

UNIVERZITA KARLOVA  
Přírodovědecká fakulta

---

Studijní program: Chemie

Studijní obor: Chemie se zaměřením na vzdělávání – Biologie se zaměřením na  
vzdělávání



Miroslava Česká

## STANOVENÍ ŽELEZA A DRASLÍKU VE VZORCÍCH MEDU

Determination of iron and potassium in honey samples

Bakalářská práce

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

Praha 2020

## Prohlášení

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

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

V Praze dne .....

.....

Miroslava Česká

## Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala RNDr. Jakubovi Hraníčkoví, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a cenné rady, které mi pomohly při zpracování této práce. Dále bych chtěla poděkovat všem včelařům za jejich přínos v praktické části této bakalářské práce. V neposlední řadě patří obrovské poděkování mé rodině, bez které bych tuto práci nemohla dokončit.

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá stanovením obsahu draslíku a železa ve vybraných vzorcích medu. Tyto prvky byly stanoveny metodou atomové absorpční spektrometrie s plamenovou technikou atomizace. Vzorky použité při analýze zastupovaly vybrané druhy květových, medovicových a smíšených medů. Ve většině případů pocházely vzorky od malých soukromých včelařů. Pro srovnání byly zařazeny i medy kupované.

Nejdříve byla pomocí připravených standardních roztoků provedena optimalizace výšky paprsku nad hořákem a průtokové rychlosti acetyleny, který sloužil jako palivo. Optimální podmínky pro stanovení železa byly zvoleny: výška paprsku 6 mm průtoková rychlost acetyleny  $3,0 \text{ L min}^{-1}$ . Pro stanovení draslíku byly zvoleny optimální podmínky: výška paprsku 7 mm a průtoková rychlost  $2,5 \text{ L min}^{-1}$ . Pro kontrolu správnosti měření byla připravena série roztoků železa o koncentraci  $10,0 \text{ mg L}^{-1}$  a byly porovnány získané signály. Pro každý prvek byly za optimálních podmínek zjištěny meze detekce, meze stavitelnosti a opakovatelnost měření.

V poslední řadě následovalo samotné měření vybraných prvků. Roztoky vzorků medu byly připraveny rozpuštěním 6,0 g medu v 50 mL stabilizačního roztoku pro F-AAS. Obsah draslíku se pohyboval v rozsahu 316 - 6583  $\text{mg kg}^{-1}$ . Naměřené hodnoty koncentrace železa byly ve všech případech nižší než hodnota limitu detekce pro tento prvek.

Tato práce vedla zároveň i k porovnání druhů medu na základě zastoupení vybraných prvků, konkrétně na zastoupení draslíku. Závěrem lze konstatovat, že medovicový med v porovnání s květovým obsahuje vyšší podíl draslíku.

## Klíčová slova

Atomová absorpční spektrometrie, plamenová atomizace, med, draslík, železo

## Abstract

This bachelor thesis was focused on the determination of potassium and iron content in the selected samples of honey. These elements have been determined by the atomic absorption spectrometry with flame atomization. The samples used in the analysis were representing the species of flower, honeydew, and mixed honeys. In most of the cases, the samples came from small private beekeepers. For comparison, there were also some samples of purchased honey included.

At first, with using the standard solutions, there were optimized the height of the beam above the burner and the acetylene flow rate used as a fuel. The optimal conditions for the determination of iron content were: the height was 6 mm and the flow rate was  $3.0 \text{ L min}^{-1}$ . For the determination of the potassium content, the optimal conditions were: the height was 7 mm and the flow rate was  $2.5 \text{ L min}^{-1}$ . To check the accuracy of the measurements, a series of iron solutions with a concentration of  $10.0 \text{ mg L}^{-1}$  were prepared and the obtained signals were compared. Under the optimal conditions for each element there was calculate the limits of detection and quantification and repeatability of measurements.

Last but not least, the measurement of selected elements followed. Honey sample solutions were prepared by dissolving of 6.0 g of honey in 50 mL of stabilization solution for F-AAS measurement. The potassium content was in range  $316 - 6583 \text{ mg kg}^{-1}$ . All concentrations of iron were lower than the limit of detection.

This thesis led to comparison of the types of honey according to the content of selected elements, specifically content of potassium. In conclusion, it can be stated that the concentration of potassium is higher in honeydew honey samples compared to the flower honey samples.

## Key words

Atomic absorption spektrometry, flame atomization, honey, potassium, iron

# Obsah práce

1	ÚVOD.....	- 8 -
1.1	Cíl bakalářské práce.....	- 8 -
2	TEORETICKÁ ČÁST .....	- 9 -
	Atomová absorpční spektrometrie .....	- 9 -
2.1	Instrumentace.....	- 9 -
2.2	Plamenová technika .....	- 11 -
2.3	Med.....	- 12 -
2.3.1	Druhy medu .....	- 12 -
2.3.2	Složení medu .....	- 13 -
2.3.3	Účinky medu.....	- 14 -
2.4	Železo.....	- 14 -
2.5	Draslík .....	- 15 -
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	- 16 -
3.1	Používané přístroje a zařízení, pracovní parametry .....	- 16 -
3.2	Používané chemikálie: .....	- 16 -
3.3	Příprava roztoků .....	- 17 -
3.4	Statistické zpracování výsledků .....	- 19 -
4	VÝSLEDKOVÁ ČÁST A DISKUZE .....	- 20 -
4.1	Optimalizace parametrů .....	- 20 -
4.1.1	Optimalizace výšky paprsku nad hořákem.....	- 20 -
4.1.2	Optimalizace průtokové rychlosti paliva .....	- 21 -
4.2	Kalibrační závislost.....	- 23 -
4.3	Srovnání standardních roztoků železa .....	- 25 -
4.4	Opakovatelnost měření .....	- 25 -
4.5	Základní charakteristiky stanovení .....	- 25 -
4.6	Stanovení koncentrace prvků ve vzorcích .....	- 26 -
	ZÁVĚR .....	- 29 -
5	Použitá literatura .....	- 30 -

## Seznam uvedených zkratk a symbolů

AAS	atomová absorpční spektrometrie
ET-AAS	atomová absorpční spektrometrie s elektrotermickou atomizací
F-AAS	atomová absorpční spektrometrie s plamenovou atomizací
HCL	výbojka s dutou katodou
HG-AAS	atomová absorpční spektrometrie s technikou generování hydridů
LOD	mez detekce
LOQ	mez stanovitelnosti
RSD	relativní směrodatná odchylka
SD	směrodatná odchylka
USDA	americké ministerstvo zemědělství (ang. U.S. Department of Agriculture)
A	absorbance
$c_{\text{Fe}}$	koncentrace železa
$c_{\text{K}}$	koncentrace draslíku
d. ex.	datum expirace
h	výška paprsku nad hořákem
$v_{\text{ac}}$	průtoková rychlost acetylenu
$\Delta\lambda$	šířka intervalu spektra

# 1 ÚVOD

Tato bakalářská práce se věnuje problematice obsahu prvků, konkrétně obsahu draslíku a železa, ve vzorcích medu. V dnešní době se spousta lidí zajímá o to, kolik daná potravin obsahuje různých látek nebo prvků, ať pro zdraví prospěšné nebo pro zdraví škodlivé. Med je přírodní potravin, která je navíc zajímavá v tom, že se na složení může projevit vliv skladby okolí, tedy životního prostředí.

V této práci byla pro zjištění obsahu draslíku a železa použita metoda atomové absorpční spektrometrie s plamenovou technikou atomizace, která umožňuje stanovit i nízké koncentrace prvků.

Výhoda využití plamenové techniky atomizace spočívá v atomizaci většiny složek vzorku vlivem vysoké teploty plamene. Díky použití specifických zdrojů primárního záření – výbojek s dutou katodou (HCL), je poté na detektoru zaznamenávána přítomnost pouze stanovovaného prvku. Dalšími výhodami je např. rychlost analýzy vzorku.

Použité vzorky medu pocházejí z větší části od malých soukromých včelařů. Na základě studií, které byly dříve provedeny, lze očekávat, že obsah draslíku bude vysoký, neboť se jedná o nejvíce zastoupený minerální prvek v medu. Naopak je předpoklad, že železo se ve vzorcích bude vyskytovat v menším množství.

