

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV CHEMIE POTRAVIN A BIOTECHNOLOGIÍ

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY

STANOVENÍ VYBRANÝCH PRVKŮ V NETRADIČNÍCH DRUZÍCH OVOCE

DETERMINATION OF SELECTED METALS IN UNCONVENTIONAL FRUIT SPECIES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. SOŇA KŘÍŽOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL DIVIŠ, Ph.D.

BRNO 2011



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta chemická
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

Zadání diplomové práce

Číslo diplomové práce:	FCH-DIP0567/2010	Akademický rok: 2010/2011
Ústav:	Ústav chemie potravin a biotechnologií	
Student(ka):	Bc. Soňa Křížová	
Studijní program:	Chemie a technologie potravin (N2901)	
Studijní obor:	Potravinářská chemie a biotechnologie (2901T010)	
Vedoucí práce	Ing. Pavel Diviš, Ph.D.	
Konzultanti:		

Název diplomové práce:

Stanovení vybraných prvků v netradičních druzích ovoce

Zadání diplomové práce:

- 1) Zpracování literární rešerže o výskytu vybraných kovů v ovoci a popis netradičních druhů ovoce.
- 2) Analýza vybraných druhů ovoce pomocí techniky ICP-MS.
- 3) Zpracování naměřených výsledků.
- 4) Diskuse naměřených výsledků a formulování závěru práce

Termín odevzdání diplomové práce: 13.5.2011

Diplomová práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu diplomové práce. Toto zadání je přílohou diplomové práce.

Bc. Soňa Křížová
Student(ka)

Ing. Pavel Diviš, Ph.D.
Vedoucí práce

doc. Ing. Jiřina Omelková, CSc.
Ředitel ústavu

V Brně, dne 15.1.2011

prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá stanovením vybraných kovů – As, B, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Sn, Pb, V, Zn, v netradičních druzích ovoce, konkrétně ve dřínu obecném (*Cornus mas*), rakytníku řešetlákovém (*Hippophae rhamnoides*) a mišpuli obecné (*Mespilus germanica*). Jsou zde popsány metody vhodné pro prvkovou analýzu a možnosti rozkladu biologického materiálu.

V praktické části bylo cílem provedení analýzy jednotlivých odrůd netradičního ovoce za účelem kvantitativního stanovení vybraných prvků. Vzorky byly připraveny mineralizací na mokré cestě za využití mikrovlnného rozkladu, jako analytická metoda byla použita ICP-MS. Analýzou bylo potvrzeno, že netradiční druhy ovoce jsou bohatým zdrojem stopových prvků.

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is determination of selected metals in unconventional fruit species, specifically in cornelian cherry (*Cornus mas*), sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) and medlar (*Mespilus germanica*). There is information about 16 analysed metals – As, B, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Sn, Pb, V, Zn. There are described analytical techniques for elemental analysis and methods for destruction biological material. Samples for analysis are prepared by using microwave mineralization and ICP-MS for detection. This is described in the experimental part of the diploma thesis. Analysis confirmed that unconventional fruits are rich sources of trace elements.

KLÍČOVÁ SLOVA

Rakytník řešetlákový (*Hippophae rhamnoides*), dřín obecný (*Cornus mas*), mišpule obecná (*Mespilus germanica*), kovy v ovoci, ICP-MS, prvková analýza

KEYWORDS

Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*), cornelian cherry (*Cornus mas*), medlar (*Mespilus germanica*), metal in fruits, ICP-MS, elemental analysis

KŘÍŽOVÁ, S. *Stanovení vybraných prvků v netradičních druzích ovoce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2011. 85 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Diviš, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

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

.....

podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Pavlovi Divišovi, PhD, který mi při zpracování této práce ukazoval cestu a byl vždy ochotný se mnou konzultovat a poradit mi. Děkuji také Ing. Jaromírovi Pořízkovi, který mi nesmírně pomohl při praktické části a jehož zásluhou bylo nakonec možné vzorky proměřit.

OBSAH

ABSTRACT	3
KLÍČOVÁ SLOVA.....	3
KEYWORDS	3
PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ.....	4
OBSAH	5
1 ÚVOD	8
2 TEORETICKÁ ČÁST.....	10
2.1 Dřín obecný (<i>Cornus mas</i>)	10
2.1.1 Obecné informace	10
2.1.2 Stanoviště	11
2.1.3 Rozmnožování, výsadba a sklizeň	12
2.1.4 Použití a účinky	12
2.2 Mišpule obecná (<i>Mespilus germanica</i>).....	13
2.2.1 Obecné informace	13
2.2.2 Stanoviště	14
2.2.3 Rozmnožování, výsadba, sklizeň	14
2.2.4 Použití a účinky	15
2.3 Rakytník řešetlákový (<i>Hippophae rhamnoides</i>).....	15
2.3.1 Obecné informace	15
2.3.2 Stanoviště	17
2.3.3 Rozmnožování, výsadba, sklizeň	17
2.3.4 Použití a účinky	17
2.4 Analyzované prvky.....	18
2.4.1 Beryllium.....	19
2.4.2 Bor.....	19
2.4.3 Vanad	20
2.4.4 Chrom.....	20
2.4.5 Mangan.....	21
2.4.6 Kobalt	21
2.4.7 Nikl.....	22
2.4.8 Měď	22
2.4.9 Zinek.....	23

2.4.10	Selen	23
2.4.11	Molybden	24
2.4.12	Kadmium	24
2.4.13	Cín	25
2.4.14	Olovo	25
2.4.15	Arsen	26
2.4.16	Železo	27
2.5	Metody vhodné ke stanovení prvků v rostlinných materiálech	27
2.5.1	Srovnání metod GF-AAS, ICP-OES a ICP-MS	27
2.5.2	Použití metod GF-AAS, ICP-OES a ICP-MS při analýze potravin	30
2.6	Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem	30
2.6.1	Úvod	30
2.6.2	Princip metody	31
2.6.3	Zavádění vzorku do plazmatu	32
2.6.4	Vznik indukčně vázaného plazmatu	32
2.6.5	Produkce iontů v ICP	33
2.6.6	Interface (přechod iontového zdroje k hmotnostnímu spektrometru)	33
2.6.7	Iontová optika	34
2.6.8	Kvadrupólový analyzátor	34
2.6.9	Detektor iontů	35
2.6.10	Interference	35
2.6.11	Způsoby eliminace interferencí	36
2.6.12	Použití ICP-MS k analýze prvků v potravinách	36
2.7	Rozklad biologického materiálu	36
2.7.1	Suchý rozklad	37
2.7.2	Mokrý rozklad	37
2.7.3	Další metody rozkladu organických látek	38
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	39
3.1	Popis vzorku	39
3.2	Laboratorní vybavení	39
3.2.1	Chemikálie	39
3.2.2	Pomůcky	40
3.2.3	Přístroje	40
3.3	Příprava vzorku	40
3.4	Příprava kalibračních roztoků	41

3.5	Stanovení prvků metodou ICP-MS.....	41
3.6	Statistické charakteristiky	41
4	VÝSLEDKY A DISKUSE.....	44
4.1	Optimalizace metody ICP-MS.....	44
4.2	Dřín obecný (<i>Cornus mas</i>)	45
4.2.1	Výsledky analýzy	45
4.2.2	Grafické zpracování výsledků analýzy	51
4.2.3	Porovnání výsledků analýzy s jinými autory	54
4.2.4	Porovnání výsledků s běžně konzumovaným ovocem.....	57
4.3	Mišpule obecná (<i>Mespilus germanica</i>).....	59
4.3.1	Výsledky analýzy	59
4.3.2	Grafické zpracování výsledků	60
4.3.3	Porovnání výsledků s běžně konzumovaným ovocem.....	61
4.4	Rakytník řešetlákový (<i>Hippophae rhamnoides</i>).....	63
4.4.1	Výsledky analýzy	63
4.4.2	Grafické zpracování	68
4.4.3	Porovnání výsledků s jinými autory.....	71
4.4.4	Porovnání výsledků s běžně konzumovaným ovocem.....	74
5	ZÁVĚR.....	76
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	79
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	84
8	SEZNAM PŘÍLOH	85
9	PŘÍLOHY.....	86

1 ÚVOD

Tématem diplomové práce je stanovení vybraných prvků v netradičních druzích ovoce. Tato práce se zabývá třemi druhy ovoce – dřínem obecným (*Cornus mas*), mišpulí obecnou (*Mespilus germanica*) a rakytníkem řešetlákovým (*Hippophae rhamnoides*). Tyto druhy ovoce jsou známy již z dávných dob, kdy se díky vysokému obsahu zdravotně prospěšných látek využívaly k léčbě nejrůznějších onemocnění. Postupem času se na toto netradiční ovoce poněkud pozapomnělo, ale v posledních několika letech se vrací do popředí zájmu ovocnářů, léčitelů a vůbec všech lidí, kteří se zabývají zdravou výživou. Šlechtí se stále nové odrůdy tohoto ovoce a vypěstované plody se využívají pro výrobu nejrůznějších produktů od marmelád, kompotů, sirupů, šťáv, přes oleje, různé doplňky stravy, až po kosmetické přípravky.

Dřín obecný je rostlina, která se již v období antiky využívala v léčitelství. V našich zahradách se dřín pěstuje zejména pro svoje okrasné vlastnosti. Zároveň je to dřevina, která velmi dobře zvládá drsné podmínky, je vysoce odolná vůči suchu, toleruje určitou míru zasolení, prašnosti i větrné prostředí. V poslední době se v ovocnářství šlechtí odrůdy dřínu, které vynikají svými užitkovými vlastnostmi. Pro přímou konzumaci jsou plody dřínu dosti trpké, proto se zpracovávají do kompotů, zavařenin a sirupů a to zejména v jihozápadní Evropě. Nově šlechtěné odrůdy dřínu jsou ceněny zejména díky tomu, že spojují vlastnosti užitkové a pěstitelské. Plody dřínu obsahují zdravotně prospěšné látky, jako jsou vitamíny, sacharidy, pektiny a minerály.

Rakytník řešetlákový se již v dávné minulosti používal v lidovém léčitelství Sibíře, Mongolska a Číny. V poslední době zažívá největší rozmach ze všech druhů netradičního ovoce, které byly vybrány pro prvkovou analýzu v této práci. Je to keř, který je krásný na pohled, odolný a nenáročný, má velmi krásné oranžové plody, které jsou zároveň léčivé. K léčebným účelům lze z rakytníku použít všechny jeho části, tj. kořen, kůry, listy, květy, plody, semena i dřevo. Hlavní využití však mají jeho plody s vysokým obsahem vitamínu C, β -karotenu, vitamínu E, flavonoidů a nenasycených mastných kyselin. Klinické studie prokázaly, že plody, šťáva a extrakty z rakytníku ovlivňují funkci žaludku, sleziny a dvanáctníku, ale také tvorbu krve a jsou antimikrobiálně aktivní. Olej má výborné regenerační vlastnosti, hojí rány a podporuje sekreci trávicích šťáv.

Mišpule obecná se do Evropy rozšířila před tisíci lety z Orientu. Dnes je toto ovoce velmi přehlížené. Naši předkové ji však využívali hojně, a to až do 19. století. Mišpule má vysoký obsah vlákniny, stopových prvků, vitamínů a organických kyselin. Uplatňuje se zejména při výrobě kompotů, rosolů, marmelád a různých past.

Příjem esenciálních i toxických prvků je téměř výhradně zajišťován z potravních zdrojů. Z toho důvodu je velmi důležité znát obsahy jednotlivých prvků v surovinách pro výrobu potravinářských produktů. Množství všech prvků, které jsou obsaženy v rostlinném materiálu, závisí na geochemickém složení půdy v místě sklizně, druhu rostliny, době sklizně, počasí, hnojení, či použití pesticidů. Konečný obsah prvků v ovoci je ovlivněn také způsobem skladování, zpracování a uchování.

Pro stanovení jednotlivých prvků byla v této práci použita metoda hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS). Tato metoda byla vyvinuta asi před třiceti lety a od té doby se rozšířila téměř do všech oblastí, kde se uplatňuje pro analýzu stopových prvků, mikroprvků a makroprvků. Oproti ostatním analytickým metodám vyniká svou rychlostí, je víceprvková a nabízí možnost izotopové analýzy.

Cílem diplomové práce je analyzovat obsah vybraných kovů v jednotlivých odrůdách dřínu obecného, rakytníku řešetlákového a mišpule obecné.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Dřín obecný (*Cornus mas*)

2.1.1 Obecné informace

Dřín obecný se řadí do čeledi *Cornaceae* (dřínovité), do rodu *Cornus* (dřín) a z hlediska druhu se jedná o *Cornus mas* (dřín obecný).¹

Na obrázku 1 je znázorněn celý strom a jednotlivá stádia zrání, od pupenů přes květ až po plody.



Obrázek 1 Dřín obecný²

Tento keř či strom, který dorůstá výšky až 2–8 m, má velmi dlouhou životnost. Kvete žlutě ještě před vyrašením lístků. Listy jsou řapíkaté, vstřícné, vejčité eliptického tvaru. Dalším kladem je jeho bohatě rozvětvený kořenový systém, který zvláště na svazích zpevňuje půdu a zabraňuje tak erozi.³

Plody dřínu se nazývají dřínky a jedná se o podlouhlé peckovice o velikosti až 2 cm. Barva dřínku je jasně červená, tmavě vínově červená a u některých odrůd žlutá. Uvnitř plodu je tvrdá dvousemenná pecka podlouhlého tvaru.^{1, 4} Dřínky mají vysokou biologickou hodnotu a vysoký obsah vitamínu C. Některé zdroje uvádí, že ve 100 g tohoto ovoce je obsaženo 106,3 mg vitamínu C.⁵ Obsah nutričně významných látek a některých vitamínů dřínků je uveden v tabulce 1.

Tabulka 1 Nutriční složení netradičních druhů ovoce⁶

Složka	Mišpule	Dřínky	Rakytník
Energie kJ·kg⁻¹	1780	1640	2100
Základní složky g·kg⁻¹			
Voda	745	870	895
Sušina	255	130	102
Bílkoviny	5	8	12
Lipidy	n*	1,6	39,0
Sacharidy	106	140	50
Popeloviny	n	6,00	6,00
Vláknina	92	14	20
Minerální látky mg·kg⁻¹			
Ca – vápník	300	460	420
Na – sodík	60	n	30
Mg – hořčík	110	200	200
P – fosfor	280	250	90
Cl – chlor	30	n	2
K – draslík	2500	2900	1330
J – jod	n	n	n
S – síra	170	n	n
Vitaminy mg·kg⁻¹			
Karoten	n	0,5	10
B1 – thiamin	n	0,2	0,2
B2 – riboflavin	n	0,3	1,2
B6 – pyridoxin	n	n	0,5
B9 – folacin	0,0	n	n
C – kys. askorbová	20	700	1534

*n – obsah nebyl zjištěn

2.1.2 Stanoviště

Dřín pochází z jižní Evropy a předhůří Kavkazu. U nás se vyskytuje v teplejších oblastech, zejména na jižní Moravě. Dnes je rozšířen po celé střední a jižní Evropě.⁴

Rod *Cornus* je také hojně rozšířen ve východní Asii a ve východní a severní části Spojených Států Amerických.⁷

Dřínu se nejlépe daří na slunných stanovištích, v křovinách a listnatých lesích. I když se jedná o teplomilnou dřevinu, ve dřevě a květu je velice odolný vůči mrazu. Pro růst dřínu jsou nevhodnější rovinné a svažité plochy, na kterých se jinému ovoci nedaří. Půda by měla být

hlinitopísčítá až písčitohlinitá s neutrální až alkalickou reakcí. Vhodným místem pro růst dřínu jsou svahy orientované na jih, jihovýchod nebo jihozápad. Roste i v nadmořské výšce 600 m. V zastíněných plochách rodí keře dřínu velmi málo.⁴

2.1.3 Rozmnožování, výsadba a sklizeň

Dřín lze množit výsevem pecek, což je náročné, a proto se pro množení ušlechtilých typů používá roubování. I když dřín patří mezi hůře zakořeňující rostliny, je možné ho množit i zelenými řízků.

Dřín lze pěstovat ve tvaru keřů i stromků, výsadba se provádí 4–5 m od sebe. Půdu pod korunami ošetřujeme pouze v prvních letech. Podrobně se postupy pěstování a množení dřínu obecného zabývá Paprštejn *et al.*, jehož publikace byla Ministerstvem zemědělství schválena jako certifikovaná metodika.³

Z dospělých stromů nebo keřů lze při příznivých podmínkách ročně sklídit 30–40 kg ovoce. Plody zrají postupně od konce srpna do října a sklizeň se provádí v době, kdy jsou dřínky ještě tvrdé, ale již vybarvené. Nejčastějším způsobem je setřásání dřínků na plachtu rozloženou na zemi pod keřem.^{1, 3, 4}



Obrázek 2 Květy a plody dřínu obecného^{8,9}

2.1.4 Použití a účinky

Pro své krásné květy, které jsou zachycené na obrázku 2, se často využívá jako okrasná dřevina. Jeho dřevo je velmi tvrdé, proto bylo v minulosti využíváno k výrobě násad, rukojetí, apod.⁴

Dřínky (obrázek 2) mají široké uplatnění, dají se konzumovat v syrovém stavu, zpracovávají se na kompoty, mošty, sirupy a rosoly.¹

Do rodu *Cornus* náleží 55 druhů. Například *Cornu officinalis* se používá v čínském léčitelství, protože působí jako analgetikum a diuretikum. Dřínky se také používají

na zlepšení funkce jater a ledvin. Dále byly zjištěny antimikrobiální, antibakteriální a antialergenní účinky.⁷

V Evropě se extrakt z dřínků využívá také ke kosmetickým účelům, jako náhrada syntetických, adstringentních látek.¹⁰

2.2 Mišpule obecná (*Mespilus germanica*)

2.2.1 Obecné informace

Z biologického hlediska se mišpule obecná řadí do říše *Plantae* (rostliny), podříše *Cormobionta* (vyšší rostliny), oddělení *Magnoliophyta* (krytosemenné), třídy *Rosopsida* (vyšší dvouděložné), řádu *Rosales* (růžotvaré), čeledi *Rosaceae* (růžovité) a rodu *Mespilus* (mišpule).¹¹

Na obrázku 3 je vyobrazena mišpule v květu a fáze vzniku plodu.



Obrázek 3 Mišpule obecná¹²

Mišpule obecná roste jako široce větvený keř nebo strom, který dosahuje výšky 3–5 m, vyšlechtěné odrůdy mohou být až 6 m vysoké.¹³ Keř kvete velkými květy bílé barvy, květy

jsou jednotlivé nebo i po dvou. Často se mišpule pěstuje jako okrasná dřevina a díky svému narůžovělému a tuhému dřevu je využívána řezbáři a nábytkáři.

Plod mišpule (obrázek 4) tvoří malvice, která má tvar uťatého terče vroubeného na prohloubeném vrcholku pěti dlouhými kališními cípy. Velikost malvice se pohybuje okolo 30 mm, uvnitř obsahuje pět jader, která jsou kryta pevným peckovitým obalem. Dužina mišpulí je požitelná až po zhníčení nebo namrznutí. V čerstvém stavu je dužina trpká, téměř nepoživatelná. Uvádí se, že ovoce obsahuje asi 75 % vody, kolem 10 % invertního cukru, 6 % dusíkatých látek, 7,5 % vlákniny a asi 14 % kyselin, z nichž je nejvíce zastoupena kyselina jablečná.^{4, 14}



Obrázek 4 Květ a plod mišpule obecné^{15, 16}

2.2.2 Stanoviště

Mišpule roste planě na Kavkaze, jižním pobřeží Krymu, na balkánském poloostrově, odkud je rozšířena přes Malou Asii až do severního Íránu. U nás mišpulí najdeme ojediněle v Čechách (Polabí) nebo na jižní Moravě.¹⁴

2.2.3 Rozmnožování, výsadba, sklizeň

Mezi možnostmi množení mišpule se řadí očkování v srpnu nebo roubování na jaře, kde jako podnož můžou sloužit hrušně, kdouloně, jeřáby, popřípadě i hloh. Kulturní odrůda mišpule je samoprašná s oboupohlavními květy, které se otevírají až začátkem června a nejsou poškozovány mrazy.⁴

Nároky mišpule na půdu jsou minimální. Daří se jí v půdách lehčích až vápenitých. Přestože vyžaduje teplejší polohu, je mrazuvzdorná. Mišpule netrpí houbovými chorobami a daří se jí i v prostředí znečištěném oxidy síry nebo jinými průmyslovými exhaláty.

Plodnost mišpule je střední až vysoká a začíná v třetím až čtvrtém roce po výsadbě. Plody jsou vhodné ke sklizni ve druhé polovině až koncem října, sklízejí se obtížněji. Po přejití mrazem jsou okamžitě použitelné. Konzumně dozrávají v listopadu až v prosinci.^{4, 14}

2.2.4 Použití a účinky

V domácnostech se mišpule zpracovává na takové výrobky, ve kterých se uplatní její vysoký obsah vlákniny, minerálních látek a vitaminů, což jsou hlavně marmelády, povidla a pasty. Před použitím se mišpule nechají odležet, až mírně změknou, nebo se sklízí po několika menších mrazících. Potom je jejich dužina méně trpká.⁴ Mišpule se používá i v léčitelství, má příznivý účinek na kardiovaskulární choroby a nemoci oběhového systému. Pomáhá snižovat hladinu cholesterolu v krvi a používá se i při zánětlivých onemocněních horních cest dýchacích.¹²

Dřeně a sirupy připravené z tohoto ovoce se používají při léčbě enteritidy (zánětu sliznice tenkého střeva).¹⁷

Po výživové stránce je mišpule bohatá zejména na obsah minerálních látek (Al, Ba, Ca, Cu, Co, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Sr, Ti, Zn), nejvíce se však v plodech akumuluje draslík. Rop *et al.* se ve své studii zabývají obsahem vybraných mikroprvků a makroprvků v plodech mišpule obecné v různých stádiích zralosti.¹⁸ Některé z dalších nejběžnějších látek nacházejících se v plodech mišpule udává tabulka 1.

2.3 Rakytník řešetlákový (*Hippophae rhamnoides*)

2.3.1 Obecné informace

Rakytník řešetlákový se řadí do říše *Plantae* (rostliny), třídy *Rosopsida* (vyšší dvouděložné), řádu *Rosales* (růžotvaré), čeledi *Elaeagnaceae* (hlošínovité), rodu *Hippophae* (rakytník) a druhu *Hippophae rhamnoides* (rakytník řešetlákový).¹⁹

Na obrázku 5 je možné vidět lístky a plody rakytníku řešetlákového.



Obrázek 5 Rakytník řešetlákový²⁰

Rakytník řešetlákový vytváří rozkladitě větvitě, trnitě keře vysoké až 2 m, nebo může růst také jako strom dorůstající až osmimetrové výšky.²¹ Listy jsou přisedlé, nebo krátce řapíkaté, úzce čárkovité, zašpičatělé, při okrajích ohnuté. Barva listů je z vrchní strany šedozelená a ze spodní strany jsou listy stříbřitě ojněné. Květy jsou nenápadně, hnědavě zbarvené.¹

Plody jsou drobné kulovité bobule, žluté, oranžové až tmavočervené barvy, nakyslé chuti. Keř plodící bobule rakytníku řešetlákového je zobrazen na obrázku 6.

Plody rakytníku jsou bohaté na vitamin C, draslík, různé kyseliny, glykosidy a oleje, proto se jeho pěstování rozšiřuje a využívá se k získání šťávy.¹ Obsah vitaminu C v plodech kolísá v rozmezí od 200 do 1200 mg ve 100 g. Nejvíce vitaminu C je v plodech v září, postupem času s přibývajícím deštivými dny obsah vitaminu klesá.⁴ Obsah biologicky aktivních látek včetně vitaminů se může u jednotlivých odrůd a genotypů rakytníku značně lišit.²¹ Dužina rakytníku má velmi vysoký obsah karotenoidů, dále se zde nachází vitamíny skupiny B – thiamin, riboflavin, pyridoxin, nikotinamid. Ve vysokém množství je zastoupená také kyselina listová, nezbytná pro syntézu nukleových kyselin, při krvetvorbě a při vývoji plodu. Obsažené jsou i vitaminy D – důležitý pro růst a posilování kostí, E – významný antioxidant a K – zabezpečuje správné srážení krve. Z flavonoidů byly v rakytníku identifikovány kvercetin, kemferol, isokvercetin, rutin, aj. Trpká chuť rakytníku je dána obsahem fenolových

sloučenin, které mu zároveň udělají baktericidní účinek.²² V tabulce 1 je zaznamenáno složení rakytníku řešetlákového.



Obrázek 6 Rakytník řešetlákový^{23, 24}

2.3.2 Stanoviště

Rakytník patří mezi nejméně náročné dřeviny vůbec. Daří se mu na suchých půdách s dostatkem vápníku. Snáší stanoviště s nadbytkem imisních zplodin a je mrazuvzdorný. Hůře roste v zastíněných místech.^{1, 4} Východní a západosibiřské populace se vyznačují mrazuvzdorností, snáší poklesy teplot na podzim i v zimě a naopak i vysoké denní teploty v létě.²¹

Rakytník je rozšířený zejména v Asii, v Číně, Mongolsku, na jihu Sibíře, ve východním Afgánistánu a Uzbekistánu. V Evropě se rakytník řešetlákový vyskytuje zejména u černého moře, dále na severovýchodě u Severního a Baltického moře. Začíná se pěstovat i v Kanadě a USA.²⁵

2.3.3 Rozmnožování, výsadba, sklizeň

Rakytník se dobře množí odnožemi. Množit se dá i hřížením, zelenými řízkami i jarním výsevem semen.

Jedná se o dvoudomou rostlinu, která se opyluje větrem. Samčí rostliny jsou zdrojem pylu, samičí rostliny vysazujeme na návětrnou stranu, abychom zvýšili účinek opylení. Samičí a samčí rostliny se vysazují pohromadě v poměru 1:6 do řad vzdálených 3–4 m a v řadách 2–3 m.

3 roky po výsadbě se dostavuje kvetení a plodnost. Plody dozrávají v srpnu až začátkem září. Sklizeň je náročná, ruční, díky přítomným trnům.^{1, 4}

2.3.4 Použití a účinky

Již v 9. Století se rakytník řešetlákový používal v tradičním léčení v Tibetu a Mongolsku. Léčebné účinky mají všechny části rakytníku řešetlákového, tj. kořen, kůra, listy, květy plody, semena i dřevo.²² Má řadu pozitivních účinků, např. snižuje hladinu cholesterolu v krvi, zabraňuje krevnímu srážení, reguluje imunitní funkce. V mnoha zemích, zejména v Číně

a Rusku se používají farmaceutické preparáty obsahující výtažky z rakytníku řešetlákového.^{26, 27} Byl zaznamenán prospěšný účinek rakytníku řešetlákového v dermatologii. Po čtyři měsíce byla pacientům s atopickým ekzémem podávána dřevň rakytníku a rakytníkový olej ze semen, u těchto pacientů došlo k zlepšení projevů dermatitidy.²⁸ Byly také prokázány pozitivní účinky rakytníkového oleje na játra, působí proti aterosklerose, má protizánětlivé účinky a používá se k léčbě popálenin.²⁹ Obsahuje řadu antioxidantů, jako jsou flavonoidy, tokoferoly, karotenoidy. Tyto látky mají pozitivní vliv na imunitní systém a snižují riziko výskytu kardiovaskulárních chorob.³⁰ Díky vysoké biologické hodnotě plodů rakytníku se projevují jeho protiinfekční a protirakovinné účinky. Použití rakytníku řešetlákového na jednotlivé choroby zaznamenává příloha 1.²²

Oblíbené jsou v čerstvém stavu zalité medem, lze je zpracovat na kompoty, sirupy, apod. Rakytník řešetlákový se využívá jako okrasná dřevina v sadech, parcích, v blízkosti dálnic. Lze ji použít do extrémních stanovišť. Hodí se pro zpevňování písčitých půd proti erozi, kde vytváří četné kořenové výmladky a celkové vitální porosty.¹

2.4 Analyzované prvky

V posledních letech neustále roste zájem o studium účinků prvků na rostliny, živočichy a člověka. Také rozvoj analytických metod dosáhl takové úrovně, že je možné zjistit i stopová množství jednotlivých prvků v biologických materiálech.

