

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra chemie**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Monitoring makro- a mikroprvků ve hmyzu určeném pro  
výživu lidí a zvířat s využitím radioanalytických metod**

**Diplomová práce**

**Bc. Lucie Dvořáková**

**Výživa a potraviny**

**RNDr. Mgr. Ivana Krausová, Ph.D.**

**© 2024 ČZU v Praze**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci „Monitoring makro- a mikroprvků ve hmyzu určeném pro výživu lidí a zvířat s využitím radioanalytických metod“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

Dále jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby. Beru na vědomí, že má diplomová práce bude uchována v elektronické podobě v databázi České zemědělské univerzity v Praze a bude dostupná k nahlédnutí. Jsem seznámena s tím, že se na moji diplomovou práci 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.

V Praze dne 20. dubna 2024

---

Bc. Lucie Dvořáková

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala své vedoucí RNDr. Mgr. Ivaně Krausové, Ph.D. za odborné vedení, její neskutečně vřelý přístup a též za veškeré připomínky, pomoc a potřebné rady, které mi při vypracovávání diplomové práce věnovala. Také bych chtěla poděkovat mým odborným konzultantům, a to prof. Ing. Lence Kouřimské, Ph.D. a Ing. Janu Táborskému, Ph.D., jejichž času a konzultací během zpracování této práce si velice vážím. Nerada bych zapomněla na Ing. Martina Kulmu, Ph.D. a Ing. Michala Kurečku, kterým bych ráda poděkovala za velmi přátelský přístup při zajišťování vzorků hmyzu a hmyzí výživy. Dále děkuji Ústavu jaderné fyziky AV ČR, v.v.i. za poskytnuté zázemí v laboratořích, jak v Řeži, tak i v mikrotronové laboratoři v Karlíně. Děkuji i všem tamějším pracovníkům za vstřícné jednání a cenné rady, které mi pomohly práci obohatit. Také děkuji paní Ing. Zuzaně Dlubalové, Ph.D. za pomoc se statistickým vyhodnocením. Poděkovat bych chtěla též svým přátelům a rodině za motivaci, kterou mi během studií poskytli. Speciální poděkování na závěr, za morální podporu, patří království CAVP.

# Monitoring makro- a mikroprvků ve hmyzu určeném pro výživu lidí a zvířat s využitím radioanalytických metod

## Souhrn

Aktuální globální výzvou je zajistit dostatečnou a udržitelnou produkci potravin pro rychle rostoucí světovou populaci. Jedlý hmyz se jeví jako alternativní zdroj nutrientů s vysokým obsahem bílkovin, tuků a minerálů. V tomto kontextu jsou poznatky o jedlém hmyzu potenciálně klíčové v boji proti malnutrici. Chov jedlého hmyzu má minimální dopad na životní prostředí ve srovnání s konvenčním zemědělstvím. Zahrnuje nižší spotřebu vody, půdy a produkci skleníkových plynů. Efektivita konverze krmiva a reprodukční schopnost hmyzu představují další výhody.

Diplomová práce se jako první svého druhu zabývala stanovením vybraných makro- a mikroprvků v hmyzu s využitím jaderných analytických metod – instrumentální neutronové (INAA) a fotonové (IPAA) aktivační analýzy. Tyto metody umožňují citlivé a přesné měření obsahu prvků. Analyzovanými druhy hmyzu byly *Acheta domestica* Linnaeus, 1758; *Alphitobius diaperinus* Panzer, 1797; *Locusta migratoria* Linnaeus, 1758; *Tenebrio molitor* Linnaeus, 1758; *Hermetia illucens* Linnaeus, 1758; *Apis mellifera* Linnaeus, 1758; *Zophobas morio* Fabricius, 1776; *Gryllus assimilis* (Fabricius, 1775) a *Blaberus discoidalis* Audinet-Serville 1839. Práce se také zabývala vlivem rozdílných krmných směsí, obohacených o vedlejší zemědělské produkty jako sušené pivovarské mláto a sušené jablečné výlisky, na výsledné prvkové složení dospělců *A. domestica* L., konkrétně na koncentrace Na, K, Fe, Co, Zn a Se.

Zmíněnými radioanalytickými metodami byl ve vzorcích hmyzu stanoven: Ca, Na, Mg, Cl, K, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Se a I. Z hlediska obsahu těchto prvků je výše vyjmenovaný hmyz zajímavým zdrojem pro výživu lidí a zvířat. Využité analytické metody jsou vhodné pro stanovení zmíněných makro- a mikroprvků. Bylo zjištěno, že odlišná krmná směs statisticky významným způsobem neovlivňovala prvkové složení dospělců jednoho ze studovaných druhů.

Provedený výzkum představuje důležitý krok k pochopení potenciálu entomofagie jako součásti budoucích potravinových systémů. Podporuje integraci hmyzu do lidské diety jako možné řešení globálních výzev v oblasti udržitelného zemědělství, klimatické krize a potravinové bezpečnosti.

**Klíčová slova:** hmyz; entomofagie; neutronová aktivační analýza; fotonová aktivační analýza; prvky

# Monitoring of macro- and microelements in insects intended for human and animal nutrition using radioanalytical methods

## Summary

The current global challenge is to ensure sufficient and sustainable food production for the rapidly growing world population. Edible insects appear to be an alternative source of nutrients with a high content of proteins, fats and minerals. In this context, knowledge of edible insects is potentially crucial in the fight against malnutrition. The rearing of edible insects has a minimal impact on the environment compared to conventional agriculture. It includes lower water consumption, land requirements and lower greenhouse gases production. Efficiency of feed conversion and reproductive capacity of insects represent an additional advantage.

The diploma thesis was the first of its kind dealing with the determination of selected macro- and microelements in insects using nuclear analytical methods – instrumental neutron (INAA) and photon (IPAA) activation analysis. These methods allow sensitive and accurate measurement of the content of the elements. The insects analysed were *Acheta domestica* Linnaeus, 1758; *Alphitobius diaperinus* Panzer, 1797; *Locusta migratoria* Linnaeus, 1758; *Tenebrio molitor* Linnaeus, 1758; *Hermetia illucens* Linnaeus, 1758; *Apis mellifera* Linnaeus, 1758; *Zophobas morio* Fabricius, 1776; *Gryllus assimilis* (Fabricius, 1775) and *Blaberus discoidalis* Audinet-Serville 1839. The diploma thesis also examined the influence of different feed mixtures, enriched with agricultural by-products such as dried brewer's yeast and dried apple decays, on the final adult elemental composition of *A. domestica* L., specifically on the concentrations of Na, K, Fe, Co, Zn and Se.

Thanks to the above-mentioned radioanalytical methods, the following elements were determined in the insect samples: Ca, Na, Mg, Cl, K, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Se and I. In terms of the content of these elements, the above-mentioned insects are an interesting source for human and animal nutrition. The analytical methods used are suitable for the determination of the mentioned macro- and microelements. It was found that the different compound feed did not significantly affect the elemental composition of adults of one of the studied species.

The research carried out represents an important step towards understanding the potential of entomophagy as part of future food systems. It supports the integration of insects into the human diet as a possible solution to the global challenges in the field of sustainable agriculture, climate crisis and food security.

**Keywords:** insects; entomophagy; neutron activation analysis; photon activation analysis; elements

## Obsah

<b>1 Úvod .....</b>	<b>8</b>
<b>2 Vědecká hypotéza a cíle práce .....</b>	<b>9</b>
<b>3 Literární rešerše .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Entomofagie .....</b>	<b>10</b>
3.1.1 Legislativa jedlého hmyzu .....	11
3.1.2 Firmy zabývající se distribucí potravin z hmyzu v České republice .....	13
<b>3.2 Vybrané hmyzí druhy .....</b>	<b>14</b>
3.2.1 Cvrček domácí ( <i>Acheta domestica</i> L.) .....	14
3.2.2 Saranče stěhovavá ( <i>Locusta migratoria</i> L.) .....	15
3.2.3 Potemník moučný ( <i>Tenebrio molitor</i> L.) .....	15
3.2.4 Potemník stájový ( <i>Alphitobius diaperinus</i> P.) .....	16
3.2.5 Včela medonosná ( <i>Apis mellifera</i> L.) .....	17
3.2.6 Šváb ( <i>Blaberus discoidalis</i> Audinet-Serville) .....	18
3.2.7 Moucha bráněnka ( <i>Hermetia illucens</i> L.) .....	19
3.2.8 Potemník brazilský ( <i>Zophobas morio</i> F.) .....	21
3.2.9 Cvrček banánový ( <i>Gryllus assimilis</i> F.) .....	21
<b>3.3 Minerální látky a jejich denní doporučený příjem .....</b>	<b>22</b>
3.3.1 Majoritní prvky .....	23
Vápník ( <i>calcium</i> , Ca) .....	23
Hořčík ( <i>magnesium</i> , Mg) .....	24
Draslík ( <i>kalium</i> , K) .....	25
Sodík ( <i>natrium</i> , Na) .....	26
Chlor ( <i>chlorum</i> , Cl) .....	26
3.3.2 Minoritní prvky .....	26
Železo ( <i>ferrum</i> , Fe) .....	27
Jod ( <i>iodum</i> , I) .....	28
Zinek ( <i>zincum</i> , Zn) .....	28
Měď ( <i>cuprum</i> , Cu) .....	29
Mangan ( <i>manganum</i> , Mn) .....	29
Chrom ( <i>chromium</i> , Cr) .....	30
Selen ( <i>selenium</i> , Se) .....	30
Kobalt ( <i>cobaltum</i> , Co) .....	31
<b>3.4 Makro- a mikroprvky ve studovaných druzích hmyzu .....</b>	<b>32</b>
<b>3.5 Radioanalytické metody (aktivační analýzy) .....</b>	<b>37</b>
3.5.1 Instrumentální neutronová aktivační analýza .....	37
3.5.2 Instrumentální fotonová aktivační analýza .....	38
3.5.3 Nejistota měření .....	40
<b>4 Materiál a metody .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1 Vzorky hmyzu .....</b>	<b>41</b>
4.1.1 Založení nové generace cvrčků .....	41
4.1.2 Chov a krmení nové generace cvrčků .....	42
<b>4.2 Příprava vzorků k analýze – ČZU .....</b>	<b>43</b>

<b>4.3</b>	<b>Příprava vzorků k analýze – ÚJF AV ČR, v.v.i.</b>	<b>44</b>
4.3.1	Instrumentální neutronová aktivační analýza INAA	44
	Příprava vzorků a referenčních materiálů k ozáření	44
	Aktivace v jaderném reaktoru	46
	Detekce gama záření	46
4.3.2	Instrumentální fotonová aktivační analýza IPAA	47
	Příprava vzorků a referenčních materiálů k ozáření	47
	Aktivace na mikrotronu	48
	Detekce gama záření	49
<b>5</b>	<b>Výsledky</b>	<b>50</b>
<b>5.1</b>	<b>Monitorované koncentrace prvků</b>	<b>52</b>
5.1.1	Vápník	52
5.1.2	Hořčík	53
5.1.3	Draslík	54
5.1.4	Sodík	55
5.1.5	Chlor	57
5.1.6	Železo	58
5.1.7	Jod	59
5.1.8	Zinek	60
5.1.9	Měď	61
5.1.10	Mangan	63
5.1.11	Chrom	64
5.1.12	Selen	65
5.1.13	Kobalt	66
<b>5.2</b>	<b>Statistické a početní vyhodnocení</b>	<b>68</b>
<b>6</b>	<b>Diskuze</b>	<b>72</b>
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>78</b>
<b>8</b>	<b>Literatura</b>	<b>79</b>
<b>8.1</b>	<b>Reference obrázků</b>	<b>91</b>
<b>9</b>	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů</b>	<b>93</b>
<b>10</b>	<b>Seznam tabulek, grafů a obrázků</b>	<b>95</b>
<b>10.1</b>	<b>Seznam tabulek</b>	<b>95</b>
<b>10.2</b>	<b>Seznam grafů</b>	<b>96</b>
<b>10.3</b>	<b>Seznam obrázků</b>	<b>96</b>
<b>11</b>	<b>Samostatné přílohy</b>	<b>I</b>

# 1 Úvod

Konzumace hmyzu lidmi, tzn. entomofagie, je již dlouho známou záležitostí zejména rozvojových zemí Afriky, Asie, Oceánie a severní části Latinské Ameriky. V těchto oblastech je hmyz pro člověka téměř nepostradatelným zdrojem živočišných bílkovin (Costa-Neto & Dunkel 2016; Toti et al. 2020). Za delikatesu je považován v mnoha zemích světa včetně Mexika nebo Thajska (Montanari et al. 2021). Teprve v posledních letech se konzumace hmyzu dostává do popředí zájmu i obyvatel evropských a západních zemí, u kterých však stále přetrvává pocit, že konzumace hmyzu je zvláštní, z hygienického hlediska riziková, a pro člověka ne zcela běžná. Otevřenost entomofagii spočívá hlavně ve zvyšujícím se zájmu a informovanosti lidí o ekologii a udržitelném způsobu života jdoucím ruku v ruce s klimatickou krizí, kterou je potřeba neodkladně řešit. Proto v posledních desetiletích roste zájem o alternativní zdroje proteinu, které by mohly přispět k udržitelnější a vyváženější výživě lidské populace (Montanari et al. 2021; Moruzzo et al. 2021).

Jedlé druhy hmyzu představují velmi perspektivní kandidáty nejen díky vysokému obsahu esenciálních aminokyselin a tuků, ale také díky významnému obsahu makro- a mikroprvků, jako jsou železo, zinek a vápník, a obsahu stopových prvků nezbytných pro různé biologické procesy v lidském těle. Za zmínku stojí i vysoká stravitelnost hmyzího proteinu (udávaná 76–96 %), přibližující se procentuální stravitelnosti hovězího (98 %) či vaječného proteinu (95 %). To vše nabízí chov jedlého hmyzu při minimálním dopadu na životní prostředí ve srovnání s konvenčním zemědělstvím (van Huis et al. 2013; Kouřimská & Adámková 2016; Akhtar & Isman 2018; Purkayastha & Sarkar 2022). Hmyz je v současné době považován za možný zdroj bílkovin, který by mohl zčásti pomoci vyřešit problém hladomoru a malnutrice stále se rozrůstající lidské populace (globální populační trend k roku 2050 je odhadován na cca 9,7 miliard lidí) (Kouřimská & Adámková 2016; United Nations Department of Economic and Social Affairs 2022), jelikož má velkou reprodukční schopnost, vyšší účinnost konverze krmiva (efektivita využití přijatého krmiva pro růst) než savci a jeho chov není tak časově náročný. Zároveň je v porovnání s chovem jiných hospodářských zvířat méně náročný na vodu, využití půdy, manipulaci a produkuje signifikantně nižší emise skleníkových plynů (van Huis et al. 2013; Kouřimská & Adámková 2016; Akhtar & Isman 2018; Papastavropoulou et al. 2022).

Tato diplomová práce se zaměřuje na monitoring makro- a mikroprvků ve vybraných druzích jedlého hmyzu, jejichž konzumace by mohla být integrována do lidské diety. Využívá moderní radioanalytické metody, jako jsou neutronová aktivační analýza (NAA) a fotonová aktivační analýza (PAA), které umožňují přesné a spolehlivé stanovení koncentrací prvků v široké škále materiálů (Řanda et al. 2007, Segebade et al. 2017; Mizera et al. 2023).



## 2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem diplomové práce bylo zpracovat literární rešerši týkající se výživy člověka jedlým hmyzem, zaměřenou zejména na jeho prvkové složení. Dalším úkolem bylo se seznámit s jadernými analytickými metodami, přesněji s fotonovou a neutronovou aktivační analýzou pro stanovení prvků v biologickém materiálu. Dále stanovit obsahy makro- a mikroprvků ve vybraných vzorcích hmyzu. Dle výsledků analýz zhodnotit přínos stanovených prvků v hmyzu pro stravu lidí. U jednoho druhu (cvrček domácí) se zaměřit na úpravu jeho krmné dávky ve snaze zlepšit a monitorovat jeho prvkové složení po sklizni a na základě toho určit, zda je obsah prvků v hmyzu závislý na jeho výživě.

Stanovené vědecké hypotézy byly následující:

- Hmyz je významným zdrojem makro- a mikroprvků a může být zajímavým zdrojem nutrientů ve výživě lidí.
- Obsah prvků v hmyzu je závislý na jeho výživě.
- Jaderné analytické metody jsou vhodné pro multielementární analýzu hmyzu jako zástupce biologických materiálů.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Entomofagie

Jak už toto slovo napovídá, bude mít pojem entomofagie (anglicky *entomophagy*) co do činění s hmyzem. Přesněji se jedná o složeninu dvou řeckých slov. První z nich – *éntomon* znamená „hmyz“ a druhé, *phagein*, lze přeložit jako „jíst“ (Costa-Neto & Dunkel 2016; Kouřimská & Adámková 2016; Harper 2017). Tento odborný pojem lze tedy stručně vysvětlit jako využívání hmyzu, zejména lidmi, za účelem jeho konzumace (Škrabalová 2009; Harper 2017). Nicméně v přírodě se vyskytuje mnoho zástupců entomofágů a nemusí jím být výhradně jen člověk, ale i jiní živočichové (Mareček 1997).

Třída hmyz (latinsky *Insecta*) je skupinou velice různorodou a početnou. Odhaduje se, že zahrnuje přibližně jeden milion známých druhů. Toto číslo jistě není konečné, jelikož je každoročně objeveno mnoho druhů doposud nepopsaných (Erwin 1982; Novotny et al. 2002). Pokud mluvíme o jedlém hmyzu, dost často jsou jím myšleny i další druhy členovců, které však do třídy *Insecta* nespádají, ale pro lidskou výživu, či výživu zvířat jsou ve spojitosti s entomofagií zmiňovány. Jsou jimi například pavouci a štíři (Buchtová 2015). Dle hojně citovaného Jongema (2017) se na světě v současnosti vyskytuje více než 2100 druhů jedlého hmyzu, což ve své práci rozporují van Itterbeeck & Pelozuelo (2022). Ti tvrdí, že je toto číslo dosti nadhodnocené a druhů jedlého hmyzu je dle nich k roku 2017 ve skutečnosti něco přes 1600.

Entomofagie existovala a stále existuje jako tradiční kulturní atribut v mnoha různých komunitách po celém světě (Costa-Neto & Dunkel 2016). S jeho běžným využíváním pro kulinářské účely se setkáváme např. v Thajsku, Vietnamu a mnoha zemích Afriky, kde je konzumace hmyzu často považována za pochoutku (Manditsera et al. 2018; Toti et al. 2020). Stejně tak je v mnoha částech světa (Afrika, Jižní Amerika atd.) využívání hmyzu pro lidskou výživu často esenciální možností, jak zásobit tělo relevantním zdrojem bílkovin, jelikož maso v těchto lokalitách bývá ekonomicky velmi ceněné, a ne příliš dostupné (Costa-Neto & Dunkel 2016; Manditsera et al. 2018). V Evropě však konzumace jedlého hmyzu není zatím na takové úrovni, i když se se zvyšujícím se zájmem a nutností řešení klimatické krize, a tím i spjatou udržitelností, dostává do popředí našeho zájmu (Akhtar & Isman 2018; Papastavropoulou et al. 2022). Na druhou stranu v některých částech Evropy je konzumace hmyzu či jeho produktů součástí kulturního dědictví a regionální identity, což dokládají následující příklady: *Casu Marzu* je sýr obsahující živé larvy hmyzu, který je typický pro Sardinii; obdobné druhy sýra lze nalézt i v dalších italských regionech (Friuli – sýr *Saltarello*, Abruzzo – sýr *Marcetto*), ve Francii, Německu nebo Chorvatsku (Costa-Neto & Dunkel 2016; Montanari et al. 2021). Dalším příkladem vědomého využívání hmyzu ve výrobě potravin v Evropě je výroba červeného barviva (E120, košenila) z červce nopálového (*Dactylopius coccus*) a produkce medu díky včelám (van Huis et al. 2013).

Kvůli stále se rozrůstající populaci, a tím i zvyšující se poptávce po potravinách a krmivech se pomalu, ale jistě se uchylujeme k hledání nových zdrojů s bohatými výživovými vlastnostmi. Jedlý hmyz se tak dostává do popředí zájmu Západu, přestože se u něho objevuje strach z nových nebo neznámých potravin, tzv. „neofobie“ (van Huis et al. 2013; Kouřimská & Adámková 2016; Toti et al. 2020; Montanari et al. 2021; Moruzzo et al. 2021; United Nations

Department of Economic and Social Affairs 2022). Ekologičnost a udržitelnost chovu jedlého hmyzu souvisí s jeho krátkým životním cyklem, a tím i rychlým chovem, který není pro životní prostředí tak zatěžující v porovnání s chovem hospodářských zvířat (van Huis et al. 2013; Toti et al. 2020). Hmyz je oproti prasatům a hovězímu dobytku asi 100x nižší producent skleníkových plynů, zejména CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> (van Huis et al. 2012). I konverze krmiva je u hmyzu podstatně lepší než u hospodářských zvířat. Van Huis et al. (2013) dále uvádí, že na produkci 1 kilogramu drůbežního masa je potřeba 2,5 kg krmiva, 5 kg pro prasata a dokonce 10 kg krmiva pro produkci 1 kg hovězího masa. Konverze je u cvrčka asi 1,7–2 kg na 1 kg živé hmotnosti. Zároveň je u něj vysoká výtěžnost proteinu (až 80 %), oproti skotu (cca 40 %), prasat a drůbeže (cca 55 %). Současně má hmyz minimální nároky na ornou půdu, chovnou plochu a vodu než běžně chované hospodářské druhy. Jeho chov také není závislý na aplikaci pesticidů či hnojiv (van Huis et al. 2013; Akhtar & Isman 2018; Toti et al. 2020). Škrabalová (2011) uvádí, že na 1 m<sup>2</sup> lze umístit až 2000 cvrčků. Hmyz se tedy jeví skvělým alternativním zdrojem pro lepší udržitelnost světového zemědělství, zároveň jako jedno z možných řešení světového hladu (van Huis et al. 2013; Toti et al. 2020; Meyer-Rochow et al. 2021).

Kvůli obsahu polysacharidu chitinu se u jedinců senzitivních na korýše, měkkýše či roztoče může při konzumaci jedlého hmyzu projevit alergická reakce (Kouřimská & Adámková 2016; Akhtar & Isman 2018). Je možné, že hmyz akumuluje další látky s antinutričními vlastnostmi, jako jsou fytáty a taniny, které mohou snižovat biologickou dostupnost některých prvků (Meyer-Rochow et al. 2021). Proto je použití legislativně schváleného druhu a formy hmyzu v potravině v ČR nutno deklarovat ve složení produktu. V podmínkách regulovaného chovu a zpracování je mikrobiální riziko spojené s konzumací jedlého hmyzu srovnatelné s riziky vyskytujícími se při produkci jiných živočišných potravin. Firmy specializující se na chov hmyzu jsou navíc předmětem inspekce ze strany veterinárních úřadů (EFSA Scientific Committee 2015; Ministerstvo Zemědělství 2018; Toti et al. 2020; Ververis et al. 2022).

### **3.1.1 Legislativa jedlého hmyzu**

Dlouhou dobu v Evropě neexistovala žádná právní norma, ve které by byla konzumace hmyzu či použití hmyzu jako krmivo pro zvířata nějakým způsobem ukotvena. Je to jeden z možných důvodů, proč zde až do roku 2015 nebyly příhodné podmínky pro rozkvět entomofagie. Spotřeba hmyzu se v evropských zemích začala poprvé regulovat až s nařízením Evropského parlamentu a Rady Evropské unie (EU) 2015/2283 o nových potravinách (NP) ze dne 25. 11. 2015, které v EU vešlo v platnost 1. ledna 2018 a hovořilo o možnosti rozšíření seznamu potravin nového typu (PNT), v angličtině novel food, o celý hmyz či jeho části (Moruzzo et al. 2021, EC 2015). NP (dříve PNT) jsou takové potraviny, u kterých mimo jiné nebylo doloženo, že byly tradiční součástí jídelníčku Evropanů před 15. 5. 1997, kdy vzešlo v platnost nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 258/97, které PNT definovalo a není již aktuální (EC 2015).

Nařízení (EU) č. 2015/2283 také stanovuje tzv. přechodné období pro potraviny (v našem případě potraviny mající ve složení hmyz v různých formách), které sice nespádají do působnosti nařízení (ES) č. 258/97, ale na trhu se přeci jen v souladu s národními předpisy

některých členských států před 1. 1. 2018 vyskytovaly a zároveň se na ně už vztahovalo nařízení č. 2015/2283 o NP. V tom případě bylo nutné nejpozději do 1. 1. 2019 pro daný druh a konkrétní formu hmyzu podat žádost o vědecké stanovisko u Evropského úřadu pro bezpečnost potravin, pokud chtěl výrobce produkt v EU stále prodávat či vyrábět (EFSA) (EC 2015). Podkladů pro samotnou žádost o vědecké stanovisko EFSA (aby potravina mohla získat status NP) je mnoho. Mimo jiné je nutno dodat chemické, toxikologické, mikrobiologické analýzy apod., což je pro žadatele velmi finančně nákladné. Proto lze po schválení žádosti požádat o pětiletou ochranu dat. Tato ochranná lhůta dává pouze žadatelům privilegium prodávat jejich výrobky po dobu pěti let. Nicméně platí, že dokud nebude ze strany EFSA rozhodnuto o všech souvisejících žádostech (např. rozhodnuto o všech žádostech ohledně cvrčka domácího), smějí se výrobky z něj v tomto přechodném období v EU prodávat. Po vydání rozhodnutí, tedy vědeckého stanoviska, se však tato skutečnost může pochopitelně změnit, pokud by byl druh či forma shledána nevhodným k lidské spotřebě a podobně (EC 2015; EC 2017).

