

# Stanovení rizikových prvků ve včelách

Martin Seidl

---

Bakalářská práce  
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav inženýrství ochrany životního prostředí  
akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin SEIDL**  
Osobní číslo: **T10605**  
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**  
Studijní obor: **Inženýrství ochrany životního prostředí**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Stanovení rizikových prvků ve včelách**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte dostupnou literaturu a informační zdroje vztahující se k zadanému tématu.
2. Provedte stanovení vybraných rizikových prvků ve včelách v průběhu včelařské sezóny.
3. Výsledky kriticky zhodnoťte a formulujte závěry.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] Conti, M., E., Botr?, F., 2001: Honeybees and their products as potential bioindicators of heavy metals contamination. *Environmental Monitoring and Assessment*, 69, pp. 267-282.

[2] DEVILLERS J. and PHAM-DEL?GUE M.H. Honey Bees: Estimating the Environmental Impact of Chemicals. Edition ed.: Taylor & Francis Group, 2002. ISBN 9780415275187.

[3] Giorgio CELLI, Bettina MACCAGNANI: Honey bees as bioindicators of environmental pollution. *Bulletin of Insectology* 56 (1): 137-139, 2003. ISSN 1721-8861.

[4] HLADUN K.R., et al. Selenium Toxicity to Honey Bee (*Apis mellifera* L.) Pollinators: Effects on Behaviors and Survival. *Plos One*, 2012, vol. 7, no. 4, p. e34137.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Roman Slavík, Ph.D.**

Ústav inženýrství ochrany životního prostředí

Datum zadání bakalářské práce:

**8. února 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**24. května 2013**

Ve Zlíně dne 8. února 2013

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*



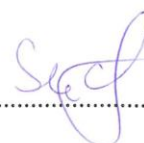
  
doc. Mgr. Marek Koutný, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně ..... 24.5.2013

.....  


---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá stanovením vybraných rizikových prvků (Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) ve vzorcích včel (včela medonosná, *Apis mellifera*) ve městě Napajedla a přilehlém okolí. Včela má kromě své opylovací činnosti i jiné využití, slouží jako indikátor pro sledování kvality životního prostředí tzv. bioindikace. Rizikové prvky byly stanoveny pomocí atomové absorpční spektrometrie. Výsledky byly zpracovány pomocí statistické metody – shluková analýza a zobrazeny pomocí grafů. Majoritní zastoupení ve vzorcích včel má mangan. Ze sedmi vybraných rizikových prvků byly objeveny tři, které považujeme jako rizikové, mezi ně patří olovo, nikl a kadmium.

Klíčová slova: bioindikace, včela medonosná, rizikové prvky, těžké kovy

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the assessment of chosen risk elements (Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) in samples of bees (honeybee, *Apis mellifera*) in city of Napajedla and adjacent area. Bees has besides their pollinating activity another usage, they are used as an indicator for monitoring environment quality. Risk elements were determined via atomic absorption spectrometry. Results were processed using statistical method – cluster analysis and shown on charts. Manganese has major representation in all bee samples. From seven chosen risk elements were discovered three, which we consider as risk elements, these include lead, nickel and cadmium.

Keywords: bioindication, honey bee, risk elements, heavy metals

Motto:

„Pokud by zmizely na zemi včely, zbývají lidem jen čtyři roky života.“

Albert Einstein

Poděkování:

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Romanu Slavíkovi Ph.D., za jeho čas, cenné rady a připomínky ohledně bakalářské práce.

Prohlášení:

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 VÝZNAM VČEL</b> .....	<b>12</b>
1.1 TAXONOMICKÉ ZAŘAZENÍ VČEL A ROZŠÍŘENÍ VČELY MEDONOSNÉ .....	12
<b>2 VÝVOJOVÉ FÁZE VČELSTVA V PRŮBĚHU ROKU</b> .....	<b>15</b>
<b>3 RIZIKOVÉ PRVKY A JEJICH BIOINDIKACE VČELAMI</b> .....	<b>17</b>
3.1 OLOVO .....	19
3.2 KADMIUM.....	19
3.3 NIKL.....	19
3.4 ŽELEZO.....	20
3.5 MĚĎ .....	20
3.6 ZINEK .....	20
3.7 MANGAN .....	20
<b>4 VYUŽITÍ SHLUKOVÉ ANALÝZY PRO IDENTIFIKACI PODOBNOSTI OBJEKTŮ</b> .....	<b>21</b>
4.1 HIERARCHICKÉ SHLUKOVÁNÍ .....	21
4.1.1 Grafické zobrazení dendrogramu podobnosti proměnných .....	22
4.2 EXPLORATORNÍ ANALÝZA STRUKTURY OBJEKTŮ (EDA) .....	22
4.3 URČENÍ STRUKTURY V PROMĚNNÝCH A OBJEKTECH.....	23
4.3.1 Analýza hlavních komponent (PCA) .....	23
4.3.1.1 Graf komponentních vah.....	23
4.3.1.2 Rozptylový diagram komponentního skóre .....	23
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>24</b>
<b>5 MATERIÁLY A POUŽITÉ METODY</b> .....	<b>25</b>
5.1 ODBĚR A KONZERVACE VZORKŮ VČEL .....	25
5.2 STANOVENÍ SUŠINY A POPELA .....	25
5.3 STANOVENÍ OBSAHU VYBRANÝCH RIZIKOVÝCH KOVŮ.....	26
5.3.1 Materiály a použité chemikálie .....	26
5.3.2 Použité přístroje .....	26
5.4 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH DAT .....	26
<b>6 CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÝCH LOKALIT</b> .....	<b>27</b>
<b>7 VÝSLEDKY A DISKUZE</b> .....	<b>28</b>



7.1	EXPLORATORNÍ ANALÝZA .....	29
7.2	VÝVOJOVÝ STROM .....	29
7.3	ROZPTYLOVÝ DIAGRAM.....	30
7.4	GRAF KOMPONENTNÍCH VAH .....	31
<b>ZÁVĚR .....</b>		<b>33</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>		<b>34</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>		<b>36</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>		<b>37</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>		<b>38</b>

## ÚVOD

Včela obývá planetu Zemi mnohonásobně delší dobu než člověk. Jejího užitku jsou si lidé vědomi už od pradávna. Poskytuje nám med, vosk, propolis, mateří kašičku, pyl. Vyskytuje se prakticky po celém světě, tím se diferencovaly různé druhy včely. Včela se také podílí na výživě populace právě svou opylovací činností. Ve 20. století člověk zjistil, že včela má i jiný přínos než jen opylovací činnost, tato funkce je úzce spjata s průmyslovou revolucí a industrializací výrobních procesů. Od této doby je životní prostředí značně zatíženo emisemi, vypouštěnými do atmosféry (ale i vod a půd) a jejich následným spadem na zemský povrch. V těchto dobách lidstvo ještě nemělo tušení, že emise vypouštěné v takovém množství mají značně negativní dopad na kvalitu životního prostředí. Pozornost ochraně životního prostředí byla věnována až začátkem 20. století. S rozvojem vědy a techniky se začal zvětšovat zájem lidí o ochranu přírody. Myšlenka využití včel jako bioindikátoru se objevila již v první polovině minulého století, tato myšlenka byla potvrzena vědci z různých částí světa během posledních 50. let. Včela má pro tuto funkci zcela zásadní fyziologické vlastnosti, a také jako veškerá lidská činnost, je i biomonitoring ovlivňován svými náklady, a proto je v některých případech včelám dávána přednost před drahými vzorkovacími metodami.

Cílem této práce je stanovení vybraných rizikových anorganických prvků ve vzorcích včel v průběhu včelařské sezóny ve městě Napajedla a jeho přilehlém okolí. Stanovení rizikových prvků ve vzorcích včel bude provedeno pomocí atomové absorpční spektrometrie a výsledky budou zpracovány pomocí metod statistické analýzy.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 VÝZNAM VČEL

V současné době je včela medonosná chována prakticky po celém světě. Poskytuje člověku med a další produkty – vosk, mateří kašičku, propolis, jed a pyl. Včela medonosná je nejdůležitější pro svou opylovací činnost a také se podílí přímo i nepřímo 1/3 na zajišťování lidské výživy, právě svou opylovací činností. Za velmi důležitý vliv včely medonosné se považuje utváření životního prostředí. Největší užitek přináší lidstvu včela medonosná právě výše zmíněnou opylovací činností, a to zejména opylováním zemědělských entomofilních plodin. Z několika druhů hmyzích opylovačů (včely, vosy, moly, motýli) jsou to právě včely, které bývají považovány za nejúčinnější a nejspolehlivější opylovače a to ze dvou důvodů. Za prvé při procesu opylování neponičí rostlinu, za druhé navštěvují květiny metodicky, kde sbírají nektar a pyl. Včely tedy mají značně pozitivní dopad na udržení biologické rozmanitosti a udržují produktivitu jak přírodních, tak zemědělských ekosystémů. Je ovšem nutné zmínit, že pouze 15% plodin jsou opylovány domácími včelami a dalších 80% jsou opylovány divokými včelami a jinými živočichy. Včely mají dolet do 5 km od úlu v mimořádných situacích pak 10 až 12 kilometrů, tento případ nastává, pouze pokud včely mají nedostatek potravy. Během těchto letů včely vzorkují životní prostředí tím, že sbírají nektar, pyl, vodu atd., a zároveň akumulují prach z ovzduší na svém ochlupení. Prachem rozumíme pouze biologicky dostupné nečistoty. Díky této vlastnosti slouží včely jako neutrální vzorkovače, které jsou aplikovány pro detekci organických nebo anorganických polutantů v životním prostředí. [1, 7]