## 1.1 Cíl bakalářské práce

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo stanovení železa a draslíku v několika vzorcích medu pomocí atomové absorpční spektrometrie s plamenovou technikou atomizace. Součástí této práce bylo zjištění optimálních podmínek pro stanovení těchto prvků, charakterizace obou metod stanovení a provedení analýzy dodaných vzorků.

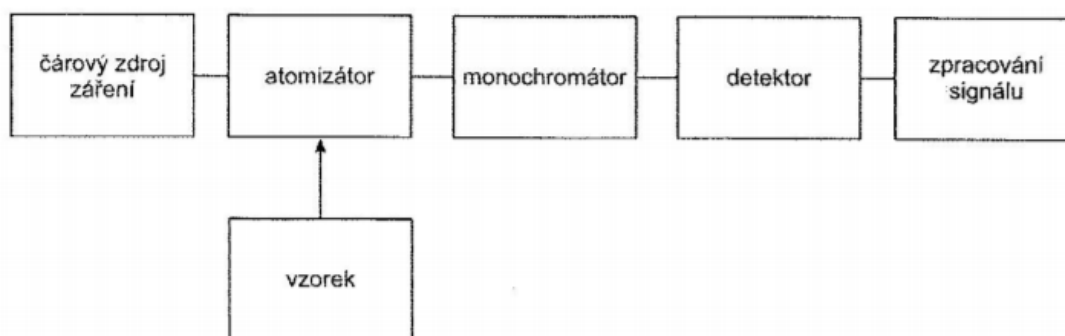
## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### Atomová absorpční spektrometrie

Atomová absorpční spektrometrie (AAS) je analytická optická metoda, která slouží k elementární kvantitativní analýze prvků o nízkých koncentracích, při níž je využito měření absorpce elektromagnetického záření volnými atomy prvků. U plamenové techniky atomizace je Lambertův-Beerův zákon dobře splněn pro koncentrace roztoků přibližně v rozsahu  $0,1-100 \mu\text{g mL}^{-1}$ , u elektrotermické pak v řádu jednotek  $\text{ng mL}^{-1}$ . Pomocí AAS lze stanovit až 60 prvků v periodické tabulce (Klouda, 2003).

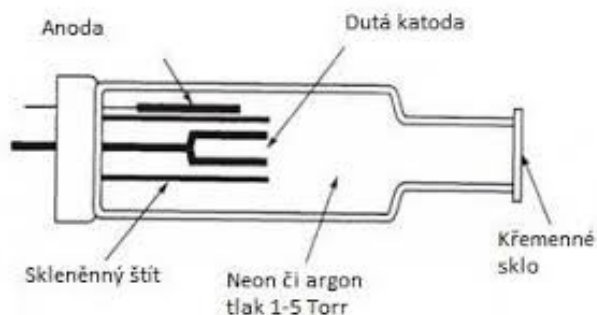
#### 2.1 Instrumentace

Atomový absorpční spektrometr se skládá ze zdroje primárního záření, atomizátoru, monochromátoru a detektoru.



Obr. 2.1.: Schéma atomového absorpčního spektrometru (Záruba, et al., 2016).

Primární záření, které má být absorbováno atomy, musí mít vysokou energii soustředěnou do úzkého spektrálního intervalu. Nejčastěji využívaným zdrojem primárního záření jsou výbojky s dutou katodou (HCL), které jsou zdrojem především rezonančních atomových čar prvků. Pro každý sledovaný prvek je potřeba mít HCL určenou přímo pro daný prvek, neboť dutá katoda je vyrobena přímo z vysoce čistého sledovaného prvku, nebo je na nosné katodě, která je vyrobena z kovu s relativně chudým emisním spektrem. Anoda je vyrobena z kovu s vysokou teplotou tání (Zr, Ti, Ta), výbojky jsou plněny vzácným inertním plynem (Ne, Ar) (Záruba, et al., 2016).



Obr. 2.2: Výbojka s dutou katodou (Černohorský & Jandera, 1997).

Dalším typem primárního záření může být bezelektrodová výbojka, popřípadě laditelný barvivový laser (Němcová, et al., 2004).

Další částí atomového spektrometru je tzv. atomizátor. Zde dochází k atomizaci a následné absorpci primárního záření vzorkem. Atomizátor je systém, který je schopen dostatečně účinně převést stanovovaný prvek z roztoku do základního atomárního stavu.

Druhy atomizátorů:

- a) Při *plamenová technice* se kapalný vzorek nebo roztok vzorku nasává do pneumatického zmlžovače, kde vzniká jemný aerosol vzorku, který je dále zaváděn do plamenů realizovaných směsí paliva a okysličovadla.
- b) Při *elektrochemické atomizaci* se dávkuje velmi malé množství vzorku do speciální miniaturní odporově vyhřívané kyvety. K atomizaci dochází postupným ohřevem kyvety průchodem elektrického proudu.
- c) Při *technice generování a atomizace těkavých sloučenin* se nejdříve analyt převede na těkavou sloučeninu. Tato sloučenina, nejčastěji hydrid, se oddělí od matrice vzorku a je atomizována ve speciálním křemenném atomizátoru, který je umístěn v optické ose AAS. Generace těkavých hydridů je omezena pouze na hydridotvorné prvky (As, Se, Bi, Sn, Sb, Pb).

Právě na základě atomizace sledovaného prvku, tedy na druhu atomizátoru, rozlišujeme AAS na F-AAS, ET-AAS a HG-AAS (Němcová, et al., 2004).

Třetí částí je monochromátor, který slouží k izolaci spektrálního intervalu, ve kterém se nachází příslušná absorpční rezonanční čára sledovaného prvku. Většinou se užívá interferometricky zhotovených mřížek pro rozsah vlnových délek 190-900 nm. (Němcová, et al., 2004). V AAS se využívají monochromátory téměř výhradně konstrukce Czerny-Turner. Velikost intervalu vlnových délek se volí velikostí výstupní

štěrbiny monochromátoru. V AAS se pak běžně pracuje s intervaly od 0,2 do 2,0 nm. (Černohorský & Jandera, 1997)

Pro detekci záření se využívá především fotonásobič, který je dále potom napojený na vyhodnocovací zařízení. Fotonásobič je evakuovaná skleněná baňka. Uvnitř je fotocitlivá katoda, anoda a systém dynod. Linearita odezvy fotonásobičů je vysoká (5-6 řádů) a časová konstanta velmi nízká ( $10^{-8} - 10^{-9}$ ), tudíž je možné provádět rychlá měření v širokém rozsahu intenzit. (Černohorský & Jandera, 1997).

## 2.2 Plamenová technika

Plamenová technika je nejstarším druhem atomizace. Jejím principem je převedení roztoku na aerosol ve zmlžovači a zavádění tohoto aerosolu do laminárního plamene, tj. do hořáku je vedena již předem promíchaná směs paliva a okysličovadla. Hořáky jsou nejčastěji konstruované jako štěrbinové a jsou vyrobeny buď z nerez, nebo z titanu. Nejčastěji používaným palivem je acetylen a okysličovadlem vzduch nebo oxid dusný (Černohorský & Jandera, 1997).

Plamen není homogenní, ale skládá se z několika výrazně ohraničených oblastí. Těsně nad štěrbinou se nachází přehřívací zóna, kde se plyny zahřívají na zápalnou teplotu. Následně navazuje primární reakční zóna, ve které dochází k hoření a komplikovaným radikálovým reakcím. Na tuto vrstvu navazuje mezireakční zóna, která není ovlivněna kyslíkem z okolní atmosféry, ale je zde nedostatek oxidovadla, které se již spotřebovalo v primární reakční zóně. Zde jsou výrazné redukční podmínky, proto se tato zóna využívá pro analýzu prvků, které tvoří termicky stabilní oxidy. Nad mezireakční zónou je sekundární zóna, kde dochází k dohořívání způsobenému difúzí kyslíku z okolní atmosféry (Černohorský & Jandera, 1997).

Z analytického hlediska se nejvíce využívá oblast mezireakční zóny, popřípadě oblast těsně nad touto zónou. Pro získání výsledků je nutné optimalizovat tzv. výšku pozorování, tedy místo kudy prochází paprsek plamenem. Optimalizace se provádí pomocí vertikálního rozložení intenzity absorpce, které se označuje jako tzv. plamenový profil (Černohorský & Jandera, 1997).