Současně s vydáním nařízení č. 2015/2283 zveřejnil EFSA své první vědecké stanovisko – Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed, ve kterém identifikuje veškerá potenciální rizika týkající se chovu a zpracování hmyzu jakožto potraviny či krmiva (EFSA Scientific Committee 2015). Dalším zlomovým momentem byl 24. listopad 2020, kdy EFSA přijal první vědecké stanovisko týkající se už konkrétního druhu a formy hmyzu – Bezpečnost sušených larev potemníka moučného (*Tenebrio molitor*) jako nová potravina podle nařízení (EU) 2015/2283. Konzumace sušených larev potemníka moučného nebyla shledána nutričně nevýhodnou, nebyla vznesena obava o bezpečnosti této potraviny, ale z alergologického hlediska bylo upozorněno na možnou senzibilizaci či alergickou reakci u osob majících alergii na korýše a roztoče (EC 2021a; Moruzzo et al. 2021; EFSA NDA Panel et al. 2022c).

EFSA následně publikoval další stanoviska. Bezpečnou novou potravinou podle nařízení (EU) 2015/2283 pro lidskou spotřebu byla dne 25. 5. 2021 shledána zmrazená, sušená a prášková forma saranče stěhovavé (*Locusta migratoria*), 7. 7. 2021 zmrazené, sušené a práškové formy cvrčka domácího (*Acheta domestica*), stejného data i zmrazené a sušené přípravky z „moučných červů“ (*Tenebrio molitor*), 23. 3. 2022 částečně odtučněný prášek ze cvrčka domácího (*Acheta domestica*) a 26. 4. 2022 zmrazené, kašovitě, sušené a práškové formy larev potemníka stájového (*Alphitobius diaperinus*) (EC 2021b; EC 2022a; EC 2022b; EC 2023a; EFSA NDA Panel et al. 2021b; EFSA NDA Panel et al. 2022a; EFSA NDA Panel et al. 2022b). Sedmým a zároveň nejnovějším stanoviskem je ze dne 28. 3. 2023 schválení prášku z larev moučného červa (*Tenebrio molitor*) ošetřeného ultrafialovým (UV) zářením (EFSA NDA Panel et al. 2023). V současnosti tedy máme čtyři hmyzí druhy na seznamu nových potravin. Na EFSA se momentálně nachází dalších 16 žádostí o vědecké stanovisko souvisejících s hmyzem určeným pro lidskou spotřebu. Z toho tři se týkají druhů jedlého hmyzu, které ještě na seznamu NP nejsou. Do budoucna lze tedy předpokládat, že se na seznamu Unie pro nové potraviny objeví v různých vývojových stádiích tyto druhy: včela medonosná (*Apis mellifera*), moucha bráněnka (*Hermetia illucens*) a cvrček krátkokřídlý (*Gryllodes sigillatus*). Zároveň i mnoho dalších podob hmyzích produktů, jako například proteinový koncentrát nebo hmyzí moučka (EC 2023b).

Hmyz určený pro potravinové nebo krmné účely je v rámci Evropské unie a České republiky klasifikován jako „hospodářské zvíře“ a vztahuje se na něj tedy český zákon č. 166/1999 Sb. o veterinární péči a o změně některých souvisejících zákonů (veterinární zákon) v aktuálním znění a nařízení (ES) č. 1069/2009 o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu a získané produkty, které nejsou určeny k lidské spotřebě. Tato legislativa má vliv na možnosti používání krmiva (organických zdrojů nebo substrátů) pro tato zvířata. Pro veškerá krmiva v EU, včetně těch pro hmyz, platí, že musí být bezpečná a nesmějí negativně ovlivňovat životní prostředí ani dobré životní podmínky zvířat. Navíc jsou stanoveny specifické hygienické požadavky a limitní hodnoty pro maximální přítomnost nežádoucích látek v krmivech (Bosch et al. 2019).

### 3.1.2 Firmy zabývající se distribucí potravin z hmyzu v České republice

Ve stručnosti bude v práci zmíněno i několik firem, které se distribucí či výrobou potravin z jedlého hmyzu v naší republice zabývají. Řekla bych, že v České republice (ČR) je nejvíce vidět firma začínající jako startup, která na našem trhu figurovala již 2 roky po přelomovém roce 2015. Je jí SENS s.r.o. ([www.damesens.cz](http://www.damesens.cz)) sídlící v Praze. V roce 2018 se český trh rozrostl o brněnskou firmu Grig a.s. ([www.grig.cz](http://www.grig.cz)) – pochoutky z jedlého hmyzu a plzeňský Black food market s.r.o. ([www.blackfoodmarket.cz](http://www.blackfoodmarket.cz)). Na pomyslné čtvrté příčce stojí královehradecká firma založená v roce 2019, WormUP s.r.o. ([www.wormup.com](http://www.wormup.com)) – slané pochoutky z hmyzu. Následně se na našem trhu objevují i další firmy založené v roce 2021 – ostravské FARMERIO s.r.o. ([www.farmerio.cz](http://www.farmerio.cz)) a brněnské CRUNCHY s.r.o. ([www.crunchy.cz](http://www.crunchy.cz)) (Kurzy.cz 2024a; Kurzy.cz 2024b; Kurzy.cz 2024c; Kurzy.cz 2024d; Kurzy.cz 2024e; Kurzy.cz 2024f).



**Obrázek 1** Ukázka produktů z jedlého hmyzu na českém trhu. Zleva Sens tyčinka s cvrčím proteinem; Grig mix sušených červíků; Black Food Market hmyzí těstoviny; WormUP cvrčci s kari; Farmerio čokoláda s červíky a Crunchy hrachové chipsy s hmyzí moučkou (dostupné z [hmyzarna.cz](http://hmyzarna.cz), [grig.cz](http://grig.cz), [hmyzarna.cz](http://hmyzarna.cz), [wormup.com](http://wormup.com), [farmerio.cz](http://farmerio.cz), [crunchy.cz](http://crunchy.cz))

Obrázek 1 deklaruje, že všechny vyjmenované firmy mají rozhodně co nabídnout. Ať už se jedná o nepřebernou škálu příchutí sušeného hmyzu (nejčastěji nabízené produkty jsou sušené ochucené larvy potměnka moučného) nebo široký sortiment, o čemž se můžete přesvědčit návštěvou jejich webových stránek uvedených výše. Záměrem je jednak vyhovět požadavkům již stálých konzumentů, ale i upoutání nových potenciálních zákazníků, kteří jedlý hmyz ještě v takové míře neakceptují.

## 3.2 Vybrané hmyzí druhy

Pro monitoring byly vybrány následující druhy hmyzu: cvrček domácí (*Acheta domestica* Linnaeus, 1758), potměšník stájový (*Alphitobius diaperinus* Panzer, 1797), saranče stěhovavé (*Locusta migratoria* Linnaeus, 1758) a potměšník moučný (*Tenebrio molitor* Linnaeus, 1758), protože již figurují na seznamu NP a mají tedy z hlediska nutričního složení určitý pozitivní význam pro konzumaci lidmi. Dalšími vybranými druhy byly: moucha bráněnka (*Hermetia illucens* Linnaeus, 1758), včela medonosná (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758), protože byly zařazeny na seznamu žádostí o vědecké stanovisko EFSA (EFSA opinion) a do budoucna se předpokládá jejich zařazení na seznam NP, a tedy i nutriční potenciál. Z důvodu větší variability druhů pro monitoring byly zařazeny následující druhy hmyzu: potměšník brazilský (*Zophobas morio* Fabricius, 1776), cvrček banánový (*Gryllus assimilis* Fabricius, 1775) a šváb (*Blaberus discoidalis* Audinet-Serville, 1839). Poslední tři zmíněné druhy jsou zároveň hojně využívány v zájmových chovech a prvkové složení by mohlo být pro toto odvětví zajímavým přínosem. Níže lze nalézt obecné informace o jednotlivých druzích.

Pro sledování obsahu prvků byli vybráni dospělci cvrčka domácího (AD), larvy potměšníka stájového, dospělci sarančete stěhovavé a larvální stádium potměšníka moučného, protože již jsou na seznamu NP a cílem diplomové práce bylo potvrdit, že se jedná o zajímavý zdroj z hlediska obsahu prvků, zvláště těch přínosných pro člověka. U larev mouchy bráněnky a dospělců včely medonosné (trubců) bylo kritérium výběru to, že byli zařazeni na seznamu žádostí o vědecké stanovisko EFSA a lze předpokládat jejich zařazení na seznam NP, a tedy i nutriční potenciál. Larvy potměšníka brazilského a dospělci cvrčka banánového byli přidáni z důvodu větší variability druhů pro monitoring. Dospělci švába byli přidáni jako zástupci z řádu švábů pro zvýšení rozmanitosti monitoringu. Tyto tři druhy jsou široce využívány v zájmových chovech a jejich prvkové složení by mohlo přinést zajímavé informace pro tento sektor.

### 3.2.1 Cvrček domácí (*Acheta domestica* L.)

Cvrček domácí (Obrázek 2) je zástupcem rovnokřídlého hmyzu (*Orthoptera*), podřádu kobylky (*Ensifera*), čeledi cvrčkovití (*Gryllidae*). Je druhem pocházejícím původně z Asie a Afriky, nicméně v současné době se s ním lze setkat hojně po celém světě. Má rád teploty pohybující se kolem 32 °C a vysokou vlhkost vzduchu. Živí se převážně rostlinnou stravou a odpadky, ale nepohrdne ani uskladněnými potravinami. Proto je často lokalizován v blízkosti lidských obydlí. Lze ho považovat za typický příklad synantropa. Dorůstá délky 16 až 20 mm, má slámově žluté, okrové, někdy až hnědě zbarvené tělo s ne příliš výraznými černými znaky na hlavě. Pro samečky je typické hlasité a melodické cvrkání (stridulace) za soumraku a v noci (Rietschel 2004; Kočárek et al. 2013; Kymla 2019). Snadno se chová, čehož se v současnosti využívá zejména v zájmových chovech, kde je běžně prodáván jako krmivo pro hmyzožravé živočichy (Rietschel 2004; Kočárek et al. 2013).

AD nabízí nutriční a technologické příležitosti pro potravinářský průmysl a po schválení jeho bezpečnosti Evropským úřadem pro bezpečnost potravin se snaží zaujmout místo v potravinovém řetězci (EFSA NDA Panel et al. 2021b; EFSA NDA Panel et al. 2022a). Výzkumy ukazují, že sušené i nesusušené formy cvrčků jsou bohaté na makro- i mikronutrienty

a vyžadují minimální tepelnou úpravu pro zajištění mikrobiologické bezpečnosti. Toxikologické hodnocení ukázalo, že bezpečnost cvrčků závisí na kvalitě jejich krmiva, ale nevyvolává významné obavy. Diskutuje se o potřebě standardizace dat o složení jedlého hmyzu (EFSA Scientific Committee 2015; EC 2022b; Ververis et al. 2022).

### 3.2.2 Saranče stěhovavá (*Locusta migratoria* L.)

Ze známých druhů sarančí (řád rovnokřídlí – *Orthoptera*; podřád saranče – *Caelifera*) patří saranče stěhovavá (Obrázek 2) k těm největším, dorůstajících délky až 6 centimetrů. Forma „stěhovavá“ je pouze přechodnou formou tohoto druhu v období nepřízně životních podmínek, kdy dojde k přemnožení druhu na jednom stanovišti a následný nedostatek potravy apod. nutí jedince vyhledat stanoviště nové. V tom případě tato agresivní hnědě zbarvená forma hromadně přelétá na přechodná místa, kde může způsobit rozsáhlé škody na zemědělských plodinách, což se v minulosti již několikrát stalo. Při příznivých podmínkách však tato *Locusta* dlouhou dobu setrvává na jednom stanovišti, kde se množí, dokud nedojde ke zmíněnému přemnožení (Rietschel 2004; Kočárek et al. 2013; Salama 2020).



**Obrázek 2** Vlevo cvrček domácí *Acheta domestica* L., vpravo saranče stěhovavá *Locusta migratoria* L. (dostupné z e-insects.wageningenacademic.com)

Chov *L. migratoria* jako potravinového zdroje se uplatňuje i v Evropě (Kouřimská & Adámková 2016). S ohledem na aktuální vědecké poznatky o nutričním profilu tohoto hmyzu je známo, že 100 g sušeného saranče obsahuje zhruba 50–60 % proteinu a přibližně 13 % tuku, s relativně vysokým zastoupením palmitové, stearové, olejové, linolové a linolenové mastné kyseliny (Kouřimská & Adámková 2016; EFSA NDA Panel 2021a). Hlavní složkou exoskeletu členovců je nerozpustný polysacharid chitin. Jedná se o sacharid, který lidský organismus nedokáže strávit, a proto ve stravě člověka slouží převážně jako zdroj vlákniny. U jedlého hmyzu je diskutován i z hlediska možného vyvolávání alergických reakcí. Nicméně v porovnání s obsahem ostatních makronutrientů jsou sacharidy ve hmyzím těle zastoupeny jen z cca 5 %. Odlišná strava saranče, i jiného druhu hmyzu, hraje roli v jeho výsledném nutričním složení. Změny v chemickém složení mohou být závislé i na dalších faktorech jako např. vývojové stádium (Kouřimská & Adámková 2016; Salama 2020; EFSA NDA Panel et al. 2021a).

### 3.2.3 Potemník moučný (*Tenebrio molitor* L.)

Potemník moučný, latinsky *Tenebrio molitor*, je druh zařazený do řádu brouci (*Coleoptera*) a čeledi potemníkovití (*Tenebrionidae*). Tmavohnědý až černě zbarvený brouk dorůstá 12–18 mm délky (McGavin 2005; Kočárek et al. 2013; Zahradník 2020). Zároveň je

Evropským úřadem pro bezpečnost potravin zařazen na seznamu potravin nového typu, resp. jeho larvální stádium (Obrázek 3) lidově známé jako „moučný červ“ v různých podobách, jak bylo již výše zmíněno (EC 2021a; EC 2022a). S tím se lze setkat nejen v domácnostech, například v mouce, pečivu, obilninách či jiných sušených potravinách, ale i v mlýnech nebo ve skladech pekárenských surovin a výrobků, kde může způsobit nemalé, až katastrofální škody (Mařan 1972). Ne vždy se však jedná o škůdce (Kočárek et al. 2013; Zahradník 2020). Potemník moučný žije i volně v přírodě, avšak v blízkosti člověka je jeho výskyt hojnější. Na základě toho ho lze považovat za částečně synantropního brouka (Zahradník 2020). Jedná se o téměř celosvětově rozšířený druh, který je v České republice mimo jiné využíván a chován, jako krmivo pro ještěry, klecní ptáky či akvarijní ryby (McGavin 2005; Kočárek et al. 2013; Zahradník 2020). Jednou z předností chovu potemníka je nenáročnost, jednoduchost při manipulaci a jeho rychlý životní cyklus s proměnou dokonalou trvající od vajíčka do dospělosti cca 3 měsíce. Krmí se obvykle pšeničnou moukou nebo pšeničnými otrubami, dokáží však sežrat téměř cokoliv (Toviho & Bársony 2022).



**Obrázek 3** Vlevo larva *Tenebrio molitor* L., vpravo larva *Alphitobius diaperinus* P. (dostupné z e-insects.wageningenacademic.com)

Studie provedená Costa et al. (2020) potvrdila, že sušené larvy moučných červů představují zajímavý zdroj živin srovnatelný s masem, zvláště díky svému vysokému obsahu bílkovin (45,6 %), tuků (34,5 %) a minerálů jako fosfor, hořčík, zinek a mangan, přičemž koncentrace těchto prvků překračovaly doporučený denní příjem (DDP) těchto minerálů. Sto gramů sušených larev potemníka vykazovalo po přepočtu nízké koncentrace draslíku a železa (pouze 16–17 % a 20 % DDP). S ohledem na prevenci vysokého krevního tlaku byl nízký obsah sodíku ve 100 g sušených larev shledán žádoucím (Costa et al. 2020). Stogramová porce sušených moučných červů pokrývá DDP zinku, mědi a fosforu, uvádí Kosečková et al. (2022).

### 3.2.4 Potemník stájový (*Alphitobius diaperinus* P.)

Potemník stájový, latinsky *Alphitobius diaperinus*, je taxonomicky zařazen v řádu brouci (*Coleoptera*) a čeledi *Tenebrionidae* (McGavin 2005; Siddiqui et al. 2024). Životní cyklus *A. diaperinus* zahrnuje vajíčko, několik larválních instarů, kuklu a dospělce (Rumbos et al. 2018; Kurečka et al. 2021). Je rozšířen po celém světě (Siddiqui et al. 2024). V průmyslových chovech drůbeže mohou larvy *A. diaperinus* (Obrázek 3) efektivně využívat dostupné zdroje – krmivo, podestýlku a organické odpady. Spolu s vhodnými chovnými podmínkami (vlhkost vzduchu) mu prostředí umožňuje zvýšit reprodukční kapacitu. Tato aktivita však může vést k významným škodám na skladovaných rostlinných produktech a dalších materiálech. Dle nařízení EU č. 2017/893 je jeho využití jako krmné složky povoleno v EU pro prasata, drůbež, v akvakultuře a u kožešinových a domácích zvířat (Rumbos et al. 2018; Siddiqui et al. 2024).

Chemické složení a nutriční profil sušeného *A. diaperinus*, zejména vysoký obsah bílkovin (45–70 % v sušině), vyvolaly zájem o jeho potenciální využití ve výživě lidí.



Po vědeckém posouzení rizik ze strany EFSA byly larvy *A. diaperinus* schváleny Evropskou komisí jako NP ve zmražené, kašovitě, sušené a práškové formě (Kurečka et al. 2021; EFSA NDA Panel et al. 2022b; EC 2023a; Siddiqui et al. 2024). V současné době čeká na EFSA stanovisko další 2 potravinářské aplikace pro potemníka stájového (EC 2023b). Hlavními mastnými kyselinami zastoupenými v potemníkoví stájovém jsou: olejová, linolová a palmitová kyselina. Potemník stájový, podobně jako jiné hmyzí druhy, může představovat dobrý zdroj minerálů. Podle EFSA NDA Panel et al. (2022b), může sušený či práškový potemník obsahovat až 6,5 mg.kg<sup>-1</sup> Mn. To je srovnatelné s obsahem manganu v čokoládě, který je cca 8,9 mg.kg<sup>-1</sup>, nebo v obilovinách (8,0 mg.kg<sup>-1</sup>) (EFSA NDA Panel et al. 2022b).

### 3.2.5 Včela medonosná (*Apis mellifera* L.)

Druhové jméno *mellifera* má svůj původ v latinských slovech „*mello*“, které se překládá jako med a „*ferrare*“ jako nosit (Tautz 2021). *Apis mellifera* je známá též jako evropská či euroafrická včela (Yadav et al. 2017). Tento důležitý a prakticky všude rozšířený opylovač hmyzosnubných rostlin se řadí do třídy hmyzu (*Insecta*), řádu blanokřídlí (*Hymenoptera*), čeledi včelovití (*Apidae*) a rodu včela (*Apis*) (McGavin 2005; Yadav et al. 2017; Tautz 2021). Kromě již zmíněné nesmírně důležité funkce opylovače mnoha rostlin je včela medonosná významným domestikovaným druhem, chovaným nejen v České republice, pro produkci medu, vosku a dalších dieteticky a farmakologicky hodnotných produktů (Rietschel 2004; McGavin 2005; Kočárek et al. 2013; Kymly 2019; Pernal 2021). Žije v dokonale organizovaných společenstvích. Na začátku července dosahují včelí společenstva svého rozvojového maxima. Včely mají akumulované značné zásoby medu a pylu připravené na období odpočinku. Ve vrcholném období se včelstvo skládá zpravidla z jedné královny, 300–600 včelích samečků (trubců), mezi 50 až 70 tisíci dělnicemi, dále z vajíček a larev. Součástí tohoto společenstva je také voskové včelí dílo, které obsahuje plodové a medové buňky (Gurung et al. 2012; Kočárek et al. 2013; Tautz 2021). Včela je hmyzem s proměnou dokonalou – holometabolii. Její životní cyklus je rozdělen do čtyř stádií: vajíčko, larva, kukla a dospělec. Kolonie včel medonosných má výše zmíněné tři druhy dospělých jedinců: královnu, dělnice a trubce. Každý z nich prochází stejnými čtyřmi vývojovými stádií, ale čas potřebný k dokončení jednotlivých stádií se liší (Gurung et al. 2012; Veselý et al. 2013; Yadav et al. 2017; Tautz 2021). Délka chovu, resp. stáří hmyzu, nebo i pohlaví může mít vliv na jeho finální nutriční profil (Wang & Shelomi 2017; Kulma et al. 2020). Z tohoto důvodu na obrázku 4 pro lepší představu znázorňují vývojový cyklus u včelí královny, dělnice a trubce.



**Obrázek 4** Délka (dny) a stádia životního cyklu včely (*Apis mellifera* L.) královny, dělnice, trubce (vlastní tvorba)

Matka (královna) dokáže naklást až 1500 vajíček denně. Některá jsou oplozená a v budoucnu z nich budou včelí samičky (převážně dělnice, jen málokdy nová matka), z neoplozených vajíček se později stanou trubci. Délka inkubace vajíčka ve včelstvu jsou 3 dny. Stádium larvy trvá cca 6 dní v závislosti na druhu budoucího dospělého. Vosková buňka, ve které larva roste, je dělnicemi následně zavíčkovaná. Uzávěry buněk pro dělnice jsou neprůhledné a ploché, zatímco trubčí buňky mají sice stejný tvar, ale jsou větší a zakončené krytem, který je výrazně vypouklý a tmavší (Veselý et al. 2013; Yadav et al. 2017; Tautz 2021). Pod víčkem probíhá dalších několik dní růst a vývoj larvy v předkuklu, která se v cca 21 dnech mění v kuklu. Z kukly se v posledních pár hodinách stává dospělec (mladuška). Celkem trvá vývoj včely dělnice od vajíčka po dospělé včelu cca 21 dní za předpokladu dodržení teploty (34,5 °C přesně) regulované včelami (Veselý et al. 2013; Tautz 2021).

Včely dělnice (*A. mellifera*) jsou podle studie Ghosh et al. (2016) významným zdrojem bílkovin, s obsahem mezi 35,3 % u larev a 51 % u dospělých jedinců. Dělnice rovněž obsahují vyvážený poměr nasycených a polynenasycených mastných kyselin a jsou bohaté na některé minerály. Různá vývojová stadia včelích dělnic tak představují dobrou možnost pro výživu lidí i zvířat. Ghosh et al. (2020) prováděli srovnání nutričního složení různých vývojových stadií trubců druhu *A. mellifera* a zjistili, že zejména v pozdních stadiích vývoje kukly a v dospělosti, mohou představovat výživný zdroj potravy lidí, neboť obsahují většinu esenciálních aminokyselin. Konzumace trubčího plodu by také mohla přinést ekonomické výhody pro včelaře a zároveň poskytnout udržitelný zdroj potravin (Ghosh et al. 2020; Ulmer et al. 2020; EC 2023b). Nicméně kvůli jejich relativně vysoké hemolytické aktivitě se doporučuje, aby byli trubci před případnou konzumací adekvátně zpracováni, což by z tohoto hlediska zajistilo potravinovou bezpečnost (Ghosh et al. 2020).

### 3.2.6 Šváb (*Blaberus discoidalis* Audinet-Serville)

Šváb (*Blaberus discoidalis*) je členem řádu švábi (*Blattodea*), čeledi švábovít (*Blaberidae*). Tento druh je též známý jako diskoidní šváb, šváb haitský, falešný šváb smrtihlav nebo šváb západoindický, a je velmi podobný švábu smrtihlavovi (*Blaberus craniifer*) (Bell et al. 2007; Clopton 2011). Dospělí jedinci (Obrázek 5) se dorůstají 35–55 mm, barva jejich těla se pohybuje v odstínech světle hnědé a béžové a na předohrudí mají tmavohnědou až černou skvrnu. Šváb není aktivním letcem a neumí lézt po hladkých površích, což minimalizuje riziko jeho úniku nebo kontaminaci během chovu. Nymfy jsou hnědé s pálenými tečkami a běžně dosahují dospělosti během 4 až 5 měsíců. Dospělí jedinci se dožívají 8 až 10 měsíců (TITAG 2005; Clopton 2011; Kulma et al. 2016). *Blaberus discoidalis* se běžně vyskytuje v zemích Střední a Jižní Ameriky jako je Jamajka, Kuba, Puerto Rico, Haiti, Panama, Venezuela a Kolumbie. Preferuje teploty mezi 28–32 °C a relativní vlhkost okolo 70 % (TITAG 2005). Patří mezi detritofágy. Přirozeně jeho potravu tvoří drť odumřelých rostlin a živočichů, či odumřelé mikroorganismy. V současné době se šváb využívá převážně jako komerční krmivo pro terarijní hmyzožravá zvířata chovaná v zajetí (TITAG 2005; Kulma et al. 2016).