### 1.1 Taxonomické zařazení včel a rozšíření včely medonosné

Doposud bylo popsáno 20 000 druhů včel po celém světě, patří do nadčeledi Apoidea (včely), ty patří do říše Animalia (živočichové), kmene Arthropoda (členovci), třídy Insecta (hmyz) a řádu Hymenoptera. [3]

Mezi největší předností používání včely medonosné jako bioindikátoru je její početnost a rozšíření na velkých územích. Včely se nacházejí v oblastech zatížených i nezatížených chemickými látkami. Rozmístění včelstev v různých oblastech je dáno tím kde všude člověk žije. Včelstva, která jsou rozmístěna v přírodě, mohou být použita pro monitoring rozsáhlých oblastí. [4]

*Apis mellifera* neboli včela medonosná, patří tedy mezi nejpočetnější druh včely na planetě. Původním domovem včely medonosné byla Afrika, Arabský poloostrov a Evropa, člověk pak způsobil její rozšíření do dalších částí světa jako Amerika nebo Austrálie, toto zapříčinilo vznik mnoho poddruhů včely medonosné (viz obr. 1). Existuje několik vnějších znaků (např. velikost a zbarvení těla, délka sosáku atp.) podle kterých lze identifikovat, o jakou rasu včely medonosné se jedná. Není možné určit rasu podle jednoho jedince, ta se stanovuje pro celé včelstvo, podle několika desítek dělnic. Bylo zjištěno, že včely medonosné jsou na planetě Zemi minimálně 80 milionů let, avšak v posledních 500 000 letech (tj. poslední doba ledová) se vyvinula tak jak jí známe dnes, avšak myšlenka využití včel jako vzorkovačů pro životní prostředí se datuje do první poloviny dvacátého století, kdy vznikla myšlenka, že tento hmyz může lidstvu poskytnout důležité informace o dopadu jeho činnosti. Tato hypotéza byla potvrzena v polovině dvacátého století, když byly ve včelách nalezeny radionuklidy stroncia z testů jaderných zbraní. Od této doby je včela také využívána k monitoringu životního prostředí. [3, 13]



Obrázek 1: Druhovému zastoupení včel v různých částech Evropy [20]

Od roku 2000 do roku 2003 byl pokles stavu včelstev způsoben špatnými klimatickými podmínkami. Situace se výrazně zlepšila po vstupu ČR do Evropské unie a poskytnutím dotací. Počet včelstev byl několik let relativně konstantní. Na přelomu roku 2007/2008

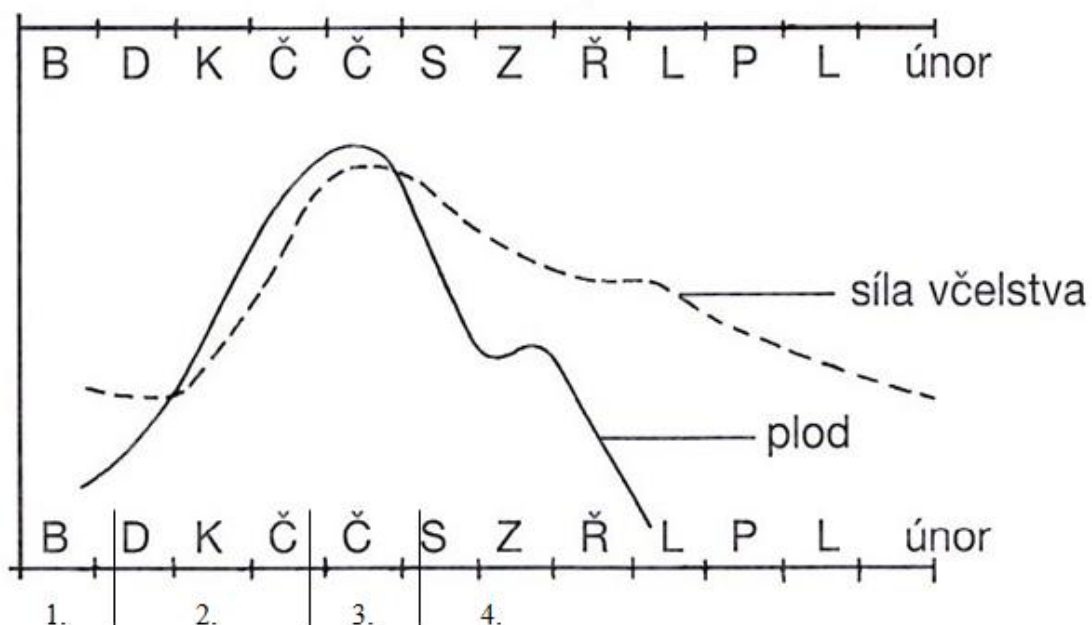
byly včelstva v ČR napadena roztočem *Varroa destructor* a došlo k masivnímu úhynu. Situace se podařila zlepšit po vyhlášení podpory na ochranu včelstev. [14]

Tabulka 1: Vývoj počtu včelařů a včelstev [14]

Rok	Počet včelařů	Počet včelstev
2000	55 245	534 814
2001	53 315	537 226
2002	52 768	517 743
2003	50 940	477 743
2004	50 109	556 853
2005	49 824	551 681
2006	48 678	525 560
2007	47 966	520 084
2008	45 604	461 086
2009	46 033	497 946
2010	46 573	528 186

## 2 VÝVOJOVÉ FÁZE VČELSTVA V PRŮBĚHU ROKU

Vývoj včelstev je spojený s prostředím, počasí a klimatické podmínky mají na činnost včel největší vliv. Plodování včelstev začíná v zimním období, kdy jsou stažena kvůli chladu do zimního chumáče. Dělní práce začíná na jaře, včely začnou vyletovat pro vodu, pyl a za snůškou. Přínosy sladiny a pylu způsobují rychlý růst včelstev. To má za následek zvýšení tvorby tepla, které vede k dalšímu plodování, i ke stavbě včelího díla. Rojení a vznik nových včelstev dělením, vzniká v důsledku rychlého růstu počtu včel, zvýšené venkovní teplotě a těsnému úlu. Rozvoj včelstev vrcholí na začátku července, kdy včelstva nahromadí zásobu medu a pak se pomalu připravují na zimu. Ve vrcholném období tvoří včelstvo jedna matka, 300 - 600 trubců, 50 000 - 60 000 dělnic, dále vajíčka a plod, zásoby medu a pylu a včelí dílo z vosku – plodové a medné pláсты. Matka má za úkol růst a rozmnožování včelstva. Trubci – včelí samečci jejich úkolem je osemenit mladé matky. Dělnice vykonávají ve včelstvu veškerou práci. Přinášejí nektar, medovici, pyl, propolis, vodu, zpracovávají sladinu a med, pečují o výživu plodu, stavějí voskové pláсты a chrání včelstvo před vetřelci. Dělnice jsou nejpočetnější jedinci včelstva a určují jeho ráz. Činnost dělnic je založena na dělbě práce podmíněné chemickými látkami tzv. feromony. [2]



Obrázek 2: Vývoj včelstva v průběhu roku [11, 12]

Pro plodovou křivku (obr. 2) je charakteristický její tvar, který se může každým rokem mírně lišit, to je způsobeno fyziologickým stavem včel, zásobami pylu, stavem potravy a

teplotou v úlu. Plodová křivka dosahuje svých maximálních hodnot začátkem května a koncem června, celkem tedy 8 týdnů. [12]

Stoupající úsek plodové křivky se nazývá vývojová fáze a dělí se na dva vývojové úseky. Plodování včel je proces velmi závislý na teplotě. Po zimě nastává úbytek včelí populace, která se převážně skládá z dlouhověkých zimních včel. Včelstvo začne nabývat na četnosti, pokud dosáhne plodování polovinu možného maxima (tj. asi 20 000 plodových buněk = 6 - 7 plodových plástů). V tomto momentě začíná druhý vývojový úsek. Tato fáze má největší vliv rychlost růstu včelstva. První vývojová fáze definuje plodový rytmus a životaschopnost včelstva, která ovlivněna stresem v této vývojové fázi. Druhá vývojová fáze pak popisuje odolnost včel proti krizím. Důležitou veličinou pro rozlišení první vývojové fáze od druhé vývojové fáze je změna populační hustoty. Jakmile plodová křivka dosáhne svého maxima, nastává zpětný vývoj včelstva, ten bývá označován jako první a druhá sestupná fáze. První sestupná fáze nastává po plodovém maximu v období hlavní letní snůšky. V této fázi je včelstvo nejpočetnější, a také náchylné k onemocnění, či napadení roztočem *Varroa*. Počátek druhé sestupné fáze je charakteristický pro prudký úbytek plodu. Ve včelstvu dochází k minimalizaci plodování, to ovšem nekončí ve všech místech stejně, bylo prokázáno, že se zvětšující se nadmořskou výškou (bez přítomnosti mlhy a s vyššími teplotními maximy) je plodování delší. Z tohoto poznatku můžeme usoudit, že velkou roli hraje stanoviště. Plodování končí na podzim, protože včely které se vylíhnou v tomto období, již nepracují. [12]