Podle účinku na zdraví člověka se prvky řadí do několika skupin:³¹

- esenciální prvky, tj. prvky nezbytné. Patří sem všechny majoritní prvky (Na, K, Mg, Cl, Ca, P, S) a řada prvků stopových (Fe, Zn, Mn, Cu, Ni, Co, Mo, Cr, Se, I, F, B, Si).
- toxické prvky, které ve formě sloučenin nebo v elementární formě vykazují toxický účinek. K nejdůležitějším patří Pb, Cd, Hg, As.
- neesenciální prvky, u kterých dosud není známá fyziologická funkce a nejsou ani výrazně toxické. Spadají sem např. Li, Rb, Cs, Ti, Au, Sn, Bi, Te, Br).

Obsah minerálních a stopových prvků v rostlinných materiálech je ovlivněn druhem rostliny, obsahem látek v půdě a v ovzduší, počasím během růstu, používáním hnojiv a stavem rostlinného materiálu v době sklizně.³²

Prvky analyzované v této práci jsou na obrázku 7 vyznačeny zelenou barvou.

	I																	VIII								
1	1,01 H 1																	4,00 He 2	1							
2	6,94 Li 3	9,01 Be 4																10,81 B 5	12,01 C 6	14,01 N 7	16,00 O 8	19,00 F 9	20,18 Ne 10	2		
3	22,99 Na 11	24,31 Mg 12																	26,98 Al 13	28,09 Si 14	30,97 P 15	32,06 S 16	35,45 Cl 17	39,95 Ar 18	3	
4	39,10 K 19	40,08 Ca 20	44,96 Sc 21	47,87 Ti 22	50,94 V 23	52,00 Cr 24	54,94 Mn 25	55,85 Fe 26	58,93 Co 27	58,69 Ni 28	63,55 Cu 29	65,39 Zn 30	69,72 Ga 31	72,61 Ge 32	74,92 As 33	78,96 Se 34	79,90 Br 35	83,80 Kr 36								4
5	85,47 Rb 37	87,62 Sr 38	88,91 Y 39	91,22 Zr 40	92,91 Nb 41	95,94 Mo 42	97,91 Tc 43	101,1 Ru 44	102,9 Rh 45	106,4 Pd 46	107,9 Ag 47	112,4 Cd 48	114,8 In 49	118,7 Sn 50	121,8 Sb 51	127,6 Te 52	126,9 I 53	131,3 Xe 54								5
6	132,9 Cs 55	137,3 Ba 56	175,0 Lu 71	178,5 Hf 72	180,9 Ta 73	183,8 W 74	186,2 Re 75	190,2 Os 76	192,2 Ir 77	195,1 Pt 78	197,0 Au 79	200,6 Hg 80	204,4 Tl 81	207,2 Pb 82	209,0 Bi 83	209,0 Po 84	210,0 At 85	222,0 Rn 86								6
7	223,0 Fr 87	226,0 Ra 88	262,1 Lr 103	261,1 Rf 104	262,1 Db 105	266,1 Sg 106	264,1 Bh 107	269,1 Hs 108	268,1 Mt 109	273,1 Ds 110	272,1 Rg 111					102a	8h	4d								7
	22m	1600a	3,6h	78s	34s	22s	17s	11m	70ms	66s	1,5ms															

138,9 57	140,1 58	140,9 59	144,2 60	144,9 61	150,4 62	152,0 63	157,3 64	159,0 65	162,5 66	164,9 67	167,3 68	168,9 69	173,0 70
227,0 89	232,0 90	231,0 91	238,0 92	237,0 93	244,1 94	243,0 95	247,1 96	247,1 97	251,1 98	252,1 99	257,1 100	258,1 101	259,1 102
21,8a	1,4•10 ⁶ a	3,3•10 ⁶ a	4,5•10 ⁶ a	2,1•10 ⁶ a	8,0•10 ⁶ a	7370a	1,8•10 ⁶ a	1400a	900a	472d	101d	51,5d	58m

Obrázek 7 Analyzované prvky³³

2.4.1 Beryllium

Beryllium je jeden z nejlehčích kovů a je mimořádně toxické a to především v parách (při svařování kovů, v metalurgii). Tato vysoká toxicita se přičítá poměrně snadné schopnosti vytěšňovat některé biogenní prvky (především Mg^{2+}). Vdechnutí par vede k pneumonii plic. Beryllium i většina jeho solí patří mezi karcinogenní látky.³⁴ Způsobuje také významné imunologické změny a interferuje se syntézou porfyrinu. O toxickém působení rozpustných sloučenin beryllia při perorální aplikaci není prakticky nic známo.³⁵

2.4.2 Bor

Bor je stopový prvek, pro rostliny je esenciální. Stabilizuje membrány rostlinných buněk a zároveň je jejich součástí. U živočichů ovlivňuje metabolismus vápníku, hořčíku, fosforu a cholekalciferolu, je důležitý při patogenezi osteoporózy. Sloučeniny boru (kyselina boritá a boritany) tvoří v biologickém materiálu stabilní komplexy s polysacharidy a od nich odvozené látky (nukleotidy, riboflavin, askorbová kyselina). Kyselina boritá ovlivňuje aktivitu mnoha enzymů (chymotrypsin, pyridinové a flavinové oxidoreduktasy).

Potraviny živočišného původu jsou na bor velmi chudé. V masě, rybách, vejcích a mléčných výrobcích obvykle množství boru nepřevyšuje $0,3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Obsah boru v rostlinách je velmi závislý na obsahu v půdě. Z potravin rostlinného původu je více boru obsaženo v luštěninách,

ořeších (desítky $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) a ovoci (jednotky $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Relativně vysoké množství boru je ve vínech ($2\text{--}11\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Odhady tvrdí, že denní příjem boru u člověka činí $2\text{--}10\text{ mg}$. Deficit tohoto prvku u člověka zatím nebyl zaznamenán.³¹

Bor obsažený v potravě se v gastrointestinálním traktu snadno vstřebává, ale $30\text{--}92\%$ vstřebaného boru je z těla vyloučeno močí. Při podávání vyšších dávek kyseliny borité může docházet k jejímu hromadění v nervovém systému. Bor je prvek, který je pro všechny buňky toxický, v těle se může dokonce kumulovat. Smrtelná dávka boru je $0,1\text{--}0,5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Při akutní otravě se objevují křeče obličejové a zvracení. Z patologických změn je typický mozkový edém, je přítomna tuková degenerace ledvin a jater.³⁵

2.4.3 Vanad

Jedná se o mikrobiogenní prvek, který má důležitou roli při mineralizaci kostí a zubů a dále v metabolismu katecholaminů a lipidů. Je prokázán inhibiční účinek metavanadičnanových (VO_3^-) iontů na enzymy (Na,K)-ATPasy, jiné ATPasy, fosfatasy a fosfotransferasy. Vanad stimuluje syntézu cyklického AMP aktivací adenylátcyklasy.³¹

Denní potřeba pro člověka je 4 mg ,³⁵ skutečný denní příjem vanadu potravou je však jen $10\text{--}30\text{ }\mu\text{g}$.³¹ Ve většině potravin je obsah vanadu mimořádně nízký. Mléko, tuky, zelenina a ovoce obsahují <1 až $5\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, cereálie, maso, ryby a játra obsahují $5\text{--}40\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Mořští korýši a měkkýši mají podle některých zdrojů obsah vanadu vyšší, nad $100\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Vysoký obsah vanadu byl prokázán v jedovatých houbách.³¹

Ve svých sloučeninách působí vanad na CNS. Při chronickém působení se projevuje bronchitida, zánět očních spojivek a kožní přecitlivělost. Bylo popsáno i poškození ledvin, jater a psychické poruchy.³⁴

2.4.4 Chrom

Prvek, který může mít formu komplexu ve čtyřech odlišných valenčních stavech (III, IV, V, VI). Dvě nejčastější, a tím pádem i nejčastěji detekované, formy chromu jsou chrom trojmocný a šestimocný. Trojmocný chrom je charakterizován jako esenciální a významným způsobem se podílí na metabolismu sacharidů a lipidů.³⁶ V metabolismu sacharidů trojmocný chrom pravděpodobně usnadňuje reakci mezi sulfhydrylovými skupinami buněčných membrán s disulfidovými skupinami inzulínu, a tak umožňuje inzulínem stimulovanou utilizaci glukosy. Vyšší dávky chromu působí jako prevence proti diabetu a částečně snižují hladinu cholesterolu a triacylglycerolů v krevní plazmě, současně se zvyšuje podíl lipoproteinů o vyšší hustotě. Další funkcí chromu je chránit DNA proti tepelné denuraci. Oproti tomu sloučeniny obsahující šestimocný chrom (chromany, dichromany) jsou vysoce toxické a vykazují alergenní, mutagenní a karcinogenní účinky. Mohou způsobit poruchy růstu, poškození jater a ledvin a při kontaktu s kůží mohou vyvolat ekzémy.

Za přiměřenou denní dávku chromu se považuje množství $50\text{--}200\text{ }\mu\text{g}$. V několika studiích bylo zjištěno, že se skutečné dávky chromu pohybují v rozmezí $25\text{--}100\text{ }\mu\text{g}$. Při nedostatku chromu byla zjištěna zhoršená glukosová tolerance, trvalá zvýšená hladina glukosy v krvi,

zvýšená hladina cholesterolu a triacylglycerolů v krevním séru a přítomnost sacharidů v moči.³¹

2.4.5 Mangan

Mangan je součástí několika enzymů, a to především pyruvát-karboxylasy a arginasy. Oba tyto enzymy obsahují v molekule 4 ionty Mn^{2+} . Pyruvátkarboxylasa je jedním z klíčových enzymů biosyntézy sacharidů (glukoneogeneze). Arginasa je enzym, který katalyzuje hydrolýzu argininu na močovinu a ornithin. Dále se v těle vyskytuje řada enzymů, které jsou aktivovány ionty manganu (např. hydrolasy, kinasy a dekarboxylasy). Resorpce manganu probíhá v celém tenkém střevě. Vysoký obsah železa, vápníku a fosfátů ve stravě může resorpci manganu snižovat. Vysoké dávky manganu snižují resorpci železa a vedou k poklesu hladiny hemoglobinu.

Potraviny živočišného původu jsou na mangan chudé. Dobrymi zdroji jsou obiloviny, luštěniny, z ovoce pak zejména maliny ($6,7-18 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) a borůvky. Vysoký obsah manganu mají čajové lístky a některé druhy koření (např. hřebíček obsahuje manganu $600 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Doporučená denní dávka manganu činí $2,0-5 \text{ mg}$ pro dospělého člověka. Při dlouhodobém nedostatku manganu se může dostavit zpomalený růst, abnormální vývoj kostí a poškození reprodukčních orgánů.³¹

Mezi toxické účinky manganu patří zpomalení růstu, či anémie. Ty však nastávají až při velmi vysokých dávkách. Při chronické otravě manganem (inhalační expozice) se zvyšuje obsah cholesterolu a lipidů v krvi, zvyšuje se hladina vápníku a snižuje se hladina hořčíku. Dlouhodobá expozice sloučeninám manganu má s největší pravděpodobností za následek zvýšený výskyt Parkinsonovy nemoci.³⁵ Chronická otrava se projevuje neuropsychickými a neurologickými příznaky, dochází k poškození funkce ledvin, ke zvýšení funkce štítné žlázy, případně může být ovlivněna krevtvorba.³⁴

2.4.6 Kobalt

Kobalt je esenciálním prvkem pouze pro bakterie, řasy a přežvýkavé savce. Pro člověka je esenciální kobalt ve formě kobalaminu, vitamínu B_{12} . Jeho hlavní význam tkví v účasti na krevtvorbě. Kobalt je látka, která znečišťuje umělá hnojiva a odtud se dostává do masa, zejména do zvěřiny.³⁵

V zažívacím traktu člověka je resorbováno $20-97 \%$ kobaltu přímo v potravě. Pro resorpci kobalaminu je nezbytný tzv. gastrický faktor, glykoprotein, který umožňuje transport kobalaminu do buněk střevní sliznice. Účinnost resorpce kobaltu se zvyšuje při nedostatku železa. Kobalt se z těla vylučuje především močí.

Bohaté na kobalt jsou luštěniny a vnitřnosti. Naopak chudé je mléko a mléčné výrobky, výrobky z bílé mouky a cukr. Doporučená dávka kobaltu prozatím nebyla stanovena.³¹

Ve větších koncentracích je kobalt toxický, snižuje funkci štítné žlázy, syntézy a sekrece tyroxinu. Sloučeniny dvoumocného kobaltu vyvolávají nádory u zvířat a zřejmě jsou karcinogenní i pro člověka.³⁵ Akutní otrava rozpustnými solemi kobaltu se projevuje

podrážděním zažívacího systému (zvracení, průjem, bolesti v žaludeční krajině) a zčervenáním obličeje.³⁴

2.4.7 Nikl

Nikl je toxický prvek, lokálně dráždí a působí kožní záněty. Zdrojem znečištění životního prostředí niklem jsou kovohutě a místa, kde jsou spalovány nekvalitní oleje a uhlí. Velmi toxicky působí především na vodní organismy, s klesající tvrdostí vody stoupá jeho toxicita.³⁵ V živočišných organismech dosud není známá žádná specifická biochemická funkce. U rostlin a mikroorganismů byly zjištěny některé metaloenzymy obsahující nikl. Některé živočišné enzymy mohou být niklem aktivovány. Např. kalcineurin je silně aktivován nikelnatými ionty. Možnou funkcí niklu je účast při vstřebávání železa. Nikl prostřednictvím dosud neznámých enzymových mechanismů zřejmě usnadňuje resorpci železa konverzí Fe^{3+} na Fe^{2+} . V ovoci, cereáliích a potravinách živočišného původu je velmi málo niklu. Větší koncentrace se nachází v luštěninách, ořechách, čajových lístcích, kakaových bobech a výrobcích z kakaa a čokolády. Poněkud vyšší koncentrace (setiny až desetiny $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) se nacházejí v margarínech. Při výrobě ztužených tuků z rostlinných olejů se totiž používá katalyzátorů na bázi sloučenin niklu. U konzervovaného ovoce v kovových obalech byly prokázány zvýšené koncentrace niklu.³¹

Doporučená denní dávka tohoto prvku není stanovena. Skutečné dávky závisí na stravovacích zvyklostech a pohybují se v rozmezí 150–700 μg za den.

Mimořádnou toxicitu vykazuje tetrakarbonyl niklu $\text{Ni}(\text{CO})_4$. Při akutní otravě je prvním příznakem kašel, závratě, bolesti hlavy, dále následuje ztížené dýchání, horečky a zvracení. Vyvíjí se edém a hyperémie plic.³⁵

2.4.8 Měď

Měď je pro člověka esenciálním stopovým prvkem. Měďnaté ionty jsou součástí aktivních center řady enzymů, jako jsou cytochrom-*c*-oxidasa, superoxididismutasa, aminooxidasy, hydrolasy nebo lakkasy. Tyto enzymy se nazývají kuproenzymy.

Většina potravin obsahuje méně než 10 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ mědi. Obsah mědi v potravinách se mění, velmi chudé na měď je mléko, bohaté jsou naopak játra, luštěniny nebo houby. Některé potraviny mohou být mědí kontaminovány. Např. hrozny ošetřené pesticidy na bázi měďnatých sloučenin.

Doporučená denní dávka pro dospělého jedince je 1,5–3,0 mg mědi. Využitelnost mědi zvyšuje přítomnost bílkovin a aminokyselin. Vyšší dávky kyseliny askorbové, fruktosy, molybdenu, sirtých sloučenin a zinku resorpci mědi výrazně snižují.

Deficit mědi se projevuje zvýšenou hladinou cholesterolu v krvi, změnami srdečního rytmu a sníženou glukosovou tolerancí. Nedostatek je však velmi vzácný.^{31, 35}

Otravy vznikají nejčastěji po vypití síranu měďnatého (modré skalice), kdy je v první fázi zasažen zažívací trakt, nastává zvracení, břišní koliky a krvavé průjmy, následuje hemolýza, žloutenka a poškození jater a ledvin. Smrt u člověka nastává při požití 8–10 g CuSO_4 .³⁴

2.4.9 Zinek

Jako mikrobiogenní prvek je zinek aktivátorem mnoha enzymů. Mezi takové enzymy patří např. alkoholdehydrogenasa, laktátdehydrogenasa, superoxiddismutasa, karboxypeptidasa A, B a G, alkalická fosfatasa, aldolasa, RNA-polymerasa, DNA-polymerasa, reverzní transkriptasa, aj. Dále je zinek obsažen v zásobní formě inzulinu v pankreatu.

Účinnost resorpce zinku zvyšuje vysoký obsah bílkovin a aminokyselin. Opačně působí kyselina fytová a vláknina. Molární poměr kyselina fytová/zinek je měřítkem biologické využitelnosti zinku.³¹

Významnou roli pro příjem zinku má chléb, mléko, hovězí a vepřové maso. Nejvyšší koncentrace zinku byly naměřeny v játrech, tvrdých sýrech, kakau a luštěninách.³⁷

Doporučená denní dietární dávka zinku je 25 mg. Deficit zinku způsobí dlouhodobý příjem stravy s poměrem fytát/zinek větším než 20:1. Nedostatek se negativně projevuje zejména u dětí a vede ke zpomalení růstu a nedostatečnému vývoji mužských pohlavních orgánů. Dalšími příznaky nedostatku jsou vypadávání vlasů, změny na kůži, ztráta chuti.^{31, 35}

Ve vyšších dávkách je zinek toxický. Perorální podání 2 g zinku způsobí podráždění sliznice a zvracení. Smrtelná dávka pro člověka je 10 g zinečnatých solí. Chronická expozice se projevuje anémií.³⁵

2.4.10 Selen

Selen patří mezi esenciální prvky, má více než šest allosterických modifikací. Jako součást glutathionperoxidasy napomáhá účinkům vitamínu E. Glutathionperoxidasa zajišťuje ochranu proti poškození biologických struktur oxidací. Dalším selenoenzymem je jodthyronin-5'-dejdodasa. Dejdodasa I typu se vyskytuje v játrech, ledvinách, svalech a štítné žláze, typ II je přítomen v mozku, hypofýze a nadledvinkách. V přírodě je selen minoritní složkou sulfidů mědi, stříbra, olova a rtuti a je zde zastoupen velmi nerovnoměrně. Nejvyšší koncentrace selenu se nacházejí ve vyvěřelých horninách. Je-li určitá půda zemědělsky využívaná pro pěstování plodin nebo pastvu, pak jsou koncentrace selenu v plodinách a těle zvířat charakteristické pro příslušnou oblast.³¹

Vysoký obsah selenu mají mořské ryby, měkkýši a korýši (ústřice, krevety), sladkovodní ryby a vnitřnosti (ledviny) jatečných zvířat. Relativně vysoký obsah selenu mají také vejce, přičemž většina selenu je obsažena ve žloutku. Mléko, mléčné výrobky a maso obsahují selenu méně a tento obsah je velmi závislý na výživě zvířete. Některá krmiva pro zvířata se o selen záměrně fortifikují. Obsah selenu v potravinách rostlinného původu závisí na obsahu selenu v půdě nebo použitých hnojivech. Vegetace z lokalit s vysokým obsahem selenu v půdě může obsahovat až desítky $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ tohoto prvku v sušině. Takováto koncentrace již může vyvolat otravu zvířat spásajících tuto vegetaci. V České republice je vzhledem

ke stopovým koncentracím v půdě obsah selenu v potravinách velmi nízký. Údaje z let 1994-1995 naznačují určité zvýšení hladiny selenu v potravinách, takže se příjem blíží doporučeným hodnotám. Na této skutečnosti se pravděpodobně podílí dovoz zahraničních potravin s vysokým obsahem selenu.³¹

Doporučená denní dávka selenu je pro dospělého člověka 55–70 μg .³¹

Selen lze dobře stanovit ve vlasech. Normální hodnoty jsou $<0,12 \mu\text{g Se/g vlasů}$. Obsah nad $5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ je známkou intoxikace. Nedostatek selenu v potravě vyvolává myopatie a může být příčinou zvýšení četnosti infarktu myokardu. Extrémně nízký obsah selenu v těle mají Číňané – $20 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ krve (u nás je to $80 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ krve, v USA a Kanadě kolem $190 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$). Tento nedostatek se projevuje tzv. Kashanskou (Keshanskou) nemocí, pro kterou jsou typické poruchy srdeční činnosti. Podle jiné zprávy již 200 μg selenu za den snižuje riziko nádorového bujení na polovinu (desetileté pozorování).³⁵

Při akutní otravě selenem se dostávají křeče, zástava dechu a smrt. Příznakem chronické otravy je ztráta chuti k jídlu, průjem, zvýšený obsah bilirubinu v moči. První známkou zvýšené expozice selenem je skutečnost, že dech postiženého je cítit po česneku.³⁴

2.4.11 Molybden

Molybden je v lidském těle nezbytným stopovým prvkem. Je součástí takových enzymů jako jsou aldehydoxidas, sulfitoxidas, xanthinoxidas a xanthindehydrogenasa. Xanthinoxidas je velmi významná v metabolismu purinů. Rostliny a některé mikroorganismy jsou na rozdíl od živočichů schopny z anorganických sloučenin dusíku syntetizovat všechny aminokyseliny, které jsou pravidelnými složkami bílkovin. Na těchto procesech se podílejí mimo jiné také enzymy obsahující molybden, tj. nitrogenasa a nitrátreduktasa.

Větší množství molybdenu se nachází v luštěninách (jednotky $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), střední obsah mají celozrnné cereálie a vnitřnosti jatečných zvířat (desetiny až jednotky $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) a nízký obsah ($<0,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) má většina druhů zeleniny, ovoce, ryby, maso, mléko, mléčné výrobky.

Doporučené denní dietární dávky molybdenu jsou 75–250 μg . Projevy nedostatku jsou známy především u hospodářských zvířat, která žijí v oblastech s nízkým obsahem molybdenu v půdě a vegetaci.³¹

Akutní otravy u lidí nebyly popsány. Dlouhodobá expozice prachu sloučenin molybdenu může v pozdějších stádiích způsobit edém plic.³⁴

2.4.12 Kadmium

Zdrojem znečištění životního prostředí kadmii jsou kovohutě, do atmosféry se dostává spalováním nekvalitního uhlí a olejů. Kadmium z vody ve svém těle silně akumulují četné vodní organismy (řasy, koryši, měkkýši). Mezi rostliny, které získávají velké množství kadmia z půdy, patří špenát, hlávkový salát a některé olejniny. Až 70 % kadmia člověk přijme ve formě zeleniny.³⁸ Obiloviny přijímají jen malá množství kadmia. Z potravin živočišného původu mají nejvyšší množství kadmia vnitřnosti a to konkrétně ledviny, v kterých může být

obsah kadmia až o 2–3 řády vyšší než obsah povolený. Maso, vejce, mléko, mléčné výrobky obsahují kadmium jen ve stopovém množství.³¹

Kadmium vykazuje teratogenní a karcinogenní účinky, poškozují pohlavní orgány a má vliv na krevní tlak. Z kouře jedné cigarety se do plic dostane inhalací 0,1–0,2 mg kadmia. Již po 10 mg kadmia jsou zřetelné syndromy zvracení, poruchy trávicího ústrojí, poškození jater a ledvin. Mimořádný toxikologický význam mají páry kovového kadmia.³⁵ Důležitým indikátorem chronické otravy je hubnutí, žlutavý odstín pleti postiženého a pokašlávání. Zcela specifická je nespavost.³⁴

2.4.13 Cín

Cín se řadí mezi neesenciální prvky. V přírodě se vyskytuje zejména jako minerál kassiterit (oxid cíničitý) a jako příměs v některých sulfidech. Způsob kontaminace potravin cínem je zejména z pocínovaných plechů používaných při výrobě plechovek pro potravinářské účely. Cín se z plechovky dostává do potravin díky korozi cínového povrchu v místech, kde je narušena ochranná vrstva laku. V posledních letech se proto přestávají používat pocínované plechovky pro ovocné šťávy, kompoty a jiné kyselé potraviny. Organokovové sloučeniny cínu, konkrétně dibutylcín v koncentraci až $160 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, byly prokázány ve vínech transportovaných v nádobách z PVC.³¹

Přirozený obsah cínu v potravinách je velmi nízký. Ryby obsahují $4\text{--}8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Ve většině potravin je však koncentrace cínu menší než $1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Potraviny konzervované v pocínovaných plechovkách obsahují mnohonásobně vyšší koncentrace cínu (např. ovocné šťávy $30\text{--}260 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Denní dietární dávka cínu se odhaduje na 3 mg. Tolerovaná denní dávka cínu pro dospělého člověka o hmotnosti 70 kg je 140 mg.