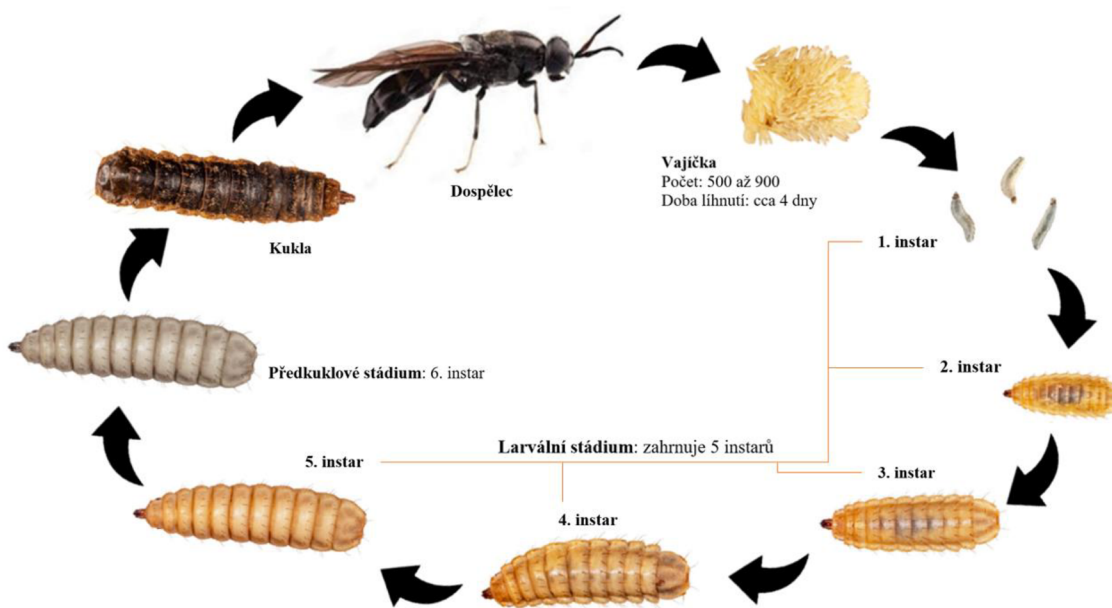


**Obrázek 5** Dospělci švába *Blaberus discoidalis* (dostupné z biolib.cz)

Dle vyhodnocení Bednářové et al. (2013) je šváb kvůli znechucení potenciálních konzumentů pro využití v entomofagii zcela nevhodný. Pokud bychom chtěli švába využívat k lidské konzumaci, museli bychom zajistit přísně kontrolované podmínky pro jeho chov (nezávadná krmná směs apod.), aby nedošlo k možné kontaminaci a jeho použití pro lidskou výživu tak nepředstavovalo bezpečnostní riziko (Gasco et al. 2020; Kulma et al. 2020). Kulma et al. (2016) porovnávali rozdíly v nutriční hodnotě u dospělců a subadultů tří druhů švábů, mimo jiné i druhu *Blaberus discoidalis*. Závěr jejich studie naznačuje, že nutriční hodnota švába závisí jak na konkrétním druhu, tak na vývojovém stádiu. Kulma et al. (2020) dospěli k podobným závěrům, protože jejich výzkum ukázal, že vývojová stadia ovlivňují nutriční hodnotu u druhu *Blaberus craniifer*. Dospělci tohoto druhu obsahovali vyšší podíl stravitelných proteinů, ale tyto proteiny byly nižší kvality než u nymf. Nymfy naopak obsahovaly více lipidů než dospělí jedinci a kvalita lipidů (vyjádřená aterogenním a trombogenním indexem) se stářím zvyšovala.

### **3.2.7 Moucha bráněnka (*Hermetia illucens* L.)**

Moucha bráněnka (v angličtině Black soldier fly, zkráceně BSF) je zástupcem řádu dvoukřídlých (*Diptera*), čeledi bráněnkovití (*Stratiomyidae*), rodu *Hermetia*. Tento druh mouchy pochází původně z Ameriky, ale přizpůsobil a rozšířil se na území rozkládající se od 45° severní po 40° jižní šířky (Jucker et al. 2017; Wang & Shelomi 2017; Lievens et al. 2021; Purkayastha & Sarkar 2022; Suryati et al. 2023). Výskyt byl zaznamenán v rozličných státech napříč Evropou, Afrikou, Oceánií (včetně Austrálie a Nového Zélandu) a Asií (s výskytem v Indonésii, Japonsku, na Filipínách a Srí Lance) (Suryati et al. 2023). Životní cyklus mouchy bráněnky (Obrázek 6) zahrnuje několik etap od kladení vajíček, přechod přes pět larválních instarů, jedno stádium před kuklou, proměnu v kuklu, až po vylíhnutí v dospělé mouchu (Purkayastha & Sarkar 2022; Suryati et al. 2023). Celková doba trvání životního cyklu mouchy bráněnky od vajíčka po dospělé se pohybuje mezi 40 a 43 dny, přičemž je ovlivněna environmentálními faktory jako teplota, vlhkost a dostupnost potravy (Lievens et al. 2021; Suryati et al. 2023). Průměrná délka života dospělé je 8–20 dnů (Purkayastha & Sarkar 2022). Pro larvální stadia bráněnky je ideální teplotní rozsah pro vývin 20–30 °C, zatímco dospělí jedinci (imago) preferují lehce vyšší teploty mezi 25 °C a 32 °C (Suryati et al. 2023). Wang & Shelomi (2017) zmiňují, že dospělci *H. illucens* již nepřijímají žádnou potravu kromě vody, nevyhledávají lidskou blízkost, neútočí kousnutím či štípnutím a nejsou nositeli ani šířiteli žádných konkrétních nemocí.



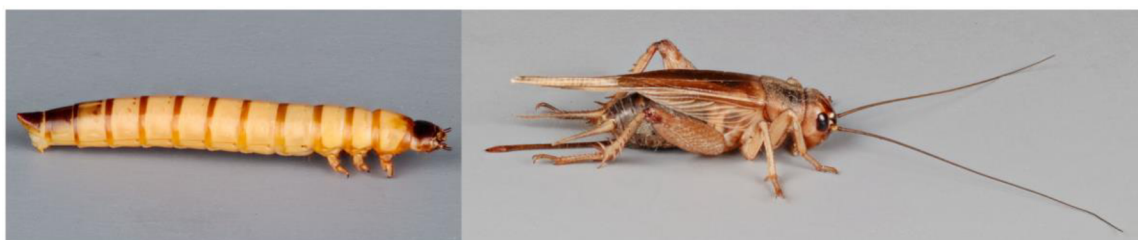
**Obrázek 6** Schéma životního cyklu *Hermetia illucens* L. (vlastní tvorba)

Larvální stádia mouchy bráněnky – běžně označovaná jako červi, představují značný přínos díky své efektivitě v dekompozici organického odpadu, který v larválním stadiu využívají jako zdroj energie pro svůj růst. Zdroj potravy larev může tvořit různý organický, rostlinný, ovocný či potravinový odpad nebo i vedlejší produkty agropřemyslu jako např. slepičí hnůj, kuřecí krmivo, mléčný hnůj, kaly z čistíren odpadních vod (Jucker et al. 2017; Wang & Shelomi 2017; Lievens et al. 2021; Purkayastha & Sarkar 2022; Suryati et al. 2023). Preimaginalní stádia bráněnky byla identifikována jako významný alternativní zdroj proteinů pro potravinářské a krmivářské účely, především pak pro chovatelství zvířat (např. ryby, drůbež, prasata). Výsledky chemických analýz naznačují, že sušina těchto instarů obsahuje vysoké procento proteinů, v rozmezí 41–44 %, a také značné množství tuků, které se pohybuje mezi 15 a 49 procenty (Jucker et al. 2017; Wang & Shelomi 2017; Lievens et al. 2021; Suryati et al. 2023). Nicméně chemický profil hmyzu se liší nejen mezi druhy, ale také v závislosti na životní fázi (proto je ve výzkumech vhodné uvádět přesné životní stádium viz obrázek 4 nebo uvést stáří hmyzu ve dnech), podmínkách, ve kterých je chován, a jeho stravě (Jucker et al. 2017; Wang & Shelomi 2017).

Potenciál ve využití larev mouchy bráněnky v lidské výživě spočívá také v tom, že i přesto, že se živí převážně biologickým odpadem, se larvy zdají být schopné efektivně redukovat přítomné bakterie *Escherichia coli* a rodu *Salmonella* v materiálech, ve kterých žijí a které jim slouží jako zdroj potravy (Jucker et al. 2017; Wang & Shelomi 2017). Mohlo by to být díky obsahu laurové kyseliny v larválních stádiích *H. illucens*, která má antibakteriální, antivirové a antimykotické účinky (Suryati et al. 2023). Nicméně, pokud jsou larvy příliš dlouho vystaveny kontaminovanému prostředí, mohou se samy těmito patogeny nakazit (Wang & Shelomi 2017). Podobně je možné, že larvy *H. illucens* akumulují různé chemické látky z jejich potravy, což může být výhodné, pokud máme zájem o zvýšení koncentrace specifické látky v těchto larvách (Lievens et al. 2021; Suryati et al. 2023). Dokud tedy nebude jistě prokázáno, že larvy mouchy bráněnky nepředstavují pro člověka toxikologické či mikrobiální riziko, nebudou na seznam nových potravin uvedeny (Lievens et al. 2021; EC 2023b).

### 3.2.8 Potemník brazilský (*Zophobas morio* F.)

Dalším broukem (*Coleoptera*) a zástupcem čeledi potemníkovitých (*Tenebrionidae*) je potemník brazilský (*Zophobas morio*), známý také jako obří moučný červ (anglicky superworm či giant mealworm). Je běžným skladovým škůdcem, ne však tak rozšířeným jako např. *Tenebrio molitor* nebo *Alphitobius diaperinus*. V klimatických podmínkách Evropy jej lze chovat bez větších obtíží. Larev se často využívá jako krmiva pro plazy, ptáky a ryby v zájmových chovech (Adámková et al. 2016; Rumbos & Athanassiou 2021). V Brazílii se dle Araújo et al. (2019) *Z. morio* řadí k jednomu ze dvou hlavních druhů chovaných pro výživu zvířat. Vývojový cyklus potemníka brazilského zahrnuje čtyři hlavní stádia: vajíčko, larvu (Obrázek 7), kuklu a dospělce (Rumbos & Athanassiou 2021). Studie naznačují, že larvy *Zophobas morio* představují jak potenciální alternativní nutriční zdroj, tak vykazují schopnost částečné degradace plastů (polystyrenu a polyethylenu) na nízkomolekulární rozložitelné komponenty. Tento fenomén představuje potenciál pro aplikaci v oblasti udržitelného odpadového managementu (Yang et al. 2021; Sun et al. 2022).



**Obrázek 7** Vlevo larva *Zophobas morio* F., vpravo dospělec *Gryllus assimilis* F. (dostupné z e-insects.wageningenacademic.com)

Adámková et al. (2016) stanovovala obsah proteinu a tuku u tří druhů hmyzu, včetně larev *Z. morio*. Potemník brazilský byl shledán přiměřeným zdrojem tuků, ale kvůli vysokému obsahu SFA (nasycené mastné kyseliny) a nevhodnému poměru n-6 a n-3 (22:1) mastných kyselin se z tohoto hlediska neřadí k předním adeptům na zařazení do lidské diety (Adámková et al. 2016). Larvy druhu *Z. morio* mají velký potenciál působit jako bílkovinný zdroj v lidské stravě i v krmivech pro zvířata. Jejich využitím bychom mohli výrazně snížit potřebu sójové a rybí moučky, které jsou dnes hlavními komponenty zvířecích krmiv (Rumbos & Athanassiou 2021; Martins da Silva et al. 2024). Je nutné brát v potaz, že nutriční hodnota a chemické složení sklizeného potemníka se může lišit v závislosti na odlišných podmínkách chovu (Adámková et al. 2016; Dragojlović et al. 2022).

### 3.2.9 Cvrček banánový (*Gryllus assimilis* F.)

Cvrček banánový (Obrázek 7), někdy také jamajský polní cvrček (latinsky *Gryllus assimilis*), spadá do řádu rovnokřídlého hmyzu (*Orthoptera*) a čeledi cvrčkovití (*Gryllidae*). Tento druh cvrčka je hojně rozšířen po Západní Indii, Mexiku, části Jižní Ameriky a taktéž na jihu Floridy. Jeho zbarvení je značně variabilní od červenohnědé až po černé a může být ovlivněno jednak lokalitou výskytu nebo např. pohlavím. Předohrudí cvrčka banánového je na povrchu hustě pokryta jemnými hnědými chloupky, čímž nabývá matného vzhledu. Pohlaví je u cvrčka lehce rozeznatelné, jelikož samice mají nápadně dlouhé kladélko. *Gryllus assimilis* prochází jako ostatní cvrčci proměnou nedokonalou. Proměna nedokonalá nezahrnuje pupální

stádium. Larvy (nymfy) se postupně zvětšují a přeměňují na dospělé skrze svlékání, přičemž každé nové stádium je podobnější dospělci. Ti dorůstají délky až tří centimetrů. Vyskytují se v travnatých polích, u polních cest a dalších otevřených oblastech. *Gryllus assimilis* se živi primárně rostlinným materiálem, ale může konzumovat i menší hmyz (Weissman et al. 2009; Škrabalová 2011; Weissman et al. 2012; Magara et al. 2021).

Cvrček banánový je hojně využíván jako krmivo pro živočichy v zájmových chovech. V USA je například komerčně přepraveno cca 50 milionů cvrčků týdně. Chov cvrčka taktéž není považován za nikterak náročný. Ročně lze získat šest až sedm generací *G. assimilis* při chovné teplotě 28–30 °C (Škrabalová 2011; Weissman et al. 2012). Zájem o cvrčka banánového jako možný zdroj potravy pro lidi roste, což potvrzují studie zkoumající jeho chování a nutriční hodnoty. Studie Aleknavičius et al. (2023) odhalila, že se *G. assimilis* dokáže vyhnout krmivu kontaminovanému bakterií *Escherichia coli* díky schopnosti čichově rozpoznat sloučeninu indol, kterou *E. coli* produkuje. Další výzkum Araújo et al. (2019) ukázal, že nutriční profil *G. assimilis* je pro lidskou výživu velmi přínosný, zejména kvůli vysokému obsahu bílkovin ( $65,52 \pm 1,39$  g/100g sušiny), tuků ( $21,80 \pm 2,65$  g/100g sušiny) a minerálů jako Ca, Mg, Fe, Zn. Obsah Fe a Zn v *G. assimilis* byl srovnatelný s obsahem těchto minerálů v hovězím masu. Množství Fe v tomto ohledu dokonce převyšovalo vepřové a kuřecí maso (Araújo et al. 2019).

### 3.3 Minerální látky a jejich denní doporučený příjem

Nedílnou součástí potravy jsou makronutrienty (makroživiny) a mikronutrienty (mikroživiny). Mikroživiny lze specifikovat jako skupinu látek zahrnující vitaminy, minerály a stopové prvky. Obecně jsou to látky, které se v organismu významným způsobem podílí na výstavbě tělesných tkání, regulaci metabolických pochodů, správné koordinaci fyziologických funkcí, vedení nervových vzruchů nebo například na udržování stálého osmotického tlaku v tělních tekutinách. Dostatek mikronutrientů je důležitý pro udržení zdraví organismu a zabránění rozvoji onemocnění spojených s jejich nedostatkem (Volpe 2013). Anorganické látky (minerální látky či minerály) naopak od makronutrientů (sacharidů, lipidů a proteinů) nepředstavují pro organismus zdroj energie. Nejčastěji je dělíme do dvou skupin podle toho, v jakých koncentracích se v organismu vyskytují (makroprvky; mikroprvky) (Kasper 2015; Akram et al. 2020). Někdy mohou být dle zastoupení v organismu děleny do skupin tří: makroelementy (potřeba více jak 100 mg/den), mikroelementy (potřeba méně jak 100 mg/den) a stopové prvky (potřeba v mikrogramech denně) (Prashanth et al. 2015; Zlatohlávek 2019). V našem organismu se minerální látky vyskytují buď převážně uvnitř buněk (intracelulárně) nebo převážně vně buněk (extracelulárně) (Zlatohlávek 2019). Příkladem prvků, které se vyskytují v relativně vysokých koncentracích v buňkách jsou draslík a fosfor (ve formě fosfátů). Naopak v extracelulární tekutině jsou přítomny sodík a chloridy (Kasper 2015). Denní doporučený příjem minerálů a stopových prvků, který je nutný pro zajištění optimálního zásobování těmito látkami, lze dohledat v referenčních hodnotách D-A-CH nebo v tabulce (Tabulka 1) níže (Kasper 2015; Společnost pro výživu 2019; Zlatohlávek 2019).

V Tabulce 1 jsou uvedena obecná doporučení pro denní příjem (DDP) některých minerálů v ČR pro zdravé muže ve věku 25–50 let a zdravé ženy (25–50 let). Dále jsou uvedeny denní referenční hodnoty příjmu (RHP) průměrného zdravého člověka s energetickým příjmem 8400 kJ/2000 kcal, které jsou stanoveny na základě doporučení společností pro výživu

evropských německy mluvících zemí, Německa (D), Rakouska (A) a Švýcarska (CH) – souhrnně DACH (Společnost pro výživu 2019) a dle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1169/2011 o označování potravin (Evropský parlament a Rada Evropské unie 2011). Nicméně přesné potřeby jednotlivých minerálů se pro každého člověka mohou individuálně lišit, a to na základě jejich zdravotního stavu, pohlaví, stáří apod. Zároveň i různá kulinární úprava může ovlivnit výsledný obsah minerálů v pokrmu a jejich obsah ve výsledném produktu snížit, což může ohrozit zabezpečení potřeb zejména některých stopových prvků v západních zemích (Kasper 2015; García-Herrera et al. 2020).

**Tabulka 1** Doporučený denní příjem (DDP) vybraných prvků ve stravě uvedených pro muže a ženy (25–50 let) v ČR (upraveno dle Společnost pro výživu 2019) a denní referenční hodnoty příjmu (RHP) v EU dle Nařízení č. 1169/2011 (upraveno dle Evropský parlament a Rada Evropské unie 2011)

Prvek	DDP muži	Jednotky	Prvek	DDP ženy	Jednotky	Prvek	RHP	Jednotky
Ca	1000	mg/den	Ca	1000	mg/den	Ca	800	mg/den
Mg	350	mg/den	Mg	300	mg/den	Mg	375	mg/den
K	2000	mg/den	K	2000	mg/den	K	2000	mg/den
Na	550	mg/den	Na	550	mg/den	Na	–	–
Cl	830	mg/den	Cl	830	mg/den	Cl	800	mg/den
Fe	10	mg/den	Fe	15	mg/den	Fe	14	mg/den
I	150–200	µg/den	I	150–200	µg/den	I	150	µg/den
Zn	10	mg/den	Zn	7	mg/den	Zn	10	mg/den
Cu	1,0–1,5	mg/den	Cu	1,0–1,5	mg/den	Cu	1	mg/den
Mn	2,0–5,0	mg/den	Mn	2,0–5,0	mg/den	Mn	2	mg/den
Cr	30–100	µg/den	Cr	30–100	µg/den	Cr	40	µg/den
Se	70	µg/den	Se	60	µg/den	Se	55	µg/den
Co	–	–	Co	–	–	Co	–	–

### 3.3.1 Majoritní prvky

Prvky vyskytující se v organismu v koncentraci vyšší než 50 mg.kg<sup>-1</sup> tělesné hmotnosti se označují jako minerální látky s vyšší spotřebou, někdy nazývané makroelementy (Kasper 2015). Nicméně Prashanth et al. (2015) uvádí, že jako makroprvky jsou klasifikovány minerály, jejichž průměrná denní potřeba u zdravého dospělého člověka je vyšší než 100 mg/den. V kapitolách níže se podíváme blíže na jednotlivé zástupce právě zmiňovaných prvků s vyšší spotřebou.

#### Vápník (*calcium*, Ca)

Vápník, jehož hladina v krvi je přibližně 2,5 mmol/l, je klíčový pro tvorbu kostí a účastní se také mnoha enzymatických procesů, přenosu signálů skrz buněčné membrány a je nezbytný pro správné fungování procesů srážení krve (Zlatohlávek 201; Pánek & Chrpová 2021). V lidském těle se vyskytuje přibližně 1,5 kg Ca, který je v drtivé většině (cca 99 %) deponován v kostech a zubech (Pánek & Chrpová 2021). Denní potřeba kalcia u zdravého dospělého člověka je kolem 1000 mg (Společnost pro výživu 2019; Pánek & Chrpová 2021). Nedostatek tohoto prvku se projevuje jako osteomalacie a osteoporóza (Pánek & Chrpová 2021).

Parathormon zvyšuje množství Ca v krvi tím, že podporuje činnost buněk rozkládajících kosti a tím uvolňuje vápník z kostí do krve, a zároveň podporuje jeho větší vstřebávání ze střeva a ledvin. Vitamin D (ve formě kalcitriolu) také zvyšuje absorpci vápníku ze střeva a jeho ukládání do kostí. Naopak kalcitonin snižuje hladinu vápníku v krvi tím, že podporuje jeho resorpci do kostí (Zlatohlávek 2019; Pánek & Chrpová 2021).

Běžná strava je zpravidla efektivním zdrojem Ca, který je dobře absorbován gastrointestinálním traktem. Nicméně konzumace potravin obsahujících inhibiční látky, např. oxaláty (rebarbora) nebo fytáty (obiloviny), může vést k tvorbě sloučenin snižujících biologickou dostupnost tohoto prvku. Proto je využitelnost Ca z rostlinných zdrojů nižší než ze zdrojů živočišných. Absorpci Ca negativně ovlivňuje i řada dalších ukazatelů, např. vysoký obsah sodíku ve stravě (Zlatohlávek 2019), vyšší příjem fosforu než poměr 1:1,5 (Ca:P) nebo např. potravinářská technologie (Pánek & Chrpová 2021). Mezi hlavní potravinové zdroje kalcia se řadí mléko a mléčné výrobky (Tabulka 2).

**Tabulka 2** Obsah majoritních prvků ve vybraných potravinách (upraveno dle Pánek & Chrpová 2021)

Potravina	Obsah [mg/100 g]				
	Ca	Mg	K	Na	Cl
Mléko kravské	121	11	151	55	90
Tvaroh	60–99	9	100	–	–
Vejsce slepičí	55–57	12–14	138	135	160–180
Vepřové maso	5–9	8–22	260–400	45–60	48
Játra vepřová	6–7	22–26	350	77	100
Kuřecí maso	6–13	13–29	410	46	61
Losos	25	32	400	55	85
Pšenice	23–50	70–150	350–500	8	67
Rýže	5–11	26–43	100	6	6–27
Čočka	40–75	77	670–810	4–55	64
Brambory	3–13	20–32	440–570	3–28	45–79
Salát	40–80	15–29	220	3–10	40
Rajčata	6–14	11–18	290	3–6	50–60
Banán	5–12	31–42	350	1	79
Jablko	3–8	4–7	90–140	2–3	1–19
Pomeranč	40–73	11–14	180–200	1–3	3–4
Lískové ořechy	181	153	648	5	–
Mák	1357	395	832	14	–

### Hořčík (*magnesium*, Mg)

Hořčík je důležitým elektrolytem, který se v organismu vyskytuje hlavně uvnitř buněk (Zlatohlávek 2019). Zároveň je nepostradatelným pomocníkem při tvorbě všech velkých molekul a pro tvorbu antioxidantu glutathionu. Dále hraje důležitou roli při řízení přenosu iontů draslíku a vápníku, což je klíčové pro nervové impulsy, svalové kontrakce a správný srdeční rytmus. Kromě své úlohy v biochemických procesech má hořčík také důležitou roli při vytváření krystalické struktury apatitu v kostech. V těle dospělého člověka se obvykle nachází



přibližně 20–28 gramů hořčíku. Toto množství je rozděleno tak, že přibližně 55 % hořčíku je uloženo v kostech vázaných právě na apatit, 25 % ve svalové tkáni a 19,3 % v měkkých tkáních (Cazzola et al. 2020). Denní doporučený příjem Mg je cca 300 mg (Pánek & Chrpová 2021).