## 2.3 Med

Podle vyhlášky 76/2003 Sb., med je „*potravinu přírodního sacharidového charakteru, složená převážně z glukózy, fruktózy, organických kyselin, enzymů a pevných částic zachycených při sběru sladkých šťáv květů rostlin (nektar), výměšků hmyzu na povrchu rostlin (medovice), nebo na živých částech rostlin včelami (Apis mellifera), které sbírají, přetvářejí, kombinují se svými specifickými látkami, uskladňují a nechávají dehydratovat a zrát v plástech.*“ Složení, barva, aroma a chuť medu jsou nejvíce ovlivněny druhem rostlin, geografickým regionem, klimatem a druhem včel, který med produkují (da Silva, 2016).

Účelem zrání medu je přetvoření řídkých, a mikrobiálně nestabilních přírodních šťáv na hutné a mikrobiálně stálé zimní zásoby. Při zrání se mění chemické složení původních surovin. Štěpí se sacharóza na invertní cukr a zároveň z jednoduchých cukrů vznikají cukry složitější (Veselý, 2003).

### 2.3.1 Druhy medu

Medy se dělí podle svého rostlinného původu na medy květové (nektarové) a medovicové.

Květový med pochází převážně z nektaru květů, který včely sbírají. Pokud pochází z jednoho druhu rostliny, mluvíme o medu jednodruhovém (například pampeliškový, akátový, lipový), pokud z více druhů rostlin, poté se med označuje jako vícedruhový (Veselý, 2003).

Medovicový med vzniká jako vedlejší produkt činnosti některých druhů mšic. Ty nabodávají listy nebo jehlice stromů, vysávají rostlinnou šťávu a zužitkovávají z ní pro svou potřebu pouze bílkoviny. Zbylou rostlinnou šťávu, bohatou na cukry, vystřikují ve formě kapének na povrch listů nebo jehlic. Právě tyto kapénky včely sbírají jako medovici (Semerádová, 2013).

Medovicový med se výrazně liší od květových medů jednak tmavou barvou, jednak pomalou krystalizací. Při krystalizaci se vytvářejí hrubé krystaly, které se usazují na dně nádoby, nad kterými je řídkší tekutá vrstva. Medovicové medy mají harmonickou chuť, což je dáno vyšším obsahem minerálních látek a menší kyselostí (Veselý, 2003).

Dalším druhem medů jsou medy smíšené, ty jsou směsí jak medu květového, tak medu medovicového. Většinou má tento med světlou zlatožlutou barvu a je tekutý (Semerádová, 2013).

### 2.3.2 Složení medu

Nejčastější složkou medu jsou monosacharidy, zejména glukosa a fruktóza. Právě obsah cukrů v medu je odpovědný za energetickou hodnotu, viskozitu a granulaci. Téměř u všech druhů medu bývá vyšší obsah fruktózy než glukosy, výjimkou medu řepkového (*Brassica napus*) a medu pampeliškového (*Taraxacum sp.*), kde je vyšší obsah glukosy, proto tyto medy rychleji krystalizují než ostatní druhy (da Silva, 2016).

V medu je obsaženo velké množství vitamínů, zejména vitamíny B komplexu a vitamín C, který je odpovědný za antioxidantní účinky. Med obsahuje velké spektrum aminokyselin, přičemž v největším zastoupení se vyskytuje prolin, který včely produkují při sekreci slin během přeměny nektaru na med. Organické kyseliny vyskytující se v medu jsou odvozené od přítomných sacharidů. Vznikají díky enzymům, které vylučuje včela medonosná (da Silva, 2016).

Obsah minerálních látek v medu je ovlivněn geografickým a botanickým původem. Mezi nejčastěji zastoupené prvky patří (K, Na, Mg, Ca, P, Cl, S) a mezi stopové prvky (Zn, Fe, Mn, Pb, Cd, Ni atd.) (Lanjwani, 2019). Pokud se krmná oblast včel nachází v blízkosti průmyslové nebo městské oblasti, v blízkosti silnic, dálnic, dolů a továren, pak bude koncentrace určitých prvků (tj. Al, Cd, Cu, Mn, Pb, Pd, Zn) v rostlinných zdrojích, a tedy i v medu, vyšší ve srovnání s medem z jiných oblastí. Toto je způsobeno tím, že rostliny jsou schopny akumulovat prvky z prostředí, což se následně projeví i v nektaru, který je včelami sbírán (de la Guirdia & Garrigues, 2015).

Pro stanovení majoritních a minoritních prvků jako jsou Cu, K, Fe a Zn je typicky používanou analytickou metodou F-AAS, avšak stopové prvky jako jsou například Cd, Co a Pb jsou stanovovány spíše HG-AAS (de la Guirdia & Garrigues, 2015).

Sledování koncentrace stopových prvků u medu s ohledem na geochemické podmínky, může pomoci kontrolovat kumulativní znečištění životního prostředí na daném území (de la Guirdia & Garrigues, 2015).

### 2.3.3 Účinky medu

Med je používán po dlouhou dobu historie. Už ve starověku lidé používali med z potravinářského hlediska jako sladidlo, kvůli vysokým nutričním hodnotám, ale také i pro jeho léčebné účinky. Med totiž působí protizánětlivými, antimikrobiálními (antibakteriálními, antifungními, antivirotickými) a antioxidantními účinky.

Za antimikrobiální účinky medu jsou odpovědné fyzikálně-chemické vlastnosti. Z mnoha studií je jasné, že za antimikrobiální účinky je odpovědná vysoká osmolarita a nízká hodnota pH. Nízká hodnota aktivity vody v medu inhibuje růst 60 druhů bakterií, včetně aerobních a anaerobních druhů (Molan, 2001). Med je s rozsahem pH mezi 3,2-4,5 považován za mírně kyselou látku. Samotné nízké pH inhibuje růst mnoha patogenních bakterií. Další vliv na tyto účinky mají vysoké koncentrace cukrů a přítomnost antimikrobiálních a baktericidních faktorů ( $H_2O_2$ , antioxidanty, polyfenoly, lysozymy flavonoidy a peptidy produkované včelami) (Israili, 2014). V medu jsou přítomny látky jako vitamin C, katalázy, peroxidázy a další enzymy, které jsou odpovědné za antioxidantní účinky (Boukraa, 2010).

## 2.4 Železo

Železo je nejhodněji se vyskytující přechodný kov. V přírodě se vyskytuje v minerálech a v rudách, nejčastěji ve formě oxidů a uhličitánů. Železo tvoří hojně sloučeniny s oxidačními čísly  $II+$  a  $III+$ . (Lukeš & Mička, 1998).

V lidském těle je železo obsaženo zejména v hemu (hemoglobin, myoglobin a další enzymy). Zbytek železa se vyskytuje v neaktivní formě v játrech, slezině, kostní dřeni a také v krvi navázané na transportní protein transferin (Zadák, 2008). Nicméně jak nadbytek, tak deficit, je pro organismus škodlivý. Při nadbytku dochází ke tvorbě volných radikálů, proto je hladina železa v organismu vysoce regulována (de la Guirdia & Garrigues, 2015).

Množství železa, které se vyskytuje v medu je různé. Podle rozsáhlé pákistánské studie z roku 2019, kde byl zkoumán obsah 13 různých minerálů ve 30 vzorcích medu z celého státu, bylo výsledkem množství železa pohybující se v rozsahu 2,98-16,2  $mg\ kg^{-1}$  (Lanjwani, 2019).

## 2.5 Draslík

Draslík je sedmý nejvíce zastoupený prvek na zemi. Draslík lze nalézt přirozeně v desítkách přírodních sloučenin a ve stovkách průmyslových produktů, málokdy lze ho nalézt v čisté formě jako měkký stříbrno-bílý kov. Byl objeven v roce 1807, kdy byl získán elektrolýzou roztaveného KOH (Roza, 2008). Při plamenové zkoušce se draselné ionty prokazují fialovým zbarvením plamene.

Draslík je biogenní prvek, který je hojně zastoupen v živých organismech, včetně lidského těla. Draslík pomáhá ke správné činnosti nervové soustavy, činnosti svalů a společně se sodíkem udržují správný osmotický tlak (Woodford, 2003).