Vysoce toxické jsou především organokovové sloučeniny cínu. Toxické účinky cínu se projevují až při dlouhodobé konzumaci potravin s velmi vysokým obsahem cínu ($1400 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).³¹

Pozdním účinkem cínu na zdraví člověka je vliv na centrální nervovou soustavu a postižení žlučovýchodů.³⁴

2.4.14 Olovo

Rostliny přijímají toxické olovo jednak z půdního roztoku kořenovým systémem, jednak z atmosféry depozicí zejména na povrchu listů. Obsah olova v nekontaminovaných půdách se pohybuje v rozmezí $0,2\text{--}1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny. Ve znečištěných oblastech je tato koncentrace podstatně vyšší. Vstřebané olovo je transportováno krví do jater a ledvin, kde se kumuluje. Část olova se vylučuje žlučí do střeva, malý podíl olova se vylučuje močí. Při dlouhodobé expozici se olovo hromadí v kostech. Při intoxikaci olovem dochází k poškození krve, nervového a kardiovaskulárního systému. V některých případech dochází při otravě olovem k poruchám motoriky končetin, zpomalení pohybových reakcí a podobným symptomům.³¹

Relativně vysokou koncentrací olova se vyznačují některé druhy zeleniny (špenát, hlávkový salát, mrkev), jedlé houby a semena olejnin. Z potravin živočišného původu mají největší

obsah olova vnitřnosti. Vyšší obsah olova je ve vnitřnostech starších zvířat, což souvisí s jejich věkem a výživou. Zvýšený obsah olova je také zjištěn u potravin balených v plechovkách. To je způsobeno kontaminací obsahu plechovky olovem obsaženým ve slitině cínu, kterou je zataven šev plechovky. Normální hladina olova v krvi u člověka je 50–120 mg·l⁻¹.³⁹ Na Slovensku proběhl v letech 1993-2005 monitoring spotřebního koše a v rámci tohoto výzkumu byly zjištěny největší koncentrace olova v masných výrobcích, uzeném mase, měkkých sýrech a vínech. Dále bylo zjištěno, že největším dílem se na expozici olova podílí brambory, pitná voda, pivo, ovoce a mouka (58 % z celkového příjmu).⁴⁰ Přijatelná denní dávka olova činí 500 µg při tělesné hmotnosti 70 kg.³¹

2.4.15 Arsen

Zdrojem znečištění přírody arsenem jsou především tepelné elektrárny spalující nekvalitní hnědé uhlí. V trávě poblíž takovýchto elektráren bylo nalezeno 3–227 mg As·kg⁻¹ sušiny (normální hodnota je 0,08–0,62 mg). Dobytek pasoucí se na těchto místech má v orgánech řádově vyšší hodnoty arсенu (játra 4,2–9,3 mg·kg⁻¹, ledviny 3,3–6,3 mg·kg⁻¹), normální hodnoty se pohybují v rozmezí 0,27–0,34 mg·kg⁻¹. Tento arsen může přecházet také do mléka (100 mg As·kg⁻¹).³⁵ V životním prostředí se arsen vyskytuje nejčastěji v oxidačních stupních –III, 0, III a V. Za mírných redukčních podmínek se arsen vyskytuje v trojmocné formě jako arsenitan. Z anorganických sloučenin arсенu vznikají jako produkty metabolické činnosti vodních organismů methylované formy, jako jsou dimethylarsinová kyselina, methylarsonová kyselina a arsenová analoga kvarterních amoniových sloučenin arsenobetain a arsenocholin.⁴¹ Toxicita jednotlivých sloučenin arсенu klesá v pořadí AsH₃ > AsO₃³⁻ resp. As₂O₃ > AsO₄³⁻ > methylarsonová kyselina > dimethylarsinová kyselina > arsenobetain ≈ arsenocholin.³¹ Dosud arсенu nebyla přiřazena žádná důležitá biochemická funkce. Bylo prokázáno, že arseničnanový anion je ve fosforylačních reakcích akceptorem namísto fosfátu a to způsobuje, že arseničnany vyvolávají v oxidativní fosforylaci hluboký rozvrat – nevytvářejí makroergické vazby jako fosfáty. Arsen začíná působit toxicky v dávkách 30–50 mg. Mezi příznaky chronické otravy arsenem patří vředy na kůži, typické zhrubnutí kůže na dlaních a chodidlech, ztráta vlasů, nehtů, zažívací potíže a bolesti hlavy. V malých dávkách má arsen příznivé účinky a používá se na zlepšení tělesné hmotnosti a celkového stavu. Tolerance na arsen může být zapříčiněna rychlejší přeměnou As(III) na As(V) v těle. Sloučeniny As(III) jsou 5–20krát toxičtější než sloučeniny As(V).⁴²

Arsen se ve vyšším množství akumuluje v mořských rybách, hlavně v měkkýších a korýších, kde je transformován zejména na arsenobetain, arsenocholin a další téměř netoxické organické sloučeniny. Ve vyšším množství se může arsen a jeho sloučeniny nacházet v ovsu, rýži a některých vínech. Některé plodiny, jako jsou tabák a bavlna, mají vůči arсенu vysokou toleranci a koncentrují ho více než jiné rostliny.³¹ Sloučeniny arсенu jsou zastoupeny v mořských produktech, vejcích a sýrech. Obsah arсенu v mořských rybách je menší než 5 mg·kg⁻¹ a v ostatních potravinách se pohybuje pod 1 mg·kg⁻¹. Při kontrole spotřebního koše na Slovensku v roce 2005 bylo zjištěno nejvíce arсенu v rýži, mléku, mouce a bramborách. Nejvíce arсенu bylo stanoveno v rýži, kde byly průměrné nálezy řádově vyšší než u ostatních komodit. Tato skutečnost může být vysvětlena tím, že v oblastech, kde se pěstuje rýže, mohou být používány starší pesticidy na bázi sloučenin arсенu. A rýže jako plodina pěstovaná na zaplavených polích má podstatně vyšší tendenci ke kumulaci látek rozpustných ve vodě,

včetně arsenu.⁴⁰ Tolerovatelná denní dávka arsenu pro dospělého člověka je 140 µg při tělesné hmotnosti 70 kg.⁴³

2.4.16 Železo

Železo je nejrozšířenějším kovem na zemi, vyskytuje se prakticky jen ve sloučeninách. V těle dospělého člověka se nachází 3–5 g železa. Nejvyšší koncentrace železa se nacházejí v krvi (hemoglobin), játrech a slezině (ferritin a homosiderin), nižší koncentrace jsou v ledvinách, srdci a kosterním svalstvu (myoglobin). Malé množství železa se nachází v hemových enzymech (cytochromy, oxygenasy a peroxidasy) a nehemových enzymech (sukcinátdehydrogenasa, jaterní xanthinoxidasa, akonitasa). V těle se železo podílí převážně na transportu kyslíku krevním řečištěm a skladování kyslíku ve svalové tkáni (železo vázané v hemoglobinu a myoglobinu) a na katalýze oxidačně redukčních reakcí (železo v hemových a flavinových enzymech). Hlavní hemové proteiny se schopností vazby kyslíku jsou hemoglobin – barvivo červených krvinek a myoglobin – červené barvivo svalových tkání. Oba proteiny obsahují hem, tj. protoporfyrinový komplex dvojmocného železa. Oxymyoglobin slouží jako tkáňová zásoba kyslíku. Jako transportní forma železa slouží transferrin obsažený v krevní plazmě. Zásobní formy železa jsou ferritin a hemosiderin.³¹

Z běžné diety se v trávicím traktu vstřebá 5–15 % přítomného železa. Resorpci železa zvyšuje např. kyselina askorbová, organické kyseliny (citronová, mléčná, jablečná a vinná), aminokyseliny (histidin, lysin, cystein) a sacharidy. Mezi látky, které resorpci železa naopak snižují patří kyselina fytová, vláknina, trísloviny, fenolové látky a vysoké dávky vápníku a fosforu).³¹

Mezi potraviny bohaté na železo patří vnitřnosti, maso, vejce, luštěniny, čaj a kakao. Střední obsah železa mají ryby, drůbež, cereálie, špenát, petržel a ořechy. Chudé na železo je mléko, mléčné výrobky, tuky a oleje, brambory a většina ovoce.³¹

Denní potřeba železa je asi 10 až 20 mg. Nedostatek se projevuje chudokrevností (anémií). Při anémii je v krvi sníženo množství hemoglobinu a červených krvinek.

Železnaté a železité ionty jsou ve vyšších dávkách toxické. Po vyšším příjmu než 15 mg byla pozorována zácpa. Toxické příznaky byly pozorovány po dávce 20 mg·kg⁻¹ a smrtelná dávka se pohybuje mezi 180–300 mg·kg⁻¹. Mezi negativní účinky železa patří degenerace myokardu, zvýšená permeabilita krevních kapilár a dále hypotenze.³⁵

2.5 Metody vhodné ke stanovení prvků v rostlinných materiálech

Pro prvkovou analýzu biologického materiálu se nejvíce využívají tyto tři metody:

- Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES)
- Atomová absorpční spektrometrie s elektrotermickou atomizací (GF-AAS)
- Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS)

2.5.1 Srovnání metod GF-AAS, ICP-OES a ICP-MS

Pokud se ve vzorku s malou variabilitou nachází malý počet prvků a je známá podrobná informace o složení vzorku, je pro rutinní jednorvkovou analýzu nejvhodnější metoda AAS.

Při velkém počtu stanovovaných prvků ve vzorku o velké variabilitě a současně při dobré znalosti složení vzorků je vhodná analýza pomocí ICP-OES.⁴⁴

Analýza pomocí ICP-MS se soustřeďuje na stopové a ultrastopové koncentrace toxických či esenciálních prvků (Tl, Pb, Cd, As, U, I, Se). Přístroje s kvadrupólovým analyzátozem dosahují detekční limity na hranicích $\text{ng}\cdot\text{l}^{-1}$ (ppt). Velkou výhodou této metody je její úplná multielementárnost a možnost sledovat izotopické poměry.⁴⁵ Nehodí se ke stanovení matrice s větším obsahem solí (více než $2\text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$). ICP-MS předčí ostatní metody velmi nízkou spotřebou vzorku (z 1 ml vzorku je možné stanovit širokou škálu prvků). Mezi největší nevýhody ICP-MS patří vysoká pořizovací a provozní cena.⁴⁶ Roční náklady na provoz ICP-MS jsou 2krát vyšší než u ICP-OES a 3krát vyšší než u GF-AAS.⁴⁷

V tabulce 2 je uvedeno srovnání technik ICP-MS, ICP-OES a GF-AAS.⁴⁸

Tabulka 2 Srovnání jednotlivých spektrometrických technik

Technika	Prvky	Detekční limity	Výhody	Nevýhody	Použití	Zdroj
ICP-MS	většina kovů a nekovů	ppt ($\text{ng}\cdot\text{l}^{-1}$)	rychlá, citlivá, multielementární metoda, široký dynamický rozsah, dobrá kontrola interferencí	nízká tolerance vůči látkám rozpuštěným v matrici	cereálie, ovoce, zelenina, pomerančový džus, játra, česnek, kvasnice, houby, dětská výživa	32, 54, 61, 62
ICP-OES	většina kovů a některé nekovy	ppb-ppm ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ – $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	rychlá, multiprvková metoda, vysoká TDS tolerance	složité interference, relativně malá citlivost	olivový olej	53
GF-AAS	většina kovů (obvykle Pb, Ni, Cd, Co, Cu, As, Se)	ppt ($\text{ng}\cdot\text{l}^{-1}$)	citlivá metoda, nízký počet interferencí	jednoprvková technika, limitovaný dynamický rozsah	rajčata, cibule vejce, maso, mléko, sýr, čokoláda, chléb, rýže, fazole	49, 51

2.5.2 Použití metod GF-AAS, ICP-OES a ICP-MS při analýze potravin

Metoda GF-AAS byla například použita ke stanovení selenu v zelenině a ovoci,⁴⁹ dále ke stanovení Pb, Cr, Cu, Mn, Cd ve vybrané zelenině (rajčata, cibule), kdy byla jako metoda rozkladu využita metoda mikrovlnného rozkladu v uzavřeném systému v prostředí kyseliny dusičné a peroxidu vodíku.⁵⁰ Nardi *et al.* se ve své studii zabýval stanovením stopových prvků v 18 druzích vybraných potravin (např. rýže, fazole, vejce, maso, mléko, sýr, čokoláda, chléb, káva). Provedená analýza pomocí ICP-MS prokázala, že tato metoda je vhodná ke stanovení 16 prvků v různých druzích potravin.⁵¹ O stanovení niklu v potravinách pomocí plamenové AAS pojednává práce Yebra *et al.*⁵²

Metoda ICP-OES byla např. použita ke stanovení mědi, kadmia, olova a zinku v panenském olivovém oleji.⁵³

Ekholm *et al.* se ve své práci z roku 2007 zabýval stanovením minerálních a stopových prvků (Co, Cu, Fe, Mn, Cd, Ni, Se, Pb) v cereáliích, ovoci a zelenině ve Finsku. Získané výsledky koncentrací těchto prvků naměřené metodou ICP-MS porovnával s výsledky z roku 1970. Mezi analyzovanými druhy ovoce se nacházel i rakytník řešetlákový, ten obsahoval z proměřovaných stopových prvků největší množství železa (2,2 mg/100 g sušiny), oproti tomu nejmenší koncentraci vykazoval selen (<0,001 mg/100 g sušiny).³²

V brazilských a australských pomerančových džusech bylo stanoveno 22 stopových prvků pomocí metody ICP-MS a ICP-AES.⁵⁴

ICP-AES byla také použita pro stanovení takových prvků, jako jsou měď, nikl, olovo, zinek a chrom v ovoci rostoucím podél silnice, konkrétně se jednalo o lokalitu v Turecku. V této práci bylo analyzováno takové ovoce, jako je růže šípková, švestka, jablko a dřín obecný.⁵⁵

2.6 Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem

2.6.1 Úvod

Metoda ICP-MS je víceprvková analytická metoda, která má pro většinu prvků výrazně nižší meze detekce než běžné analytické metody a je vhodná zejména pro ultrastopovou analýzu. Metoda ICP-MS využívá vysokoteplotního ICP zdroje, který převádí atomy prvků obsažených ve vzorku na ionty, které jsou následně separovány a detekovány hmotnostním spektrometrem.

ICP je metoda, která se ve spojení se spektrometrií objevila asi před 30 lety a v dnešní době se nevyužívá jen jako zdroj charakteristického záření zpracovaného na analytický signál v optické emisní spektrometrii, ale také jako účinný a časově stabilní zdroj sloužící jako zdroj analytického zpracování pomocí hmotnostní spektrometrie. Spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem dávají velice přesné a spolehlivé výsledky a to poměrně rychle a jednoduše.⁵⁶

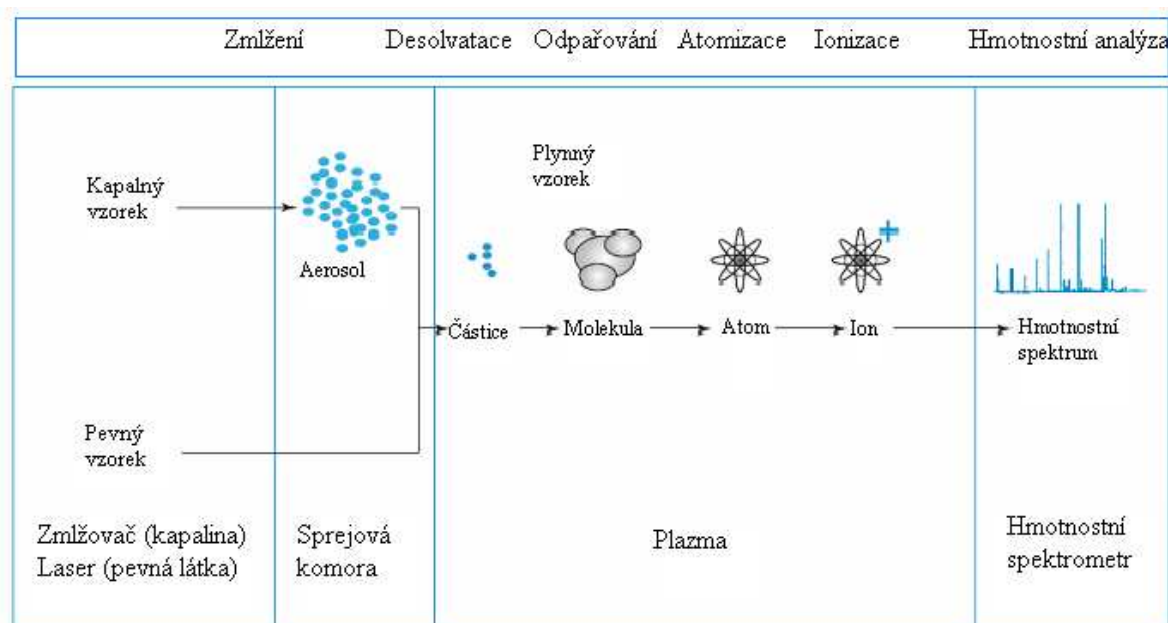
Základní vlastnosti ICP lze shrnout do následujících bodů:

- Použitelnost pro 68 prvků periodické soustavy
- Možnost multielementárního, simultánního a sekvenčního stanovení
- Vysoká selektivita
- Dobré meze detekce prvků za jednotných optimalizovaných podmínek zdroje
- Velký lineární rozsah kalibrace (4–6 řádů)
- Minimální nesespektrální interference
- Možnost analýzy stopového množství vzorku
- Přijatelná přesnost (1–3 %) a správnost
- Rychlost analýzy a její automatizovatelnost

2.6.2 Princip metody

V plazmatu je ionizován zředěný roztok nebo odpařený vzorek. Malými otvory, tzv. sampling a skimmer kónusem, ionty vstupují do vakuového prostoru s elektromagnetickými čočkami, kvadrupólovým hmotnostním filtrem a elektronásobičovým detektorem. Elektromagnetické čočky usměrňují tok iontů tak, aby ionty obešly překážku, která brání pronikání rušivých fotonů z plazmatu na detektor. Následně jsou ionty v kvadrupólovém filtru rozkmitány tak, že filtrem projdou pouze ionty o daném poměru hmotnosti a náboje (m/z). Ostatní druhy iontů jsou odčerpány nebo se vybíjí na stěnách kvadrupólu. Kvarupólem prošlé ionty vybudí v elektronásobiči signál, který je zesílen a elektronicky zpracován. Na detektor lze v krátkých intervalech vypouštět ionty o různém m/z , a to díky tomu, že lze rychle a přesně měnit napětí na elektrodách kvadrupólového filtru. To znamená, že mohou být měřeny různé nuklidy o relativní atomové hmotnosti např. od 3 do 256. Koncentrace izotopů a chemických prvků jsou stanovovány a počítány dle koncentrační kalibrace, která předchází měření.

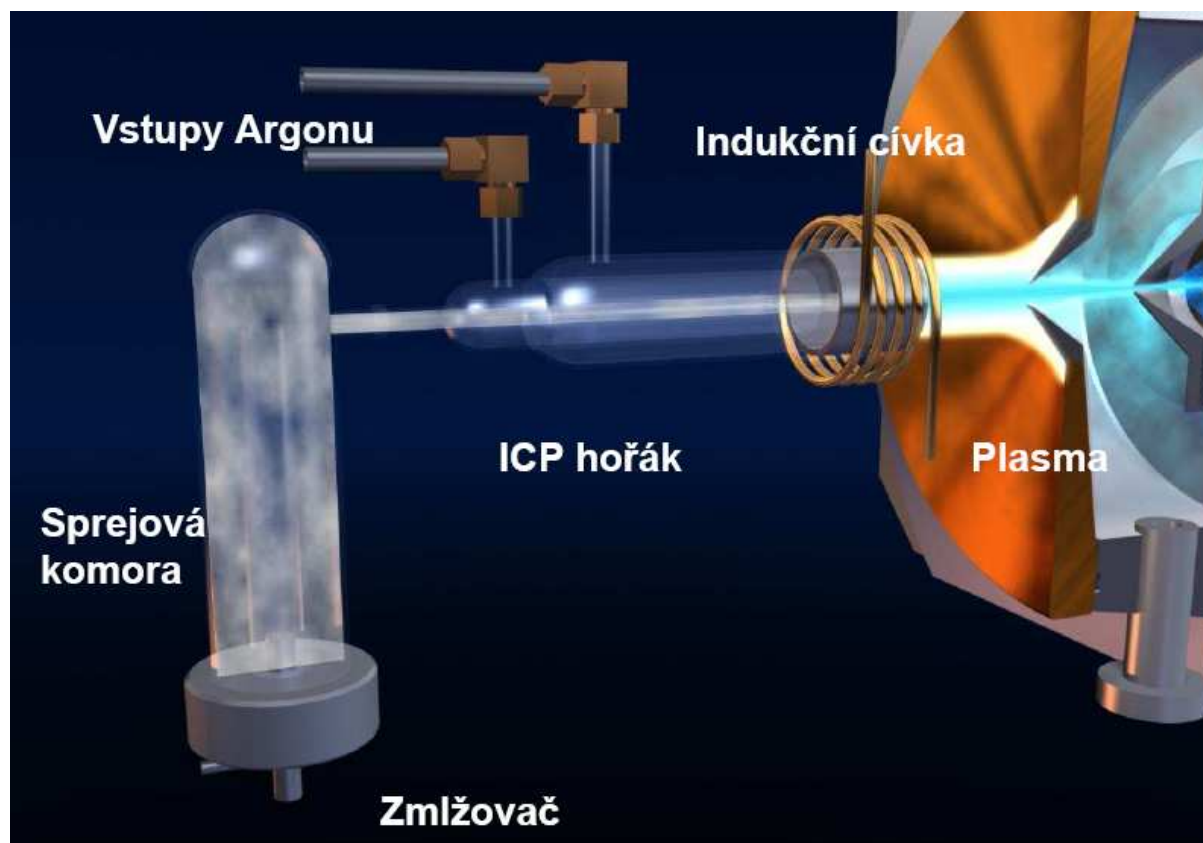
Cestu vzorku od jeho zavedení do plazmatu, až po dosažení hmotnostního spektrometru ukazuje obrázek 8.



Obrázek 8 Cesta vzorku od zavedení po dosažení hmotnostního spektrometru⁵⁴

2.6.3 Zavádění vzorku do plazmatu

Zavádění vzorku do plazmatu dosud patří mezi nejslabší články instrumentace. Indukčně vázané plazma, jako zdroj excitační a ionizační energie, může být používána k analýze kapalných i plyných vzorků a s využitím různých technik také k přímé analýze vzorků pevných. Pro analýzu na ICP-MS je nutné převést kapalnou vzorek na aerosol a transportovat malé kapičky vzorku do plazmatu. Kapalnou vzorek je do zmlžovače nasáván peristaltickým čerpadlem. Tam je roztok převeden na aerosol (drobné kapičky), který je veden přes mlžnou komoru, ve které dochází k rozdělení kapek podle velikosti. Do plazmatu jsou vedeny jen kapičky určité velikosti.⁵⁶ Proces zavádění vzorku do plazmatu je znázorněn na obrázku 9.



Obrázek 9 Schematické znázornění transportu vzorku do plazmatu⁵⁷

2.6.4 Vznik indukčně vázaného plazmatu

Vytvořené elektrony jsou urychlovány νf (vysokofrekvenčním) elektromagnetickým polem. Elektrony s dostatečnou kinetickou energií způsobují další, lavinovitou ionizaci pracovního plynu (argonu). Tato ionizace má za následek vytvoření nepřetržitého výboje, kterým je dodávána energie νf vířivými proudy indukovanými v povrchové vrstvě plazmatu. Výboj ICP je iniciován v plazmové hlavici přenosem vysokofrekvenčního plynu do proudu plynu a první ionizační impuls se dodá z Teslova transformátoru nebo indukčně zahřátým uhlíkem. Plazmové hlavice jsou vyrobeny ze žáruvzdorných trubíc obvykle z křemenného skla a jsou uloženy v indukční cívce. Jako plazmový plyn se používá snadno ionizovatelný argon, méně časté je plazma argon-dusíkové. Největší nevýhodou argonu je jeho nízká tepelná vodivost omezující účinnost atomizačních procesů. Tuto skutečnost lze zlepšit přidávkou vodíku (plyn

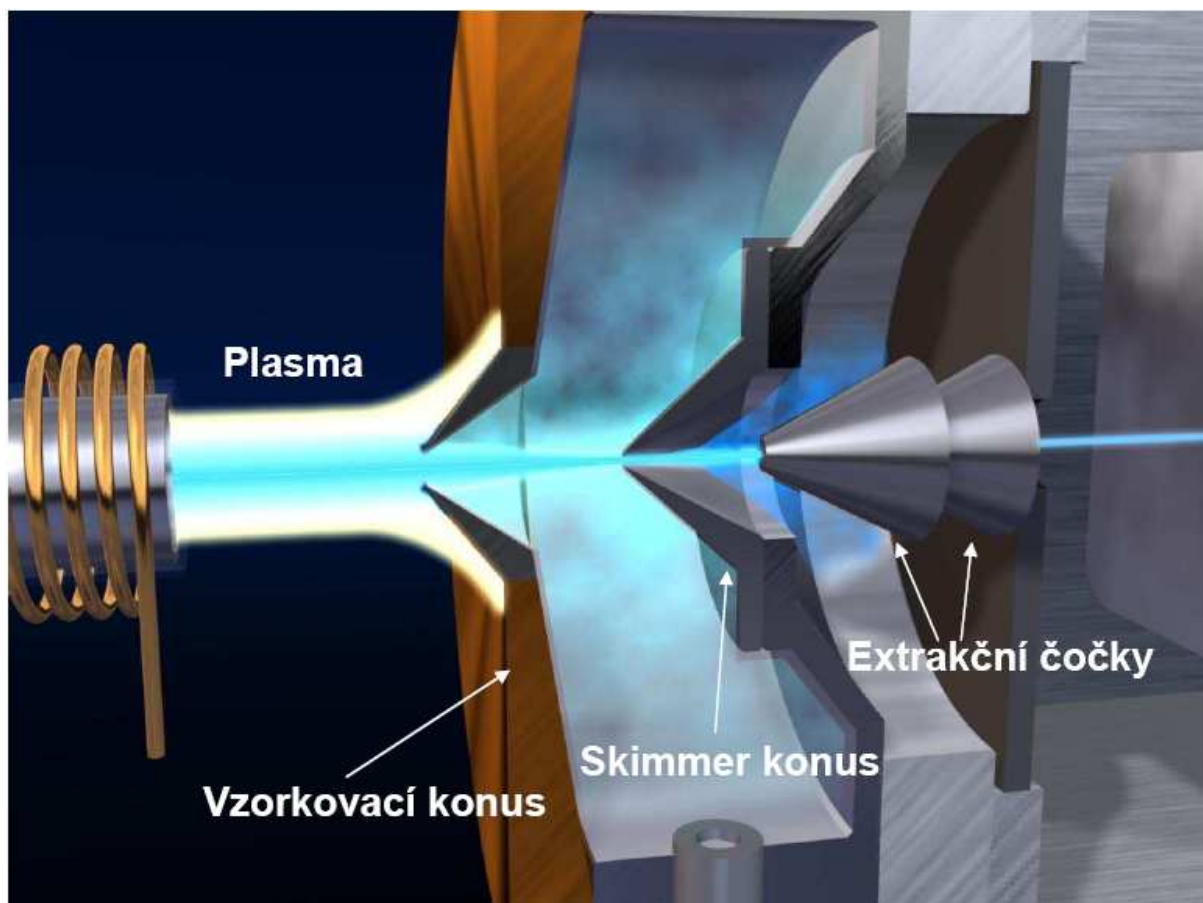
s nejvyšší tepelnou vodivostí).⁵⁶ Ideální je toroidní tvar plazmatu. Prostředkem prochází relativně chladný analytický kanál.⁴⁵

2.6.5 Produkce iontů v ICP

Vzorek jako aerosol je vnášen do plazmatu, kde je vysušen. Vysušené částičky vzorku jsou plazmatem rozloženy na atomy. Atomy jsou ionizovány, protože hmotnostní analyzátor je schopen operovat pouze s ionty. Z ústí plazmové hlavičky vystupuje analyt jako směs iontů a atomů.⁵⁴

2.6.6 Interface (přechod iontového zdroje k hmotnostnímu spektrometru)

Ionty jsou z plazmatu transportovány do hmotnostního spektrometru skrz speciální rozhraní. Výboj ICP pracuje za atmosferického tlaku, ale hmotnostní analyzátor pracuje za nízkého tlaku. Přechod je tvořen dvěma kužely (kónusy), v jejichž vrcholech jsou malé otvory. První kónus se nazývá vzorkovací a zasahuje do plazmatu, kde odebírá z analytického kanálu proud iontů. Tento kónus má otvor o velikosti asi 1 mm. Druhý kónus se označuje jako „skimmer“ a má o něco menší otvor než vzorkovací kónus – přibližně 0,75 mm. Mezi kónusy se tlak snižuje rotační vývěvou, zatímco ke snížení tlaku v prostoru iontové optiky a hmotnostního analyzátoru se používají turbomolekulární pumpy. Při průchodu přes rozhraní jsou ionty urychlovány tlakovým spádem až na rychlosti překračující rychlost zvuku. Kónusy jsou připevněny k vodou chlazené desce, a tím je zajištěna jejich bezpečná teplota.⁵⁸ Schéma přechodu mezi ICP a hmotnostním spektrometrem je znázorněno na obrázku 10. Jako materiál pro výrobu kónusů se nejčastěji používá nikl nebo platina (pro práci s vyššími koncentracemi kyselin). Technika ICP-MS je vhodná pro vzorky, o celkové koncentraci solí méně než $2 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$. U vzorků s vyšším obsahem solí dochází k ucpávání otvorů v kónusech.⁴⁵



Obrázek 10 Rozhraní ICP-MS⁵⁷

2.6.7 Iontová optika

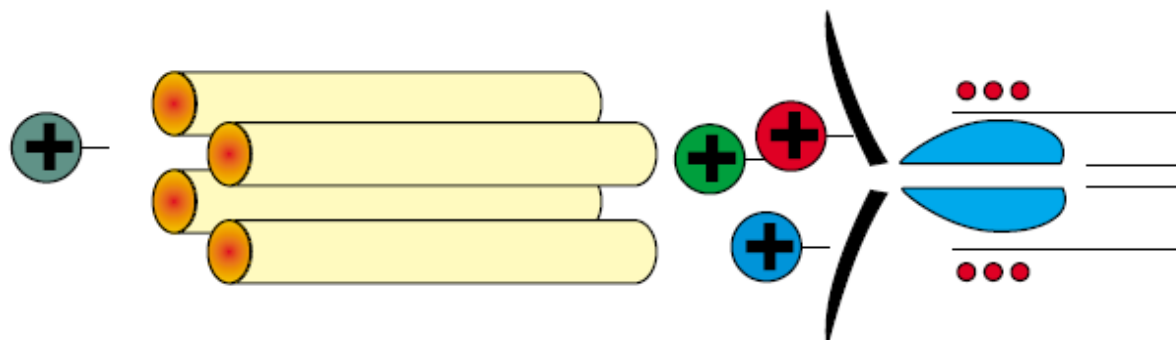
V ose paprsku je umístěna zarážka, jejímž úkolem je chránit detektor před dopadem fotonů. Pokud by fotony na detektor dopadly, došlo by ke zvýšení šumu a pozadí signálu. Iontové čočky iontový svazek rozostřují, aby obešel zarážku fotonů, a poté ho opět zaostří, aby mohl pokračovat mezi elektrody kvadrupólu.⁵⁶

2.6.8 Kvadrupólový analyzátor

Kvadrupólový analyzátor je tvořen čtyřmi elektrodovými tyčemi kruhového nebo hyperbolického průřezu o průměru 12–18 mm a délce asi 200 mm. Tyto tyče jsou umístěny symetricky a vždy dvě protilehlé jsou vodivě propojeny. Na jeden pár tyčí je vloženo kladné a na druhý záporné stejnosměrné napětí. Zároveň je na tyče přiváděno také střídavé napětí o větší hodnotě, než jsou stejnosměrné složky. Výsledné napětí příslušného páru tyčí v daném časovém okamžiku tedy vzniká sčítáním obou proudů. Po většinu periody mají tyče s kladným stejnosměrným napětím kladné napětí a tyče se záporným stejnosměrným napětím záporné napětí. V ose mezi tyčemi je nulové napětí a v tomto směru jsou přiváděny analyzované ionty.⁵⁹

V kvadrupólovém filtru dojde k rozkmitání iontů, tak že kvadrupólem projdou pouze ionty o určitém poměru m/z (poměr hmotnosti iontů a jejich náboje). Ionty, které mají jiný poměr m/z jsou odvedeny pryč nebo se vybijí na tyčích kvadrupólu. Ty ionty, které kvadrupólem

projdou, vybudí v elektronásobiči signál, který je zesílen a elektronicky zpracován.⁵⁶ Průchod iontů kvadrupólem je schematicky znázorněn na obrázku 11.