Mezi zdroje hořčíku patří potraviny rostlinného původu jako například pšeničné otruby (140–156 mg hořčíku ve 100 g), banány (35 mg/100 g), mandle, avokádo, syrový špenát (60 mg/100 g) nebo bramborové hlízy (Volpe 2013; Kasper 2015; Cazzola et al. 2020). Jak bylo zmíněno, ořechy, semena a zelená zelenina jsou sice bohatým zdrojem Mg, ale spotřeba těchto potravin je v porovnání se zdroji živočišného původu (jako např. čerstvé vepřové či kuřecí maso, které dle Cazzola et al. (2020) obsahuje přibližně 20–25 mg hořčíku ve 100 g) nižší. Resorpci Mg dále snižuje zvýšený obsah fytové kyseliny, vlákniny, fosforečnanů, vápníku a také nedostatek lipidů (Pánek & Chrpová 2021). Z jídla, které konzumujeme, se vstřebá asi polovina hořčíku. Pokud se však zvýší ztráty magnesia trávicím traktem nebo močí, například kvůli užívání diuretik, nebo pokud člověk přijímá nedostatečnou výživu, může dojít k nedostatku hořčíku. U lidí, kteří pijí hodně alkoholu, se také může snížit hladina hořčíku, jelikož alkohol ovlivňuje jeho zpětnou resorpci (Zlatohlávek 2019; Cazzola et al. 2020). Těžký deficit Mg může vést ke sklonu ke svalovým křečím a může způsobit srdeční arytmie v důsledku narušení rovnováhy mezi minerály v těle (Cazzola et al. 2020; Pánek & Chrpová 2021). Nicméně, protože se hořčík nachází převážně uvnitř buněk, jeho hladina v krevním séru nemusí být vždy spojena s klinickými projevy nedostatku (Zlatohlávek 2019; Cazzola et al. 2020).

#### Draslík (*kalium*, K)

Draslík je důležitým, převážně intracelulárním elektrolytem (Zlatohlávek 2019; Stone & Weaver 2020). Potravou ho denně přijmeme cca 4 gramy ve formě chloridu draselného, nicméně až 90 % je následně vyloučeno ledvinami a stolicí (Kasper 2015; Zlatohlávek 2019). Denní doporučený příjem (jako K<sup>+</sup>) je přibližně 2 g (Společnost pro výživu 2019). Mezi hlavní funkce draslíku se v organismu řadí úloha v buněčném metabolismu, zejména při tvorbě makroergních fosfátů a při biochemických procesech, které se odehrávají při excitaci nervových a svalových buněk včetně funkce myokardu (Kasper 2015; Pánek & Chrpová 2021). Společně s dalšími prvky (sodíkem a chlorem) udržuje osmotickou rovnováhu v organismu. Poměr a vylučování K a Na ledvinami reguluje steroidní hormon (mineralokortikoid) aldosteron (Akram et al. 2020; Pánek & Chrpová 2021). Příčinou hypokalémie jsou nejčastěji ztráty z GIT (gastrointestinálního traktu), zejména průjmy (i vyvolané projímadly), urychlení peristaltiky, enterokutánní píštěle (žlučníku, střeva, pankreatu), opakované zvracení, nedostatečný příjem či nedostatečné hrazení při enterální či parentální výživě (Kasper 2015; Zlatohlávek 2019). Hyperkalémie bývá nejčastěji spojována s poruchou funkce ledviny, či užíváním určitých léků. S přibývajícím věkem se výskyt hyperkalémie zvyšuje. Může se projevit až srdeční zástavou (Zlatohlávek 2019). Zmiňovaný prvek se ve významném množství vyskytuje ve většině potravin živočišného i rostlinného původu viz tabulka 2. Za významný zdroj lze považovat luštěniny, brambory a meruňky (Pánek & Chrpová 2021).

## Sodík (*natrium*, Na)

Sodík je minerál obsažený převážně v extracelulární tekutině s koncentrací přibližně 140 mmol/l, zatímco jeho intracelulární koncentrace se pohybuje kolem 10 mmol/l. Přestože má sodík v organismu nezbytnou a důležitou funkci udržování osmotického tlaku tělních tekutin, jeho nadměrný příjem zejména v západních zemích zvyšuje riziko vzniku arteriální hypertenze (Společnost pro výživu 2019; Pánek & Chrpová 2021). Vyšší příjem sodíku také zvyšuje kardiovaskulární mortality a morbiditu a zvyšuje incidence žaludečních vředů. Pokud hladina Na v krvi klesne pod 135 mmol/l, mohou se objevit různé klinické příznaky, jako je slabost, malátnost, zmatenost až porucha vědomí. Pokud hladina natria klesne pod 120–115 mmol/l, je to už velmi nebezpečné a pacient by měl být hospitalizován na jednotce intenzivní péče. Hyponatrémie může být způsobena zvýšeným příjmem vody, zvýšenou sekrecí antidiuretického hormonu (ADH), jaterní cirhózou, poruchami baroreceptorů nebo některými diuretiky. Při terapii hyponatrémie je třeba dávat pozor, aby se hladina sodíku zvyšovala ne rychleji než o 10 mmol/l denně, protože rychlé zvyšování může poškodit centrální nervovou soustavu (Kasper 2015; Zlatohlávek 2019). Jednoznačně největším zdrojem sodíku v lidské výživě je jedlá sůl neboli kuchyňská sůl (chlorid sodný, zkratka NaCl), která se často ve velké míře přidává do zpracovaných potravin (různých polotovarů, konzervované zeleniny, snacků, omáček, rychlého občerstvení atd.), uzenin a masných produktů (Společnost pro výživu 2019).

## Chlor (*chlorum*, Cl)

Hlavní úlohou tohoto makroprvku v lidském těle, přijímaného téměř výhradně ve formě chloridů (sodný a draselný), je udržování acidobazické rovnováhy a hospodaření s tekutinami (Filis et al. 2018; Pánek & Chrpová 2021). Ve formě chlorovodíkové kyseliny v žaludku chlor napomáhá při trávení potravy (Filis et al. 2018). Jeho denní doporučený příjem je pro člověka 850 mg (Společnost pro výživu 2019). Nedostatek Cl ve výživě lidí je vzácný, protože je hojně zastoupen v mnoha běžných (Tabulka 2), ale hlavně zpracovaných potravinách a zdrojích vody. K hlavním zdrojům chloru ve stravě se jednoznačně řadí jedlá sůl, jejíž doporučený denní příjem by dle Světové zdravotnické organizace (WHO) neměl přesáhnout 5 gramů (WHO 2023). Nicméně většina evropských zemí má denní spotřebu soli, která je podstatně vyšší než tato doporučená hodnota (Kwong et al. 2023). Například v Německu je denní příjem soli odhadována na 10,0 gramů u mužů a 8,4 g u žen (Johner et al. 2015). Nadbytečný příjem kuchyňské soli je spojován se vznikem hypertenze (Společnost pro výživu 2019; Kwong et al. 2023).

### 3.3.2 Minoritní prvky

Pokud se prvky dle Kaspera (2015) v organismu nalézají v koncentraci nižší než 50 mg.kg<sup>-1</sup> tělesné hmotnosti, nazýváme je stopovými prvky (někdy také mikroelementy). Mezi stopové prvky patří železo, jod, zinek, měď, selen, mangan, nikl, molybden, fluor, křemík, cín, vanad a arzen (Prashanth et al. 2015; Zlatohlávek 2019). Tyto elementy jsou nezbytné pro normální fungování metabolismu a slouží jako nezbytné složky enzymatických reakcí. Existuje také skupina ultrastopových prvků (např. selen, chrom, kobalt...), které jsou přítomny v lidském těle v množství menším než 10 μg.g<sup>-1</sup> tělesné hmotnosti. Množství těchto prvků

v našem organismu postupně klesá v důsledku změn v naší stravě během posledních desetiletí a staletí. Tyto prvky jsou obvykle obsaženy v přirozených, nezpracovaných, potravinách (Zlatohlávek 2019).

### Železo (*ferrum*, Fe)

Železo je jedním z nejhodněji zastoupeným kovem v lidském těle. Je důležité pro mnoho biologických procesů, včetně tvorby hemoglobinu a myoglobinu, transportu kyslíku mezi krví a tkáněmi a řady enzymatických reakcí (Akram et al. 2020; Shumoy & Raes 2021). V lidském organismu je zastoupeno v množství cca 60 mg.kg<sup>-1</sup> hmotnosti člověka, proto je často nesprávně řazeno mezi makroprvky (Kasper 2015; Pánek & Chrpová 2021). Celkový obsah železa v těle dospělého člověka je výsledkem rovnováhy mezi ztrátami železa a jeho absorpcí ze stravy (Angelucci et al. 2008). Denní doporučený příjem je uveden v Tabulce 1. Deficit železa je častý u žen v reprodukčním věku, protože pravidelně ztrácí železo během menstruace, přibližně 50 mg každý měsíc. Z tohoto důvodu je u nich DDP Fe vyšší. Zvýšený příjem je doporučený také pro děti, těhotné a kojící ženy. Po menopauze se denní doporučený příjem železa pro muže a ženy vyrovnává (Zlatohlávek 2019). Při nedostatečném příjmu Fe dochází k úbytku jeho zásob v těle a může docházet až k anémii, pro kterou jsou typickými příznaky bledost, celková slabost a nepravidelná srdeční činnost. Při výrazném nadbytku Fe hrozí rozvoj cirhózy, pigmentace kůže a hemochromatóza (Akram et al. 2020).

**Tabulka 3** Obsah minoritních prvků ve vybraných potravinách (upraveno dle Pánek & Chrpová 2021)

Potravina	Obsah [mg/100 g]			
	Fe	I	Zn	Cr
Vepřové maso	3,8	–	–	10
Kuřecí maso	3,0	0,1	0,1	12
Treska	0,3	0,4	0,1	31
Mléko kravské	0,1	0,4	–	5
Tvaroh	0,3	0,5	–	3
Brokolice	1,3	0,9	0,2	–
Pšenice	3,2	3,6	0,5	2
Rýže	1,2	1,2	0,2	3
Čočka	10,8	4,8	0,7	5,4
Salát	1,1	0,4	0,1	1
Lískové ořechy	5,8	2,2	1,3	–

V potravě se Fe vyskytuje ve dvou formách. Efektivněji stravitelná je jeho dvojmocná forma (někdy označována jako hemové železo), jejímž zdrojem jsou potraviny živočišného původu. Jako tzv. nehemové Fe (trojmocná forma nacházející se v potravinách rostlinného původu) je hůře stravitelné (Akram et al. 2020; Pánek & Chrpová 2021). Přítomnost kyselin a některých vitaminů, jako je chlorovodíková kyselina a vitamin C, napomáhá lepšímu vstřebávání. Naopak přítomnost bakterie *Helicobacter pylori* (způsobující žaludeční vředy) a užívání určitých léků, například inhibitorů protonové pumpy pro léčbu trávicích potíží nebo vředové choroby, může vstřebávání Fe zhoršovat (Zlatohlávek 2019; Pánek & Chrpová

2021). Potravinovými zdroji s lepší biologickou dostupností jsou: červené maso, ryby, drůbež, žloutky, játra. K rostlinným zdrojům Fe se řadí luštěniny, sušené ovoce nebo obiloviny viz tabulka 3 (Akram et al. 2020). Pánek & Chrpová (2021) uvádějí, že skutečně absorbované množství železa je u masných výrobků asi 30 % a u rostlinných produktů cca 5–10 %.

#### Jod (*iodum*, I)

Jeho primární a nejdůležitější funkcí je podpora syntézy hormonů štítné žlázy, thyroxinu a trijodthyroninu. Tyto hormony jsou nezbytné pro zajištění normálního vývoje a růstu téměř všech orgánů, především mozku a nervové soustavy, zejména v období fetálního vývoje a během prvních dvou až tří let stáří (Akram et al. 2020; Pánek & Chrpová 2021). Nedostatek jodu může způsobit hypotyreózu, zatímco jeho nadbytek může vyvolat hypertyreózu (Pánek & Chrpová 2021). Pro dospělé muže a ženy se denní doporučený příjem jodu pohybuje v rozmezí 0,15–0,2 mg (Společnost pro výživu 2019). Akram et al. (2020) dále uvádí, že téměř 2,6 miliardy lidí trpí nedostatkem tohoto prvku. Pánek & Chrpová (2021) zmiňují, že nedostatek jodu v běžné stravě trápí i českou populaci. Různým stupněm nedostatku jodu trpí až 50 milionů dětí na celém světě (Akram et al. 2020). Tělo nemůže jod dlouhodobě uchovávat, proto je nutný jeho pravidelný příjem v malých dávkách po celý život. V České republice se stejně jako v dalších vnitrozemských státech příjem jodu zajišťuje jodidací kuchyňské soli. Jedním z nejčastějších projevů nedostatku jodu je zvětšení štítné žlázy – vznik strumy. Mezi možné zdroje jodu patří mořští živočichové, zmiňovaná jodidovaná sůl, vejce, mléčné výrobky a voda (Akram et al. 2020; Pánek & Chrpová 2021).

#### Zinek (*zincum*, Zn)

Zinek je mikroelementem klíčovým pro správný průběh mnoha biologických procesů včetně proliferace buněk, růstu organismu, dosahování pohlavní dospělosti a schopnosti reprodukce (Zlatohlávek 2019; Akram et al. 2020). Jeho úloha v těle zahrnuje také podporu imunitního systému a zlepšení chuti k jídlu (Akram et al. 2020). Je důležitou složkou některých metaloenzymů, včetně antioxidačního enzymu superoxiddismutázy, alkoholdehydrogenázy, alkalické fosfatázy či enzymu laktátdehydrogenázy a trávicích enzymů karboxypeptidázy a dipeptidázy (Akram et al. 2020; Pánek & Chrpová 2021).

Dle Společnosti pro výživu (2019) by měl být DDP zinku asi 10 mg pro zdravé dospělé muže a asi 7 mg pro zdravé dospělé ženy. Nároky organismu se však mohou zvýšit v závislosti na příjmu Fe a mědi v dietě, které absorpci Zn negativně ovlivňují (Akram et al. 2020; Pánek & Chrpová 2021). Přestože je nedostatek zmiňovaného minerálu vzácný, může se vyskytnout u osob s onemocněním ledvin nebo u jedinců konzumujících nadměrné množství alkoholu (Akram et al. 2020). Zinek se vyskytuje především v hovězím masu a masných produktech (Zlatohlávek 2019). Lze ho nalézt i v dalších potravinách jakými jsou ústřice, játra, vejce, cereálie (oves) a ořechy (Akram et al. 2020; Pánek & Chrpová 2021). U stravy bohaté na otruby a další fytátové zdroje je však nutné věnovat zvýšenou pozornost příjmu Zn kvůli jeho možné zhoršené absorpci (Zlatohlávek 2019; Pánek & Chrpová 2021). Malabsorpce zinku, známá jako acrodermatitis enteropathica, vyžaduje zvýšenou dodávku Zn po celý život (Pánek & Chrpová 2021).

## Měď (*cuprum*, Cu)

Měď je prvkem, který hraje zásadní roli v řadě biologických procesů v lidském těle. Je nezbytný pro správnou funkci mnoha metaloenzymů (feroxidáza, kataláza, cytochromová oxidáza, tyrosináza), což zajišťuje efektivní průběh metabolických procesů. Tělo průměrného dospělého člověka o hmotnosti 70 kg obsahuje přibližně 80–100 mg mědi (Prashanth et al. 2015; Akram et al. 2020; Pánek & Chrpová 2021). DDP mědi je cca 1,0–1,5 miligramu (Pánek & Chrpová 2021). Dle Prashanth et al. (2015) se denní potřeba mědi pohybuje mezi 2–5 mg, přičemž 50 % tohoto množství je absorbováno z gastrointestinálního traktu. Zbytek se vylučuje žlučí a ledvinami. Měď se v těle hromadí především v játrech, mozku a ledvinách. Biochemické funkce mědi zahrnují její účast na syntéze hemových barviv (hemoglobinu), metabolismu pojivové tkáně a vývoji kostí. Měď je také nezbytná pro syntézu tryptofanu a jako součást ceruloplasminu pomáhá v transportu železa do buněk (Prashanth et al. 2015; Pánek & Chrpová 2021). Deficience mědi v potravě může vést k řadě zdravotních problémů, jako jsou anémie, zpomalení růstu, problémy s keratinizací a pigmentací vlasů, hypotermie, mentální retardace, změny ve skeletálním systému a degenerativní změny v elastinu aorty (Společnost pro výživu 2019). Vzácný stav, kdy tělo nemůže správně transportovat měď na ceruloplasmin, čímž je jeho hladina v séru snížena, se nazývá Wilsonova choroba (Kasper 2015). Naopak nadměrný příjem Cu může způsobit nevolnost, zvracení, průjem, silné pocení a renální dysfunkci (Prashanth et al. 2015). Dobrymi zdroji Cu jsou například ryby a korýši, vnitřnosti (játra) a masné výrobky. Měď se nachází také v rostlinných zdrojích, avšak její využitelnost je kvůli obsahu fytové kyseliny a vlákniny nižší. Příkladem potravin rostlinného původu obsahující Cu jsou obilniny, luštěniny, kakao, čokoláda nebo ořechy (Společnost pro výživu 2019; Akram et al. 2020; Pánek & Chrpová 2021).

## Mangan (*manganum*, Mn)

Lidské tělo obsahuje mezi 10 a 40 mg manganu, přičemž významná část tohoto množství se nachází v kostech (Společnost pro výživu 2019). Mangan se také vyskytuje jako složka nebo aktivátor určitých enzymů. Jedním z nich je pyruvátkarboxyláza, která je potřebná pro syntézu oxalacetátu uplatňovaného v citrátovém cyklu, dále glykosyltransferáza potřebná pro syntézu chondroitin-sulfátu, esenciálního pro tvorbu chrupavky (Akram et al. 2020; Pánek & Chrpová 2021). Mn je také součástí enzymu s antioxidační aktivitou – mangan-superoxiddismutázy). Prostřednictvím své účasti v enzymatických procesech se mangan zapojuje do metabolismu AMK, sacharidů a lipidů (European Food Safety Authority 2013).

V rostlinných zdrojích jako jsou zelenina (např. pórek), ořechy, pšeničné klíčky, obiloviny (oves), hlávkový salát se nachází více manganu než ve zdrojích živočišného původu (European Food Safety Authority 2013; Martins et al. 2020; Pánek & Chrpová 2021). Absorpce manganu z potravy je relativně nízká. Udávaná hodnota se pohybuje do 10 % z celkového přijatého množství (European Food Safety Authority 2013; Martins et al. 2020). Primární cestou eliminace manganu je exkrece stolicí, přičemž močí se z těla vyloučí pouze přibližně 1 % dietárně přijatého manganu (European Food Safety Authority 2013). Voda (Martins et al. 2020) a čaj se taktéž jeví jako dobrý zdroj manganu (Společnost pro výživu 2019; Akram et al. 2020). Podwika et al. (2018) se svým výzkumem došli k závěru, že černé čaje obsahují nejvyšší

průměrný obsah manganu ( $1094 \pm 460 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) v porovnání s jinými měřenými druhy čajů. Tyto výsledky odpovídají informacím z jiných studií, podle kterých černé čaje obsahují vyšší množství manganu ve srovnání se zelenými čaji (Gajewska et al. 2000; Srividhya et al. 2011).

Příznaky deficitu či nadbytku manganu jsou vzácné (Společnost pro výživu 2019). Stejně tak i toxicita manganu je ojedinělým jevem, nicméně může zahrnovat funkční abnormality centrálního nervového systému (Akram et al. 2020), přičemž ve vyšších množstvích může být tento prvek toxický zejména pro mozek (Martins et al. 2020). Jednoznačný práh toxicity není znám (Společnost pro výživu 2019). Pro dospívající a dospělé lze považovat 2–5 mg manganu jako dostatečný denní příjem, aby v organismu nevznikal deficit tohoto prvku či naopak nedošlo k jeho předávkování (Společnost pro výživu 2019; Pánek & Chrpová 2021).

### Chrom (*chromium*, Cr)

Jméno tohoto prvku je odvozeno z řeckého slova „*chroma*“, což znamená „barva“. Tato etymologie nejspíše odkazuje na pestrou škálu barev, které mohou být vytvořeny sloučeninami chromu, a zdůrazňuje význam Cr v různých aplikacích, kde barva hraje klíčovou roli (Prashanth et al. 2015). Chrom má jako stopový prvek významnou roli v oblasti metabolických onemocnění. Funguje jako kofaktor podporující účinek inzulínu na cílové buňky a zvyšuje efektivitu využití glukózy v těle (Zlatohlávek 2019). Pravidelná suplementace chromu v dávce 180–1000  $\mu\text{g}$  měla pozitivní vliv na zlepšení metabolického stavu u dospělých diabetiků (Kasper 2015; Zlatohlávek 2019; Akram et al. 2020). V trojmocné formě ( $\text{Cr}^{+III}$ ) je chrom esenciálním prvkem pro lidské zdraví, zapojeným do mnoha klíčových funkčních procesů. Naopak sloučeniny v šestimocném stavu ( $\text{Cr}^{+VI}$ ) představují pro živé organismy vážné toxikologické riziko (Pánek & Chrpová 2021). Sloučeniny obsahující  $\text{Cr}^{+VI}$  jsou prokazatelně zařazeny jako lidský karcinogen. Primárním rizikem je inhalace v pracovním prostředí. Chronická expozice  $\text{Cr}^{+VI}$  je spojena výskytem dermatitidy, selháním ledvin a s významně vyšším rizikem vzniku nádorů plic, a to nezávisle na kouření tabáku (Prashanth et al. 2015; Pánek & Chrpová 2021).

Denní doporučená hodnota pro příjem chromu je Společností pro výživu (2019) uváděna asi 30–100  $\mu\text{g}/\text{den}$ . Obsah tohoto prvku se v jednotlivých potravinách různí. Mezi zdroje, které účinně přispívají k pokrytí DDP, patří pivovarské kvasnice, ústřice (obsah cca 57  $\mu\text{g}$  Cr ve 100 g), vybrané druhy koření jako černý pepř, maso (zejména drůbeží), celozrnná a pšeničná mouka (cca 5–10  $\mu\text{g}$  Cr na kilogram), vejce a luštěniny (Souci et al. 2008; Prashanth et al. 2015; Akram et al. 2020).

### Selen (*selenium*, Se)

Selen je esenciální stopový prvek, který se neodmyslitelně podílí na různých biologických procesech v našem organismu, od inaktivace volných radikálů pomocí antioxidačního enzymu glutathionperoxidázy až po syntézu seleno-proteinů (nahrazuje síru v aminokyselinách a tím vytváří např. proteinogenní AMK selenocystein). Ve spojení s vitamínem E vytváří selen synergický efekt. Ve vysokých koncentracích (400  $\mu\text{g}/\text{den}$ ) působí selen toxicky, což se projevuje dermatitidou, ztrátou vlasů a charakteristickým česnekovým zápachem dechu (Roman et al. 2013; Kieliszek et al. 2016; Pánek & Chrpová 2021). Dle Kuria et al. (2020) je denní potřeba selenu u dospělých a dětí starších 14 let přibližně 55  $\mu\text{g}$ . Další zdroje uvádějí,

že DDP selenu se liší, konkrétně je uvedeno, že denní doporučený příjem tohoto prvku se pohybuje mezi 30 a 70 mikrogramy, zatímco skutečná minimální denní potřeba našeho těla je přibližně 10 mikrogramů (Společnost pro výživu 2019; Pánek & Chrpová 2021). Nedostatečný příjem Se může způsobovat hemolytickou anémii a nekrózu svalů (Akram et al. 2020). Množství selenu v potravinách závisí na obsahu Se v půdě, kde jsou pěstovány, na rozsahu použití hnojiv obohacených Se a na biologické dostupnosti selenu (Kasper 2015; Pánek & Chrpová 2021; Dobrzyńska et al. 2023). Tyto faktory mohou výrazně ovlivnit dostupnost selenu pro lidi, kteří se živí převážně rostlinnou stravou nebo žijí v oblastech s nízkým obsahem selenu v půdě (Akram et al. 2020). Dalšími symptomy nedostatku selenu je výskyt endemického onemocnění známého jako Keshanova nemoc, což je forma kardiomyopatie – onemocnění srdečního svalu spojené s jeho abnormalitami (zvětšení, arytmie, nedostatečná funkce). Keshanova nemoc byla vážným problémem především v určitých oblastech Číny právě s nízkým obsahem Se v půdě (Společnost pro výživu 2019). Obsah selenu v půdě je v Evropě obecně považován za nízký (Pánek & Chrpová 2021).

Mezi potraviny rostlinného původu, které obsahují selen v poměrně vysokých množstvích lze zařadit para ořechy, selenové kvasnice, houby shiitake, brokolici, česnek, obiloviny (Akram et al. 2020; Bjørklund et al. 2022). Hladina selenu v produktech živočišného původu může být výrazně nižší, protože souvisí s množstvím selenu přítomným v krmivu (Rayman et al. 2008; Kasper 2015). Nejvyšší koncentrace selenu lze nalézt v rybách (0,4–4,3  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ), vnitřních orgánech jako játra a ledviny (0,2–2,0  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) a ve svalech, kde se hodnota pohybuje okolo 0,3  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (Rayman et al. 2008).

#### Kobalt (*cobaltum*, Co)

Kobalt se řadí mezi stopové prvky. Je součástí vitamínu rozpustného ve vodě, vitamínu B<sub>12</sub> – kobalaminu, který je nezbytný pro správné fungování lidského organismu včetně tvorby červených krvinek, správné fungování nervového systému a syntézy DNA. Nejdůležitější funkcí kobaltu je právě účast na stavbě vitamínu B<sub>12</sub> (Společnost pro výživu 2019; Pánek & Chrpová 2021). Kobalt se nachází především v potravinách živočišného původu, jakými jsou maso, vnitřnosti, ryby, vejce, mléko a mléčné výrobky (Pánek & Chrpová 2021). DDP kobaltu není stanoven, ale Akram et al. (2020) zmiňují, že denní požadavky organismu jsou 2–3 mikrogramy. Zdá se tedy, že potřeba kobaltu je velice nízká a při zachování rozmanitého jídelníčku je jeho dostatečný příjem zabezpečen (Společnost pro výživu 2019; Pánek & Chrpová 2021). Projevy nedostatku kobaltu jsou obdobné jako projevy nedostatku vitamínu B<sub>12</sub>, jedná se především o poruchu tvorby červených krvinek a následnou anémii. Pravděpodobnost, že by došlo k předávkování kobaltem z potravy je velmi nízká. Při výrazně zvýšeném příjmu anorganického kobaltu bylo u lidí pozorováno poškození srdečního svalu (Společnost pro výživu 2019).

