

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních  
zdrojů**

**Katedra kvality a bezpečnosti potravin**



**Využití rentgenové fluorescenční spektrometrie v analýze  
prvkového složení rostlinného materiálu**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Nela Kumová**

**Obor studia: Kvalita a zpracování zemědělských  
produktů, AMK**

**Vedoucí práce: Ing. Adéla Fraňková, Ph.D.**

**© 2019 ČZU v Praze**

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Využití rentgenové fluorescenční spektrometrie v analýze prvkového složení rostlinného materiálu" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 11. 4. 2019

---

podpis autora práce

## Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí práce paní Ing. Adéle Fraňkové, Ph.D., panu doc. Ing. Ondřejovi Drábkovi, Ph.D. a panu Ing. Karlovi Němečkovi za cenné rady k této diplomové práci a samozřejmě i své rodině a příteli, kteří stáli po mém boku během celého studia.

# Využití rentgenové fluorescenční spektrometrie v analýze prvkového složení rostlinného materiálu

## Souhrn

Diplomová práce porovnávala dvě metody, přenosnou rentgenovou fluorescenční spektrometrii (PXRF) a emisní spektrometrii s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES), při analýze prvkového složení v jedlých květech. Společně oběma metodami byl určen obsah: Ca, Cd, Fe, K, P, S, Si a Zn. Při porovnání výsledků obou metod se u vzorků nenašla úplná shoda. Stanovené hodnoty metodou PXRF byly u některých prvků několikanásobně vyšší oproti referenční metodě ICP-OES. Z výsledků práce vyplývá, že přenosná rentgenová fluorescenční spektrometrie byla za daných podmínek nevhodná pro stanovení prvkového složení rostlinného materiálu. Nepřesnosti metodou PXRF mohly být provedeny za použití měřicího modulu Geochem, který byl kalibrován pro půdní vzorky. Výsledky mezi metodami mohly být zkreslené i z důvodu nedostatečného množství rostlinného materiálu. Pro budoucí studii by bylo potřeba specifikovat určitou hmotnost navážky rostlinného materiálu, použít dané vzorky ve formě pelet nebo použít jiný druh módu.

**Klíčová slova:** ICP-OES, jedlé květy, metody, prvkové složení, PXRF.

# **Possible use of portable roentgen fluorescence spektrometry (PXRF) for analysis of plant elemental composition**

## **Summary**

The thesis compared two methods, portable X-ray fluorescence spectrometry (PXRF) and inductively coupled plasma emission spectrometry (ICP-OES), in the analysis of the elemental composition in edible flowers. Using both methods together volumes of Ca, Cd, Fe, K, P, S, Si and Zn were determined. There was no complete match of samples when comparing the results of both methods. The value determined by the PXRF method were several times higher compared to the ICP-OES reference method for some elements. Results show that the portable X-ray fluorescence spectrometry was unsuitable under the given conditions for determining the elemental composition of plant material. The inaccuracies of the PXRF method could have been made by using a Geochem measuring module that was calibrated for soil samples. Results of the two methods could be distorted due to the insufficient plant material. For a future study, it would be necessary to specify a certain weight of the plant material, to use given samples in the form of pellets, or to use a different kind of mode.

**Key words:** Edible flowers, elemental composition, ICP-OES, methods, PXRF.

## Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce .....	2
3	Teoretická část.....	3
3.1	Jedlé květy .....	3
3.1.1	Historie a současnost jedlých květů .....	3
3.1.2	Jakostní hodnocení jedlých květů .....	4
3.1.3	Skladování a úprava jedlých květů.....	5
3.1.4	Využití jedlých květů .....	6
3.1.5	Složení jedlých květů .....	7
3.1.6	Minerální látky.....	7
3.1.7	Těžké kovy.....	9
3.2	Rentgenová fluorescenční spektrometrie.....	12
3.3	Atomová absorpční spektrometrie .....	14
3.4	Další možnosti stanovení prvků v rostlinném materiálu .....	16
3.5	Rozdíly mezi metodami.....	18
4	Praktická část.....	20
4.1	Rostlinný materiál .....	20
4.1.1	Homogenizace dusíkem.....	23
4.1.2	Stanovení prvkového složení rostlinného materiálu .....	24
4.1.3	Atomová emisní spektrometrie .....	25
5	Výsledky .....	27
5.1	Srovnání obsahu makroelementů v závislosti na metodě ICP-OES a PXRF .....	27
5.1.1	Obsah vápníku.....	27
5.1.2	Obsah draslíku.....	28
5.1.3	Obsah fosforu.....	29
5.1.4	Obsah síry .....	31

5.2	Srovnání obsahu mikroelementů v závislosti na metodě ICP-OES a PXRF.....	32
5.2.1	Obsah mědi .....	32
5.2.2	Obsah železa .....	33
5.2.3	Obsah manganu.....	35
5.2.4	Obsah niklu .....	37
5.2.5	Obsah křemíku .....	37
5.2.6	Obsah zinku .....	39
5.3	Srovnání obsahu těžkých kovů v závislosti na metodě ICP-OES a PXRF .....	41
5.3.1	Obsah hliníku .....	41
5.3.2	Obsah kadmia.....	42
5.3.3	Obsah olova .....	44
5.3.4	Obsah antimonu .....	46
6	Diskuze.....	48
7	Závěr .....	51
8	Seznam použité literatury.....	52
9	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	58
10	Přílohy .....	59

# 1 Úvod

Jedlé květy mají do budoucna své místo ve výživě lidí. Jejich konzumace začala již v době starověkého Říma, kde byly nejvíce používány růže a fialky. V dnešní době jsou nejoblíbenějšími květy: jiřina, růže, měsíček lékařský, chrpa polní a jedlé květy z tradičních světových kuchyní. V gastronomii se převážně používají pro dekorace sladkých i slaných pokrmů. Plně nahrazují například zeleninu, nebo se z nich mohou dělat polévky a omáčky.

Jedlé květy mohou být použity jako doplněk stravy pro doplnění denních referenčních dávek minerálů pro lidský organismus. Květy jsou bohatým zdrojem draslíku, fosforu, vápníku, hořčíku, dusíku a sodíku, ale dosud nebyl stanoven limit spotřeby jedlých květů. Nevýhodou jedlých květů je, že mohou obsahovat těžké kovy, které i v malém množství mohou být pro člověka nebezpečné. V organismu mají těžké kovy schopnost kumulace v některých orgánech, hlavně v ledvinách a játrech, dále i v kostech a zubech.

Přenosná rentgenová fluorescenční spektrometrie (PXRF) patří mezi jednu z nejpoužívanějších analytických technik. Oproti ostatním metodám se jedná o levnou metodu s nízkou citlivostí. Používá se pro prvkovou analýzu pevných vzorků, převážně pro analýzu půdy a kovů. Její výhodou je přenositelnost, schopnost analyzovat více prvků, rychlá analýza a minimální požadavky na přípravu vzorků, ale nevýhodou je její nepřesnost stanovení. Stále není schopná se vyrovnat ostatním metodám, jako je atomová absorpční spektrometrie (AAS), emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES), hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS) a atomová absorpční spektrometrie grafitové pece (GFAAS).

Emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem se udává jako levná, přesná a rychlá metoda, která se nejvíce používá pro stanovení minerálních látek v potravinách a v pitné vodě. Nevýhodou je její rozsáhlá laboratorní příprava a použití nebezpečných látek. Často bývá nahrazována metodou plamenovou absorpční spektrometrií (FAAS), která je levnější.



## **2 Cíl práce**

Cílem diplomové práce bylo vypracování přehledné literární rešerše zaměřené na jedlé květy a zjistit, zda je možné metodu PXRF použít k analýze prvkového složení rostlinného materiálu.

Hypotéza: Analýza prvkového složení rostlinného materiálu pomocí PXRF poskytuje srovnatelné výsledky jako analýza pomocí ICP-OES.

## 3 Teoretická část

### 3.1 Jedlé květy

V současné době roste zájem o použití jedlých květů okrasných rostlin pro lidskou výživu, a to z hlediska zdravotních účinků a estetického vzhledu potravin (Mlček & Rop 2011). Dle vyhlášky č. 398/2016, která definuje požadavky na koření, jedlou sůl, dehydratované výrobky, ochucovadla, studené omáčky, dresinky a hořčici, jsou jedlé květy charakterizovány jako koření.

Do dnešního dne neexistuje oficiální seznam jedlých a nejedlých květin, ani se s nimi nezabývají světové organizace, jako jsou Organizace Spojených národů pro výživu a zemědělství (FAO), Úřad pro kontrolu potravin a léčiv (FDA) ani Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA) (Nicolau & Gostin 2016). Stále nebyla stanovena hranice denního příjmu spotřeby jedlých květů. Z tohoto hlediska nevýhodou je, že některé květy mohou vyvolat alergické reakce, například u chryzantém se alergie projevuje kožní vyrážkou (Rop et al. 2012).

Jejich přítomnost na světovém trhu je stále omezena. V cizině již existují obchody, které umožňují jejich volný prodej, například supermarkety Wegmans ve Spojených státech, obchody M&S a supermarkety Waitrose ve Velké Británii nebo e-shopy, ale nejsou k dostání v běžných obchodních řetězcích (Nicolau & Gostin 2016).

#### 3.1.1 Historie a současnost jedlých květů

Jedlé květy se používaly už ve starověkém Římě, převážně růže a fialky, Mexičané připravovali nápoje z ibišku a na Blízkém východě vyráběli z růží růžový džem. Největší rozmach použití jedlých květin byl v sedmnáctém století, kdy se okrasné rostliny začaly dělit na léčivé a kulinářské (jedlé květy) rostliny, které se využívaly k prezentaci jídla. Květiny byly používány čerstvé, nebo konzervované. V této době vznikl např. zelený likér pod názvem Chartreuse, který vyráběli francouzští mniši z okvětních lístků karafiátu. Za první světové války bylo jejich využití omezené, pouze byly používány v tradičních italských a iránských kuchyních. (Nicolau & Gostin 2016).

Pires et al. (2018) uvádí pět nejoblíbenějších jedlých květů na trhu, kam patří některé druhy jirín, dále růže damašská “*Alexandrie*“, růže galská “*Francesa*“, měsíček lékařský

(*Calendula officinalis*) a chrpa polní (*Centaurea cyanus*). Nejvíce používané jedlé květy v USA jsou lichořeřišnice větší (*Tropaeolum majus* L.) a brutnák lékařský (*Borag officinalis*) (Mlček & Rop 2011). Koike et. al. (2015) uvádí jako nejoblíbenější jedlou květinu violku trojbarevnou (*Viola tricolor*), hlavně v Evropě a Asii, díky své velikosti, barevnosti, ale i osvěžující chuti a textuře. Další oblíbené květy v Evropě jsou pampeliška lékařská (*Taraxacum officinale*), sedmikráska chudobka (*Bellis perennis*) a proskurník lékařský (*Althaea officinalis*) (Mlček & Rop 2011). Ve Španělsku a v Portugalsku se hojně využívá květ artyčoku kardového (*Cynara cardunculus*) na výrobu portugalských sýrů Serra a Serpa a španělských sýrů Los Pedroches, La Serena, Torta del Casar, Los Ibores a Flor de Guía (Nicolau & Gostin 2016). Jednou z nejbohatších zemí světa z hlediska rostlinné rozmanitosti patří Turecko, a to díky své geografické struktuře a klimatickým podmínkám. Konzumace jedlých květů v Turecku je velmi oblíbená. Květy jsou využívány nejen jako dekorace, ale konzumují se i jako zelenina (Kibar and Kibar 2017). Nejčastěji je v Turecku konzumován šafrán (*Crocus sativus*), růže (*Rosa damascena*), levandule (*Lavandula angustifolia*), violka vonná (*Viola odorata*), ibišek (*Hibiscus sabdariffa*), tykev (*Curcubita pepo*) a brutnák (Bayram et al. 2015). V Asii jsou ve velkém spotřebovávány květy aksamitníku rozkladitého (*Tagetes patula*), indického jasmínu (*Ixora chinensis*) a růže. V Japonsku se tradičně používá listopadka velkokvětá (*Chrysanthemum morifolium*), která má protizánětlivé účinky a v jižní Číně květy dračího ovoce (*Hylocereus undatus*) na polévky a nápoje (Nicolau & Gostin 2016).

### 3.1.2 Jakostní hodnocení jedlých květů

Pro zajištění minimální jakosti květů je nezbytné dodržet zásady sběrové praxe, jako je sběr v chladném počasí a v době rozkvětu. Důvodem bývá vyšší obsah aromatických i nutričních látek v květech. Rostliny, které mají neotevřené, zvlněné, nebo vybledlé květy, musí být ze sběru vyloučeny, jelikož mohou vykazovat hořké chutě i nepříjemné vůně (Fernandes et al. 2017). Hlavními kritérii jakostního hodnocení jedlých květů spočívá v sensorických znacích, kterými jsou vzhled, velikost, tvar, chuť, aromaticnost a barevnost. Dále se řeší obsah živin a látky prospěšné pro lidské zdraví, například obsah vlákniny, minerálních látek a vitaminů (Bayram et al. 2015).

### 3.1.3 Skladování a úprava jedlých květů

Dlouhodobé skladování květů je vzhledem k vysokému obsahu vody problematické. Rostliny jsou křehké a rychle podléhají zkáze, která se nejčastěji projevuje vadnutím, změnou barvy a hnědnutím jejich tkáně (Fernandes et al. 2017). Kou et al. (2012) doporučuje jedlé květy skladovat v chladu při teplotě 4 až 6 °C. Tato teplota vede i k prodloužení trvanlivosti o 2 až 5 dnů od doby sklizně. Květy jsou nejčastěji baleny do malých, tuhých, plastových obalů, které zamezují jejich vysychání a lámání. Dosud byly provedeny pouze tři studie, které zkoumaly, jak zamezit rychlé zkáze jedlých květů. První se týkala v experimentování teplotou, kde se přišlo například na to, kdy smetanka lékařská byla ukládána při teplotách od 0 do 2,5 °C, tak si ponechává čerstvost a svou kvalitu po dobu dvou týdnů, naopak brutnák lékařský potřebuje teplotu o něco nižší a to až – 2,5 °C, aby si ponechal během dvou týdnů přijatelné vlastnosti. Výsledky poukazují na to, že každý druh rostlin potřebuje jinou skladovací teplotu (Fernandes et al. 2017).

Druhá metoda zkoumala řízené uvolňování rostlinného, syntetického a růstového regulátoru 1-metylcyklopropenu do obalu za použití modifikované atmosféry. Třetí studie se zabývala vlivem různých druhů obalů, hlavně z polyvinylchloridu (PVC), nebo polypropylenu (PP) za přítomnosti i nepřítomnosti modifikované atmosféry na kvalitu květů (Fernandes et al. 2017). Dle Kou et al. (2012) modifikovaná atmosféra pomáhá udržovat kvalitu květů, ale dochází k úbytku jejich hmotnosti, na druhou stranu s 1-methylcyklopropenu došlo k omezení vadnutí a prodloužení trvanlivosti. Polyethylentereftalátové (PET) obaly se prokázaly jako nejlepší varianta pro uchování rostlin než balení z polyvinylchloridu, jelikož doba trvanlivosti byla prodloužena o další dva dny (Fernandes et al. 2017).

Mezi další metodu, která může přispět k prodloužení trvanlivosti jedlých květů patří např. sušení probíhající po dobu jednoho týdne. Přestože sušení mění tvar květu, tak ale zachovává jejich barvu a chuť po dobu jednoho roku i více. Jednou z nejoblíbenějších způsobů, jak zachovat květům tvar, barvu i chuť je kandování, které spočívá v nátěru květu vaječným bílkem zředěným vodou a následným obalením v krystalovém cukru. Tato úprava je nejvíce využívána u okvětních lístků růže, brutnáku lékařského, pelargonie vonné a jedlého hrášku. Kandované violky jsou tradičně vyráběny v italské Parmě (Nicolau & Gostin 2016). Další úpravou jedlých květů může být gama ozařování za využití zdroje Gammacell 200, které se používá nejen pro zlepšení kvality, ale hygieny, působí insekticidně (Koike et. al. 2015). Nejnovějším a nejúčinnějším trendem pro zachování původních charakteristik květin, jako je

barva, tvar i lesk, je lyofilizace neboli sušení mrazem při teplotě cca -40 °C a nízkého tlaku (Nicolau & Gostin 2016).

### 3.1.4 Využití jedlých květů

Jedlé květy se používají pro kulinární účely, aby zlepšily sensorické, ale i nutriční vlastnosti jídel, a to z hlediska barvy, chuti, aroma a vzhledu (Koike et al. 2015). Nejčastěji se konzumují čerstvé nebo sušené, ale i kandované v cukru (Fernandes et al. 2017). Některé květy se nakládají do lihu a alkoholických nápojů (Rop et al. 2012). Obvykle jsou jedlé květy konzumovány celé, ale u některých druhů pouze jejich části, například u tulipánů, růží a chryzantém se konzumují pouze okvětní lístky, naopak u sedmikrásek je typická konzumace květních pupenů (Mlček & Rop 2011). Okvětní lístky některých květin se používají při výrobě salátů, dezertů, zmrzlin, polévek, omáček, sirupů, vín, octa a dalších pokrmů. Například měsíček (*Calendula officinalis*), krokus (*Crocus sativus*), violka (*Viola odorata*) a pampeliška (*Taraxacum officinale*) se používají v některých nápojích a salátech (Mlček & Rop 2011). Růže a ibišek se používá jako dekorace jídel a dezertů (Fernandes et al. 2017).

Některé květy, které obsahují karotenoidy se používají i k barvení rýže, nebo polévek, například květy topolovky se používají k barvení nápojů, jelikož obsahují tzv. althein (Rop et al. 2012). Květy jsou také často součástí čajových směsí pro detoxikaci organismu (Navarro-González et al. 2015). Vyhláška č. 330/1997 Sb. určuje použití květů přesně vymezených druhů rostlin do čajů, jako jsou korunní lístky růže, květ: heřmánku, ibišku, měsíčku, sedmikrásky, slézu a jetele.

V posledních letech byl zaznamenán rostoucí zájem o nutraceutika, tj. funkční potraviny, které kombinují nutriční a léčivé hodnoty. Jedlé květy se považují za důležitou součást těchto druhů potravin z důvodu prospěšných látek působících na lidský organismus, jako jsou polyfenoly, karotenoidy, vitamíny a minerální látky, které hrají důležitou roli při prevenci chronických onemocnění, kardiovaskulárním onemocnění a rakovině (Grzeszczuk et al. 2018).

### 3.1.5 Složení jedlých květů

Hlavní složkou jedlých květů je voda, která v nich bývá obsažena ze 70-95 % a sacharidy (Fernandes et al. 2017). Podíl sacharidů se pohybuje v rozmezí od 32 do 88 % v závislosti na druhu květu (Sundriyal & Sundriyal 2004). Okvětní lístky a další části jedlých květů obsahují vyváženou směs sacharidů, převážně se jedná o jednoduché cukry a to fruktózu, glukózu a sacharózu. Jedlé květy také obsahují bílkoviny, převážně ve formě aminokyselin, ze kterých je nejvíce zastoupen prolin (Mlček & Rop 2011). V jedlých květech jsou tuky ve formě mastných kyselin, z nichž převládá obsah polyenových mastných kyselin, a to jsou kyselina linolová a linolenová a z nasycených mastných kyselin je nejvíce zastoupena kyselina palmitová. Květy obsahují vysoké množství organických kyselin, z kterých se nejvíce vyskytuje kyselina chinová, kyselina jablečná, kyselina citronová a ve stopovém množství i kyselina fumarová a jantarová (Pires et al. 2017). Ze sekundárních metabolitů jsou zastoupeny především silice, glykosidy, alkaloidy a hořčiny (Guldiken et al. 2018), fenolové kyseliny, flavonoidy, steroly, karotenoidy, terpenoidy, lignany a kumariny. Z nichž některé mají antimikrobiální účinky. Květy proto lze využít i jako konzervační činidla k ochraně potravin a nápojů (Charles 2013).

Dále jsou květy bohaté na barviva. Barva květů závisí buď na obsahu karotenoidů, anebo antokyanů (Bayram et al. 2015). Pro karotenoidy je typické žluté až oranžové zbarvení, s tím souvisí i obsah vitaminů, z kterých je nejvíce zastoupen vitamin A a C (Mlček & Rop 2011). Antokyaniny, které dodávají květům červenou až modrou barvu, nejvíce obsahují kyanidin, delphinidin, malvidin, pelargonidin, petunidin a další. Další skupiny flavonoidů, které jsou obsaženy v jedlých květech, jsou flavonoly, jako je quercetin, myricetin a rutin a flavony apigenin a luteolin (Fernandes et al. 2017).

### 3.1.6 Minerální látky

Dle Fernandes et al. (2017) jsou jedlé květy bohatým zdrojem hlavně draslíku, fosforu, vápníku a hořčíku. Sundriyal and Sundriyal (2004) navíc uvádí obsah dusíku a sodíku. Rop et al. (2012) uvádí obsah fosforu v jedlých květech v rozmezí od 202,11 mg/kg do 514,62 mg/kg a draslíku od 1842,61 mg/kg do 3964,84 mg/kg v čerstvém stavu. Mohou tedy pomoci doplnit denní referenční dávky pro organismus. Denní dávka fosforu je 700 mg/den, draslíku 2000 mg/den a pro hořčík 375 mg/den (Fernandes et al. 2017).

Draslík je minerál, který ovlivňuje elektrický potenciál buněčných membrán. Podílí se na správné funkci myokardu, kosterního svalstva a trávicí soustavy. Draslík napomáhá k odstraňování odpadních látek z těla. Průměrná denní dávka draslíku se pohybuje kolem 70 mmol/den. Má pozitivní účinky na lidský organismus, a to tím, že snižuje krevní tlak i riziko kardiovaskulárních chorob. Zvýšený příjem draslíku zamezuje ztrátu vápníku močí, a tím se snižuje vznik ledvinových kamenů (He & MacGregor 2008).

Hořčík je naprosto nezbytný ion pro lidské tělo a po draslíku druhý nejvýznamnější vnitrobuněčný kationt (Farquhar et al. 2015). Nalézá se v kostech, tělních orgánech i tekutinách a při trávení potravy napomáhá k uvolňování energie. Nedostatek tohoto prvku v lidském těle ovlivňuje mozek, kosterní svaly a srdce. Jeho toxicita pro lidský organismus je oproti jiným kovům poměrně malá (Farquhar et al. 2015).

Mangan je stopový prvek považovaný za nezbytný pro lidské zdraví. Je potřebný pro metabolickou aktivitu, vývoj kostry, nervový a imunitní systém. V nadbytku je u manganu prokázána toxicita. Patří mezi kumulativní prvek, který se hromadí v mozku a následkem bývají neurologické problémy, nebo se může projevit i Parkinsonova choroba (Hernández-Pellón et al. 2017)

Měď je, jak základní živina rostlin mající vliv na jejich růst, tak i kontaminant pitné vody (González-Chávez 2013). Používá se k výrobě trubek, ventilů a je přítomna ve slitinách. Obsah mědi s příjmem stravy se bude lišit dle druhů konzumovaných potravin, stavu půdy a pitné vody. Průměrný denní příjem mědi u kojenců se pohybuje v rozmezí od 0,5 do 0,7 mg, u dospělého 2–3 mg. Obsah vody pro pitnou vodu je stanoven do 2 mg/l (FAO 2011). Mezní hodnota mědi je 15-20 mg/kg (González-Chávez 2013). Vysoké hladiny mědi mohou způsobit nevolnosti, průjemy, zvracení, žloutenku, ale i smrt. Dle WHO fatální orální dávka je asi 200 mg/kg. Měď nepatří mezi kumulativní toxické prvky, pouze pro jedince trpící Wilsonovou chorobou. Dále se nepovažuje za mutagenní a karcinogenní, ale byly vyzkoušeny teratogenní účinky na zvířatech (FAO 2011).

Sodík je důležitý pro udržení vodní rovnováhy v těle. Do těla tento minerál přijímáme ve formě chloridu sodného neboli jedlé soli. Doporučená denní dávka sodíku (<500 mg) v potravě je značně nižší než jeho průměrný příjem (>3200 mg). Nadměrný příjem sodíku zvyšuje riziko hypertenze. Nedávné klinické studie dokázaly, že i bez projevu hypertenze dochází zvýšeným příjmem sodíku k ohrožení orgánů, zejména srdce, mozku, ledvin a cév (Farquhar et al. 2015).

Vápník je nezbytný pro život živočichů i rostlin. Kromě kostí se nachází i v zubech a spolu s draslíkem je důležitý pro nervový a svalový účinek. Odhadovaná denní dávka vápníku pro

člověka je 2000-3000 mg/den. Dlouhodobý deficit vápníku může mít za následek vysoký krevní tlak, řídnutí kostí až vznik rakoviny tlustého střeva (Rop et al. 2012).

Zinek je základní stopový prvek a vyskytuje se jako přírodní složka ve všech rostlinných a živočišných tkáních. Patří mezi kovy, které se používají jako ochranný nátěr jiných kovů, dále je součástí fungicidů, antibiotik a maziv. Průměrný denní příjem zinku pro dospělého člověka je 20 mg/den (FAO 2011). Zn má doporučené dávkování 15 mg/den u mužů a 12 mg/den u žen. Denní příjem se pohybuje od 7 do 16,3 mg/den. (Nirmal Kumar et al. 2007). Jeho nedostatek v organismu způsobuje snížený růst, ztrátu vlasů a enzymatické změny v těle (FAO 2011). Na světě je rozšířen nedostatek tohoto prvku, který se projevuje potraty, dermatitidou a dalšími těžkými nemocemi (Bi et al. 2006). Žádné studie nepotvrdily mutagenní účinky, pouze vykazovaly účinky teratogenity (FAO 2011).

Železo je nezbytným prvkem, který vyžadují všechny formy života. Různé skupiny lidí (muž, žena, děti, těhotné a kojící ženy) se liší v požadavcích na železo. Průměrný denní příjem železa se odhaduje na 17 mg/den u mužů a 9-12 mg/den u žen. Železo se vyskytuje jako přírodní složka všech potravin rostlinného i živočišného původu a může být přítomné i v pitné vodě. V potravinách se nejčastěji vyskytuje v podobě oxidů, nebo anorganický a organický solích. Účinky toxických dávek železa se projevují například počáteční depresí, křečemi, respiračním selháním až srdeční zástavou. Během studií byly prokázány účinky mutagenity, ale žádné teratogenní účinky. Nadměrný příjem železa může vést k sideróze (ukládání železa do tkáně) v játrech, pankreatu, nadledvinách a štítné žláze (FAO 2011).

### **3.1.7 Těžké kovy**

Těžké kovy patří mezi hlavní kontaminanty životního prostředí, které jsou způsobené těžbou, zpracováním rud, výrobou kovů, dopravou, průmyslovými hnojivy a kaly čistíren odpadních vod. V životním prostředí se vyskytují ve formě kovů, nebo rozpuštěných solí. Mezi těžké kovy patří olovo, zinek, arsen, kadmium, měď, titan, kobalt, lithium, hliník a rtuť (Al-Senani et al. 2018).

Těžké kovy a stopové prvky mají důležitou roli v metabolických pochodech během růstu a vývoje rostlin, ale pouze za předpokladu, že jsou k dispozici v požadované koncentraci (Nirmal Kumar et al. 2007). Do rostlin se dostávají převážně z půdy. Těžké kovy jsou z 60-80 % nahromaděny v kořenech a listech rostlin. V menším množství se kovy vyskytují ve stoncích, plodech, zásobních orgánech a nejméně jsou ukládány v semenech rostlin (Thongsaw et al. 2017). Kvetoucí rostliny minimálně absorbují znečišťující látky z atmosféry.



Aktivní transport těžkých kovů uvnitř rostliny velmi závisí na biochemických a metabolických procesech rostliny (Shahid et al. 2017).

Jedlým květům ve volné přírodě pomáhá snížit rostlinnou toxicitu v kořenech tzv. arbuskulární mykorhiza, která se často vyskytuje ve znečištěných půdách (González-Chávez 2013). Z jedlých květů, například chryzantéma dokáže růst v oblastech s vysokou koncentrací těžkých kovů. Chryzantéma je významná pro fytoremediaci, tzn. užívá se k odstranění znečišťujících látek z prostředí, dále pro snadnou kultivaci, rychlý růst a hojné kvetení (González-Chávez 2013).