V roce 1996 byl studován výskyt těžkých kovů v životním prostředí pomocí včel. Úly (o celkovém počtu 12 včelích kolonií) byly umístěny poblíž frekventované křižovatky, sledované prvky byly olovo, kadmium a zinek v mrtvých včelách, létavkách a ve včelích produktech. Experiment byl prováděn po dobu 9 měsíců a z výsledků autoři zjistili, že zinek a kadmium se ve velké míře nachází na povrchu těla včely, to je v důsledku atmosférické depozice, zatímco olovo bylo nalezeno v těle včely (předpokládá se, že si jej včely extrahují z vody). U mrtvých včel byly nalezeny všechny těžké kovy v době experimentu, tím se potvrdilo, že včelu lze považovat za ideální bioindikátor a mrtvé včely jako možný nástroj pro sledování dynamiky akumulace těžkých kovů. [18]



### 3 RIZIKOVÉ PRVKY A JEJICH BIOINDIKACE VČELAMI

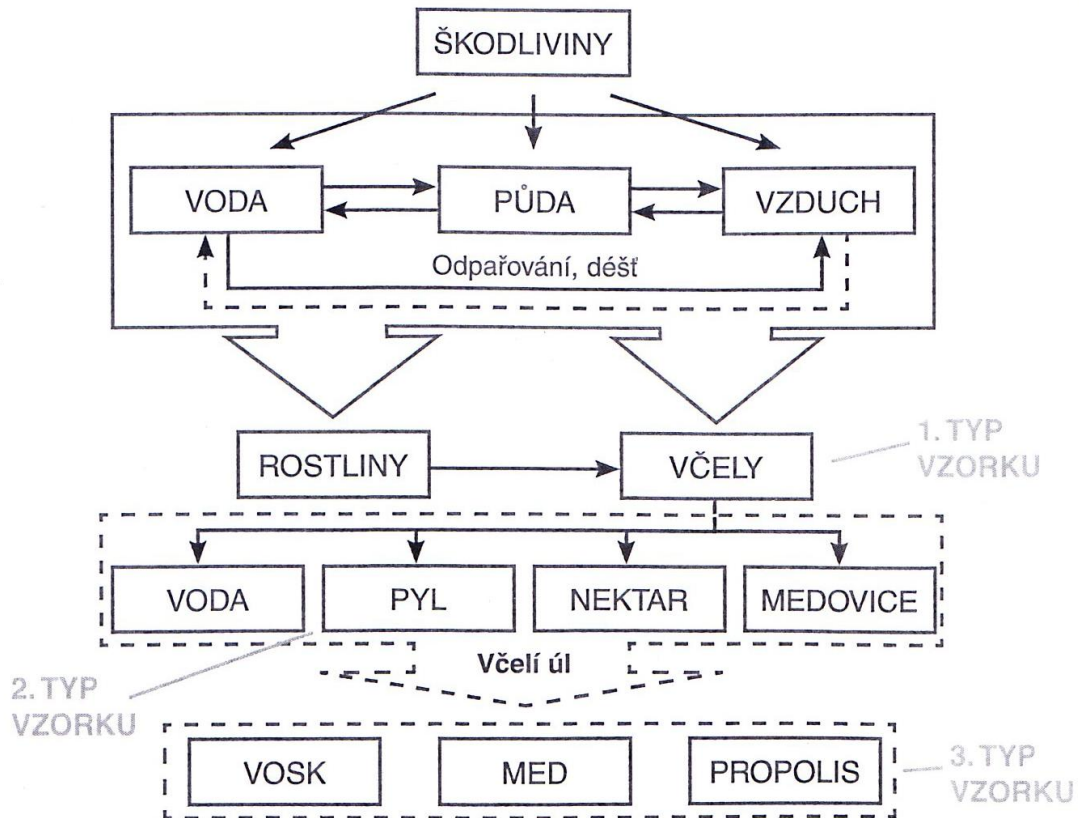
Těžké kovy se dostávají do životního prostředí různými způsoby. Za původce znečištění je považován člověk a to hlavně ze spalování fosilních paliv, emise produkované automobily, těžba kovů, jejich následné zpracování, a také zemědělství, kde jsou těžké kovy obsaženy v pesticidech či hnojivech. Přítomnost takových látek v životním prostředí má negativní dopad, jednak na opylovací schopnost včel, a s tím související ovlivnění potravního řetězce u živočichů, kteří se živí semeny rostlin. Znečištění životního prostředí těžkými kovy i nadále narůstá, protože se zvyšuje poptávka po takových výrobcích. Těžké kovy nejsou biologicky rozložitelné a kumulují se v půdě a vodě. V důsledku činnosti bakterií dochází k chemickým přeměnám těchto kovů na jejich nebezpečnější deriváty. [4, 8]

Myšlenka využití včely medonosné jako bioindikátoru vznikla již v roce 1935, avšak monitoring pomocí tohoto hmyzu začal až po druhé světové válce, kdy vědci z různých částí světa začali zkoumat přínos včely medonosné pro životní prostředí, zejména pokud se jedná o kontaminaci různých složek životního prostředí těžkými kovy, organickými polutanty, radioaktivními izotopy. [13]

V nedávné době se zvýšil zájem o sledování znečištění životního prostředí pomocí bioindikačních technik, tedy takových při kterých využijeme živý organismus jako vzorkovač. Je tedy velmi důležité vybrat vhodný organismus, který bude plnit roli tohoto bioindikátoru. Pokud jde o znečištění ovzduší, pak jsou včely ideálním bioindikátorem, protože se v dané lokaci obvykle vyskytuje ve velkém počtu a zároveň je ve styku se škodlivinami. Včely i jejich produkty nám pak obstarají dostatečné množství biologického materiálu, který lze snadno analyzovat. Použití včely medonosné má tři výhody, jednak je schopna odhalit velké množství látek, které mají negativní dopad na životní prostředí, ale je také schopna objevit látky, které bychom pomocí přístrojů nebyli schopni detekovat. Poslední výhodou je pak nízká ekonomická náročnost vzorkování. [4, 9, 10]

Na *obr. 3* lze vidět, že včela může zachytit těžké kovy ze všech složek životního prostředí (půda, vegetace, vzduch a voda). Do atmosféry se dostávají prostřednictvím spalování fosilních paliv, to má za důsledek emisi jemných prachových částic obsahujících kovy. Tyto částičky se pak mohou dostat do půdy, povrchových vod nebo mezi vegetaci. Včela přichází do styku s těžkými kovy různými způsoby, například požitím znečištěné povrchové vody, pylu nebo nektaru, vdechování částic během letu. Mezi nejsledovanější prvky patří

olovo, kadmium, chrom, měď a zinek, což jsou polutanty z automobilové dopravy a průmyslové činnosti, které se šíří v ovzduší prostřednictvím spalin. [16]



Obrázek 3: Interakce včel se složkami životního prostředí a transport škodlivých látek [10]

V této práci (2012) autorka použila včelu medonosnou, jako bioindikátor pro zjištění stavu životního prostředí na území Bulharska (okres Stara Zagora). V těle včely a jejich exkrementech sledovala tyto prvky: Cu, Zn, Pb, Cd, Co, Ni, Mn, Fe. Vzorky včel byly analyzovány pomocí atomové absorpční spektrometrie a výsledky byly prezentovány pomocí softwaru Excel. Vysoké koncentrace těžkých kovů, které autorka objevila na jednom z území, připisuje antropogennímu vlivu, protože se jedná o vojenský újezd. Autorka také objevila vyšší koncentrace těžkých kovů ve včelím trusu, než v samotném organismu to zdůvodňuje pomocí tvrzení, že včelí organismus má biobariérovou funkci. Prvky jako nikl, kadmium, kobalt a olovo mají nejvyšší koncentraci v exkrementech včely. Výsledky, které autorka získala, potvrdily fakt, že včely jsou vhodnými bioindikátory životního prostředí, protože citlivě reagují na změny v životním prostředí v ovzduší, půdě, vodě i rostlinách. [17]