Draslík je nejvíce zastoupeným minerálním prvkem v medu. Hodnoty draslíku, který se vyskytuje v medu je v různých zdrojích udáván rozdílně. USDA uvádí, že obsah draslíku je  $520 \text{ mg kg}^{-1}$ . V jiném zdroji je uváděno, že se obsah draslíku v medu pohybuje v rozmezí od 40-3500 mg/100 g (Ajibola, et al., 2012).

### 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

#### 3.1 Používané přístroje a zařízení, pracovní parametry

Během práce byly použity:

- atomový absorpční spektrometr GBC 933AA (GBC, Austrálie)
- přístroj na výrobu deionizované vody Milli-Q plus (Millipore, USA)
- analytické váhy (Sartorius, Česká republika)
- automatické pipety o objemech 100  $\mu\text{L}$ , 1000  $\mu\text{L}$ , 5 mL a 10 mL (Thermo Fisher Scientific, USA)
- laboratorní váhy KERN PEJ 2200-2M (Kern, Německo)
- výbojky s dutou katodou pro stanovení Fe a K, typ SpektrAA Lamp (Varian, Austrálie) použité pro měření při vlnových délkách 248,5 nm pro železo a 766,5 nm pro draslík

#### 3.2 Používané chemikálie:

Během práce byly použity tyto chemikálie:

- standardní roztok draslíku (CertiPUR<sup>o</sup>, MECK spol. s.r.o., Německo), který byl tvořen rozpuštěným dusičnanem draselným v 0,5M kyselině dusičné o celkové koncentraci 1000 mg L<sup>-1</sup>
- standardní roztok železa (CertiPUR<sup>o</sup>, MECK spol. s.r.o., Německo), který byl tvořen rozpuštěným železem o celkové koncentraci 1000 mg L<sup>-1</sup>
- pevný nonahydrát dusičnanu železitého (Fisher Scientific UK, Velká Británie) o  $M_r = 404$
- standardní roztok železa ASTASOL<sup>®</sup> (Analytika, spol. s.r.o., Česká republika), který byl tvořen rozpuštěným železem a 2% kyselinou dusičnou o celkové koncentraci 1,000 $\pm$ 0,005 g L<sup>-1</sup>
- koncentrovaná 65% kyselina dusičná (Analytika, spol. s. r. o, Česká republika)

V tab. 3.1 jsou popsány vzorky medů, které byly použity k analýze. Mezi vzorky jsou medy jak kupované, tak medy domácí, které převažují. Většina domácích medů pochází z ústeckého kraje, a to zejména z oblasti Podbořanska. Další vzorky použité při analýze pocházejí z oblasti Pelhřimovska na Vysočině. Vzorky č. 2 a vzorek č. 4 jsou zástupci kupovaných medů, a to od jedné z největších firem, která na českém trhu medy prodává.

Mezi analyzovanými vzorky medů byly zástupci medů květových, medovicových i smíšených.

Tab. 3.1.: Seznam a popis analyzovaných vzorků medu.

Vzorek	Lokalita/Obec	Druh medu
1	Pelhřimovsko	Květový
2	ČR a střední Evropa	Květový, luční
3	Libov	Květový smíšený
4	ČR, Španělsko, Ukrajina, Uruguay; Mexiko	Medovicový
5	Nepomyšl	Smíšený
6	Nepomyšl	Květový
7	Pelhřimovsko	Lesní
8	Vroutek	Medovicový

### 3.3 Příprava roztoků

Nejprve byl připraven stabilizační roztok. Ten byl tvořen 0,24% kyselinou dusičnou v deionizované vodě. Pro přípravu stabilizačního roztoku bylo použito 5,0 mL koncentrované kyseliny dusičné v 1000 mL odměrné baňce, která byla následně doplněna po rysku deionizovanou vodou.

Pro zvolení správných parametrů měření a vytvoření kalibračních křivek pro stanovení draslíku a železa bylo zapotřebí připravit pro každý prvek kalibrační roztoky o různých koncentracích. Kalibrační roztoky draslíku byly připraveny ze standardního roztoku draslíku, který byl nejdříve desetkrát zředěn a stabilizačního roztoku pro F-AAS. Do pěti 100mL odměrných baněk bylo připraveno pět kalibračních roztoků o různých koncentracích. Objemy potřebné k přípravě roztoků jsou uvedeny v Tab. 3.2.

Tab. 3.2: Objemy standardního roztoku draslíku použitých pro přípravu kalibračních roztoků o celkovém objemu 100 mL.

<b>Koncentrace [mg L<sup>-1</sup>]</b>	<b>0,10</b>	<b>0,25</b>	<b>0,50</b>	<b>1,00</b>	<b>2,50</b>
<b>V(standard. roztok K) [mL]</b>	0,10	0,25	0,50	1,00	2,50

Kalibrační roztoky železa byly připraveny ze standardního roztoku železa a stabilizačního roztoku pro F-AAS. Do odměrných 100mL baněk bylo připraveno pět roztoků o různých koncentracích. Objemy potřebné k přípravě roztoků jsou uvedeny v Tab. 3.3.

Tab. 3.3: Objemy standardních roztoků železa použitých pro přípravu kalibračních roztoků o celkovém objemu 100 mL.

<b>Koncentrace [mg L<sup>-1</sup>]</b>	<b>0,50</b>	<b>1,00</b>	<b>2,50</b>	<b>5,00</b>	<b>10,0</b>	<b>25,0</b>
<b>V(standard. roztok Fe) [ml]</b>	0,05	0,10	0,25	0,50	1,00	2,50

Pro srovnání obsahu železa byly připraveny čtyři roztoky, pro které byly použity čtyři různé zdroje železa. Při přípravě prvního roztoku železa byl nejdříve připraven roztok o koncentraci 1,00 g L<sup>-1</sup>, který byl následně naředěn deionizovanou vodou na 10,0 mg L<sup>-1</sup>. Pro přípravu bylo naváženo 0,7237g pevného nonahydrátu dusičnanu železitého.

Zbylé tři roztoky pro srovnání byly připraveny tak, že pomocí automatické pipety byl vždy odebrán 1,00 mL ze zásobního roztoku do 100mL odměrné baňky a doplněn deionizovanou vodou po rysku. Tím byl připraven roztok o koncentraci 10,0 mg L<sup>-1</sup>.

Samotné roztoky analyzovaných medů byly připraveny navážením 6,0 g medu do kádinek, kde byl med následně rozpuštěn stabilizačním roztokem za zvýšené teploty (60 °C). Rozpuštěný med byl poté převeden do odměrné baňky a doplněn na požadovaný objem 50,0 mL stabilizačním roztokem.

### 3.4 Statistické zpracování výsledků

Během práce na spektrometru byly při každém měření naměřeny tři hodnoty analytického signálu (absorbance). Výsledná hodnota absorbance je v této práci prezentována ve formě mediánu, tedy prostřední hodnoty souboru třech naměřených výsledků seřazených vzestupně podle velikosti.

Dále bylo nutné přepočítat relativní směrodatné odchylky (poskytnuté spektrometrem) na směrodatné odchylky ve vztahu k mediánu. **Směrodatná odchylka** byla vypočtena ze vztahu

$$s_r = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100\%,$$

kde  $s_r$  je relativní směrodatná odchylka,  $s$  je směrodatná odchylka a  $\bar{x}$  je střední hodnota neboli medián.

**Mez detekce LOD** je definována jako nejmenší koncentrací analytu ve vzorku, kterou můžeme detegovat použitou metodou. Mez detekce tedy odpovídá trojnásobku směrodatné odchylky ( $3\sigma$ ) signálu nulového vzorku. Vztah pro výpočet LOD je dán

$$LOD = \frac{3 \cdot s(\text{blanc})}{k},$$

kde  $s$  je směrodatná odchylka z 15-ti naměřených hodnot blanku a  $k$  je směrnice kalibrační přímky.