Rostliny, které jsou schopné akumulovat do svých nadzemních částí vysoké množství těžkých kovů z prostředí jsou nazývány hyperakumulátory. Mezi hlavní kumulátory patří vyšší rostliny z čeledí brukvovitých (*Brassicaceae*), krtičníkovitých (*Scrophulariaceae*), pryšcovitých (*Euphorbiaceae*), hluchavkovitých (*Lamiaceae*), hvězdnicovitých (*Asteraceae*) a hvozdíkovitých (*Caryophyllaceae*) (Prasad & Freitas 2003). Do svých nadzemních orgánů jsou rostliny schopné nahromadit těžké kovy o koncentraci  $>100 \mu\text{g/g}$  Cd v sušině,  $>1000 \mu\text{g/g}$  Cd, Co, Ni v sušině,  $>10000 \mu\text{g/g}$  Mn a Zn (Roosens et al. 2008).

Působení těžkých kovů má negativní vliv na lidské zdraví. Některé kovy se kumulují v organismu a usazují se v orgánech, převážně v ledvinách, játrech, ale i v kostech a zubech. V určitém množství mohou způsobovat onemocnění a vyloučit z těla důležité minerální látky pro lidský organismus, jako je vápník a zinek (The American Herbal Products Association 2009). Obsah těžkých kovů v rostlině závisí na koncentraci látek v půdě a konkrétním druhu rostliny. Při konzumaci rostlin se zvýšenou koncentrací těžkých kovů dochází k neurologickým poruchám a k tvorbě rakoviny různých tělesných orgánů (Nirmal Kumar et al. 2007).

Arzen je kovový prvek, který vzniká vulkanickou aktivitou, zvětráváním nerostných surovin a antropogenní činností způsobující emise v životním prostředí, jako je tavení rud a spalování uhlí. Jeho využití je ve veterinárních a humánních léčivech (FAO 2011). Z organických sloučenin arsenu se vyrábějí pesticidy, které se používají na postřik, například bavlníku (Tangahu et al. 2011). U arzeny byly prokázány toxické a karcinogenní účinky, jako je například karcinom kůže. Vyšší koncentrace arsenu se vyskytují v rybách, houbách a rýži (FAO 2011). Dle Tangahu et al. (2011) může obsah As v rostlině dosáhnout více než  $0,7 \text{ mg/g}$  v sušině.

Chrom patří mezi hlavní polutanty životního prostředí, který představuje vážné riziko pro faunu i flóru. Doba jeho odbourávání je poměrně dlouhá. Chrom se vyskytuje převážně trojmocný, ale mnohem nebezpečnější je jeho šestimocná forma, která často způsobuje akutní

i dlouhodobé nežádoucí účinky, například alergické reakce kůže. Některé sloučeniny šestimocného chromu patří mezi silné karcinogeny a mutageny (Choppala et al. 2013).

Kadmium je relativně vzácný prvek uvolněný do ovzduší, půdy a vody lidskou činností. Čím více se nachází obsah kadmia v půdě, tím více to vede ke zvýšení příjmu kadmia rostlinami, které ho převážně přijímají při nízkém pH půdy (FAO 2011). Jedná se o toxický prvek, který se v přírodě převážně vyskytuje ve formě par. Kontaminace kadmiem v prostředí je způsobena průmyslovými zdroji, jako je výroba baterií, některých barev a textilií. V těle se hromadí ve formě soli kadmia, která ovlivňuje játra, ledviny, mozek, plíce, srdce a centrální nervový systém. Může mít za následek dlouhodobou toxicitu, protože jeho poločas rozpadu je 4-19 let (Thongsaw et al. 2017). Obsah Cd se v rostlinách pohybuje od 0,002 mg/g do 0,029 mg/kg. Akutní dávka kadmia se pohybuje od 10-30 mg/kg tělesné hmotnosti, kdy 25 mg/kg už může vyvolat smrt (Nirmal Kumar et al. 2007). Dle Nařízení Komise (EU) č. 488/2014 je limit pro Cd v rostlině v rozmezí od 0,05-0,20 mg/kg.

Olovo a jeho sloučeniny se dostávají do životního prostředí během těžby, tavení a z výfukových plynů. Hlavní použití olova je do baterií a na výrobu pesticidů. Absorpce olova závisí také na příjmu potravy a věku. Když člověk hladoví, dostává se olovo rychleji do krve a měkkých tkání. Olovo patří mezi kumulativní jedy (FAO 2011). U olova byla prokázána toxicita, jeho účinky mohou mít na člověka negativní vliv, který může vést až k poškození mozku (Tangahu et al. 2011). Bezpečnostní hodnota olova v rostlinných tkáních je 10-20 mg/kg (González-Chávez, 2013). Dle Nařízení Komise (EU) č. 1881/2006 je povolený obsah Pb v bylinách 0,10 mg/kg čerstvé hmotnosti.

Rtuť je přirozeně se vyskytující kov znečišťující životní prostředí. Nejvíce jsou pro člověka nebezpečné jeho soli, které jsou považovány za jedy. Kontaminace životního prostředí vlivem Hg je způsobena několika průmyslovými odvětvími, jako je petrochemie, těžba, hnojiva, baterie, žárovky, oleje, ale i kosmetika a léčiva. Hg snižuje přívod vody do rostlin a patří mezi kumulativní toxiny. I malé množství rtuti je pro člověka nebezpečné. Hlavními projevy otrav jsou neurologické poruchy (Tangahu et al. 2011). Dle Tangahu et al. (2011) obsah Hg v rostlině může dosáhnout pouze 1 mg/g hmotnosti v sušině.

## 3.2 Rentgenová fluorescenční spektrometrie

Rentgenová fluorescenční spektrometrie (XRF) je jedna z nejpoužívanějších instrumentálních analytických technik využívaná pro prvkovou analýzu, jak pevných vzorků, tak roztoků (Merta 2005). Jedná se o rychlou, relativně přesnou, nedestruktivní metodu, která umožňuje provést prvkovou analýzu i s malým množstvím zkoumaného materiálu a krátkou dobou přípravy vzorku (Hou et al. 2004). Výhodou je, že analyzované vzorky se mohou opět použít pro další výzkum, popřípadě je možné opakovat analýzu s analyzovanými vzorky (Merta 2005).

Touto metodou se dají analyzovat kovové i nekovové, sypké i kompaktní materiály a výjimečně kapaliny (Vávrová 2007). Bilo et al. (2018) uvádí XRF jako vhodnou analýzu pro detekci ultra-stopových elementárních hladin v rozsahu ppm, která se používá pro zkoumání vody a půdy.

Vlnová délka rentgenového záření se pohybuje od 80 nm až po vlnovou délku okolo 0,001 nm, kde částečně přesahuje do oblasti gama záření. V rentgenové fluorescenční spektrometrii se vlnová délka vyjadřuje v jednotce tzv. Ångstrom [ $\text{\AA}$ ], kde 1  $\text{\AA}$  odpovídá hodnotě 1 nm (Browner 2003).

Při ozařování vzorku primárním rentgenovým zářením může docházet k několika jevům. Pokud se foton rentgenového záření srazí s hmotou, tak dochází k tzv. rozptylu, a když se energie fotonu při srážce nezmění, jedná se o tzv. elastický neboli Rayleighův rozptyl. Když foton během srážky ztrácí část nebo všechnu svou energii, nazývá se jako neelastický či Comptonův rozptyl. Hlavním jevem je absorpce fotonu elektronem, při kterém dochází k vysokoenergetické ionizaci atomu. Důsledkem toho dochází k vyrazení subvalenčního elektronu ze slupky, čímž dojde k ionizaci atomu a vytvoření elektronové vakance. Tomuto jevu se pak říká rentgenová fluorescence, tzn. prázdné místo po uvolněním elektronu v nízké hladině je okamžitě obsazené jiným elektronem z vyšší energetické hladiny atomu (Browner 2003).

Moderní XRF spektrometry jsou středně citlivé přístroje, které měří v rozsahu analyzovaných koncentrací od 0,0001 % do 100 % v pevném i kapalném stavu. Běžné neboli konvenční XRF spektrometry jsou vyrobeny pro laboratorní použití, které jsou časově náročné. Proto došlo k výrobě přenosných neboli ručních rentgenově fluorescenčních spektrometrů (PXRF). Výhodou přenosných XRF spektrometrů je rychlost měření a absence přípravy vzorku. Nevýhodou je, že vzorky mohou nepříznivě ovlivnit přesnost výsledků

měření PXRF, může to být způsobeno vlhkostí vzorků, organickým obsahem, nebo i zrnitostí. Tyto faktory lze eliminovat například sušením, proséváním nebo homogenizací. Jak bylo uvedeno výše, přenosné XRF spektrometry nepotřebují k analýze velké množství vzorku, naopak konvenční XRF spektrometry potřebují větší množství, ale výsledky jsou mnohem přesnější než z ručních XRF spektrometrů. Další výhodou přenosného XRF spektrometru je průnik rentgenového záření do hloubky až 50 m i více, což je výhodné při analýze podzemních půd, dále ke kontaminaci ovzduší nebo vod. Přenosný XRF spektrometr se může použít i pro analýzu archeologických objektů a uměleckých děl. Negativem je, že může dojít ke zkreslení výsledků, a to z důvodu nepravidelných tvarů a povrchových usazenin (Hou et al. 2004).

V dnešní době je přenosná rentgenová fluorescenční spektrometrie nejvíce využívána pro celkovou analýzu půd, u kterých je schopná celkem stanovit 25 prvků in-situ během 60-90 s. Nejčastěji se základní data z XRF využívají pro stanovení struktury půdy, její pH, obsah solí, jednotlivých půdních horizontů a těžkých kovů (Chakraborty et al. 2019).

Obvykle jsou XRF spektrometry rozděleny do dvou hlavních kategorií v závislosti na zásadách detekčního systému: vlnové disperzní systémy (WDXRF) a energeticky disperzní systémy (EDXRF). Oba systémy jsou hojně využívány. WDXRF je vybírán pro rychlé a přesné určení, ale pouze několika prvků, naopak EDXRF pro širokou škálu prvků (Marguí et al. 2014). Výhodou EDXRF patří zobrazení všech prvků, které se nacházejí ve zvoleném rozsahu vzorku, a tím i rychlá analýza (Merta 2005).

Dle Byers et al. (2019) je přenosná metoda EDXRF v porovnání s WDXRF vhodná pro stanovení Pb v rostlinném materiálu, ale doporučují další studie pro toto ověření. Pro sušené vzorky se přenosná EDXRF považuje za nevhodnou, protože může dojít ke zkreslení výsledků, naopak je použitelná pro čerstvé rostlinné materiály s nízkým obsahem vody, například luštěniny a obiloviny (Byers et al. 2019).

Další technikou, která se použila pro stanovení rostlinného materiálu byla celková reflexní rentgenová fluorescenční spektrometrie (TXRF). Jedná se o další variantu rentgenové fluorescenční spektrometrie s vyšší citlivostí. Stolní TXRF spektrometr byl použit pro elementární analýzu černých, zelených a ženšenových čajů, bylin a jejich výluhů pro určení koncentrací u třinácti prvků K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Ba a Pb. Vzorky byly analyzovány ve formě roztoku s předešlou přípravou extrakce pomocí 65 % HNO<sub>3</sub> a 30 % H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Výsledky jejich analýzy byly převedeny na denní příjmy čajových nálevů. Celkem bylo identifikováno 17 prvků, ale v porovnání s metodami ICP výsledky pro obsah P, S, Cl a Br neobsahovaly stejná data. Za příčinu uváděli proces sušení a ztrátu těkavých

sloučenin během mikrovlnného štěpení vzorků čajů a bylin. Zbylé koncentrace uvedených prvků byly v normě s metodami ICP. Ve vzorcích byl analyzován i obsah olova, kde se jeho koncentrace pohybovala v rozmezí 0,5 až 4,8 mg/g (Dalipi et al. 2018). Dle Nařízení Komise (EU) č. 1881/2006 tento obsah Pb není v normě s legislativou. Výsledky prokázaly, že TXRF je rychlá a jednoduchá technika pro bezpečnostní kontrolu čajových a bylinných nálevů (Dalipi et al. 2018).

Byla vyvinutá nová metoda mikro-rentgenová fluorescenční spektrometrie ( $\mu$ XRF), která má pomoci v molekulární biologii, zkoumat změny distribuce živin v rostlinných pletivech a pochopit pohyb a toxicitu kontaminantů. Poprvé byla tato metoda použita na živých listech rostliny *Vigna unguiculata*, u které se každých 48 hodin sledovala změna minerálního složení (Blamey et al. 2018). Dle Blamey et al. (2018) nedochází k poškozování živých pletiv opakovaným skenováním  $\mu$ XRF. Výsledky byly porovnávány s běžně používanou metodou ICP-OES, kdy koncentrace mikroživin Mn, Fe, Cu a Zn byly srovnatelné (Blamey et al. 2018).

### 3.3 Atomová absorpční spektrometrie

Atomová absorpční spektrometrie (AAS) je jedna z nejčastěji využívaných technik pro analytické účely. Převážně se používá pro výzkum potravin, životního prostředí, farmacii a těžební průmysl. AAS má vynikající citlivost, která se používá pro sledování pitných a užitkových vod, v lékařství, v potravinářství a v životním prostředí, kde se sleduje obsah těžkých kovů a je jednou z nejvíce doporučených metodik pro stanovení rtuti (Ferreira et al. 2018).

Pomocí AAS se zjišťovala koncentrace a účinnost těžkých kovů (Cd, Cu, Ni, Mn, Pb a Zn) v květech chryzantém, které rostly na stanovišti s vysokou koncentrací těžkých kovů s arbuskulární mykorhizou, anebo bez arbuskulární mykorhizy. Rostliny v květech vykazovaly vyšší koncentrace u všech uvedených prvků, ale vešly se do stanoveného limitu (González-Chávez 2013).

Pomocí AAS byly určeny minerální látky a těžké kovy na pěti rostlinách. Koncentrace makroelementů (N, P, K, Na, Ca, Mg, S), mikroelementů (Fe, Zn, Cu, Mn) a těžkých kovů (Ni, Pb, Co, Cd) byly stanoveny v sušené a práškové formě o hmotnosti 1 g. Nejvyšší koncentrace byly zjištěny u draslíku, následované dusíkem a fosforem. Zjistily se údaje týkající se obsahu makroelementů u následujících druhů: *Alcea rosea*, *Calendula officinalis*, *Echinacea purpurea*, *Lavandula angustifolia* a *Matricaria chamomilla*. Množství

makroelementů ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) stanovených u těchto druhů byly následující: N od 9,5 do 21,0 (*C. officinalis*), P od 2,58 (*M. chamomilla*) až 4,4 (*C. officinalis*), K od 10,15 (*M. chamomilla*) až 24,5 (*L. angustifolia*), Na od 0,13 (*A. rosea*) do 1,95 (*M. chamomilla*), Ca od 5,55 (*M. chamomilla*) do 21,75 (*A. rosea*), Mg od 1,17 (*M. chamomilla*) až 4,01 (*E. purpurea*). V porovnání s jiným výzkumem a dle této studie se obsah N v jedlých květech pohybuje od 10 do 24 g/kg, obsah P v rozmezí od 3,31 do 9,16 g/kg. Rostlinné tkáně jsou obvykle bohaté na minerální prvek K pro optimální růst rostlin. Jeho obsah by se měl v květech pohybovat kolem 20–50 g/kg, ale výsledky znázorňovaly velice nízkou koncentraci v obou studiích od 8,15 do 39,61 g/kg. Květy vykazují i nízký obsah Na v rozmezí 0,04 až 1,5 g/kg. Obsah Ca se pohyboval v rozmezí 0,43–17,6 g/kg a Mg od 1,7 do 6,7 g/kg v sušině. Obsah S byl zaznamenán v průměru 1,14–1,25 g/kg (Grzeszczuk et al. 2018). Grzeszczuk et al. (2018) uvádí, že koncentrace makroelementů v jedlých květech jsou srovnatelné nebo vyšší než hodnoty stanovené pro některé druhy ovoce a zeleniny, zejména jde o obsah P a K. Obsah Fe se pohyboval od 18,66 mg/kg do 723 mg/kg, Zn od 29,7 do 137,29 mg/kg, Cu od 8,88 do 32,26 mg/kg, Mn 23,51 až 82,13 mg/kg. Dle těchto analýz jsou jedlé květy bohatým zdrojem makroprvků a mikroprvků, hlavně P, K a Fe, i se vyznačují relativně nízkou koncentrací těžkých kovů (Grzeszczuk et al. 2018).

Emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES) patří mezi jednoduché, přesné, levné a rychlé metody, u které lze využít navážku vzorku do 0,3 mg (Marques & Nóbrega 2017). Tato metoda je nejvíce využívána pro stanovení minerálních látek v potravinách a elementárních prvků v pitné vodě (Bressy et al., 2013).

Dle Dalipi et al. (2018) se ICP-OES použila pro elementární analýzu výluhů z černých, zelených a bílých čajů a bylin. Szymczycha-Madeja (2014) tvrdil, že ICP-OES dokáže změřit obsah 13 prvků, jako byly Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, P, Pb, Sr a Zn (Szymczycha-Madeja 2014), ale Bressy et al. (2013) navíc uváděl Al a Sn. Bressy et al. (2013) tyto prvky analyzovali na třech druzích rajčat ve dvou různých stádiích zrání, na kterou byla ze začátku použita pouze ICP-OES, kterou chtěli stanovit všechny prvky, ale to se jim nepodařilo kvůli parametru omezení limitu detekce (LOD). Proto jako doplňující metodu použili ICP-MS, která určila obsah těžkých kovů v rajčatech, jako Cd, Co, Cr, Hg, Ni a V. Pomocí ICP-OES bylo provedeno stanovení pouze Al, Ba, Cu, Fe, Mn, Sn a Sr (Bressy et al. 2013). Bressy et al. (2013) uváděli metody ICP-OES a ICP-MS vhodné pro stanovení stopových prvků ve vzorcích rajčat. Při jejich měření došlo k ovlivnění koncentrací stopových prvků druhem rajčat, formou kultivace a stupněm zrání, například starší stadia zrání vykazovaly mnohem

vyšší koncentrace většiny prvků než na začátku zrání. Metoda byla nejvhodnější pro přesné stanovení Ni, Cr a Co (Zbíral 2005).

ICP-OES byla použita i pro analýzu prvkového složení jedlých květů v čerstvém stavu u rostlin *Tropaeolum majus*, *Tagetes erecta* a *Spilanthes oleracea*. Obsah minerálních látek se nelišil od ostatních jedlých květin, hojně byl zastoupen obsah Fe, Zn, Mn, Sr a K. Překvapení bylo, že tyto tři druhy obsahovaly méně Na, který je pro jedlé květy typický ve vyšším množství, velice nízké koncentrace se vyskytovaly i u prvků Ca, P, Mg a S. Prvkové složení těchto jedlých květů se příliš nelišil od složení jiných květin a zeleniny, jako je špenát, tykev a salát (Navarro-González et al. 2015).

Kibar & Kibar (2017) prováděli pomocí ICP-OES analýzu minerálních látek na třech jedlých rostlinách, a to *Malva neglecta*, *Polygonum cognatum* a *Trachystemon orientalis*. Hodnoty stanovené metodou vychází v rozmezí: K 1219,19-1867,47 mg/100 g, P 56,89-195,86 mg/100 g, Ca 282,96-688,32 mg/100 g a Mg 112,54-165,79 mg/100 g (Kibar & Kibar 2017).

### 3.4 Další možnosti stanovení prvků v rostlinném materiálu

Kolorimetrické analytické metody se používají již více než 100 let a jsou založeny na měření barevných změn roztoků, které vznikají při specifických chemických interakcích a následně jsou porovnávány se standardem. Výhodou této metody je, že může být provedena pomocí základních a běžných laboratorních činidel a zařízení. Nevýhodou však je, že detekční limit pro kolorimetrické metody je v rozmezí 10 až 20 ppm. Použití této metody tedy nemůže zajistit stanovení těžkých kovů ve velmi nízkých koncentracích. Různé metodiky testování těžkých kovů touto metodou ukázaly, že těžké kovy nejsou kolorimetrickou metodou dobře analyzovány a například obsah rtuti nelze získat vůbec (The American Herbal Products Association 2009).

Dalšími běžně využívanými metodami jsou plamenová atomová absorpční spektroskopie (FAAS) a atomová absorpční spektroskopie grafitové pece (GFAAS). FAAS je jedna z nejstarších, nejjednodušších a nejpoužívanějších technik. Její citlivost je nejnižší v porovnání s ostatními atomizačními metodami (Ferreira et al. 2018). Výhodou je, že patří mezi levné techniky a je vhodná pro široké stanovení prvků kromě boru, fosforu a síry, při nichž dochází ke zkresleným výsledkům (Vávrová 2007). Touto metodou byl sledován obsah těžkých kovů v květenství *Matricaria chamomilla*, který byl stanoven plamenovou absorpční spektrofotometrií s acetylenem. Obsah hodnot těžkých kovů v sušině činil 291,8 mg/kg Fe,

104,8 mg/kg Zn, 158 mg/kg Mn, 37,6 mg/kg Cu, 12,55 mg/kg Cr, 17,30 mg/kg Pb a 1,98 mg/kg Cd (Diaconu et al. 2012).

Elektrotermická atomová absorpční metoda (ETAAS) je jedna z metod, která je velice citlivá a používá se při stanovení velmi nízkých, zejména stopových obsahů prvků a umožňuje i přímou analýzu pevných vzorků (Ferreira et al. 2018). ETAAS se používá pro přesné stanovení obsahu molybdenu (Zbiral 2005). Nejčastěji se využívá pro rozborů vod, potravin, tkání a rostlinných materiálů (Vávrová 2007).

Pro stanovení těžkých kovů v rostlinách byla použita i technika indukční plazmový analyzátor (ICPA). Zkoumalo se 21 rostlinných vzorků na obsah těžkých kovů – Cd, Co, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn (Nirmal Kumar et al. 2007).

Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou (ICP-MS) byla použita pro analýzu kovů v bylinném čaji. Metoda se ukazuje jako přesná a citlivá pro zjištění těžkých kovů v rostlinných a sušených materiálech (Tokalioglu 2012).

Blamey et al. (2018) tvrdí, že existují i další techniky pro zkoumání mikroskopické distribuce prvků v rostlinných tkáních. Příkladem mohou být například nano-sekundární iontová hmotnostní spektrometrie (NanoSIMS), laserová indukčně vázaná plazmatická hmotnostní spektrometrie (LA-ICP-MS) a zobrazování magnetickou rezonancí (MRI). Techniky vyžadují rozsáhlé zpracování tkání nebo sekvenční odběr vzorků z různých zdrojů. Proto není možnost v průběhu času zkoumat změny živin a kontaminantů v téže listové ploše a už vůbec ne živých rostlin (Blamey et al. 2018).



### 3.5 Rozdíly mezi metodami

Přenosná XRF technika oproti ostatním metodám je levná, ale s nízkou citlivostí. Používá se pro stanovení pevných vzorků, u kterých není potřeba rozklad. Pozitivem je přenosnost, schopnost analyzovat více prvků, rychlá analýza a minimální požadavky na přípravu vzorku. Nevýhodou je přesnost, nemohou stále konkurovat ostatním laboratorním systémům. Laboratorní XRF technika patří mezi středně drahé s nízkou citlivostí, ale dá se použít jak pro pevné, tak i kapalně vzorky a není potřeba jejich rozklad. Ostatní metody jako ICP-AES a ETAAS, v porovnání s XRF, mají střední citlivost a používají se pouze pro kapalně vzorky, které před analýzou musí projít rozložením. ICP-MS patří mezi nejdražší techniky (Hou et al., 2004).

Marguí et al. (2014) nedoporučují XRF jako vhodnou metodu pro měření kapalných vzorků, jelikož při stanovení většinou dochází k chybám ve výsledcích. Důvodem bývá vyšší intenzita rentgenového záření, který tvoří špatný signál, naopak pro tyto vzorky preferují techniky AAS, ICP-AES a ICP-MS. XRF doporučují pro stanovení pevných vzorků (Marguí et al. 2014). Podle Berzaghi et al. (2018) patří energeticky disperzní rentgenově fluorescenční spektrometrie mezi přesné, přímé a jednoduché techniky pro analýzu krmných minerálů.

Většina zmíněných analytických metod, jako atomová absorpční spektrometrie, fluorescenční atomová spektrometrie, hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem a emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem, se používá na určení těžkých kovů v půdě. Tyto techniky jsou velmi přesné, obecně uznávané, ale vyžadují rozsáhlé laboratorní přípravy. Většinou se jedná o extrakce nebo rozklady se silnými kyselinami, které jsou časově náročné a poměrně finančně nákladné. Další nevýhodou těchto metod je použití velkého množství chemických činidel, které vedou ke znečištění životního prostředí. Proto se v poslední době čím dál více používá přenosná rentgenová fluorescenční spektrometrie, která poskytuje rychlou a přesnou analýzu pro určení koncentrací As, Pb, Cu a Zn v půdách (Wan et al. 2019). Wan et al. (2019) tvrdí, že pomocí XRF nelze spolehlivě stanovit obsah Cd, a to v koncentraci nižší než 20 mg/kg v zemědělských půdách, v kterých se obsah Cd pohybuje v koncentraci 0,3-0,8 mg/kg. Pro přesné stanovení kadmia i v nízkých koncentracích se používají moderní instrumentální metody jako je ICP-MS, ICP-OES a AAS (Thongsaw et al. 2017). Od XRF se ICP-OES, ICP-MS, FAAS i ETAAS liší i tím, že se používají pro stanovení obsahu stopových prvků ve vzorcích potravin (Bressy et al. 2013).

FAAS v porovnání s ICP-OES má podobnou citlivost, spektrometr FAAS je levnější, a i náklady na spotřebu plynu je nižší než u ICP-OES, i když se používá oxid dusný, který je dražší než acetylen. Porovnání mezi ETAAS a ICP-MS vykazuje kompatibilní výsledky. Citlivost metod je porovnatelná, ale spotřeba plynů pomocí systému ETAAS je mnohem nižší než ICP-MS. I spektrometr ETAAS a jeho údržba jsou mnohem levnější, než je spektrometr ICP-MS (Ferreira et al. 2018). Cal-Prieto et al. (2002) uvádí ETAAS, jako nejvýhodnější přímou techniku pro analýzu stopových prvků v tuhých vzorcích oproti atomové absorpční spektrometrii a rentgen fluorescenční spektrometrii.

Dle The American Herbal Products Association (2009) mezi těmito různými srovnáními jsou nejdůležitějšími praktickými aspekty každé metody pravděpodobně detekční limity, následované interferencí, dynamickým rozsahem a přesností. Detekční limity se liší v závislosti na prvku a metodě, ale u těžkých kovů, které jsou považovány za důležité pro odvětví bylinných doplňků (As, Cd, Pb a Hg), s výjimkou nákladů metody, je vyhodnocena jako nejlepší technika ICP-MS a stále častěji se používá pro elementární analýzu doplňkových produktů a přísad do potravin, jelikož určí i stopová množství nejen těžkých kovů, ale i minerálů (The American Herbal Products Association 2009).