Obrázek 11 Schematické znázornění kvadrupólu⁵⁸

2.6.9 Detektor iontů

Ionty, které prošly kvadrupólem jsou detekovány elektronásobičem. Dopadem jednoho iontu zde vzniká kaskádový tok elektronů, který je zaznamenán jako výsledný signál a dále zpracován. Elektronové násobiče mají schopnost zesílit elektronový proud 10^4 – 10^8 krát.⁴⁶

2.6.10 Interference

V ICP-MS je nutno počítat s celou řadou rušivých vlivů matrice, které se dělí na spektrální a nespektrální interference. Matrice vzorku (doprovodná složka obsažená ve vzorku) může být velmi jednoduchá, jako například vzorek pitné vody stabilizovaný kyselinou dusičnou, nebo velmi složitá – např. výluhy půd nebo odpadů, kde je matrice vzorku tvořena komplikovanou směsí iontů, komplexů a organických látek o značné koncentraci. Čím větší je variabilita matrice, tím obtížnější je odstranění případných rušivých vlivů. Důležitým faktorem je poměr mezi koncentrací analytu a koncentrací matrice. Interferencí matrice rozumíme efekt rozdílné velikosti signálu, kterou získáme pro stejnou koncentraci analytu v čistém standardu a za přítomnosti doprovodných složek.

Spektrální interference

Za hlavní spektrální interference lze označit:

- hmotnostní překryv izotopů různých prvků se stejnou hmotností (eliminuje se volbou vhodného izotopu nebo matematickou korekcí)
- hmotnostní překryv stanovovaného prvku s molekulárními nebo polyatomickými ionty se stejnou efektivní hmotností (m/z). Ty se formují v plazmě z prekurzorů vznikajících z plazmových plynů, vody a kyselin použitých pro rozpouštění matrice vzorku.⁴⁵

Nespektrální interference

Tyto interference způsobují zvýšení i snížení signálu a jsou způsobeny následujícími jevy:

- ovlivnění transportu a zmlžování
- efekty ovlivňující ionizaci v plazmě, které jsou nejčastěji způsobeny vyššími koncentracemi snadno ionizovatelných prvků nebo přítomností organické matrice

- blokády na vstupních clonách interface vznikající usazováním solí (metoda se používá pro roztoky obsahující běžně od 0,2 % solí, max. 1 %.)
- maticí indukované změny v iontovém paprsku. Většinou se jedná o změny rozložení elementů v iontovém paprsku. Tyto efekty způsobují vysoké koncentrace Na, K, Cs, Mg, Ca (zvýšení signálu), B, Al, U (snížení signálu).

K eliminaci nespektrálních interferencí je nejčastěji používaná metoda vnitřních standardů. Musí platit podmínka, že mechanismus interference a míra ovlivnění musí být stejné pro analyzované vzorky a vnitřní standard.⁴⁵

2.6.11 Způsoby eliminace interferencí

Možnosti eliminace interferencí jsou následující:

- odstraněním matrice
- zředěním vzorku
- matematickou korekcí
- optimalizací přívodu vzorku (např. chlazená zamlžovací komora (0,2°C), nižší průtok vzorku než 0,4 ml·min⁻¹)
- eliminací sekundárních výbojů
- eliminací interferencí kolizemi v kónusech
- hmotnostním analyzátozem s vysokým rozlišením
- použitím kolizně-reakční cely – odstranění interferujících polynomických iontů.⁵⁷

2.6.12 Použití ICP-MS k analýze prvků v potravinách

ICP-MS je metoda, která se používá ke stanovení minerálních, toxických i esenciálních prvků v potravinách velice často, o čemž svědčí velké množství publikovaných článků

Např. Millour *et al.* se ve své studii zabývali stanovením Pb, Hg, Cd, As, Al v potravinách.⁶⁰ Další studie pojednává o stanovení selenu ve vzorcích jako jsou játra, česnek, kvasnice a houby.⁶¹ Metoda ICP-MS byla také použita ke stanovení makroprvků a stopových prvků v dětské výživě.⁶²

Technika ICP-MS pracuje s kapalnými vzorky, proto je třeba při analýze pevných vzorků, převést tyto vzorky do roztoku.

2.7 Rozklad biologického materiálu

Rozklad biologického materiálu je spolu se vzorkováním a manipulací se vzorkem jedním z nejkritičtějších kroků ve stopové analýze.⁶³

Metody rozkladu biologického materiálu se nejčastěji dělí na rozklady:

- suché
- mokré
- jiné techniky

Jednotlivé skupiny se dělí v závislosti na teplotě, tlaku, chemických činidlech a zařízení, které se při rozkladném procesu používají. V dnešní době je nejrozšířenějším rozkladem mokrý rozklad s použitím kyselin a následuje suchý otevřený rozklad (zpopelnění).^{63, 64, 65}

2.7.1 Suchý rozklad

Látky s organickou matricí se při suchém rozkladu rozkládají při nižší teplotě, působením tepelné energie, pomocných a oxidačních činidel (kyslík) v dostatečně dlouhém čase (10–16 hodin), postupným, pomalým spalováním (zpopelňováním).

Suché rozklady můžeme rozdělit podle aplikované teploty na rozklady při vysoké teplotě (450–500 °C) a rozklady při nízké teplotě (200–400 °C). Oba tyto rozklady lze provádět za normálního tlaku (na vzduchu v otevřeném systému), nebo za zvýšeného resp. vysokého tlaku v uzavřeném systému.

Suchý rozklad v sobě zahrnuje sušení, spalování (zuhelňování), zpopelňování a louhování popela.^{63, 64}

Suchý rozklad na vzduchu za atmosférického tlaku patří k nejdéle využívaným rozkladům organických a biologických vzorků. I přes velké nedostatky, ke kterým patří ztráty prchavých a někdy i neprchavých analytů ve fázi spalování, patří dodnes k široce využívaným metodám.⁶⁴

2.7.2 Mokrý rozklad

Nejrozšířenějším typem rozkladů je mokrý oxidační rozklad působením směsi koncentrovaných minerálních kyselin.⁶³ Mírou rozkladu organických látek jsou použita chemická činidla a teplota rozkladu.

Mokrý rozklad zahrnuje několik typů rozkladů:

- v otevřených systémech s konvenčním ohřevem,
- v tlakových (uzavřených) systémech s konvenčním ohřevem,
- v otevřených systémech s mikrovlnným ohřevem,
- v tlakových (uzavřených) systémech s mikrovlnným ohřevem,
- ve smíšených systémech, to je zařízeních pracujících za normálního, případně zvýšeného a vysokého tlaku s konvenčním nebo mikrovlnným ohřevem.⁶⁴

Jak při klasickém rozkladu, tak při rozkladu podporovaném mikrovlnným ohřevem, probíhá rozkladný proces oxidačními kyselinami ve více krocích. Nejprve nastává karbonizace, během které rozkládaná směs zhnědne až zčerná. Při následné oxidaci dochází k vyloučení C, O a H ve formě CO₂ a H₂O, dusík se vylučuje ve formě NO₂. Po oxidačním rozkladu je vzniklý roztok bezbarvý, případně slabě zbarvený, v závislosti na obsahu a druhů analytů v něm přítomných.⁶⁴

Pro mokrý rozklad se používají kyseliny s velkými oxidačními schopnostmi. Mezi takovéto kyseliny lze zařadit zejména kyselinu dusičnou, méně často se používá např. kyselina sírová. Účinek kyselin se může zvýšit přidávkem dalších oxidačních činidel (peroxid vodíku, KI, atd.)

Pro přípravu organických vzorků, které se následně využívají pro prvkovou analýzu metodami ICP-MS, ICP-OES a AAS se nejčastěji používá tlakový (uzavřený) mikrovlnně podporovaný rozklad.^{64, 65} Podstatou tohoto rozkladu je absorpce mikrovlnné energie

v objemu látky, čímž vzrůstá teplota. Vzorek se společně s rozkladnými činidly uzavře do nádoby zhotovené z materiálu, který je dostatečně odolný a zajistí nízkou ztrátu mikrovlnné energie. Stěny nádobek se primárně nezahřívají, ohřev nastává přímo ve směsi rozkládaného materiálu interakcí mikrovlnného záření a absorbujícího prostředí (molekulami vzorku).⁶⁴

Výhodou uzavřeného tlakového rozkladu je snížená hladina kontaminace a tím i hodnot slepých pokusů, snížená spotřeba chemických rozkladných činidel a zlepšená hygiena práce. Nevýhodou je zvýšené bezpečnostní riziko, nemožnost dodatečného, resp. postupného přidávání činidel a relativně nízké hmotnosti navážky.⁶³

2.7.3 Další metody rozkladu organických látek

Jako další metoda se často používá rozklad fotolýzou ultrafialovým zářením, jejíž princip spočívá v působení ultrafialového záření, peroxidu vodíku a někdy i katalyzátorů na rozkládanou organickou látku. Výhodou jsou nízké zdroje kontaminace a možnost rozkladu prchavé matrice. Nevýhodou je dlouhý čas, pění a omezenost využití.⁶⁴

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Popis vzorku

K měření byly použity vzorky rakytníku řešetlákového (*Hippophae rhamnoides*), dřínu obecného (*Cornus mas*) a mišpule obecné (*Mespilus germanica*) získané od Zahradnické fakulty Mendelovy univerzity v Brně, která tyto netradiční druhy ovoce pěstuje ve svém sadu v Žabčicích. V tabulce 3 jsou uvedeny použité odrůdy netradičního ovoce s datem sběru.

Tabulka 3 Vzorky použité pro analýzu

Druh	Odrůda	Datum sběru
Rakytník řešetlákový (<i>Hippophae rhamnoides</i>)	Ljubitelna	2.8.2010
	Trofimovský	2.8.2010
	Botanický	2.8.2010
	Aromat	6.8.2010
	Leicora	16.8.2010
	Vitamínová	16.8.2010
	Trofimovský 2	25.8.2010
	Aromat 2	23.8.2010
	Buchlovický	23.8.2010
	Dřín obecný (<i>Cornus mas</i>)	Lukjanovský
Sokolnický		16.8.2010
Tišnovský		23.8.2010
Ruzyňský		23.8.2010
Ekotišnovský		2.9.2010
Fruchtal		2.9.2010
Olomoucký		2.9.2010
Fruchtal 2		2.9.2010
Vydubecký		2.9.2010
Jolico		
Mišpule obecná (<i>Mespilus germanica</i>)		

Ukázky analyzovaných vzorků jednotlivých odrůd rakytníku řešetlákového jsou uvedeny v příloze 2. Vzorky odrůd dřínu obecného zachycuje příloha 3 a analyzovaný vzorek mišpule obecné je uveden v příloze 4.

3.2 Laboratorní vybavení

3.2.1 Chemikálie

- ultračistá deionizovaná voda (Pure Lab Watter),
- kyselina dusičná 67%, p.a.+ (Analytika, Praha ČR),
- peroxid vodíku 30%, p.a. (Lach-Ner, Neratovice, ČR),
- standardy jednotlivých prvků 1 g·l⁻¹ (Astasol, Analytika, ČR)

3.2.2 Pomůcky

- běžné laboratorní sklo
- hliníkové misky pro sušení vzorků
- třecí miska s tloučkem
- keramický nůž
- mikropipeta

3.2.3 Přístroje

- analytické laboratorní a digitální váhy AND HA-202M (A a D Company, Tokio, Japonsko),
- lednice a mrazicí box,
- sušárna Binder FDL 115,
- jednotka pro přípravu ultračisté deionizované vody Pure Lab Classic UV (Elga, Marlow, Velká Británie),
- mikrovlnný rozkladný systém Milestone 1200 s karuselem na 6 vzorků (Milestone, Shelton, USA),
- Autosampler ASX 520 (Cetac, Omaha, USA),
- ICP-MS Thermo X-seriesQuad (Thermo Elemental, Winsford, UK).

3.3 Příprava vzorku

Vzorky ovoce byly po sklizni uchovávány v mrazáku při teplotě $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Před sušením se vzorky ponechaly při laboratorní teplotě rozmraznout a následně byly sušeny v hliníkových miskách při teplotě $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ asi tři dny. Plody dřínu obecného byly před sušením zbaveny pecky pomocí keramického nože na plastové podložce. Plody rakytníku řešetlákového a mišpule obecné byly sušeny vcelku. Suché vzorky byly rozdrceny v třecí misce.

Z takto připravených vzorků bylo na analytických vahách do teflonových patron naváženo $500 \pm 50\text{ mg}$. Každý vzorek byl navažován v pěti paralelních navážkách. Ke vzorkům bylo přidáno 5 ml HNO_3 a 2 ml H_2O_2 .

Po umístění teflonových patron do mikrovlnné rozkladné pece Milestone byl proveden rozklad vzorku podle programu uvedeného v tabulce 4.

Mineralizované vzorky byly kvantitativně převedeny do odměrných baněk o objemu 25 ml a ty byly doplněny ultračistou deionizovanou vodou. Po důkladném promíchání byly vzorky převedeny do plastových zkumavek a před vlastním měřením metodou ICP-MS byly uchovány v ledničce při teplotě $8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Při manipulaci se vzorky byly vždy používány jednorázové ochranné rukavice, aby nedošlo ke kontaminaci vzorků. Dalším ochranným opatřením proti kontaminaci vzorků bylo použití keramického nože namísto klasického kovového. Veškeré používané laboratorní sklo bylo důkladně čištěno louhováním v kyselině dusičné o koncentraci $2\text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ a následně vypláchnuto deionizovanou vodou.

Při přípravě vzorků, standardů a při vlastní analýze byla používána ultračistá deionizovaná voda pomocí přístroje Pure Lab Classic. Důvodem použití ultračisté deionizované vody je to,

že při práci s ICP-MS se musí používat voda, která je zbavena veškerých iontů, částic, organických nečistot a mikroorganismů, které by mohli výrazně zkreslovat výsledky.

Tabulka 4 Program mikrovlnného rozkladu (Milestone)

krok	čas [min]	výkon [W]
1	2	200
2	5	400
3	5	0
4	5	400
5	3	600
ventilace	15	0

3.4 Příprava kalibračních roztoků

Pro vlastní měření byly připraveny multielementární kalibrační roztoky, a to smísením standardních roztoků jednotlivých prvků, které byly vybrány pro analýzu. Analyzovanými prvky byly Be, B, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Mo, Cd, Sn, Pb, As, Fe. Kalibrace byla provedena v rozsahu 10–1000 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Hodnoty korelačních koeficientů u kalibračních křivek byly 0,999 a vyšší. Kalibrační křivky byly lineární v celém rozsahu.

3.5 Stanovení prvků metodou ICP-MS

Měření bylo provedeno na přístroji ICP-MS na Fakultě chemické, VUT v Brně. Přesné parametry přístroje jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5 Parametry přístroje ICP-MS

Přístroj	Thermo X-seriesQuad (Thermo Elemental, Winsford, UK)
Průtok argonu	Plazmový plyn 13 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ Pomocný plyn 0,7 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ Nosný plyn 0,9 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$
RF výkon	1300 W
Zamlžovač	Typ Meinhard Peristaltické čerpadlo 50 rpm
Mlžná komora	Kuželový typ s impaktorem Teplota 2 °C

3.6 Statistické charakteristiky

Každý vzorek byl analyzován 5krát a získané výsledky byly analyticky zpracovány v programu Microsoft Office Excel 2007.

Skutečnou hodnotu dané veličiny (μ) nelze určit úplně přesně. Každé měření je zatíženo řadou chyb. Chyby mohou vznikat nesprávně zvolenou metodou, tlakem, teplotou, vlhkostí vzduchu, stavem měřicího přístroje, parametry měřicího přístroje nebo osobou, která měření provádí. Proto musí být součástí každého měření důkladná analýza všech chyb, které se při

něm uplatnily. Všechny výsledky analýz jsou zatíženy malými nepravidelnými odchylkami od skutečné hodnoty (nahodilými chybami), které ovlivňují přesnost (reprodukovatelnost) stanovení. Určují se statisticky ze souboru opakovaných analýz.

- Skutečné hodnotě se nejvíce blíží **aritmetický průměr** (\bar{x}) všech výsledků:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

\bar{x} aritmetický průměr
 n počet opakování měření
 x_i naměřená veličina

- Základní charakteristikou nahodilých chyb je **směrodatná odchylka** (σ):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

σ směrodatná odchylka
 \bar{x} aritmetický průměr
 n počet opakování měření
 x_i naměřená veličina

- Charakteristikou relativní hodnoty nahodilé chyby je **relativní směrodatná odchylka** (s_r ; **RSD**):

$$s_r = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100 [\%] \quad (3)$$

s_r relativní směrodatná odchylka
 σ směrodatná odchylka
 \bar{x} aritmetický průměr

- Množství analyzovaného prvku v mineralizátu se přepočítalo na **množství prvku v ovoci** podle následujícího vztahu:

$$X_{elem} = \frac{(c_V - c_{Bl}) \cdot V}{m} \quad (4)$$

X_{elem} obsah prvku vyjádřený v $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$
 c_V koncentrace prvku ve stanoveném roztoku vzorku v $\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$ zjištěná z kalibrační křivky
 c_{Bl} koncentrace prvku v roztoku blanku v $\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$

m hmotnost navážky v g
V celkový objem mineralizátu v dm⁻³

- **Mez detekce** (LOD – limit of detection) je absolutní množství nebo koncentrace analytu, které poskytuje analytický signál rovný trojnásobku směrodatné odchylky (σ) signálu pozadí (slepého pokusu).

$$LOD = 3 \cdot \sigma \quad (5)$$

Mez detekce byla vypočtena z deseti měřených slepých pokusů.

4 VÝSLEDKY A DISKUSE

4.1 Optimalizace metody ICP-MS

Před každým měřením byl proveden performance test, kterým byla ověřena správná funkčnost přístroje. Byly použity základní roztoky naředěných standardů kovů (Astasol, Analytika, Česká republika).

Pozornost byla upřena na tyto parametry: šířka píku (${}^7\text{Li}$, ${}^{115}\text{In}$, ${}^{238}\text{U}$), minimální signál na ${}^7\text{Li}$, ${}^{115}\text{In}$, ${}^{238}\text{U}$, hodnota pořadí na hmotě 220, dvojitě nabitě ionty (měřen poměr ${}^{137}\text{Ba}^{++}/{}^{137}\text{Ba}$), oxidy iontů ($\text{CeO}^{+}/\text{Ce}^{+}$).

Z deseti naměřených slepých pokusů byly vypočítány meze detekce (LOD) pro jednotlivé analyzované kovy. Jejich výsledky jsou zaznamenány v tabulce 6.

Tabulka 6 Limity detekce analyzovaných kovů

Kovy	Průměrná koncentrace [$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$]	Směrodatná odchylka [$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$]	LOD	
			[$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$]	[$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$]
Be	0,022	0,008	0,23	0,0012
B	34	11	0,33	1,7
V	0,04	0,04	0,12	0,006
Cr	0,38	0,12	0,37	0,019
Mn	0,28	0,10	0,31	0,016
Co	0,007	0,004	0,011	0,0006
Ni	8,5	1,4	4,15	0,2
Cu	0,90	0,17	0,5	0,03
Zn	1,0	0,6	1,78	0,09
Se	0,03	0,03	0,09	0,005
Mo	0,29	0,19	0,56	0,03
Cd	0,044	0,021	0,06	0,003
Sn	0,45	0,29	0,87	0,04
Pb	0,59	0,26	0,78	0,04
Fe	6,6	2,6	7,74	0,4
As	0,04	0,03	0,09	0,005

4.2 Dřín obecný (*Cornus mas*)

V plodech dřínu obecného byl proměřován obsah 16 kovů technikou ICP-MS. K tomuto účelu bylo použito deset odrůd tohoto ovoce.

Kapitola 4.2.1 shrnuje výsledky analýzy a udává koncentrace kovů v jednotlivých odrůdách dřínu. V kapitole 4.2.2 jsou výsledky analýzy zpracovány graficky a kapitola 4.2.3 se zabývá porovnáním výsledků analýzy zjištěnými v této práci s výsledky jiných autorů. Dále jsou zde získané výsledky diskutovány z hlediska vhodnosti dřínků k výživě člověka.

Poslední kapitola 4.2.4 se věnuje porovnání obsahu kovů ve dříncích s obsahem zjištěným v běžně konzumovaném ovoci, jako jsou jablka, banány, pomeranče a jahody.

4.2.1 Výsledky analýzy

Technikou ICP-MS byl proměřen obsah 16 kovů u deseti odrůd dřínu obecného. Výsledky analýzy jsou znázorněny v tabulce 7 (částech a–c).

Beryllium

Ve všech odrůdách byl obsah beryllia menší než LOD ($0,0012 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Tato skutečnost se dala očekávat, vzhledem k tomu, že beryllium je prvkem vzácným. Monitoring beryllia v potravinách a ve vodě se přesto provádí, protože tento prvek je vysoce toxický a karcinogenní.

Bor

Při bližším prozkoumání zjištěných koncentrací boru se obsah tohoto prvku u 90 % odrůd pohyboval v rozmezí $6,3 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (odrůda Lukjanovský) do $9,0 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (odrůda Olomoucký). Obsah boru u odrůdy Tišnovský byl výrazně nižší než u ostatních odrůd. Zjištěná koncentrace $2,2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ je o 76 % menší než nejvyšší koncentrace, kterou vykazovala odrůda Olomoucký. Bor je prvek, který se v rostlinném materiálu vyskytuje v hojné míře, podílí se na stabilizaci rostlinných membrán. Obsah boru v ovoci závisí na obsahu boru v půdě, proto se může u jednotlivých odrůd lišit v závislosti na tom, kde a za jakých podmínek byly pěstované.

Vanad

Nejvyšší zjištěná koncentrace vanadu byla $0,072 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ u odrůdy Fruchtal a nejnižší $0,0018 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ u odrůdy Tišnovský. Koncentrace u všech odrůd se pohybovaly v hodnotách o jeden řád vyšších než u odrůdy Tišnovský. Obecně je obsah vanadu v potravinách velmi nízký, výjimku mohou tvořit některé jedovaté houby.³¹

Chrom

Koncentrace chromu v dřínu obecném se pohybovaly v rozmezí $0,022 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ u odrůdy Tišnovský do $0,22 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ u odrůdy Jolico.

Zvýšené dávky chromu mohou vykazovat potraviny, které při skladování přišly do styku s nerežavějící ocelí. Při přípravě vzorku byly používány inertní materiály (plast, keramika), z čehož lze usuzovat, že analyzovaný vzorek chromem kontaminován nebyl. Aby člověk

pokryl denní dávku chromu, která činí 50–200 μg ,³¹ musel by sníst 200–1000 g dřínků odrůdy Jolico.

Mangan

U odrůdy Fruchtal 2 byla zjištěna koncentrace manganu 0,69 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, tento obsah je nejnižší ze všech odrůd. Nejvyšší obsah manganu byl zjištěn u odrůdy Ekotišovský, u které byla stanovena koncentrace 1,92 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Dlouhodobý nedostatek manganu ve výživě se může projevit např. zpomaleným růstem, proto je nutný dostatečný přísun manganu ve stravě. U ovoce může obsah manganu kolísat v závislosti na vlastnostech půdy, na které se ovoce pěstuje. V půdách s vysokou hodnotou pH, bohatých na organickou hmotu bývá nedostatek Mn^{2+} , tj. formy, kterou je rostlina schopna přijmout. V půdách kyselých bývá obsaženo více využitelného manganu než v půdách neutrálních a vápněných.⁶⁶ Dřín obecný je keř, kterému se nejvíce daří na neutrálních až alkalických zeminách, tudíž v jeho plodech nelze očekávat příliš vysoký obsah manganu. Mezi ovoce s vysokými koncentracemi manganu se řadí zejména lesní ovoce; borůvky obsahují 23–48 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ manganu,³¹ důvodem může být kyselá lesní půda s vyšším obsahem využitelného manganu.