### 3.1 Olovo

Z pohledu toxikologie se jedná o velmi významný prvek, v minulosti sloužilo olovo jako přísada do benzínu (konkrétně jeho sloučenina tetraethylolovo). Před deseti lety se začalo s redukcí olova jako příměsí v benzínu, snížením jeho obsahu vedlo k zavedení jiných organických sloučenin jako je benzen. Tyto sloučeniny jsou však natolik karcinogenní, že došlo k jejich vyřazení z průmyslového použití. Za původce olova lze mimo spalovací motory, také považovat tiskařský průmysl, výroba akumulátorů, kabelů aj.. Olovo se totiž hromadí v organismu a to způsobuje velké medicínální obtíže. [5]

### 3.2 Kadmium

Koncentrace kadmia roste při přechodu z venkova do měst a průmyslově zastavěných zón. Do ovzduší se kadmium dostává prostřednictvím zpracovatelského průmyslu konkrétně v kovhutích. Existují i další způsoby proniknutí kadmia do ovzduší především pálením nekvalitního uhlí a olejů. Kadmium může proniknout do vod i půd, zde se dostává zvětráváním, erozí půdy, atmosférickou depozicí nebo úniky z průmyslových provozů. Navíc je také využíváno jako přísada do maziv, odtud se pak může uvolňovat do životního prostředí. Svou toxicitou způsobuje chemickou kastraci, stačí jen nepatrná dávka. Kadmium, které existuje ve formě par má zcela abnormální toxikologický význam, při jejich vdechnutí. Nejprve dojde ke vzniku plicního edému, pak následuje inhalační otrava. Vyskytuje se také v potravě prostřednictvím fosfátových hnojiv. [5, 15]

### 3.3 Nikl

Nikl se dostává do atmosféry nejčastěji z elektráren, spaloven odpadů a z průmyslu v továrnách, které nikl vyrábí nebo používají poniklované součástky. Odsud se nikl dostává do ovzduší, kde se váže na malé částičky prachu, které se buď usadí na zemi, nebo jsou z ovzduší spláchnuty deštěm. Za nejtoxičtější sloučeninu niklu lze považovat tetrakarbonyl nikl. Symptomy otravy niklem se projevují kašlem, závratí a bolestí hlavy, tyto pak přecházejí v pozdějších stádiích otravy na plicní edém a hyperémii plic. Společným toxikantem jsou pak pro zvířata i lidi jsou sloučeniny obsahující dvojmocný chrom, který je karcinogenní. Odstranění niklu z ovzduší je dlouhodobý proces. [5, 15]

### 3.4 Železo

Volné železo se v přírodě v podstatě nevyskytuje, bývá obvykle vázáno ve složitých sloučeninách či komplexech (např. hemoglobinu a cytochromů). Organismus potřebuje železo pro syntézu těchto komplexů, flavoproteinů a enzymů NAD dehydrogenázy. Dvojmocné a trojmocné železo je toxické při podání větší dávky (v řádu gramů). Výrazněji toxičtější jsou sloučeniny železa, obsahují karbonylovou skupinu (např. pentakarbonyl železa). [5]

### 3.5 Měď

Vyskytuje se jako polutant především v ovzduší, zde se dostává díky průmyslu, zejména při úpravách výrobků z kovu. Pokud se organismu dojde k snížení obsahu mědi, vznikne stav obecně známý jako anémie, pro kterou je charakteristická neschopnost organismu přijímat z potravy železnaté ionty. [5]

### 3.6 Zinek

Zinek má pro organismus zcela mimořádný význam. Jeho význam je možno rozdělit do tří funkcí. První z nich, je jako aktivační činidlo několika enzymů, kromě toho je také obsažen v inzulinu, jeho poslední funkce spočívá v přepisu DNA do mRNA, tohoto procesu se zinek účastní v podobě svých dvojmocných iontů. Mohou nastat dva případy, kdy je zinku v organismu málo. V prvním případě tvoří tzv. fytáty (inositolhexafosfát), kdy je zinek obsažen v potravě a je nerozpustný, pak tvoří tyto sloučeniny. Ve druhém případě nedostatku zinku v organismu dochází ke kompetici s kadmíem, rtutí a olovem (tyto látky ovlivňují přenos látek do buňky). [5]

### 3.7 Mangan

Dlouhodobé působení manganu na organismus zvyšuje riziko onemocnění Parkinsonovou chorobou. Řadí se mezi toxické prvky. Mezi producenty manganu patří hlavně tepelné elektrárny a kovo zpracující průmysl. Má také i pozitivní vlastnost a tou je, že mangan s oxidačním číslem sedm vykazuje značnou odolnost vůči mikroorganismům. [5]

## 4 VYUŽITÍ SHLUKOVÉ ANALÝZY PRO IDENTIFIKACI PODOBNOSTI OBJEKTŮ

Vyhodnocením těžkých kovů ve včelách pomocí statistických metod se zabývali také vědci z Polska, kteří sledovali míru koncentrace Cu, Se, Pb a Cd v tělech včel dělnic. Stanovení těchto prvků provedli pomocí AES, takto získané výsledky zpracovali pomocí statistických výpočtů, jako jsou průměrná koncentrace prvků a byla stanovena korelace a odchylky mezi jednotlivými prvky. Prvky, které se vyskytovaly ve shlucích, byly vyhodnoceny pomocí metody ANOVA a Studentův t-test byl využit pro zjištění rozdílu mezi obdobími odběru vzorků, ale také mezi jednotlivými regiony. Pomocí těchto metod zjistili, že největší koncentraci v dělnicích má měď následuje selen, olovo a kadmium. [19]

Tato metoda (z anglického Cluster analysis, CLU) spadá do kategorie matematické statistiky, kde pracujeme s objekty, u kterých je prokázáno větší množství proměnných a jejich zařazení do tříd tzv. shluků. Největší uplatnění tato metoda nachází tam, kde jsou objekty náchylné k seskupování. Existují dva způsoby shlukování, a to hierarchické a nehierarchické. Principem hierarchických postupů je vzájemné vázání objektů a jejich shluků do dalších větších shluků (probíhá na základě výpočtu matice vzdáleností mezi objekty), zde neznáme počet shluků, lze jej eventuelně zjistit dodatečně. U nehierarchického shlukování předem známe počet shluků, ten se ale může v průběhu výpočtu měnit. V případě, že se počet shluků nemění, pak se jedná o nehierarchickou metodu s konstantním počtem shluků, jejím protikladem jde o nehierarchickou metodu s optimalizovaným počtem shluků. [6]

### 4.1 Hierarchické shlukování

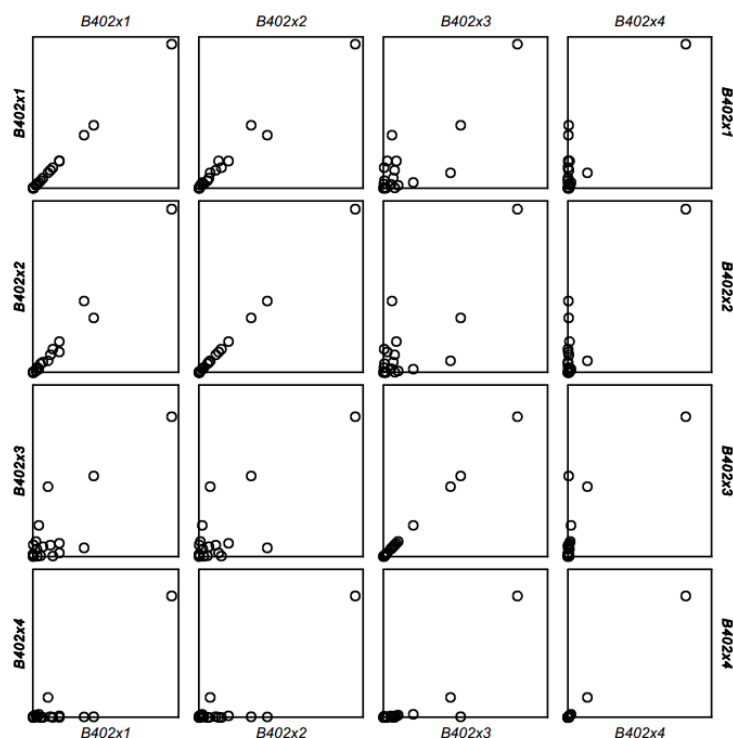
Touto metodou shlukové analýzy budeme zkoumat podobnost proměnných, ale i podobnost objektů. Výstupem u takového druhu analýzy je pak graf známý jako dendrogram, bývá též označován jako vývojový strom nebo diagram shluků. Výsledky jsou pak interpretovány ve dvojrozměrném prostoru, přičemž osy tvoří námi zadané hodnoty. V dendrogramu podobnosti objektů je možno zjistit složení objektů ve shlucích, zatímco z dendrogramu podobnosti proměnných je možné vyčíst podobnosti dvojic a trojic proměnných, které spolu korelují. Tyto proměnné jsou ve vzájemném shluku, to znamená, že jsou si podobné a je možné je vzájemně substituovat. [6]