## 4 Praktická část

### 4.1 Rostlinný materiál

Experimentální část diplomové práce byla prováděna ve dvou laboratořích na Katedře kvality a bezpečnosti potravin a Katedře pedologie a ochrany půd pod fakultou FAPPZ na České zemědělské univerzitě v Praze. Podrobnou analýzou bylo celkem zkoumáno 127 vzorků rostlinného materiálu, které byly odebrány z různých míst a ročních období (viz. tabulka č.1)

**Tabulka č. 1: Seznam použitých jedlých květů**

Pořadí	Latinský název	Český název	Doba sběru	Místo sběru
1	<i>Aesculus hippocastanum</i>	jírovec maďal	04.05.2017	LP
2	<i>Ajuga reptans</i>	zběhovce plazivý	24.04.2017	LP
3	<i>Robinia hispida</i>	akát růžový	17.05.2017	LEZ
4	<i>Allium tuberosum</i>	pažitka čínská	02.08.2017	LN
5	<i>Allium ursinum</i>	medvědí česnek	11.05.2017	LP
6	<i>Althaea officinalis</i>	proskurník lékařský	25.07.2018	LEZ
7	<i>Anethum graveolens</i>	kopr vonný	19.07.2017	LEZ
8	<i>Begonia Tuberhybrida</i> Orange	begónie hlíznatá	15.06.2017	LEZ
9-21	<i>Bellis perennis</i>	sedmikráska obecná	06.03-01.11.2017	LEZ
22	<i>Bergenia ciliata</i>	bergénie brvitá	03.04.2017	LEZ
23	<i>Sambucus nigra</i>	bez černý	17.05.2017	LN
24	<i>Brassica alboglabra</i>	brukev zelí čínské	23.10.2017	LM
25	<i>Brassica pekinensis</i> Su Sheng	brukev zelí pekingské Su Sheng	23.10.2017	LM
26	<i>Brassica rapa</i>	brukev zelí pekingské	23.10.2017	LM
27	<i>Borago officinalis</i>	brutnák bílý	19.07.2017	LEZ
28	<i>Borago officinalis</i>	brutnák lékařský	15.06.2017	LEZ
29	<i>Canna Louis Cayeaus</i>	dosna	19.07.2017	LEZ
30	<i>Cercis</i>	zmarlika	04.05.2017	LP
31	Heirloom Italiana <i>Zucchini Ortolanda Di</i> Firenze	cuketa	02.08.2017	LM
32	<i>Petasites hybridus</i>	devětsil lékařský	10.04.2017	LP
33	<i>Dianthus</i>	hvozdík	24.05.2017	LN

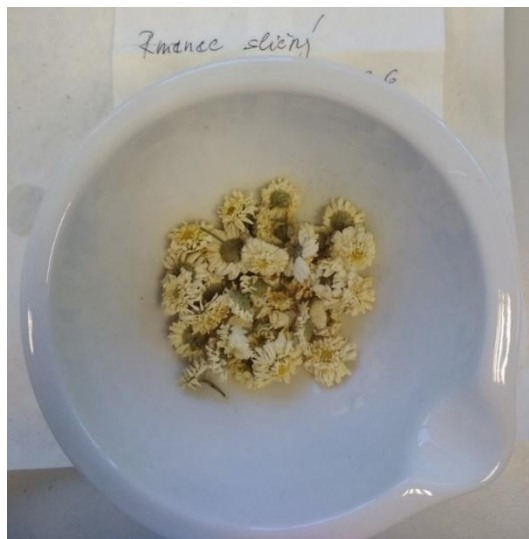
Pořadí	Latinský název	Český název	Doba sběru	Místo sběru
34	Verbascum densiflorum	divizna velkokvětá	15.06.2017	LEZ
35	Origanum vulgare L.	dobromysl obecná	22.06.2017	LEZ
36	Echinacea	třapatka nachová	15.06.2017	LEZ
37	Foeniculum vulgare	fenykl kořeninový	25.07.2017	LEZ
38	Ficaria verna	orsej jarní	03.04.2017	LP
39	Forsythia	zlatice	30.03.2017	LP
40	Gagea lutea	křivavec žlutý	30.03.2017	LP
41	Gaura	svíčkovec	25.07.2017	LEZ
42	Glechoma hederacea	popenec břečťanovitý	03.04.2017	LP
43	Echium vulgare	hadinec obecný	19.07.2017	LEZ
44-48	Hemerocallis	denivka	27.06.2017	LM
49	Hepatica nobilis	jaterník podléška	14.03.2017	LEZ
50-51	Hosta	bohýška	22.06.-13.08. 2017	LN
52	Hyacinthus orientalis	hyacint východní - bílý	03.04.2017	LN
53	Hyacinthus orientalis	hyacint východní - modrý	03.04.2017	LN
54	Hyacinthus orientalis	hyacint východní - růžový	03.04.2017	LN
55	Chaenomeles	kdoulovec	10.04.2017	LEZ
56	Centaurea cyanus L.	chrpa polní	22.06.2017	LEZ
57	Chrysanthemum coronarium	zlateň věncová	19.07.2017	LEZ
58	Impatiens	netýkavka - bílá	30.08.2017	LEZ
59	Impatiens	netýkavka - červená	30.08.2017	LEZ
60	Iris domestica	angínovník čínský	25.07.2017	LEZ
61	Iris	angínovník - tmavý	17.05.2017	LEZ
62-63	Trifolium	jetel	24.05.2017	LEZ
64	Trifolium pratense	jetel luční	24.05.2017	LEZ
65	Trifolium repens	jetel plazivý	25.05.2017	LEZ
66	Aesculus x carnea	jírovec červený	17.05.2017	LP
67	Dahlia	jiřina fialová	30.08.2017	LEZ
68	Dahlia	jiřina krémová	30.08.2017	LEZ
69	Dahlia	jiřina bílá	30.08.2017	LEZ
70	Dahlia	jiřina červená	30.08.2017	LEZ
71	Dahlia	jiřina oranžová	30.08.2017	LEZ
72	Staphylea pinnata	klokoč zpeřený	11.05.2017	LP
73	Pyrethrum parthenium	kopretina řimbaba	24.05.2017	LP
74	Iris	kosatec světlý	11.05.2017	LEZ
75	Lamium purpureum	hluchavka nachová	03.04.2017	LP
76	Lathyrus latifolius	hrachor širolistý	13.08.2018	LN

Pořadí	Latinský název	Český název	Doba sběru	Místo sběru
77	Lilium henryi	lilie	02.08.2017	LN
78	Malus	jabloň	24.04.2017	LP
79	Calendula Officinalis	měsíček lékařský	15.06.2017	LEZ
80	Monarda fistulosa	zavinutka rourkovitá	25.07.2017	LEZ
81-82	Ornithogalum nutans	snědek nicí	20.04.-21.04.2017	LN
83	Allium schoenoprasum	pažitka pobřežní	24.05.2017	LEZ
84-86	Pelargonium peltatum	pelargonie štítnatá	30.08.-06.09.2017	LEZ
87-88	Pelargonium zonale	pelargonie páskatá	06.09.2017	LEZ
89	Phlox Delta	plamenka - bílá	02.08.2017	LEZ
90	Phlox Delta	plamenka - fialová	02.08.2017	LEZ
91	Phlox Xaredsií Ping Pong	plamenka	02.08.2017	LEZ
92	Pai Mu Tan	pivoňka bílá	17.05.2017	LEZ
93	Peony Blush	pivoňka růžová	17.05.2017	LEZ
94	Tussilago farfara	podběl lékařský	10.04.2017	LP
95	Polygonatum odoratum	kokořík vonný	24.05.2017	LN
96	Primula veris	prvosenka jarná	10.04.2017	LP
97	Pulmonaria officinalis	plicník lékařský	30.03.2017	LP
98	Rheum reticulatum	rebarbora	24.04.2017	LM
99	Chamaemelum nobile	rmenec sličný	22.06.2017	LEZ
100	Rosa Gloria Dei	růže - oranžová	24.05.2017	LN
101	Rosa Gloria Dei	růže - žlutá	24.05.2017	LN
102	Achillea millefolium L.	řebříček obecný	22.06.2017	LEZ
103	Salvia officinalis	šalvěj lékařská	15.06.2017	LEZ
104	Salvia sclarea	šalvěj muškátová	22.06.2017	LEZ
105	Helianthus	slunečnice obecná	19.07.2017	LEZ
106-107	Tagetes erecta	aksamitník vzpřímený	03.07.2017	LEZ
108	Tagetes lucida	aksamitník mexický	19.07.2017	LEZ
109-111	Tagetes patula	aksamitník rozkladitý	03.07. 2017	LEZ
112-115	Tagetes tenuifolia	aksamitník jemnolistý	03.07.-19.07. 2017	LEZ
116-117	Taraxacum officinale	smetanka lékařská	10.04.2017	LP
118	Alcea rosea	topolovka růžová	22.06.2017	LEZ
119	Robinia pseudacacia	trnovník akát	24.05.2017	LP
120	Tulipa Apeldorn	tulipán	03.04.2017	LN
121-122	Heirloom	tykev	02.08.2017	LM
123	Viola odorata	violka vonná - bílá	20.03.2017	LEZ
124	Viola odorata	violka vonná - fialová	20.03.2017	LEZ
125	Viola	viola okrasná	10.04.2017	LEZ
126-127	Wisteria floribunda	vistárie květnatá	11.05.-17.05.2017	LEZ

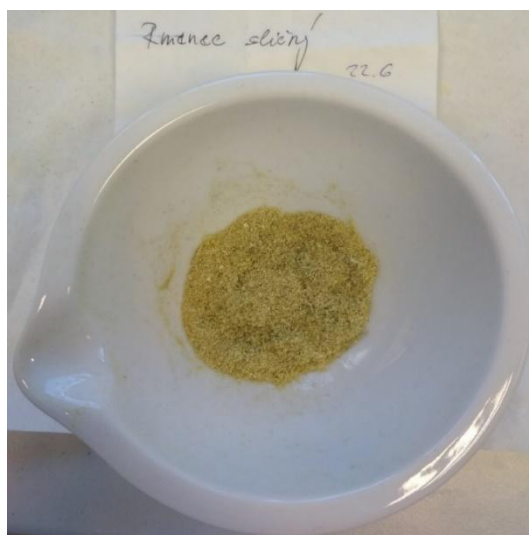
### 4.1.1 Homogenizace dusíkem

Rostlinný materiál byl homogenizován v hmoždíři pomocí tloučku za přidání tekutého dusíku. Průběh homogenizace je viděn na obrázku č. 1 a č. 2.

Obrázek č. 1: Vzorek před homogenizací



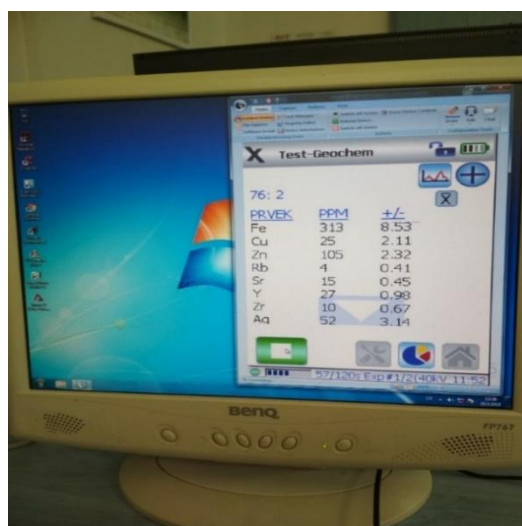
Obrázek č. 2: Vzorek po homogenizaci



## 4.1.2 Stanovení prvkového složení rostlinného materiálu

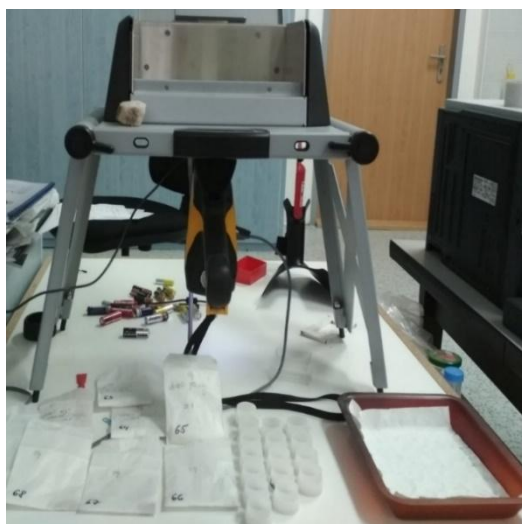
**Příprava pro PXRF.** Stanovení prvkového složení bylo stanoveno pomocí energiově disperzním rentgenově fluorescenčním spektrometrem, kdy zhomogenizované vzorky jedlých rostlin byly nasypány do čistých kyvet o různé navážce a následně změřeny. Každé měření bylo prováděno třikrát po dobu tří minut. Výsledky byly měřeny v procentech a následně byly zprůměrovány a převedeny na mg/kg. Vzorky byly analyzovány za standartních podmínek v módu Geochem (viz. obrázek č. 3). Stanovení bylo prováděno na přístroji Delta Premium, model XPD 6000 od amerického výrobce Innov-X Systems Inc (viz. obrázek č. 4).

Obrázek č. 3: Změřené výsledky v modu Geochem



PRVEK	DPM	+/-
Fe	313	8.53
Cu	25	2.11
Zn	105	2.32
Rb	4	0.41
Sr	15	0.45
Y	27	0.98
Zr	10	0.67
Aq	52	3.14

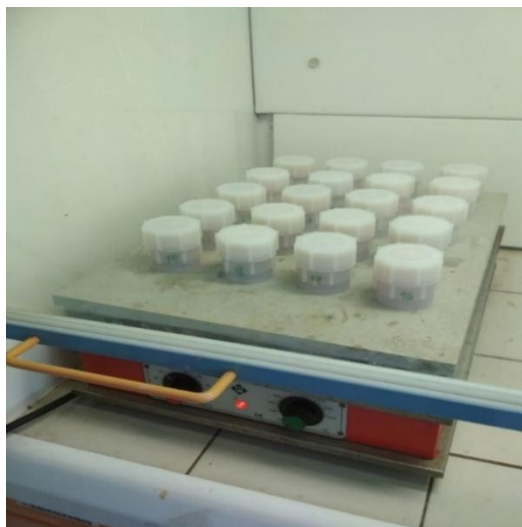
Obrázek č. 4: Přístroj Delta Premium, model XPD 6000



### 4.1.3 Atomová emisní spektrometrie

**Příprava pro ICP-OES.** Do teflonových nádob bylo naváženo 0,5 g homogenizovaného materiálu. U některých vzorků byly použity menší gramáže z důvodu malého množství vzorku. Do nádob se vzorkem bylo přilito 10 ml 65 % kyseliny dusičné (Lach–Ner, s.r.o.) a nechávalo se přes noc mineralizovat v neuzavřené teflonové nádobě. Druhý den byly vzorky zahřívány při 130 °C po dobu 2 hodin (obrázek č. 5). Roztoky byly přefiltrovány pomocí filtrového papíru a desetkrát ředěny destilovanou vodou (obrázek č. 6). A nakonec byly roztoky znovu před analýzou přefiltrovány přes 0,45 µm nylonové diskové filtry (obrázek č. 7). Pro určení obsahu vybraných prvků byl použit spektrometr indukčně vázaného plazmatu DUO iCAP 7000 (Thermo Scientific, Waltham, MA, USA) pracující při výkonu 61,15 kW s příslušným průtokem 0,5 a 1 l/min, Mg (277,079), Cu (224,700), Fe (238,204), Mn (257,610), P (177,495), K (766,490), Na (589,592), S (180,731) a Zn (202,548) v mg/l. Všechny vzorky byly z důvodu malého množství materiálu měřeny pouze jednou.

Obrázek č. 5: Zahřívání a rozklad vzorků





Obrázek č. 6: Filtrace rozložených vzorků



Obrázek č. 7: Vzorky připravené k měření ICP-OES



## 5 Výsledky

### 5.1 Srovnání obsahu makroelementů v závislosti na metodě ICP-OES a PXRF

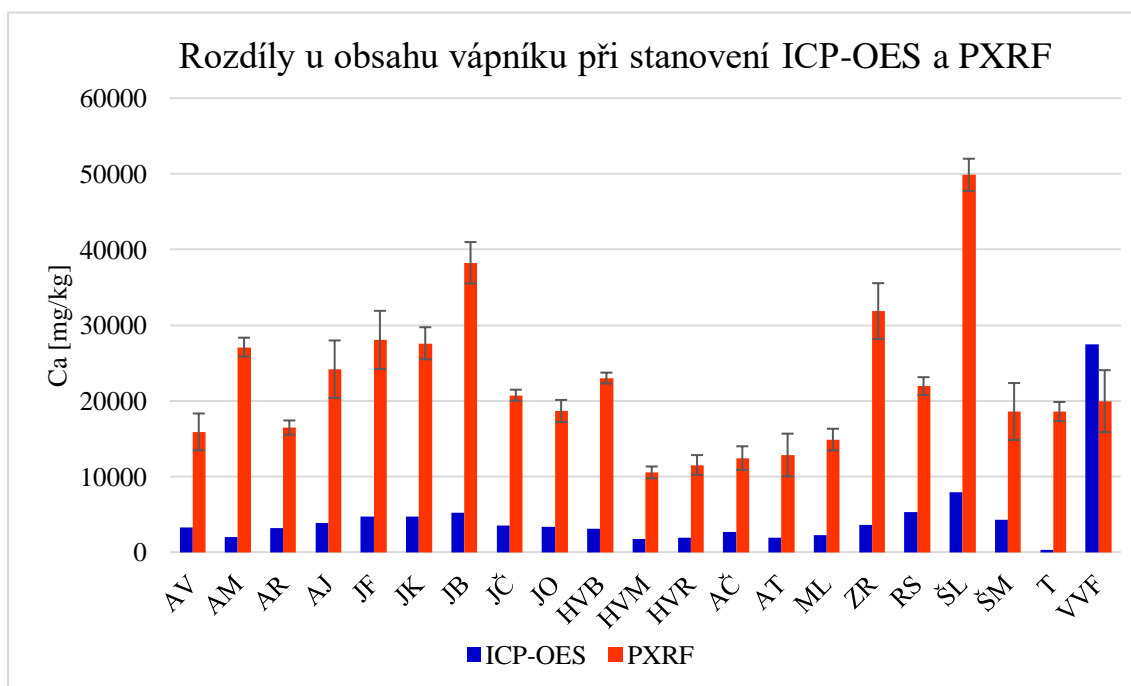
Z výsledků práce se hodnotilo o kolik procent se lišila metoda přenosná rentgenová fluorescenční spektrometrie od referenční metody emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem. Dále byly statisticky porovnávány výsledky u čeledí rostlin dle metody ICP-OES.

#### 5.1.1 Obsah vápníku

Hodnoty stanovené u Ca pomocí PXRF byly většinou o 80 až 88 % vyšší oproti referenční metodě ICP-OES (viz. obrázek č. 8). Výjimkou byl vzorek violky vonné – fialové (č. 124), kde byla zaznamenána o 27 % vyšší hodnota u metody ICP-OES oproti PXRF. U tohoto vzorku byl i zaznamenán nejmenší rozdíl v obsahu Ca mezi metodami. Největší rozdíl mezi metodami byl zaznamenán u vzorku smetanky lékařské (č. 116) a tulipánu (č. 120), kde byl rozdíl až 97 %. Hodnoty dle analýzy ICP-OES se pro Ca pohybovaly v rozmezí od 357,2 mg/kg do 27504 mg/kg v závislosti na druhu rostliny, nejnižší obsah Ca byl zaznamenán ve vzorku tulipánu a nejvyšší obsah u violky vonné – fialové.

U květů z čeledi hvězdnicovitých (druhů aksamitníků, jirín, měsíčku lékařského a rmence sličného) byl obsah Ca u metody ICP-OES vyšší u vzorků jirín a rmence sličného oproti jiríně oranžové a červené, druhům aksamitníků a měsíčku lékařského. Důvodem rozdílu hvězdnicovitých rostlin mohl být typ květu, například u aksamitníků a měsíčku lékařského jsou pevné a silné trubkovité květy, ostatní květy mají pouze měkké jazykovité květy. U květů hluchavkovitých rostlin (druhů šalvěže, zavínutky rourkovité) se rostliny v metodě ICP-OES shodovaly v obsahu Ca, výjimkou byl druh šalvěže lékařské. U liliovitých rostlin (druhů hyacintů a tulipánu) dle referenční hodnoty ICP-OES se obsah Ca nacházel v nižších koncentracích než například u květů z čeledi hvězdnicovitých nebo hluchavkovitých. Dle výsledků práce koncentrace Ca byla v květu obsažena v závislosti na čeledi i druhu rostliny.

Obrázek č. 8: Rozdíly u obsahu vápníku při stanovení ICP-OES a PXRF



**Vysvětlivky:** AV - aksamitník vzpřímený, AM - aksamitník mexický, AR - aksamitník rozkladitý, AJ - aksamitník jemnolistý, JF – jiřina fialová, JK - jiřina krémová, JB - jiřina bílá, JČ - jiřina červená, JO - jiřina oranžová, HVB - hyacint východní bílý, HVM - hyacint východní modrý, HVR - hyacint východní růžový, AČ - anginovník čínský, AT – anginovník tmavý, ML - měsíček lékařský, ZR - zavinutka rourkovitá, RS - rmenec sličný, ŠL - šalvěj lékařská, ŠM - šalvěj muškátová, T - tulipán, VVF - violka vonná – fialová

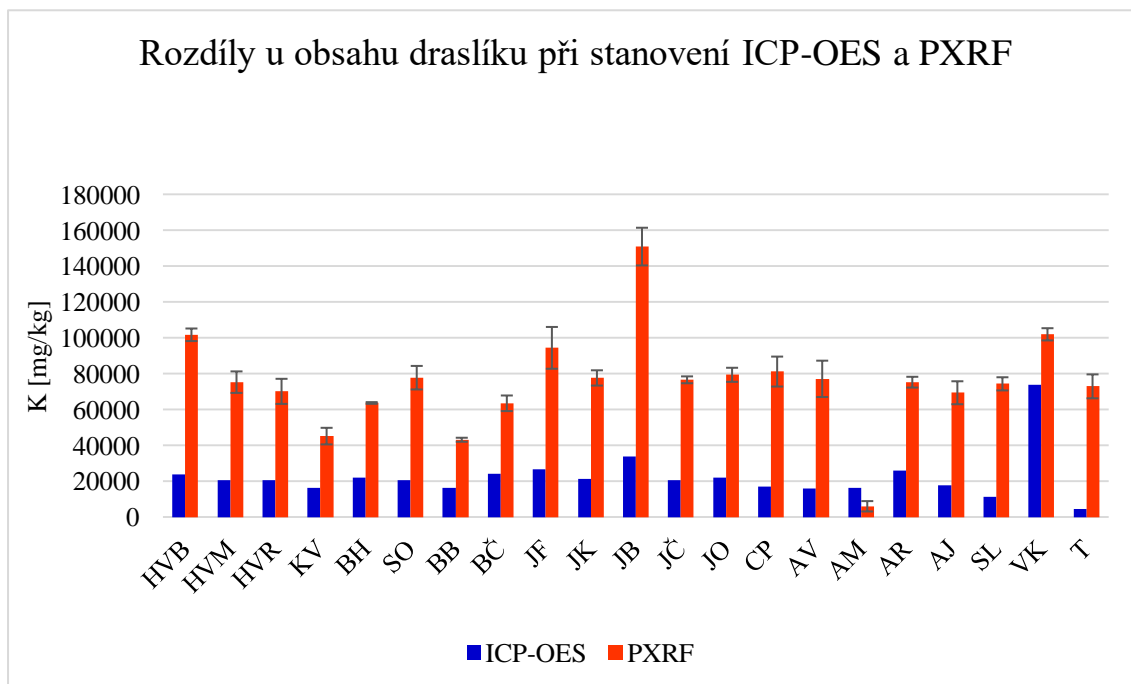
### 5.1.2 Obsah draslíku

Hodnoty stanovené u K pomocí PXRF byly většinou o 73 až 79 % vyšší oproti referenční metodě ICP-OES (viz. obrázek č. 9). Výjimkou byl vzorek aksamitníku rozkladitého, kde byla zaznamenána vyšší hodnota u metody ICP-OES oproti PXRF. Nejmenší rozdíl K mezi metodami byl zaznamenán u vzorku vistárie květnaté (č. 127), kde byl rozdíl 16 %, naopak největší rozdíl K byl naměřen u vzorku tulipánu (č. 120), kde byl rozdíl až 94 %. Hodnoty dle analýzy ICP-OES se pro K pohybovaly v rozmezí od 4664,9 mg/kg do 73938,2 mg/kg v závislosti na druhu rostliny, nejnižší obsah K byl zaznamenán ve vzorku tulipánu a nejvyšší obsah u vistárie květnaté.

U květů z čeledi hvězdnicovitých (druhů aksamitníků, jiřin, smetanky lékařské, chrpy polní a sedmikrásky obecné) byl obsah K u metody ICP-OES vyšší u vzorků jiřiny bílé a fialové a aksamitníku rozkladitého, ostatní druhy rostlin byly shodné. Důvodem rozdílných hodnot u hvězdnicovitých rostlin mohl být způsoben typem květu. U liliovitých rostlin (druhů hyacintů a tulipánu) dle referenční hodnoty ICP-OES se obsah K statisticky významně lišil

mezi tulipány i hyacinty. Dle výsledků se obsah K u hyacintů nacházel ve vyšším množství než u tulipánů. Dle referenční metody ICP-OES v porovnání mezi čeleděmi se obsah K nacházel v podobných koncentracích u hvězdnicovitých i liliovitých rostlin. Výjimkou byl obsah K u tulipánu, kde byly hodnoty nízké.

Obrázek č. 9: Rozdíly u obsahu draslíku při stanovení ICP-OES a PXRF



**Vysvětlivky:** AV - aksamitník vzpřímený, AM - aksamitník mexický, AR - aksamitník rozkladitý, AJ - aksamitník jemnolistý, JF - jiřina fialová, JK - jiřina krémová, JB - jiřina bílá, JČ - jiřina červená, JO - jiřina oranžová, HVB - hyacint východní bílý, HVM - hyacint východní modrý, HVR - hyacint východní růžový, T - tulipán, KV - kopr vonný, BH - begonie hlíznatá, SO - sedmikráska obecná, BB - bergénie brvitá, BČ - bez černý, CP - chrpa polní, SL - smetanka lékařská, VK - vistárie květnatá

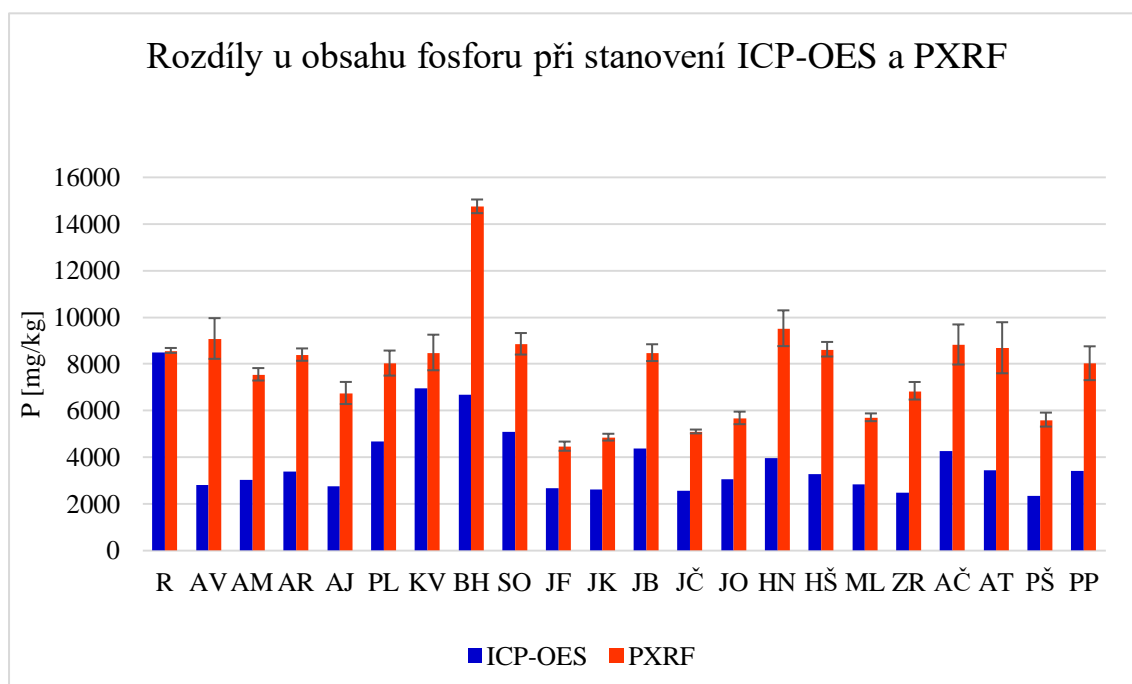
### 5.1.3 Obsah fosforu

Hodnoty stanovené u P pomocí PXRF byly většinou o 52 až 64 % vyšší oproti referenční metodě ICP-OES (viz. obrázek č. 10). Nejmenší rozdíl mezi metodami byl zaznamenán u vzorku rebarbory (č. 98). Metodou ICP-OES u rebarbory byla naměřena hodnota o obsahu 8498 mg/kg a metodou PXRF 8558,7 mg/kg. Největší rozdíl byl určen u vzorku aksamitníku rozkladitého (č. 109), kde byl rozdíl až 100 %. Hodnoty dle analýzy ICP-OES se pro P pohybovaly v rozmezí od 2336,3 mg/kg do 8498 mg/kg v závislosti na druhu rostliny, nejnižší obsah P byl zaznamenán ve vzorku pelargónie štítnaté a nejvyšší obsah u rebarbory.

U květů z čeledi hvězdnicovitých (druhů aksamitníků, jiřin, měsíčku lékařského a sedmikrásky obecné) byl obsah P u metody ICP-OES statisticky významně rozdílný. Vyšší

hodnoty byly zaznamenány u sedmikrásky obecné a aksamitníku rozkladitého, ostatní druhy rostlin byly shodné. U hluchavkovitých rostlin (hluchavky nachové a zavinutky rourkovité) dle metody ICP-OES se obsah P statisticky významně lišil mezi květy z čeledi hluchavkovitých. Vyšší koncentrace P z čeledi hluchavkovitých byla zaznamenána u hluchavky nachové. Dle referenční metody ICP-OES v porovnání mezi čeleděmi se obsah P nacházel v podobných koncentracích hvězdicovitých i hluchavkovitých rostlin. Dle výsledků práce koncentrace P byla v květu obsažena v závislosti na druhu rostliny.