Kobalt

Nejvyšší koncentrace kobaltu byla zjištěna u odrůdy Fruchtal, a to 0,0230 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, nejnižší 0,0011 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ u odrůdy Tišovský.

Nikl

Zjištěné koncentrace niklu se pohybují v rozmezí od 0,28 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (odrůda Tišovský) do 1,0 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (odrůdy Fruchtal a Olomoucký). Obecně se udává, že ovoce obsahuje nízký obsah niklu (setiny $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Hodnoty zjištěné u dřínu jsou o 1–2 řády vyšší. Vyšší obsahy niklu v plodech dřínu byly zjištěny i jinými autory, např. Hamurcu *et al.*⁵⁵ naměřil v dřínkách koncentraci niklu 0,43–0,61 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, což je srovnatelné s rozmezím koncentrací zjištěných v této práci.

Měď

Koncentrace 0,53 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ zjištěná u odrůdy Tišovský, byla nejnižší ze všech odrůd. Oproti tomu nejvyšší hodnota 3,6 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ byla naměřena u odrůdy Fruchtal. Rozmezí zjištěných koncentrací je značně široké, ovšem nijak nepřekračuje obsah u běžného ovoce.

Obsah mědi může být zvýšen např. u chmele nebo hroznů, a to kontaminací pesticidy na bázi měďnatých sloučenin.³¹ Nejsou k dispozici informace o pěstování analyzovaných odrůd dřínu, ale z relativně nízkých zjištěných hodnot koncentrace mědi lze předpokládat, že při pěstování nedošlo k použití pesticidů s obsahem mědi.

Zinek

U devíti z deseti odrůd dřínu se obsah zinku pohyboval v řádech jednotek $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, nejvyšší koncentrace byla 4,42 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ u odrůdy Olomoucký. Nejnižší obsahem zinku 0,48 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ byl zjištěn u odrůdy Tišovský. U odrůdy Olomoucký je množství zinku o 89 % vyšší než u odrůdy Tišovský.

Množství zinku v ovoci je opět závislé na vlastnostech půdy a podmínkách pěstování. Podle vyhlášky 305/2004 Sb., která stanovuje nejvyšší přípustná množství (NPM) v ovocných šťávách, nesmí obsah zinku překročit $5,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.⁶⁷

Selen

Nejnižší koncentrace selenu byla naměřena u odrůdy Tišnovský, kde nepřesáhla limit detekce, který byl pro selen stanoven na $0,005 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. U ostatních odrůd se koncentrace pohybovaly v rozmezí $0,0118 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ u odrůdy Fruchtal až $0,0160 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ u odrůd Ekotišnovský a Sokolnický.

Selen je v přírodě zastoupen velmi nerovnoměrně. Vegetace z lokalit s vysokým obsahem selenu může obsahovat až desítky $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ tohoto prvku. Většinou však obsah selenu nepřekračuje $1 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Ze získaných výsledků je možné usuzovat, že použité odrůdy dřínu obecného byly pěstovány v lokalitě s půdou chudou na selen a tudíž i na sulfidy mědi, stříbra, olova a rtuti, jejichž je Se minoritní složkou, protože v přírodě doprovází síru.³¹

Molybden

Ze zjištěných koncentrací molybdenu je zřejmé, že nejnižší obsah je u odrůdy Tišnovský, kde byla koncentrace nižší než limit detekce, který byl pro molybden stanoven na $0,03 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. U ostatních odrůd se obsah molybdenu v plodech jednotlivých odrůd pohyboval v rozmezí od $0,0550 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ u odrůdy Fruchtal 2 do $0,203 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ u odrůdy Sokolnický.

Běžně se uvádí, že ovoce obsahuje nízkou koncentraci molybdenu ($<0,1 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).³¹ Všechny odrůdy dřínu měly koncentraci molybdenu nižší než $0,1 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, jen u odrůdy Sokolnický byl zjištěný obsah molybdenu o něco vyšší.

Kadmium

Limit detekce pro kadmium byl $0,003 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Nižší obsah než LOD měly dvě odrůdy (Lukjanovský a Sokolnický). U odrůd Tišnovský, Ruzyňský a Vydubecký se zjištěné množství kadmia pohybovalo těsně nad limitem detekce. Nejvyšší obsah kadmia činil $0,0066 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a byl stanoven u odrůdy Olomoucký.

Výskyt kadmia v ovoci je závislý zejména na obsahu tohoto prvku v půdě. Za relativně vysoké koncentrace jsou považovány setiny až desetiny $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, které se mohou vyskytovat např. ve špenátu či mrkvi.³¹ Koncentrace kadmia v analyzovaných odrůdách dřínků nepřekročily tisíce $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, z čehož lze vyvodit, že použité odrůdy dřínu obecného byly pěstovány na půdě, která nebyla kontaminována kadmii. Vyhláška 305/2004 Sb. neudává maximální přípustné množství kadmia v ovoci. Ovšem stanovuje NPM tohoto kovu v nealkoholických nápojích, pivu a vínu, kde se za bezpečný obsah kadmia považuje maximálně $0,05 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.⁶⁷

Cín

U 40 % použitých odrůd nepřesáhl obsah cínu limit detekce, který byl pro cín $0,04 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. U odrůdy Sokolnický byla zjištěná koncentrace $0,0828 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, což bylo nejvyšší zjištěné množství cínu. Koncentrace cínu v běžně konzumovaných potravinách bývá velmi nízká

a zpravidla nepřesáhne $1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.³¹ Toto množství nepřesáhla žádná z odrůd dřínu. Lze se proto domnívat, že odrůdy byly pěstovány na nekontaminované půdě, ani nebyly při jejich pěstování použity fungicidy s obsahem cínu.

Olovo

Výsledné koncentrace olova kolísají v závislosti na odrůdě. Limit detekce pro olovo je $0,04 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Této koncentrace nedosáhly hned dvě odrůdy (Ekotišovský a Olomoucký). $0,15 \mu\text{g}$ olova na g dřínků bylo analyzováno u odrůdy Lukjanovský, což je množství vůbec nejvyšší a přesahuje limit detekce o 73 %. Konečné množství olova je závislé na obsahu tohoto prvku v půdě a v ovzduší dané pěstitelské lokality.

Pokud výsledné koncentrace tohoto prvku v potravinách odpovídají setinám až desetinám, lze to považovat za relativně vysoké množství.³¹ Zvýšený obsah olova může být způsoben podmínkami pěstování. Kupříkladu znečištěným ovzduším, které mohlo být způsobeno např. spalováním odpadů. Podle nařízení Komise (ES) č. 1881/2006, kterým se stanoví maximální limity některých kontaminujících látek, nesmí obsah olova v bobulovinách a drobném ovoci přesáhnout $0,2 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.⁶⁸ Při dlouhodobé expozici olova by mohlo dojít k poškození ledvin, jater, nervového a kardiovaskulárního systému.³¹

Železo

Ze zjištěných koncentrací olova je zřejmé, že dvě odrůdy mají obsah železa výrazně nižší než odrůdy ostatní. Jedná se o odrůdu Tišovský, ve které je obsah železa $0,46 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a o odrůdu Vydubecký s koncentrací $0,4 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. U ostatních odrůd přesahovalo množství tohoto prvku $1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Nejvyšší množství bylo prokázáno v odrůdě Fruchtal 2 a to $1,9 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Arsen

Z výsledných koncentrací pro arsen je patrné, že nejmenší obsah $0,0056 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ má odrůda Tišovský. U všech ostatních analyzovaných odrůd byla naměřena koncentrace o jeden řád vyšší. Koncentrace arsenu $0,077 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, která byla zjištěna u odrůdy Fruchtal, byla největší ze všech odrůd.

Obecně obsah arsenu v dřínkách závisí na množství arsenu v půdě a vzdálenosti pěstitelské lokality od místa kontaminace. Do půdy se arsen dostává zejména díky hutní činnosti a spalování uhlí. Tento prvek je dostatečně mobilní i v neutrální až zásadité půdě, a právě tato jeho mobilita určuje jeho dostupnost pro rostliny při příjmu kořenovou soustavou. Pokud se množství arsenu v plodině přibližuje desítkám $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, lze hovořit o vyšším obsahu tohoto prvku.³¹ Dřínu obecnému vyhovuje pro růst právě půda neutrální až alkalická, tím lze vysvětlit mírně zvýšený obsah arsenu u 90 % analyzovaných odrůd, u kterých se pohybovala koncentrace v setinách $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Podle vyhlášky 305/2004 Sb. je nejvyšší přípustné množství arsenu v ovoci a ovocných šťávách $0,2 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.⁶⁷ U žádné z odrůd dřínu toto množství nebylo překročeno.

Tabulka 7a Koncentrace analyzovaných kovů u jednotlivých odrůd

	Analyzované odrůdy*			
	Lukjanovský	Sokolnický	Tišnovský	Ruzyňský
Be	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
B	6,3 ± 0,5	8,2 ± 0,6	2,2 ± 2,06	8,6 ± 1,8
V	0,034 ± 0,004	0,0221 ± 0,0022	0,0018 ± 0,0006	0,0149 ± 0,0029
Cr	0,219 ± 0,024	0,1012	0,022 ± 0,009	0,061 ± 0,010
Mn	1,27 ± 0,04	1,27 ± 0,05	0,071 ± 0,013	1,54 ± 0,07
Co	0,019 ± 0,001	0,016 ± 0,007	0,0011 ± 0,0002	0,0091 ± 0,0011
Ni	0,4 ± 0,4	0,58 ± 0,17	0,28 ± 0,16	0,8 ± 0,6
Cu	3,10 ± 0,019	1,39 ± 0,08	0,53 ± 0,05	2,37 ± 0,11
Zn	4,01 ± 0,20	2,51 ± 0,06	0,48 ± 0,13	2,51 ± 0,14
Se	0,0128 ± 0,0012	0,0160 ± 0,0019	<LOD	0,0142 ± 0,0012
Mo	0,0620 ± 0,0011	0,203 ± 0,007	<LOD	0,127 ± 0,006
Cd	<LOD	<LOD	0,0033 ± 0,0026	0,0035 ± 0,001
Sn	<LOD	0,0828 ± 0,0027	<LOD	<LOD
Pb	0,15 ± 0,17	0,048 ± 0,013	0,09 ± 0,08	0,07 ± 0,07
Fe	1,8 ± 0,5	1,37 ± 0,22	0,46 ± 0,22	1,2 ± 0,6
As	0,0180 ± 0,0012	0,0397 ± 0,0020	0,0056 ± 0,0018	0,0260 ± 0,0022

*Všechny naměřené koncentrace v tabulce jsou uvedeny v $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

Tabulka 7b Koncentrace analyzovaných kovů u jednotlivých odrůd

	Analyzované odrůdy*		
	Ekotišovský	Fruchtal	Olomoucký
Be	<LOD	<LOD	<LOD
B	8,6 ± 0,5	6,4 ± 0,9	9,0 ± 0,6
V	0,048 ± 0,006	0,072 ± 0,017	0,0297 ± 0,0029
Cr	0,166 ± 0,019	0,109 ± 0,016	0,081 ± 0,007
Mn	1,92 ± 0,07	1,37 ± 0,06	1,95 ± 0,11
Co	0,0179 ± 0,0009	0,0230 ± 0,0016	0,0182 ± 0,0008
Ni	0,47 ± 0,29	1,0 ± 0,6	1,0 ± 0,5
Cu	0,79 ± 0,28	3,6 ± 0,4	1,59 ± 0,05
Zn	3,18 ± 0,15	3,20 ± 0,20	4,42 ± 0,24
Se	0,0160 ± 0,0019	0,0118 ± 0,0006	0,0125 ± 0,0012
Mo	0,0947 ± 0,0007	0,0675 ± 0,0023	0,0686 ± 0,0029
Cd	0,0041 ± 0,0005	0,0046 ± 0,0005	0,0066 ± 0,0008
Sn	<LOD	0,043 ± 0,004	<LOD
Pb	<LOD	0,043 ± 0,013	<LOD
Fe	1,0 ± 0,4	1,6 ± 0,8	1,4 ± 0,5
As	0,0520 ± 0,0019	0,077 ± 0,011	0,0630 ± 0,0026

*Všechny naměřené koncentrace v tabulce jsou uvedeny v $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

Tabulka 7c Koncentrace analyzovaných kovů u jednotlivých odrůd

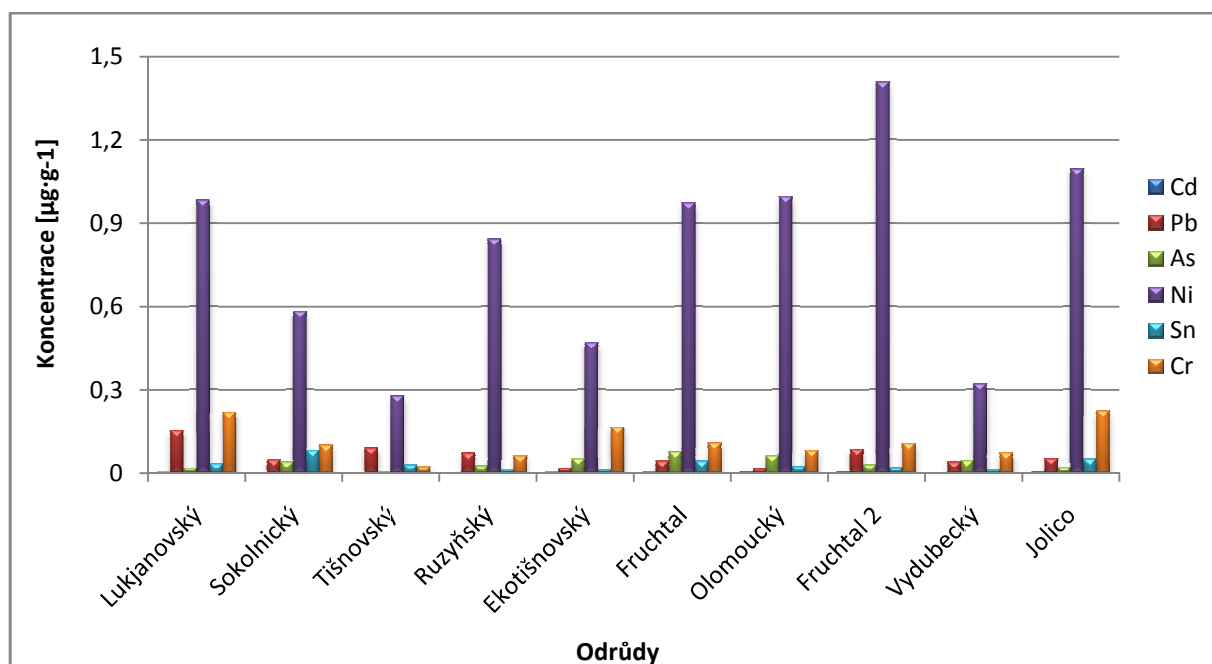
	Analyzované odrůdy*		
	Fruchtal 2	Vydubecký	Jolico
Be	<LOD	<LOD	<LOD
B	6,6 ± 1,5	8,3 ± 1,3	7,7 ± 1,1
V	0,0170 ± 0,0023	0,035 ± 0,004	0,040 ± 0,008
Cr	0,107 ± 0,019	0,073 ± 0,021	0,22 ± 0,03
Mn	0,69 ± 0,03	1,83 ± 0,09	1,066 ± 0,057
Co	0,0100 ± 0,0023	0,0121	0,013 ± 0,004
Ni	1,4 ± 0,9	0,32 ± 0,21	1,1 ± 0,3
Cu	2,77 ± 0,29	0,67 ± 0,08	2,01 ± 0,09
Zn	3,49 ± 0,34	2,89 ± 0,13	2,51 ± 0,12
Se	0,0122 ± 0,0007	0,0142 ± 0,0010	0,0159 ± 0,0022
Mo	0,0550 ± 0,0025	0,108 ± 0,004	0,092 ± 0,004
Cd	0,0062 ± 0,0022	0,003 ± 0,004	0,0061 ± 0,0008
Sn	<LOD	<LOD	0,051 ± 0,018
Pb	0,09 ± 0,09	0,04 ± 0,07	0,053 ± 0,012
Fe	1,9 ± 1,0	0,4 ± 0,5	1,49 ± 0,62
As	0,029 ± 0,003	0,045 ± 0,005	0,021 ± 0,005

*Všechny naměřené koncentrace v tabulce jsou uvedeny v $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

4.2.2 Grafické zpracování výsledků analýzy

Výsledky analýz byly graficky zpracovány a jsou zaznamenány v grafech 1–3. Analyzované kovy byly rozděleny do tří skupin, na toxické (Cd, Pb, As, Ni, Sn, Cr), které jsou znázorněny v grafu 1, esenciální (Mn, Fe, Zn, Cu, B) zaznamenané v grafu 2, a ty ostatní (V, Co, Mo, Se), které lze vidět v grafu 3. Vzhledem k tomu, že výsledné hodnoty koncentrací u toxického a velmi vzácného beryllia byly nižší než LOD, nebyl tento prvek graficky zpracován.

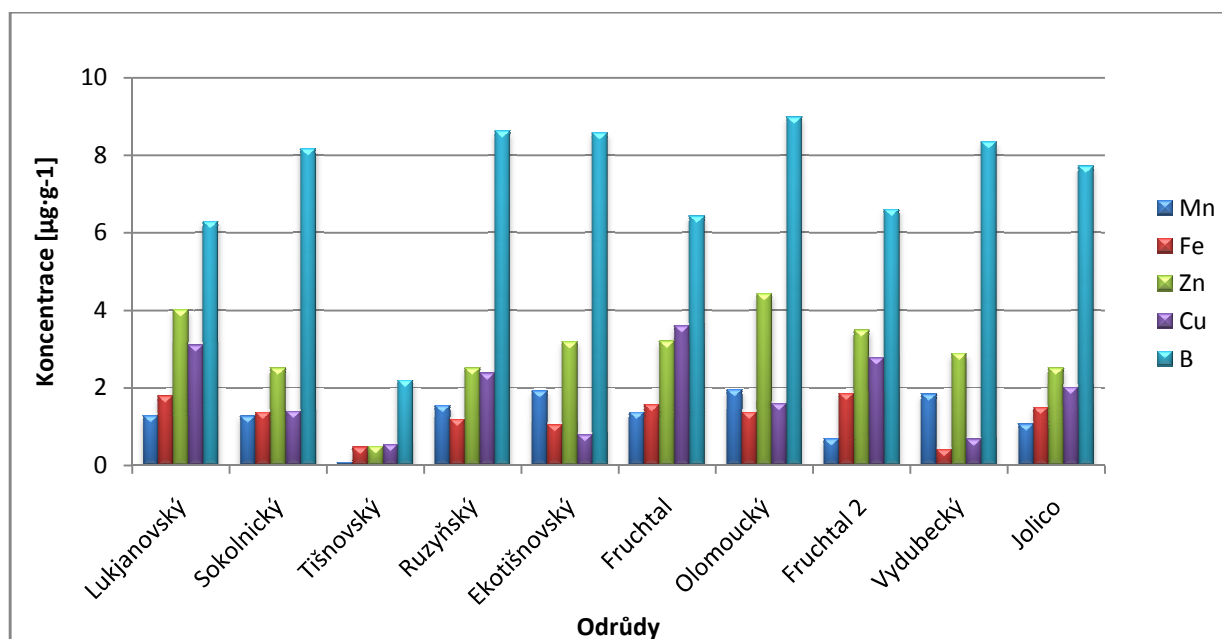
Na všech grafech si lze povšimnout, že výsledky zjištěné u odrůdy Tišnovský se mírně odlišují od ostatních odrůd. U převážné většiny kovů byl zjištěn jejich nižší obsah než u ostatních odrůd. Tato skutečnost může být způsobena podmínkami pěstování, obsahem prvků v půdě, ovzduší a vodě v lokalitě pěstování, meteorologickými podmínkami (četnost srážek), případně dobou a způsobem sběru.



Graf 1: Obsah toxických kovů v jednotlivých odrůdách dřínu obecného

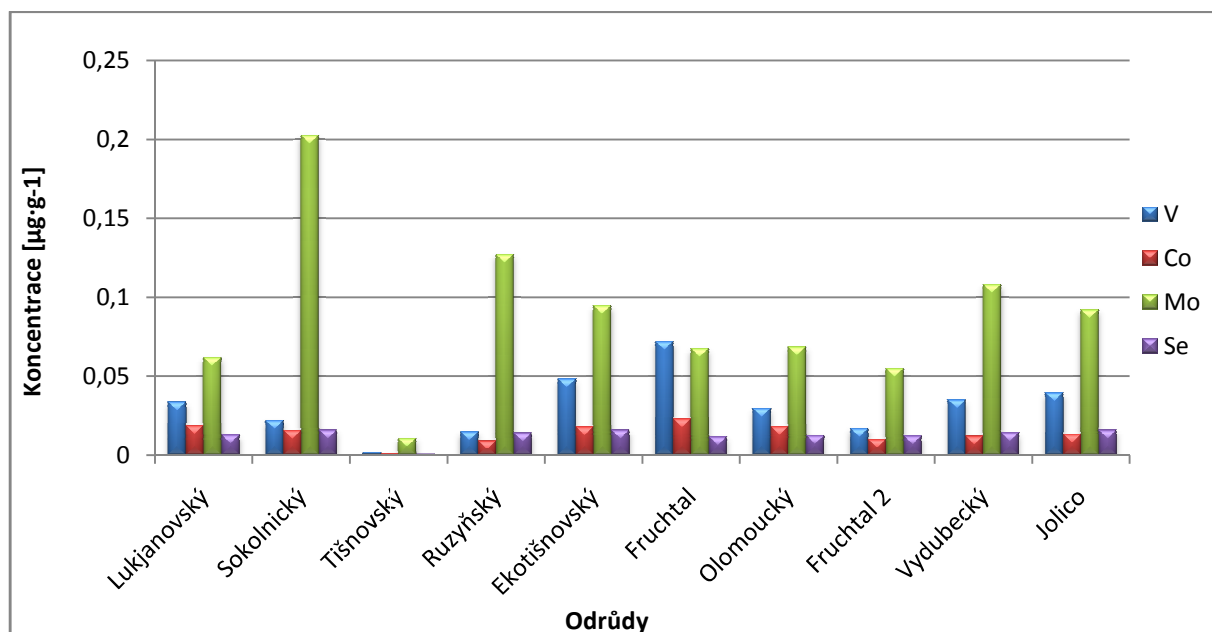
Do grafu 1 byly vyneseny koncentrace toxických kovů, jako jsou kadmium, olovo a arsen, které ve formě svých sloučenin nebo v elementární formě vykazují toxické účinky. Dále jsou zde zařazeni nikl a cín, u kterých není známá žádná specifická biochemická funkce v těle člověka a chrom, který je esenciální v oxidačním stupni III a jako šestimocný je toxický.

Všechny koncentrace toxických prvků, jsou relativně nízké. Výjimku tvoří nikl, jehož obsah se pohyboval od $0,28\text{--}1,0\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Takovýto obsah byl však zjištěn i v jiných studiích, např. Hamurcu *et al.* udávají obsah niklu v dřínu v rozmezí $0,43\text{--}0,61\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.⁵⁵



Graf 2: Obsah esenciálních kovů v jednotlivých odrůdách dřínu obecného

Z grafu 2 je možné vyčíst obsah esenciálních prvků, mezi které patří mangan, železo, zinek, měď a bor. Opět je patrná nižší koncentrace všech těchto prvků u odrůdy Tišnovský.



Graf 3: Obsah ostatních kovů v jednotlivých odrůdách dřínu obecného

Graf 3 znázorňuje ostatní prvky, jejichž esencialita buď ještě nebyla prokázána (V), nebo jsou esenciální pro rostliny či mikroorganismy (Mo), bakterie, řasy a přežvýkavce (Co). Je možné si všimnout výrazně sníženého obsahu všech těchto kovů u odrůdy Tišnovský. Významný je zejména rozdíl v obsahu selenu u odrůdy Tišnovský a Sokolnický. U odrůdy Tišnovský se koncentrace tohoto prvku pohybovala pod limitem detekce, který byl pro selen $0,005 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a u odrůdy Sokolnický bylo zjištěno množství selenu $0,0160 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

4.2.3 Porovnání výsledků analýzy s jinými autory

V tabulce 8 jsou uvedeny koncentrace jednotlivých kovů v plodech dřínu, které odpovídají průměru všech deseti analyzovaných odrůd dřínu obecného. K jednotlivým kovům byly nalezeny buď denní doporučené dávky, tolerované dávky, skutečné denní dávky, nebo přiměřené a bezpečné denní dávky. Zjištěná koncentrace kovů v plodech byla přepočítána na procenta uvedených dávek. Naměřené hodnoty jsou porovnány a diskutovány s výsledky, které udává Krosniak *et al.*⁶⁹ a Hamurcu *et al.*⁵⁵ Krosniak *et al.* ve své studii analyzuje obsah vybraných makroprvků a mikroprvků ve dřínkové šťávě metodou AAS.⁶⁹ Oproti tomu Hamurcu *et al.* se věnuje analýze dřínků, které byly získány z lokalit poblíž cest a silnic v Turecku, lze tedy očekávat zvýšený obsah některých kovů v těchto plodech. Jako metoda pro prvkovou analýzu byla v jeho případě použita ICP-AES.⁵⁵

Při pohledu na tabulku 8 lze z procentuálních údajů např. chromu vyčíst, že aby člověk pokryl 0,4 % denní doporučené dávky tohoto prvku, musel by zkonsumovat 1 g dřínků. To znamená, že pokud by měl pokrýt celou denní doporučenou dávku chromu jen konzumací dřínků, musel by sníst 0,3 kg tohoto ovoce za den. Ovšem na pokrytí denní dávky cínu jen konzumací dřínků by bylo potřeba 90,9 kg. V tabulce 8 jsou pro všechny analyzované kovy uvedena množství dřínků v kg, které by musel člověk za den zkonsumovat, aby pokryl uvedené dávky, ať už se jedná o denní doporučenou, tolerovanou, skutečnou či bezpečnou.

Lze konstatovat, že plody dřínu obecného jsou bohatým zdrojem esenciálních prvků, ale je nereálné, aby člověk do své výživy řadil každý den 0,5–1,0 kg tohoto ovoce, aby pokryl denní doporučené dávky prvků a to jen některých. Dřínky mají mírně nakyslou chuť, proto se využívají spíše pro přípravu kompotů, džemů, sirupů a moštů než ke konzumaci v syrovém stavu. Dále by bylo možné plody dřínu využívat do různých potravinových doplňků.