**Mez stavitelnosti LOQ** se uvádí jako nejmenší koncentrace analytu, kterou můžeme metodou stanovit s přijatelnou přesností. Mez stavitelnosti tedy odpovídá desetinásobku směrodatné odchylky ( $10\sigma$ ) signálu nulového vzorku.

$$LOQ = \frac{10 \cdot s(\text{blanc})}{k},$$

kde  $s$  je směrodatná odchylka z 15-ti naměřených hodnot blanku a  $k$  je směrnice kalibrační přímky.

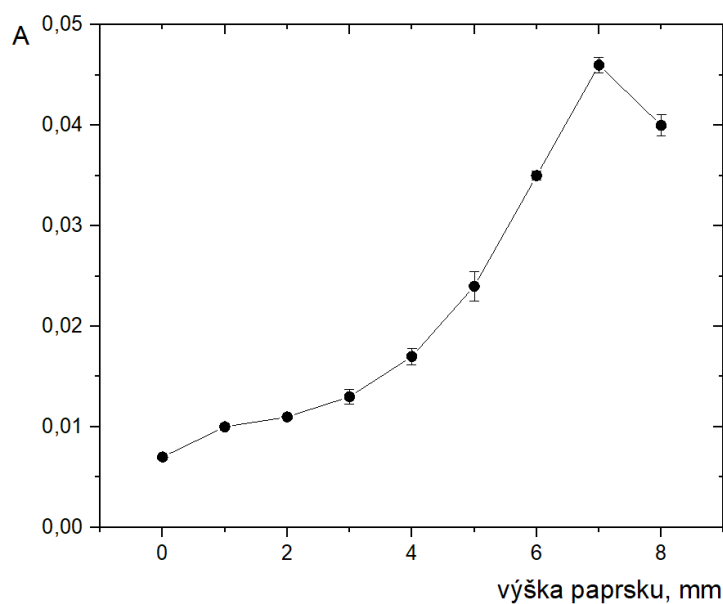
## 4 VÝSLEDKOVÁ ČÁST A DISKUZE

### 4.1 Optimalizace parametrů

Aby byly získány dostatečně přesné výsledky, bylo potřeba nejdříve zjistit optimální podmínky, při kterých bude odezva přístroje, tedy analytický signál, co nejvyšší. Tím pádem bude i maximální citlivost měření. Parametry, které byly optimalizovány, jsou výška paprsku nad hořákem a průtoková rychlost paliva (acetylen). Nejprve byly zjištěny optimální podmínky pro draslík, které byly měřeny při vlnové délce 766,5 nm. Následně byly stejným postupem zjištěny optimální podmínky pro železo, ty byly měřeny při vlnové délce 248,3 nm. V průběhu měření byly vždy zaznamenávány tři hodnoty po třech sekundách, které byly následně statisticky zpracovány. Není-li uvedeno jinak, všechny výsledky jsou prezentovány ve formě mediánu a v grafech doplněny o chybové úsečky.

#### 4.1.1 Optimalizace výšky paprsku nad hořákem

Prvním optimalizovaným parametrem byla výška paprsku nad hořákem. Pro toto měření byl použit roztok draslíku o koncentraci 0,25 mg L<sup>-1</sup>. Při hledání signálu byly proměřeny všechny hodnoty na stupnici pro výšku hořáku, tedy od 0-8 mm. Během měření byla jako slepý vzorek použita deionizovaná voda. Hodnoty naměřených signálů byly zaznamenány do grafu (Obr. 4.1).

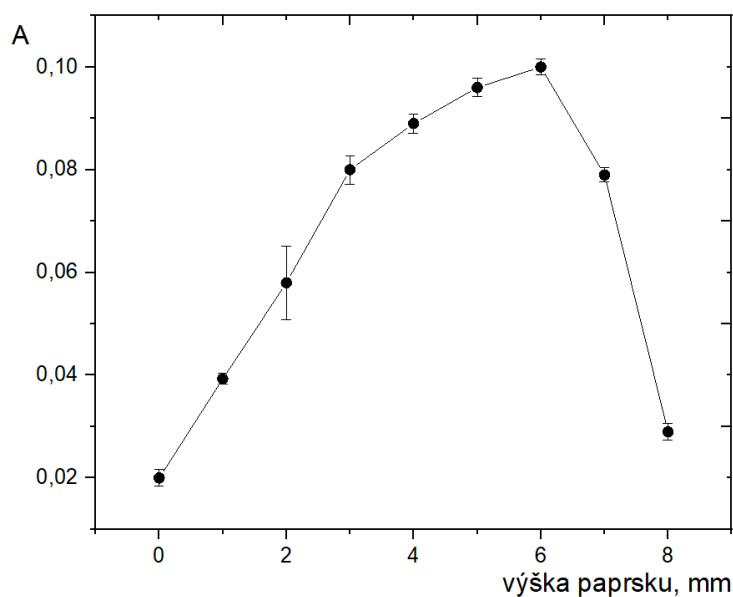


Obr. 4.1: Závislost absorpance na výšce paprsku nad hořákem (pro roztok draslíku)

$$c_K = 0,25 \text{ mg L}^{-1}; \Delta\lambda = 0,8 \text{ nm}; I = 4,0 \text{ mA}; \lambda = 766,5 \text{ nm}; v_{ac} = 2,0 \text{ L min}^{-1}$$

Z grafu lze vyčíst, že čím výše prochází paprsek záření nad hořákem, tím intenzivnější je odezva přístroje. Nejintenzivnější hodnota signálu byla naměřena v poloze 7 mm. V poloze 8 mm signál opět začíná klesat, neboť paprsek již prochází sekundární zónou plamene, kde je výsledný signál ovlivněn kyslíkem z okolní atmosféry.

Stejným způsobem bylo postupováno i u hledání optimální výšky paprsku nad hořákem pro železo. Pro měření byl použit roztok o koncentraci  $5,00 \text{ mg L}^{-1}$ .



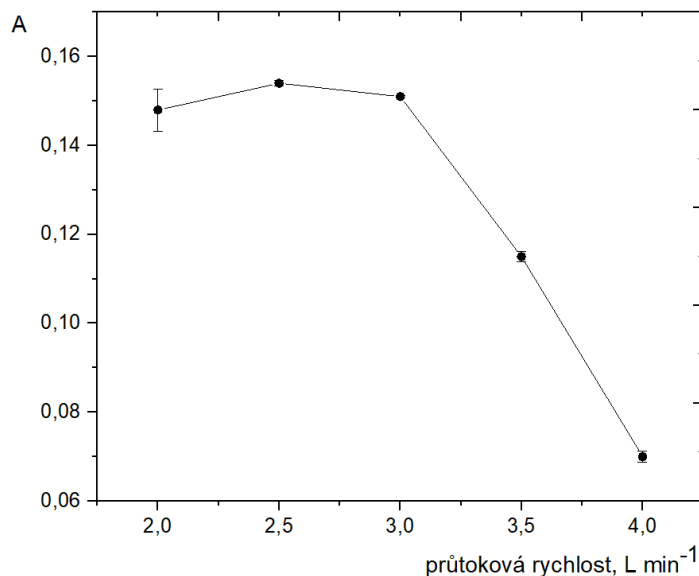
Obr. 4.2: Závislost absorpce na výšce paprsku nad hořákem (pro roztok železa)

$$c_{Fe} = 5,0 \text{ mg L}^{-1}; \Delta\lambda = 0,2 \text{ nm}; I = 5,0 \text{ mA}; \lambda = 248,3 \text{ nm}; v_{ac} = 2,0 \text{ L min}^{-1}$$

V grafu můžeme vidět, že nejvyšší odezva přístroje při optimalizaci výšky paprsku nad hořákem byla naměřena v poloze 6 mm. Průběh této závislosti lze vysvětlit podobně jako v případě draslíku.

