická organizace [71] doporučuje limity 10 mg kg^{-1} pro arsen, 10 mg kg^{-1} pro olovo a $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ pro kadmium v potravinách. V Evropského úřadu pro bezpečnost potravin [72] jsou uvedeny limity pro olovo 5 mg kg^{-1} a pro kadmium $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ v potravinách. Koncentrace arsenu, olova a kadmia byly ve vybraných bylinných čajích velmi nízké. Pokud navíc vezmeme v potaz, že těžké kovy nebyly v provedených experimentech snadno extrahovatelné a do těla člověka se tak dostávají ještě v nižším množství, nepředstavuje konzumace čaje pro uživatele žádné zdravotní riziko.

Výsledné koncentrace prvků v obou šaržích jsou srovnatelné nebo se alespoň řádově shodují, stejný závěr byl vyvozen i při porovnání výsledků všech výrobců. Lze tedy konstatovat, že výrobce Jemča zakoupený v supermarketu je, co se týká prvkového obsahu, stejně kvalitní jako výrobci zakoupení v lékárnách – Megafyt Pharma a Leros.

Pouze při vyhodnocování výsledků bylo pozorováno, že u výsledků měření z druhého vzorkování (směsný vzorek z deseti nálevových sáčků) byly o něco nižší směrodatné odchylky, lze tedy tento způsob vzorkování a výsledky měření považovat za přesnější.

Postup úpravy vzorků bylinných čajů smočením přibližně přesně $0,25 \text{ g}$ vzorku 5 ml koncentrované kyseliny dusičné byl zvolen vhodně. Nedošlo k nadnášení vzorků a vzorky byly dostatečně smočeny. Rychlá metodika rozkladu s minimálními ztrátami byla docílena pomocí mikrovlnného rozkladu za zvýšené teploty a tlaku.

4.3 Příprava heřmánkového výluhu a jeho analýza

Cílem tohoto experimentu bylo stanovení a porovnání vybraných prvků *a)* v připravených výluzích heřmánku, *b)* ve vysušeném pevném podílu po louhování a *c)* v nálevových sáčcích. Výsledky experimentu jsou shrnuty v tabulkách 4.10, 4.11 a 4.12.

Součtem hodnot koncentrací daného prvku ve výluhu a v suchém pevném podílu po louhování byla získána výsledná hodnota koncentrace, která ve většině vzorků velmi dobře odpovídala získané hodnotě celkové koncentrace daného prvku zastoupeného v původní bylině pro přípravu čaje před louhováním (viz kapitola 4.2). Lze usoudit, že této shody bylo dosaženo rozložením celého podílu po louhování v porovnání s mikrovlnným rozkladem dvou navážek podílu po louhování (viz kap. 4.1).

Naměřené koncentrace sodíku, hořčíku, draslíku a vápníku v nálevových sáčcích s větší pravděpodobností pocházely z ulpívajících částí rostlin. U obsahů manganu, železa, mědi a zinku by mohl být brán v potaz původ z materiálu sáčku. Z trojice prvků arsen, kadmium

a olovo byl v nálevových sáčcích nalezen pouze arsen, u kterého můžeme s jistotou konstatovat, že pochází z materiálu sáčku vzhledem k tomu, že nalezené koncentrace jsou minimálně dvojnásobné jak v případě celkového zastoupení arsenu v heřmánkovém čaji (Tabulka 4.9).

Způsob úpravy nálevových sáčků byl zvolen vhodně vzhledem k tomu, že výsledkem mikrovlnného rozkladu byly čiré roztoky.