### 4.1.1 Grafické zobrazení dendrogramu podobnosti proměnných

Dendrogram představuje výstup dat ze shlukové analýzy vícerozměrných dat, zároveň naznačuje, jak se jednotlivé shluky utváří a rozlišují. Tento typ grafu zobrazuje, jak jsou jednotlivé proměnné ve shlucích rozlišeny. Z takového dendrogramu je pak možné jednoduše vyčíst informace, např. pokud jsou prvky propojeny úsečkou co nejbližže pomyslné osy y, pak tyto prvky vykazují značnou vzájemnou podobnost, naopak prvky propojené ve větší vzdálenosti od pomyslné osy y vykazují malou podobnost. [6]

## 4.2 Exploratorní analýza struktury objektů (EDA)

Princip této analýzy vícerozměrných dat spočívá ve vyšetření grafických diagnostik, je možno použít různé metody pro zobrazení vícerozměrných dat. Poměrně jednoduše to lze vysvětlit pomocí tzv. rozptylového diagramu. Rozptylový diagram na obrázku 4 je složen z 20 objektů o čtyřech proměnných (B402X1, B402X2, B402X3, B402X4), lze z něj vyčíst podobnost objektů, především prvních dvou proměnných. [6]



Obrázek 4: Rozptylový diagram [6]

### 4.3 Určení struktury v proměnných a objektech

Jestliže máme matici o velikosti  $X, Y$  je nejprve nutné udělat průzkumovou analýzu dat před použitím dané metody statistické analýzy. Průzkumová analýza dat nám poskytuje informace o podobnosti objektů, vybočujících objektech, použití předpokladu lineárních vazeb. Redukce proměnných na latentní proměnné popisují vazby mezi proměnnými nebo objekty a nazýváme ji analýza hlavních komponent (PCA). [6]

#### 4.3.1 Analýza hlavních komponent (PCA)

Účel této metody spočívá v přeměně původních dat do menšího počtu latentních proměnných, takové proměnné mají několik výhodných vlastností např. menší počet proměnných, vyjadřují prakticky celou proměnlivost původních proměnných. Za hlavní komponenty jsou u této metody považovány latentní proměnné, což jsou kombinace původních proměnných. PCA lze graficky zobrazit následujícími způsoby. [6]

##### 4.3.1.1 Graf komponentních vah

Tento způsob představuje zobrazení komponentních vah pro první dvě hlavní komponenty. Důležitou roli zde plní vzdálenost mezi proměnnými a to tak, že malá vzdálenost mezi dvěma proměnnými znamená silnou korelaci (tzn. vzájemný vztah). Je zde možno najít i shluk podobných proměnných. [6]

##### 4.3.1.2 Rozptylový diagram komponentního skóre

Zobrazuje komponentní skóre, neboli hodnoty prvních dvou hlavních komponent v rovině a u všech objektů. Zobrazení v rovině má několik předností, je jednodušší v něm najít shluk vzájemně podobných objektů, ale i objekty, které se výrazně liší od ostatních. V tomto diagramu je důležitá vzdálenost mezi jednotlivými objekty. Rozmístění objektů v co nejmenší vzdálenosti od počátku je nejtypičtější, v opačném případě se jedná o extrémy. Pokud se objekty nachází ve vzájemné blízkosti, jsou si podobné, jestliže jsou daleko od sebe, pak si objekty nejsou podobné, jestliže se v diagramu vyskytují shluky, pak objekty v těchto shlucích jsou si podobné, avšak nepodobné objektům v ostatních shlucích. Pokud se shluky vyskytují ve vzájemné blízkosti, je s nimi spojena i podobnost objektů. [6]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 5 MATERIÁLY A POUŽITÉ METODY

Metoda, která byla použita pro stanovení těžkých kovů ve včelách je poměrně časově náročná (dlouhá doba sušení a mineralizace včel), nenáročná na provedení, také nám umožnila získat dostatečné množství výsledků, abychom mohli vyvodit závěry pro výskyt rizikových prvků v životním prostředí.

### 5.1 Odběr a konzervace vzorků včel

Včely byly odebírány ve stanovištích (zobrazeny na *obr. 5*), odběr byl proveden na úlu přímo z česla, k odběru byla použita plastová krabička s víčkem, kdy byly včely vyskytující se na česle shrabovány touto plastovou krabičkou přímo do ní. Krabička byla okamžitě uzavřena a včely byly vsypány do větší skleněné lahve, kde byly takto shromažďovány až do požadovaného množství (asi 100 jedinců), poté byla skleněná láhev umístěna přímo do mrazáku a včely uhynuly. Vzorky byly uchovávány v mrazáku v plastové krabičce při teplotě  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### 5.2 Stanovení sušiny a popela

Z plastové krabičky byly odebrány 4 až 5 gramů včel, následně byly včely přeneseny do vyžehnaného keramického kelímku, který byl předem zvážen na analytických vahách. Pro jeden analyzovaný vzorek včel byly připraveny tři paralelní podvzorky v kelímcích, které byly zváženy. Kelímky pak byly vloženy do pece, kde proběhlo sušení při teplotě  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  do konstantní hmotnosti. Po ochlazení kelímku (na přibližně  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) byly vzorky opět zváženy na analytických vahách a vypočtena hodnota sušiny, poté byly kelímky znovu vloženy do pece, kde proběhla suchá mineralizace spálením při  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$  po dobu 12 hodin. Jakmile kelímky vychlázly, bylo k popelu pipetováno 0,3 ml koncentrované kyseliny dusičné a obsah všech kelímků s podvzorky byl kvantitativně převeden do 50 ml odměrné baňky. Baňka byla doplněna po rysku destilovanou vodou a promíchána. Takto mineralizované vzorky byly uschovány do lednice, než proběhla analýza rizikových prvků.

### 5.3 Stanovení obsahu vybraných rizikových kovů

Pomocí atomové absorpční atomové spektrometrie na přístroji AAS GBC 933AA (Austrálie), byly stanoveny tyto vybrané prvky: Pb, Mn, Zn, Cu, Fe, Ni, Cd.

#### 5.3.1 Materiály a použité chemikálie

- Skelná vata
- Destilovaná voda
- Koncentrovaná kyselina dusičná (HNO<sub>3</sub>), PENTA
- Keramické kelímky

#### 5.3.2 Použité přístroje

- AAS GBC 933 AA, Austrálie
- Muflová pec MP05-1.1, Jar. Merhaut, Kladno
- Analytické váhy, Preciza 120A, Švýcarsko

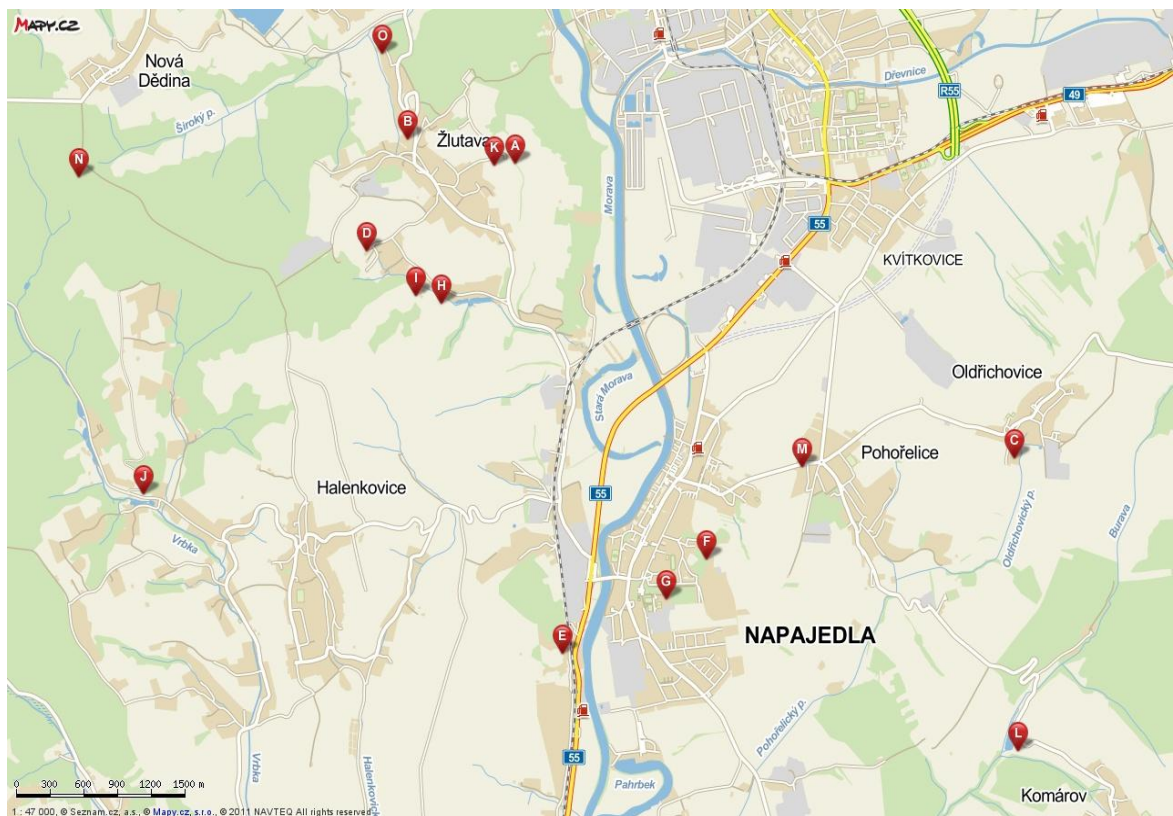
Ostatní pomůcky běžně dostupné v každé chemicko-analytické laboratoři.