#### 4.1.2 Optimalizace průtokové rychlosti paliva

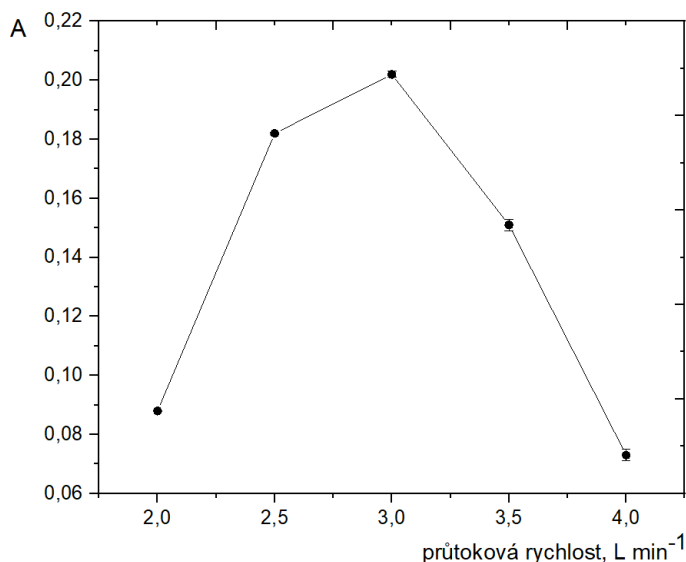
Dalším parametrem byla průtoková rychlost paliva, v tomto případě acetylenu. Jako okysličovadlo byl ve všech případech použit vzduch. Výška paprsku nad hořákem při tomto měření byla nastavena do polohy 7 mm. Při optimalizaci průtokové rychlosti paliva byl použit roztok draslíku o koncentraci  $1,00 \text{ mg L}^{-1}$ . Při optimalizaci byl proměřen rozsah průtokové rychlosti acetylenu  $2,0 - 4,0 \text{ L min}^{-1}$ . Naměřené hodnoty signálů byly následně zaznamenány do grafu (Obr. 4.3).



Obr. 4.3: Závislost absorbance na průtokové rychlosti acetyleny (pro roztok draslíku)  
 $c_K = 1,00 \text{ mg L}^{-1}$ ;  $\Delta\lambda = 0,8 \text{ nm}$ ;  $I = 4,0 \text{ mA}$ ;  $\lambda = 766,5 \text{ nm}$ ;  $h = 7 \text{ mm}$

Nejvyšší hodnota signálu byla naměřena při průtokové rychlosti acetyleny  $2,5 \text{ L min}^{-1}$ . V grafu lze vidět, že se zvyšující se průtokovou rychlostí paliva klesá intenzita signálu. Tento pokles by mohl být vysvětlen přítomností nadbytku paliva ve směsi, která je spalována.

Stejným způsobem byla zjišťována i průtoková rychlost acetyleny pro roztok železa. Výška hořáku byla nastavena do polohy  $6 \text{ mm}$ . Při měření byl použit roztok železa o koncentraci  $10,0 \text{ mg L}^{-1}$ . Naměřené hodnoty byly zaznamenány do grafu.



Obr. 4.4: Závislost absorbance na průtokové rychlosti acetyleny (pro roztok železa)  
 $c_{Fe} = 10,0 \text{ mg L}^{-1}$ ;  $\Delta\lambda = 0,2 \text{ nm}$ ;  $I = 5,0 \text{ mA}$ ;  $\lambda = 248,3 \text{ nm}$ ;  $h = 6 \text{ mm}$

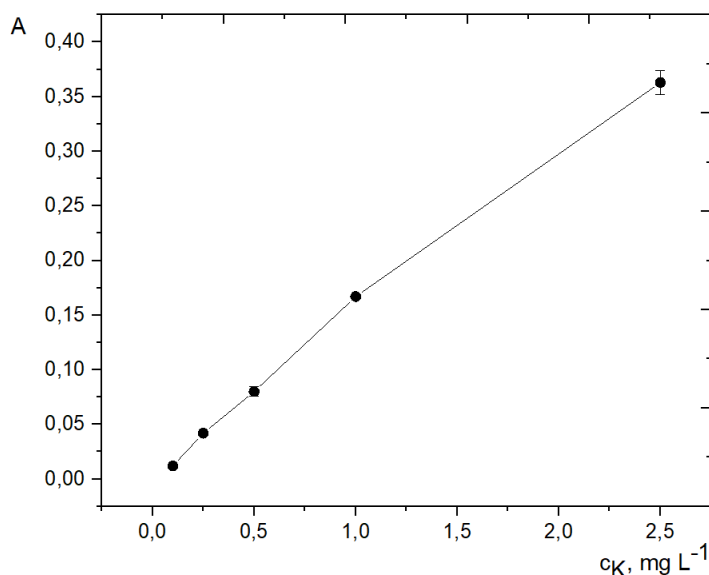
Z grafu je opět patrné, že nejvyšší signál byl zjištěn při průtokové rychlosti acetyleny  $3,0 \text{ L min}^{-1}$ . Postupný nárůst odezvy přístroje při nižších hodnotách průtokové rychlosti je pravděpodobně způsoben nedostatečným obsahem paliva v reakční směsi, tudíž se v plameni nestačí všechny ostatní látky dostatečně rozložit a atomizovat. Po dosažení maximální hodnoty absorbance opět začínají signály klesat, neboť v reakční směsi je naopak nadbytek paliva.

## 4.2 Kalibrační závislost

Po nastavení vhodné vlnové délky, optimální výšky paprsku nad hořákem a průtokové rychlosti acetyleny, mohly být proměřeny kalibrační roztoky a sestrojena kalibrační závislost.

Pro sestrojení kalibrační závislosti draslíku bylo potřeba nejdříve změřit absorbance odpovídající připraveným kalibračním roztokům o koncentracích  $0,10$ ;  $0,25$ ;  $0,50$ ;  $1,00$  a  $2,50 \text{ mg L}^{-1}$ . Optimální parametry pro měření draslíku byly: výška paprsku nad hořákem  $7 \text{ mm}$ , průtoková rychlost acetyleny  $2,5 \text{ L min}^{-1}$ , šířka spektrálního intervalu  $0,8 \text{ nm}$  a napájecí proud výbojky  $4,0 \text{ mA}$ .

Z těchto hodnot byl nadále sestrojen graf závislosti absorbance na koncentraci roztoků měřených při vlnové délce  $766,5 \text{ nm}$  (Obr. 4.5).

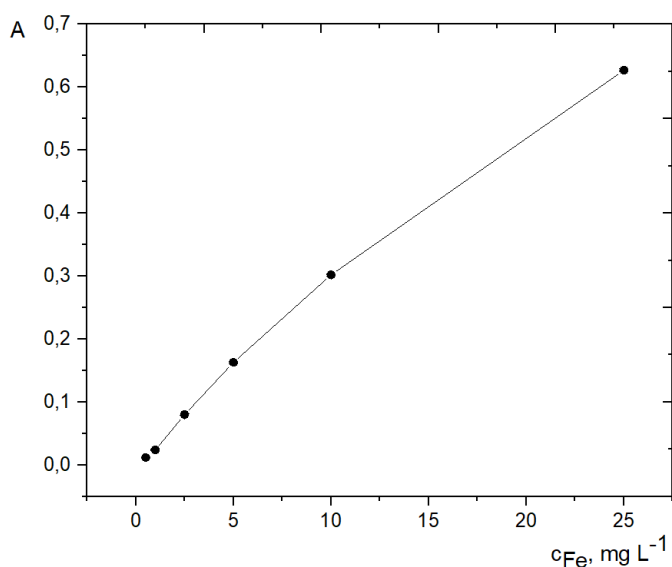


Obr. 4.5: Závislost absorbance na koncentraci draslíku  
 $I = 4,0 \text{ mA}$ ;  $\Delta\lambda = 0,8 \text{ nm}$ ;  $\lambda = 766,3 \text{ nm}$ ;  $v_{ac} = 2,5 \text{ L min}^{-1}$ ;  $h = 7 \text{ mm}$

Z grafu je patrné, že kalibrační závislost pro draslík je lineární téměř v celém měřeném intervalu.

Pro sestrojení kalibrační závislosti železa bylo potřeba nejdříve změřit absorbance odpovídající připraveným kalibračním roztokům o koncentracích 0,50; 1,00; 2,50; 5,00; 10,0 a 25,0 mg L<sup>-1</sup>. Optimálními parametry byly tentokrát výška paprsku nad hořákem 6 mm, průtoková rychlost acetyleny 3,0 L min<sup>-1</sup>, šířka spektrálního intervalu 0,2 nm a napájecí proud výbojky 5,0 mA.