Tab. 4.10 Výsledky měření výluhu, sáčku, podílu po louhování v mg g⁻¹ pro sodík, hořčík, draslík a vápník

	<i>c</i> (Na) mg g ⁻¹	<i>c</i> (Mg) mg g ⁻¹	<i>c</i> (K) mg g ⁻¹	<i>c</i> (Ca) mg g ⁻¹
výluh (Jemča)	5,92 ± 0,22	1,58 ± 0,02	17,4 ± 0,1	1,40 ± 0,01
výluh (Leros)	0,357 ± 0,004	1,76 ± 0,03	19,6 ± 0,3	1,26 ± 0,02
výluh (Megafyt)	0,746 ± 0,011	1,39 ± 0,02	20,4 ± 0,4	1,39 ± 0,01
sáček (Jemča)	0,898 ± 0,009	0,999 ± 0,002	1,89 ± 0,06	3,65 ± 0,21
sáček (Leros)	0,053 ± 0,004	0,966 ± 0,003	4,85 ± 0,35	1,65 ± 0,12
sáček (Megafyt)	0,249 ± 0,010	1,46 ± 0,01	5,44 ± 0,32	4,35 ± 0,11
podíl po louhování (Jemča)	0,754 ± 0,120	1,50 ± 0,05	3,04 ± 0,08	6,31 ± 0,16
podíl po louhování (Leros)	0,135 ± 0,009	2,08 ± 0,34	7,23 ± 0,87	5,65 ± 1,22
podíl po louhování (Megafyt)	0,495 ± 0,011	2,38 ± 0,10	10,9 ± 0,2	9,82 ± 0,85

Tab. 4.11 Výsledky měření výluhu, sáčku, podílu po louhování v µg g⁻¹ pro mangan, železa, měď a zinek

	<i>c</i> (Mn) µg g ⁻¹	<i>c</i> (Fe) µg g ⁻¹	<i>c</i> (Cu) µg g ⁻¹	<i>c</i> (Zn) µg g ⁻¹
výluh (Jemča)	16,4 ± 0,2	9,23 ± 0,15	4,02 ± 0,36	<LOD
výluh (Leros)	25,5 ± 0,3	2,51 ± 0,09	4,80 ± 0,25	<LOD
výluh (Megafyt)	8,07 ± 0,02	3,17 ± 0,20	4,59 ± 0,33	6,29 ± 0,66
sáček (Jemča)	19,6 ± 0,6	123 ± 6	2,26 ± 0,06	12,8 ± 1,3
sáček (Leros)	25,4 ± 0,7	76,0 ± 5,4	3,14 ± 0,10	<LOD
sáček (Megafyt)	26,6 ± 0,8	78,9 ± 1,8	4,13 ± 0,01	13,6 ± 1,0

	$c(\text{Mn})$ $\mu\text{g g}^{-1}$	$c(\text{Fe})$ $\mu\text{g g}^{-1}$	$c(\text{Cu})$ $\mu\text{g g}^{-1}$	$c(\text{Zn})$ $\mu\text{g g}^{-1}$
podíl po louhování (Jemča)	$46,4 \pm 0,8$	411 ± 21	$3,84 \pm 0,31$	<LOD
podíl po louhování (Leros)	$73,3 \pm 1,3$	411 ± 86	$5,29 \pm 0,75$	<LOD
podíl po louhování (Megafyt)	$45,8 \pm 1,6$	159 ± 10	$7,03 \pm 0,55$	<LOD

Tab. 4.12 Výsledky měření výluhu, sáčku, podílu po louhování v $\mu\text{g g}^{-1}$ pro arsen, kadmium a olovo

	$c(\text{As})$ $\mu\text{g g}^{-1}$	$c(\text{Cd})$ $\mu\text{g g}^{-1}$	$c(\text{Pb})$ $\mu\text{g g}^{-1}$
výluh (Jemča)	$0,037 \pm 0,002$	<LOD	<LOD
výluh (Leros)	$0,027 \pm 0,001$	$0,235 \pm 0,008$	<LOD
výluh (Megafyt)	$0,015 \pm 0,001$	$0,173 \pm 0,003$	<LOD
sáček (Jemča)	$0,244 \pm 0,012$	<LOD	<LOD
sáček (Leros)	$0,230 \pm 0,023$	<LOD	<LOD
sáček (Megafyt)	$0,218 \pm 0,016$	<LOD	<LOD
podíl po louhování (Jemča)	<LOD	$0,242 \pm 0,005$	$0,212 \pm 0,043$
podíl po louhování (Leros)	$0,200 \pm 0,020$	$0,363 \pm 0,067$	$0,493 \pm 0,022$
podíl po louhování (Megafyt)	<LOD	$0,190 \pm 0,005$	<LOD