### 5.4 Statistické vyhodnocení získaných dat

Pro vyhodnocení všech naměřených dat byl použit program Statistica 7 (StatSoft, Inc.), který umožňuje jak výpočet základních popisných statistických veličin, tak provádění složitějších statistických analýz jako jsou například shluková analýza, faktorová analýza nebo analýza hlavních komponent. Výsledky základní popisné statistiky jsou uvedeny níže v textu práce. Při shlukové analýze byla využita Euklidovská míra vzdáleností se shlukovací mírou nejbližšího souseda. Při analýze hlavních komponent byly použity pouze první dva faktory, které postihovaly více než 66,48 % všech vyhodnocovaných hodnot.

## 6 CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÝCH LOKALIT

Vzorky byly odebírány (v měsících červenci a srpnu) ve městě Napajedla a přilehlých obcích. Lokality odběrů vzorků včel byly různorodé (od zastavěných oblastí až po lesní porost). Stanoviště E se nachází v blízkosti železniční dopravy, F a G se nachází poblíž městského centra. Všechna tři stanoviště jsou v blízkosti podniku Fatra Napajedla, která se zabývá výrobou plastových výrobků. Stanoviště N a L se nachází v téměř nezastavěné oblasti. Ostatní místa odběru vzorků včel se nacházejí v částečně zastavěné oblasti.



Obrázek 5: Zájmová lokalita - Napajedla a okolí

## 7 VÝSLEDKY A DISKUZE

Výsledky, které byly získány pomocí AAS, se následně zpracovaly pomocí běžných statistických výpočtů a jsou uvedeny v *tabulce 2*. Pro obsah rizikových prvků ve včelách nejsou stanoveny žádné platné limitní hodnoty, jako je tomu u medu.

V *tabulce 2* můžeme vidět, že maximální koncentrace olova 16,7620 mg/kg a niklu 19,9006 mg/kg potvrzuje výzkum vědců Leita a kol. [18], kteří sledovali koncentrace nejen těchto dvou prvků v mrtvých včelách během včelařské sezóny na území Itálie. Uvedené maximální koncentrace (viz *tab. 2*) zinku, manganu a železa jsou dvou i více násobně vyšší oproti výzkumu, který provedla Zhelyazkova [17] v šesti bulharských vesnicích, které se nacházejí poblíž vojenského újezdu. To může být způsobeno průmyslovými podniky, které se nacházejí v okolí města Napajedla.

Maximální a minimální koncentrace mědi neodpovídá hodnotám, které naměřil van der Steen [16] v Nizozemsku (který sledoval změnu koncentrace plochy v závislosti na čase), protože ve městě Napajedla a jeho přilehlém okolí se nachází několik podniků, které se zabývají zpracováním kovů.

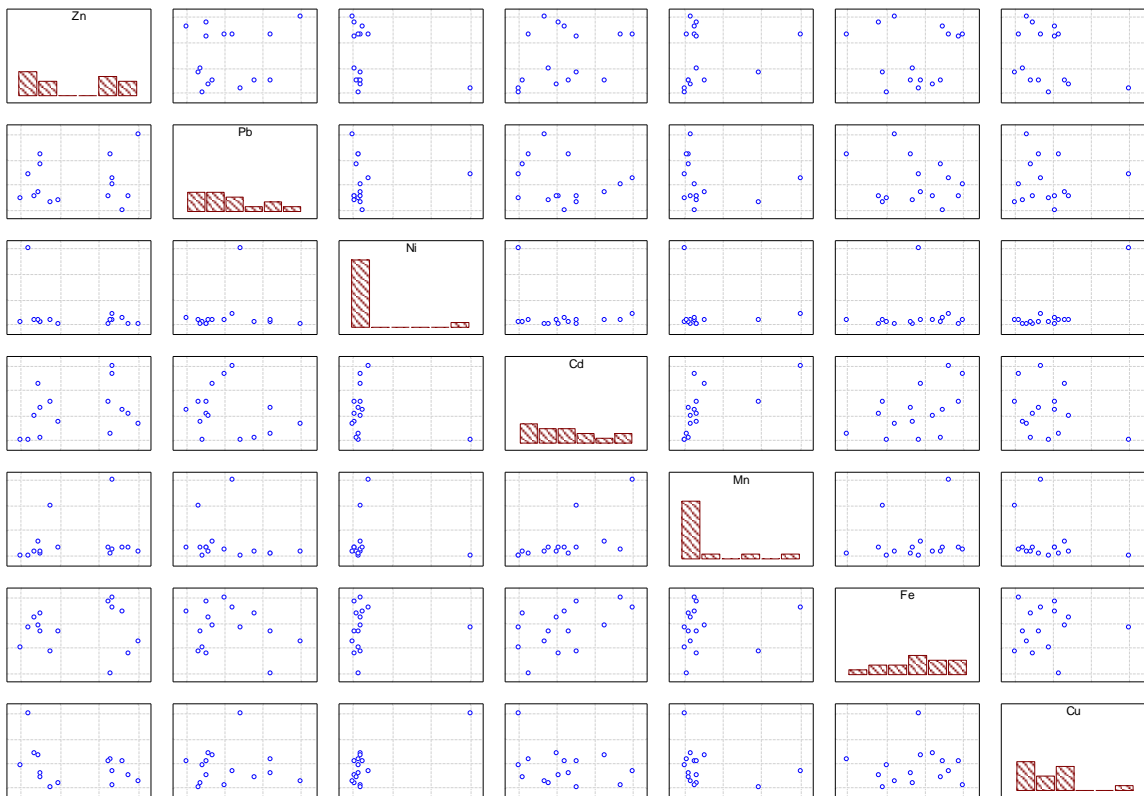
Průměrná hodnota kadmia, která je uvedena v *tabulce 2* je několika násobně nižší než, kterou zjistili Conti a Botré, ti prováděli monitoring pomocí včely medonosné v Římě a jeho okolí. V jejich studii byla koncentrace uprostřed města 4,0 mg/kg a mimo město 3,10 mg/kg, takto vysoké hodnoty můžeme připisovat velkému doletu včel.

Tabulka 2: Základní popisná statistika stanovovaných vzorků včel

Prvek	Cu [mg/kg]	Mn [mg/kg]	Fe [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Pb [mg/kg]
Průměr	34,0300	196,9044	376,7832	2,9906	234,6087	0,4891	6,1161
Maximum	67,5306	952,3514	516,1581	19,9006	313,4380	0,9549	16,7620
Minimum	20,8289	40,5823	175,9982	0,8689	163,6734	0,1953	0,8801
SMODCH	11,1463	244,1645	93,2081	4,5606	52,7010	0,2286	4,6057

## 7.1 Exploratorní analýza

Vyhodnocení výsledků pomocí metody EDA, tedy rozptylový diagram korelační matice nám zobrazuje podobnost mezi jednotlivými stanovenými rizikovými prvky. V diagramu vidíme celkem 15 objektů (vzorků včel) a 7 proměnných (rizikových prvků). Podobnost vidíme především u Ni a Mn, ale i mezi Pb a Cd. U Zn a Pb je pouze částečná podobnost, ale pouze u počátečních objektů. Pro Zn a Fe platí podobnost jen pro koncové objekty. Podobnost můžeme vyloučit mezi prvky jako Ni a Fe.