Obrázek č. 10: Rozdíly u obsahu fosforu při stanovení ICP-OES a PXRF



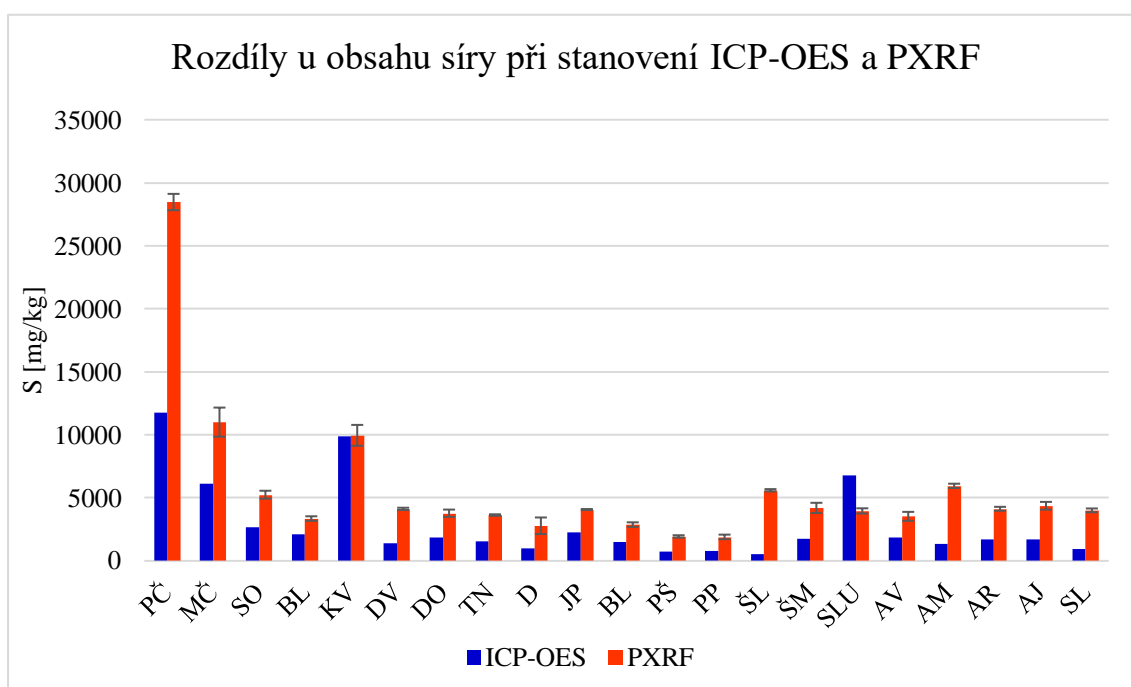
**Vysvětlivky:** AV - aksamitník vzprímený, AM - aksamitník mexický, AR - aksamitník rozkladitý, AJ - aksamitník jemnolistý, JF - jirina fialová, JK - jirina krémová, JB - jirina bílá, JČ - jirina červená, JO - jirina oranžová, AČ - anginovník čínský, AT - anginovník – tmavý, ML - měsíček lékařský, ZR - zavinutka rourkovitá, KV - kopr vonný, BH - begonie hlíznatá, SO - sedmikráska, R - rebarbora, PŠ - pelargonie štítnatá, PP - pelargonie páskatá, HN - hluchavka nachová, HŠ - hrachor široolistý, PL - proskurník lékařský

#### 5.1.4 Obsah síry

Hodnoty stanovené u S pomocí PXRF byly většinou o 45 až 65 % vyšší oproti referenční metodě ICP-OES (viz. obrázek č. 11). Výjimkou byl vzorek slunečnice, kde byla zaznamenána vyšší hodnota u metody ICP-OES oproti PXRF. Nejmenší rozdíl mezi metodami byl zaznamenán u vzorku kopru vonného (č. 7). Metodou ICP-OES u kopru vonného byla naměřena hodnota o obsahu 9878,8 mg/kg a metodou PXRF 9927,7 mg/kg. Největší rozdíl byl zaznamenán u vzorku aksamitníku rozkladitého (č. 109), kde byl rozdíl až 100 %. Hodnoty dle analýzy ICP-OES se pro S pohybovaly v rozmezí od 535,8 mg/kg do 11747 mg/kg v závislosti na druhu rostliny, nejnižší obsah S byl zaznamenán ve vzorku šalvěže lékařské a nejvyšší obsah u pažitky čínské.

U květů z čeledi hvězdnicovitých (druhů aksamitníků, smetanky lékařské, slunečnice a sedmikrásky obecné) byl obsah S u metody ICP-OES statisticky významně rozdílný. Nejvyšší hodnota byla zaznamenána u slunečnice a nejnižší u smetanky lékařské. Důvodem rozdílu hvězdnicovitých rostlin mohl být druh rostlin. U hluchavkovitých rostlin (druhů šalvěže a dobromysle obecné) se květy v metodě ICP-OES shodovaly v obsahu S, výjimkou byla šalvěž lékařská, která obsahovala malou koncentraci S. Dle referenční metody ICP-OES v porovnání mezi čeleděmi byl obsah S odlišný u hvězdnicovitých a hluchavkovitých rostlin. Dle výsledků práce koncentrace S byla v květu obsažena v závislosti na čeledi a druhu rostliny.

Obrázek č. 11: Rozdíly u obsahu síry při stanovení ICP-OES a PXRF



**Vysvětlivky:** AV - aksamitník vzpřímený, AM - aksamitník mexický, AR - aksamitník rozkladitý, AJ - aksamitník jemnolistý, ŠL - šalvěj lékařská, ŠM - šalvěj muškátová, KV - kopr vonný, SO – sedmikráska obecná, PŠ - pelargonie štítnatá, PP - pelargonie páskatá, PČ - pažitka čínská, MČ - medvědí česnek, BL - brutnák lékařský, DV - divizna velkokvětá, DO - dobromysl obecná, TN - třapatka nachová, D - denivka, JP - jaterník podléška, SLU - slunečnice, SL - smetanka lékařská

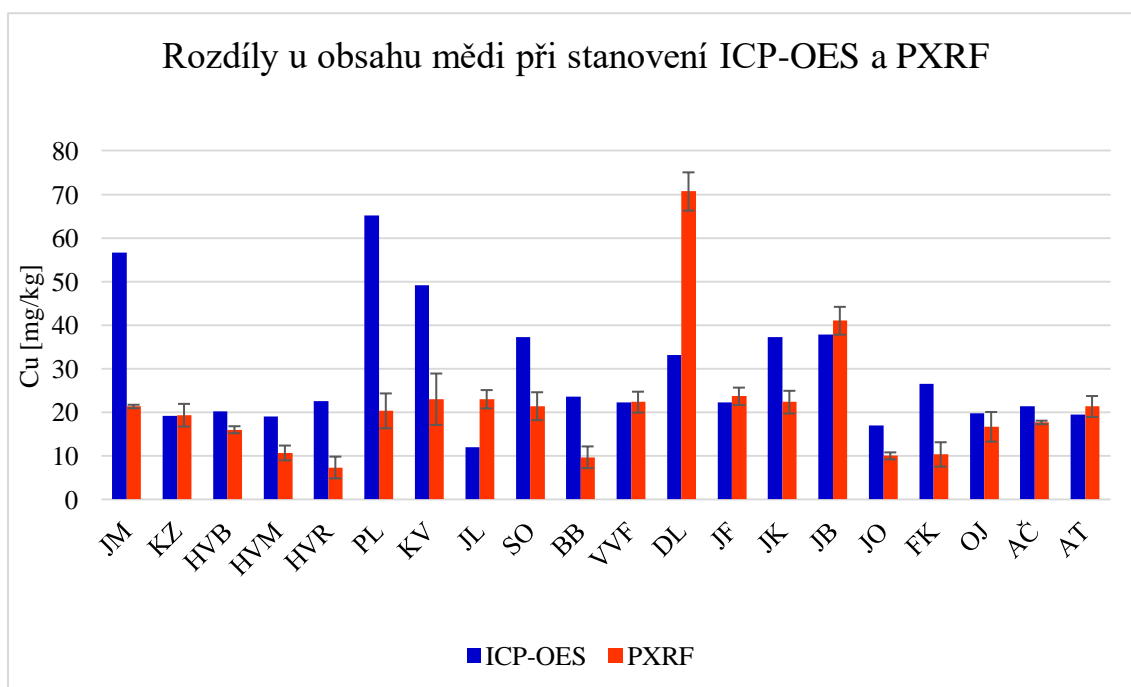
## 5.2 Srovnání obsahu mikroelementů v závislosti na metodě ICP-OES a PXRF

### 5.2.1 Obsah mědi

Hodnoty stanovené u Cu pomocí ICP-OES byly většinou o 47 až 52 % vyšší oproti PXRF (viz. obrázek č. 12). Výjimkou byly vzorky jetele lučního, devětsilu lékařského a jiriny bílé, kde byly zaznamenány vyšší hodnoty u metody PXRF oproti ICP-OES. Nejmenší rozdíly mezi metodami byly zaznamenány u vzorku violky vonné – fialové (č. 124) a u klokoče zpeřeného (č. 72). Metodou ICP-OES u violky vonné – fialové byla naměřena hodnota o obsahu 22,2 mg/kg a metodou PXRF 22,3 mg/kg, u klokoče zpeřeného dle metody ICP-OES 19,2 mg/kg a dle metody PXRF 19,3 mg/kg. Největší 95 % rozdíl byl analyzován u vzorku jetele lučního (č. 64). Hodnoty dle analýzy ICP-OES se pro Cu pohybovaly v rozmezí od 11,9 mg/kg do 65,2 mg/kg v závislosti na druhu rostliny, nejnižší obsah Cu byl zaznamenán ve vzorku jetele lučního a nejvyšší obsah u proskurníku lékařského.

U květů z čeledi hvězdnicovitých (druhů jiřin a sedmikrásky obecné) byl obsah Cu u metody ICP-OES stejný u sedmikrásky obecné s jiřinou bílou a krémovou. Statisticky významné rozdíly byly zaznamenány u jiřiny červené a oranžové, které se od ostatních květů z čeledi hvězdnicovitých lišily. Dle výsledků práce koncentrace Cu byla v květu obsažena v závislosti na druhu rostliny.

Obrázek č. 12: Rozdíly u obsahu mědi při stanovení ICP-OES a PXRF



**Vysvětlivky:** JF - jiřina fialová, JK - jiřina krémová, JB - jiřina bílá, JČ - jiřina červená, JO - jiřina oranžová, HVB - hyacint východní bílý, HVM - hyacint východní modrý, HVR - hyacint východní růžový, AČ - anginovník čínský, AT - anginovník tmavý, VVF - violka vonná - fialová, KV - kopr vonný, SO - sedmikráska, BB - bergénie brvitá, JM - jírovec maďal, KZ - klokoč zpeřený, PL - proskurník lékařský, JL - jetel luční, DL - devěsíl lékařský, FK - fenykl kořeninový, OJ - orsej jarní

### 5.2.2 Obsah železa

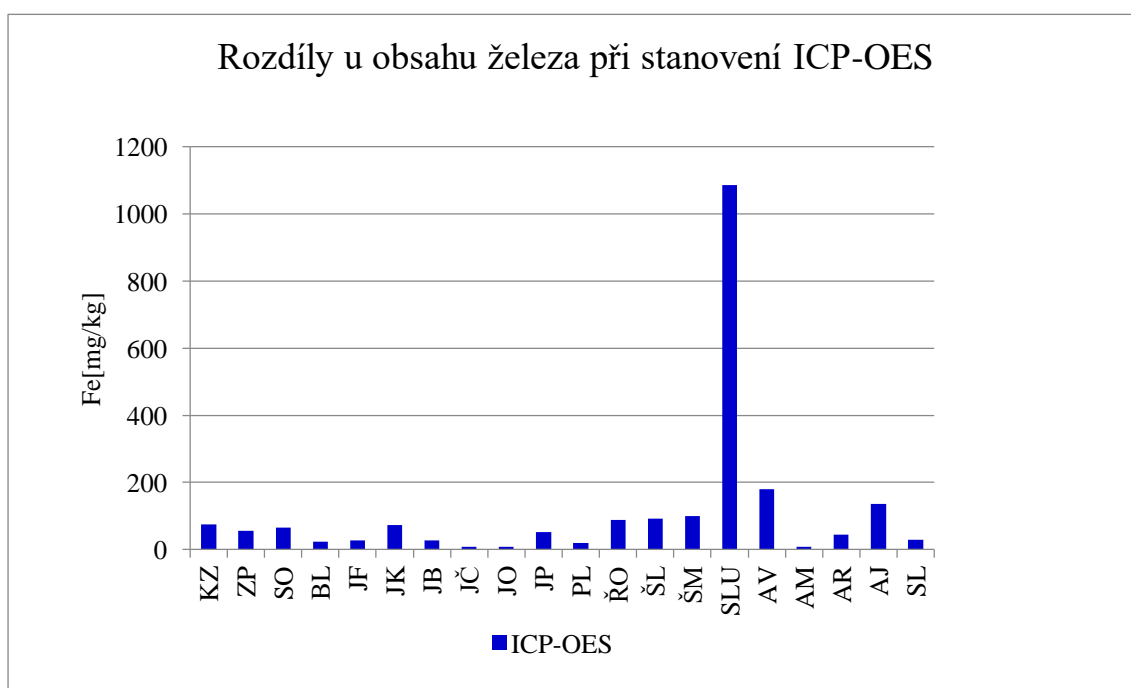
Hodnoty stanovené u Fe pomocí PXRF byly většinou o 78 až 95 % vyšší oproti ICP-OES (viz. obrázek č. 13 a č. 14). Výjimkou byly vzorky slunečnice a řebříčku obecného, kde byly zaznamenány vyšší hodnoty u metody ICP-OES oproti PXRF. Nejmenší rozdíl mezi metodami byl zaznamenán u vzorku klokoče zpeřeného (č. 72), kde byl rozdíl mezi PXRF a ICP-OES 12 %. Největší rozdíl byl naměřen u vzorku aksamitníku rozkladitého (č. 110), kde byl rozdíl až 100 %. Hodnoty dle analýzy ICP-OES se pro Fe pohybovaly v rozmezí od 9,2 mg/kg do 1084,9 mg/kg v závislosti na druhu rostliny, nejnižší obsah Fe byl zaznamenán



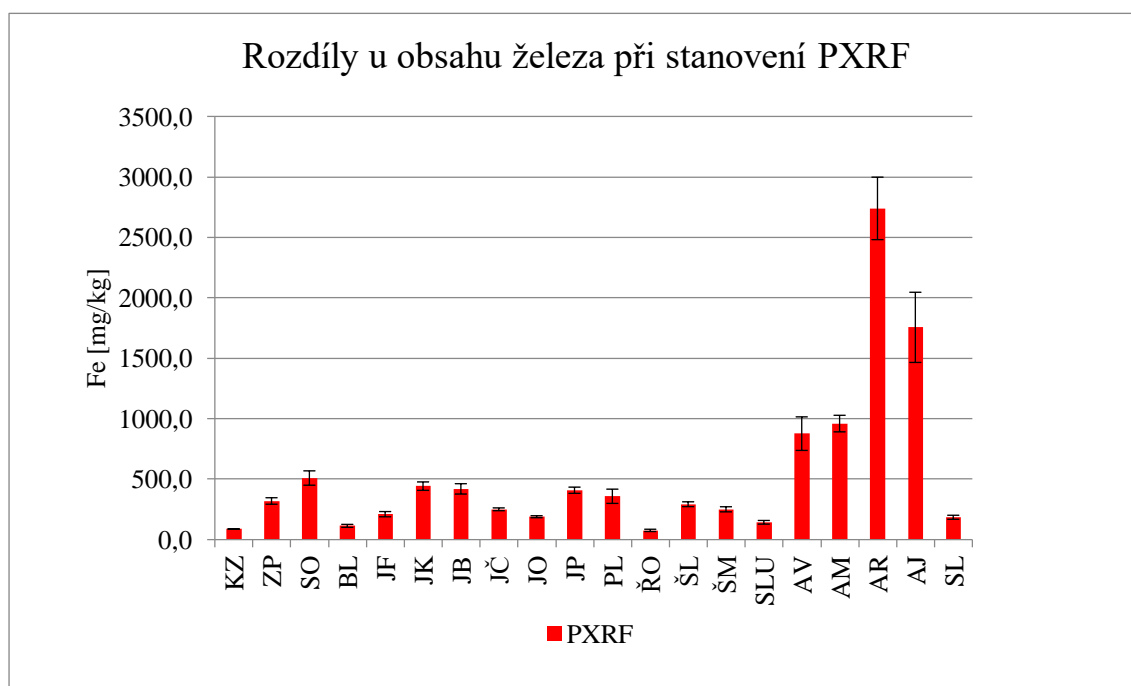
ve vzorcích jiriny: oranžové a červené a u aksamitníku mexického a nejvyšší obsah u slunečnice.

U květů z čeledi hvězdnicovitých (druhů aksamitníků, jirin, smetanky lékařské, slunečnice, podbělu lékařského, řebříčku obecného a sedmikrásky obecné) byl obsah Fe u metody ICP-OES nízký u všech květů, výjimkou byly druhy aksamitníků a slunečnice. V malém množství se koncentrace Fe vyskytovala u aksamitníku jemnolistém a rozkladitém. U hluchavkovitých rostlin (druhů šalvěže a zběhovce plazivého) se květy v metodě ICP-OES statisticky významně lišily. U zběhovce plazivého byla v květu obsažena nižší koncentrace Fe než u druhů šalvěže. Dle referenční metody ICP-OES v porovnání mezi čeleděmi byl obsah Fe u hvězdnicovitých rostlin v nižších koncentracích v závislosti na druhu rostliny než u čeledi hluchavkovitých. Dle výsledků práce koncentrace Fe byla v květu obsažena v závislosti na čeledi a druhu rostliny.

Obrázek č. 13: Rozdíly u obsahu železa při stanovení ICP-OES



Obrázek č. 14: Rozdíly u obsahu železa při stanovení PXRF



**Vysvětlivky:** AV - aksamitník vzpřímený, AM - aksamitník mexický, AR - aksamitník rozkladitý, AJ - aksamitník jemnolistý, JF - jiřina fialová, JK - jiřina krémová, JB - jiřina bílá, JČ - jiřina červená, JO - jiřina oranžová, ŠL - šalvěj lékařská, ŠM - šalvěj muškátová, SO - sedmikráska obecná, SL - smetanka lékařská, BL - brutnák lékařský, SLU - slunečnice, KZ - klokoč zpeřený, ZP - zběhovec plazivý, JP - jetel plazivý, PL - podběl lékařský, ŘO - řebříček obecný

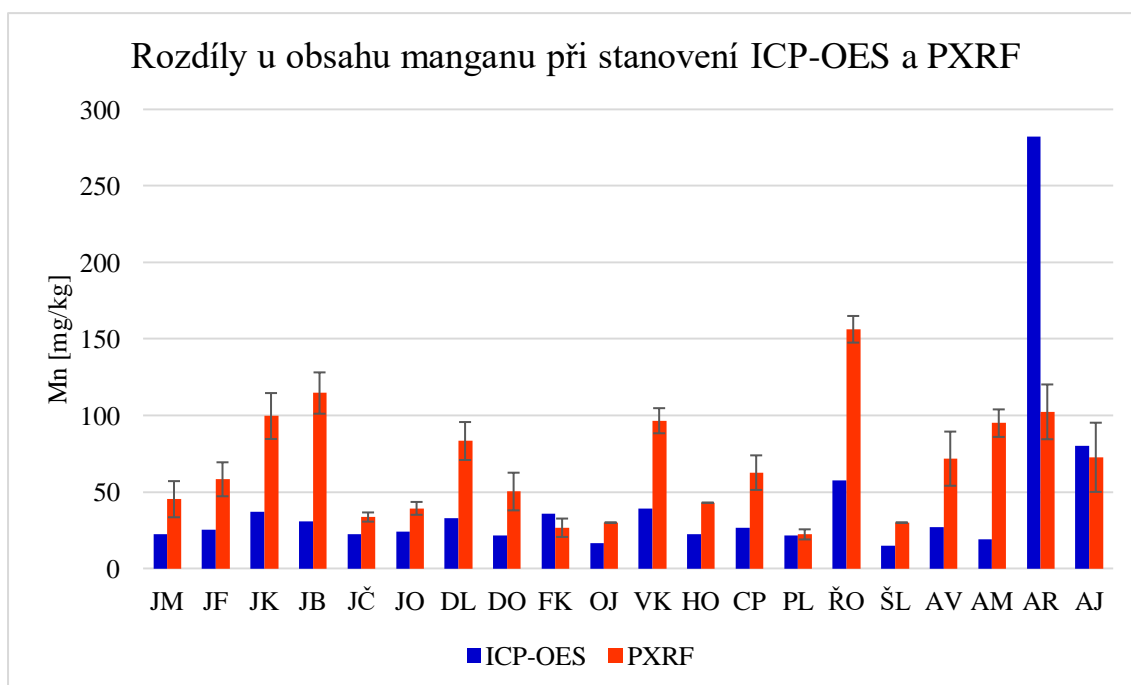
### 5.2.3 Obsah manganu

Obsah Mn mezi metodami byl u většiny vzorků neporovnatelný z důvodu nedetekovatelnosti tohoto prvku metodou PXRF. Hodnoty stanovené u Mn pomocí PXRF byly většinou o 47 až 63 % vyšší oproti ICP-OES (viz. obrázek č. 15). Výjimkou byly vzorky aksamitníku rozkladitého a jemnolistého a fenyklu kořeninového, kde byly zaznamenány vyšší hodnoty u metody ICP-OES oproti PXRF. Nejmenší rozdíl mezi metodami byl zaznamenán u vzorku plicníku lékařského (č. 97), kde byl rozdíl mezi PXRF a ICP-OES pouze 3 %. Největší rozdíl byl zaznamenán u vzorku aksamitníku rozkladitého (č. 110), kde byl rozdíl až 98 %. Hodnoty dle analýzy ICP-OES se pro Mn pohybovaly v rozmezí od 14,7 mg/kg do 282 mg/kg v závislosti na druhu rostliny, nejnižší obsah Mn byl zaznamenán ve vzorku šalvěje lékařské a nejvyšší obsah u aksamitníku rozkladitého.

U květů z čeledi hvězdnicovitých (druhů aksamitníků, jiřin, řebříčku obecného a chrpy polní) byl obsah Mn u metody ICP-OES statisticky významně rozdílný. Nejvíce se od všech druhů květů z čeledi hvězdnicovitých lišily aksamitník rozkladitý i jemnolistý a řebříček obecný. Obsah Mn v ostatních květech byl analyzován v nízkých koncentracích.

U hluchavkovitých rostlin (šalvěje lékařské a dobromysle obecné) se květy v metodě ICP-OES statisticky významně lišily. Obsah Mn byl obsažen v květu v závislosti na druhu rostliny. U šalvěje lékařské byla v květu obsažena nižší koncentrace Mn než u dobromysle obecné. Obsah Mn u čeledi hluchavkovitých mohl být ovlivněn povrchem koruny květů, u šalvěje lékařské je povrch květu ochlupen. U čeledi brutnákovitých (plicníku lékařského a hadince obecného) dle metody ICP-OES byl obsah Mn u obou květů shodný. Dle referenční metody ICP-OES v porovnání mezi čeleděmi byl obsah Mn podobný u hvězdnicovitých, hluchavkovitých i brutnákovitých rostlin až na výjimky. Dle výsledků práce koncentrace Mn byla v květu obsažena v závislosti na druhu rostliny.

Obrázek č. 15: Rozdíly u obsahu manganu při stanovení ICP-OES a PXRF

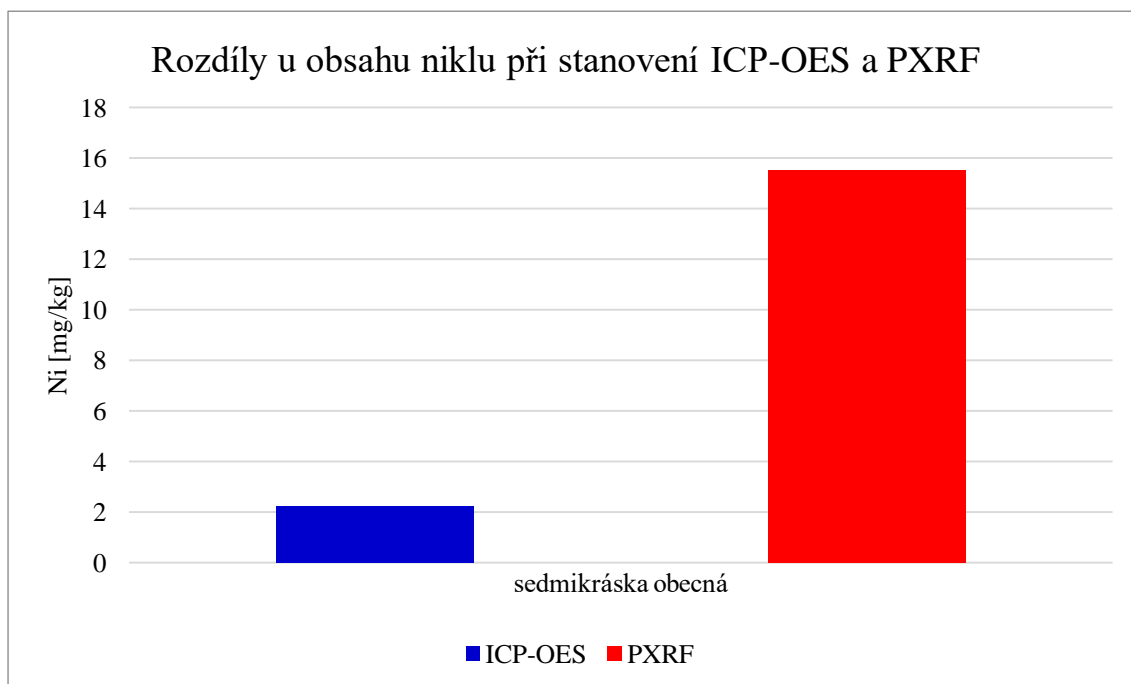


**Vysvětlivky:** JM - jirovec maďal, AV - aksamitník vzpřímený, AM - aksamitník mexický, AR - aksamitník rozkladitý, AJ - aksamitník jemnolistý, JF - jirina fialová, JK - jirina krémová, JB - jirina bílá, JČ - jirina červená, JO - jirina oranžová, ŠL - šalvěj lékařská, CP - chrpa polní, VK - vistárie květnatá, DO - dobromysl obecná, DL - devětsil lékařský, FK – fenykl kořeninový, OJ - orsej jarní, HO - hadinec obecný, PL - plicník lékařský, ŘO - řebříček obecný

## 5.2.4 Obsah niklu

Nikl byl detekován pouze u jedné rostliny sedmikrásky obecné, kde byl výsledek vyšší u metody PXRF až o 86 % oproti ICP-OES (viz. obrázek č. 16). Pomocí ICP-OES byl obsah Ni zjištěn v nízkých koncentracích u všech rostlinných vzorků.