4.4 Certifikovaný referenční materiál

Za účelem ověření správnosti výsledků analytické metody byl proveden rozklad a analýza certifikovaného referenčního materiálu. Vybrané stanovované alkalického kovy, kovy alkalických zemin a přechodné kovy byly v referenčním materiálu obsaženy ve vhodných koncentracích. Z výsledků v tabulkách 4.13 a 4.14 vyplývá, že koncentrace stanovené v referenčním materiálu jsou ve shodě s certifikovanými (Tab. 4.15).

Tab. 4.13 Výsledky stanovení prvků v certifikovaném referenčním materiálu: suchý podíl, výluh, podíl po louhování v mg g⁻¹ pro sodík, hořčík, draslík a vápník

prvek	suchý podíl mg g ⁻¹	výluh mg g ⁻¹	podíl po louhování mg g ⁻¹
Na	0,050 ± 0,004	0,053 ± 0,003	0,003 ± 0,001
Mg	1,88 ± 0,02	0,553 ± 0,001	1,74 ± 0,03
K	15,4 ± 0,2	12,5 ± 0,3	2,00 ± 0,15
Ca	4,88 ± 0,05	0,201 ± 0,013	5,27 ± 0,17

Tab. 4.14 Výsledky stanovení prvků v certifikovaném referenčním materiálu: suchý podíl, výluh, podíl po louhování v µg g⁻¹ pro mangan, železo, měď, zinek, arsen, kadmium, olovo

prvek	suchý podíl µg g ⁻¹	výluh µg g ⁻¹	podíl po louhování µg g ⁻¹
Mn	1187 ± 6	230 ± 6	1102 ± 49
Fe	193 ± 9	1,12 ± 0,11	119 ± 16
Cu	12,7 ± 0,1	5,11 ± 0,63	10,9 ± 1,4
Zn	25,8 ± 0,3	0,940 ± 0,052	24,8 ± 1,9
As	0,132 ± 0,031	0,068 ± 0,007	0,075 ± 0,008
Cd	0,073 ± 0,028	0,010 ± 0,002	0,085 ± 0,013
Pb	1,51 ± 0,03	0,042 ± 0,002	1,41 ± 0,14

Tab. 4.15 Certifikované hodnoty koncentrací prvků v referenčním materiálu METRANAL-CRM AN-BM02

prvek	koncentrace prvku µg g ⁻¹
Na	43,4 ± 5,2
Mg	1930 ± 71
K	16000 ± 512
Ca	5100 ± 278
Mn	1200 ± 41
Fe	216 ± 15
Cu	13,2 ± 0,8
Zn	26,2 ± 0,9
As	0,156 ± 0,012
Cd	0,075 ± 0,004
Pb	1,54 ± 0,09

Dle uvedených hodnot je zřejmé, že k žádným ztrátám prvků během mikrovlnného rozkladu nedochází, proto i pro stanovení vybraných prvků lze metodu považovat za dostatečně přesnou.

Nejvíce zastoupeným a nejlépe extrahovatelným prvkem byl draslík, což se shoduje se všemi zkoumanými vzorky bylinných čajů.