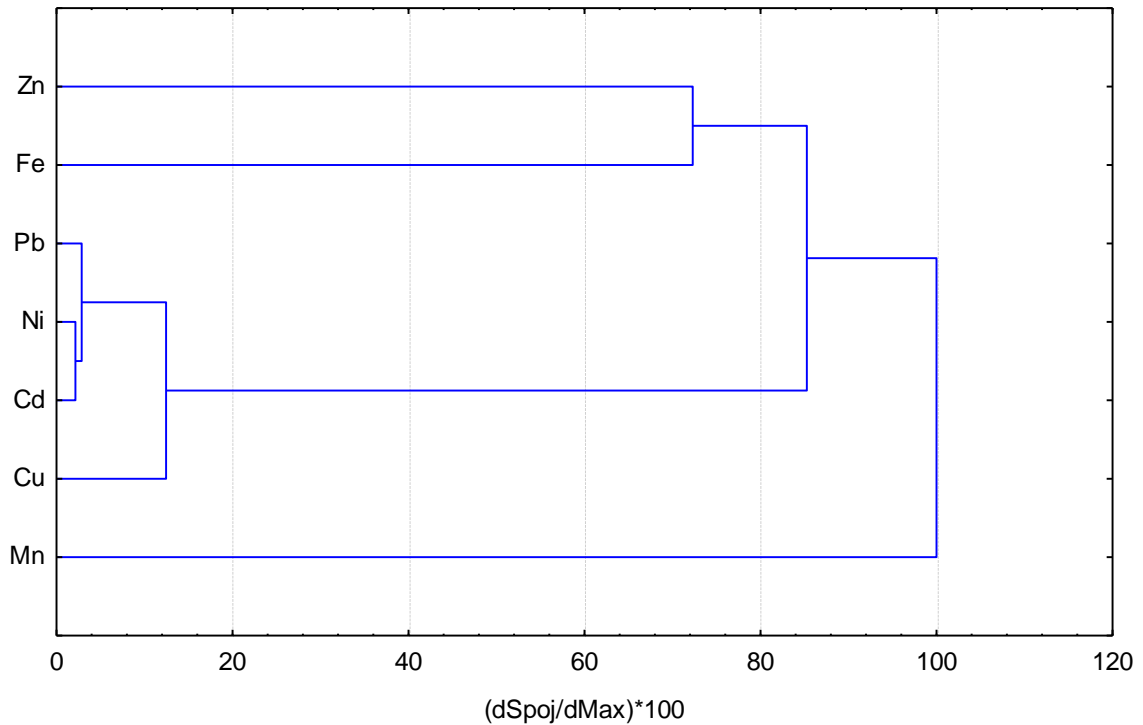


Obrázek 6: Rozptylový diagram korelační matice pro studované vzorky včel

## 7.2 Vývojový strom

Vyhodnocené výsledky pomocí dendrogramu nám zobrazují podobnost jednotlivých prvků. Prvky, které jsou propojeny spojovací úsečkou blízko osy y, mají nízkou procentuální hodnotu výskytu. Jde o prvky Pb, Ni, Cd ty jsou spojeny úsečkou výrazně vlevo a je mezi nimi značně malá vzdálenost, můžeme předpokládat výskyt vzájemné podobnosti. Znaky, které jsou propojeny hodně vpravo, mají vysokou hodnotu procentuálního zastoupení a mají me-

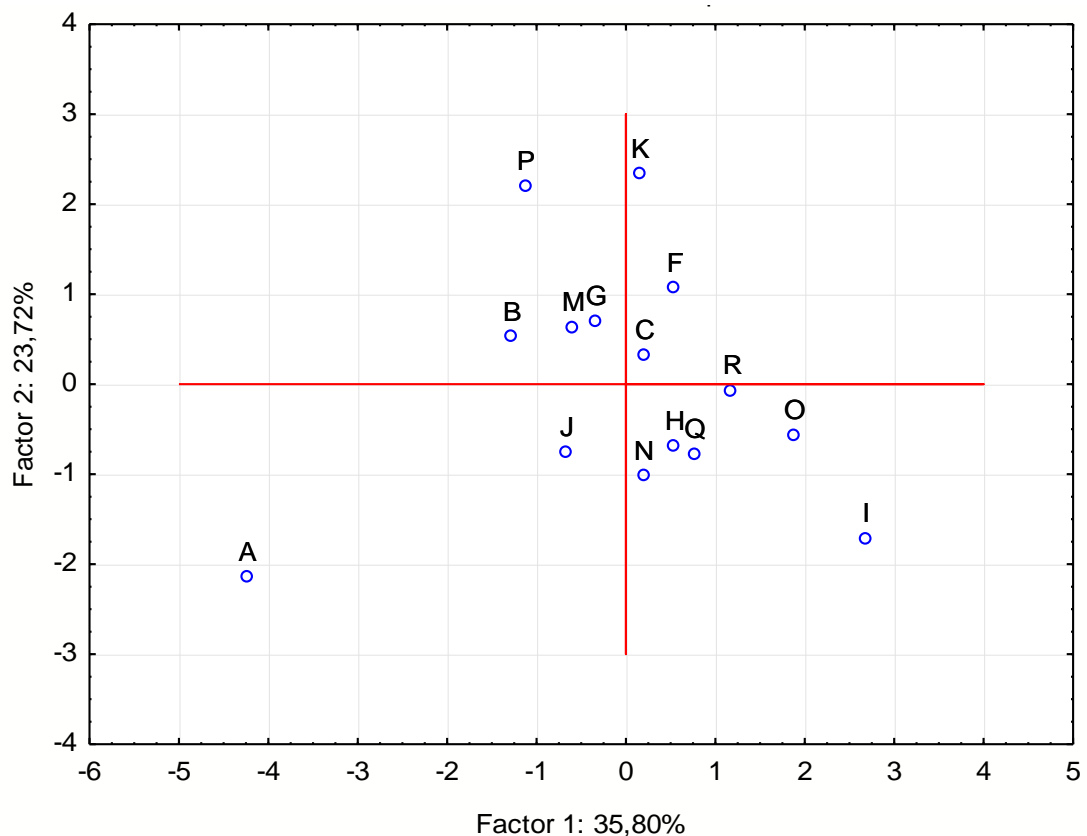
zi sebou velkou vzdálenost tudíž malou podobnost. Mangan byl tedy objeven ve všech vzorcích včel. Zn a Fe se nachází poměrně vpravo, můžeme předpokládat velkou vzájemnou vzdálenost a malou podobnost. Cu se vyskytuje ve větší koncentraci než poslední tři prvky, tudíž je možno ji považovat za esenciální prvek.



Obrázek 7: Dendrogram podobnosti proměnných (prvků) ve vzorcích včel

### 7.3 Rozptylový diagram

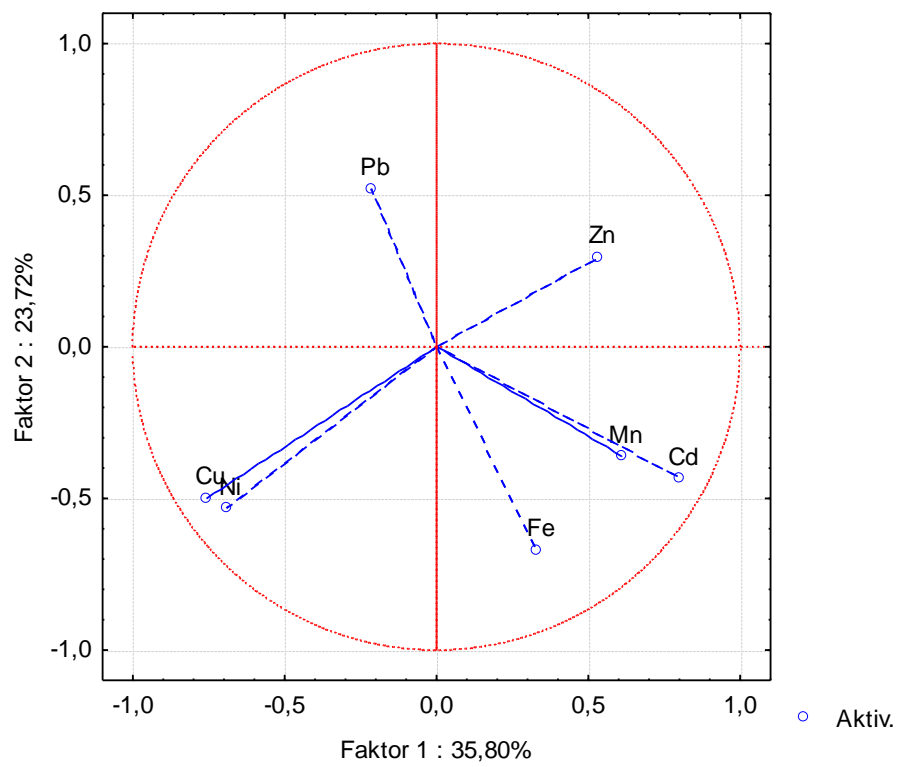
Tento typ grafu ukazuje komponentní skóre pro první dvě hlavní komponenty (faktor 1, faktor 2) u všech objektů, lze zde snadno najít shluk vzájemně podobných objektů v našem případě objekty tvořící shluk jsou interpretovány písmeny B, M, G, J, C, F, R, N, H, Q, O. U těchto objektů je možno předpokládat výskyt podobnosti, na rozdíl od objektů A, P, K a I, které je možno považovat za extrémní a zároveň je možné předpokládat, že jsou navzájem nepodobné a odlišné. Pokud bychom oddělali extrémní objekty, vytvořil by se pravděpodobně shluk mezi M, G a H, Q v důsledku většího rozptýlení hodnot v diagramu.



Obrázek 8: Rozptylový diagram komponentního skóre studovaných vzorků včel

## 7.4 Graf komponentních vah

Tento typ grafu zobrazuje komponentní váhy pro první dvě hlavní komponenty (faktor 1, faktor 2). Jednotlivé body v grafu odpovídají znaku v grafu a porovnávají se vzdálenosti mezi znaky. Pokud jsou znaky ve vzájemné blízkosti, tak se jedná o silnou korelaci, je možné objevit i shluk znaků, které mají podobné vlastnosti a korelují navzájem. Graf také zobrazuje pomyslný most mezi původními znaky a hlavními komponentami (naznačuje, jak moc přispívají jednotlivé původní znaky do hlavních komponent). Všechny stanovované prvky se nachází poměrně daleko od středu diagramu, to znamená, že mají vysokou míru proměnlivosti. Můžeme vidět, že Ni a Cu jsou blízko sebe, tudíž mají vysokou kladnou korelaci a kovarianci to platí i o Mn, Cd a Fe zatímco Pb a Zn jsou zcela nekorelované. Pb a Fe jsou negativně korelované, to platí i o shluku Ni, Cu a jejichž protějšku Zn, dále shluk Mn a Cd je v negativní korelaci s Pb.