### 3.4 Makro- a mikroprvky ve studovaných druzích hmyzu

Tato kapitola představuje souhrnný přehled literatury týkající se stanovení makroprvků (Ca, Mg, K, Na, Cl) – viz tabulka 4, a mikroprvků (Fe, I, Zn, Cu, Mn, Cr, Se, Co) – viz tabulka 5 a tabulka 6, v devíti druzích hmyzu. Konkrétními druhy jsou: *A. domesticus* L., *A. diaperinus* P., trubců *A. mellifera* L., *B. discoidalis*, *G. assimilis* F., *H. illucens* L., *L. migratoria* L., *T. molitor* L. a *Z. morio* F. Pozornost je věnována různým analytickým metodám, které byly k identifikaci a kvantifikaci těchto prvků v rámci dosavadních výzkumů využity. Přehled relevantních studií nám umožňuje nejen lépe porozumět současným poznatkům v této oblasti, ale také identifikovat potenciální mezery ve výzkumu, na které se zaměřují další části práce.

Mezi klíčovou metodu stanovení makro- a mikroprvků ve vzorcích jedlého hmyzu patří hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS). Pro stanovení (Ca, Mg, K, Na, Fe, I, Zn, Cu, Mn, Cr, Se, Co) u druhu *A. domesticus*, *A. diaperinus*, *L. migratoria* a *T. molitor* využila metody ICP-MS EFSA, když pracovala na vědeckém hodnocení bezpečnosti čtyř zmiňovaných druhů hmyzu v rámci jejich zařazení na seznam NP (Tabulka 4, 5, 6). ICP-MS byla použita také u *H. illucens* (Sadykova et al. 2021). Při stanovení koncentrací prvků v jedlém hmyzu se rovněž hojně uplatňuje atomová absorpční spektroskopie (AAS), kterou zvolili Araújo et al. (2019), Verspoor et al. (2020) a Fialho et al. (2021) u druhů *G. assimilis*, *L. migratoria* a *Z. morio*. Plamenovou atomovou absorpční spektrometrii (FAAS) nebo plamenovou atomovou emisní spektrometrii (FAES) ke stanovení Ca, Mg, K, Na, Fe, Zn, Cu, Mn, Cr a Co využili Costa et al. (2020) u druhu *T. molitor* a Kosečková et al. (2022) u *A. domesticus*, *T. molitor* a *Z. morio*. Přesto, že jimi byla u potměníka moučného použita stejná analytická metoda, lze vidět rozdíl v naměřených hodnotách např. u draslíku. Variabilita výsledků může být v tomto případě způsobena mnoha faktory, např. odlišnou krmnou směsí (Kouřimská & Adámková 2016), odlišným vývojovým stádiem (resp. dnem sklizně larválního stádia) (Ghosh et al. 2020; Kulma et al. 2020), pohlavím (Kulma et al. 2019) nebo podmínkami a technologií chovu (Bjørge et al. 2018). Každý druh hmyzu může akumulovat prvky odlišným způsobem (Aydoğan et al. 2021), proto se liší koncentrace prvků mezi jednotlivými druhy. Obsah vápníku stanovil EFSA NDA Panel et al. (2021b) 1400–1500 mg.kg<sup>-1</sup> u *A. domesticus* a 290–310 mg.kg<sup>-1</sup> u *L. migratoria* (EFSA NDA Panel et al. (2021a)). V tabulkách 4, 5 a 6 je vidět, že hodnoty u některých prvků nejsou zaznamenány (–). Například chlor se pomocí metod FAAS a FAES nedal stanovit. Další technikou, kterou lze využít ke stanovení prvků v hmyzu, nicméně pro naše druhy nebyla využita, je energicky disperzní rentgenová fluorescenční spektroskopie (ED-XRF). ED-XRF pro stanovení Ce, Cu, Ba, Br, Fe, I, La, Mn, Mo, Nb, Pb, Sb, Se, Sn, Sr, Zn a Zr využil Aydoğan et al. (2021). Dále byla autory Kim et al. (2017), Ghosh et al. (2020) a Pastell et al. (2021) využita metoda optické emisní spektroskopie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES). Atomovou emisní spektroskopií s indukčně vázaným plazmatem (ICP-AES) využil ke stanovení makro- a mikroprvků Janssen et al. (2019) u druhů *A. diaperinus*, *H. illucens* a *T. molitor*. Literatura také zahrnovala využití plamenové fotometrie a pokročilé formy metody AAS – vysokorozlišovací atomovou absorpční spektrometrii využívající grafitovou pec a kontinuální zdroj záření (HR-CS GFAAS) (Fialho et al. 2021; Kosečková et al. 2022).



**Tabulka 4** Obsah makroprvků (mg.kg<sup>-1</sup>) v sušině vybraných druhů hmyzu stanovených konvenčními analytickými metodami s příslušnými referencemi

Druh hmyzu	Životní stádium	Metoda stanovení	Obsah makroprvků [mg/kg]					Reference
			Ca	Mg	K	Na	Cl	
<i>Acheta domestica</i> L.	Dospělci	ICP-MS	1400–1500	630–640	6400–6600	2800	–	EFSA NDA Panel et al. 2021b
	Dospělci	FAAS, FAES	1760–2650	840–1250	10750–11540	3310–4130	–	Kosečková et al. 2022
	Dospělci	ICP-OES	2000 ± 320	780 ± 95	6800 ± 1400	2600 ± 520	–	Pastell et al. 2021
<i>Alphitobius diaperinus</i> P.	Larva	ICP-MS	490	1200	9800	2200	–	EFSA NDA Panel et al. 2022b
	Larva	ICP-AES	500	1300	10000 ± 200	2270 ± 116,8	–	Janssen et al. 2019
<i>Apis mellifera</i> L. trubci	Tmavooká kukla	ICP-OES	433 ± 8,2	858 ± 10,1	13416 ± 124,8	99 ± 0,5	–	Ghosh et al. 2020
	Pozdní kukla	ICP-OES	492,9	950,3	6430,6	85,2	–	Ghosh et al. 2020
<i>Blaberus discoidalis</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Gryllus assimilis</i> F.	Dospělec	AAS	453,0 ± 44,5	271,9 ± 34,6	–	–	–	Araújo et al. 2019
	Dospělec	Plamenová fotometrie, AAS	3880	820	11600	1100	–	Fialho et al. 2021
<i>Hermetia illucens</i> L.	Larva	ICP-MS	19700 ± 500	2901 ± 20	10400 ± 100	1109 ± 8	–	Sadykova et al. 2021
	Larva	ICP-AES	26600 ± 1800	2000 ± 200	8900 ± 300	673,7 ± 25,9	–	Janssen et al. 2019
<i>Locusta migratoria</i> L.	Dospělci	ICP-MS	290–310	530–550	4100–5000	820–1100	–	EFSA NDA Panel et al. 2021a
	Dospělci	AAS	–	850 ± 12	–	–	–	Verspoor et al. 2020
<i>Tenebrio molitor</i> L.	Larva	ICP-MS	–	1820–2010	8660–11100	1790–1970	–	EFSA NDA Panel et al. 2022c
	Larva	FAAS, FAES	660–1420	2630–3350	9940–11870	1590–2080	–	Kosečková et al. 2022
	Larva	FAAS	–	2823 ± 184	8007 ± 524	2066 ± 151	–	Costa et al. 2020
	Larva	ICP-AES	1000 ± 300	2200 ± 300	9700 ± 400	1737,3 ± 106	–	Janssen et al. 2019
	Larva	ICP-OES	349,2 ± 1,0	1376,4 ± 90,1	–	–	–	Kim et al. 2017
<i>Zophobas morio</i> F.	Larva	AAS	319,4 ± 54,8	391,7 ± 85,2	–	–	–	Araújo et al. 2019
	Larva	FAAS, FAES	800–980	950–1270	6270–8170	850–1110	–	Kosečková et al. 2022
	Larva	–	177	498	3160	475	520	Finke 2002

– ... v dané literatuře neuvedeno

\* ... pro tento druh nebyla nalezena odpovídající studie

Koncentrace stanovených makroprvků v  $\text{mg.kg}^{-1}$  v sušině hmyzu, příslušné životní stádium hmyzu, použitá analytická metoda a reference jsou uvedeny v tabulce 4. Z hlediska obsahu Ca a Mg mezi druhy dominovala *H. illucens* (Ca až  $26600 \pm 1800 \text{ mg.kg}^{-1}$ , Mg až  $2901 \pm 20 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Nejvyšší obsah K byl zaznamenán u trubců *A. mellifera*  $13416 \pm 124,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Sodík byl v nejvyšších koncentracích ( $3310\text{--}4130 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) stanoven u *A. domesticus*. Obsah chloru ( $520 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) jedlém hmyzu uvádí pouze jeden zdroj v *Z. morio*. Fihlo (2002) ve své práci metodu stanovení prvků neuvádí, protože vzorky byly poslány k analýze do externí laboratoře. Obsah makroprvků v *B. discoidalis* nebyl v literatuře zaznamenán. V tabulce je tato skutečnost vyznačena hvězdičkou (\*). Oonincx & Dierenfeld (2012) stanovili obsah Ca, P, Mg, K a Na ve třech odlišných druzích švába: *Blatta lateralis*, *Eublaberus distanti* a *Gromphadorhina portentosa*. Koncentrace Ca, Mg, K a Na byla v dospělém stádiu *G. portentosa*  $1700 \pm 500 \text{ mg.kg}^{-1}$ ,  $1700 \pm 200 \text{ mg.kg}^{-1}$ ,  $8700 \pm 1300 \text{ mg.kg}^{-1}$  a  $2100 \pm 400 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Obsah prvků mezi jednotlivými druhy švába se lišil (Oonincx & Dierenfeld 2012).

Oonincx & Dierenfeld (2012) stanovili u švábů *B. lateralis*, *E. distanti* a *G. portentosa* také stopové prvky Fe, Zn, Cu, Mn a Mo. Například koncentrace Fe v sušině byla ve vzorcích adultních švábů *E. distanti* stanovena  $111 \pm 41 \text{ mg.kg}^{-1}$  a u dospělců *G. portentosa*  $216 \pm 89,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Tabulka 5 umožňuje identifikovat jednotlivé druhy hmyzu s nejvyššími koncentracemi čtyř mikroprvků (Fe, I, Zn a Cu) na základě údajů stanovených různými studii pro devět různých druhů hmyzu. Výjimkou je *B. discoidalis*, u kterého nebyly v dostupné literatuře nalezeny žádné hodnoty obsahu těchto mikroprvků (\*). Nejvyšší obsah Fe byl detekován u larev *H. illucens*, kde koncentrace dosahovala  $531 \text{ mg.kg}^{-1}$ . U dospělých jedinců *A. domesticus* byla nejvyšší stanovená koncentrace I, a to v rozmezí  $0,4\text{--}0,57 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Zinek byl v nejvyšší koncentraci zaznamenán u *L. migratoria* s hodnotou  $250 \pm 2 \text{ mg.kg}^{-1}$ . I pro měď je nejvyšší koncentrace uvedena u *L. migratoria* ( $60 \pm 2 \text{ mg.kg}^{-1}$ ).

Tabulka 6 prezentuje údaje o obsahu mikroprvků jako jsou mangan (Mn), chrom (Cr), selen (Se) a kobalt (Co) ve vysušených vzorcích devíti druhů hmyzu. Tabulka dále udává informace o životních stádiích hmyzu, použitých analytických metodách a odpovídajících odborných referencích. Nejvyšší zaznamenané hodnoty pro Mn, Cr a Co jsou uvedeny pro larvy *H. illucens* s obsahem Mn  $338 \pm 49,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ , Cr  $1,89 \pm 0,03 \text{ mg.kg}^{-1}$  a Co  $0,326 \pm 0,019 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Nejvyšší koncentrace selenu ( $0,38 \pm 0,037 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) je zaznamenána u *A. domesticus*. Z tabulky je také patrné, že pro druh *B. discoidalis* opět nebyly nalezeny hodnoty těchto mikroprvků, což naznačuje potřebu dalšího výzkumu.

Z tabulek 4, 5 a 6 též vyplývá, že ne všechny analytické metody jsou schopné detekovat koncentrace všech makro- a mikroprvků, zejména v případě nízkých hodnot. Tato skutečnost podtrhuje nedostatek dostupné literatury ohledně prvkového složení hmyzu a omezené množství informací v této oblasti.

**Tabulka 5** Obsah mikroprvků Fe, I, Zn, Cu (mg.kg<sup>-1</sup>) v sušině vybraných druhů hmyzu a příslušné reference

Druh hmyzu	Životní stádium	Metoda stanovení	Obsah mikroprvků [mg/kg]				Reference
			Fe	I	Zn	Cu	
<i>Acheta domesticus</i> L.	Dospělci	ICP-MS	66–69	0,4–0,57	230–240	28–29	EFSA NDA Panel et al. 2021b
	Dospělci	HR-CS GFAAS, FAAS	42–51	–	160–169	18–29	Kosečková et al. 2022
	Dospělci	ICP-OES	71 ± 3,7	–	220 ± 7,8	27 ± 2,7	Pastell et al. 2021
<i>Alphitobius diaperinus</i> P.	Larva	ICP-MS	53	–	140	18	EFSA NDA Panel et al. 2022b
	Larva	ICP-AES	53,5 ± 1,7	–	140,6 ± 4,3	21,9 ± 0,4	Janssen et al. 2019
<i>Apis mellifera</i> L. trubci	Tmavooká kukla	ICP-OES	57 ± 0,6	–	55 ± 0,4	19 ± 0,6	Ghosh et al. 2020
	Pozdní kukla	ICP-OES	56,7	–	58,8	19,4	Ghosh et al. 2020
<i>Blaberus discoidalis</i>	*	*	*	*	*	*	*
<i>Gryllus assimilis</i> F.	Dospělec	AAS	27,8 ± 2,8	–	52,2 ± 2,7	6,8 ± 0,1	Araújo et al. 2019
	Dospělec	AAS	96,8	–	18,3	21,7	Fialho et al. 2021
<i>Hermetia illucens</i> L.	Larva	ICP-MS	531 ± 9	–	80,6 ± 2,5	11,7 ± 0,4	Sadykova et al. 2021
	Larva	ICP-AES	220,7 ± 6,1	–	93 ± 3,1	13,2 ± 1	Janssen et al. 2019
<i>Locusta migratoria</i> L.	Dospělci	ICP-MS	41–47	0,2–0,3	140–190	34–38	EFSA NDA Panel et al. 2021a
	Dospělci	AAS	92 ± 5	–	250 ± 2	60 ± 2	Verspoor et al. 2020
<i>Tenebrio molitor</i> L.	Larva	ICP-MS	42,6–50,8	–	122–130	16–17,2	EFSA NDA Panel et al. 2022c
	Larva	HR-CS GFAAS, FAAS	45–50	–	112–141	21–24	Kosečková et al. 2022
	Larva	FAAS	67,6 ± 10,9	–	96,5 ± 6,7	7,8 ± 0,5	Costa et al. 2020
	Larva	ICP-AES	61 ± 9,7	–	111 ± 13,1	13,4 ± 0,5	Janssen et al. 2019
	Larva	ICP-OES	62,8 ± 2,4	–	98,7 ± 3,5	11,4 ± 0,0	Kim et al. 2017
	Larva	AAS	22,7 ± 2	–	24,7 ± 3,1	4,5 ± 0,3	Araújo et al. 2019
<i>Zophobas morio</i> F.	Larva	AAS	22,7 ± 2	–	24,7 ± 3,1	4,5 ± 0,3	Araújo et al. 2019
	Larva	HR-CS GFAAS, FAAS	29–45	–	79–91	12–15	Kosečková et al. 2022
	Larva	–	16,5	<0,1	30,7	3,6	Finke 2002

– ... v dané literatuře neuvedeno

\* ... pro tento druh nebyla nalezena odpovídající studie

**Tabulka 6** Obsah mikroprvků Mn, Cr, Se, Co (mg.kg<sup>-1</sup>) v sušině vybraných druhů hmyzu a příslušné reference

Druh hmyzu	Životní stádium	Metoda stanovení	Obsah mikroprvků [mg/kg]				Reference
			Mn	Cr	Se	Co	
<i>Acheta domesticus</i> L.	Dospělci	ICP-MS	38–39	–	ND–0,44	–	EFSA NDA Panel et al. 2021b
	Dospělci	HR-CS GFAAS, FAAS	25–28	0,13–0,18	–	0,01–0,15	Kosečková et al. 2022
	Dospělci	ICP-OES	36 ± 5,8	–	0,38 ± 0,037	<0,1	Pastell et al. 2021
<i>Alphitobius diaperinus</i> P.	Larva	ICP-MS	6	–	–	–	EFSA NDA Panel et al. 2022b
	Larva	ICP-AES	5,4 ± 0,3	–	–	–	Janssen et al. 2019
<i>Apis mellifera</i> L. trubci	Tmavooká kukla	ICP-OES	–	–	–	–	Ghosh et al. 2021
	Pozdní kukla	ICP-OES	2,9	–	–	–	Ghosh et al. 2020
<i>Blaberus discoidalis</i>	*	*	*	*	*	*	*
<i>Gryllus assimilis</i> F.	Dospělec	AAS	14,2 ± 0,9	–	–	–	Araújo et al. 2019
	Dospělec	AAS	23,7	–	–	–	Fialho et al. 2021
<i>Hermetia illucens</i> L.	Larva	ICP-MS	–	1,89 ± 0,03	0,31 ± 0,06	0,326 ± 0,019	Sadykova et al. 2021
	Larva	ICP-AES	338 ± 49,1	–	–	–	Janssen et al. 2019
<i>Locusta migratoria</i> L.	Dospělci	ICP-MS	3,3–3,5	–	<0,3–0,5	–	EFSA NDA Panel et al. 2021a
	Dospělci	AAS	10 ± 1	–	–	–	Verspoor et al. 2020
<i>Tenebrio molitor</i> L.	Larva	ICP-MS	6,73–7,34	–	–	–	EFSA NDA Panel et al. 2022c
	Larva	HR-CS GFAAS, FAAS	5–9	0,08–0,23	–	0,02–0,08	Kosečková et al. 2022
	Larva	FAAS	11,6 ± 0,7	–	–	–	Costa et al. 2020
	Larva	ICP-AES	10,8 ± 2,1	–	–	–	Janssen et al. 2019
	Larva	GFAAS	–	–	0,17–0,22	–	Truzzi et al. 2019
	Larva	ICP-OES	7,0 ± 1,9	–	–	–	Kim et al. 2017
<i>Zophobas morio</i> F.	Larva	AAS	5,1 ± 0,4	–	–	–	Araújo et al. 2019
	Larva	HR-CS GFAAS, FAAS	5–8	0,12–0,21	–	<0,01–0,01	Kosečková et al. 2022
	Larva	–	4,3	–	0,14	–	Finke 2002

ND ... nedetekováno

– ... v dané literatuře neuvedeno

\* ... pro tento druh nebyla nalezena odpovídající studie

### 3.5 Radioanalytické metody (aktivační analýzy)

Klasické chemické analytické (konvenční) metody využívají elektronovou povahu obalu atomu, který ovlivňuje chemické vlastnosti a chování prvku. Jaderné analytické metody, mezi které patří neutronová aktivační analýza (NAA) a fotonová aktivační analýza (PAA), využívají jaderné reakce, které jsou na chemické povaze prvku nezávislé. Hlavními výhodami radioanalytických metod jsou jejich vysoká citlivost a přesnost. Tyto metody dokáží stanovit současně velké množství prvků nedestruktivně a rychle (Řanda 1976). Jejich nevýhodami jsou práce s radioaktivním materiálem a nutnost dostupného zdroje záření (jaderný reaktor, urychlovač elektronů – mikrotron), které nepatří k běžnému vybavení analytických laboratoří (Kučera 2018).

Metody aktivační analýzy se dají využít k prvkové analýze mnoha typů vzorků, včetně biologických. Například v lidských vlasech byl sledován obsah chromu a molybdenu jako důsledek expozice těmito prvky v pracovním prostředí těžkého průmyslu (Witkowska et al. 2005). Dalším typem analyzovaných biologických vzorků mohou být měkké tkáně (mozek, tkáň prsu, játra, nervová tkáň a štítná žláza) (Witkowska et al. 2005; Krausová et al. 2007), kde se detekce prvků využívá ve spojitosti s různými nemocemi (Witkowska et al. 2005). V této práci byly využity instrumentální varianty obou metod.

#### 3.5.1 Instrumentální neutronová aktivační analýza

Instrumentální neutronová aktivační analýza (*Instrumental Neutron Activation Analysis*, INAA) je analytická metoda používaná v chemii a dalších vědeckých oborech ke stanovení stopových koncentrací prvků ve vzorcích z různých materiálů. Jedná se o geologické, biologické vzorky, vzorky životního prostředí ale i cenné archeologické artefakty (Řanda et al. 2007; Krausová et al. 2007, 2013, 2014; Kučera 2018). NAA je jako přímá metoda rovněž využívána pro certifikaci referenčních materiálů (Kučera et al. 2009). INAA zahrnuje ozáření vzorku neutrony o různých energiích v jaderném reaktoru, které vede k interakci neutronů s jádrem a tím k aktivaci jader ve vzorku. Výsledné radionuklidy vyzařují charakteristické gama paprsky o různých energiích a intenzitách a mohou být detekovány a kvantifikovány  $\gamma$ -spektrometricky za účelem stanovení elementárního složení původního vzorku (Greenberg et al. 2011).

INAA je prováděna ve variantě s dlouhodobým ozařováním LT-INAA (*Long Time*, hodiny) pro radionuklidy s dlouhým poločasem rozpadu a také s krátkodobým ozařováním ST-INAA (*Short Time*, sekundy) pro radionuklidy s krátkým poločasem rozpadu. Krátkodobé ozařování umožňuje pneumatické zařízení (potrubní pošta), díky kterému probíhá transport vzorků mezi reaktorem a laboratoří v řádu několika sekund (Kučera 2018). Prvky stanovitelné těmito metodami v biologických materiálech jsou uvedeny na obrázku 8.

Princip NAA uvádí následující vztah

$$A = \frac{m}{M} N_A \Phi \sigma \theta S D C P \epsilon \quad (1)$$

kde  $A$  je aktivita radionuklidu,  $m$  je hmotnost,  $M$  je molární hmotnost,  $N_A$  je Avogadrova konstanta,  $\Phi$  je hustota neutronového toku,  $\sigma$  je účinný aktivní průřez dané reakce,  $\theta$  je relativní zastoupení aktivovaného izotopu v přirozené směsi,  $S = (1 - \exp(-\lambda t_1))$ , je saturační faktor, kde je  $\lambda$  - rozpadová konstanta, která je vázána s poločasem přeměny  $T_{1/2}$  vztahem  $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ ,  $t_1$  - doba ozáření,  $D = (\exp(-\lambda t_2))$  je rozpadový faktor, který koriguje aktivitu rozpadu nuklidu za vymírací dobu  $t_2$  (doba mezi koncem ozáření a začátkem měření),  $C = (1 - \exp(-\lambda t_3)) / (-\lambda t_3)$  je faktor, kterým se koriguje rozpad nuklidu během doby měření  $t_3$ ,  $P$  je pravděpodobnost emise fotonu o energii  $E_\gamma$  a  $\epsilon$  je absolutní účinnost detekce pro měřenou energii záření (Obrusník 1984).

Prvky stanovitelné ST-INAA  
 Prvky stanovitelné LT-INAA  
 Prvky stanovitelné ST-INAA i LT-INAA

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Ra
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt									

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

**Obrázek 8** Přehled prvků stanovitelných v biologických materiálech metodami INAA (upraveno dle Obrusník 1984)

Při prohledávání vědeckých databází, včetně PubMed, Google Scholar, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink a Scopus, nebyly nalezeny impaktované články o využití metody NAA pro kvalitativní a kvantitativní stanovení prvků v jedlém hmyzu nebo v produktech z něj. Rešerší bylo zjištěno, že matricově podobný biologický materiál k hmyzí moučce byl analyzován v Ghaně, kdy Abrefah et al. (2011) využili INAA ke stanovení Al, Cd, Cu, Mg, Ni a Zn v kukuřičné mouce, aby zjistili, zda během procesu mletí nedochází ke kontaminaci těmito prvky z mléčí desky mlýna. Xu et al. (2020) v Číně optimalizovali parametry NAA, aby se tato metoda dala využít k odhalení falšování mouky mastkem ( $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ ). NAA byla využita i k detekci téměř 20 prvků v sušeném, pasterovaném a čerstvém mléce (Wasim et al. 2012), prvků včetně zlata (Au) v čajových lístcích (Kasrai et al. 1977; Lagad et al. 2011) a kávě (Messaoudi et al. 2018).