5 Závěr

Předmětem předkládané diplomové práce bylo stanovení koncentrací sodíku, hořčíku, draslíku, vápníku, manganu, mědi, železa, zinku, arsenu, kadmia a olova ve vybraných bylinách bylinných čajích. Pro analýzu byly vybrány vzorky od dvou konkurenčních výrobců dostupné na českém farmaceutickém trhu a vzorky od významného českého výrobce dostupné v běžném obchodě. Cílem této práce bylo vzájemné porovnání vybraných produktů daných výrobců z hlediska jejich prvkového složení. Byly provedeny experimenty zahrnující optimalizaci vzorkování. Dále byl proveden rozklad nálevových sáčků u vybraných vzorků a byla provedena jejich prvková analýza. Bylo zjištěno, že koncentrace prvků jsou ve většině případů řádově srovnatelné jak podle druhu rostliny, tak i podle výrobce. Výsledné koncentrace hořčíku a draslíku naměřené v bylinných nálevech prokázaly, že tyto dva prvky jsou snadno extrahovatelné a nálevy mohou být významným zdrojem těchto dvou minerálů. Přechodné kovy se extrahovaly do roztoku v menší míře. Bylo prokázáno, že arsen, kadmium a olovo se ve vybraných vzorcích bylinných čajů vyskytují pouze v minimálním množství a nepředstavují tak pro člověka zdravotní riziko. Obsah těžkých kovů byl nalezen i v nálevových sáčcích. Dosažené výsledky jsou ve většině případů srovnatelné s výsledky v uvedených studiích i za použití jiných analytických technik.

V této práci bylo také ověřeno, že metoda ICP-MS byla díky nízkým limitům detekce vhodná pro stanovení koncentrací všech vybraných kovů. Závěrem je nutné zmínit, že všechny výsledky experimentů uvedených v této diplomové práci byly získány pomocí neakreditovaných metod stanovení uvedených prvků. To stejné platí i o způsobu odběru vzorku a přípravě vzorku k analýze (vzorkování). Uvedené výsledky tudíž nelze využít pro komerční účely, ale slouží pouze pro potřeby této kvalifikační práce.

Díky návštěvě společnosti Megafyt Pharrma jsem byla seznámena s celým procesem a legislativou výroby bylinných čajových směsí.

Literatura

1. Poswal, F. S., Russell, G., Mackonochie, M. *et al.*: Herbal teas and their health benefits: A Scoping Review. *Plant Foods Hum. Nutr.* **74**, 266–276 (2019)
2. Korbelař, J., Endris, Z.: *Naše rostliny v lékařství*. 6. vydání Praha, Avicenum (1985)
3. *Český lékopis 2024*, Grada, Praha 2024
4. Kotolová, H.: Nezávažné trávicí potíže a možnosti samoléčení. *Prakt. lékařem.* **15**, 46–53 (2019)
5. Patzelt-Wenzler, R., Ponce-Poschl, E.: Proof of efficacy of Kamillosan(R) cream in atopic eczema. *Eur J Med Res.* **5**, 171–175 (2000)
6. Carl, W., Emrich, L. S.: Management of oral mucositis during local radiation and systemic chemotherapy: a study of 98 patients. *J Prosthet Dent.* **66**, 361–369 (1991)
7. Chang, S., Chen, C.: Effects of an intervention with drinking chamomile tea on sleep quality and depression in sleep disturbed postnatal women: a randomized control trial. *J Adv Nurs.* **72**, 306–315 (2016)
8. Státní ústav pro kontrolu léčiv: HEŘMÁNKOVÝ ČAJ. Dostupné https://prehledy.sukl.cz/prehled_leciv.html#/leciva/0115252 (cit. 10. 5. 2024)
9. Koupý, D., Kotolová, H., Kučerová, J.: Současné fototerapeutické možnosti v léčbě diabetes mellitus. *Prakt. lékařem.* **10**, 229–232 (2014)
10. Dew, H., Evans, B., Rhodes, J.: Peppermint oil for the irritable bowel syndrome: A multicentre trial. *Br J Clin Pract.* **38**, 394–398 (1984)
11. Státní ústav pro kontrolu léčiv: MÁTOVÝ ČAJ. Dostupné https://prehledy.sukl.cz/prehled_leciv.html#/detail-reg/0059750 (cit. 10. 5. 2024)
12. Kašparová, M.: Fytoterapeutika s tlumivým účinkem na centrální nervový systém. *Prakt. lékařem.* **12**, 182–185 (2016)
13. Huang, L., *et al.*: Pharmacological profile of essential oils derived from *Lavandula angustifolia* and *Melissa officinalis* with anti-agitation properties: focus on ligandgated channels. *J Pharm Pharmacol.* **60**, 1515–1522 (2008)
14. Státní ústav pro kontrolu léčiv: MEDUŇKOVÝ ČAJ. Dostupné https://prehledy.sukl.cz/prehled_leciv.html#/detail-reg/0115269 (cit. 12. 4. 2024)
15. Státní ústav pro kontrolu léčiv: ŘEPÍKOVÝ ČAJ. Dostupné https://prehledy.sukl.cz/prehled_leciv.html#/detail-reg/0057667 (cit. 12. 4. 2024)
16. Karličková, J.: Terapeutické účinky *Salvia officinalis*. *Prakt. lékařem.* **1**, 33–34 (2007)