Obrázek 9: Graf komponentních vah pro studované vzorky včel



## ZÁVĚR

Cílem práce bylo stanovit vybrané rizikové prvky ve vzorcích včel (včela medonosná, *Apis mellifera*), jako vybraná lokalita bylo vybráno město Napajedla a jeho přilehlé okolí kde se nachází průmyslové objekty zabývající se zpracováním kovů a plastů, tedy oblast, která je hodně zatížena emisemi, ale také z oblastí, které se nacházejí v blízkosti lesů a polí. Také byl potvrzen fakt, že včelu medonosnou lze použít pro sledování znečištění životního prostředí anorganickými polutanty. Stanovení jednotlivých rizikových prvků bylo provedeno pomocí AAS a výsledky byly vyjádřeny v mg rizikového prvku na jeden kg sušiny včel. Z celkem sedmi stanovovaných rizikových prvků ve vzorcích včel byly objeveny tři, u kterých lze předpokládat, že jsou zcela antropogenního původu.

Po vyhodnocení dat pomocí shlukové analýzy byla objevena následující provázanost mezi rizikovými prvky a včelami. Stoprocentní výskyt ve vzorcích včel má mangan, tento prvek má majoritní zastoupení ve vzorcích včel. Dále byla objevena podobnost mezi zinkem a železem, které jsou ve vzorcích včel zastoupeny z více než 50 %. Měď můžeme považovat za esenciální prvek, má větší zastoupení než poslední tři prvky olovo, nikl a kadmium, které můžeme považovat za rizikové.

Pomocí popisné statistiky byly stanoveny tyto maximální koncentrace, měď má hodnotu 67,5306 mg/kg, mangan 952,3514 mg/kg, železo 175,9982 mg/kg, nikl 19,9006 mg/kg, zinek 313,4380 mg/kg, kadmium 0,9549 mg/kg a olovo 16,7620 mg/kg. Je nutno zdůraznit, že hodnoty těchto prvků ve včelách nejsou žádným způsobem limitovány vyhláškou, jako je tomu u medu. Prvky olovo, nikl a kadmium mají nejnižší koncentrace ze všech stanovovaných rizikových prvků, nejsou tedy ve včelách běžně zastoupeny a jejich přítomnost v nich připisujeme antropogennímu vlivu, jako je výroba a zpracování kovů a plastů ve městě Napajedla, ale i pesticidů využívaných k ochraně rostlin. Výsledky ukazují, že pomocí včel je můžeme objevit i nepatrné koncentrace rizikových prvků. Pokud prvky seřadíme podle rozsahu koncentrace, pak dostaneme následující řadu:  $Mn > Fe > Zn > Cu > Ni > Pb > Cd$ . Vyšší koncentrace niklu a kadmia byly objeveny v urbanizované oblasti a v blízkosti automobilové dopravy, zatímco olovo bylo nalezeno ve včelách vyskytujících se v blízkosti zemědělských objektů.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] PŘIDAL, Antonín. *Včelí produkty*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2005. ISBN 80-7157-711-1.
- [2] VESELÝ, Vladimír. *Včelařství*. Praha: Brázda, 2003. ISBN 80-209-0320-8.
- [3] PŘIDAL, Antonín. *Včelařství*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2005. ISBN 80-7157-850-9.
- [4] KOS, Václav. *Bioindikace antropogenního zatížení prostředí chemickými polutanty (těžké kovy) s pomocí včel a jejich produktů (včelí med)*. České Budějovice, 2008. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Doc. RNDr. Jaroslav Boháč, DrSc.
- [5] PROKEŠ, Jaroslav. *Základy toxikologie: obecná toxikologie a ekotoxikologie*. 1. vyd. Praha: Galén, 2005, 248 s. ISBN 80-726-2301-X.
- [6] MELOUN, Milan. *Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešené úlohy včetně CD* [online]. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002, 764 s. [cit. 2013-02-23]. ISBN 80-200-1008-4. Dostupné z: <http://meloun.upce.cz/docs/books/kompendium.pdf>
- [7] DEVILLERS, James. *Honey bees: estimating the environmental impact of chemicals*. 1st ed. London: Taylor and Francis, 2002, 332 s. ISBN 04-152-7518-0.
- [8] TOMAŠTÍK, Martin. *Pohyb těžkých kovů v prostředí* [online]. Zlín, 2010 [cit. 2013-02-23]. Dostupné z: [http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/14524/toma%C5%A1t%C3%ADk\\_2010\\_bp.pdf?sequence=1](http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/14524/toma%C5%A1t%C3%ADk_2010_bp.pdf?sequence=1). Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [9] CONTI, Marcelo Enrique; BOTRÈ, Francesco. Honeybees and their products as potential bioindicators of heavy metals contamination. *Environmental monitoring and assessment*, 2001, 69.3: 267-282.
- [10] SLAVÍK, Roman; JULINOVÁ Markéta. *Biomonitoring životního prostředí pomocí včel a jejich produktů - část I: rizikové prvky*. Moderní včelař: nový včelařský časopis. 2012, IX. (2012), 3/2012 (léto), s. 102-105. ISSN 1214-5793.
- [11] LAMPEITL, Franz. *Chováme včely: úvod do včelaření*. Zlín: Blesk, c1996, 173 s. ISBN 80-856-0696-8.

- [12] BRETSCJKO, Josef. *Naturgemässe Bienenzucht: Entscheidungshilfen für e. erfolgreiche, erwerbsorientierte Imkerei (in verschiedenen Magazinstocksystemen)*. [6. Aufl.]. Graz [u.a.]: Stocker, 1985. ISBN 37-020-0501-3.
- [13] CELLI, Giorgio; MACCAGNANI, Bettina. Honey bees as bioindicators of environmental pollution. *Bulletin of Insectology*, 2003, 56.1: 137-139.
- [14] Ministerstvo zemědělství ČR, 2011: *Situační a výhledová zpráva VČELY – listopad 2011*. ISBN 978-80-7084-979-8
- [15] LAMBERT, Olivier, et al. Bees, honey and pollen as sentinels for lead environmental contamination. *Environmental Pollution*, 2012, 170: 254-259.
- [16] STEEN, Jozef J. M., Joop KRAKER a Tim GROTEHUIS. Spatial and temporal variation of metal concentrations in adult honeybees (*Apis mellifera* L.). *Environmental Monitoring and Assessment* [online]. 2012, roč. 184, č. 7, s. 4119-4126 [cit. 2013-03-17]. ISSN 0167-6369. DOI: 10.1007/s10661-011-2248-7. Dostupné z: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s10661-011-2248-7>
- [17] ZHELYAZKOVA, I., et al. Honeybees–Bioindicators for Environmental Quality. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2012, 18.
- [18] LEITA, L., et al. Investigation of the use of honey bees and honey bee products to assess heavy metals contamination. *Environmental Monitoring and assessment*, 1996, 43.1: 1-9.
- [19] ROMAN, Adam. Levels of copper, selenium, lead and cadmium in forager bees. *Polish J Environ Stud*, 2010, 19: 663-669.
- [20] What is *Apis mellifera mellifera*?. Sicamm: *Societas Internationalis pro Corservatione Apis melliferae melliferae* [online]. 2008 [cit. 2013-04-24]. Dostupné z: <http://www.sicamm.org/WhatApis.html>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

AAS	Atomový absorpční spektrometr
SMODCH	Směrodatná odchylka
CLU	Analýza shluků (Cluster analysis)
PCA	Analýza hlavních komponent
EDA	Exploratorní analýza

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1: Druhové zastoupení včel v různých částech Evropy [20] .....	13
Obrázek 2: Vývoj včelstva v průběhu roku [11, 12].....	15
Obrázek 3: Interakce včel se složkami životního prostředí a transport škodlivých látek [10].....	18
Obrázek 4: Rozptylový diagram [6].....	22
Obrázek 5: Zájmová lokalita - Napajedla a okolí .....	27
Obrázek 6: Rozptylový diagram korelační matice pro studované vzorky včel.....	29
Obrázek 7: Dendrogram podobnosti proměnných (prvků) ve vzorcích včel.....	30
Obrázek 8: Rozptylový diagram komponentního skóre studovaných vzorků včel.....	31
Obrázek 9: Graf komponentních vah pro studované vzorky včel.....	32

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1: Vývoj počtu včelařů a včelstev [14] .....	14
Tabulka 2: Základní popisná statistika stanovovaných vzorků včel.....	28