Krosniak *et al.* se ve své studii zabýval analýzou manganu, mědi, zinku a železa v dřínkové šťávě.⁶⁹ Koncentrace, které zjistil, jsou zaznamenány v tabulce 8. Při porovnání s koncentracemi zjištěnými v této práci, kdy byly měření podrobeny celé plody, je patrné, že ve šťávě množství všech kovů výrazně pokleslo. Obsah manganu ve šťávě byl až 7krát nižší než v celých plodech, koncentrace mědi a železa se snížila téměř 3krát, zinku bylo ve šťávě 6krát méně. Logicky se dá tento pokles koncentrací vysvětlit tak, že při analýze celých plodů byla do konečného množství kovů v plodu zahrnuta koncentrace ze šťávy, dužiny i slupky. Při přípravě šťávy se v procesu lisování oddělí slupka a část dužiny a zůstane jen šťáva. Tudíž je koncentrace kovů ve šťávě nižší, protože dojde ke ztrátě prvků, které jsou obsaženy v pevné části, jež se při lisování odstraňuje.

Pro zajímavost: Vypitím jednoho litru dřínové šťávy člověk pokryje 2,8 % denní doporučené dávky železa, 3,2 % doporučené dávky zinku a u mědi a manganu litr šťávy pokryje kolem 8 % doporučené denní dávky.

Dřínem obecným se ve své práci zabýval také Hamurcu *et al.* Jeho studie se věnuje analýze mikroprvků a makroprvků v netradičním ovoci rostoucím podél cest v Turecku. Analýze byly podrobeny vzorky jablek, dřínů, švestek, a šípků.⁵⁵ Výsledné koncentrace kovů v dřínu, tak jak byly naměřeny Hamurcu *et al.* jsou uvedeny v tabulce 8. Při porovnání jeho výsledků

s koncentracemi zjištěnými v této práci je vidět, že v dřínu pěstovaném u cest klesl obsah niklu, mědi a zinku a vzrostly koncentrace u boru, chromu, selenu, kadmia a olova. Nejvíce patrný je rozdíl koncentrací u selenu. Turecké dřínky rostoucí kolem cest obsahovaly 1000krát více selenu než dřínky české. Selen se do ovzduší dostává zejména spalováním fosilních paliv, tudíž lze jeho zvýšený obsah ve vzorcích pěstovaných u cest očekávat. Obsah olova se zvýšil 44krát a kadmia 42krát, což lze vysvětlit přítomností automobilové dopravy. Při porovnání výsledků této práce s výsledky od Hamurcu *et al.* je vidět, jak moc je množství prvků v plodech ovlivněno lokalitou pěstování dřínu, znečištěním ovzduší a dalšími faktory jako je např. kvalita a vlastnosti půdy či počasí.

Tabulka 8 Porovnání naměřené koncentrace jednotlivých kovů s denní doporučenou dávkou a údaji naměřenými jinými autory

Kovy	Koncentrace [$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$]*	Dávka	% z dávky	Přijaté množství [kg/d]	Krosniak ⁶⁹ [$\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$]	Hamurcu ⁵⁵ [$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$]
Be	<LOD	–	–	–	–	–
B	$7,2 \pm 1,1$	2–10 mg/d ^c	0,12	0,8	–	$10,03 \pm 0,16$
V	$0,031 \pm 0,005$	10–30 $\mu\text{g}/\text{d}^c$	0,15	0,7	–	–
Cr	$0,116 \pm 0,017$	11–45 $\mu\text{g}/\text{d}^a$	0,4	0,3	–	$0,30 \pm 0,11$
Mn	$1,30 \pm 0,06$	1,2–2,6 mg/d ^d	0,07	1,4	$0,239 \pm 0,104$	–
Co	$0,0020 \pm 0,0139$	5–8 $\mu\text{g}/\text{d}^c$	0,03	3,3	–	–
Ni	$0,7 \pm 0,4$	100–700 $\mu\text{g}/\text{d}^c$	0,18	0,6	–	$0,43 \pm 0,04$
Cu	$1,88 \pm 0,17$	340–1300 $\mu\text{g}/\text{d}^a$	0,23	0,4	$0,169 \pm 0,059$	$0,06 \pm 0,01$
Zn	$2,9 \pm 0,2$	3–13 mg/d ^a	0,04	2,5	$0,454 \pm 0,037$	$1,41 \pm 0,14$
Se	$0,0126 \pm 0,0012$	20–70 $\mu\text{g}/\text{d}^a$	0,028	3,6	–	$11,22 \pm 3,29$
Mo	$0,089 \pm 0,003$	17–50 $\mu\text{g}/\text{d}^d$	0,27	0,4	–	–
Cd	$0,004 \pm 0,004$	70 $\mu\text{g}/\text{d}^b$	0,006	16,7	–	$0,17 \pm 0,04$
Sn	<LOD	3 mg/d ^a	0,0011	90,9	–	–
Pb	$0,06 \pm 0,05$	250 $\mu\text{g}/\text{d}^b$	0,025	4,0	–	$2,65 \pm 0,03$
Fe	$1,3 \pm 0,5$	7–27 mg/d ^a	0,008	12,5	$0,483 \pm 0,252$	–
As	$0,038 \pm 0,004$	25–125 $\mu\text{g}/\text{d}^b$	0,05	2,0	–	–

Poznámka:

*Jedná se o průměrnou koncentraci všech měřených odrůd

^a DRI (Dietary reference intake = doporučená denní dávka). Konkrétní denní doporučená dávka se liší v závislosti na tom, jestli se jedná o dítě od jednoho roku, muže, ženu, těhotnou či kojící ženu.

^b TDI (Tolerated daily intake = tolerovaná denní dávka), při tělesné hmotnosti 70 kg

^c skutečná denní dávka

^d AIs (Adequate intakes = přiměřená a bezpečná denní dávka)

4.2.4 Porovnání výsledků s běžně konzumovaným ovocem

V tabulce 9 jsou zaznamenány koncentrace (v $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) jednotlivých kovů ve vzorku dřínu obecného. Tato koncentrace byla získána zprůměrováním koncentrací všech deseti použitých odrůd a jejich směrodatných odchylek. Tabulka 9 dále udává množství (v $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) analyzovaných kovů v jablcích, pomerančích, banánech a jahodách, tedy u nás běžně a hojně konzumovaného ovoce. Obsahy kovů u jablek, pomerančů, banánů a jahod jsou převzaty z publikace J. Velíška *Chemie potravin*.³¹

Množství beryllia, vanadu a cínu u běžně konzumovaného ovoce nebylo proměřováno. U dřínu se tyto kovy nacházejí ve stopových množstvích, u toxického beryllia se dokonce hodnoty pohybovaly pod limitem detekce, který byl $0,0012 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Z výsledků lze dále vyčíst, že dřín obsahuje větší množství boru než ostatní ovoce, a to $6,1\text{--}8,3 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, této hodnotě se z ostatního ovoce přibližují jen jablka, která mohou obsahovat až $6,0 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ boru.

Vyšší obsah vykazoval také mangan. Koncentrace tohoto prvku $1,36 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ byla až 14krát vyšší než u běžného ovoce. Za zmínku stojí také nikl, jehož je ve dříncích až $1,1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, což je téměř 40krát více než koncentrace u jablek. Při pohledu na koncentrace mědi lze konstatovat, že dřín je ovoce s nejvyšší koncentrací tohoto prvku. Obsah mědi může být až 8krát vyšší než u jablek, která patří k vůbec nejčastěji konzumovaným druhům ovoce u nás. Obsah železa v dříncích je oproti běžně konzumovanému ovoci nízký. U jahod dosahuje množství železa až $9,6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, což je hodnota nejvyšší ze všech porovnávaných druhů ovoce. Obsah železa ve dříncích je až 10krát nižší než v jahodách.

Tabulka 9 Porovnání koncentrace naměřených prvků u dřínu obecného s běžně konzumovaným ovocem

	dřín obecný*	Běžně konzumované ovoce			
		jablka	pomeranče	banány	jahody
Be	<LOD	–	–	–	–
B	6,1–8,3	1,0–6,0	2,7–3,0	1,4–2,2	1,7–2,1
V	0,026–0,036	–	–	–	–
Cr	0,099–0,133	0,003–0,3	<0,001–0,02	0,02–0,05	<0,002–0,02
Mn	1,24–1,36	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Co	0,0119–0,0159	<0,001–0,005	0,001–0,01	<0,001–0,002	<0,001–0,01
Ni	0,3–1,1	0,004–0,03	0,01–0,04	0,01–0,05	0,02–0,13
Cu	1,71–2,05	0,24–0,63	0,44–0,91	0,7–1,6	0,54–0,74
Zn	2,7–3,1	0,2–4,9	0,9–1,2	1,8–2,6	1,1–1,9
Se	0,0114–0,0138	0,005	0,013	0,01	–
Mo	0,086–0,092	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cd	0,000–0,008	0,001–0,002	0,001–0,007	<0,002	0,001–0,03
Sn	<LOD	–	–	–	–
Pb	<LOD	0,01–0,05	0,005–0,07	0,02–0,05	0,00–0,09
Fe	0,8–1,8	2,3–4,8	1,3–5,0	3,1–5,5	3,6–9,6
As	0,034–0,042	0,001–0,22	0,004–0,02	0,04–0,09	<0,005

*Jedná se o průměrnou koncentraci všech použitých odrůd

Všechny koncentrace v tabulce jsou udávány v $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

4.3 Mišpule obecná (*Mespilus germanica*)

U mišpule obecné bylo analyzováno stejných 16 kovů jako v předchozí kapitole u dřínu obecného. Jako vzorek se podařilo získat jen jednu odrůdu mišpule, tudíž nebylo možno provést srovnání jednotlivých odrůd.

Kapitola 4.3.1 se věnuje výsledkům měření, které jsou zaznamenány v tabulce 10. Pro porovnání jsou v této kapitole zjištěné koncentrace kovů diskutovány s výsledky převzatými ze studie *Otakara Ropa*.¹⁸ Následující kapitola 4.3.2 nabízí grafické zpracování zjištěných koncentrací jednotlivých kovů u mišpule obecné.

Srovnání obsahu jednotlivých kovů s běžným ovocem se věnuje kapitola 4.3.3.

4.3.1 Výsledky analýzy

Pomocí metody ICP-MS bylo v plodu mišpule obecné analyzováno 16 kovů, výsledné koncentrace je možné vidět v tabulce 10. U dvou kovů, konkrétně u beryllia a vanadu se obsah pohyboval pod limitem detekce, který byl pro beryllium $0,0012 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a pro vanad $0,006 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Rop *et al.* se ve své práci mimo jiné věnoval analýze železa, zinku, mědi a molybdenu v různých stádiích zralosti. Např. u vzorku starého 134 dní po vykvetení udává hodnotu železa $27,05 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, což je hodnota 30krát vyšší než koncentrace stanovená v této práci.

Dále uvádí, že koncentrace zinku je $5,82 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, obsah mědi je $5,37 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a molybdenu $0,50 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.¹⁸ Porovnáním jeho výsledků s hodnotami v tabulce 10, lze konstatovat, že Rop *et al.* udává ve své práci obsah mědi 3krát větší, zinku 2krát větší a molybdenu 4krát větší než je obsah zjištěný v této práci. Rozdíly mezi výsledky zjištěnými v práci Rop *et al.* a v této práci, mohou být způsobeny použitou metodou (Rop neuvádí použitou analytickou metodu), dále odrůdou mišpule, podmínkami při pěstování (vlastnosti půdy, vody, ovzduší), meteorologickými podmínkami při pěstování, dobou sběru, případně skladováním.

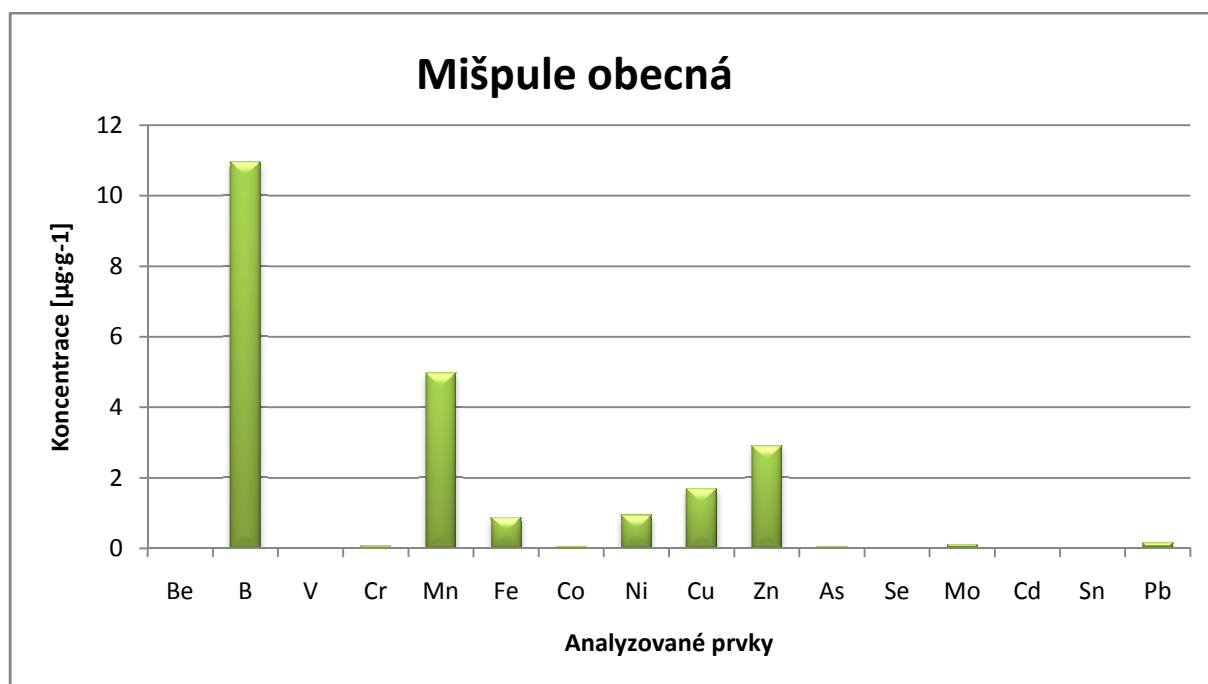
Pro zajímavost: Na pokrytí denní dávky železa (průměrně 17 mg/den) jen konzumací mišpule by člověk musel sníst 0,6 kg mišpule, kterou k analýze použil Rop *et al.*, nebo téměř 19 kg mišpule použité v této práci.

Tabulka 10 Výsledné koncentrace u jednotlivých prvků

Prvky	Koncentrace [$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$]
Be	<LOD
B	$11,0 \pm 0,7$
V	$0,029 \pm 0,006$
Cr	$0,078 \pm 0,022$
Mn	$5,0 \pm 0,6$
Fe	$0,90 \pm 0,14$
Co	$0,051 \pm 0,004$
Ni	$0,95 \pm 0,14$
Cu	$1,71 \pm 0,09$
Zn	$2,91 \pm 0,23$
As	$0,0449 \pm 0,0028$
Se	<LOD
Mo	$0,116 \pm 0,005$
Cd	$0,0106 \pm 0,0011$
Sn	<LOD
Pb	$0,17 \pm 0,04$

4.3.2 Grafické zpracování výsledků

Do grafu 4 byly vyneseny koncentrace [$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$] pro jednotlivé analyzované kovy. Z grafu je možné vyčíst, že plody mišpule obecné obsahují stopová množství beryllia a kadmia. O něco větší koncentrace byly zjištěny u vanadu, chromu, kobaltu, arsenu, selenu, molybdenu, cínu a olova. Obsahy těchto prvků se pohybují řádově v setinách $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, u beryllia jsou to tisíce $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, u olova a molybdenu hodnoty kolem $0,1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Vyšší koncentrace (jednotky $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) byly analyzovány u železa, niklu, mědi, zinku. Nejvíce zastoupeným prvkem v mišpuli je bor, který dosahuje hodnoty $11,0 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.



Graf 4: Koncentrace analyzovaných kovů u mišpule obecné

4.3.3 Porovnání výsledků s běžně konzumovaným ovocem

V tabulce 11 jsou uvedeny koncentrace analyzovaných kovů u mišpule obecné, pro srovnání jsou tu zaznamenány hodnoty u běžného ovoce, jako jsou jablka, pomeranče, banány a jahody.

Mišpule obecná má výrazně vyšší obsah boru než běžné ovoce a to $11,0 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Což je asi 5krát více než u jahod. Další rozdíl je patrný u manganu. Plod mišpule obsahuje $5,0 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ tohoto prvku, kdežto u běžného ovoce jeho koncentrace nepřesahuje $0,1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Za zmínku stojí také rozdíl v koncentraci u olova a železa. Běžné ovoce vykazuje 2–9krát větší obsah železa než mišpule. V případě olova je koncentrace u mišpule až $0,21 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, což je hodnota 42krát vyšší než v pomerančích. Koncentrace olova závisí na odrůdě ovoce, podmínkách pěstování, počasí, lokalitě, obsahu prvků v půdě, ovzduší a dalších faktorech, jako je např. používání pesticidů či herbicidů.

V obsahu ostatních prvků se mišpule příliš neliší od běžně konzumovaného ovoce. Obsah jednotlivých prvků však ovlivňuje celá řada faktorů (pěstitelská lokalita, charakter a vlastnosti půdy, ovzduší, počasí, používání přípravků proti škůdcům, aj.).

Tabulka 11 Porovnání koncentrace naměřených prvků mišpule obecné s běžně konzumovaným ovocem

	mišpule obecná	Běžně konzumované ovoce*			
		jablka	pomeranče	banány	jahody
Be	<LOD	–	–	–	–
B	10,3–11,7	1,0–6,0	2,7–3,0	1,4–2,2	1,7–2,1
V	0,023–0,035	–	–	–	–
Cr	0,056–0,100	0,003–0,3	<0,001–0,02	0,02–0,05	<0,002–0,02
Mn	4,4–5,6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Co	0,047–0,055	<0,001–0,005	0,001–0,01	<0,001–0,002	<0,001–0,01
Ni	0,81–1,09	0,004–0,03	0,01–0,04	0,01–0,05	0,02–0,13
Cu	1,62–1,80	0,24–0,63	0,44–0,91	0,7–1,6	0,54–0,74
Zn	2,68–3,14	0,2–4,9	0,9–1,2	1,8–2,6	1,1–1,9
Se	<LOD	0,005	0,013	0,01	–
Mo	0,111–0,121	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cd	0,0095–0,0117	0,001–0,002	0,001–0,007	<0,002	0,001–0,03
Sn	0,021–0,033	–	–	–	–
Pb	0,13–0,21	0,01–0,05	0,005–0,07	0,02–0,05	0,00–0,09
Fe	0,76–1,04	2,3–4,8	1,3–5,0	3,1–5,5	3,6–9,6
As	0,0421–0,0518	0,001–0,22	0,004–0,02	0,04–0,09	<0,005

*Všechny koncentrace v tabulce jsou udávány v $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

4.4 Rakytník řešetlákový (*Hippophae rhamnoides*)

Prvkové analýze bylo podrobena 9 odrůd rakytníku řešetlákového. Pomocí metody ICP-MS v nich bylo analyzováno 16 mikroprvků.

Kapitola 4.4.1 shrnuje a diskutuje získané výsledky. V kapitole 4.4.2 jsou výsledky analýzy zpracovány graficky. V kapitole 4.4.3 jsou výsledky této práce porovnávány s výsledky jiných autorů, kteří se zabývali prvkovou analýzou rakytníku řešetlákového. Obsah jednotlivých prvků ve dřívě a v běžně konzumovaném ovoci srovnává kapitola 4.4.4.

4.4.1 Výsledky analýzy

V plodech rakytníku řešetlákového bylo analyzováno 16 kovů, jako analytická metoda byla použita hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem. Výsledné koncentrace kovů pro všech devět odrůd rakytníku a jejich směrodatné odchylky jsou zapsány v tabulkách 12a–12c.

Beryllium

Limit detekce pro beryllium byl stanoven na $0,0012 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. U žádné odrůdy obsah tohoto toxického prvku nepřekročil mez detekce. Jak již bylo uvedeno v kapitole 4.2.1, u beryllia se zvýšený výskyt v ovoci neočekává, vzhledem k tomu, že tento prvek je velmi vzácný.

Bor

Získané koncentrace boru v bobulích rakytníku se pohybují v rozmezí $14,6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ u odrůdy Leicora do $25,4 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ u odrůdy Aromat.

Vzhledem k tomu, že je bor součástí rostlinných membrán, lze v ovoci očekávat vyšší koncentrace tohoto prvku než např. v mase, vejcích, či mléčných výrobcích, kde obsah boru nepřesahuje $0,3 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.³¹

Vanad

U odrůdy Ljubitelna bylo zjištěno $0,022 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ vanadu, toto je koncentrace nejnižší. Oproti tomu nejvyšší obsah tohoto prvku vykazovala odrůda Aromat, kde se koncentrace vanadu vyšplhala na $0,0510 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Obecně se uvádí, že potraviny obsahují velmi málo vanadu, u ovoce bývá koncentrace tohoto prvku nižší než $1\text{--}5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.³¹ Žádná z použitých odrůd rakytníku toto množství nepřekročila.

Chrom

Rozmezí koncentrací tohoto prvku se pohybovala od $0,27 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ u odrůdy Buchlovický, do $0,5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ u odrůdy Botanický.

Za průměrnou denní dávku chromu se považuje $50\text{--}200 \mu\text{g}$. Chrom se často využívá jako potravní doplněk, protože se předpokládá, že jeho vyšší dávky ve stravě působí preventivně proti diabetu.³¹

Mangan

Ze zjištěných množství manganu je patrné, že nejnižší koncentrace $13,1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ byla stanovena u odrůdy Botanický. Nejvyšší obsah $24,9 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ byl prokázán u odrůdy Trofimovský 2.

Dlouhodobý deficit manganu se může projevit zpomaleným růstem, či poškozením reprodukční funkce. Otrava manganem z jídla je téměř nemožná, nastává až při požití velmi vysokých dávek.³¹

Kobalt

Při porovnání množství kobaltu v jednotlivých odrůdách rakytníku je patrné, že nejkudší na tento prvek je odrůda Trofimovský, ve které se obsah kobaltu pohybuje kolem $0,0263 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Největší obsah kobaltu se vyskytuje v odrůdě Trofimovský 2, kde je koncentrace tohoto kovu $0,0759 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Nikl

Ze zjištěných koncentrací niklu lze vyvodit, že odrůda Aromat 2 s obsahem niklu $1,56 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ má o 67 % méně tohoto kovu než odrůda Aromat, u které bylo niklu analyzováno $4,7 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Toxické účinky niklu se projevují až při hladinách $\geq 250 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ v potravě. Tzn., že aby došlo k toxickému účinku po požití jednoho kilogramu rakytníku odrůdy Aromat, musela by se stávající koncentrace niklu u této odrůdy zvýšit z $4,7 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ téměř o 98 %.

Měď

Obsah mědi se pohyboval v rozmezí $5,07 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ u odrůdy Aromat 2 do $12,6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ u odrůdy Trofimovský. Uvádí se, že většina potravin obsahuje mědi méně než $10 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, u odrůdy Aromat 2 byla tato koncentrace o $2,6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ vyšší.

U člověka je deficit mědi velmi vzácný. Při dlouhodobém nižším denním příjmu ($0,8$ – $1,0$ mg denně) se mohou objevit vyšší hladiny cholesterolu v krvi a změny srdečního rytmu.³¹

Zinek

Nejnižší koncentrace zinku byla zjištěna u odrůdy Aromat 2, a to $6,7 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Nejvyšší potom $15,01 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ u odrůdy Aromat.

Nedostatek zinku u dětí může mít za následek zpomalený růst a nedostatečný vývoj mužských pohlavních orgánů. Proto je důležité, aby děti do jednoho roku přijímaly denně 5 mg zinku a děti od jednoho roku do 10 let 15 mg tohoto prvku. Rakytník řešetlákový, co se týče obsahu zinku, lze stavět na úroveň např. kuřecího masa, ve kterém se obsah zinku pohybuje v rozsahu $8,1$ – $12 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Nejvyšší koncentrace zinku byly prokázány ve vepřových játrech a to až $112 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Zelenina a ovoce jsou obecně na zinek chudé, obsah tohoto prvku se v nich pohybuje v desetinách až jednotkách $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.³¹ Vyhláška 305/2004 Sb. stanovuje NPM (nejvyšší přípustná množství) v ovocných šťávách, kde nesmí obsah zinku překročit $5,0 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.⁶⁷

Selen

Z množství selenu, které bylo analyzováno v bobulích rakytníku řešetlákového, je možné vyčíst, že se koncentrace tohoto prvku v jednotlivých odrůdách řádově lišily. Obsah u odrůdy

Botanický se pohyboval pod limitem detekce, který byl pro selen $0,005 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Nejvyšší množství $0,147 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ bylo naměřeno u odrůdy Buchlovický.

Molybden

Koncentrace molybdenu u použitých odrůd rakytníku se pohybovaly v rozmezí $0,402 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ u odrůdy Botanický do $5,12 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ u odrůdy Vitamínová. Rozdíl mezi těmito dvěma odrůdami činí 92 %. Obsahy molybdenu v jednotlivých odrůdách rakytníku se měnily, u některých byly v řádech desetin $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, jindy v řádech jednotek $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Kadmium

Obsah tohoto toxického kovu byl nejvyšší u odrůdy Trofimovský, kde dosáhl $0,028 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Odrůda nejchudší na kadmium byla odrůda Buchlovický s obsahem $0,0165 \mu\text{g}$ tohoto prvku na gram ovoce.

Vyhláška 305/2004 Sb. neudává maximální přípustné množství kadmia v ovoci. Ovšem stanovuje NPM tohoto kovu v nealkoholických nápojích, pivu a vínu, kde se za bezpečný obsah kadmia považuje maximálně $0,05 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.⁶⁷

Cín

Ani u jedné z analyzovaných odrůd rakytníku nebylo množství cínu vyšší než limit detekce, který měl hodnotu $0,04 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Olovo

Limit detekce u olova byl $0,04 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Koncentrace olova pod limitem detekce vykazovaly odrůdy Botanický, Vitamínová a Trofimovský 2. Nejvyšší koncentrace olova byla prokázána u odrůdy Aromat, kde se dostala až na hodnotu $0,11 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Podle nařízení Komise (ES) č. 1881/2006, kterým se stanoví maximální limity některých kontaminujících látek, nesmí obsah olova v bobulovinách a drobném ovoci přesáhnout $0,2 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.⁶⁸ Dlouhodobý příjem olova může způsobit poškození ledvin, jater, nervového a kardiovaskulárního systému.³¹

Železo

Nejnižší množství železa bylo stanoveno u odrůdy Buchlovický, která tohoto prvku obsahovala $2,2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Za nejbohatší zdroj železa lze považovat odrůdu Aromat s obsahem $5,62 \mu\text{g}$ tohoto kovu v gramu ovoce.

Nedostatečný příjem železa, jehož příjem by se měl pohybovat v rozmezí 6–30 mg za den, podle věku, pohlaví a zdravotního stavu, může způsobit chudokrevnost a zhoršení imunity. Oproti tomu nadbytečné množství ($>1000 \text{mg}/\text{den}$) vede k poškození jater.³¹

Arsen

Z výsledků analýzy je možné vyčíst, že nejvyšší koncentrace arsenu činila $0,034 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a byla zjištěna u odrůdy Ljubitelna. Oproti tomu nejnižší koncentraci $0,0110 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ vykazovala odrůda Botanický.

Podle vyhlášky 305/2004 Sb. je nejvyšší přípustné množství arsenu v ovoci a ovocných šťávách $0,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.⁶⁷ U žádné z analyzovaných odrůd toto množství nebylo překročeno.