### 3.5.2 Instrumentální fotonová aktivační analýza

Fotonová aktivační analýza (*Photon Activation Analysis*, PAA) je analytická metoda založená na interakci vysokoenergetických fotonů s jádry prvků, jejímž výsledkem je emise sekundárních částic gama, které lze spektrometricky měřit (Segebade et al. 1988). Jedná se o nejvyužívanější formu PAA. Praktické využití PAA zahrnuje různé vědní oblasti, včetně environmentální analýzy, analýzy biologických či lékařských materiálů, geochemie, oceánografie, archeologie, paleontologie, forenzních věd, studia kulturního dědictví

a průmyslových aplikací, jako je těžba a nakládání s odpady (Krausová et al. 2015, 2018, 2019). Všestrannost PAA je dána její schopností analyzovat širokou škálu prvků, od lehkých (C, N, O, F), po ty s vysokým atomovým číslem, s citlivostí, která může dosáhnout hodnot ng.g<sup>-1</sup>. Tato metoda nachází uplatnění zejména v případech, kdy jiné analytické metody zaostávají, a to buď kvůli destruktivní povaze techniky, nebo kvůli omezením při zjišťování určitých prvků (jako např. u NAA). PAA se může využívat jako doplňková metoda k NAA a je vhodná pro studium malých vzorků (několik miligramů) i velkých množství (až kilogramy). (Lutz 1971; Segebade & Berger 2008; Krausová 2015; Mizera et al. 2017; Segebade et al. 2017).

Prvky stanovitelné ST-IPAA																																													
Prvky stanovitelné LT-IPAA																																													
Prvky stanovitelné ST-IPAA i LT-IPAA																																													
H																	He																												
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne																												
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar																												
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																												
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																												
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Ra																												
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt																																					
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>Ce</td><td>Pr</td><td>Nd</td><td>Pm</td><td>Sm</td><td>Eu</td><td>Gd</td><td>Tb</td><td>Dy</td><td>Ho</td><td>Er</td><td>Tm</td><td>Yb</td><td>Lu</td> </tr> <tr> <td>Th</td><td>Pa</td><td>U</td><td>Np</td><td>Pu</td><td>Am</td><td>Cm</td><td>Bk</td><td>Cf</td><td>Es</td><td>Fm</td><td>Md</td><td>No</td><td>Lr</td> </tr> </table>																		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																

**Obrázek 9** Přehled prvků stanovitelných jednotlivými metodami IPAA na mikrotronu MT-25 (upraveno dle Krausová 2015)

Existují dva typy radionuklidů, které lze určovat pomocí IPAA: ty s krátkým poločasem rozpadu lze určit pomocí krátkodobé metody (ST-IPAA), zatímco ty s dlouhým poločasem rozpadu vyžadují dlouhodobou aktivaci (LT-IPAA). Některé prvky lze detekovat s využitím obou variant. Stanovitelnost jednotlivých prvků konkrétním typem IPAA je uvedena na obrázku výše (Obrázek 9). Krátkodobá IPAA je možná za použití již zmiňovaného pneumatického systému (Krausová 2015).

Aktivitu  $A$  vznikající při ozařování fotony udává vztah

$$A = \frac{mSDC}{M} N_A \theta \int_{E_{th}}^{E_{max}} \phi(E) \sigma(E) dE \quad (2)$$

kde  $m$  je hmotnost vzorku,  $M$  je molární hmotnost,  $N_A$  je Avogadrova konstanta,  $\theta$  je relativní izotopové zastoupení aktivovaného izotopu v přirozené směsi,  $E_{th}$  je prahová energie dané reakce,  $E_{max}$  – maximální energie brzděného záření,  $\phi(E)$  – energeticky závislá hustota toku fotonů,  $\sigma(E)$  je energeticky závislý účinný průřez dané fotoreakce,  $S = 1 - \exp(-\lambda t_1)$  je saturační faktor, kde  $\lambda$  je přeměnová konstanta, která je vázána s poločasem přeměny  $T_{1/2}$  vztahem  $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ ,  $t_1$  je doba ozařování,  $D = \exp(-\lambda t_d)$  je rozpadový faktor, kde  $t_d$  je doba vymírání, tj. doba od skončení ozařování do začátku měření,  $C = (1 - \exp(-\lambda t_c)) / (\lambda t_c)$  je faktor, jímž se koriguje rozpad nuklidu během doby měření  $t_c$  (Segebade & Berger 2008).

Jak již bylo zmíněno výše, metoda PAA má široké uplatnění v praxi, hojně jako doplňková metoda k NAA (Krausová 2015). Sun et al. (2013) stanovovali s využitím PAA více

než 30 prvků ve vzorcích kávy z Etiopie, Columbie a Havaje. Stejně jako u NAA však nebyla ve vědeckých databázích PubMed, Google Scholar, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink a Scopus nalezena žádná literatura o využití metody PAA pro stanovení prvků v hmyzu nebo v hmyzích produktech.

### 3.5.3 Nejistota měření

Nejistota (dříve chyby měření) je „parametr výsledku přidružený k měření, který charakterizuje rozptyl hodnot, které by mohly být důvodně přisuzovány k měřené veličině“. Vymezuje hranice, v nichž je výsledek považován za přesný, tj. pravdivý a precizní.

Nejistota je uváděna jako

- standardní nejistota  $u(x_i)$  je nejistota výsledku měření, která se vyjadřuje ve formě směrodatné odchylky  $\sigma$
- kombinovaná standardní nejistota  $u_c$  – nejistota (výsledku) měření, která vznikne sloučením standardní nejistoty z jednotlivých zdrojů  $u_i$  (směrodatné odchylky) v průběhu celého analytického postupu.  $u_c$  tak vytváří interval, který pokrývá skutečnou hodnotu měřené veličiny s poměrně malou pravděpodobností (cca 68 %), kde jsou jednotlivé složky nejistoty vyjádřené jako relativní standardní odchylka daná vztahem (EURACHEM 2000)

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \quad (3)$$

V analytické praxi se obvykle vyjadřuje celková nejistota jako rozšířená kombinovaná nejistota  $U$ , která vznikne vynásobením hodnoty kombinované standardní nejistoty  $u_c$  faktorem pokrytí (rozšíření)  $k$ , dle vztahu

$$U = k \cdot u_c \quad (4)$$

V případě normálního Gaussova rozdělení pro úroveň spolehlivosti přibližně 95 % je  $k = 2$ . Pro výpočet nejistoty měření je nutné identifikovat a kvantifikovat všechny zdroje nejistot. Zdroje standardní nejistoty  $u_i$  v aktivační analýze je možné rozdělit podle jednotlivých kroků analýzy do 4 kategorií (IAEA 2004):

- přípravu vzorku a komparátoru (standardu, monitoru fotonového toku) zahrnuje nejistota  $u_1$
- ozařování zahrnuje nejistota  $u_2$
- spektrometrické měření gama záření zahrnuje nejistota  $u_3$
- radiochemické separace (pokud je prováděna) zahrnuje nejistota  $u_4$ , která v této studii nebyla zahrnuta



## 4 Materiál a metody

Tato diplomová práce se nezabývala pouze sledováním prvkového složení 9 druhů hmyzu, ale její součástí byl i pokus zaměřený na vliv různé výživy na konečné prvkové složení dospělce cvrčka domácího (*Acheta domestica* Linnaeus, 1758). Proto byla metodika rozdělena na popis chovu testovaného druhu a na přípravu samotných vzorků pro aktivační analýzu. Metodika dále zahrnovala aktivaci (ozařování vzorků) v jaderném reaktoru či na mikrotronu MT-25, detekci signálů.

### 4.1 Vzorky hmyzu

Pro monitoring byly vybrány druhy zařazené na seznamu NP: dospělci cvrčka domácího (AD) (*Acheta domestica* Linnaeus, 1758), larvy potemníka stájového (*Alphitobius diaperinus* Panzer, 1797), dospělci sarančete stěhovavé (*Locusta migratoria* L., 1758) a larvální stádium potemníka moučného (*Tenebrio molitor* L., 1758); druhy čekající na vědecké stanovisko EFSA: larvy mouchy bráněnky (*Hermetia illucens* L., 1758) a dospělci včely medonosné (trubců) (*Apis mellifera* L., 1758). Druhy přidáné do monitoringu z důvodu zvýšení variability zkoumaných druhů byly: larvy potemníka brazilského (*Zophobas morio* Fabricius, 1776), dospělci cvrčka banánového (*Gryllus assimilis* F., 1775), dospělci švába (*Blaberus discoidalis* Audinet-Serville, 1839).

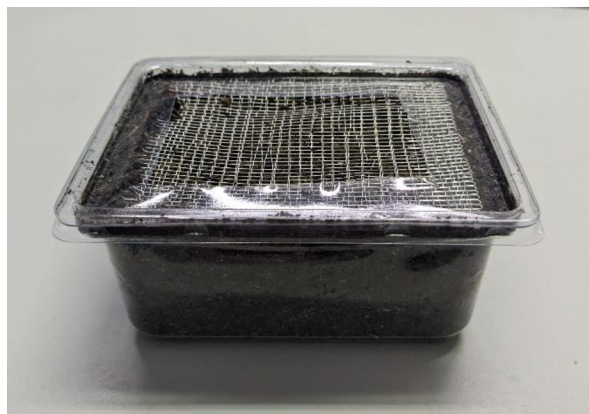
Cvrček banánový, moucha bráněnka, potemník brazilský, potemník stájový, saranče stěhovavá a včela medonosná byli z komerčních zdrojů od srpna roku 2022 postupně zajištěni zaměstnanci Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů (FAPPZ) České zemědělské univerzity v Praze (ČZU), Ing. Martinem Kulmou, Ph.D. a Ing. Michalem Kurečkou, kteří mají na starost chovnou hmyzí laboratoř ČZU. V insektáriu byly vychovány tři druhy – cvrček domácí, potemník moučný a diskoidní šváb. Včela medonosná (resp. trubci) byla od včelaře (pan Michal Kurečka) a musela být z pláství vypreparována.

Minimálně jeden druh bylo potřeba mít k dispozici co nejdříve kvůli prvotnímu provedení zkušební analýzy. Zkušební testování bylo do výzkumu zařazeno, aby bylo ověřeno, zda ozařování tohoto typu biologického materiálu nebude v jaderném reaktoru způsobovat například pění vzorku (resp. pění tuku obsaženém ve vzorcích hmyzu, případně dostatečná lyofilizace) a následné praskání vzorku v ozařovacím pouzdře. Toto testování bylo provedeno na lyofilizovaných dospělci a larvách druhu *G. assimilis* v laboratořích Ústavu jaderné fyziky Akademie věd ČR, v.v.i. v Řeži (ÚJF AV ČR) dne 24. srpna 2022. Během, a po zkušební analýze nebyly pozorovány žádné komplikace či nestandardní poškození vzorků. Proto na začátku prosince nastalo založení nové generace a příprava chovu cvrčků domácích AD, u kterých byl zkoumán vliv odlišné krmné směsi. Podrobnější založení nové generace je popsáno v následující podkapitole.

#### 4.1.1 Založení nové generace cvrčků

Pro dospělé druhy AD byla v listopadu roku 2022 připravena kladiště, která jim byla vložena do chovných beden (jedno kladiště z každé strany bedny, tzn. dvě kladiště na bednu). Skládala se ze tří částí (Obrázek 10) – spodní průhledné plastové krabičky, která byla až po okraj naplněna navlhčeným substrátem pro palmy; z kovové mřížky položené na substrát;

a z plastového víčka, do kterého byl předem vyříznutý obdélníkový otvor sloužící pro přístup k substrátu. Substrát byl během doby kladení, tedy přibližně týden, udržován za pomoci vody a rozprašovače stále vlhký. Krabice byla označena datem vložení k dospělcům. Jakmile bylo vidět dostatek nakladených vajíček v kladištích, byla kladiště z chovných beden vyjmuta a nahrazena kladišti novými. To bylo provedeno dvakrát až třikrát. Plná kladiště byla přenesena do beden čistých, neobsahujících dospělé. Následovala doba líhnutí dlouhá cca dva týdny. Nakladená kladiště se během této doby opět udržovala vlhká a bez plísně.



**Obrázek 10** Kladiště (vlastní tvorba)



**Obrázek 11** Pokusné bedny s nově založenou generací cvrčků v insektáriu (vlastní tvorba)

Po uplynutí doby líhnutí byli v bedně vidět malí cvrčci, připomínající bílá smítka. V momentě, kdy je již bylo možné pozorovat, byla vložena do bedny Petriho miska s nepatrným množstvím hydrogelu, jakožto zdrojem vody, ve kterém se cvrčci neutopí a druhá Petriho miska s malým množstvím krmiva ve formě klasické krmné směsi (KS) – BK výkrmem, což je směs využívaná pro výkrm brojlerových kuřat. Přístup do misek byl zajištěn pomocí natrhaných kousků proložek od slepičích vajec, ze kterých byl vytvořen jakýsi most vedoucí ze dna bedny na misky. V moment, kdy bylo pozorováno, že se líhne dostatečné množství cvrčků bylo vždy cca 0,75 gramů cvrčků vylíhlých během posledních 24 hodin přemístěno do nově popsané chovné bedny. Starší cvrčci byli eliminováni. Do beden byla přidána Petriho miska s hydrogelem a další Petriho miska s příslušným krmivem.

#### 4.1.2 Chov a krmení nové generace cvrčků

Pokusných beden s nově založenou generací cvrčků AD bylo celkem třináct (Obrázek 11). Schéma chovu a příslušné krmné směsi je vidět v tabulce (Tabulka 7). Bedna číslo jedna byla s kontrolní skupinou cvrčků, které byla krmena běžně používanou KS – BK výkrmem. Tři bedny byly věnovány cvrčkům krmených upravenou krmnou směsí  $K^+$ . Další tři bedny byli cvrčci chováni na mixu  $K^-$ , tři na  $P^+$  a poslední tři na  $P^-$ .

**Tabulka 7** Schéma chovného pokusu – rozmístění do beden dle typu krmné směsi (vlastní tvorba)

Číslo chovné bedny	Číslo 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Typ podávané krmné směsi	kontrola BK výkrm	$K^+$	$K^+$	$K^+$	$K^-$	$K^-$	$K^-$	$P^-$	$P^-$	$P^-$	$P^+$	$P^+$	$P^+$

Krmné směsi připravil dne 7.12.2022 pan Ing. Vladimír Plachý, Ph.D. z FAPPZ ČZU z katedry mikrobiologie, výživy a dietetiky. Naším jediným požadavkem bylo částečně obohatit klasickou krmnou směs o vedlejší zemědělský produkt, který by tímto způsobem mohl najít další využití, teoreticky právě v chovu AD. Pro náš výzkum byly zvoleny sušené výlisky různých odrůd jablek z ČZU a vysušené pivovarské mláto z komerčního zdroje. Podrobnější složení dodaných krmných směsí je uvedeno ve výrobních listech v příloze číslo 1 až 4.

Dne 8.12.2023 bylo zahájeno samotné krmení. Během chovu byl denně měněn hydrogel a bylo pravidelně měněno příslušné krmivo. Tyto úkony byly prováděny i kvůli případnému zamezení šíření nemocí a úhynu cvrčků. V insektáriu byla nastavená fotoperioda 12:1 (světlo 12 hodin denně), teplota  $27 \pm 1$  °C a relativní vlhkost 30–50 %. Samotný růst (bez doby líhnutí) našich AD až do doby sklizně, tedy dospělosti, trval  $60 \pm 1$  dnů. Krmení bylo ukončeno 4.2.2023. Adulti byli po 24 hodin podrobeni lačnění a následně usmrceni rychlým zmrazením.

## 4.2 Příprava vzorků k analýze – ČZU

Všech devět druhů hmyzu, včetně pokusných skupin AD bylo 24 hodin vyláčených, usmrcených a připravených v průhledných plastových krabičkách k navažování. Navažování bylo provedeno na analytických vahách Kern ABJ-NM/ABS-N na ČZU dne 13.2.2023 do prázdných vzorkovnic (Obrázek 12). Plné vzorkovnice byly umístěny do mrazáku v insektáriu. Následně byly mražené vzorky podrobeny vícedenní lyofilizaci v lyofilizátoru (Obrázek 13) značky LaboGene od dodavatele Trigon-plus (sušení mrazem při  $-82$  °C a vakuu) na ČZU dne 14.2.2023, ukončení sušicího procesu bylo ráno dne 18.2.2023.



**Obrázek 12** Navažování vzorků na analytických vahách před lyofilizací (vlastní tvorba)



**Obrázek 13** Lyofilizátor se vzorky před spuštěním (vlastní tvorba)

Po vyndání vzorků z lyofilizátoru byly vzorkovnice opětovně zvaženy (analytické váhy Mettler Toledo AE 200), hmotnosti zaznamenány (Samostatná příloha 5) a přeneseny k homogenizaci v analytickém mlýnku IKA Yellowline A10. Fotografie vah a mlýnku jsou

v samostatné příloze číslo 6 a 7. Vzniklá hmyzí moučka byla převezena do laboratoře ÚJF AV ČR v Řeži, kde probíhaly další fáze přípravy vzorků pro samotnou analýzu.

### **4.3 Příprava vzorků k analýze – ÚJF AV ČR, v.v.i.**

Ze vzorků číslo 1 a 3 (dvakrát stejný vzorek sarančete); č. 9, 10, 11; č. 12, 13, 14; č. 15, 16, 17 a č. 18, 19, 20 (pokusné AD) byly připraveny homogenní hmyzí moučky, ze kterých byly následně naváženy vzorky pro analýzy.

#### **4.3.1 Instrumentální neutronová aktivační analýza INAA**

Příprava vzorků a referenčních materiálů k ozařování

Pro analýzu hmyzu metodou NAA bylo na předvážkách OHAUS Navigator™ do lodičky naváženo vždy cca 250 mg vzorku hmyzu (Obrázek 14) pro účely dlouhodobého ozařování (LT-INAA). Jelikož se výzkumný reaktor LVR-15 v Řeži v té době potýkal s technickou závadou na potrubní poště, nebylo možné provést krátkodobou aktivaci (ST-INAA) a tudíž připravit navážky na začátku března roku 2023. Pro ST-INAA bylo dodatečně naváženo vždy cca 160 mg hmyzu až dne 15.5.2022. Vzorky byly postupně převedeny do tabletovacího zařízení – tzv. tabletovačky (Obrázek 16) a to tak, že tabletovačka se sypkým lyofilizátem hmyzu byla umístěna do laboratorního lisu MP250M (Obrázek 15) a pod tlakem 60–90 MPa pro biologické vzorky byla vytvořena tableta. V mezičase byla připravena polyethylenová (PE) pouzdra, do kterých měla být vložena tableta. PE pouzdro bylo připraveno tak, že na automatických analytických vahách METTLER XPE205 bylo zváženo 2x prázdné čisté PE kolečko (superčistý polyethylen) o průměru 25 mm (Samostatná příloha 8). K čištění PE koleček se používá HNO<sub>3</sub> ředěná v poměru 1:3 s deionizovanou vodou. Takto vyčištěná kolečka byla spolu částečně zatavena pinzetou nad lihovým kahanem, zvážena, pinzetou vložena tableta, pouzdro opět zváženo a důkladně zatavena zbylá část PE pouzdra. Jedno prázdné PE pouzdro, které bylo také zváženo a zataveno, bylo využito jako blank pro sledování případného stopového množství zlata (Au) přítomného v PE. Hmotnosti byly zapsány na papírový sáček, do kterého byly vzorky vloženy a do sešitu. Vzorků k ozaření bylo u LT-INAA celkem 17. Devět druhů hmyzu, 4 skupiny AD, 1 blank, 3 RM. Posledních pár kroků je zdokumentováno v Samostatné příloze 9.



**Obrázek 14** Navažování vzorku do lodičky na předvážkách OHAUS Navigator™ (vlastní tvorba)



**Obrázek 15** Laboratorní lis MP250M s vloženým tabletovacím zařízením (vlastní tvorba)



**Obrázek 16** Tabletovačka a její součásti zleva – spodní část, středová část, spodní kovový válec, průhledná folie, vzorek, průhledná folie, vrchní kovový válec, těsnicí válec (vlastní tvorba)

Stejným způsobem byly pro LT-INAA připraveny vzorky referenčních materiálů (SRM): NIST (National Institute of Standards and Technology) SRM 1566b (Oyster Tissue), NIST SRM 1548a (Total Diet), CNRS CRPG (Centre de Recherches Pétrographiques en Géochimiques) GSN (Granite). U ST-INAA byly zvoleny dva RM: NIST SRM 1549 (Non Fat Milk Powder) a NIST SRM 1574 (Peach Leaves) pro sledování správnosti a přesnosti výsledků stanovení (QC). V množství cca 210–240 mg (RM) a s přidáním pojiva (škrobu Riedel de Haën) podle potřeby tak, aby byla zachována stejná geometrie ozařování a měření vzorků hmyzu a SRM.

U ST-INAA byly vzorky zatavené v PE pouzdrech znovu opláchnuty v  $\text{HNO}_3$ ; obaleny ve vystřiženém kousku polyethylenového sáčku; pinzetou umístěny do velkého PE pouzdra, přezdívaného „králík“; utěsněny polystyrenovou pěnou a „potrubní poštou“ (pneumatickým systémem) odeslány do reaktoru ke krátkodobé aktivaci (Obrázek 17).

## Aktivace v jaderném reaktoru

V poslední fázi byly vzorky hmyzu společně s RM, kalibračními standardy stanovených prvků (MES multielementární standard) a železnými monitory zabaleny do proužků hliníkové folie (alobal) a ve stanoveném pořadí vloženy do Al pouzdra – tuby (Samostatná příloha 10, 11 a 12). Poté bylo pouzdro zaletováno a připraveno k dlouhodobému ozáření proudem neutronů v experimentálním reaktoru LVR-15 Centra výzkumu Řež s.r.o., ÚJV Řež, a.s. Reaktor pracoval při výkonu 9 MW a neutronovém toku o hustotě tepelných ( $3,5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), epithermálních ( $8,5 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) a rychlých ( $5,6 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) neutronů. Pro monitoring prvků byla v použita dlouhodobá (2 hodiny) i krátkodobá (60 s) expozice zářením. LT-INAA i ST-INAA byly prováděny ve vertikálním kanálu. Během ST-INAA bylo ozáření u vzorků provedeno pomocí potrubní pošty (Obrázek 17) v kanálu umístěném na okraji jaderného reaktoru s neutronovou fluencí. Časy vymírání a doba měření byly pečlivě zvoleny tak, aby zajistily co největší pokrytí prvků při co nejnižší nejistotě měření. Přehled radionuklidů s poločasy přeměny a energiemi záření jsou uvedeny dále v tabulce 9.



**Obrázek 17** Zleva vkládání a utěšňování obaleného vzorku do transportního pouzdra (králíka) a umísťování do zařízení potrubní pošty (vlastní tvorba)

## Detekce gama záření

Po dvouhodinové expozici (LT-INAA) se první měření konalo čtvrtý den. Vzorky a RM byly měřeny na polovodičových detektorech HPGe (High Purite Germanium) ORTEC 53 (typ p-Coaxial) relativní účinnost 53 % a CANBERRA 78 (typ p-Coaxial) relativní účinnost 78 % (FWHM – Full Width at Half Maximum: 1,75–1,85 keV) po dobu 60 minut, zatímco MES byly měřeny po dobu 40 minut. Druhé měření bylo provedeno 10 dní po expozici, přičemž vzorky a RM byly měřeny po (Obrázek 18) dobu 1 hodiny a MES po dobu 40 minut. Třetí měření probíhalo 24 dní po ozáření 3 hodiny u vzorků a 90 minut u MES. Železné monitory byly měřeny 5 minut.

Po krátkodobém ozáření (ST-INAA) na potrubní poště 60 s, vymírání 420 s (doba, než je umístěn vzorek na detektor) se měření 600 s konalo na detektoru PGT 21 (typ p-Coaxial)

relativní účinnost 21 % (FWHM: 1,75 keV) ještě ten den (Obrázek 18). Využitý detektor lze vidět na obrázku 19 níže. Časy vymírání a doba měření byly zvoleny tak, aby zajistily co největší pokrytí prvků při co nejnižší nejistotě měření.