Z těchto hodnot byl nadále sestrojen graf závislosti absorbance na koncentraci roztoků měřených při vlnové délce 248,3 nm (Obr. 4.6)



Obr. 4.6: Závislost absorbance na koncentraci železa.  
 $I = 5,0 \text{ mA}$ ;  $\Delta\lambda = 0,2 \text{ nm}$ ;  $\lambda = 248,3 \text{ nm}$ ;  $v_{\text{ac}} = 3,0 \text{ L min}^{-1}$ ;  $h = 6 \text{ mm}$

Na grafu lze vidět, že kalibrační přímka z počátku strmě stoupá. Následně dochází se zvyšující se koncentrací železa k jejímu zakřivení. Lineární část kalibrační přímky lze spatřit pro rozsah koncentrací do 10,0 mg L<sup>-1</sup>. Tento lineární úsek byl následně použit pro přepočítání navážky mezi potřebné k přípravě měřených roztoků vzorků.

### 4.3 Srovnání standardních roztoků železa

V Tab. 4.3 jsou uvedeny hodnoty naměřených absorbcí pro standardní roztoky železa a pro roztok, který byl připraven z pevného vzorku. Pro správnost měření byly připraveny roztoky o stejné koncentraci, tedy o koncentraci 10,0 mg L<sup>-1</sup>.

Tab. 4.3: Naměřené hodnoty absorbcí při vlnové délce 248,3 nm pro roztoky železa o koncentraci 10 mg L<sup>-1</sup> a objemu 100 mL připravených z různých chemikálií.

Chemikálie	Pevný Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·9H <sub>2</sub> O	Analytica s. r. o.	MECK s. r. o. (d.ex.2012)	MECK s. r. o. (d.ex.2010)
A	0,245 ± 0,00297	0,263 ± 0,00176	0,275 ± 0,00184	0,272 ± 0,00590
RSD	1,21	0,67	0,67	2,17

Z celkového pohledu lze říct, že roztoky železa, které byly připraveny z různých zdrojů, vykazují při koncentraci 10,0 mg L<sup>-1</sup> podobnou hodnotu absorbance. Tudiž i koncentrace železa bude velmi podobná. Nejnižší hodnota signálu byla změřena u roztoku připraveného z pevného vzorku dusičnanu železitého, to může být způsobnou tím, že pevná látka je hydrátem s ne zcela přesně definovaným složením (časem se může měnit).

### 4.4 Opakovatelnost měření

Opakovatelnost měření udává, jak přesné jsou výsledky u opakovaně měřeného jednoho vzorku analytu v krátkém čase prováděné jedním analytikem, jednou metodou a jedním přístrojem. V této práci byl takto patnáctkrát proměřen standardní roztok železa o koncentraci 10,0 mg L<sup>-1</sup> a standardní roztok draslíku o koncentraci 1,00 mg L<sup>-1</sup>. Vypočtené hodnoty opakovatelnosti jsou uvedeny v Tab. 4.4.

### 4.5 Základní charakteristiky stanovení

Při měření kalibračních roztoků byly zjištěny tyto základní charakteristiky, které jsou uvedeny v Tab. 4.4. Pro výpočet LOD a LOQ roztoku železa byl zvolen kalibrační roztok o nejnižší koncentraci 0,50 mg L<sup>-1</sup>. Pro výpočet LOD a LOQ roztoku byl použit opět kalibrační roztok s nejnižší koncentrací, a to s koncentrací 0,10 mg L<sup>-1</sup>.

Tab. 4.4: Vypočtené hodnoty meze detekce, meze stavitelnosti, citlivosti a opakovatelnosti.

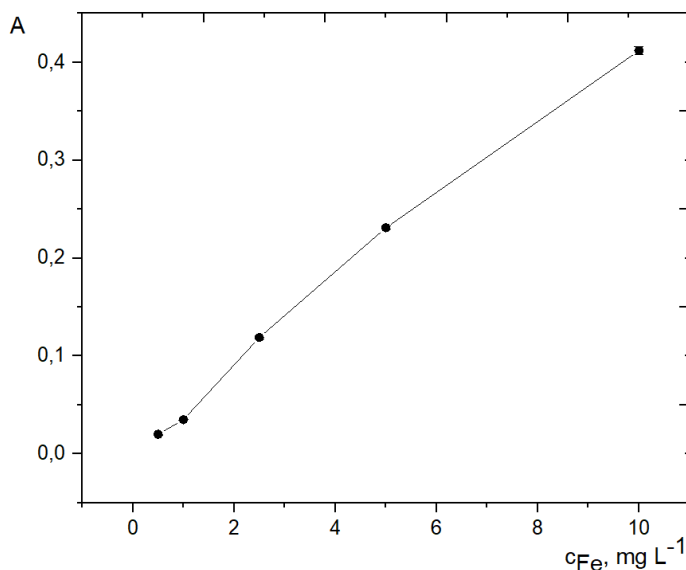
	Fe	K
<b>LOD [mg L<sup>-1</sup>]</b>	0,20	0,013
<b>LOQ [mg L<sup>-1</sup>]</b>	0,65	0,045
<b>Citlivost [L mg<sup>-1</sup>]</b>	0,0260	0,284
<b>Opakovatelnost [%]</b>	0,74	0,90
<b>Korelační koeficient</b>	0,9862	0,9983

#### 4.6 Stanovení koncentrace prvků ve vzorcích

Po zjištění optimálních podmínek pro každý z prvků přišlo na řadu samotné měření jednotlivých vzorků medu.

Software atomového spektrometru byl nastaven tak, aby po změřené absorbanci roztoku analyzovaného medu vypočítal koncentraci stanovovaného prvku.

Nejdříve bylo změřeno pět standardních roztoků železa o koncentracích 0,50; 1,00; 2,50; 5,00 a 10,0 mg L<sup>-1</sup>. Ze změřených hodnot byla automaticky vytvořena kalibrační závislost (Obr. 4.7).

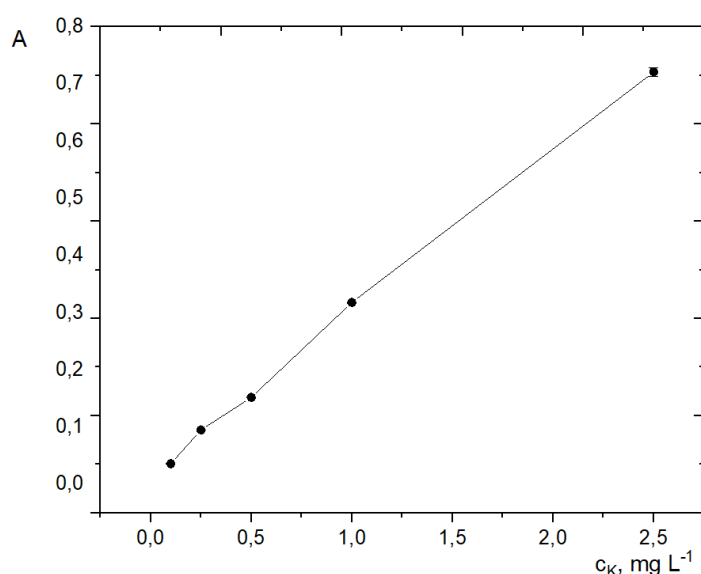


Obr. 4.7: Kalibrační závislost železa vytvořená softwarem spektrometru  
 $I = 5,0 \text{ mA}$ ;  $\Delta\lambda = 0,2 \text{ nm}$ ;  $\lambda = 248,3 \text{ nm}$ ;  $v_{ac} = 3,0 \text{ L min}^{-1}$ ;  $h = 6 \text{ mm}$

Následně byly proměřeny jednotlivé roztoky medů. V průběhu měření byly opět změřeny tři hodnoty absorbance po dobu tří vteřin, statisticky zpracovány a ve formě mediánu byly vyneseny v závislosti na koncentraci na kalibrační přímkou. Jako kontrolní roztok pro odezvu přístroje byl po změření každého roztoku medu použit kalibrační roztok železa o koncentraci 5,00 mg L<sup>-1</sup>.

Z naměřených výsledků koncentrace železa lze konstatovat, že železo je stopově zastoupeným prvkem medu. I přesto, že v polovině zkoumaných vzorcích byl obsah železa detekován, nelze říct, jaké bylo jeho přesné zastoupení. Naměřené hodnoty koncentrací železa jsou hodnoty nižší než LOD, lze tedy konstatovat, že železo je ve vzorcích nedetekovatelné.