Obrázek č. 16: Rozdíly u obsahu niklu při stanovení ICP-OES a PXRF



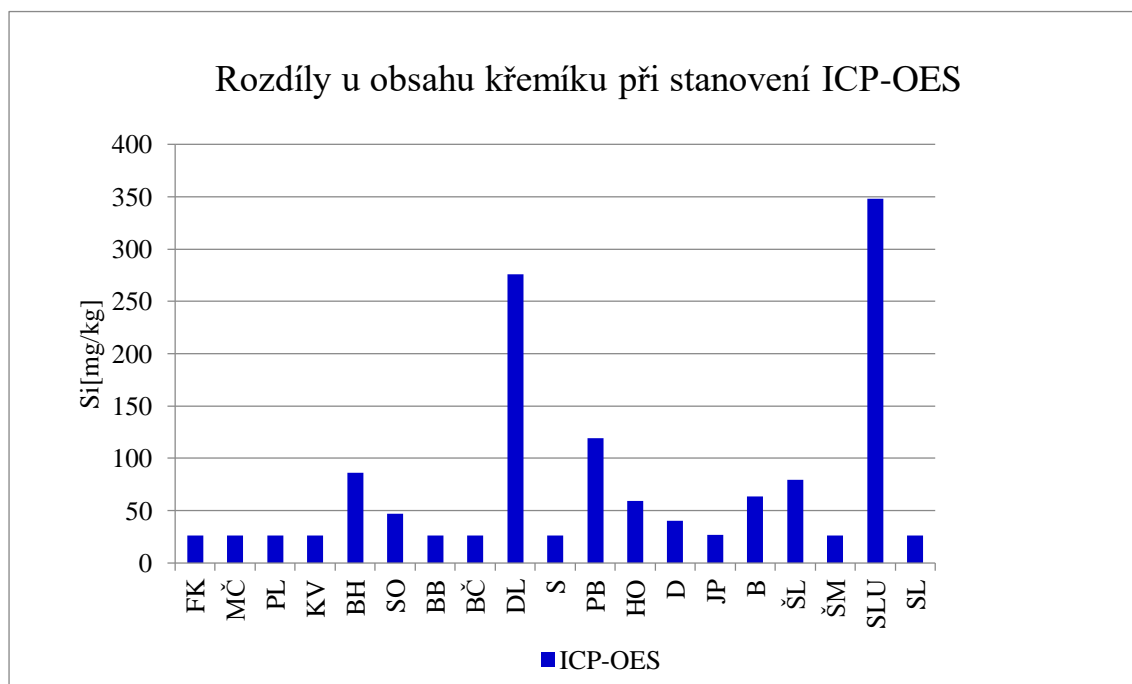
## 5.2.5 Obsah křemíku

Hodnoty stanovené u Si pomocí PXRF byly většinou o 96 až 99 % vyšší oproti ICP-OES (viz. obrázek č. 17 a č. 18). Nejmenší rozdíl mezi metodami byl určen u vzorku fenyklu kořeninového (č. 37), kde byl 80 % rozdíl. Největší rozdíl byl vyhodnocen u několika vzorků: sedmikrásky obecné (č. 9), sedmikrásky obecné (č. 12), rmence sličného (č. 99), aksamitníku vzpřímeného (č. 106), kde byl zaznamenán rozdíl až 100 %. Hodnoty dle analýzy ICP-OES se pro Si pohybovaly v rozmezí od 26 mg/kg do 347,9 mg/kg v závislosti na druhu rostliny, nejnižší obsah Si byl zaznamenán ve vzorcích fenyklu kořeninového, medvědího česneku, proskurníku lékařského, kopru vonného, bezu černého, bergénie brvité, šalvěje lékařské, smetanky lékařské a svíčkovce a nejvyšší obsah u slunečnice.

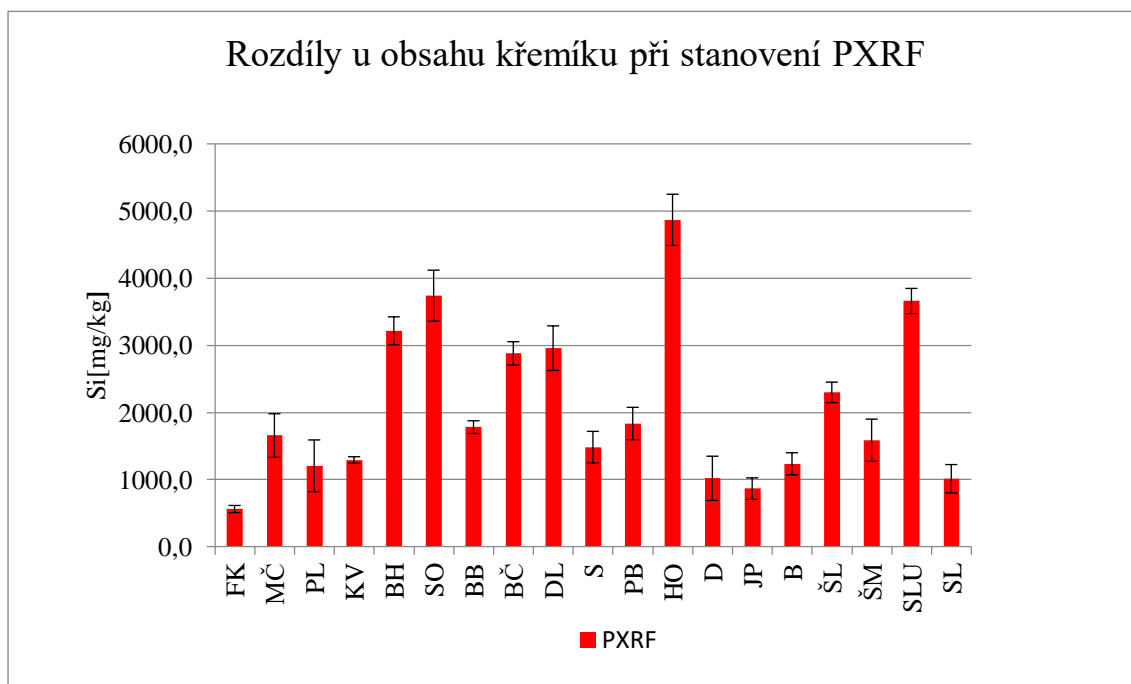
U květů z čeledi hvězdicovitých (sedmikrásky obecné, smetanky lékařské, slunečnice a devětsilu lékařského) byl obsah Si u metody ICP-OES statisticky významně rozdílný.

Nejvíce se od všech druhů květů z čeledi hvězdnicovitých lišila slunečnice a devětsil lékařský. Obsah Si v ostatních květech byl analyzován v nižších koncentracích. U hluchavkovitých rostlin (u druhů šalvěže a popence břečťanovitého) se květy v metodě ICP-OES statisticky významně lišily. V květu u šalvěže muškátové byla obsažena nižší koncentrace Si než u šalvěže lékařské a popence břečťanovitého. Koncentrace u hluchavkovitých rostlin mohl být ovlivněn povrchem koruny květu, kdy u šalvěže lékařské a popence byly obsaženy chloupky. U čeledi liliovitých (denivky a bohyšky) dle metody ICP-OES byl obsah Si u bohyšky vyšší než u denivky. Dle referenční metody ICP-OES v porovnání mezi čeleděmi byl obsah Si statisticky významně rozdílný, u hvězdnicovitých rostlin byly zaznamenány vyšší koncentrace Si než u hluchavkovitých liliovitých rostlin. Dle výsledků práce koncentrace Si byla v květu obsažena v závislosti na druhu rostliny čeledi.

Obrázek č. 17: Rozdíly u obsahu křemíku při stanovení ICP-OES



Obrázek č. 18: Rozdíly u obsahu křemíku při stanovení PXRF



**Vysvětlivky:** ŠL - šalvěj lékařská, ŠM - šalvěj muškátová, KV - kopr vonný, BH - begónie hlíznatá, SO - sedmikráska obecná, BB - bergénie brvitá, SL - smetanka lékařská, BČ - bez černý, MČ - medvědí česnek, D - denivka, JP - jaterník podléška, B - bohyška, SLU - slunečnice, FK - fenykl kořeninový, PL - proskurník lékařský, DL - devětsil lékařský, S - svičkovec, PB - popenec břečťanovitý, HO - hadinec obecný

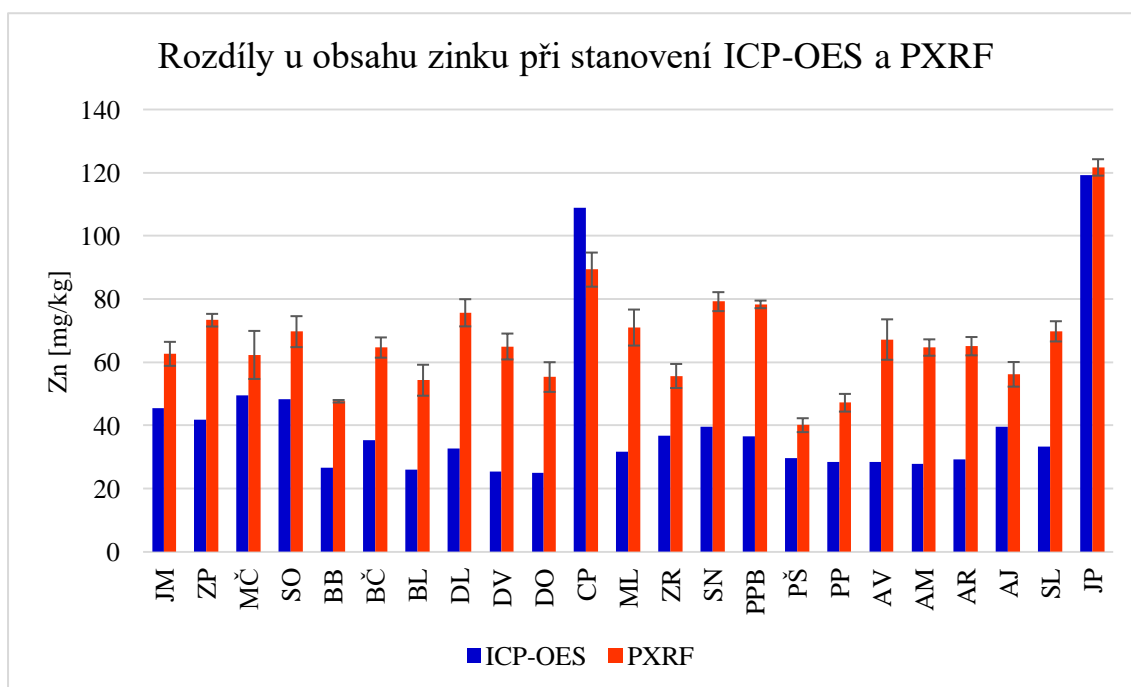
## 5.2.6 Obsah zinku

Hodnoty stanovené u Zn pomocí PXRF byly většinou o 53 až 61 % vyšší oproti ICP-OES (viz. obrázek č. 19). Výjimkou byl vzorek chrpy polní, kde byla zaznamenána vyšší hodnota u metody ICP-OES oproti PXRF. Nejmenší 2 % rozdíl mezi metodami byl zaznamenán u vzorku jetele plazivého (č. 65). Metodou ICP-OES u jetele plazivého byla naměřena hodnota o obsahu 119,3 mg/kg a metodou PXRF 121,7 mg/kg. Největší rozdíl byl zaznamenán u vzorku netýkavky-červené (č. 59), kde byla neshoda z 95 %. Hodnoty dle analýzy ICP-OES se pro Zn pohybovaly v rozmezí od 25 mg/kg do 119,3 mg/kg v závislosti na druhu rostliny, nejnižší obsah Zn byl zaznamenán ve vzorku dobromysli obecné a nejvyšší obsah u jetele plazivého.

U květů z čeledi hvězdnicovitých (druhů aksamitníků, chrpy polní, smetanky lékařské, sedmikrásky obecné, měsíčku lékařského a devětsilu lékařského) byl obsah Zn u metody ICP-OES různý. Největší rozdíl v obsahu Zn byl u květů chrpy polní, sedmikrásky obecné a u aksamitníku jemnolistého, z nichž nejvyšší koncentraci měla chrpa polní. Obsah Zn v ostatních květech byl analyzován v nižších koncentracích. U hluchavkovitých rostlin

(zavinutky rourkovité, zběhovce plazivého a dobromysle obecné) se květy v metodě ICP-OES statisticky významně lišily. Obsah Si u hluchavkovitých byl obsažen v květu v závislosti na druhu rostliny. U dobromysle obecné byla v květu obsažena nižší koncentrace Si než u zavinutky rourkovité a zběhovce plazivého. Dle výsledků práce koncentrace Si byla v květu obsažena v závislosti na druhu rostliny.

Obrázek č. 19: Rozdíly u obsahu zinku při stanovení ICP-OES a PXRf



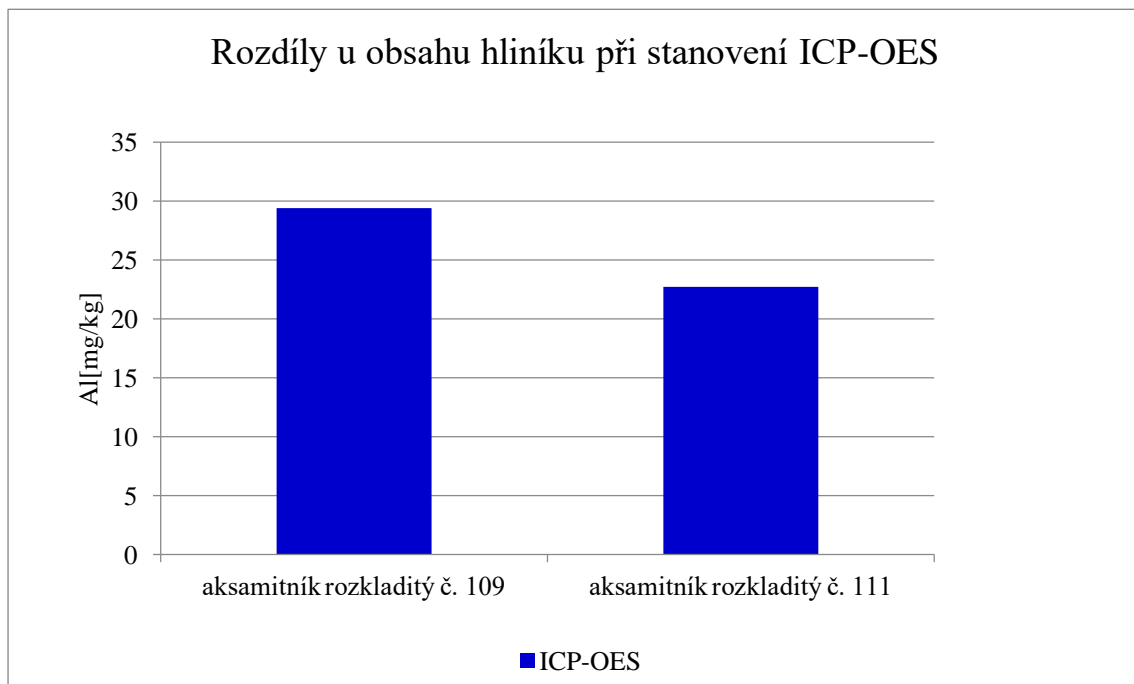
**Vysvětlivky:** AV - aksamitník vzpřímený, AM - aksamitník mexický, AR - aksamitník rozkladitý, AJ - aksamitník jemnolistý, ML - měsíček lékařský, ZR - zavinutka rourkovitá, SO - sedmikráska obecná, BB - bergénie brvitá, BČ - bez černý, CP - chrpa polní, PŠ - pelargónie štítnatá, PP - pelargónie páskatá, PPB - pažitka pobřežní, MČ - medvědí česnek, BL - brutnák lékařský, DV - divizna velkokvětá, DO - dobromysl obecná, JM - jírovec maďal, ZP - zběhovce plazivý, DL - devětsil lékařský, SN – snědek nicí, SL - smetanka lékařská, JP - jetel plazivý

## 5.3 Srovnání obsahu těžkých kovů v závislosti na metodě ICP-OES a PXRF

### 5.3.1 Obsah hliníku

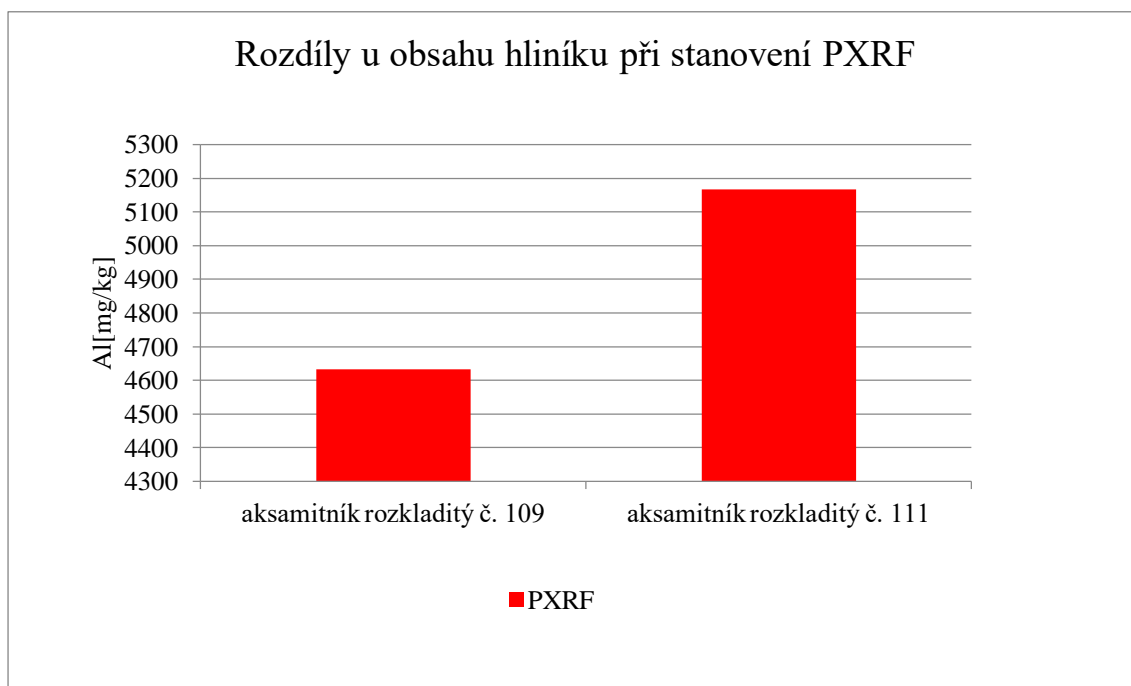
Obsah Al mezi metodami byl u většiny vzorků neporovnatelný z důvodu nedetekovatelnosti tohoto prvku metodou PXRF. Koncentrace Al byla analyzována pouze u dvou rostlinných vzorků aksamitníků rozkladitých č. 109 a č. 111 (viz. obrázek č. 20 a č. 21). Mezi metodami u obou vzorků u stanoveného prvku byl 100 % statisticky významný rozdíl. U metody ICP-OES byl obsah Al zjištěn u všech měřených rostlinných vzorků.

Obrázek č. 20: Rozdíly u obsahu hliníku při stanovení ICP-OES





Obrázek č. 21: Rozdíly u obsahu hliníku při stanovení PXRF



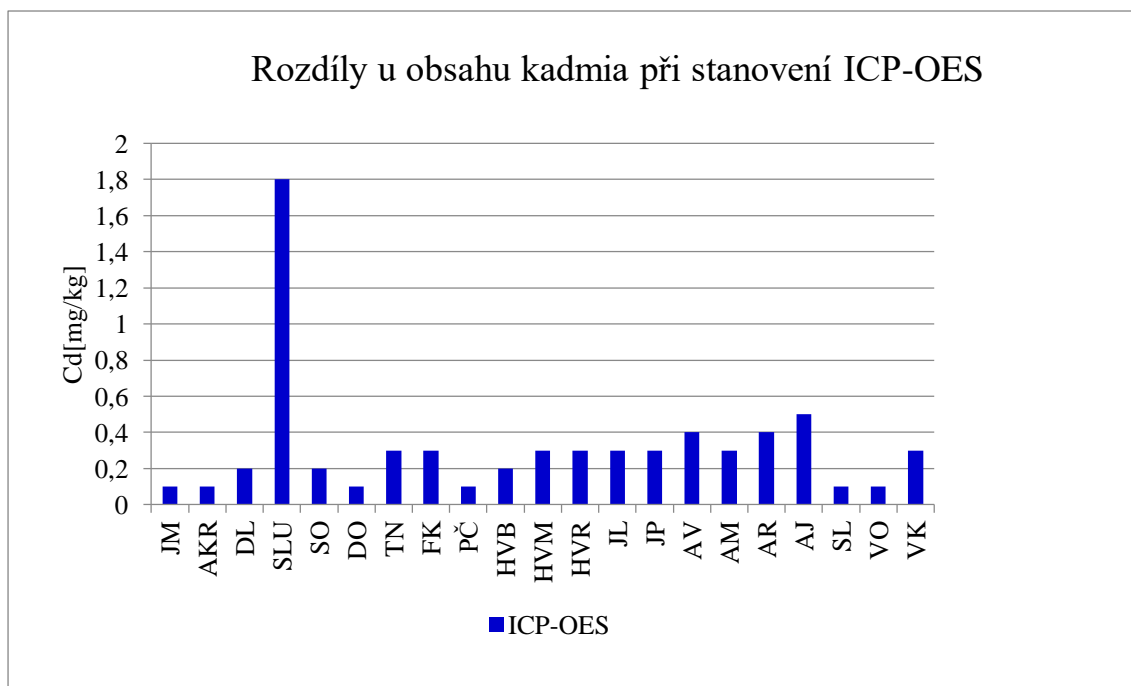
### 5.3.2 Obsah kadmia

Hodnoty stanovené u Cd pomocí PXRF byly většinou o 99 až 100 % vyšší oproti ICP-OES (viz. obrázek č. 22 a č. 23). Nejmenší 93 % rozdíl mezi metodami byl stanoven u vzorku slunečnice (č. 105). Největší rozdíl byl zaznamenán u většiny vzorků a to až 100 %, například u vzorku jírovce maďal (č. 1), akátu růžového (č. 3), pažitky čínské (č. 4), sedmikrásky obecné (č. 15), dobromyslu obecného (č. 35) a další. Hodnoty dle analýzy ICP-OES se pro Cd pohybovaly v rozmezí od 0,1 mg/kg do 1,8 mg/kg v závislosti na druhu rostliny, nejnižší obsah Cd byl zaznamenán ve vzorku například u akátu růžového, pažitky čínské a smetanky lékařské a nejvyšší obsah u slunečnice.

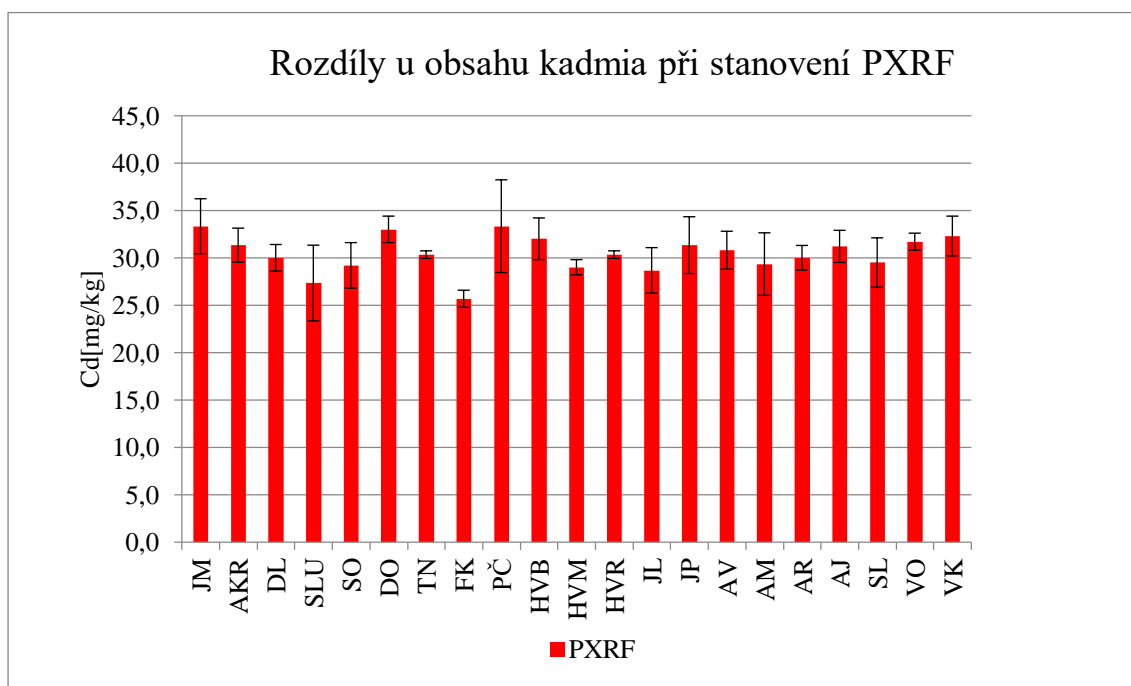
U květů z čeledi hvězdnicovitých (druhů aksamitníků, třapatky nachové, smetanky lékařské, sedmikrásky obecné, slunečnice a devětsilu lékařského) byl obsah Cd u metody ICP-OES statisticky významně rozdílný. Nejnižší koncentrace Cd byly zaznamenaný u smetanky lékařské a sedmikrásky obecné. Nejvyšší koncentrace Cd byla u květu slunečnice. Obsah Cd v ostatních květech byl analyzován v nižších koncentracích. U bobovitých rostlin (druhů jetelů, vistárie květnaté a akátu růžového) se květy v metodě ICP-OES statisticky významně nelišily, výjimkou byl akát růžový, u kterého byla zaznamenána vyšší koncentrace Cd. Obsah Cd u bobovitých rostlin byl v květu obsažen závislosti na akumulaci těžkého kovu

Cd. Dle výsledků práce koncentrace Cd byla v květu obsažena v závislosti na kumulaci těžkého kovu rostlinou.

Obrázek č. 22: Rozdíly u obsahu kadmia při stanovení ICP-OES



Obrázek č. 23: Rozdíly u obsahu kadmia při stanovení PXRF



**Vysvětlivky:** AV - aksamitník vzpřímený, AM - aksamitník mexický, AR - aksamitník rozkladitý, AJ - aksamitník jemnolistý, HVB - hyacint východní bílý, HVM - hyacint východní modrý, HVR - hyacint východní růžový, SO – sedmikráska obecná, SL – smetanka lékařská, VK - vistárie květnatá, PČ - pažitka čínská, DO - dobromysl obecná, TN - třapatka nachová, SLU - slunečnice, JM - jírovec maďal, AKR - akát růžový, DL - devětsil lékařský, FK - fenykl kořeninový, JL - jetel luční, JP - jetel plazivý, VO – viola okrasná

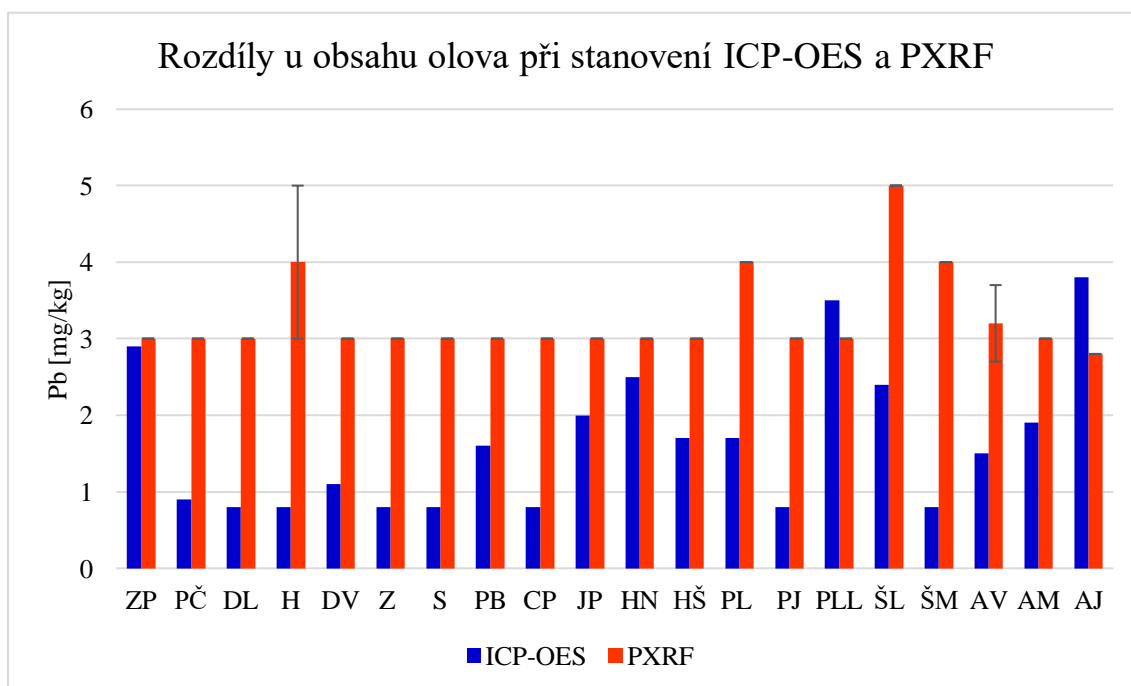
### 5.3.3 Obsah olova

Obsah Pb mezi metodami byl u většiny vzorků neporovnatelný z důvodu nedetekovatelnosti tohoto prvku metodou PXRF. Hodnoty stanovené u Pb pomocí PXRF byly většinou o 73 až 80 % vyšší oproti ICP-OES (viz. obrázek č. 24). Výjimkou byly vzorky plicníku lékařského a aksamitníku jemnolistého, kde byly zaznamenány vyšší hodnoty u metody ICP-OES oproti PXRF. Nejmenší 3 % rozdíl mezi metodami PXRF a ICP-OES byl zaznamenán u vzorku zběhovce plazivého (č. 2). Metodou ICP-OES u zběhovce plazivého byla naměřena hodnota o obsahu 2,9 mg/kg a metodou PXRF 3 mg/kg. Největší 100 % rozdíl byl zaznamenán u vzorku aksamitníku rozkladitého (č. 109). Hodnoty dle analýzy ICP-OES se pro Pb pohybovaly v rozmezí od 0,8 mg/kg do 3,8 mg/kg v závislosti na druhu rostliny, nejnižší obsah Pb byl zaznamenán například ve vzorku šalvěje muškátové, svičkovce a hvozdíku a nejvyšší obsah u aksamitníku jemnolistého.