**Obrázek 18** Zleva detektor ORTEC 53 a detektor PGT 21 (vlastní tvorba)

### 4.3.2 Instrumentální fotonová aktivační analýza IPAA

Příprava vzorků a referenčních materiálů k ozáření

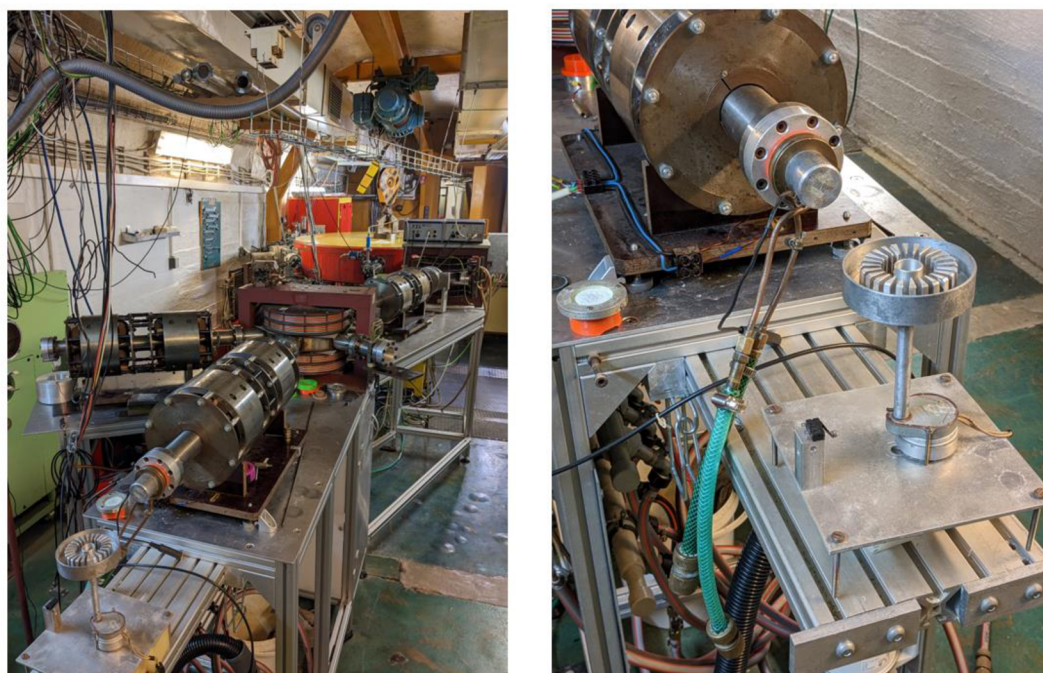
Dne 2.3.2023 podobně jako při přípravě vzorků u INAA byly připraveny navážky vzorků pro IPAA. Jeden z rozdílů v přípravě vzorků na INAA a IPAA tkvěl v hmotnosti jednotlivých navážek. Při tomto druhu aktivační analýzy bylo naváženo cca 1000 mg vzorku. Dále byla použita větší PE pouzdra (průměr 35 mm) a tím pádem i velikostně odpovídající tabletovačka. Ke vzorku sarančete a mouchy bráněnky bylo přidáno 200 mg škrobu, opět plnicího funkci pojiva, jelikož vzorky byl mastné a ve formě tablety nekompaktní, což znemožňovalo umístění do PE kolečka. Pro ověření správnosti analýzy byly ke vzorkům k ozáření přidány tyto RM: CNRS CRPG GSN (Granite), NIST SRM 1548a (Total Diet). Vzorky nebyly pro samotnou aktivaci baleny do hliníkových proužků. Naopak byly umístěny do krabičky pro převoz do detašovaného pracoviště ÚJF AV ČR, v.v.i., mikrotronové laboratoře umístěné v žižkovském (karlínském) tunelu. Tam se nachází cyklický urychlovač elektronů, tzv. mikrotron MT-25, který byl pro analýzu IPAA použit. Tabulka 8 poskytuje přehled hlavních charakteristik mikrotronu MT-25.

**Tabulka 8** Hlavní fyzikální parametry mikrotronu MT-25 (Chvátíl et al. 2008)

Vysokofrekvenční zdroj	Energetický rozsah	6–25 MeV
	Proud urychlených elektronů	20 $\mu\text{A}$
	Přeladitelný magnetron	$2796 \pm 5$ MHz
	Výkon	5 MW
	Délka pulsu	3,5 $\mu\text{s}$
	Vlnová délka	10 cm
	Opakovací frekvence	$423 \text{ s}^{-1}$
	Frekvence rezonátoru	2798 MHz
	Frekvence napájecích zdrojů	50 Hz
	Počet pracovišť	3
Homogenní pole	pracoviště B	
Elektronové pole	Velikost ve vzdálenosti 1 m od výstupového okénka	min. $20 \times 20 \text{ cm}^2$
	Homogenita	$\pm 5 \%$
	Dávkový příkon ve vzdálenosti 1 m	$25 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \mu\text{A}$
Fotonové pole	Velikost ve vzdálenosti 1 m od výstupového okénka	min. $20 \times 20 \text{ cm}^2$
	Homogenita	$\pm 5 \%$
	Dávkový příkon ve vzdálenosti 1 m	$0,2 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \mu\text{A}$

#### Aktivace na mikrotronu

Vzorky, referenční materiály a standardy prvků prošly ozářením za použití fotonů s vysokou energií na již zmiňovaném mikrotronu MT-25 (Obrázek 19) umístěném na otočné kolotoči. Rotující karusel zajistil, že všechny vzorky obdržely totožnou dávku záření. Proces ozařování trval 7 hodin. Po aktivaci byly vzorky převezeny vozidlem ÚJF z Karlína do Řeže v olověném pouzdře kvůli stínění.



**Obrázek 19** Vlevo mikrotron MT-25, vpravo detail karuselu pro vkládání vzorků k ozáření (vlastní tvorba)



## Detekce gama záření

Následné měření každého vzorku, RM a standardu prvku bylo provedeno celkem třikrát na polovodičových detektorech HPGe (High Purite Germanium) ORTEC 53 (typ p-Coaxial) relativní účinnost 53 % a CANBERRA 78 (typ p-Coaxial) relativní účinnost 78 %. Využitý detektor lze vidět na obrázku 19. První měření se uskutečnilo v den ozáření v časovém rámci 20 minut. Druhé měření: den po ozáření, kdy měření každého vzorku trvalo 40 minut. Třetí měření: desátý den po ozáření, kdy detekce jednoho vzorku trvala 2 hodiny.

Jak již bylo v úvodu uvedeno, lze prvky původně přítomné ve vzorku stanovit aktivační analýzou, kdy výběrem varianty a typu aktivační analýzy, tj. NAA nebo PAA umožňuje využít výhodnější reakci pro stanovení daného prvku ve studované matici. V tabulce 9 jsou uvedeny jaderné parametry použitých radionuklidů a typ aktivační analýzy.

**Tabulka 9** Jaderná data a způsob aktivační analýzy pro námi stanovované prvky (Blaauw 1996; Řanda & Kreisinger 1983)

Prvek	Radionuklid	Metoda aktivační analýzy	Polčas přeměny	Energie záření (keV)
Na	<sup>24</sup> Na	ST-INAA; LT-INAA	14,6 h	1368,6
Mg	<sup>24</sup> Na; <sup>27</sup> Mg	LT-IPAA; ST-INAA	14,6 h; 9,46 m	1368,6
Cl	<sup>38</sup> Cl	ST-INAA	37,24 m	2167,7
K	<sup>42</sup> K	ST-INAA; LT-INAA	12,36 h	1524,6
Ca	<sup>43</sup> K; <sup>49</sup> Ca; <sup>47</sup> Ca	LT-IPAA; ST-INAA; LT-INAA	22,3 h; 8,72 m; 4,536 d	617; 3084,5; 1297,1
Cr	<sup>51</sup> Cr	LT-INAA	27,7 d	320,1
Mn	<sup>56</sup> Mn	ST-INAA	2,576 h	1810,8
Fe	<sup>59</sup> Fe	LT-INAA	44,496 d	1099,2; 1291,6
Co	<sup>60</sup> Co	LT-INAA	5,271 r	1173,24; 1332,5
Cu	<sup>66</sup> Cu	ST-INAA	5,1 m	1039,35
Zn	<sup>65</sup> Zn	LT-INAA	244,1 d	1115,52
Se	<sup>75</sup> Se	LT-INAA	119,77 d	264,66
I	<sup>128</sup> I	ST-INAA	24,99 m	442,92

ST-INAA ... krátkodobá instrumentální neutronová analýza

LT-INAA ... dlouhodobá instrumentální neutronová analýza

LT-IPAA ... dlouhodobá fotonová aktivační analýza

m – minuta; h – hodina; d – den; r – rok

## 5 Výsledky

Byl proveden monitoring makro- (Ca, Mg, K, Na a Cl) a mikroprvků (Fe, I, Zn, Cu, Mn, Cr, Se a Co) v celkem 9 druzích hmyzu (Tabulka 11). Dále byl proveden monitoring prvkového složení v dospělých cvrčka domácího (*A. domesticus*) chovaného na pěti odlišných typech krmiva viz tabulka 10 celkem tedy ve třinácti vzorcích. K monitoringu prvků byly využity jaderné analytické metody, konkrétně neutronová aktivační analýza (NAA) a fotonová aktivační analýza (PAA) v různých variantách (ST-INAA, LT-INAA a LT-IPAA). Analyzovanými hmyzími druhy byly: dospělci cvrčka domácího (*A. domesticus*); dospělci cvrčka banánového (*G. assimilis*); dospělci saranče stěhovavé (*L. migratoria*); larvy potemníka moučného (*T. molitor*); kukly, resp. trubci, včely medonosné (*A. mellifera*); dospělci švába (*B. discoidalis*); larvy potemníka brazilského (*Z. morio*); larvy mouchy bráněnky (*H. illucens*) a larvy potemníka stájového (*A. diaperinus*). Měření bylo u všech druhů hmyzu provedeno jednou ve vhodném vymíracím čase. Kontrola kvality (Quality Control, QC) stanovených koncentrací prvků v hmyzích moučkách po sušení lyofilizací byla realizována pomocí aktivační analýzy s využitím standardních referenčních materiálů (SRM). Výsledky stanovení prvků v hmyzu a referenčních materiálech jsou uvedeny v  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1} \pm U$  (kombinovaná rozšířená nejistota s  $k = 2$ , úroveň spolehlivosti 95 %) u RM GSN Granite v  $\text{hm} \% / \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1} \pm u$ , ( $\sigma$ , SD, 68 % výběr). K vypočítání kombinovaných rozšířených nejistot a k vytvoření grafů byl použit program Microsoft Excel 2016. Statistické vyhodnocení bylo provedeno v programu IBM SPSS Statistics.

**Tabulka 10** Stanovené koncentrace makro- a mikroprvků ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1} \pm U$ ) ve vzorcích *A. domesticus* chovaných na jiné krmné směsi (P<sup>+</sup> / P<sup>-</sup> / K<sup>+</sup> / K<sup>-</sup> / BK)

Prvek	<i>A. domesticus</i> (P <sup>+</sup> )	<i>A. domesticus</i> (P <sup>-</sup> )	<i>A. domesticus</i> (K <sup>-</sup> )	<i>A. domesticus</i> (K <sup>+</sup> )	<i>A. domesticus</i> control
Ca	1203 ± 64,42	960 ± 54,18	939 ± 53,10	1551 ± 78,09	1078 ± 60,85
Mg	935 ± 72,80	946 ± 74	888 ± 75,40	907 ± 75,50	936 ± 73,4
K	14533 ± 1557	14407 ± 1530	13492 ± 1441	15190 ± 1614	11514 ± 1251
Na	2414 ± 96,60	2276 ± 91,40	2347 ± 94,30	2262 ± 90,80	3997 ± 152
Cl	5897 ± 274	5202 ± 242	4065 ± 189	5401 ± 251	6195 ± 288
Prvek	<i>A. domesticus</i> (P <sup>+</sup> )	<i>A. domesticus</i> (P <sup>-</sup> )	<i>A. domesticus</i> (K <sup>-</sup> )	<i>A. domesticus</i> (K <sup>+</sup> )	<i>A. domesticus</i> control
Fe	60,3 ± 4,31	57,8 ± 4,33	55,5 ± 4,33	68,7 ± 4,63	57,7 ± 4,29
I	0,66 ± 0,25	<0,337	<0,323	0,81 ± 0,22	0,69 ± 0,27
Zn	215 ± 8,66	220,2 ± 8,88	242,7 ± 9,77	257,8 ± 10,40	223,5 ± 9,01
Cu	27,46 ± 3,01	27,61 ± 3,36	26,74 ± 2,76	27,68 ± 3,26	26,48 ± 5,22
Mn	48,35 ± 2,07	29,66 ± 1,32	27,92 ± 1,26	40,31 ± 1,76	38,49 ± 1,7
Cr	0,566 ± 0,11	0,60 ± 0,11	0,84 ± 0,11	0,793 ± 0,15	0,86 ± 0,12
Se	0,409 ± 0,09	0,34 ± 0,09	0,32 ± 0,08	0,40 ± 0,08	0,29 ± 0,07
Co	0,09 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,004	0,09 ± 0,01	0,06 ± 0,01

P<sup>+</sup> ... 16 % kvasinky *Torula*; 48 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky; 1 % BK výkrm

P<sup>-</sup> ... 15 % kvasinky *Torula*; 50 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky

K<sup>+</sup> ... 84 % pšenice; 15 % sójový extrahovaný šrot; 1 % BK výkrm

K<sup>-</sup> ... 85,5 % pšenice; 14,5 % sójový extrahovaný šrot

Control ... 100 % BK výkrm

**Tabulka 11** Stanovené koncentrace makro- a mikroprvků ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1} \pm U$ ) v hmyzích druzích aktivační analýzou

<b>Prvek</b>	<i>A. domesticus</i>	<i>A. diaperinus</i>	<i>A. mellifera</i>	<i>B. discoidalis</i>	<i>G. assimilis</i>	<i>H. illucens</i>	<i>L. migratoria</i>	<i>T. molitor</i>	<i>Z. morio</i>
<b>Ca</b>	1078 ± 60,85	587 ± 43,8	544 ± 33,35	1752 ± 87,1	1900 ± 94,1	20772 ± 881	841 ± 48,44	431 ± 30,69	639 ± 38,36
<b>Mg</b>	936 ± 73,4	2118 ± 133	1009 ± 81,1	1446 ± 99,9	1068 ± 76,5	5980 ± 296	721 ± 65	2696 ± 149	1118 ± 79,7
<b>K</b>	11514 ± 1251	14790 ± 1576	14575 ± 1535	12371 ± 640	14178 ± 737	23198 ± 1183	8086 ± 431	9122 ± 983	8266 ± 439
<b>Na</b>	3997 ± 152	3352 ± 134	536 ± 23	3562 ± 144	3571 ± 143	1914 ± 76,80	1851 ± 74,30	974 ± 39,1	988 ± 39,70
<b>Cl</b>	6195 ± 288	7740 ± 359	2790 ± 130	4138 ± 193	6382 ± 296	4431 ± 206	3485 ± 162	4091 ± 190	3564 ± 166
<b>Prvek</b>	<i>A. domesticus</i>	<i>A. diaperinus</i>	<i>A. mellifera</i>	<i>B. discoidalis</i>	<i>G. assimilis</i>	<i>H. illucens</i>	<i>L. migratoria</i>	<i>T. molitor</i>	<i>Z. morio</i>
<b>Fe</b>	57,7 ± 4,29	38,5 ± 2,62	55 ± 4,23	145 ± 9,07	67,1 ± 4,46	548 ± 23,6	60,1 ± 4,48	54,5 ± 4,51	54,9 ± 4,11
<b>I</b>	0,69 ± 0,27	<0,351	<0,217	5,46 ± 0,36	1,62 ± 0,30	<0,629	1,05 ± 0,19	0,55 ± 0,19	0,33 ± 0,16
<b>Zn</b>	223,5 ± 9,01	203 ± 8,21	77,8 ± 3,17	522 ± 21	221 ± 8,89	293 ± 11,8	159 ± 6,44	145 ± 5,87	82,8 ± 3,38
<b>Cu</b>	26,48 ± 5,22	24,92 ± 3,88	22,30 ± 2,18	30,05 ± 4,61	18,07 ± 3,75	34,97 ± 5,71	56,6 ± 3,89	18,36 ± 2,44	12,38 ± 2,26
<b>Mn</b>	38,49 ± 1,7	13,03 ± 0,78	3,90 ± 0,39	23,84 ± 1,04	65,28 ± 2,68	375 ± 15,18	3,78 ± 0,28	10,75 ± 0,64	11,44 ± 0,54
<b>Cr</b>	0,86 ± 0,12	<0,153	0,31 ± 0,09	0,80 ± 0,16	0,36 ± 0,11	1,91 ± 0,18	0,48 ± 0,10	0,15 ± 0,10	0,15 ± 0,06
<b>Se</b>	0,29 ± 0,07	<0,115	<0,105	0,65 ± 0,13	0,31 ± 0,09	0,35 ± 0,13	0,23 ± 0,08	0,15 ± 0,08	<0,080
<b>Co</b>	0,06 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,014 ± 0,004	0,26 ± 0,02	0,08 ± 0,01	0,23 ± 0,01	0,04 ± 0,004	0,085 ± 0,011	0,03 ± 0,004

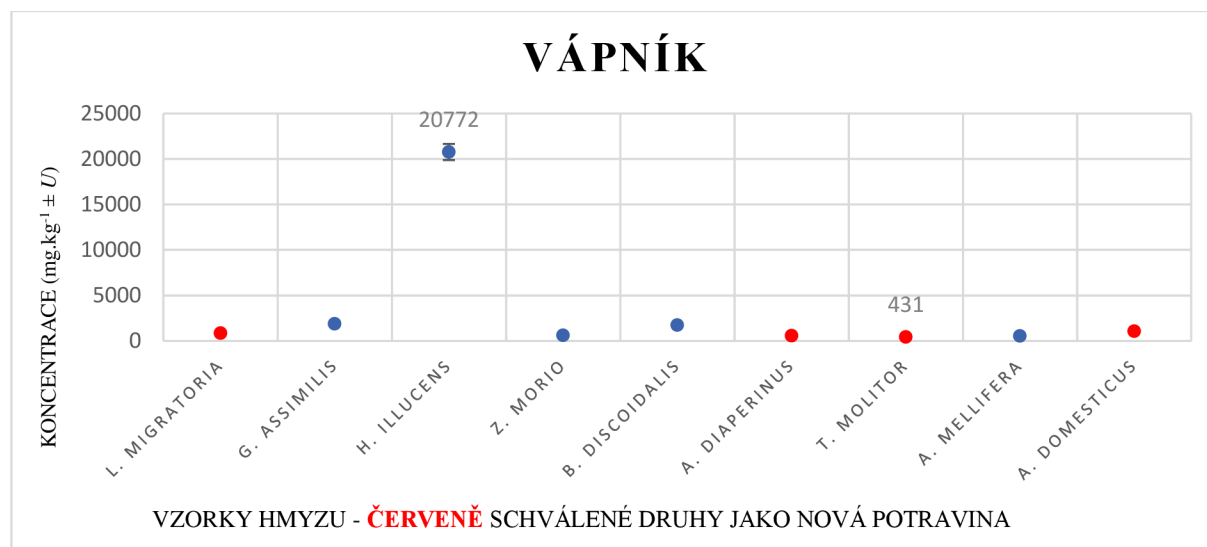
Výsledky jsou uvedeny v  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1} \pm U$  (kombinovaná rozšířená nejistota,  $k = 2$ , 95 %).

Pro analýzu použity varianty neutronové a fotonové aktivační analýzy ST-INAA, LT-INAA a LT-IPAA.

## 5.1 Monitorované koncentrace prvků

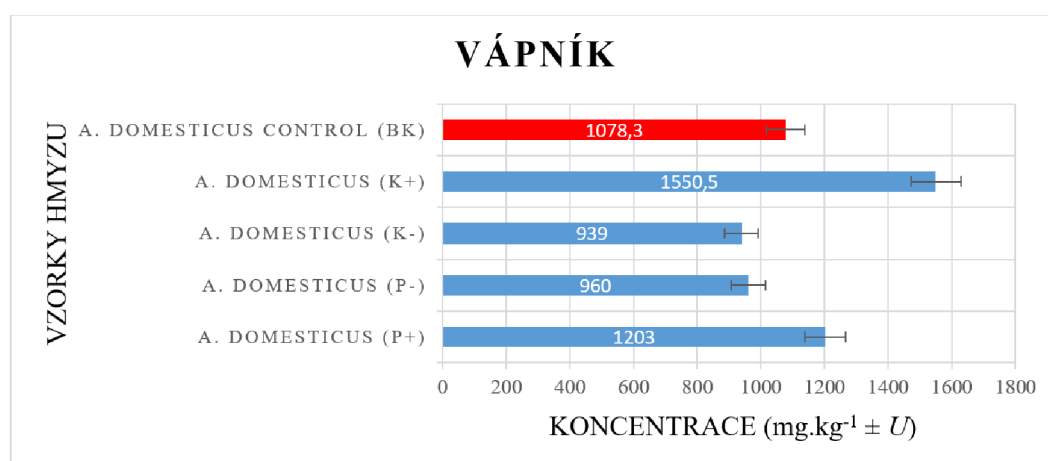
### 5.1.1 Vápník

Vápník byl stanoven u všech hmyzích vzorků (Graf 1, Graf 2). Stanovené koncentrace se mezi hmyzími druhy pohybovaly v rozmezí od 431–20772 mg.kg<sup>-1</sup>. Nejvyšší hodnota koncentrace Ca byla zaznamenána u *H. illucens* a u dospělců *A. domesticus* rostoucích na krmné směsi K<sup>+</sup> (1550,5 mg.kg<sup>-1</sup>). V grafu 2 je červeně vyznačena kontrolní skupina cvrčků krmená konvenční směsí BK (100 % výkrm brojlerových kuřat).



Graf 1 Stanovená koncentrace Ca v hmyzu aktivační analýzou

Chybové úsečky udávají rozšířenou ( $k = 2$ ) kombinovanou nejistotu  $U$  danou statistikou měření aktivity a nejistotou z dalších zdrojů (vážení, fluktuace ozařovací a měřicí geometrie, aj.) odhadnutou úhrnem na 2 %.



BK ... (control) 100 % výkrm pro brojlerová kuřata

K+ ... 84 % pšenice; 15 % sójový extrahovaný šrot; 1 % BK výkrm

K- ... 85,5 % pšenice; 14,5 % sójový extrahovaný šrot

P- ... 15 % kvasinky *Torula*; 50 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky

P+ ... 16 % kvasinky *Torula*; 48 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky; 1 % BK výkrm

Graf 2 Stanovená koncentrace Ca ve vzorcích *A. domesticus* dle typu krmné směsi

**Tabulka 12** Porovnání stanovených koncentrací Ca s jeho obsahem v referenčním materiálu

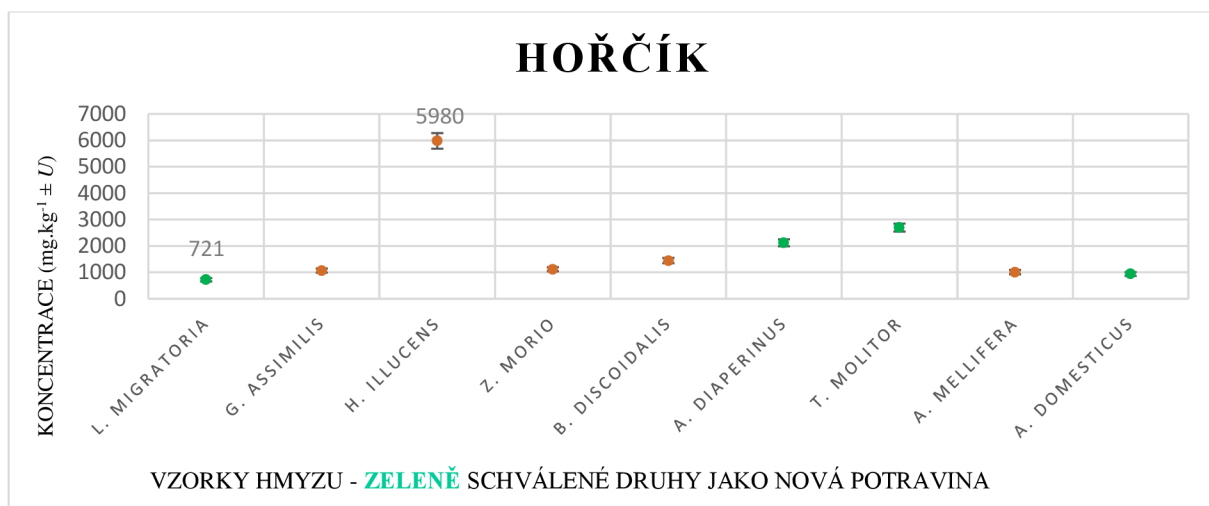
Referenční materiál	Stanovená hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)	Certifikovaná hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)
NIST SRM 1566b Oyster Tissue	0,08 ± 0,01 %	0,08 ± 0,002 %
NIST SRM 1549 Non Fat Milch	1,30 ± 0,06 %	1,30 ± 0,05 %
NIST SRM 1574 Peach Leaves	15917 ± 670	15590 ± 160

U ... kombinovaná rozšířená nejistota k = 2; 95 %

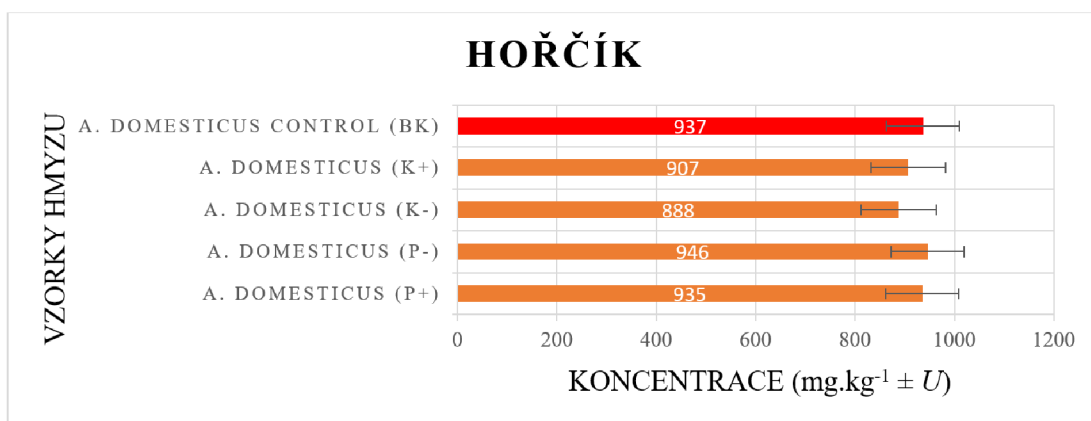
Námi stanovené koncentrace Ca v referenčních materiálech, uvedené v tabulce 12, jsou v souladu s jejich certifikovanými hodnotami v rámci stanovených nejistot.