Tímto způsobem byla stanovena i koncentrace draslíku. Nejdříve byly změřeny standardní roztoky draslíku o koncentracích 0,10; 0,25; 0,50; 1,00 a 2,50 mg L<sup>-1</sup>. Z těchto roztoků byla následně automaticky vytvořena kalibrační přímka (Obr. 4.8)



Obr. 4.8: Kalibrační závislost draslíku vytvořená softwarem spektrometru  
 $I = 4,0 \text{ mA}$ ;  $\Delta\lambda = 0,8 \text{ nm}$ ;  $\lambda = 766,3 \text{ nm}$ ;  $v_{ac} = 2,5 \text{ L min}^{-1}$ ;  $h = 7 \text{ mm}$

V dalším kroku byly proměřeny analyzované vzorky medu. Jako kontrolní roztok pro kontrolu odezvy přístroje po změření každého roztoku medu byl použit kalibrační roztok draslíku o koncentraci 1,00 mg L<sup>-1</sup>.

Jelikož je draslík nejvíce zastoupeným minerálním prvkem v medu, při změření připravených roztoků vykazoval velmi vysoké hodnoty absorbance. Z toho důvodu bylo nutné připravené roztoky stokrát naředit. K ředění byla použita deionizovaná voda. V případě vzorku č. 7, který obsahuje vysoké množství draslíku, bylo potřeba stokrát zředěný roztok ještě následně desetkrát naředit.

Tab. 4.5: Výsledné koncentrace draslíku v mg L<sup>-1</sup> (ředěné vzorky) a přepočítané koncentrace v mg L<sup>-1</sup> (po započtení ředění)

<b>vzorek</b>	<b>c<sub>K</sub> · 10<sup>-2</sup> [mg L<sup>-1</sup>]</b>	<b>c<sub>K</sub> [mg kg<sup>-1</sup>]</b>
<b>1</b>	0,86	716
<b>2</b>	0,62	517
<b>3</b>	1,82	1517
<b>4</b>	0,96	800
<b>5</b>	1,02	850
<b>6</b>	0,38	316
<b>7</b>	0,79*	6583
<b>8</b>	1,98	1650

\* desetkrát naředěný roztok

Na základě změřených hodnot draslíku lze říct, že je jeho obsah v medu vysoký. Tato skutečnost souhlasí s doposud publikovanými výsledky, že draslík je nejvíce zastoupený minerální prvek v medu. Obsah draslíku v měřených vzorcích se pohyboval v rozmezí 316 - 6583 mg kg<sup>-1</sup>. Nejvíce draslíku obsahoval vzorek medu č. 7. Tento med je zástupcem tzv. medovicových medů, což opět odpovídá doposud zjištěným skutečnostem. Naopak vzorek č. 6, který patří mezi květové medy, obsahuje nejnížší naměřené množství draslíku.

## ZÁVĚR

Tématem této bakalářské práce bylo stanovení obsahu železa a draslíku ve vybraných vzorcích medu za použití metody atomové absorpční spektrometrie s plamenovou technikou atomizace.

Jedním ze stanovených cílů této práce bylo nalezení optimálních podmínek pro měření na atomovém absorpčním spektrometru. Po úspěšném nalezení optimálních podmínek pro atomizaci, kterými byly výška paprsku nad hořákem a průtoková rychlost acetylenu, následovalo zjištění základních charakteristik této metody pro stanovení železa i draslíku.

Dále následovalo samotné stanovení prvků v dodaných medových vzorcích. Na základě analýzy vybraných vzorků lze konstatovat, že železo se vyskytuje v medu pouze jako stopový prvek. Ani v jednom ze zkoumaných vzorků nebyla koncentrace železa přesně stanovena, neboť naměřené hodnoty koncentrací železa byly nižší než detekční limit této metody. V případě draslíku, jehož koncentrace byla stanovena ve všech osmi vzorcích, byly naměřeny hodnoty koncentrací od 316 do 6583 mg kg<sup>-1</sup>. Lze konstatovat, že se podařilo prokázat skutečnost hojně zastoupeného prvku. Na základě výsledků této práce lze tvrdit, že medovicový druh medu je více bohatý na minerální prvky, konkrétně na draslík, oproti medu květovému.

I přesto, že je med po celém světě často zkoumán z důvodu léčivých účinků a složení, dalo by se v této studii pokračovat i ve stanovení dalších významných prvků. Zejména prvků, které mohou mít nepříznivý vliv na lidské zdraví, např. Pb, Cd, Hg.

## 5 POUŽITÁ LITERATURA

1. Němcová, Irena, Ludmila Čermáková, a Petr Rychlovský. *Spektrometrické analytické metody I*. 2. vydání. Praha: Nakladatelství Karolinum, 2004.
2. Záruba, Kamil. *Analytická chemie (2.díl)*. První. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016.
3. Boukraa, L., 2010. *Honey in traditional and modern medicine*. CRC Press, Taylor & Francis Group.
4. Černožský, T. & Jandera, P., 1997. *Atomová spektroskopie*. Univerzita Pardubice
5. de la Guirdia, M. & Garrigues, S., 2015. *Handbook of mineral elements in food*. 1. editor Valentia, Spain: John Wiley & Sons.
6. Israili, Z., 2014. Antimicrobial properties of honey. *American Journal of Therapeutics*, pp. 304-323.
7. Klouda, P., 2003. *Moderní analytické metody*. 2. editor Ostrava: Nakladatelství Pavel Klouda.
8. Lukeš, I. & Mička, Z., 1998. *Anorganická chemie II. (Systematická část)*. Praha: Karolinum.
9. Molan, P. C., 2001. *Honey as topical antibacterial agent for treatment of infected wounds*, Hamiltos, New Zealand: University of Waikato.
10. O'Dell, B. L. & Sunde, R. A., 1997. *Handbook of nutritionally essential mineral elements*. 2. editor Columbia, Missouri: Marcel Dekker, Inc..
11. Roza, G., 2008. *Potassium*. 1. editor New York: The Rosen Publishing Group, Inc..
12. Veselý, V. a. k., 2003. *Včelařství*. 2. editor Praha: Nakladatelství Brázda, s. r. o..
13. Woodford, C., 2003. *Potassium*. Tarrytown, New York: Marshall Cavendish.
14. „76/2003 Sb. Vyhláška, kterou se stanoví požadavky pro přírodní sladidla, med, cukrovinky, kakaový prášek a směsi kakaa s cukrem, čokoládu a čokoládové bonbony". <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=76&r=2003>.

15. Silva, Priscila Missio da, Cony Gauche, Luciano Valdemiro Gonzaga, Ana Carolina Oliveira Costa, a Roseane Fett. „Honey: Chemical Composition, Stability and Authenticity". *Food Chemistry* 196 (1. duben 2016): 309–23. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.051>.
16. Lanjwani, Muhammad Farooque, a Fayaz Ahmed Channa. „Minerals Content in Different Types of Local and Branded Honey in Sindh, Pakistan". *Heliyon* 5, č. 7 (1. 7. 2019): e02042. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02042>.
17. SEMERÁDOVÁ, N. Med, jeho složení a uplatnění ve výživě. [Bakalářská práce.] Brno: MUNI, 2013
18. Belitz, H.-D.; Grosch. W.; Schieberle P.: *Food Chemistry*. 4th ed. Berlin Heidenberg: Springer, 2009.
19. Zadák, Z., 2008. Výživa v intenzivní péči -2., rozšířené a aktualizované vydání. Grada Publishing a.s.
20. Israili, Z.H., 2014. Antimicrobial properties of honey. *American Journal of Therapeutics* 21, 304–323. doi:10.1097/MJT.0b013e318293b09b
21. Ajibola, A., Chamunorwa, J.P., Erlwanger, K.H., 2012. Nutraceutical values of natural honey and its contribution to human health and wealth. *Nutr Metab (Lond)* 9, 61. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-9-61>

#### Citace použitých obrázků

1. Záruba, K., Král, V., Mestek, O. & Řezanka, P., 2016. *Analytická chemie (2.díl)*. 1. editor Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze [str. 47]
2. Černohorský, T. & Jandera, P., 1997. *Atomová spektroskopie*, Univerzita Pardubice [str. 41]