Tabulka 12a Koncentrace analyzovaných kovů u jednotlivých odrůd

	Analyzované odrůdy*		
	Ljubitelna	Trofimovský	Botanický
Be	<LOD	<LOD	<LOD
B	$22,1 \pm 2,1$	$19,1 \pm 1,0$	$19,4 \pm 0,7$
V	$0,022 \pm 0,006$	$0,031 \pm 0,002$	$0,0401 \pm 0,0014$
Cr	$0,47 \pm 0,08$	$0,43 \pm 0,09$	$0,5 \pm 0,8$
Mn	$16,3 \pm 1,4$	$13,9 \pm 0,4$	$13,1 \pm 0,4$
Co	$0,055 \pm 0,004$	$0,0263 \pm 0,0021$	$0,03243 \pm 0,00019$
Ni	$4,0 \pm 1,5$	$3,5 \pm 0,6$	$3,26 \pm 0,27$
Cu	$11,6 \pm 0,9$	$12,6 \pm 0,4$	$11,0 \pm 0,3$
Zn	$13,6 \pm 1,0$	$12,4 \pm 1,0$	$13,0 \pm 0,9$
Se	$0,057 \pm 0,005$	$0,007 \pm 0,005$	<LOD
Mo	$1,36 \pm 0,14$	$1,17 \pm 0,04$	$0,402 \pm 0,010$
Cd	$0,0198 \pm 0,0014$	$0,0203 \pm 0,0021$	$0,02369 \pm 0,00027$
Sn	<LOD	<LOD	<LOD
Pb	$0,067 \pm 0,029$	$0,08 \pm 0,04$	<LOD
Fe	$4,3 \pm 1,6$	$3,8 \pm 0,6$	$3,64 \pm 0,25$
As	$0,034 \pm 0,013$	$0,013 \pm 0,004$	$0,0110 \pm 0,0020$

*Všechny naměřené koncentrace v tabulce jsou uvedeny v $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

Tabulka 12b Koncentrace analyzovaných kovů u jednotlivých odrůd

	Analyzované odrůdy*		
	Aromat	Leicora	Vitamínová
Be	<LOD	<LOD	<LOD
B	25,4 ± 1,3	15,8 ± 1,0	20,7 ± 1,9
V	0,0510 ± 0,0026	0,0474 ± 0,0019	0,041 ± 0,004
Cr	0,48 ± 0,06	0,39 ± 0,05	0,37 ± 0,03
Mn	16,8 ± 0,6	23,7 ± 0,5	19,2 ± 0,6
Co	0,0386 ± 0,0015	0,0400 ± 0,006	0,0321 ± 0,0013
Ni	4,7 ± 2,0	1,9 ± 0,3	1,9 ± 0,5
Cu	9,97 ± 0,16	6,20 ± 0,23	8,4 ± 0,5
Zn	15,1 ± 0,8	8,4 ± 1,0	7,8 ± 1,0
Se	0,049 ± 0,003	0,0697 ± 0,0029	0,083 ± 0,013
Mo	0,773 ± 0,023	4,12 ± 0,08	5,12 ± 0,14
Cd	0,0257 ± 0,0019	0,026 ± 0,003	0,0180 ± 0,0021
Sn	<LOD	<LOD	<LOD
Pb	0,11 ± 0,09	0,05 ± 0,05	<LOD
Fe	5,62 ± 2,28	2,5 ± 0,4	2,4 ± 0,5
As	0,0131 ± 0,0014	0,0125 ± 0,0015	0,014 ± 0,009

*Všechny naměřené koncentrace v tabulce jsou uvedeny v $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

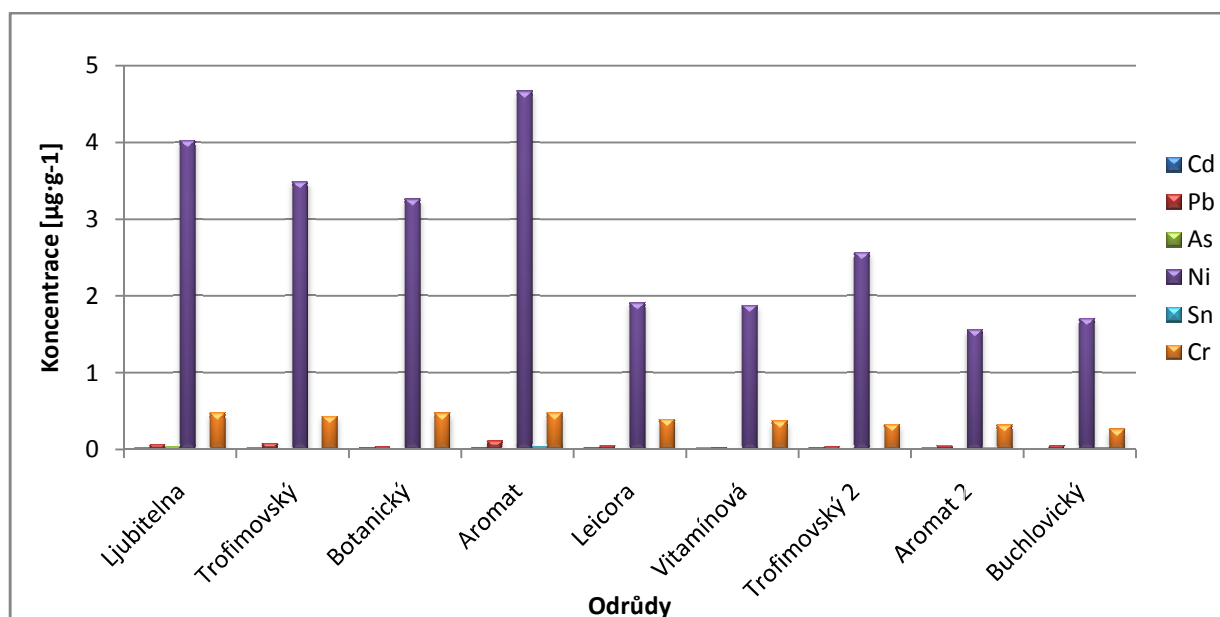
Tabulka 12c Koncentrace analyzovaných kovů u jednotlivých odrůd

	Analyzované prvky*		
	Trofimovský 2	Aromat 2	Buchlovický
Be	<LOD	<LOD	<LOD
B	16,7 ± 1,6	14,6 ± 1,0	21,9 ± 1,1
V	0,051 ± 0,003	0,0799 ± 0,0021	0,0374 ± 0,0012
Cr	0,33 ± 0,03	0,32 ± 0,07	0,27 ± 0,05
Mn	24,9 ± 0,8	17,3 ± 0,4	20,3 ± 0,3
Co	0,0759 ± 0,0027	0,050 ± 0,021	0,0371 ± 0,0023
Ni	2,6 ± 0,4	1,56 ± 0,24	1,71 ± 0,28
Cu	9,90 ± 0,29	5,07 ± 0,28	8,06 ± 0,18
Zn	7,9 ± 0,7	6,7 ± 1,2	7,19 ± 0,24
Se	0,087 ± 0,016	0,087 ± 0,011	0,147 ± 0,013
Mo	0,988 ± 0,025	1,2 ± 0,5	3,97 ± 0,07
Cd	0,028 ± 0,011	0,019 ± 0,004	0,0165 ± 0,0004
Sn	<LOD	<LOD	<LOD
Pb	<LOD	0,044 ± 0,029	0,051 ± 0,012
Fe	3,2 ± 0,4	2,3 ± 0,3	2,2 ± 0,4
As	0,0170 ± 0,0016	0,0171 ± 0,0020	0,0162 ± 0,0009

*Všechny naměřené koncentrace v tabulce jsou uvedeny v $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

4.4.2 Grafické zpracování

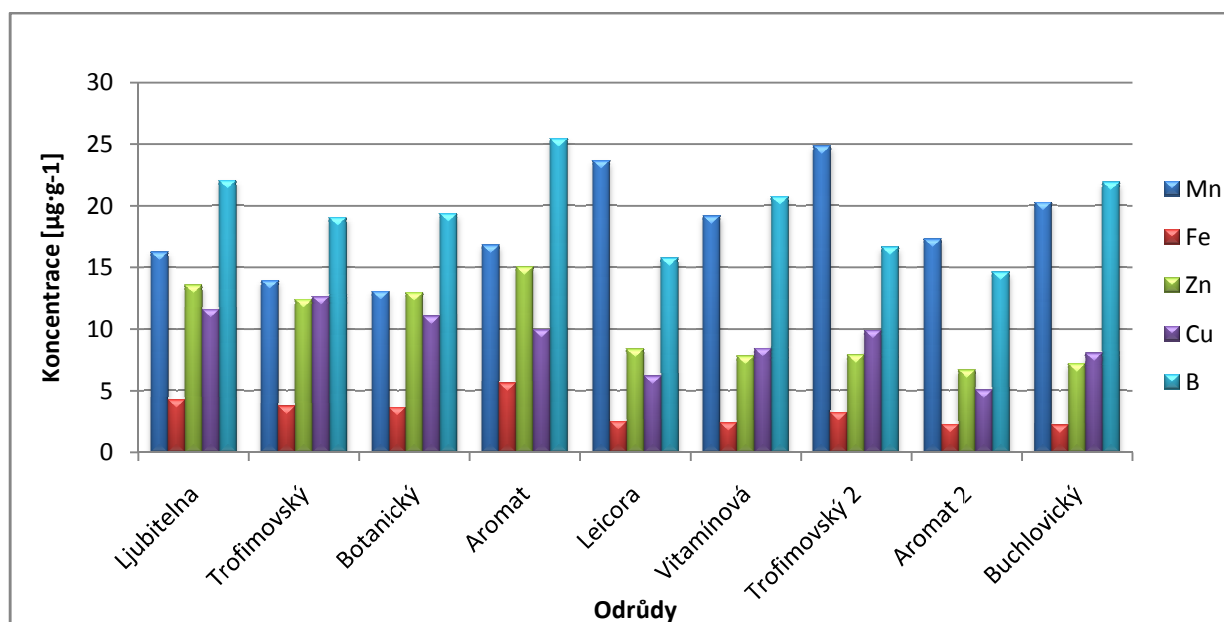
Výsledky analýz byly graficky zpracovány a jsou zaznamenány v grafech 5–7. Analyzované kovy byly (stejně jako v kapitole 4.2.2) rozděleny do tří skupin, na toxické (Cd, Pb, As, Ni, Sn, Cr), které jsou znázorněny v grafu 5, esenciální (Mn, Fe, Zn, Cu, B) zaznamenané v grafu 6 a ty ostatní (V, Co, Mo, Se), které lze vidět v grafu 7. Beryllium nebylo do grafu zařazeno, z toho důvodu, že koncentrace tohoto prvku byly nižší než mez detekce, která byla u beryllia $0,012 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.



Graf 5: Obsah toxických kovů v jednotlivých odrůdách rakytníku řešetlákového

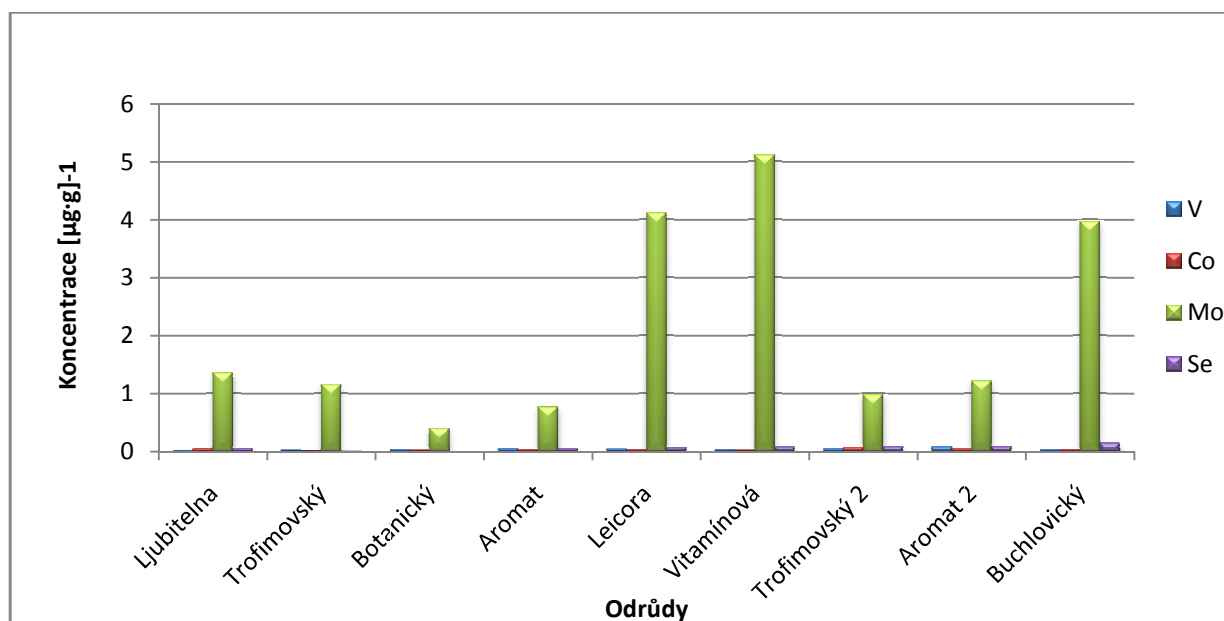
Koncentrace toxických kovů v jednotlivých odrůdách rakytníku řešetlákového je možné vidět v grafu 5. Odrůdy rakytníku mají velmi nízké koncentrace kadmia, arsenu a cínu. Množství olova je o něco vyšší. Nejbohatší je ovšem rakytník z hlediska obsahu chromu a niklu. U odrůdy Aromat dosahuje koncentrace niklu až na hodnotu $4,7 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Velíšek uvádí, že koncentrace niklu u ovoce nepřesáhnou setiny až desetiny $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.³¹ U běžného ovoce, jako jsou např. jablka tomu tak skutečně je. V několika dalších studiích, které se zabývaly prvkovou analýzou niklu v rakytníku řešetlákovém, je uvedena koncentrace niklu, která se shoduje s Velíškem (tzn. setiny až desetiny $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).^{70, 71}

Mezi hlavní zdroje, které mohou zapříčinit kontaminaci vzorku niklem je voda (zejména, ta která zůstává přes noc v kohoutku) a kuchyňské náčiní. Vzhledem k tomu, že při přípravě vzorku byla použita ultračistá deionizovaná voda a materiály z plastu a keramiky, lze vyloučit, že by byly bobule rakytníku kontaminovány niklem při přípravě vzorku. Nikl může být ve vyšších koncentracích toxický, inhalované soli mají karcinogenní účinek.⁶⁶



Graf 6: Obsah esenciálních kovů v jednotlivých odrůdách rakytníku řešetlákového

Z grafu 6 je možné vyčíst obsah esenciálních prvků, mezi které patří mangan, železo, zinek, měď a bor. Nejvyšší koncentrace manganu byly analyzovány u odrůdy Leicora a Trofimovský 2, kde téměř dosáhly $25 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Odrůda Aromat je nejbohatší na železo, zinek a bor. Nejvyšší koncentrace mědi byly zjištěny u odrůdy Trofimovský.



Graf 7: Obsah ostatních kovů v jednotlivých odrůdách rakytníku řešetlákového

Z grafu 7, kde jsou zobrazeny koncentrace vanadu, kobaltu, molybdenu a selenu je patrné, že množství molybdenu je výrazně vyšší než u ostatních kovů. Odrůda Vitaminová tohoto kovu obsahovala $5,12 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Oproti tomu odrůda Botanický dosáhla nejnižší koncentrace molybdenu a to $0,42 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Lze tedy konstatovat, že odrůda Botanický má o 92 % nižší

obsah molybdenu než odrůda Vitamínová. U ostatních kovů znázorněných v grafu se koncentrace pohybovaly řádově v desetinách až setinách $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

4.4.3 Porovnání výsledků s jinými autory

Do tabulky 13 byly zaznamenány hodnoty koncentrací 16 kovů analyzovaných v této práci. Výsledný obsah jednotlivých kovů v rakytníku řešetlákovém byl získán jako průměrná hodnota všech devíti stanovovaných odrůd. Dále tabulka 13 uvádí pro každý prvek dávku, u některých kovů se jedná o denní doporučenou dávku (chrom, měď, zinek, selen, cín a železo), u toxických kovů, jako jsou kadmium, olovo a arsen byla vyhledána tolerovaná denní dávka pro člověka o hmotnosti 70 kg. U beryllia, vanadu, kobaltu a niklu se podařilo nalézt jen skutečnou denní dávku přijímanou člověkem, tyto kovy nemají stanovenou denní doporučenou dávku. Posledním typem dávky, se kterým se lze v tabulce 13 setkat je přiměřená a bezpečná denní dávka, uvedená je u molybdenu a manganu.

Zjištěné koncentrace jednotlivých kovů byly přepočítány na procenta z uvedených dávek. V dalším sloupci tabulky 13 je vypočítáno množství rakytníku řešetlákového v kilogramech, které by musel člověk denně zkonzumovat, aby pokryl denní doporučenou dávku jen konzumací tohoto ovoce, případně aby nepřesáhl tolerovanou či bezpečnou denní dávku.

Pro zajímavost: Aby člověk pokryl denní doporučenou dávku zinku, což je průměrně 8 mg tohoto prvku denně, pouze konzumací rakytníku, musel by za den sníst 0,77 kg bobulí rakytníku. U selenu je toto množství téměř stejné, konzumace 0,71 kg bobulí za den pokryje denní doporučenou dávku tohoto prvku. Pro pokrytí denní doporučené dávky železa by však už člověk musel za den zkonzumovat 5 kg rakytníku.

Jako další příklad může sloužit kadmium, tento prvek je toxický, proto je u něj uvedena tolerovaná denní dávka. Při pohledu do tabulky 13 je tedy patrné, že pokud by člověk denně snědl 3,33 kg rakytníku, překročil by tolerovanou denní dávku a hrozilo by nebezpečí. Otrava kadmiiem může způsobit dekalifikaci, řídnutí a tenčení kostí, případně selhání ledvin, tedy orgánu, ve kterém se kadmium akumuluje nejvíce. Při pohledu na hodnoty dalšího toxického prvku, kterým je arsen, lze konstatovat, že už 0,5 kg rakytníku může negativně ovlivnit zdraví člověka. Vždy samozřejmě hraje důležitou roli v odolnosti organismu proti toxickým kovům věk, pohlaví, zdravotní stav a řada dalších faktorů. Akutní otrava oxidem arsenitým může být příčinou bolestí břicha, zvracení a průjmu. V minulosti byly zaznamenány akutní otravy dětí z ovoce ošetřeného pesticidy na bázi sloučenin arsenu.³¹

Závěrem jsou v tabulce 13 uvedeny množství jednotlivých kovů v rakytníku řešetlákovém, tak jak uvádějí další autoři, kteří se zabývají prvkovou analýzou tohoto ovoce. Beveridge *et al.* ve své práci uvádí koncentrace vybraných stopových prvků, které byly analyzovány ve šťávě rakytníku.⁷⁰

Mezi další práce, které se zabývají stanovením obsahu vybraných prvků v rakytníku řešetlákovém, se řadí práce, kterou publikovali Gutzeit *et al.* Ve své studii se věnují analýze As, B, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se a Zn. Jako analytická technika použitá ke stanovení železa byla zvolena AAS, ostatní kovy byly analyzovány pomocí ICP-MS. Obsah kovů byl zjišťován ve šťávě a v plodech rakytníku.⁷¹

Při porovnání výsledků získaných v této práci se studií provedenou Beveridge *et al.*, je zřejmé, že rakytníková šťáva obsahovala téměř u všech prvků výrazně nižší koncentrace než bobule, výjimku tvoří olovo a železo. Použité vzorky bobulí obsahovaly o 86 % méně olova než rakytníková šťáva a o 70 % nižší množství železa než bylo nejvyšší množství zjištěné ve šťávě. Na druhé straně byl ve šťávě analyzován výrazně nižší obsah boru než v bobulích a to až o 98 %, obsah manganu se snížil až o 94 %. Další výrazné snížení lze pozorovat u mědi, niklu a zinku.

Snížené koncentrace kovů ve šťávě lze očekávat, vzhledem k tomu, že při přípravě šťávy dojde ke ztrátě pevného podílu. Tím plod přijde o řadu minerálních a stopových prvků, které jsou obsaženy ve slupce a v pecičkách rakytníku bohatých na olej.

Pro zajímavost: Pro pokrytí denní doporučené dávky zinku by člověk musel sníst 0,77 kg bobulí rakytníku, případně vypít 1,4 l rakytníkové šťávy.

Při pohledu do tabulky 13 na hodnoty, které uvádí Gutzeit *et al.*, je patrné snížení koncentrace boru, niklu, mědi a zinku, vždy o jeden řád. Obsah železa se neměnil, pohyboval se okolo hodnoty $3,0 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Konkrétní obsah jednotlivých prvků závisí na mnoha faktorech, jako je lokalita, kde byly vzorky rakytníku pěstované, na vlastnostech půdy, zastoupení jednotlivých prvků v půdě, na znečištění ovzduší, na meteorologických podmínkách, době sběru, přípravě vzorku, na metodě rozkladu a v neposlední řadě na použité analytické metodě.

Tabulka 13 Porovnání naměřené koncentrace jednotlivých kovů s denní doporučenou dávkou a údaji naměřenými jinými autory

Kovy	Koncentrace [$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$]*	Dávka	% z dávky	Přijaté množství [kg/d]	Beveridge ⁷⁰ [$\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$]	Gutzeit ⁷¹ [$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$]
Be	<LOD	–	–	–	–	<LOD
B	19,5 ± 1,3	2–10 mg/d ^c	0,33	0,30	0,43–1,38	2,918–2,924
V	0,0445 ± 0,0027	10–30 $\mu\text{g}/\text{d}^c$	0,30	0,33	0,002–0,009	–
Cr	0,39 ± 0,14	11–45 $\mu\text{g}/\text{d}^a$	1,39	0,07	0,108–0,287	0,047–0,0605
Mn	18,4 ± 0,6	1,2–2,6 mg/d ^d	0,97	0,10	1,17–2,60	0,276–0,320
Co	0,043 ± 0,004	5–8 $\mu\text{g}/\text{d}^c$	0,66	0,15	≤0,1	–
Ni	2,8 ± 0,7	100–700 $\mu\text{g}/\text{d}^c$	0,70	0,14	0,115–0,357	0,388–0,616
Cu	9,2 ± 0,4	340–1300 $\mu\text{g}/\text{d}^a$	1,12	0,09	0,158–0,653	0,988–1,011
Zn	10,2 ± 0,9	3–13 mg/d ^a	0,13	0,77	2,09–6,31	1,778–2,250
Se	0,065 ± 0,008	20–70 $\mu\text{g}/\text{d}^a$	0,14	0,71	0,94–1,11	<LOD
Mo	2,12 ± 0,12	17–50 $\mu\text{g}/\text{d}^d$	6,33	0,02	1,18	0,083–0,153
Cd	0,0219 ± 0,0028	70 $\mu\text{g}/\text{d}^b$	0,03	3,33	0,002–0,015	–
Sn	<LOD	3 mg/d ^a	–	–	–	–
Pb	0,06 ± 0,04	250 $\mu\text{g}/\text{d}^b$	0,02	5,00	0,431–0,761	–
Fe	3,3 ± 0,7	7–27 mg/d ^a	0,02	5,00	4,13–10,9	2,474–3,701
As	0,017 ± 0,004	25–125 $\mu\text{g}/\text{d}^b$	0,2	0,50	<0,5	<LOD

Poznámka:

*Jedná se o průměrnou hodnotu všech analyzovaných odrůd

^a DRI (Dietary reference intake = doporučená denní dávka). Konkrétní denní doporučená dávka se liší v závislosti na tom, jestli se jedná o dítě od jednoho roku, muže, ženu, těhotnou či kojící ženu.

^b TDI (Tolerated daily intake = tolerovaná denní dávka), při tělesné hmotnosti 70 kg

^c skutečná denní dávka

^d AIs (Adequate intakes = přiměřená a bezpečná denní dávka)

4.4.4 Porovnání výsledků s běžně konzumovaným ovocem

V tabulce 14 je možné vidět rozdíly mezi koncentracemi jednotlivých kovů naměřených u rakytníku řešetlákového a u běžně konzumovaného ovoce (jablka, pomeranče, banány, jahody). Obsahy kovů v rakytníku řešetlákovém byly získány jako průměrná hodnota koncentrace jednotlivých odrůd. Množství kovů v běžně konzumovaném ovoci je převzato z publikace Jana Velíška *Chemie potravin*.³¹

U beryllia, vanadu a cínu nebyly hodnoty u běžně konzumovaného ovoce zjišťovány. Koncentrace olova u rakytníku řešetlákového byla pod limitem detekce, který byl pro olovo stanoven na $0,04 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. U běžně konzumovaného ovoce se obsah olova pohyboval v blízkosti této koncentrace.

Rakytník řešetlákový obsahuje výrazně vyšší (až o jeden řád) koncentrace boru, manganu, niklu, mědi, zinku a molybdenu než u nás běžně konzumované ovoce. Koncentrace boru u rakytníku může dosahovat hodnot až o 93 % vyšších než u banánů. Také je z tabulky 14 patrné, že obsah manganu může být u rakytníku téměř o 100 % vyšší než u běžného ovoce, obsah zinku a mědi až o 98 % vyšší než např. u jablek. Obsah železa a arsenu je s běžným ovocem srovnatelný.

Ze zjištěných hodnot obsahu analyzovaných prvků jednoznačně plyne, že rakytník řešetlákový je velmi bohatým zdrojem stopových prvků. Proto je vhodné plody rakytníku využívat při přípravě doplňků stravy ve formě prášku, tablet či bylinných sirupů. V poslední době se jeho uplatnění značně rozšiřuje. Šťávy, oleje či sušené plody lze běžně koupit v obchodech se zdravou výživou.

Tabulka 14 Porovnání koncentrace naměřených prvků u rakytníku řešetlákového s běžně konzumovaným ovocem

	Rakytník řešetlákový*	Běžně konzumované ovoce			
		jablka	pomeranče	banány	jahody
Be	<LOD	–	–	–	–
B	18,2–20,8	1,0–6,0	2,7–3,0	1,4–2,2	1,7–2,1
V	0,0418–0,0472	–	–	–	–
Cr	0,25–0,53	0,003–0,3	<0,001–0,02	0,02–0,05	<0,002–0,02
Mn	17,8–19,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Co	0,039–0,047	<0,001–0,005	0,001–0,01	<0,001–0,002	<0,001–0,01
Ni	2,1–3,5	0,004–0,03	0,01–0,04	0,01–0,05	0,02–0,13
Cu	8,8–9,6	0,24–0,63	0,44–0,91	0,7–1,6	0,54–0,74
Zn	9,3–11,1	0,2–4,9	0,9–1,2	1,8–2,6	1,1–1,9
Se	0,057–0,073	0,005	0,013	0,01	–
Mo	2,00–2,24	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cd	0,0191–0,0247	0,001–0,002	0,001–0,007	<0,002	0,001–0,03
Sn	<LOD	–	–	–	–
Pb	<LOD	0,01–0,05	0,005–0,07	0,02–0,05	0,00–0,09
Fe	2,6–4,0	2,3–4,8	1,3–5,0	3,1–5,5	3,6–9,6
As	0,013–0,021	0,001–0,22	0,004–0,02	0,04–0,09	<0,005

*Jedná se o průměrnou hodnotu všech analyzovaných odrůd

Všechny koncentrace v tabulce jsou udávány v $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

5 ZÁVĚR

Cílem teoretické části diplomové práce bylo popsat vybrané netradiční ovoce, kterým byl dřín obecný (*Cornus mas*), mišpule obecná (*Mespilus germanica*) a rakytník řešetlákový (*Hippophae rhamnoides*).