17. Státní ústav pro kontrolu léčiv: ČAJ ZE ŠALVĚJE. Dostupné https://prehledy.sukl.cz/prehled_leciv.html#/detail-reg/0115287 (cit. 12. 4. 2024)
18. Graudal, N. A., Hubeck-Graudal, T., Jurgens, G.: Effects of low-sodium diet vs. high-sodium diet on blood pressure, renin, aldosterone, catecholamines, cholesterol, and triglyceride (Cocherane Review). *Am J Hypertens.* **25**, 1–15 (2012)
19. Gardner, H., Rundek, T., Wright, C. B., *et al.*: Dietary sodium and risk of stroke in the Northern Manhattan Study. *Stroke.* **43**, 1200–1205 (2012)
20. Bednář, J., Vranová, V.: Úloha sodíku v prevenci a léčbě hypertenze – praktická realizace. *Interní Med.* **13**, 88–89 (2011)
21. Kohout, P., *et al.*: *Klinická výživa*. 1. vydání Praha, Galén (2021)
22. Prynne, C. J., Mishra, G. D., *et al.*: Fruit and vegetable intakes and bone mineral status: a cross-sectional study in 5 age and sex cohorts. *Am J Clin Nutr.* **83**, 1420–1428 (2006)
23. Weaver, C. M.: Potassium and health. *Adv. Nutr.* **4**, 368S–377S (2013)
24. D’Elia, L., Barba, G., Cappuccio, F. P., Strazzullo, P.: Potassium intake, stroke, and cardiovascular disease. A meta-analysis of prospective studies. *J Am Coll Cardiol.* **57**, 1210–1219 (2011)
25. Chatterjee, R., Biggs, M. L., *et al.*: Potassium and glucose measures in older adults: The cardiovascular health study. *J Gerontol.* **70**, 255–261 (2015)
26. Wilhelm, Z.: Co je dobré vědět o draslíku. *Prakt. lékáren.* **5**, 236–237 (2006)
27. Wilhelm, Z.: Co je dobré vědět o hořčíku. *Prakt. lékáren.* **3**, 132–138 (2007)
28. Tarleton, E. K., Littenberg, B.: Magnesium intake and depression in adults. *J Am Board Fam Med.* **28**, 249–256 (2015)
29. Hruby, A., Guasch-Ferré, M., Bhupathiraju, S. N., *et al.*: Magnesium intake, quality of carbohydrates, and risk of type 2 diabetes: Results from three U.S. Cohorts. *Diabetes care.* **40**, 1695–1702 (2017)
30. Verma, H., Garg, R.: Effect of magnesium supplementation on type 2 diabetes associated cardiovascular risk factors: a systematic review and meta-analysis. *J Hum Nutr Diet.* **30**, 621–633 (2017)
31. Mazidi, M., Rezaie, P., Banach, M.: Effect of magnesium supplements on serum C-reactive protein: a systematic review and meta-analysis. *Arch Med Sci.* **14**, 707–716 (2018)
32. Zhang, Y., Chen, C., *et al.*: Association of magnesium intake with sleep duration and sleep quality: findings from the CARDIA study. *Sleep.* **45**, 1–8 (2022)
33. Brini, M., Ottolini, D., *et al.*: Calcium in health and disease, interrelation between essential metal ions and human diseases. *Metal Ions in Life Sciences*, **13**, 82–137 (2013)