U květů z čeledi hvězdnicovitých (druhů aksamitníků, chrpy polní, podbělu lékařského a devětsilu lékařského) byl obsah Pb u metody ICP-OES statisticky významně rozdílný.

Statisticky významné rozdíly byly mezi druhy aksamitníků, kde se významně lišil aksamitník jemnolistý v porovnání i mezi ostatními druhy květů z čeledi hvězdnicovitých. U Chrpy polní a devětsilu lékařského byly naměřeny nižší hodnoty Pb v porovnání s ostatními zmíněnými květy, ale mezi nimi o stejné koncentraci. Zde nelze potvrdit, že koncentrace olova mohla být ovlivněna obsahem stanoviště. U hluchavkovitých rostlin (druhů šalvěže, hluchavky nachové, popence břečťanovitého a zběhovce plazivého) se květy u obsahu Pb v metodě ICP-OES statisticky významně lišily. U šalvěže lékařské a hluchavky nachové byly analyzovány vyšší, ale stejné koncentrace v porovnání s ostatními uvedenými květy u čeledi hluchavkovitých. Významně se lišily druhy šalvěže a zběhovec plazivý. U bobovitých rostlin (hrachoru širolistého a jetele plazivého) se obsahy Pb v květech statisticky významně lišily u obou metod. Dle výsledků práce koncentrace Pb byla v květu obsažena v závislosti na kumulaci těžkého kovu rostlinou.

Obrázek č. 24: Rozdíly u obsahu olova při stanovení ICP-OES a PXRf



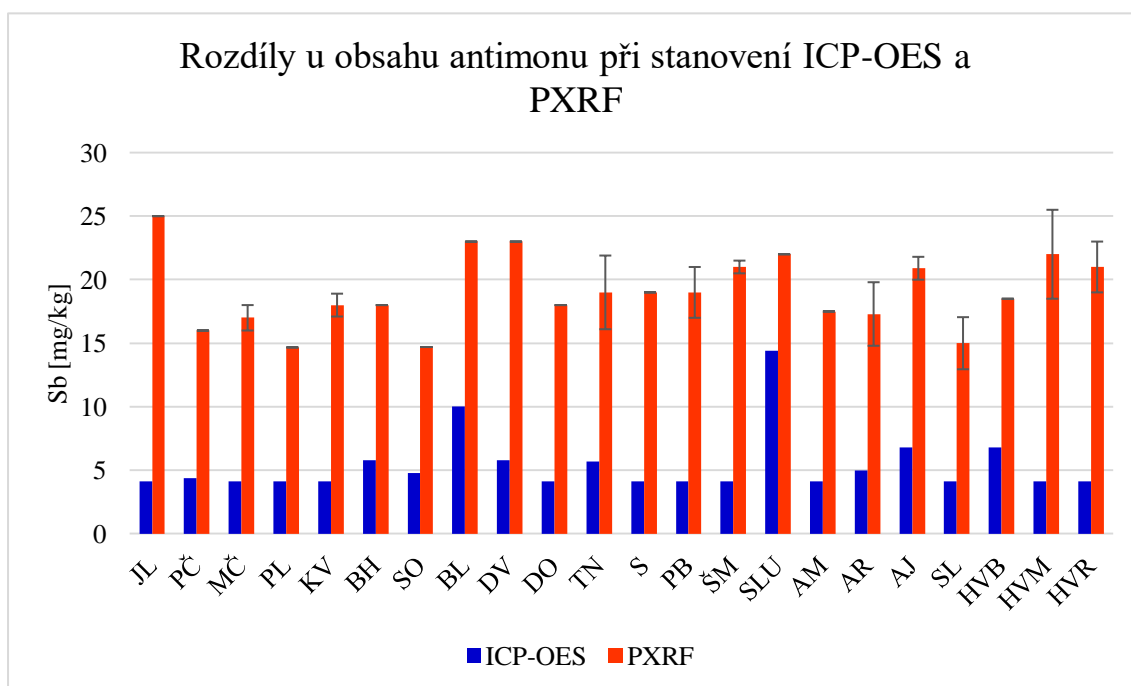
**Vysvětlivky:** AV - aksamitník vzpřímený, AM - aksamitník mexický, AJ - aksamitník jemnolistý, ŠL - šalvěž lékařská, ŠM - šalvěž muškátová, CP - chrpa polní, HN - hluchavka nachová, PČ - pažitka čínská, DV - divizna velkokvětá, ZP - zběhovec plazivý, DL - devětsil lékařský, H - hvozdík, Z - zlatice, S - svičkovec, PB - popenec břečťanovitý, JP - jetele plazivý, HŠ - hrachor širolistý, PL - podběl lékařský, PJ - prvosenka jarní, PLL - plicník lékařský

### 5.3.4 Obsah antimonu

Obsah Sb mezi metodami byl u většiny vzorků neporovnatelný z důvodu nedetekovatelnosti tohoto prvku metodou PXRF. Hodnoty stanovené u Sb pomocí PXRF byly většinou o 73 až 88 % vyšší oproti ICP-OES (viz. obrázek č. 25). Nejmenší 5 % rozdíl mezi metodami byl zaznamenán u vzorku sedmikrásky obecné (č. 15). Metodou ICP-OES u sedmikrásky obecné byla naměřena hodnota o obsahu 4,8 mg/kg a metodou PXRF 14,7 mg/kg. Největší 84 % rozdíl byl zaznamenán u vzorku jetele lučního (č. 64). Hodnoty dle analýzy ICP-OES se pro Pb pohybovaly v rozmezí od 4,1 mg/kg do 14,4 mg/kg v závislosti na druhu rostliny, nejnižší obsah Pb byl zaznamenán například u vzorků smetanky lékařské, aksamitníku mexického a popence břechťanovitého a nejvyšší obsah u slunečnice.

U květů z čeledi hvězdnicovitých (druhy aksamitníků, smetanky lékařské, sedmikrásky obecné, slunečnice a třapatky nachové) byl obsah Sb u metody ICP-OES statisticky významně rozdílný, z nichž největší odlišnost byla zaznamenána u vzorku slunečnice, která měla vysoký obsah Sb. Shodné hodnoty byly určeny u sedmikrásky obecné a třapatky nachové. U hluchavkovitých rostlin (šalvěje muškátové, dobromyslu obecného a popence břechťanovitého) se květy v metodě ICP-OES shodovaly v koncentraci Sb. Dle výsledků práce koncentrace Sb byla v květu obsažena v závislosti na kumulaci těžkého kovu rostlinou.

Obrázek č. 25: Rozdíly u obsahu antimonu při stanovení ICP-OES a PXRF



**Vysvětlivky:** AM - aksamitník mexický, AR - aksamitník rozkladitý, AJ - aksamitník jemnolistý, HVB – hyacint východní bílý, HVM - hyacint východní modrý, HVR - hyacint východní růžový, ŠM - šalvěj muškátová, KV - kopr vonný, BH - begonie hlíznatá, SO - sedmikráska obecná, SL - smetanka lékařská, PČ - pažitka čínská, MČ - medvědí česnek, BL - brutnák lékařský, DV - divizna velkokvětá, DO - dobromysl obecná, TN - třapatka nachová, SLU - slunečnice, PB - popenec břečťanovitý, S - svičkovce, PL - proskurník lékařský, JM - jírovec maďal, JL - jetel luční

## 6 Diskuze

Kibar & Kibar (2017) prováděli pomocí ICP-OES analýzu minerálních látek u slézu přehlíženého (*Malva neglecta*), truskavec sp. (*Polygonum cognatum*) a *Trachystemon orientalis* v sušeném stavu. Dle nich hodnoty stanovené touto metodou vycházely pro K od 1219,19 do 1867,47 mg/100 g, pro P od 56,89 do 195,86 mg/100 g, pro Ca od 282,96 do 688,32 mg/100 g a pro Mg od 112,54 do 165,79 mg/100 g. Získané výsledky práce u metody ICP-OES potvrzují stanovisko Kibar & Kibar (2017), hodnoty u některých minerálních látek jsou vyšší v závislosti na druhu květu. Obsah K se nejčastěji pohyboval v rozmezí od 1237,45 do 2093,16 mg/100 g, i když u některých vzorků byly i hodnoty vyšší, to samé i pro P, Ca a Mg. Koncentrace pro P se pohybovaly v rozmezí od 71,3 do 479, 4 mg/100 g. Pro Ca v rozmezí od 45,1 do 757,7 mg/100 g a pro Mg od 30,3 do 284,1 mg/100 g.

Dle Grzeszczuk et al. (2018) byl pomocí metody AAS stanoven obsah P v jedlých květech, který se pohyboval v rozmezí od 331 do 916 mg/100 g, dále koncentrace K se v květech pohybovala v rozmezí od 2000 do 5000 mg/100 g, obsah Ca v rozmezí od 43 do 1760 mg/100 g a Mg od 170 do 670 mg/100 g v sušině. Obsah S byl zaznamenán v průměru od 114 do 125 mg/100 g, obsah Fe od 1866 do 72300 mg/100 g, Zn od 2970 do 13729 mg/100 g, Cu od 888 do 3226 mg/100 g a Mn od 2351 do 8213 mg/100 g (Grzeszczuk et al. 2018). Ve výsledcích práce se obsah Cu pohyboval v rozmezí od 0,98 do 29,88 mg/100 g, obsah Fe od 0,92 do 108,49 mg/100 g, obsah Mn od 0,44 do 12,18 mg/100 g, obsah S od 53,58 do 1317,04 mg/100 g a obsah Zn od 1,9 do 187,32 mg/100 g. Při porovnání studie s výsledky práce dle metody AAS a ICP-OES, vychází hodnoty metody AAS u zmíněných prvků ve vyšších koncentracích. Dle Grzeszczuk et al. (2018) byly stanoveny prvky u rostlin topolovky růžové (*Alcea rosea*) a měsíčku lékařského (*Calendula officinalis*) v sušené formě o navážce 1 g metodou AAS. Nejvyšší koncentrace byly zjištěny u draslíku, následované dusíkem a fosforem. U rostliny *Calendula officinalis* byl obsah K 4,4 g/kg a obsah Ca u *Alcea rosea* 21,75 g/kg. Ve výsledcích práce u metody ICP-OES obsah K u květu *Calendula officinalis* byl 23,14 g/kg a u metody PXRF 90,97 g/kg. U květu *Alcea rosea* byl ve výsledcích práce dle metody ICP-OES obsah Ca 1,37 g/kg a u PXRF 1,80 g/kg. Rozdíly koncentrací prvků mohly být ovlivněny obsahem látek v půdě anebo použitím jiné metody.

Blamey et al. (2018) prováděli měření pomocí mikro-rentgenové fluorescenční spektrometrie na živých listech rostliny *Vigna unguiculata* a zároveň výsledky porovnávali s běžně používanou metodou ICP-OES. Dle této studie zjistili, že metoda mikro-rentgenová

fluorescenční spektrometrie může být využita pro určení mikroživin Mn, Fe, Cu a Zn v rostlinném materiálu. Koncentrace těchto minerálních látek dle metody  $\mu$ -XRF se pohybovaly pro Mn 0,2 mg/kg, Fe 6 mg/kg, Cu 0,2 mg/kg a Zn 0,5 mg/kg a dle ICP-OES pro Mn 0,23 mg/kg, Fe 7 mg/kg, Cu 0,2 mg/kg a Zn 0,4 mg/kg. Z výsledků vyplývá, že hodnoty metod byly srovnatelné. Z výsledků práce se toto doporučení nepotvrdilo. Metoda PXRF analyzovala koncentraci Mn v rozmezí od nedetekovatelnosti vzorku do 306 mg/kg, Fe od 64,3 mg/kg do 2739,8 mg/kg, Cu od nedetekovatelnosti vzorku do 88,7 mg/kg a Zn od 33 mg/kg do 167 mg/kg. Z výsledné práce se hodnoty PXRF od metody ICP-OES lišily u většiny vzorků, u Cu o 47 až 52 %, u prvku Mn o 57 až 63 %, z nichž většina vzorků byla nedetekovatelných. Dále u prvku Zn byla odlišnost mezi metodami o 53 až 61 % a u Fe o 78 až 95 %.

Dle Blamey et al. (2018) byla metoda  $\mu$ -XRF nevhodná pro stanovení prvků K, Mg, Ca, S, P a B v rostlinném materiálu. Koncentrace dle této studie pro obsah Ca byla 1000 mg/kg, pro obsah Mg 95 mg/kg, pro obsah K 300 mg/kg, pro obsah S 340 mg/kg, pro obsah P 5 mg/kg a pro B 1 mg/kg. U metody ICP-OES hodnoty pro obsah Ca byla 900 mg/kg, pro Mg 89 mg/kg, pro K 140 mg/kg, pro S 240 mg/kg, pro P 3 mg/kg a pro B 3 mg/kg. Dle těchto výsledků vyplývá, že metoda  $\mu$ -XRF poskytuje vyšší hodnoty než ICP-OES. Toto tvrzení bylo potvrzeno dle výsledků práce u metody ICP-OES. U metody PXRF byly několikanásobně vyšší hodnoty než u referenční metody ICP-OES. Koncentrace u PXRF pro obsah Ca byla v rozmezí od 6065 mg/kg do 86246,7 mg/kg, pro obsah K od 6082 mg/kg do 187566,7 mg/kg, pro obsah S od 1861,3 mg/kg do 28462 mg/kg a pro P od 4452,3 do 20008,3 mg/kg. Obsah Mg a B nebyl analyzován.

Navarro-González et al. (2015) použili ICP-OES pro analýzu prvkového složení jedlých květů v čerstvém stavu u rostlin *Tropaeolum majus*, *Tagetes erecta* a *Spilanthes oleracea*. Dle nich se obsah minerálních látek nelišil od ostatních jedlých květů. V této studii analyzovali obsah Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, S, Sr, V a Zn. Ve výsledcích práce se neprokázalo využití metody ICP-OES pro prvky Bi a Sr. Oproti tomu byl metodou ICP-OES stanovitelný obsah Al, As, Pb, Sb, Se a Si. Toto tvrzení vyvrací Goncalves et al. (2017), kteří tvrdí, že metodou není možné stanovit As. Naopak jí doporučují pro stanovení Cd, Cu a Ni. Průkaznost mohla být ovlivněna rozdílným stavem vzorku (sušený nebo čerstvý stav). Dle Navarro-González et al. (2015) stanovili u vzorku *Tagetes erecta* obsah Sr, ale dle výsledků práce u metody ICP-OES se toto stanovení nepotvrdilo, protože obsah tohoto prvku metodou nebyl analyzován. U metody PXRF se koncentrace Sr pohybovala v rozmezí od 0,4



mg/ kg do 38,3 mg/kg. Z důvodů nepřesnosti metody PXRF mohly být výsledky u Sr zkreslené a jeho obsah se v jedlých květech nenacházel.

Dle Berzaghi et al. (2018) musí být veškeré vzorky při metodě XRF před analýzou vysušeny a jemně rozemlety. Ve výsledcích práce při stanovení prvkového složení v rostlinném materiálu pomocí PXRF mohlo dojít ke zkreslení výsledků, z důvodu nesprávné homogenizace. Například se jedná o vzorky aksamitníků, u nichž byly mezi metodami největší rozdíly. Důvodem špatné homogenizace byly pevné a silné trubkovité květy, které bylo obtížné rozdrtit na homogenní vzorek.

Další možností zkreslení hodnot výsledků v metodě PXRF mohlo být použití softwaru Geochem, který byl určený pro vzorky půdy. Berzaghi et al. (2018) používali software Bruker SpectraEDX pro minerální analýzu rostlin pomocí systému EDXRF. Dle tohoto módu provedli přesné vyhodnocení pro obsah P, K, Mn, Fe a Zn. Software Bruker SpectraEDX doporučují pro analýzu veškerého rostlinného materiálu a považují ho za přesný pro vyhodnocení prvkového složení rostlin.

Z výsledků práce metoda PXRF pro určení prvkového složení v rostlinném materiálu byla označena za nevhodnou. Metoda PXRF určila mnohem vyšší hodnoty, než bylo u referenční metody pro rostlinné materiály ICP-OES. Pro ověření by bylo vhodné provést další výzkum pro jednotlivé rostlinné vzorky s přesně definovanou navázkou. Dle Marques & Nóbrega (2017) lze využít navázkou 0,3 mg vzorku pro metodu ICP-OES. Pro stanovení výsledné práce byla použita navážka v rozmezí 0,08 – 0,5 g.

## 7 Závěr

Metoda přenosná rentgenová fluorescenční spektrometrie v porovnání s referenční metodou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem se v této práci projevila jako nevhodná pro stanovení prvkového složení rostlinného materiálu. Hypotéza o vhodnosti metody PXRF nebyla potvrzena. Stanovené hodnoty minerálních látek metodou PXRF byly několikanásobně vyšší oproti ICP-OES. Za těchto podmínek PXRF nedokázala správně analyzovat koncentrace pro obsah Al, As, Au, B, Bi, Co, Cr, Hg, In, Mg, Mo, Ni, Se, Sn, Ti a V, Cu, Mn, Mo, Pb, Sb, Tl a W. Pomocí metody PXRF by bylo možné stanovit obsahy Ag, Cl, Rb, Sr, Th, U, Y a Zr, ale byly by potřeba udělat další studie. S největší pravděpodobností důvodem neshody mohlo být použití nevhodného softwaru Geochem u metody PXRF, který byl nakalibrovaný na vzorky půdy.

Výsledky mezi metodami mohly být zkreslené i z důvodu nedostatečného množství rostlinného materiálu. Hodnoty dle práce mohly být průkazné, kdyby se použilo určité množství vzorku o dané hmotnosti. Proto do budoucna by bylo zapotřebí specifikovat určité množství navážky u každé metody. Další možností, jak získat přesné výsledky metodou PXRF, by bylo možné použít vzorky jedlých květů ve formě pelet.

## 8 Seznam použité literatury

Al-Senani GM, Al-Fawzan FF. 2018. Adsorption study of heavy metal ions from aqueous solution by nanoparticle of wild herbs. *Egyptian Journal of Aquatic Research* **44**: 187-194.

Bayram O, Sagdic O, Ekici L. 2015. Natural food colorants and bioactive extracts from some edible flowers. *Journal of Applied Botany and Food Quality* **88**: 170-176.

Berzaghi P, Lotto A, Mancinelli M, Benozzo F. 2018. Technical note: Rapid mineral determination in forages by X-ray fluorescence. *Journal of Dairy Science* **101**.

Bi X, Feng X, Yang Y, Qiu G, Li G, Li F, Liu T, Fu Z, Jin Z. 2006. Environmental contamination of heavy metals from zinc smelting areas in Hezhang County, western Guizhou, China. *Environment International* **32** (7): 883-890.

Bilo F, Borgese L, Wambui A, Assi A, Zacco A, Federici S, Eichert DM, Tsuji K, Lucchini RG, Placidi D, Bontempi E, Deper LE. 2018. Comparison of multiple X-ray fluorescence techniques for elemental analysis of particulate matter collected on air filters. *Journal of Aerosol Science* **122**: 1-10.

Blamey FPC, Paterson DJ, Walsh A, Afshar N, McKenna BA, Cheng M, Tang C, Horst WJ, Menzies NW, Kopittke PM. 2018. Time-resolved X-ray fluorescence analysis of element distribution and concentration in living plants: An example using manganese toxicity in cowpea leaves. *Environmental and Experimental Botany* **156**: 151-160.

Bressy FC, Brito GB, Barbosa IS, Teixeira LSG, Korn MGA. 2013. Determination of trace element concentrations in tomato samples at different stages of maturation by ICP OES and ICP-MS following microwave-assisted digestion. *Microchemical Journal* **109**: 145–149.

Browner P. 2003. *Theory of XRF: getting acquainted with the principles*. Lelyweg: PANanalytical B.V.

Byers HL, McHenry LJ, Grundl TJ. 2019. XRF techniques to quantify heavy metals in vegetables at low detection limits. *Food Chemistry* **XI**.

Cal-Prieto MJ, Felipe-Sotelo M, Carlosena A, Andrade JM, Lo'pez-Mahí'a P, Muniategui P, Prada D. 2002. Slurry sampling for direct analysis of solid materials by electrothermal atomic absorption spectrometry (ETAAS). A literature review from 1990 to 2000. *Talanta* **56**: 1–51.

- Goncalves DA, Domingos de Souza I, Rosa ACG, Melo ESP, Goncalves AMB, Oliveira LCS, Nascimento VA. 2019. Multi-wavelength calibration: Determination of trace toxic elements in medicine plants by ICP OES. *Microchemical Journal* **146**: 381-386.
- Dalipi R, Borgese L, Tsuji K, Bontempi E, Depero LE. 2018. Elemental analysis of teas, herbs and their infusions by means of total reflection X-ray fluorescence. *Journal of Food Composition and Analysis* **67**: 128-134.
- Diaconu D, Diaconu R, Navrotescu T. 2012. Estimation of heavy metals in medicinal plants and their infusions. *Ovidius University Annals of Chemistry* **23**: 115-120.
- Farquhar WB, Edwards DG, Jurkowitz CT, Weintraub WS. 2015. Dietary Sodium and Health. *Journal of the American College of Cardiology* **65** (10): 1042-1050.
- Ferreira SLC, Bezerra MA, Santos AS, Santos WNL, Novaes CG, Oliveira OMC, Oliveira ML, Garcia RL. 2018. Atomic absorption spectrometry – A multi element technique. *Trends in Analytical Chemistry* **100**: 1-6.
- Fernandes L, Casal S, Pereira JA, Saraiva JA, Ramalhosa E. 2017. Edible flowers: A review of the nutritional, antioxidant, antimicrobial properties and effects on human health. *Journal of Food Composition and Analysis* **60**: 38-50.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2011. Working document for information and use in discussions related to contaminants and toxins in the GSCTFF. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- González-Chávez MCA, Carrillo-González R. 2013. Tolerance of *Chrysanthemum maximum* to heavy metals: The potential for its use in the revegetation of tailings heaps. *Journal of Environmental Sciences* **25**: 367–375.
- Grzeszczuk M, Stefaniak A, Meller E, Wysocka G. 2018. Mineral composition of some edible flowers. *Journal of Elementology* **23** (1): 151-162.
- Guldiken B, Ozkan G, Catalkaya G, Ceylan FD, Yalcinkaya IE, Capanoglu E. 2018. Phytochemicals of herbs and spices: Health versus toxicological effects. *Food and Chemical Toxicology* **119**: 37-49.
- He FJ, MacGregor A. 2008. Beneficial effects of potassium on human health. *Physiologia Plantarum* **133** (4): 725-735.

- Hernández-Pellón A, Fernández-Olmo I, Ledoux F, Courcot L, Courcot D. 2017. Characterization of manganese-bearing particles in the vicinities of a manganese alloy plant. *Chemosphere* **175**: 411-424.
- Hou X, He Y, Jones BT. 2004. Recent Advances in Portable X-Ray Fluorescence Spectrometry. *Applied Spectroscopy Reviews* **39**: 1-25.
- Chakraborty S, Li B, Weindorf DC, Deb S, Acree A, Ded P, Pandad P. 2019. Use of portable X-ray fluorescence spectrometry for classifying soils from different land use land cover systems in India. *Geoderma* **338**: 5-13.
- Choppala G, Bolan N, Park JH. 2013. Chromium Contamination and Its Risk Management in Complex Environmental Settings. *Advances in Agronomy* **120**: 129-172.
- Charles DJ. 2013. Antioxidant properties of spices, herbs and other sources. New York: Springer.
- Kibar B, Kibar H. 2017. Determination of the nutritional and seed properties of some wild edible plants consumed as vegetable in the Middle Black Sea Region of Turkey. *South African Journal of Botany* **108**: 117–125.
- Koike A, Barreira JCM, Barros L, Santos-Buelga C, Villavicencio ALCH, Ferreira ICFR. 2015. Edible flowers of *Viola tricolor* L. as a new functional food: Antioxidant activity, individual phenolics and effects of gamma and electron-beam Irradiation. *Food Chemistry* **179**: 6-14.
- Kou L, Turner ER, Luo Y. 2012. Extending the shelf life of edible flowers with controlled release of 1-methylcyclopropene and modified atmosphere packaging. *J. Food Sci* **77** (5): 188–193.
- Marques TL, Nóbrega JA. 2017. Fast and simple flow-batch extraction procedure for screening of macro and micronutrients in dried plant leaves by ICP OES. *Microchemical Journal* **134**: 27-34.
- Marguí E, Zawisza B, Sitko R. 2014. Trace and ultratrace analysis of liquid samples by X-ray fluorescence spectrometry. *Trends in Analytical Chemistry* **53**: 73-83.
- Merta K, Drahokoupil J. 2005. Fyzikální základy rentgenové spektrometrie. In: Helán, V.: Sborník přednášek z kurzu „Rentgenová spektrometrie“. Český Těšín, 2 THETA.

- Mlček J, Rop O. 2011. Fresh edible flowers of ornamental plants e A new source of nutraceutical foods. *Trends in Food Science & Technology* **22**: 561-569.
- Navarro-González I, González-Barrio R, García-Valverde V, Bautista-Ortín AB, Periago MJ. 2015. Nutritional Composition and Antioxidant Capacity in Edible Flowers: Characterisation of Phenolic Compounds by HPLC-DAD-ESI/MS<sup>n</sup>. *International Journal of Molecular Sciences* **16**: 805-822.
- Nicolau AI, Gostin AI. 2016. Safety of Edible Flowers. *Regulating Safety of Traditional and Ethnic Foods* **21**.
- Nirmal Kumar JI, Soni H, Nirmal Kumar R. 2007. Characterization of Heavy Metals in Vegetables Using Inductive Coupled Plazma Analyzer (ICPA). *J. Appl. Sci. Environ. Manage* **11**(3): 75-79.
- Pires TCSP, Dias MI, Barros L, Ferreira ICFR. 2017. Nutritional and chemical characterization of edible petals and corresponding infusions: Valorization as new food ingredients. *Food chemistry* **220**: 337-343.
- Pires TCSP, Dias MI, Barros L, Calhella RC, Alves MJ, Oliveira MBPP, Santos-Buega C, Ferreira ICFR. 2018. Edible flowers as sources of phenolic compounds with bioactive potential. *Food Research International* **105**: 580-588.
- Prasad MNV, Freitas HMO. 2003. Metal hyperaccumulation in plants – Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic of Journal Biotechnology* **6**: 285-321.
- Roosens NCJ, Willems G, Saumitou-Laprade P. 2008. Using Arabidopsis to explore zinc tolerance and hyperaccumulation. *Trends in Plant Science* **13**: 208-215.
- Rop O, Mlček J, Juříková T, Neugebauerová J, Vábková J. 2012. Edible Flowers—A New Promising Source of Mineral Elements in Human Nutrition. *Molecules* **17**: 6672-6683.
- Shahid M, Dumat C, Khalid S, Schreck E, Xiong T, Niazi NK. 2017. Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake. *Journal of Hazardous Materials* **325**: 36-58.
- Sundriyal M, Sundriyal RC. 2004. Wild Edible Plants of the Sikkim Himalaya: Nutritive Values of Selected Species. *Economic Botany* **58**: 286-299.

Szymczycha-Madeja A. 2014. Rapid method of element determination in rye crispbreads by ICP OES. *Arabian Journal of Chemistry* **10**: 3913-3919.

Tangahu BV, Abdullah SRS, Basri H, Idris M, Anuar N, Mukhlisin M. 2011. A Review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants through Phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering* **20**: 31.

The American Herbal Products Association. 2009. Heavy Metals: Analysis and Limits in Herbal Dietary Supplements. AHPA: 1-41.

Thongsaw A, Chaiyasith WCh, Sananmuang R, Ross GM, Ampiah-Bonney RJ. 2017. Determination of cadmium in herbs by SFODME with ETAAS detection. *Food Chemistry* **219**: 453-458.

Tokalioglu S. 2012. Determination of trace elements in commonly consumed medicinal herbs by ICP-MS and multivariate analysis. *Food Chemistry* **134**: 2504-2508.

Vávrová J, Pechová A, Wilhelm Z, Kazda A, Friedecký B, Jabor A. 2007. Vitaminy a stopové prvky. Česká společnost klinické biochemie ČLS JEP, SEKK spol. s.r.o. Pardubice.