Další kapitola teoretické části pojednává o 16 analyzovaných kovech, kterými byly As, B, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Sn, Pb, V, Zn. Je velice důležité znát množství jednotlivých prvků v potravinách. U esenciálních prvků jsou stanovena doporučená denní množství a u toxických prvků zase maximální přípustná množství. Pokud by docházelo ve výživě člověka dlouhodobě k deficitu některého z esenciálních prvků, tzn. že by člověk nepokryl doporučenou denní dávku, mohlo by dojít ke zdravotním obtížím. Stejně tak dlouhodobý příjem toxických prvků, tzn. příjem většího množství, než je maximální přípustné, má na lidské zdraví negativní vliv.

Byly vybrány metody vhodné pro prvkovou analýzu kovů v biologických materiálech. Jejich zhodnocením bylo zjištěno, že nejvhodnější metoda je hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS). Poslední kapitola krátce popisuje možnosti rozkladu biologické matrice.

Cílem experimentální části diplomové práce bylo podat přehled o výskytu vybraných kovů, ať už toxických či esenciálních, v netradičním ovoci. Následně zhodnotit obsah prvků v jednotlivých odrůdách ovoce. K rozkladu vzorku byl použit mikrovlnný rozkladný systém. K rozložení vzorku došlo v přítomnosti 67% kyseliny dusičné a 30% peroxidu vodíku. Pro analýzu vybraných prvků byla vybrána metoda ICP-MS.

Metoda ICP-MS je metoda vhodná ke stanovení stopového množství prvků v nejrůznorodějších maticích, ať už se jedná o pevné látky, plyny či kapaliny. Analýza jednotlivých odrůd dřínu obecného, rakytníku řešetlákového a mišpule obecné byla provedena na přístroji Thermo X-seriesQuad .

Výsledky analýzy vybraných kovů v netradičním ovoci jsou pro dřín obecný shrnuty v tabulkách 7a–7c, pro mišpuli obecnou v tabulce 10 a pro rakytník řešetlákový v tabulce 12a–12c. U dřínu obecného bylo analýze podrobena 10 odrůd, u rakytníku řešetlákového bylo analyzováno odrůd 9. U mišpule obecné probíhala analýza jen u jedné odrůdy, tudíž nebylo provedeno srovnání obsahu kovů v jednotlivých odrůdách.

Dále byly výsledky pro přehlednost zpracovány do grafů 1–7. Pro grafické zpracování byly analyzované kovy rozděleny do tří skupin, na toxické (kadmium, olovo, arsen, nikl, cín a chrom), esenciální (mangan, železo, zinek, měď a bor) a ty ostatní (vanad, kobalt, molybden, selen).

Následně byly zpracovány tabulky 8 (pro dřín obecný) a 13 (pro rakytník řešetlákový), do kterých byly zaznamenány hodnoty koncentrací jednotlivých kovů v daném ovoci, získané jako průměrná hodnota všech analyzovaných odrůd. Dále zde byly uvedeny denní doporučené dávky esenciálních prvků, tolerovaná denní množství toxických prvků, skutečné denní dávky,

případně dávky přiměřené a bezpečné. Zjištěné koncentrace jednotlivých kovů byly přepočítány na procenta z uvedených dávek. Bylo vypočítáno množství netradičního ovoce (dřínu nebo rakytníku) v kilogramech, které by musel člověk denně zkonzumovat, aby pokryl denní doporučenou dávku jen konzumací tohoto ovoce, případně aby nepřesáhl tolerovanou či bezpečnou denní dávku.

Obsah kovů v každém ze tří analyzovaných netradičních ovocí byl srovnán s běžně konzumovaným ovocem, jako jsou jablka, pomeranče, banány a jahody. Toto porovnání lze vidět v tabulkách 9, 11 a 14.

Bylo zjištěno, že dřín obecný je bohatým zdrojem boru. Obsah tohoto prvku byl $7,2 \pm 1,1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, druhým nejvíce zastoupeným prvkem byl zinek, jehož koncentrace dosáhla $2,9 \pm 0,2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, následovala měď, jejíž koncentrace činila $1,88 \pm 0,17 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Koncentrace železa byla $1,3 \pm 0,5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a manganu $1,30 \pm 0,06 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Dále byl zjištěn obsah niklu, ten se pohyboval na $0,7 \pm 0,4 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, koncentrace chromu byla $0,116 \pm 0,017 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Dalšími analyzovanými prvky byli molybden s obsahem $0,089 \pm 0,003 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, selen, jehož koncentrace činila $0,0126 \pm 0,0012 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, kobalt, kterého bylo ve dřínu obecném obsaženo $0,0020 \pm 0,0139 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a vanad s koncentrací $0,031 \pm 0,005 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Z toxických kovů byl zjištěn obsah arsenu $0,032 \pm 0,004 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, olova $0,06 \pm 0,005 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a kadmia $0,004 \pm 0,004 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. U beryllia a cínu byla koncentrace nižší než limit detekce.

Vzorek mišpule obsahoval nejvíce boru, a to $11,0 \pm 0,7 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, obsah manganu činil $5,0 \pm 0,6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, koncentrace zinku byla $2,91 \pm 0,23 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, mědi $1,71 \pm 0,09 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Niklu bylo ve vzorku mišpule naměřeno $0,95 \pm 0,14 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, železa $0,90 \pm 0,14 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Množství molybdenu bylo stanoveno na $0,116 \pm 0,005 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, koncentrace chromu činila $0,078 \pm 0,022 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, obsah vanadu byl $0,029 \pm 0,006 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, koncentrace kobaltu byla $0,051 \pm 0,004 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Mezi proměřovanými toxickými prvky bylo olovo, jehož koncentrace činila $0,17 \pm 0,04 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, dále arsen, jehož obsah byl stanoven na $0,0449 \pm 0,0028 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a kadmium, kterého vzorek mišpule obsahoval $0,0106 \pm 0,0011 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. U beryllia, selenu a cínu bylo zjištěné množství pod limitem detekce.

U rakytníku řešetlákového bylo k měření použito devět odrůd, po zprůměrování všech odrůd bylo zjištěno, že rakytník je velmi bohatým zdrojem boru, jehož koncentrace činila $19,5 \pm 1,3 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, manganu, jehož obsah byl $18,4 \pm 0,6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, dále byl ve větším množství zastoupen zinek $10,2 \pm 0,9 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a měď $9,2 \pm 0,4 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Koncentrace železa byla $3,3 \pm 0,7 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, niklu $2,8 \pm 0,7 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, molybdenu $2,12 \pm 0,12 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, chromu $0,39 \pm 0,14 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, vanadu $0,0445 \pm 0,0027 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, kobaltu $0,043 \pm 0,004 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a koncentrace selenu činila $0,065 \pm 0,008 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Z toxických kovů byla zjištěná koncentrace arsenu, která činila $0,017 \pm 0,004 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ dále olova a kadmia. Obsah olova byl $0,06 \pm 0,04 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a kadmia $0,0219 \pm 0,0028 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. U cínu a beryllia se zjištěné koncentrace pohybovaly pod limitem detekce.

Zjištěné obsahy toxických kovů (arsenu, kadmia a olova) byly porovnány s nejvyšším přípustným množstvím, které udává legislativa a bylo zjištěno, že žádná z analyzovaných odrůd dřínu, rakytníku, ani mišpule toto množství nepřesáhla.

To, jaké bude výsledné množství daného kovu ve vzorku ovoce, je ovlivněno množstvím faktorů, např. lokalitou, kde byly vzorky pěstovány, vlastnostmi půdy, zastoupením jednotlivých prvků v půdě, znečištěním ovzduší, meteorologickými podmínkami, dobou sběru, přípravou vzorku, metodou rozkladu a v neposlední řadě použitou analytické metodou.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HRADIL, Radomil, et al. *Česká biozahrada*. Šumperk : Fontána, 2000. 184 s. ISBN 80-86179-46-X.
- [2] *Vojenské lesy a statky ČR* [online]. 2006 [cit. 2011-03-09]. Cornus mas. Dostupné z WWW: <<http://www.vls.cz/default.asp?ids=1761&idc=2230{=cz}>>.
- [3] PAPERŠTEIN, František, et al. *Technologie pěstování dřínu obecného (Cornus mas L.)*. [s.l.] : Výzkumný a šlechtitelský ústav ovocnářský Holovousy s.r.o., 2009. 27 s. ISBN 978-80-87030-06-6.
- [4] DOLEJŠÍ, Antonín; KOTT, Vladimír; ŠENK, Lubomír. *Méně známé ovoce*. Vyd. 1. Praha : Brázda, 1991. 149 s. ISBN 80-209-0188-4.
- [5] KOYUNCU, Turhan; TOSUN, Ilkay; PINAR, Yunus. Drying characteristics and heat energy requirement of cornelian cherry fruits (*Cornus mas L.*). *Journal of food engineering*. 2007, no. 78, s. 735-739.
- [6] KOPEC, Karel. *Tabulky nutričních hodnot ovoce a zeleniny*. Vyd. 1. Praha : Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1998. 72 s. ISBN 80-86153-64-9.
- [7] VAREED, Shaiju K., et al. Anthocyanins in *Cornus arternifolia*, *Cornus controversa*, *Cornus kousa* and *Cornus florida* fruits with health benefits. *Life Sciences*. 2006, no. 78, s. 777-784.
- [8] *Ochrana přírody a krajiny v hlavním městě Praze* [online]. 2006 [cit. 2011-03-09]. Dřín obecný. Dostupné z WWW: <<http://www.wmap.cz/opk/vmp/ros/ros6718.htm>>.
- [9] *Zahrada web* [online]. 2010 [cit. 2011-03-09]. Obrázek dřínu obecného. Dostupné z WWW: <http://www.zahradaweb.cz/informace-z-oboru/ovocnarska-vyroba/Obsah-mineralnich-prvku-v-evropskych-odrudach-drinu-obecneho-Cornus-mas-L._s513x48113.html>.
- [10] SEERAM, Navindra P., et al. Characterization, Quantification, and Bioactivities of Anthocyanins in *Cornus* Species. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2002, no. 50, s. 2519-2523.
- [11] *Wikipedia* [online]. 2011 [cit. 2011-03-14]. Mespilus. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Mespilus>>.
- [12] *Svět řemesel.cz* [online]. 2007 [cit. 2011-03-09]. Netradiční dřeviny našich zahrad - Mišpule německá. Dostupné z WWW: <http://www.svetremesel.cz/clanky/Netradicni_dreviny_nasich_zahrad_Mispule_nemec_ka_%28Mespilus_germanica%29.html>.
- [13] GLEW, Robert H., et al. Changes in sugars, organic acids and aminoacids in medlar (*Mespilus germanica L.*) during fruit development and maturation. *Food chemistry*. 2003, no. 83, s. 363-369.
- [14] HRIČOVSKÝ, Ivan; ŘEZNÍČEK, Vojtěch; SUS, Josef. *Jabloně a hrušně, kdouloně, mišpule*. Bratislava : Příroda, 2003. 104 s. ISBN 80-07-11223-5.

- [15] *Svět ekozahrad.cz* [online]. [cit. 2011-03-09]. *Mespilus Germanica*. Dostupné z WWW: <<http://www.svetekozahrad.cz/svet-ekozahrad.html>>.
- [16] *Arboretum Žampach* [online]. 2006 [cit. 2011-03-09]. Obrázek Mišpule obecné. Dostupné z WWW: <<http://www.uspza.cz/index.php?id=10362>>.
- [17] GRUZ, Jiri, et al. Phenolic acid content and radicals scavenging activity of extracts from medlar (*Mespilus germanica* L.) fruit at different stages of ripening. *Food chemistry*. 2011, no. 124, s. 271-277.
- [18] ROP, Otakar, et al. Effect of Five Different Stages of Ripening on Chemical Compounds in Medlar (*Mespilus germanica* L.). *Molecules*. 2011, no. 16, s. 74-91. Dostupný také z WWW: <www.mdpi.com/journal/molecules>. ISSN 1420-3049.
- [19] *Wikipedia* [online]. 2011 [cit. 2011-03-14]. Sea buckthorn. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Seabuckthorn>>.
- [20] *Biotox* [online]. 2007 [cit. 2011-03-09]. Obrázek rakytníku řešetlákového. Dostupné z WWW: <http://www.biotox.cz/botanicus/index.php?id=bph_0581>.
- [21] PAPRŠTEIN, František, et al. *Technologie pěstování rakytníku řešetlákového (Hippophae rhamnoides L.)*. [s.l.]: Výzkumný a šlechtitelský ústav ovocnářský Holovousy s.r.o., 2009. 29 s. ISBN 978-80-87030-07-3.
- [22] VALÍČEK, Pavel; HAVELKA, Emil V. *Rakytník řešetlákový : Rostlina budoucnosti*. Vyd. 1. Benešov : START, 2008. 86 s.
- [23] *Prodej stromků* [online]. [cit. 2011-03-09]. Rakytník řešetlákový. Dostupné z WWW: <<http://www.prodejstromku.cz/produkt/rakytник-resetlakovy-vitaminova/>>.
- [24] *Garten.cz* [online]. 2007 [cit. 2011-03-09]. Rakytník řešetlákový. Dostupné z WWW: <<http://www.garten.cz/a/cz/2461-hippophae-rakytник/>>.
- [25] YANG, Baoru; KALLIO, Heikki P. Fatty acid composition of lipids in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries of different origins. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2001, no. 49, s. 1939-1947.
- [26] CHEN, Chu, et al. High-performance liquid chromatographic finger print analysis for different origins of sea buckthorn berries. *Journal of chromatography A*. 2007, no. 1154, s. 250-259.
- [27] GUTZEIT, D., et al. Vitamin C content in sea buckthorn berries (*Hippophae rhamnoides* L. ssp. *rhamnoides*) and related products: A kinetic study on storage stability and the determinativ of processing effects. *Journal of food science : Food chemistry*. 2008, vol. 73, no. 9, s. 615-620.
- [28] GULIYEVA, Vahid Bilaloglu; GUL, Mustafa; YLDIRIM, Ali. *Hippophae rhamnoides* L.: chromatographic methods to determine chemici composition, use in traditional medicine and pharmacological effects. *Journal of chromatography B*. 2004, no. 812, s. 291-307.
- [29] CHEN, Wanchao, et al. Comparative effects of salt and alkali stresses on organic acid accumulation and ionic balance of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.). *Industrial crops and products*. 2009, no. 30, s. 351-358.

- [30] TING, Hung-Chih, et al. The in vitro and in vivo antioxidant properties of sea buckthorn (*Hippophaer hamnoides* L.) seed oil. *Food chemistry*. 2011, no. 125, s. 652-659.
- [31] VELÍŠEK, Jan. *Chemie potravin 2*. Vyd. 2. Tábor : OSSIS, 2002. 320 s. ISBN 80-86659-01-1.
- [32] EKHOLM, Paivi, et al. Changes in the mineral and trace element contents of cereals, fruit and vegetables in Finland. *Journal of food composition and analysis*. 2007, no. 20, s. 487-495.
- [33] Periodická soustava prvků. [online]. [cit. 2011-03-09]. Dostupné z WWW: <<http://www.flveg-lohr.de/index.php?id=924>>.
- [34] MATRKA, Miroslav; RUSEK, Vlastimil. *Průmyslová toxikologie : Úvod do obecné a speciální toxikologie*. Vyd. 2. Pardubice : Univerzita Pardubice, 1994. 157 s. ISBN 80-85113-85-6.
- [35] PROKEŠ, Jaroslav. *Základy toxikologie : Obecná toxikologie a ekotoxikologie*. Vyd. 2. Univerzita Karlova v Praze : Galén, 2005. 248 s. ISBN 80-7262-301-X.
- [36] Handbook of Hyphenated ICP-MS Applications. USA: Agilent Technologies, 2007 18 s. 67
- [37] Oficiální stránky Centra hygieny potravinových řetězců v Brně, Státního zdravotního ústavu v Praze, Zinek. [online]. [cit. 2011-03-15]. Dostupné z WWW:<<http://www.chpr.szu.cz/monitor/tds00c/7chem/8vysled00/anorg00/ZN.pdf>>
- [38] BOBROWSKA-GRZESIK, Ewa; JÁKOBÍK-KOLON, Agata. Leaching of cadmium and lead from dried fruits and fruit teas to infusions and decoctions. *Journal of food composition and analysis*. 2008, no. 21, s. 326-331.
- [39] ŠTULÍK, Karel. *Analytické separační metody*. 1. vyd. Praha: Univerzita Karlova, 2004. 264 s. ISBN 80-246-085-9.
- [40] ŠALGOVIČOVÁ, Danko, ZMETÁKOVÁ, Zuzana. Arzén, kadmium, ortuť a olovo v potravinách v obchodnej sieti v Slovenskej republike In *Bezpečnosť a kontrola potravín, IV. vedecká konferencia s medzinárodnou účasťou*. [online]. Nitra, 2007, [cit. 2011-03-21]. Dostupné z WWW:<http://enviroportal.sk/ism/pdf/cudzorodelatky/As_Cd_Hg_Pb_MS_K.pdf>
- [41] KOPLÍK, Richard, ČURDOVÁ, Eva, MESTEK, Oto. Speciálne stopových prvků ve vodách, půdách, sedimentech a biologických materiálech. *Chemické listy*. 1997, roč. 91, č. 1, s. 38-47. ISSN 121-7103.
- [42] PROUSEK, J. *Rizikové vlastnosti látok*. 1. vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2001. 247 s. ISBN 80-227-1497-6.
- [43] EGYŮDOVÁ, Iveta, ŠTURDÍK, Ernest. Ťažké kovy a pesticídy v potravinách. *Nova Biotechnologica*. 2004, roč. IV, č. 1, s. 155-172. ISSN 1337-8783.
- [44] SOMMER, Lumír, et al. *Optická emisní spektrometrie v indukčně vázaném plazmatu a vysokoteplotních plamenech*. vyd. 1. Praha : Academia, 1992. 152 s. ISBN 80-200-0215-4.

- [45] ČERNOHORSKÝ, Tomáš; JANDERA, Pavel. *Atomová spektroskopie*. Vyd. 1. Pardubice : Univerzita Pardubice, 1997. 218 s. ISBN 80-7194-114-X.
- [46] MIHALJEVIČ, Martin; STRNAD, Ladislav; ŠEBEK, Ondřej. Využití hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem v geochemii. *Chemické listy*. 2004, no. 94, s. 123-130.
- [47] THOMAS, Robert. A beginner's Guide to ICP-MS : Part I. *Spectroscopy*. 2001, no. 16, s. 38-42. Dostupný také z WWW: <<http://spectroscopyonline.findanalytichem.com/spectroscopy/data/articlestandard/spectroscopy/152002/15304/article.pdf>>.
- [48] Agilent technologies. *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry : A primer*. USA : Agilent technologies, 2005. 80 s. Dostupné z WWW: <http://www.chem.agilent.com/Library/primers/Public/ICP-MS_Primer-Web.pdf>. ISBN 5989-3526EN.
- [49] SHRIVAS, Kamlesh; PATEL, Devesh Kumar. Ultrasound assisted-hollow fibre liquid-phase microextraction for the determination of selenium in vegetable and fruit samples by using GF-AAS. *Food chemistry*. 2011, no. 124, s. 1673-1677.
- [50] BAKKALI, Karima, et al. Characterization of trace metals in vegetables by graphite furnace atomic absorption spectrometry after closed vessel microwave digestion. *Food chemistry*. 2009, no. 116, s. 590-594.
- [51] NARDI, Elene P., et al. The use of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) for the determination of toxic and essential elements in different types of food samples. *Food chemistry*. 2009, no. 112, s. 727-732.
- [52] YERBA, M.C.; CANCELA, S.; CESPON, R.M. Automatic determination of nickel in foods by flame atomic absorption spectrometry. *Food chemistry*. 2008, no. 108, s. 774-778.
- [53] ANGIONI, Alberto, et al. Influence of olive cultivars and period of harvest on the contents of Cu, Cd, Pb, and Zn in virgin olive oils. *Food chemistry*. 2006, no. 99, s. 525-529.
- [54] SIMPKINS, Wayne A., et al. Trace elements in Australian orange juice and other products. *Food chemistry*. 2000, no. 71, s. 423-433.
- [55] HAMURCU, Mehmed, et al. Mineral and heavy metal levels of some fruits grown at the roadsides. *Food and chemical toxicology*. 2010, no. 48, s. 1767-1770.
- [56] OTRUBA, Vítězslav, KANICKÝ Viktor. Spektroskopická společnost Jana Marci. Spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem. 1997
- [57] GODULA, M., Firemní prezentace HPST, Současné inovace a trendy ve využití kolizních cel v ICP-MS. Praha, 26. února 2008
- [58] *The 30-Minute Guide to ICP-MS*. USA: Perkin Elmer Instruments, 2001. 8 s.
- [59] JARVIS, K.E., GRAY, A.L., HOUK, R.S. *Handbook of Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*. 1st. printing, 1992. s. 37-38
- [60] MILLOUR, Sandrine, et al. Pb, Hg, Cd, As, Sb and Al levels in food stuffs from the 2nd French total diet study. *Food chemistry*. 2011, no. 126, s. 1787-1799.

- [61] PEDRERO, Zoyne; MADRID, Yolanda. Novel approaches for selenium speciation in foodstuffs and biological species: A review. *Analytica chimica acta*. 2009, no. 634, s. 135-152.
- [62] MELO, Renate, et al. Minerals and trace elements in commercial infant food. *Food and chemici toxicology*. 2008, no. 46, s. 3339-3342.
- [63] KOLIHOVÁ, Dana; SZÁKOVÁ, Jiřina. *Atomová absorpční spektrometrie II : Kurz pro pokročilé*. Praha : Spektroskopická společnost Jana Marka Marci, 2000. Příprava vzorků rostlinného původu a půd pro stanovení metodou AAS, s. 57-64.
- [64] KRAKOVSKÁ, Erika; KUSS, Heinz-Martin. *Rozklady v analytickej chémii : Súčasný stav a trendy*. Vyd. 1. Košice : Viena, 2001. 226 s. ISBN 80-88922-48-8.
- [65] ZBÍRAL, Jiří. *Analýza rostlinného materiálu*. Vyd. 1. Brno : Státní kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 1994. 79 s.
- [66] *Informační centrum bezpečnosti potravin* [online]. 2009 [cit. 2011-04-02]. Nikl. Dostupné z WWW: <<http://www.agronavigator.cz/az/vis.aspx?id=92068>>.
- [67] Česká republika. 305 VYHLÁŠKA ze dne 6. května 2004, kterou se stanoví druhy kontaminujících a toxikologicky významných látek a jejich přípustné množství v potravinách. In *Sbírka předpisů České republiky*. 2004, částka 100, s. 6398-640.
- [68] EU. NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 1881/2006 ze dne 19. prosince 2006, kterým se stanoví maximální limity některých kontaminujících látek v potravinách. In *Úřední věstník Evropské unie*. 2006, částka 364, s. 5-24.
- [69] KROSNIAK, M., et al. Cornelian chery (*Cornus mas* L.) juices as a source of minerals in human diet. *Journal of toxicology and enviromental health*. 2010, vol. 73, no. 17-18, s. 1155-1158.
- [70] BEVERIDGE, Tom, et al. Sea buckthorn products: Manufacture and Composition. *Journal of agricultural and food chemistry*. 1999, vol. 47, no. 9, s. 3480-3488.
- [71] GUTZEIT, D.; WINTERHALTER, P.; JERZ, G. Nutritional assessment of processing effects on major and trace element content in sea buckthorn juice (*Hippophae rhamnoides* L. ssp. *rhamnoides*). *Journal of food science*. 2008, vol. 73, no. 6, s. 97-102.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AAS	Atomová absorpční spektrometrie
GF-AAS	Atomová absorpční spektrometrie s elektrotermickou atomizací
ICP-OES	Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
ICP-MS	Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
NPM	Nejvyšší přípustné množství [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$]

8 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1. Použití rakytníku řešetlákového na jednotlivé choroby
- Příloha č. 2. Vzorky plodů analyzovaných odrůd rakytníku řešetlákového
- Příloha č. 3. Vzorky plodů analyzovaných odrůd dřínu obecného
- Příloha č. 4. Vzorek analyzované mišpule obecné

9 PŘÍLOHY

Příloha č. 1 Použití rakytníku řešetlákového na jednotlivé choroby

Vnější užití

Choroba

Aplikace

akné	olej
artritida, polyartritida	vlhké obklady z plodů, listů, kořenů a kůry větvíček
bércové vředy	olej
dermatózy	olej
ozařování	olej
padání vlasů	odvar z plodů, listů a kůry větvíček
popáleniny	olej
popraskaná kůže	olej
proleženiny	olej
rakovina kůže	olej
revmatismus	obklady z plodů, listů, kořenů a kůry větvíček
vyrážky	olej

Vnitřní užití

Choroba

Aplikace

akné	olej
angína	olej
anémie	olej, sirup
artritida	čaj
arteriální tlak	olej
ateroskleróza	olej, džus, sirup
avitaminóza	čaj, sirup
cukrovka	čerstvé plody
dna	čaj
dyzentérie	olej
eroze čípku děložního	olej, vaginální tampony
gastritida	olej
hemoroidy	olej
horečka	čaj, sirup, džus
chřipka	sirup
infekční choroby	sirup, džus, olej
játra	čerstvé plody, džus, sirup
koronární onemocnění srdce	olej
lupenka	olej s chlebem, mlékem a medem
nachlazení	sirup, džus, džem, bonbony
oči	mast, sirup, džus
otoky dásní	olej
otrava těžkými kovy	čaj
otrava oxidem uhličitým	olej
paradontóza	olej

Příloha č. 2. Vzorky plodů analyzovaných odrůd rakytníku řešetlákového
Jeden dílek na stupnici představuje 1 cm.

Ljubitelna



Trofimovský



Botanický



Aromat



Leicora



Vitamínová



Buchlovický

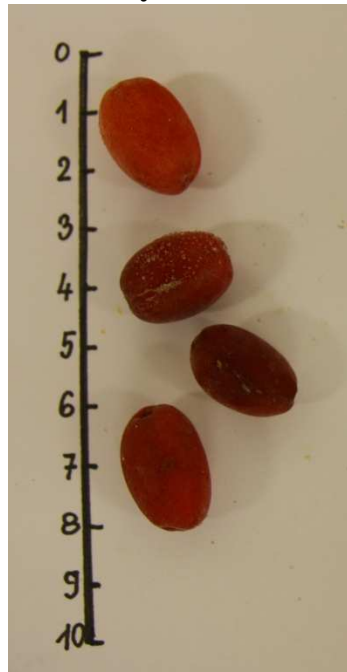


Příloha č. 3. Vzorčky plodů analyzovaných odrůd dřínu obecného
Stupnice je uvedena v cm.

Lukjanovský



Sokolnický



Tišnovský



Ruzyňský



Ekotišnovský



Fruchtal



Olomoucký



Vydubecký



Jolico



Příloha č. 4. Analyzovaná odrůda mišpule obecné
Stupnice je uvedena v cm.