34. Baaij, J., H., F., Hoenderop, J., G., J., Bindels, R., J., M.: Magnesium in man: implications for health and disease. *Physiol. Rev.* **95**, 1–46 (2015)
35. Sarode G., S., Sarode S. C., Patil, S.: Multifaceted role of calcium in cancer. *J Contemp Dent Pract.* **18**, 1–2 (2017)
36. Aschner, J. L., Aschner, M.: Nutritional aspects of manganese homeostasis. *Mol Aspects Med.* **26**, 353 (2005)
37. Horning, K. J., Caito, S. W., *et al*: Manganese is Essential for neuronal health. *Annu Rev Nutr.* **35**, 71 (2015)
38. Hurrell, R., Egli, I.: Iron bioavailability and dietary reference values. *Am J Clin Nutr.* **91**, 1461S–1467S (2010)
39. Lieu, P. T., Heiskala, M., Peterson, P. A., Yang, Y.: The roles of iron in health and disease. *Mol Aspect Med.* **2**, 1–87 (2001)
40. Vaucher, P., Druais, P. L., Waldvogel, S., Favrat, B.: Effect of iron supplementation on fatigue in nonanemic menstruating women with low ferritin: a randomized controlled trial. *Can Med Assoc J.* **184**, 1247–1254 (2012)
41. Cassat, J. E., Skaar, E. P.: Iron in infection and immunity. *Cell Host Microbe.* **13**, 509–519 (2013)
42. Uauy, R., Olivares, M., Gonzalez, M.: Essentiality of copper in humans. *Am J Clin Nutr.* **67**, 952S–959S (1998)
43. Valko, M., Morris, H., Cronin, M. T. D.: Metals, toxicity and oxidative stress. *Curr Med Chem.* **12**, 1161–1209 (2005)
44. Bray, T. M., Bettger, W. J.: The physiological role of zinc as an antioxidant. *Free Radic Biol Med.* **8**, 281–291 (1990)
45. Prasad A. S.: Zinc in human health: effect of zinc on immune cells. *Mol Med.* **14**, 353–357 (2008)
46. Roohani, N., Hurrell, R., Kelishadi, R., Schulin, R.: Zinc and its importance for human health: An integrative review. *J Res Med Sci.* **18**, 144–157 (2013)
47. Antonowicz, J., Andrzejak, R., Smolik, R.: Influence of heavy metal mix-tures on erythrocyte metabolism. *Int Arch Occup Environ Heath.* **62**, 95–198 (1990)
48. Liaw, J. G., Marshall Y, *et al*: Increased childhood liver cancer mortality and arsenic in drinking water in northern Chile. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* **17**, 1982–1987 (2008)