Wan M, Hu W, Qu M, Tian K, Zhang H, Wang Y, Huang B. 2019. Application of arc emission spectrometry and portable X-ray fluorescence spectrometry to rapid risk assessment of heavy metals in agricultural soils. *Ecological Indicators* **101**: 583-594.

Zbiral J. et al. 2005. Jednotné pracovní postupy – Analýza rostlinného materiálu. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno.

### **Legislativní dokumenty:**

Vyhláška č. 398/2016 Sb. ze dne 2.12.2016, která stanovuje požadavky na koření, jedlou sůl, dehydratované výrobky, ochucovadla, studené omáčky, dresinky a hořčici. In: Sbíрка zákonů České republiky. 2016. částka 162.

Vyhláška č. 330/1997 Sb. ze dne 11.12.1997, Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí §18 písm. a), d), j) a k) zákona č. 110/1997 Sb., o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů, pro čaj, kávu a kávoviny. In: Sbíрка zákonů České republiky. 2003. částka 110.

Komise EU. 12. května 2014. Maximální limity kadmia v potravinách. Brusel. ES č. 488/2014.

Komise EU. 19. prosince 2006. Maximální limity některých kontaminujících látek v potravinách. Brusel. ES č. 1881/2006.



## 9 Seznam použitých zkratek a symbolů

LP – Lednice park

LEZ – Lednice ZF MENDELU Experimentální zahrada

LN – Lednice Nejdecká 170

LM – Lednice ZF MENDELU Mendeleum

### Seznam použitých prvků

Mg – hořčík, Mn – mangan, Mo – molybden, N – dusík, Na – sodík, Ni – nikl, P – fosfor, Pb – olovo, Rb – rubidium, S – síra, Sb – antimon, Se – selen, Si – křemík, Sn – cín, Sr – stroncium, Th – thorium, Ti – titan, U – uran, V – vanad, W – wolfram, Y – yttrium, Zn – zinek, Zr – zirkonium

## 10 Přílohy

Tabulka č. 2: Průměrné hodnoty prvků u jedlých květů stanovené metodou ICP-OES

Kategorie	Al [mg/kg]	Ca [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Fe [mg/kg]	K [mg/kg]	Mn [mg/kg]
jírovec maďal	19,3	2210,7	0,1	56,6	55,5	12645,6	22,3
zběhovec plazivý	20,8	4158,8	1	31,6	55,4	17784	22,6
akát růžový	19,3	996,1	0,1	41,5	93,5	12599,6	12,6
pažitka čínská	20,9	2231,2	0,1	40,6	64,4	13404,8	9
medvědí česnek	19,3	3913	0,1	77,7	57,3	15671,2	17,9
proskurník lékařský	19,3	7577,9	0,1	65,2	52,4	17502,6	10,8
kopr vonný	19,3	17170,3	0,1	49,1	128,1	16250,4	43,6
begónie hlíznatá	140,6	6133	0,1	84,8	249,3	22073,3	26,4
sedmikráska obecná	25	5432,5	0,2	37,3	66,4	20634,5	26,8
bergénie brvitá	19,3	3672,9	0,1	23,6	50,2	16254,4	11,1
bez černý	19,3	3963,1	0,1	20,3	66,1	24067,1	32,9
brukev zelí čínské	37,3	6604,8	0,2	18,3	44,9	19092,3	39,9
brukev zelí pekingské Su Sheng	19,3	5834,5	0,1	14,2	25,8	24293,2	21,9
brukev zelí pekingské	19,3	7638,7	0,1	14,2	42,1	23369,1	25,8
brutnák bílý	19,3	10709,4	0,1	19,3	55,6	34063,1	24,8
brutnák lékařský	47,5	9782,5	0,2	31,5	22,7	34812	17,5
canna Louis	36,5	3173,7	0,2	19,5	17,4	44563,2	32
zmarlika	19,3	1429,9	0,1	17,7	44,3	18036,1	8,6
cuketa	19,3	6378,4	0,1	40,5	61,2	47887,2	24
devěsil lékařský	19,3	4667	0,2	33,1	58,1	29979,2	32,8
hvozdík	19,3	5359,9	0,1	22,1	62,2	17169	49,6
divizna velkokvětá	27,2	2594,3	0,1	17,9	30,6	12374,5	7,7
dobromysl obecná	19,3	6070,8	0,1	14,5	30,6	15913,5	21,6
třapatka nachová	26,8	8611,1	0,3	32	12,8	18950	6,7
fenykl kořeninový	19,3	13183,8	0,3	26,5	9,2	19795,6	36
orsej jarní	19,3	1162,1	0,3	19,8	9,2	18016,5	16,7
zlatice	19,3	2120,9	0,2	25,4	9,2	12519,8	16,8
křivatec žlutý	19,3	2023,8	0,2	27,8	50,6	28509	13,2
svíčkovec	19,3	4601,3	0,1	14,4	37,9	16380,1	14,1
popenec břečťanovitý	19,3	3610,4	0,4	13,4	35,9	13358,3	7,9
hadinec obecný	43,9	4393,6	0,4	58,6	20,9	61394,5	22,3
denivka	19,3	1221,1	0,3	20,1	9,2	16384,7	8,8
jaterník podléška	20	2906,3	0,6	47,6	9,6	26622,7	9,6
bohyška	19,3	2301	0,2	38,1	23,45	18031	10,95
hyacint východní - bílý	32,2	3167,5	0,2	20,2	15,3	23991,7	12
hyacint východní - modrý	19,3	1731,3	0,3	19	100,3	20572,2	8,6
hyacint východní - růžový	19,3	1970,4	0,3	22,5	9,2	20546,9	10

<b>Kategorie</b>	<b>Al [mg/kg]</b>	<b>Ca [mg/kg]</b>	<b>Cd [mg/kg]</b>	<b>Cu [mg/kg]</b>	<b>Fe [mg/kg]</b>	<b>K [mg/kg]</b>	<b>Mn [mg/kg]</b>
kdoulovec	19,3	1528,6	0,3	47,4	45,3	19637,8	21,7
chrpa polní	19,3	4041,4	0,3	20	67,8	17160	26,7
zlateň věncová	31,2	2207	0,3	20,9	14,9	18756,3	7
netýkavka - bílá	30	13941,7	0,5	34,8	34,7	30838	25,8
netýkavka - červená	80,4	12924,6	1,25	114,2	38,3	28061,3	92,5
angínovník čínský	19,3	2684,8	0,4	21,4	33,6	19013,3	11,6
angínovník - tmavý	19,3	1978,4	0,4	19,5	9,2	25870,8	8,7
jetel	19,3	3973,6	0,2	18,1	46,7	17942,3	19,9
jetel luční	19,3	6286,4	0,3	11,9	9,2	19856,2	24,4
jetel plazivý	19,3	5064,5	0,3	32,3	51,5	20766,3	20,1
jírovec červený	19,3	1375,4	0,1	19	9,2	12963,8	11,4
jiřina fialová	19,3	4716,9	0,3	22,2	26,7	26572,7	25,4
jiřina krémová	22,4	4744,9	0,3	37,3	73,7	21513,9	37
jiřina bílá	58,5	5213,9	0,9	37,9	27,9	33760,3	30,9
jiřina červená	19,3	3522,6	0,3	12,9	9,2	20667,7	22,4
jiřina oranžová	19,3	3381,7	0,3	16,9	9,2	22081,3	24
klokoč zpeřený	19,3	6224,3	0,3	19,2	75,6	26746	12,7
kopretina řimbaba	19,3	5106,7	0,1	14,2	9,2	27107,2	88,7
kosatec světlý	19,3	1258,5	0,3	9,8	9,2	27233,6	8,1
hluchavka nachová	20,7	3143,6	0,1	18,9	21,9	40814,5	15,5
hrachor široolistý	19,3	1897	0,3	21,8	60	22494,7	8,9
lilie	19,3	2443,4	0,5	38,9	44,4	29206,1	5,1
jabloň	19,3	4153,4	0,3	29,5	9,2	15150,6	14
měsíček lékařský	19,3	2252,4	0,2	13,9	9,2	23140,1	6,6
zavinutka rourkovitá	45,9	3650,9	0,7	30	21,9	23830,5	10,7
sneděk nicí	19,3	4325,2	0,2	33,3	18,2	17342,8	13,8
pažitka pobřežní	19,3	2391,4	0,3	33,3	9,2	13323,6	14,7
pelargonie štítnatá	37,6	1912,3	0,3	28,3	22,6	25593,9	12,3
pelargonie páskatá	33,1	1734,1	0,3	22,3	106,8	22021,9	11,8
plamenka - bílá	19,3	3039,3	0,3	18,2	9,2	19539,4	12,1
plamenka - fialová	25,5	4581,5	0,1	28,8	31,7	18813,2	19,8
plamenka	34,9	3211	0,2	34,9	55,6	20833,7	24,5
pivoňka bílá	19,3	1566,8	0,1	17,8	9,2	15279,1	8,3
pivoňka růžová	19,3	1089,6	0,4	15	9,2	11969,7	6,3
podběl lékařský	41,9	4048	0,6	42,2	20	23528	16,3
kokořík vonný	19,3	4294,2	0,1	23,2	9,2	23351,2	14
prvosienka jarní	87,3	4412,3	0,1	25,8	64,9	20931,6	16,8
plicník lékařský	113,8	5617,1	0,1	28,4	55,6	38853,8	21,7
reveň / Rebarbora	148,8	2817,3	0,1	79	153,3	28795,9	55,6
rmeneč sličný	150,9	5313	0,1	23,6	138,1	19438,5	62,9
růže - oranžová	19,3	880,9	0,1	41,4	70,5	16695,2	17,2
růže - žlutá	78,1	1011,5	0,1	21	92,4	17874,5	23,5
řebříček obecný	19,3	9410,5	0,1	24,8	88	20439,1	57,4

<b>Kategorie</b>	<b>Al [mg/kg]</b>	<b>Ca [mg/kg]</b>	<b>Cd [mg/kg]</b>	<b>Cu [mg/kg]</b>	<b>Fe [mg/kg]</b>	<b>K [mg/kg]</b>	<b>Mn [mg/kg]</b>
šalvěj lékařská	215,6	7924,2	0,3	38,6	91,4	34386,1	14,7
šalvěj muškátová	19,3	4301,6	0,1	28,9	100,2	39498	18,9
slunečnice	381,3	10741,2	1,8	85,2	1084,9	80196	121,8
aksamitník vzpřímený	19,3	3256,3	0,4	23	180	15851,8	26,9
aksamitník mexický	19,3	2029	0,3	26,6	9,2	16414,3	18,9
aksamitník rozkladitý	23,8	3180,7	0,4	24,3	44,7	25925,1	282
aksamitník jemnolistý	32	3863,4	0,5	47,9	137	17638,5	80
smetanka lékařská	19,3	865,4	0,1	31,9	28,4	11398,3	19,9
topolovka růžová	19,3	1369,4	0,1	21,9	23,8	31255,1	17,6
trnovník akát	19,3	3648	0,1	24,6	36,6	25045,6	41,5
tulipán	19,3	357,2	0,1	24,8	36,7	4664,9	4,5
tykev	23,9	4778,6	0,1	53,1	42,5	49243,65	31,3
violka vonná - bílá	113,5	7652,9	0,6	298,8	54	112748,8	55,3
violka vonná - fialová	19,3	27504	0,1	22,2	33,9	23990,8	15,9
viola okrasná	19,3	3065	0,1	17,1	57,1	26024	4,4
vistárie květnatá	56,9	8475,4	0,3	88,7	32,1	73938,2	39,1
<b>Kategorie</b>	<b>Ni [mg/kg]</b>	<b>P [mg/kg]</b>	<b>Pb [mg/kg]</b>	<b>S [mg/kg]</b>	<b>Sb [mg/kg]</b>	<b>Si [mg/kg]</b>	<b>Zn [mg/kg]</b>
jírovec maďal	0,9	3597,4	3,3	1351	4,1	26	45,4
zběhovec plazivý	1,8	3548,5	2,9	1153,4	4,4	28	41,9
akát růžový	5,6	4027,3	6,4	2119,1	4,1	26	50,9
pažitka čínská	0,2	4565,9	0,9	11747	4,4	28	51,8
medvědí česnek	0,6	4470,2	0,8	6088,6	4,1	26	49,5
proskurník lékařský	0,5	4672,5	0,8	3812,6	4,1	26	45,2
kopr vonný	1,9	6956,3	0,8	9878,8	4,1	26	71,3
begónie hlíznatá	1,9	6685	54,3	3522	5,8	86	58,8
sedmikráska obecná	2,0	5092,2	1,2	2631,5	4,8	47,0	48,2
bergénie brvitá	0,8	3924,1	0,8	1563,8	4,1	26	26,7
bez černý	0,9	5551,7	0,8	3028,4	4,1	26	35,3
brukev zelí čínské	1,9	6393,4	1,5	13170,4	7,9	205,2	93,8
brukev zelí pekingské Su Sheng	2	7287	0,8	6822,3	4,1	106,3	48,6
brukev zelí pekingské	0,6	7592,6	0,8	7232,2	4,1	26	43,3
brutnák bílý	1,2	5232,3	0,8	2504,5	4,1	65,5	27
brutnák lékařský	0,5	5687,7	1,9	2107,6	10	133,7	26,1
canna Louis	2	5666,7	1,5	1872,9	7,7	231	60,6
zmarlika	0,7	3817,2	0,8	1483,4	4,1	135,5	19
cuketa	3,1	8666,9	0,8	2489,2	4,1	83,5	58,3
devětsil lékařský	2	6050,8	0,8	2328,9	4,1	275,7	32,6
hvozdík	1	4277,5	0,8	1835,9	4,1	26	41,2
divizna velkokvětá	1,1	3764,9	1,1	1373,4	5,8	121,2	25,3
dobromysl obecná	2,5	4440,5	0,8	1858,4	4,1	26	25
třapatka nachová	0,9	1871,6	3,3	1550,4	5,7	103,7	25,5
fenykl kořeninový	1,6	5270,5	0,8	1457,8	4,1	26	35,5

<b>Kategorie</b>	<b>Ni [mg/kg]</b>	<b>P [mg/kg]</b>	<b>Pb [mg/kg]</b>	<b>S [mg/kg]</b>	<b>Sb [mg/kg]</b>	<b>Si [mg/kg]</b>	<b>Zn [mg/kg]</b>
orsej jarní	1,7	3317,9	0,8	1702	4,1	26	37,2
zlatice	0,5	2919	0,8	1514,8	4,1	26	39,2
křivatec žlutý	1,4	4541,6	2,1	2313,2	4,1	26	40,4
svíčkovec	0,7	2228,2	0,8	1444,7	4,1	26	25,2
popenec břechťanovitý	0,7	1043	1,6	664,9	4,1	119,2	16,6
hadinec obecný	4,3	7570,2	4,3	3314,5	9,3	59	72
denivka	2,2	2814,5	0,9	951,3	4,1	40,4	38,5
jaterník podléška	1,7	4639,5	2,4	2229,5	4,3	27	61,5
bohyška	1,6	4050,75	1,5	1476,8	4,1	63,6	48,9
hyacint východní - bílý	1,3	4794,5	2,7	5028,7	6,8	43,3	1873,2
hyacint východní - modrý	0,6	3694,7	0,8	2081,2	4,1	26	207,8
hyacint východní - růžový	1,1	4381,2	0,8	3934	4,1	26	432,9
kdoulovec	2,5	4445,1	0,8	2517,3	4,1	26	255
chrpa polní	0,2	2309,4	0,8	1583,2	4,1	66,8	108,8
zlateň věncová	0,3	2913,4	4,2	1763,9	6,6	42	140,9
netýkavka - bílá	0,9	3120,2	1,3	4692,8	6,4	40,6	178
netýkavka - červená	0,8	3180,8	3,3	8929	17	108,3	1728,8
angínovník čínský	0,7	4252	0,8	2225,3	4,1	26	111,7
angínovník - tmavý	0,9	3428,5	1,8	1863,9	4,1	26	109,2
jetel	1	3899,5	1,3	2028,5	4,1	52,7	111,8
jetel luční	2	2855,8	0,8	3086	4,1	26	704,4
jetel plazivý	1,1	4053,7	2	2198,2	4,1	26	119,3
jírovec červený	0,9	3765,4	1,6	1104,6	4,1	26	100,1
jiřina fialová	0,8	2674,2	1,7	1838,4	4,1	65,3	106,2
jiřina krémová	1	2624	2,4	2000,6	4,7	75,6	125,6
jiřina bílá	0,6	4381,8	4,5	2699	12,4	78,8	271,8
jiřina červená	0,6	2565,7	0,8	1647,8	4,1	70	98,1
jiřina oranžová	1,2	3049,5	0,8	1778,3	4,1	100,2	101,4
klokoč zpeřený	3,5	4059,8	0,8	1867,4	4,1	66,9	99,8
kopretina řimbaba	3,4	4014,8	0,8	2024,7	4,1	26	106,5
kosatec světlý	0,9	3915,5	1,9	1666,7	4,1	26	114,2
hluchavka nachová	0,6	3964,5	2,5	1459,8	4,4	27,9	102,1
hrachor široolistý	2,8	3265,2	1,7	1860,2	4,1	26	38,8
lilie	1,2	2852,2	1,8	955,3	4,1	26	55,7
jabloň	0,2	2878,9	0,8	1436,2	4,1	26	29,9
měsíček lékařský	0,4	2840,7	2,6	1301	4,1	68,3	31,7
zavinutka rourkovitá	0,5	2474,5	1,9	884,8	9,7	61,9	36,7
sneděk nicí	0,5	3947,8	1,3	1834,5	4,1	41,6	39,5
pažitka pobřežní	0,2	2917,5	0,8	6165	4,1	26	36,6
pelargónie štítnatá	0,4	2336,3	1,5	694,9	8	68,8	29,7
pelargónie páskatá	0,3	3413,7	1,5	779,1	7,8	78,9	28,4
plamenka - bílá	0,7	4161	0,8	1495,1	4,1	26	27,1
plamenka - fialová	1,6	4814,2	2,4	1824,8	5,4	34,3	36,7

<b>Kategorie</b>	<b>Ni [mg/kg]</b>	<b>P [mg/kg]</b>	<b>Pb [mg/kg]</b>	<b>S [mg/kg]</b>	<b>Sb [mg/kg]</b>	<b>Si [mg/kg]</b>	<b>Zn [mg/kg]</b>
plamenka	1,8	4198,6	1,4	1350,4	7,4	47	42
pivoňka bílá	1,5	3425,4	0,8	1215,9	4,1	26	25,8
pivoňka růžová	1,3	3079,7	0,8	903,1	4,1	26	25,6
podběl lékařský	3,5	4795	1,7	3511,1	8,9	56,5	54,8
kokořík vonný	0,5	3851,7	0,8	1969,7	4,1	26	53,8
prvosienka jarní	8,2	3140,9	0,8	1452,2	4,1	26	39,5
plicník lékařský	1,4	3753	3,5	1076,1	4,1	26	52,4
reveň / Rebarbora	9,7	8498	1,9	4009,8	4,1	68	147,7
rmeneč sličný	1,4	3584,5	0,8	1601,4	4,1	26	56,1
růže - oranžová	0,2	1861,8	6,6	551,8	4,1	26	28,1
růže - žlutá	2,2	1636,4	0,8	403,4	4,1	26	19,5
řebříček obecný	3,4	3546,8	0,8	1393,3	4,1	68	38,7
šalvěj lékařská	6,1	2308,5	2,4	535,8	12,5	79,7	35,5
šalvěj muškátová	0,2	3182,1	0,8	1740,2	4,1	26	26
slunečnice	7	12695	6,3	6789	14,4	347,9	122,5
aksamitník vzpřímený	2,3	2799,5	1,5	1820,3	4,1	26	28,5
aksamitník mexický	2	3018,8	1,9	1337,9	4,1	26	27,9
aksamitník rozkladitý	1,1	3395,6	3	1694,8	5	32	29,2
aksamitník jemnolistý	2,2	2742,3	3,8	1687,7	6,8	54,3	39,6
smetanka lékařská	5,7	2122,1	0,8	926,25	4,1	26	33,4
topolovka růžová	1,2	4406,1	0,8	2934,9	4,1	26	49
trnovník akát	2	3408,8	0,8	2987,2	4,1	26	58,7
tulipán	1,2	713	0,8	594,8	4,1	26	16,8
tykev	11,5	8566,6	0,9	3276,7	5	32,2	108,4
violka vonná - bílá	5,3	16670	4,7	7488,8	24	159,9	165,3
violka vonná - fialová	7,4	3095,4	0,8	2374,6	4,1	26	29,7
viola okrasná	0,2	2927,6	0,8	1625	4,1	26	17,6
vistárie květnatá	11,8	10888,4	2,3	5748,2	12	76,7	111,2

Tabulka č. 3 Průměrné hodnoty prvků u jedlých květů stanovené metodou PXRF a jejich směrodatné odchylky

Kategorie	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$
	Al [mg/kg]	Al [mg/kg]	Ca [mg/kg]	Ca [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Cd [mg/kg]
jírovec maďal	ND	ND	14299	929,5	33,33	2,9
zběhovec plazivý	ND	ND	31109,33	1172,1	29,33	0,9
akát růžový	ND	ND	7146,67	79,6	31,33	1,8
pažitka čínská	ND	ND	18133	658,1	33,33	4,9
medvědí česnek	ND	ND	18287,67	2832,1	31	2,4
proskurník lékařský	ND	ND	30400	2929,8	31,33	1,2
kopr vonný	ND	ND	59832,67	6845,3	28,67	3
begónie hlíznatá	ND	ND	34146,33	1881,8	34,33	1,7
sedmikráska	ND	ND	32065,23	3209,7	29,2	2,4
bergénie brvitá	ND	ND	13743	516,1	35,67	2
bez černý	ND	ND	15209,67	1065,7	30,67	0,4
brukev zelí čínské	ND	ND	39395,67	3879,8	31,33	1,2
brukev zelí pekingské Su Sheng	ND	ND	25383,67	1429,4	34,67	1,7
brukev zelí pekingské	ND	ND	34368,33	468,9	30	2,1
brutnák bílý	ND	ND	49409,33	3505,1	25,67	0,9
brutnák lékařský	ND	ND	57104,67	855,5	30,67	2,6
canna Louis	ND	ND	18611,67	403,5	27,67	2,4
zmarlika	ND	ND	6065	218,9	31	2,8
cuketa	ND	ND	30725,33	2263,2	24,67	4,5
devětsil lékařský	ND	ND	23027,67	1061	30	1,4
hvozdík	ND	ND	23417,67	1814,3	32	1,4
divizna velkokvětá	ND	ND	25267	974,9	31,67	3,8
dobromysl obecná	ND	ND	35725	3995,7	33	1,4
třapatka nachová	ND	ND	65107,33	2289,9	30,33	0,4
fenykl kořeninový	ND	ND	37655	2489,1	25,67	0,9
orsej jarní	ND	ND	7586,67	1108,3	31,33	0,4
zlatice	ND	ND	17362,67	279,7	31,67	1,9
křivatec žlutý	ND	ND	11477	72,2	31,33	2,8
svíčkovec	ND	ND	27194	1591,1	28,67	3
popenec břečťanovitý	ND	ND	11398,67	714,7	30,33	1,2
hadinec obecný	ND	ND	54977	6952,1	30	3,7
denivka	ND	ND	11132,7	2555,7	31,3	8,3
jaterník podléška	ND	ND	14900,67	338	32,67	0,4
bohyška	ND	ND	12088	2007,7	32	1,7
hyacint východní - bílý	ND	ND	23009,67	717,1	32	2,2
hyacint východní - modrý	ND	ND	10548,67	784,7	29	0,8
hyacint východní - růžový	ND	ND	11534	1301	30,33	0,4
kdoulovec	ND	ND	8546,33	826,8	32,33	2,6

Kategorie	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$
	Al [mg/kg]	Al [mg/kg]	Ca [mg/kg]	Ca [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Cd [mg/kg]
chrpa polní	ND	ND	33410,33	4087,8	29,67	1,7
zlateň věncová	ND	ND	17112,33	2212,7	29,67	4
netýkavka - bílá	ND	ND	58834,67	4069	26,67	2
netýkavka - červená	ND	ND	86246,67	5002,8	21	0,8
angínovník čínský	ND	ND	12438	1562	30,67	1,9
anginovník - tmavý	ND	ND	12844,67	2824,4	28	2,8
jetel	ND	ND	27277,8	3565,4	31,7	1,6
jetel luční	ND	ND	48390,33	3940,2	28,67	2,4
jetel plazivý	ND	ND	32758,33	1551,7	31,33	3
jírovec červený	ND	ND	8805,33	260,3	33	1,4
jiřina fialová	ND	ND	28041,33	3848,1	28	1,6
jiřina krémová	ND	ND	27605,33	2117,6	31	1,4
jiřina bílá	ND	ND	38240,33	2728,9	25,67	6,8
jiřina červená	ND	ND	20747,33	726,3	29,67	2
jiřina oranžová	ND	ND	18659	1462,7	29,67	2,6
klokoč zpeřený	ND	ND	27964,67	2438,9	30,33	2,3
kopretina řimbaba	ND	ND	23329,67	683,5	27,67	3,4
kosatec světlý	ND	ND	9115,67	390,5	30	0,8
hluchavka nachová	ND	ND	20631,67	3844,7	30	1,4
hrachor širolistý	ND	ND	12377,33	1035,4	30,67	2,4
lilie henryova	ND	ND	13356,33	413,3	31,33	2,6
jabloň	ND	ND	23293	2718,7	30,67	3,3
měsíček lékařský	ND	ND	14886,33	1428,8	30,67	2,4
zavinutka rourkovitá	ND	ND	31851,33	3690,8	28,67	2,6
sneděk nicí	ND	ND	19425,2	282,5	32	1,9
pažitka pobřežní	ND	ND	14269	527,5	33,67	4,1
pelargonie štítnatá	ND	ND	14858	1216	30,7	1,7
pelargonie páskatá	ND	ND	13068,8	1769,3	29,3	2,1
plamenka - bílá	ND	ND	24972,33	5289,7	32,67	2,4
plamenka - fialová	ND	ND	41895,33	2773,8	30,33	2,8
plamenka	ND	ND	28882,67	2213,6	33,33	3,8
pivoňka bílá	ND	ND	10960,67	1365,8	30,33	1,2
pivoňka růžová	ND	ND	6792	461,5	39	1,6
podběl lékařský	ND	ND	27325,67	2390,8	34,33	2,6
kokořík vonný	ND	ND	23828,33	2130,3	28,67	0,4
prvosenka jarní	ND	ND	18762,67	862,9	29,33	1,2
plicník lékařský	ND	ND	21623,67	920,4	30,33	3,4
rebarbora	ND	ND	6352	217,4	32	2,8
rmenec sličný	ND	ND	21954	1171,7	31	2,1
růže - oranžová	ND	ND	4940,33	665,4	35	1,6
růže - žlutá	ND	ND	7764,67	868,1	33,67	0,9
řebříček obecný	ND	ND	30939,33	2071,8	28,67	2



Kategorie	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$
	Al [mg/kg]	Al [mg/kg]	Ca [mg/kg]	Ca [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Cd [mg/kg]
šalvěj lékařská	ND	ND	49852,33	2124,6	27,33	2,6
šalvěj muškátová	ND	ND	18596,67	3757,4	35	0,8
slunečnice	ND	ND	53619,67	2989,5	27,33	4
aksamitník vzpřímený	ND	ND	15903,7	2428,3	30,8	2
aksamitník mexický	ND	ND	27098,33	1242,8	29,33	3,3
aksamitník rozkladitý	ND	ND	16466,7	942,9	30	1,3
aksamitník jemnolistý	ND	ND	24183,3	3793,5	31,2	1,7
smetanka lékařská	ND	ND	16382,7	1139,1	29,5	2,6
topolovka růžová	ND	ND	18040,33	635,5	31	1,4
trnovník akát	ND	ND	17525,33	2765,8	30	3,7
tulipán	ND	ND	10601,67	1253,6	32	2,9
tykev	ND	ND	31561,8	1970,4	27,8	1,8
violka vonná - bílá	ND	ND	30415,33	2633,3	25	5,8
violka vonná - fialová	ND	ND	19961,33	4094,1	29	2,8
viola okrasná	ND	ND	7746	1225,2	31,7	0,9
vistárie květnatá	ND	ND	22032,6	1166,4	32,3	2,1
Kategorie	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$
	Cu [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Fe [mg/kg]	Fe [mg/kg]	K [mg/kg]	K [mg/kg]
jírovec maďal	21,33	0,4	84	2,2	42624,67	3004,8
zběhovec plazivý	21,67	1,2	318	26,7	79336	2344,9
akát růžový	16,67	1,2	116,33	5,2	52836,33	1245,4
pažitka čínská	23	1,4	135,67	7,5	63246,667	1459,2
medvědí česnek	6,33	1,7	92,33	8,9	59044,67	7906,4
proskurník lékařský	20,33	4	110,67	14,8	51090,67	3841,8
kopr vonný	23	5,9	112,33	16	45235,67	4628,9
begónie hlíznatá	7,67	0,4	336,33	9,6	63725	473,9
sedmikráska	21,4	3,2	507,9	59,2	77830	6567,7
bergénie brvitá	9,67	2,5	126,67	9,4	43209,67	1114,6
bez černý	12,67	0,9	360,67	35,6	63550,67	4352,8
brukev zelí čínské	ND	ND	212,33	26,6	69187	4527,8
brukev zelí pekingské Su Sheng	6,5	1,5	166,33	2,3	66531,67	1480,3
brukev zelí pekingské	8	1	188	6,4	61334,67	1526,3
brutnák bílý	29,67	1,7	212,67	17,8	103941,67	6681,9
brutnák lékařský	14,5	0,5	112	12,3	124220	5904,8
canna Louis	31	3,5	233,33	5,2	176900	1131,3
zmarlika	ND	ND	29,33	3,3	49739,33	659,3
cuketa	27	2,9	224	22,2	129163,67	7202,1
devětsil lékařský	70,67	4,4	406,67	29,9	103504,33	2997,7
hvozdík	25,67	2,3	279,33	67,2	64579,33	778,2
divizna velkokvětá	34,67	2,8	226	10,2	67988	2121,8