49. Marshall, G., Ferreccio, C., Yuan, Y., *et al*: Fifty-year study of lung and bladder cancer mortality in Chile related to arsenic in drinking water. *J Natl Cancer Inst.* **99**, 920–928 (2007)
50. Yu, H. S., Liao, W. T., Chai, C. Y.: Arsenic carcinogenesis in the skin. *J Biomed Sci.* **13**, 657–666 (2006)
51. Giaginis, C., Gatzidou, E., Theocharis, S.: DNA repair systems as targets of cadmium toxicity. *Toxicol Appl Pharmacol.* **213**, 282–290 (2006)
52. Stohs, S. J., Bagchi, D., Hassoun, E., Bagchi, M.: Oxidative mechanisms in the toxicity of chromium and cadmium ions. *J Environ Pathol Toxicol Oncol* **20**, 12–88 (2001)
53. Valko, M., Rhodes, C. J., Moncol, J., Izakovic, M., Mazur, M.: Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chem Biol Interact.* **160**, 1–40 (2006)
54. Satarug, S., Nishijo, M., Ujjin, P., Vanavanitkun, Y., Moore, M. R.: Cadmium-induced nephropathy in the development of high blood pressure. *Toxicol Lett.* **157**, 57–68 (2005)
55. Patočka, J., Černý, K.: Inorganic lead toxicology. *Acta Medica.* **46**, 65–72 (2003)
56. Godwin, H. A.: The biological chemistry of lead. *Curr Opin Chem Biol.* **5**, 223–227 (2001)
57. Mestek, O.: Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem. Pracovní text pro Podzemní výukové středisko JOSEF, Praha, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze (2010)
58. Ammann, A. A.: Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP MS): A versatile tool. *J Mass Spectrom.* **42**, 419–427 (2007)
59. Otruba, V.: Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem. Kurz ICPMS/OES MU Brno – Bohunice, VIII: ICP-MS (2015)
60. SpeedWave Xpert: Microwave Digestion System, User Manual. version 2.3., Berghof Products + Instruments GmbH (2017)
61. Ozcan, M., M., Unver, A., Ucar, T., Arslan, D.: Mineral content of some herbs and herbal teas by infusion and decoction. *Food Chem.* **106**, 1120–1127 (2008)
62. Pytlakowska, K., Kita, A., Janoska, P., Połowniak, M., Kozik, V.: Multi-element analysis of mineral and trace elements in medicinal herbs and their infusions. *Food Chem.* **135**, 494–501 (2012)
63. Reto, M., Figueira, M. E., Filipe, H. M., Almeida, C. M. M.: Chemical composition of green tea (*Camellia sinensis*) infusions commercialized in Portugal. *Plant Foods for Human Nutrition.* **62**, 139–144 (2007)

64. Martín-Domingo, M. C., Pla, A., Hernández, A., F., Olmedo, P., Navas-Acien, A., Luzano-Paniagua, D., Gil, L.: Determination of metalloid, metallic and mineral elements in herbal teas. Risk assessment for the consumers. *J Food Compost Anal.* **60**, 81–89 (2017)
65. Kilic, S, Soylak, M.: Determination of trace element contaminants in herbal teas using ICP-MS by different sample preparation method. *J Food Sci Technol.* **57**, 927–933 (2020)
66. Tunay, Z., Yener, İ., Oral, V. E. et al.: Trace element analysis in some salvia species by inductively coupled plasma-mass spectrometry (Icp-ms) and chemometric approach. *J Res Pharm Pract.* **24**, 297–309 (2020)
67. Lozak, A., Soltyk, K., Ostapczuk, P., Fijalek, Z.: Determination of selected trace elements in herbs and their infusions. *Sci Total Environ* **289**:1, 33–40 (2002)
68. Haidu, D., Parkanyi, D., Moldovan, R. I., Savii, C., et al.: Elemental characterization of Romanian crop medicinal plants by neutron activation analysis. *J Anal Methods Chem.* **7**, 1–12 (2017)
69. Mikušová, V., Lukačovičová, O., Havránek, E.: Radionuclide X-ray fluorescence analysis of selected elements in agrimony tea samples with preconcentration. *Acta Fac. Pharm. Univ. Comen.* **2**, 29–36 (2013)
70. Adámková, P.: Prvková analýza vybraných druhů bylinných čajů. *Bakalářská práce.* Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta. Praha, 2022.
71. World Health Organization. International programme on chemical safety. Assessing human health risks of chemicals: Derivation of guidance values for health-based exposure limits. 1994.
72. European Food Safety Authority. Panel on contaminants in the food chain. 2009.