Kategorie	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$
	Cu [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Fe [mg/kg]	Fe [mg/kg]	K [mg/kg]	K [mg/kg]
dobromysl obecná	15	3,7	134,33	18,5	65020,67	6491,8
třapatka nachová	40,67	1,7	288	24,9	88297	499,4
fenykl kořeninový	10,33	2,8	86,33	9,8	46341,67	2328,9
orсей jarní	16,67	3,4	274	39,6	66580,33	8878,1
zlatice	31,67	1,7	387,67	10,2	61056,67	433,8
křivavec žlutý	13,33	1,7	237,33	11,4	86318	3907,8
svíčkovec	12,67	1,7	191,33	13,9	66062	2755,4
popenec břechťanovitý	21,33	2,4	246,67	5,5	88852	2336,9
hadinec obecný	21	4,3	183,33	21,3	115904	10291,4
denívka	18,9	4,4	99,7	30,7	80530,9	22110,7
jaterník podléška	75,67	2,4	70,67	4,6	83667,67	1948,6
bohyška	16,2	2,4	132	23,9	60457,5	6095,7
hyacint východní - bílý	16	0,8	253,33	2,5	101768,67	3509,7
hyacint východní - modrý	10,67	1,7	293	21,4	75341,67	5999,1
hyacint východní - růžový	7,33	2,5	151	3,7	70201	6996,6
kdoulovec	88,67	3,6	165,33	18,5	59918,33	3448,2
chrpa polní	16,33	2,3	400	52,1	81241,67	8354,5
zlateň věncová	11,33	1,2	134	17,2	81610,33	8259,9
netýkavka - bílá	11	1,4	438	27	96970,33	5817,8
netýkavka - červená	12	0	455	28,7	125333,67	8211,9
angínovník čínský	17,67	0,4	64,33	3,7	54513,67	5562,9
angínovník - tmavý	21,33	2,4	80	2,9	110054	21145,7
jetel	11,2	3,1	223,7	25,8	77879,5	8826,2
jetel luční	23	2,1	178,67	13,9	94349,67	3370,9
jetel plazivý	17,67	0,9	407	19,8	86112,33	2973,2
jírovec červený	9,67	2	110,33	5,2	49013,33	424,8
jiřina fialová	23,67	2	208,67	21,7	94476,33	11659,7
jiřina krémová	22,33	2,6	440,67	34,8	77690,33	4256
jiřina bílá	41	3,2	418,33	42,6	150973	10515,1
jiřina červená	ND	ND	249	11,5	76646,33	1916,8
jiřina oranžová	10	0,8	187,67	8,3	79441	3927,3
klokoč zpeřený	19,33	2,6	85,667	2,4	76153,33	7814,3
kopretina řimbaba	17,67	1,7	112	17,2	80236	799,7
kosatec světlý	8	0,8	112,67	21,2	106137,67	4921,9
hluchavka nachová	11,33	1,2	250,67	40,8	157839,67	16998,4
hrachor širolistý	23	2,4	288,67	19	88813	4894,8
lilie henryova	44	2,4	100	9,6	89401,67	1387,8
jabloň	32	2,9	152	5,9	59595	2735,6
měsíček lékařský	17,67	3,4	222,33	42,6	90965,67	7443,9
zavinutka rourkovitá	27	2,1	203	41,4	116281	10758,7
sneděk nicí	6,3	1,2	109,7	7,7	55992,5	1273,5
pažitka pobřežní	5,33	0,4	94,33	4,7	49518,67	1575

Kategorie	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$
	Cu [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Fe [mg/kg]	Fe [mg/kg]	K [mg/kg]	K [mg/kg]
pelargonie štítnatá	8,2	0	280	26,1	112147,2	9409,1
pelargonie páskatá	9,3	1	438,8	34,4	96567,8	10081,5
plamenka - bílá	12,33	2,3	140	22,8	91713,67	16103,9
plamenka - fialová	30,67	1,7	261	10,2	98268,67	5142,4
plamenka	23,67	4,1	363,33	38,3	105842,67	6733,3
pivoňka bílá	11,33	1,2	52	8,5	66407,67	8117
pivoňka růžová	8	2,1	21	6,1	49416	2803,8
podběl lékařský	55,33	8,8	357	59	100115,67	7509,7
kokořík vonný	13	1,4	151,33	48,9	72184	4124,7
prvosenka jarní	10,67	0,4	200,33	6,6	74917	2767,1
plicník lékařský	38,67	1,7	407,67	6,1	93265,67	4567,9
rebarbora	14	0,8	102,33	2,4	59311	1369,4
rmenec sličný	27	2,1	1114,67	31,3	66591,67	3069,8
růže - oranžová	5	0	91,33	8,6	61830,33	6929,7
růže - žlutá	13,33	2,6	110,67	8,6	80411,67	6852,3
řebříček obecný	16,33	1,9	74,67	9,5	64093	3135,5
šalvěj lékařská	26,33	5,5	291	20	146033,33	3426,7
šalvěj muškátová	23,67	2,8	249	21,2	102866,33	12653,7
slunečnice	36,67	3,7	141,67	15,1	148339	7058,2
aksamitník vzpřímený	18,7	2,7	875,2	138,8	77177,2	10140,2
aksamitník mexický	14,33	1,7	958,67	68,7	6082	2884,8
aksamitník rozkladitý	16,2	1,9	2739,8	258,7	75328,3	3006,4
aksamitník jemnolistý	15,8	3,9	1755,2	290,5	69423	6412,4
smetanka lékařská	25,5	3,4	183,2	16,7	74393,8	3673,4
topolovka růžová	6	0	69,33	6,1	77396,33	2473,7
trnovník akát	13	1	182,67	70,9	78975,67	9168,5
tulipán	27	1,6	165,67	17,5	72995,33	6675
tykev	34	3,6	318,8	20,2	123668,8	5093
violka vonná - bílá	44,33	9,4	1013,67	145,4	187566,67	10806,3
violka vonná - fialová	22,33	2,4	380	26,7	72181,33	11692,6
viola okrasná	13,3	1,2	219,7	31,3	90619,3	10765,3
vistárie květnatá	27,1	1,6	175,5	32,6	102025,9	3409,7
Kategorie	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$
	Mn [mg/kg]	Mn [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Ni [mg/kg]	P [mg/kg]	P [mg/kg]
jírovec maďal	45,33	11,8	ND	ND	6488,33	343,3
zběhovce plazivý	70,33	11	ND	ND	7862,33	226,1
akát růžový	ND	ND	ND	ND	9504,33	296,8
pažitka čínská	ND	ND	ND	ND	8976,33	149,6
medvědí česnek	24	1	ND	ND	6973,67	864,2
proskurník lékařský	ND	ND	ND	ND	8015,67	537,3
kopr vonný	82,33	16,3	ND	ND	8471	763,3
begonie hlíznatá	ND	ND	ND	ND	14739,67	293,1

Kategorie	průměr	σ	průměr	σ	průměr	σ
	Mn [mg/kg]	Mn [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Ni [mg/kg]	P [mg/kg]	P [mg/kg]
sedmikráska	72,7	14,72	ND	ND	8843	461,5
bergénie brvitá	ND	ND	ND	ND	6018,33	298,4
bez černý	59,67	8	ND	ND	8495,67	422,3
brukev zelí čínské	119	14,2	ND	ND	14330,33	770,9
brukev zelí pekingské Su Sheng	25,5	3,5	ND	ND	12747	178,9
brukev zelí pekingské	42,33	2,9	ND	ND	12138,67	276,2
brutnák bílý	41,33	7,1	ND	ND	7633	437,8
brutnák lékařský	30,5	2,5	ND	ND	9089	298,8
canna Louis	116,33	0,9	ND	ND	10166,67	100,7
zmarlika	ND	ND	ND	ND	5787,33	118,6
cuketa	55,67	7,3	ND	ND	15182	735,8
devětsil lékařský	83,33	12,4	ND	ND	7879,33	102,6
hvozdík	168,33	17,2	ND	ND	8467,33	156,7
divizna velkokvětá	ND	ND	ND	ND	10094	149,8
dobromysl obecná	50,33	12,3	ND	ND	8553,67	578,6
třapatka nachová	ND	ND	ND	ND	4659,33	75
fenykl kořeninový	26,67	6	ND	ND	5645,33	52,8
orсей jarní	30	0	ND	ND	6661	585
zlatice	35,67	2,5	ND	ND	8581	210,1
křivatec žlutý	ND	ND	ND	ND	10165,33	433,5
svíčkovec	ND	ND	ND	ND	4942	224,9
popenec břečťanovitý	ND	ND	ND	ND	7276,67	89,9
hadinec obecný	43	0	ND	ND	5440,67	373,7
denivka	ND	ND	ND	ND	8568,2	2147,1
jaterník podléška	ND	ND	ND	ND	9318,67	160,2
bohyška	ND	ND	ND	ND	8391	690,4
hyacint východní - bílý	ND	ND	ND	ND	11477,67	196,2
hyacint východní - modrý	ND	ND	ND	ND	9167,33	526,7
hyacint východní - růžový	ND	ND	ND	ND	8697,33	650,3
kdoulovec	22,5	0,5	ND	ND	9285,67	574,3
chrpa polní	62,67	11,3	ND	ND	6333,33	501,4
zlateň věncová	ND	ND	ND	ND	6479	557,8
netýkavka - bílá	32,33	6,5	ND	ND	5532,67	202,8
netýkavka - červená	306,33	21,2	ND	ND	6004	234,2
angínovník čínský	ND	ND	ND	ND	8813,67	859,4
angínovník - tmavý	ND	ND	ND	ND	8674	1094,2
jetel	41,9	7,35	ND	ND	9751,2	848,4
jetel luční	70	10,8	ND	ND	7919	180,6
jetel plazivý	35,67	5,4	ND	ND	9873	185,4
jírovec červený	ND	ND	ND	ND	9443,33	170,9
jiřina fialová	58,33	11,1	ND	ND	4452,33	196,8
jiřina krémová	99,67	15	ND	ND	4838,67	145,9

Kategorie	průměr	σ	průměr	σ	průměr	σ
	Mn [mg/kg]	Mn [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Ni [mg/kg]	P [mg/kg]	P [mg/kg]
jiřina bílá	114,67	13,5	ND	ND	8463,33	359,7
jiřina červená	33,67	3	ND	ND	5083,33	82,2
jiřina oranžová	39,33	4,2	ND	ND	5664,33	268,3
klokoč zpeřený	ND	ND	ND	ND	7867,67	505,4
kopretina řimbaba	241,33	3,3	ND	ND	6190,33	232,7
kosatec světlý	ND	ND	ND	ND	9424,33	399,2
hluchavka nachová	27	0	ND	ND	9510,33	766,7
hrachor širolistý	ND	ND	ND	ND	8610	312,2
lilie henryova	ND	ND	ND	ND	5996	163,4
jabloň	ND	ND	ND	ND	7667	657,6
měsíček lékařský	ND	ND	ND	ND	5691	166,7
zavinutka rourkovitá	ND	ND	ND	ND	6828,67	377,1
sneděk nicí	ND	ND	ND	ND	7876,2	299,1
pažitka pobřežní	ND	ND	ND	ND	5986,33	194,2
pelargonie štítnatá	ND	ND	ND	ND	5592,6	299,6
pelargonie páskatá	ND	ND	ND	ND	8009,8	725,2
plamenka - bílá	29	0	ND	ND	10913	1226,2
plamenka - fialová	73	6,9	ND	ND	13781,67	494,3
plamenka	88,33	16,7	ND	ND	11644,33	630,5
pivoňka bílá	ND	ND	ND	ND	10200,33	998,3
pivoňka růžová	ND	ND	ND	ND	8446,67	413,3
podběl lékařský	39,33	11,7	ND	ND	10802,67	530,8
kokořík vonný	ND	ND	ND	ND	7697,67	511,9
prvosenka jarní	ND	ND	ND	ND	7254,67	123,9
plicník lékařský	22,33	3,3	ND	ND	8028,67	178,9
rebarbora	57,67	2,5	ND	ND	8558,67	105,3
rmenec sličný	165	9,9	ND	ND	6874,33	362,9
růže - oranžová	ND	ND	ND	ND	5028,33	534,1
růže - žlutá	55,5	12,5	ND	ND	5700,33	320,3
řebříček obecný	156,33	8,7	ND	ND	7324,67	320,3
šalvěj lékařská	30	0	ND	ND	6227,67	104,9
šalvěj muškátová	ND	ND	ND	ND	7894	721,6
slunečnice	ND	ND	ND	ND	7033,33	334,2
aksamitník vzpřímený	71,8	17,7	ND	ND	9070,5	872,6
aksamitník mexický	95	9	ND	ND	7535	266,5
aksamitník rozkladitý	102,4	17,9	ND	ND	8380,1	265
aksamitník jemnolistý	72,7	22,6	ND	ND	6733,7	474,3
smetanka lékařská	ND	ND	ND	ND	7886,7	293,4
topolovka růžová	ND	ND	ND	ND	6994	173,1
trnovník akát	ND	ND	ND	ND	7532,33	798,3
tulipán	ND	ND	ND	ND	8149,33	614,8
tykev	96,7	6,55	ND	ND	18818,3	446,6

Kategorie	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$
	Mn [mg/kg]	Mn [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Ni [mg/kg]	P [mg/kg]	P [mg/kg]
violka vonná - bílá	84,33	31,5	ND	ND	20008,33	117,8
violka vonná - fialová	121,33	31,8	ND	ND	7480,33	886,1
viola okrasná	24	5	ND	ND	9677,7	825,8
vistárie květnatá	96,6	8,2	ND	ND	15178,8	389,6
Kategorie	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$
	Pb [mg/kg]	Pb [mg/kg]	S [mg/kg]	S [mg/kg]	Sb [mg/kg]	Sb [mg/kg]
jírovec maďal	ND	ND	2597,33	116,6	18	0
zběhovec plazivý	3,0	0	2967,33	66	21	2,2
akát růžový	ND	ND	5249,67	88,98	16	0
pažitka čínská	3,0	0	28462,333	648,3	16	1
medvědí česnek	ND	ND	10979	1154	17	0
proskurník lékařský	ND	ND	5818,67	419,6	14,67	0,9
kopr vonný	ND	ND	9927,67	831,3	18	0
begónie hlíznatá	ND	ND	7983,33	162,7	18	0
sedmikráska	ND	ND	5213,8	314,5	14,7	0
bergénie brvitá	ND	ND	2646,67	78	ND	ND
bez černý	ND	ND	4982,67	323,5	16,5	0,5
brukev zelí čínské	3,0	0	19277,33	1222,1	ND	ND
brukev zelí pekingské Su Sheng	ND	ND	13281	216,5	18	3
brukev zelí pekingské	2,0	0	12865	138,6	20,5	3,5
brutnák bílý	ND	ND	3427	153,1	ND	ND
brutnák lékařský	ND	ND	3320,33	179,8	23	0
canna Louis	4,0	0	3728,33	22,9	26	0
zmarlika	ND	ND	2316	31,3	17	1
cuketa	ND	ND	3992,33	170,4	20	3
devětsil lékařský	3,0	0	3594,33	32	16	0
hvozdík	4,0	1	3980,33	74,4	16	0
divizna velkokvětá	3,0	0	4088	90,6	23	0
dobromysl obecná	ND	ND	3743	289	18	2,9
třapatka nachová	ND	ND	3599,33	57,6	19	0
fenykl kořeninový	ND	ND	4114,33	113,9	20	0
orzej jarní	ND	ND	3337	342,9	15	0
zlatice	3,0	0	4283	23,5	21	0
křivatec žlutý	ND	ND	4735,33	195	ND	ND
svíčkovec	3,0	0	3022,33	95	19	2
popenec břečťanovitý	3,0	0	3010	94,4	19	3
hadinec obecný	ND	ND	3362	218	21	0
denívka	ND	ND	2746,4	659,9	20,7	8
jaterník podléška	ND	ND	4034,67	40,4	20	0
bohyška	ND	ND	2840,2	245	21,5	1
hyacint východní - bílý	ND	ND	5456	104,9	18,5	3,5

Kategorie	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$
	Pb [mg/kg]	Pb [mg/kg]	S [mg/kg]	S [mg/kg]	Sb [mg/kg]	Sb [mg/kg]
hyacint východní - modrý	ND	ND	4101,33	240,7	22	2
hyacint východní - růžový	ND	ND	3590	262,5	21	0
kdoulovec	ND	ND	3605	223,8	17	0
chrpa polní	3,0	0	3497,67	258,1	17	0
zlateň věncová	ND	ND	3418	274,8	19	0
netýkavka - bílá	ND	ND	6605	267	19	0
netýkavka - červená	ND	ND	5961,67	218,4	ND	ND
angínovník čínský	ND	ND	4077,33	353,1	16	0,8
anginovník - tmavý	ND	ND	3772,67	508,3	ND	ND
jetel	ND	ND	4093,2	341	17,5	1
jetel luční	ND	ND	3316	116,3	25	0
jetel plazivý	3,0	0	4097,67	75,4	ND	ND
jírovec červený	ND	ND	2061,33	37,6	21	0
jiřina fialová	ND	ND	2877,67	83,6	23	0
jiřina krémová	3,0	0	3198,67	130,8	ND	ND
jiřina bílá	ND	ND	4227	226,2	ND	ND
jiřina červená	ND	ND	2960,67	9,2	25	0
jiřina oranžová	4,0	0	2796,67	167,8	16	0
klokoč zpeřený	ND	ND	2335	132	18	2
kopretina řimbaba	ND	ND	2420,67	92,7	16	0
kosatec světlý	ND	ND	3324	131,8	ND	ND
hluchavka nachová	3,0	0	2196	181,4	16	0
hrachor široolistý	3,0	0	4683	158,5	20	0
lilie henryova	ND	ND	1906,33	93	20	0
jabloň	3,0	0	3485	96,9	19	1
měsíček lékařský	ND	ND	2461,33	57,8	19,5	0,5
zavinutka rourkovitá	3,0	0	2616,67	92,8	ND	ND
sneděk nicí	ND	ND	3337,7	89	16,7	1,25
pažitka pobřežní	2,0	0	13082	416,7	17,5	0,5
pelargonie štítnatá	ND	ND	1898,1	96	ND	ND
pelargonie páskatá	ND	ND	1861,3	181,3	ND	ND
plamenka - bílá	ND	ND	3729,33	464,8	18	0
plamenka - fialová	3,0	0	4580	199,4	21	0
plamenka	3,0	0	3856,33	190,8	20	0
pivoňka bílá	3,0	0	3422	389,9	21	0
pivoňka růžová	2,0	0	2383,33	131,4	17	0,8
podběl lékařský	4,0	0	7629	485,2	23	0
kokořík vonný	ND	ND	3594,67	163,4	ND	ND
prvosenka jarní	3,0	0	3858,33	93	22	0
plicník lékařský	3,0	0	2600	57,6	17	0,8
rebarbora	ND	ND	4437	50,3	19	0
rmenec sličný	3,0	0	3411,33	168,1	ND	ND

Kategorie	průměr	σ	průměr	σ	průměr	σ
	Pb [mg/kg]	Pb [mg/kg]	S [mg/kg]	S [mg/kg]	Sb [mg/kg]	Sb [mg/kg]
růže - oranžová	2,0	0	2427,67	186,4	15	0
růže - žlutá	ND	ND	2785	186,7	ND	ND
řebříček obecný	ND	ND	2971,67	104,9	19	0
šalvěj lékařská	5,0	0	5567,33	91	ND	ND
šalvěj muškátová	4,0	0	4168,67	402	21	0
slunečnice	ND	ND	3928	205,9	22	0
aksamitník vzpřímený	3,2	0,5	3495,3	355,3	ND	ND
aksamitník mexický	3,0	0	5916,67	172,3	17,5	2,5
aksamitník rozkladitý	ND	ND	4095,8	155,9	17,3	0,9
aksamitník jemnolistý	2,8	5	4334,9	307,5	20,9	2,05
smetanka lékařská	ND	ND	3971,7	150,9	15	0
topolovka růžová	ND	ND	3118,33	37,8	18	0
trnovník akát	3,0	0	5854,67	581,8	17,5	1,5
tulipán	ND	ND	3265,67	241,6	17,33	1,9
tykev	ND	ND	6346,7	191,4	15,5	0,5
violka vonná - bílá	6,0	0	18343	334,2	ND	ND
violka vonná - fialová	ND	ND	5733,33	648,8	14	0
viola okrasná	ND	ND	6072	548,1	16,3	2,05
vistárie květnatá	4,7	0,4	6077,3	212,9	ND	ND
jírovec maďal	ND	ND	2597,33	116,6	18	0
zběhovce plazivý	3,0	0	2967,33	66	21	2,2
akát růžový	ND	ND	5249,67	88,98	16	0
pažitka čínská	3,0	0	28462,333	648,3	16	1
medvědí česnek	ND	ND	10979	1154	17	0
proskurník lékařský	ND	ND	5818,67	419,6	14,67	0,9
kopr vonný	ND	ND	9927,67	831,3	18	0
begónie hlíznatá	ND	ND	7983,33	162,7	18	0
sedmikráska	ND	ND	5213,8	314,5	14,7	0
bergénie brvitá	ND	ND	2646,67	78	ND	ND
bez černý	ND	ND	4982,67	323,5	16,5	0,5
brukev zelí čínské	3,0	0	19277,33	1222,1	ND	ND
Brukev zelí pekingské Su Sheng	ND	ND	13281	216,5	18	3
Brukev zelí pekingské	2,0	0	12865	138,6	20,5	3,5
brutnák bílý	ND	ND	3427	153,1	ND	ND
brutnák lékařský	ND	ND	3320,33	179,8	23	0
canna Louis	4,0	0	3728,33	22,9	26	0
zmarlika	ND	ND	2316	31,3	17	1
cuketa	ND	ND	3992,33	170,4	20	3
devětsil lékařský	3,0	0	3594,33	32	16	0
hvozdík	4,0	1	3980,33	74,4	16	0
divizna velkokvětá	3,0	0	4088	90,6	23	0
dobromysl obecná	ND	ND	3743	289	18	2,9



Kategorie	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$
	Pb [mg/kg]	Pb [mg/kg]	S [mg/kg]	S [mg/kg]	Sb [mg/kg]	Sb [mg/kg]
třapatka nachová	ND	ND	3599,33	57,6	19	0
fenykl kořeninový	ND	ND	4114,33	113,9	20	0
orсей jarní	ND	ND	3337	342,9	15	0
zlatice	3,0	0	4283	23,5	21	0
křivavec žlutý	ND	ND	4735,33	195	ND	ND
svíčkovec	3,0	0	3022,33	95	19	2
popenec břečťanovitý	3,0	0	3010	94,4	19	3
hadinec obecný	ND	ND	3362	218	21	0
denivka	ND	ND	2746,4	659,9	20,7	8
jaterník podléška	ND	ND	4034,67	40,4	20	0
bohyška	ND	ND	2840,2	245	21,5	1
hyacint východní - bílý	ND	ND	5456	104,9	18,5	3,5
hyacint východní - modrý	ND	ND	4101,33	240,7	22	2
hyacint východní - růžový	ND	ND	3590	262,5	21	0
kdoulovec	ND	ND	3605	223,8	17	0
chrpa polní	3,0	0	3497,67	258,1	17	0
zlateň věncová	ND	ND	3418	274,8	19	0
netýkavka - bílá	ND	ND	6605	267	19	0
netýkavka - červená	ND	ND	5961,67	218,4	ND	ND
angínovník čínský	ND	ND	4077,33	353,1	16	0,8
angínovník - tmavý	ND	ND	3772,67	508,3	ND	ND
jetel	ND	ND	4093,2	341	17,5	1
jetel luční	ND	ND	3316	116,3	25	0
jetel plazivý	3,0	0	4097,67	75,4	ND	ND
jírovec červený	ND	ND	2061,33	37,6	21	0
jiřina fialová	ND	ND	2877,67	83,6	23	0
jiřina krémová	3,0	0	3198,67	130,8	ND	ND
jiřina bílá	ND	ND	4227	226,2	ND	ND
jiřina červená	ND	ND	2960,67	9,2	25	0
jiřina oranžová	4,0	0	2796,67	167,8	16	0
klokoč zpeřený	ND	ND	2335	132	18	2
kopretina řimbaba	ND	ND	2420,67	92,7	16	0
kosatec světlý	ND	ND	3324	131,8	ND	ND
hluchavka nachová	3,0	0	2196	181,4	16	0
hrachor širolistý	3,0	0	4683	158,5	20	0
lilie henryova	ND	ND	1906,33	93	20	0
jabloň	3,0	0	3485	96,9	19	1
měsíček lékařský	ND	ND	2461,33	57,8	19,5	0,5
zavinutka rourkovitá	3,0	0	2616,67	92,8	ND	ND
sneděk nicí	ND	ND	3337,7	89	16,7	1,25
pažitka pobřežní	2,0	0	13082	416,7	17,5	0,5
pelargonie štítnatá	ND	ND	1898,1	96	ND	ND

Kategorie	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$	průměr	$\sigma$
	Pb [mg/kg]	Pb [mg/kg]	S [mg/kg]	S [mg/kg]	Sb [mg/kg]	Sb [mg/kg]
pelargónie páskatá	ND	ND	1861,3	181,3	ND	ND
plamenka - bílá	ND	ND	3729,33	464,8	18	0
plamenka - fialová	3,0	0	4580	199,4	21	0
plamenka	3,0	0	3856,33	190,8	20	0
pivoňka bílá	3,0	0	3422	389,9	21	0
pivoňka růžová	2,0	0	2383,33	131,4	17	0,8
podběl lékařský	4,0	0	7629	485,2	23	0
kokořík vonný	ND	ND	3594,67	163,4	ND	ND
prvosenka jarní	3,0	0	3858,33	93	22	0
plicník lékařský	3,0	0	2600	57,6	17	0,8
rebarbora	ND	ND	4437	50,3	19	0
rmenec sličný	3,0	0	3411,33	168,1	ND	ND
růže - oranžová	2,0	0	2427,67	186,4	15	0
růže - žlutá	ND	ND	2785	186,7	ND	ND
řebříček obecný	ND	ND	2971,67	104,9	19	0
šalvěj lékařská	5,0	0	5567,33	91	ND	ND
šalvěj muškátová	4,0	0	4168,67	402	21	0
slunečnice	ND	ND	3928	205,9	22	0
aksamitník vzpřímený	3,2	0,5	3495,3	355,3	ND	ND
aksamitník mexický	3,0	0	5916,67	172,3	17,5	2,5
aksamitník rozkladitý	ND	ND	4095,8	155,9	17,3	0,9
aksamitník jemnolistý	2,8	5	4334,9	307,5	20,9	2,05
smetanka lékařská	ND	ND	3971,7	150,9	15	0
topolovka růžová	ND	ND	3118,33	37,8	18	0
trnovník akát	3,0	0	5854,67	581,8	17,5	1,5
tulipán	ND	ND	3265,67	241,6	17,33	1,9
tykev	ND	ND	6346,7	191,4	15,5	0,5
violka vonná - bílá	6,0	0	18343	334,2	ND	ND
violka vonná - fialová	ND	ND	5733,33	648,8	14	0
viola okrasná	ND	ND	6072	548,1	16,3	2,05
vistárie květnatá	4,7	0,4	6077,3	212,9	ND	ND