### 5.1.2 Hořčík

Hořčík byl také stanoven u všech analyzovaných druhů hmyzu (Graf 3). Stanovené koncentrace se mezi jednotlivými druhy pohybovaly od 721–5980 mg.kg<sup>-1</sup>. Nejvyšší obsah Mg byl zaznamenán u *H. illucens*. Chybové úsečky opět udávají rozšířenou kombinovanou nejistotu *U* odhadnutou úhrnem na 2 %.



**Graf 3** Stanovená koncentrace Mg v hmyzu aktivační analýzou



BK ... (control) 100 % výkrm pro brojlerová kuřata

K+ ... 84 % pšenice; 15 % sójový extrahovaný šrot; 1 % BK výkrm

K- ... 85,5 % pšenice; 14,5 % sójový extrahovaný šrot

P- ... 15 % kvasinky *Torula*; 50 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky

P+ ... 16 % kvasinky *Torula*; 48 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky; 1 % BK výkrm

**Graf 4** Stanovená koncentrace Mg ve vzorcích *A. domesticus* dle typu krmiva

Obsah Mg u cvrčků krmených odlišnou stravou se pohyboval od 888–946 mg.kg<sup>-1</sup>. Nejvyšší koncentrace Mg byla naměřena v dospělém *A. domesticus* krmeným krmnou směsí P<sup>-</sup> (Graf 4).

**Tabulka 13** Porovnání stanovených koncentrací Mg s jeho obsahem v referenčním materiálu

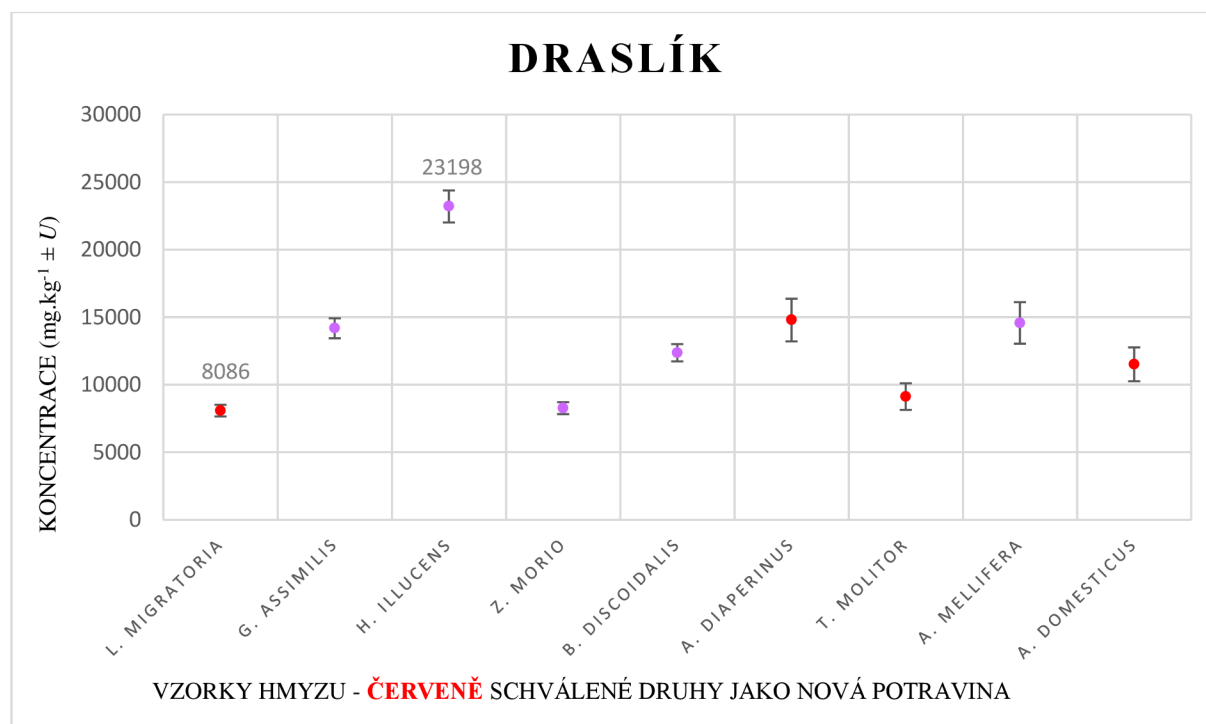
Referenční materiál	Stanovená hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)	Certifikovaná hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)
NIST SRM 1548a Typical Diet	622 ± 52,9	580 ± 26,7
CRPG CNRS GSN Granite	2,16 ± 0,09 % MgO	2,3 ± 0,05 % MgO

U ... kombinovaná rozšířená nejistota k = 2; 95 %

Námi stanovené obsahy Mg v standardních referenčních materiálech (uvedené v tabulce 13) souhlasí s jejich certifikovanými hodnotami v rámci nejistoty.

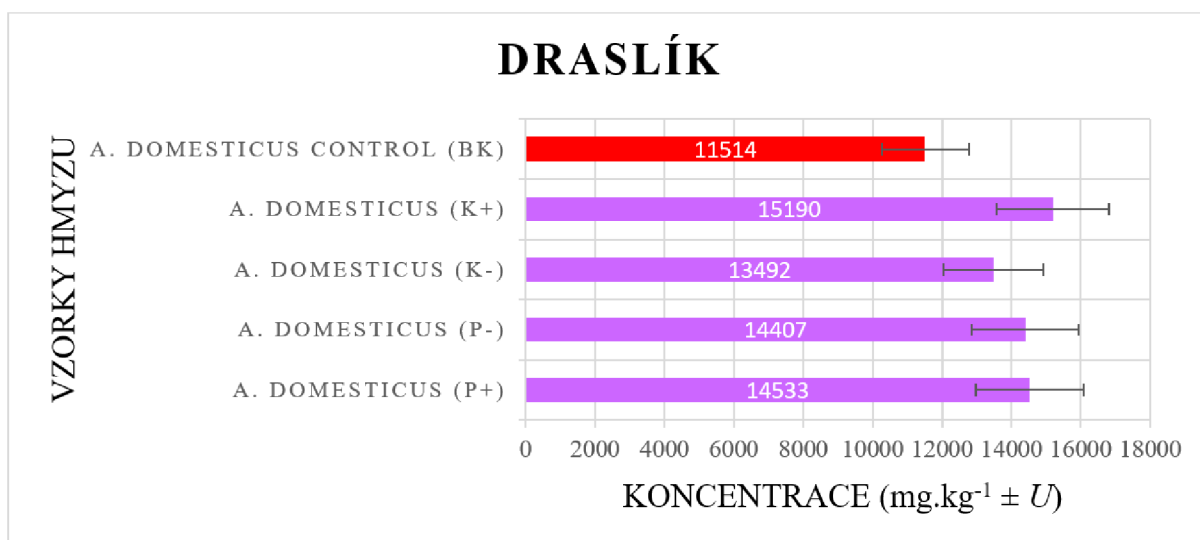
### 5.1.3 Draslík

Draslík byl stanoven u všech 9 druhů hmyzu (viz Graf 5). Stanovené koncentrace se pohybovaly v rozmezí od 8086–23198 mg.kg<sup>-1</sup>. Nejvíce draslíku bylo nalezeno v *H. illucens*.



**Graf 5** Stanovená koncentrace K v hmyzu aktivační analýzou

Chybové úsečky signalizují rozšířenou kombinovanou nejistotu *U*, která kombinuje statistické údaje o měření aktivity s nejistotami z dalších zdrojů, odhadovanou na 2 %. Graf 5 znázorňuje stanovené koncentrace draslíku v pěti vzorcích *A. domesticus*, kdy každý vzorek byl do dospělosti chován a krmen odlišnou směsí. Nejvyšší obsah K (15190 mg.kg<sup>-1</sup>) byl zaznamenán u cvrčka krmeného směsí K<sup>+</sup>. Červenou barvou je odlišena kontrolní skupina cvrčka krmená komerčně dostupným výkrmem pro brojlerová kuřata (BK).



BK ... (control) 100 % výkrm pro brojlerová kuřata

K+ ... 84 % pšenice; 15 % sójový extrahovaný šrot; 1 % BK výkrm

K- ... 85,5 % pšenice; 14,5 % sójový extrahovaný šrot

P- ... 15 % kvasinky *Torula*; 50 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky

P+ ... 16 % kvasinky *Torula*; 48 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky; 1 % BK výkrm

**Graf 6** Stanovená koncentrace K ve vzorcích *A. domesticus* dle typu krmiva

Chybové úsečky znázorňují rozšířenou kombinovanou nejistotu  $U$ , která je spočtena z měření aktivity a nejistot přidružených k dalším zdrojům, s celkovým odhadem na 2 %.

**Tabulka 14** Porovnání stanovených koncentrací K s jeho obsahem v referenčním materiálu

Referenční materiál	Stanovená hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)	Certifikovaná hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)
NIST SRM 1566b Oyster Tissue	0,71 ± 0,05 %	0,65 ± 0,01 %
NIST SRM 1549 Non Fat Milch	1,79 ± 0,195 %	1,69 ± 0,03 %
NIST SRM 1574 Peach Leaves	25110 ± 2621	24330 ± 380

$U$  ... kombinovaná rozšířená nejistota  $k = 2$ ; 95 %

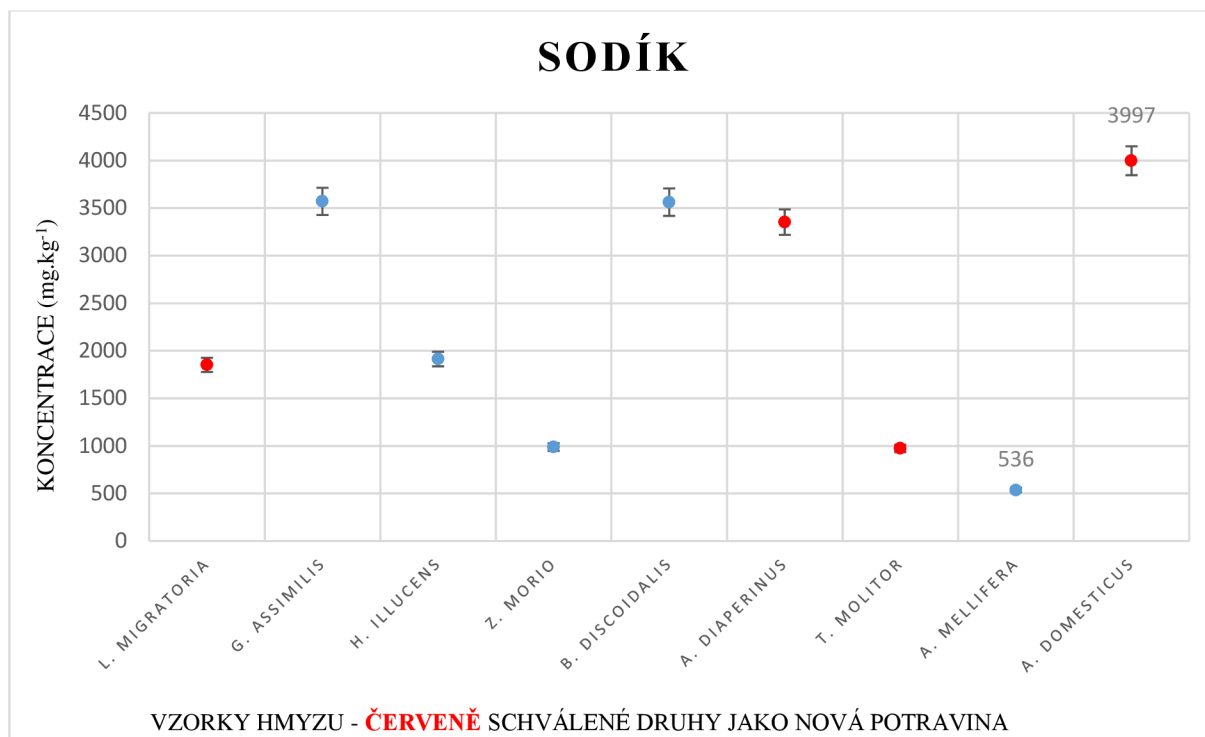
Tabulka 14 deklaruje, že námi stanovené obsahy draslíku v standardních referenčních materiálech souhlasí s jejich certifikovanými hodnotami v rámci nejistoty.

#### 5.1.4 Sodík

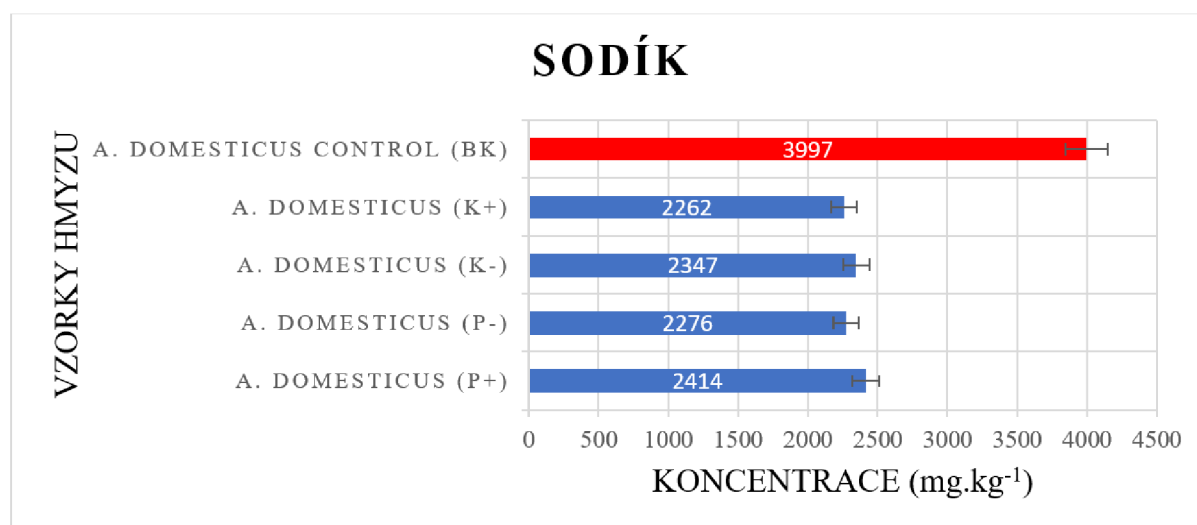
Sodík byl stanoven u všech analyzovaných druhů hmyzu (Graf 7) i u všech vzorků *A. domesticus* (Graf 8). Stanovené koncentrace se u devíti druhů hmyzu pohybovaly v rozmezí od 536 mg.kg<sup>-1</sup> do 3997 mg.kg<sup>-1</sup>. Nejvyšší stanovená koncentrace Na byla naměřena u nové potraviny *A. domesticus*, potažmo u *A. domesticus* control (BK). Tato kontrolní skupina *Achet* je v grafu 8 zvýrazněna červenou barvou.

Chybové úsečky v grafech 7 a 8 opět udávají rozšířenou kombinovanou nejistotu ( $k = 2$ )  $U$ , odhadnutou úhrnem na 2 %.

V tabulce 15 lze porovnat námi stanovené koncentrace Na ve dvou referenčních materiálech s jejich certifikovanými hodnotami. Námi naměřené hodnoty souhlasí s certifikovanými hodnotami v rámci nejistoty.



**Graf 7** Stanovená koncentrace Na v hmyzu aktivační analýzou



BK ... (control) 100 % výkrm pro brojlerová kuřata

K+ ... 84 % pšenice; 15 % sójový extrahovaný šrot; 1 % BK výkrm

K- ... 85,5 % pšenice; 14,5 % sójový extrahovaný šrot

P- ... 15 % kvasinky *Torula*; 50 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky

P+ ... 16 % kvasinky *Torula*; 48 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky; 1 % BK výkrm

**Graf 8** Stanovená koncentrace Na ve vzorcích *A. domesticus* dle typu krmiva

**Tabulka 15** Porovnání stanovených koncentrací Na s jeho obsahem v referenčním materiálu

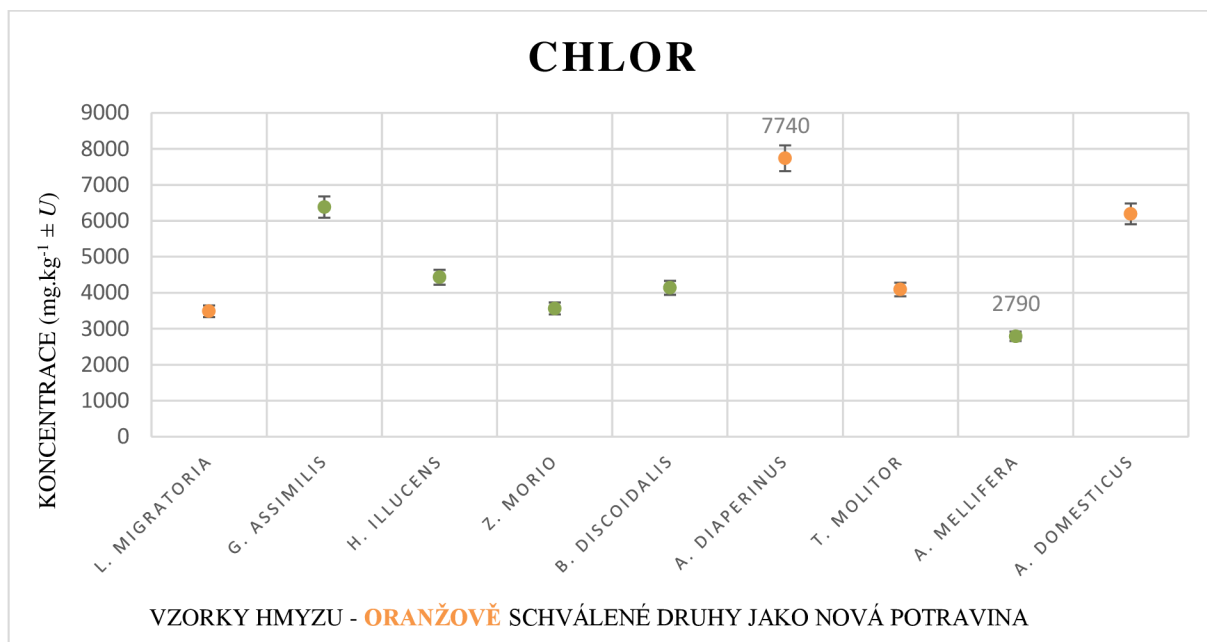
Referenční materiál	Stanovená hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)	Certifikovaná hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)
NIST SRM 1566b Oyster Tissue	0,30 ± 0,01 %	0,33 ± 0,01 %
CRPG CNRS GSN Granite	3,55 ± 0,15 % Na <sub>2</sub> O	3,77 ± 0,05 % Na <sub>2</sub> O

U ... kombinovaná rozšířená nejistota k = 2; 95 %

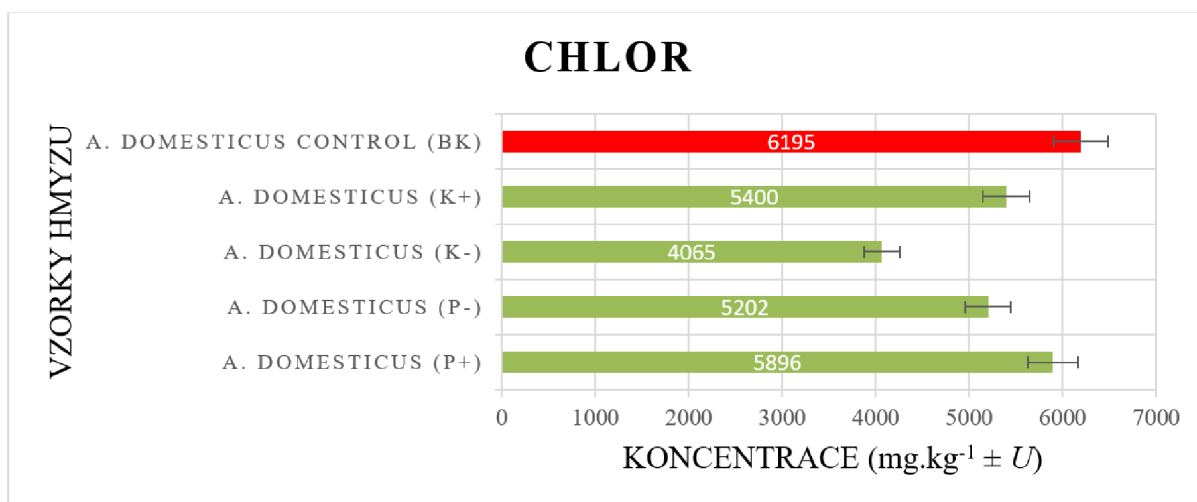


### 5.1.5 Chlor

Chlor byl stanoven u všech analyzovaných druhů hmyzu (viz Graf 9). Stanovené koncentrace se pohybovaly v rozmezí od 2790–7740 mg.kg<sup>-1</sup>. Nejvíce chloru bylo stanoveno v druhu *A. diaperinus*, který se nachází na seznamu nových potravin (hmyzí druhy v současnosti zařazené na seznamu nových potravin jsou v grafu 9 odlišeny oranžovou barvou).



**Graf 9** Stanovená koncentrace Cl v hmyzu aktivační analýzou



BK ... (control) 100 % výkrm pro brojlerová kuřata

K+ ... 84 % pšenice; 15 % sójový extrahovaný šrot; 1 % BK výkrm

K- ... 85,5 % pšenice; 14,5 % sójový extrahovaný šrot

P- ... 15 % kvasinky *Torula*; 50 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky

P+ ... 16 % kvasinky *Torula*; 48 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky; 1 % BK výkrm

**Graf 10** Stanovená koncentrace Cl ve vzorcích *A. domesticus* dle typu krmiva

Rozšířené ( $k = 2$ ) kombinované nejistoty  $U$  (dané statistikou měření aktivity a nejistotou z dalších zdrojů, odhadnuté úhrnem na 2 %) jsou v grafech 9 a 10 vyjádřeny jako chybové úsečky.

**Tabulka 16** Porovnání stanovených koncentrací Cl s jeho obsahem v referenčním materiálu

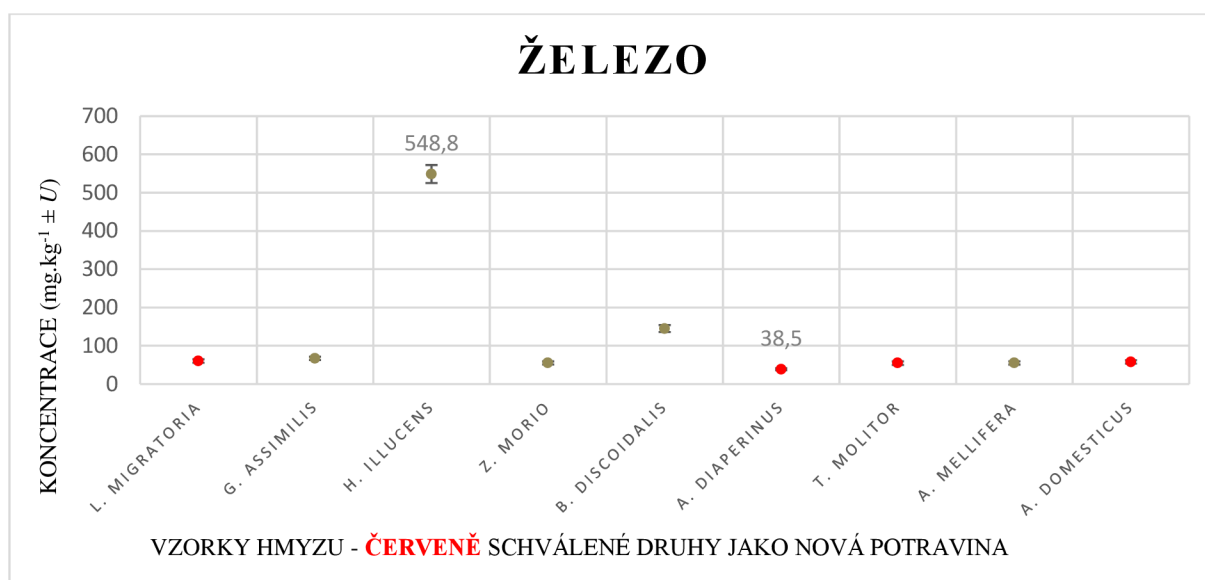
Referenční materiál	Stanovená hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)	Certifikovaná hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)
NIST SRM 1549 Non Fat Milch	1,05 ± 0,05 %	1,09 ± 0,02 %
NIST SRM 1574 Peach Leaves	323 ± 15,9	361 ± 14

U ... kombinovaná rozšířená nejistota k = 2; 95 %

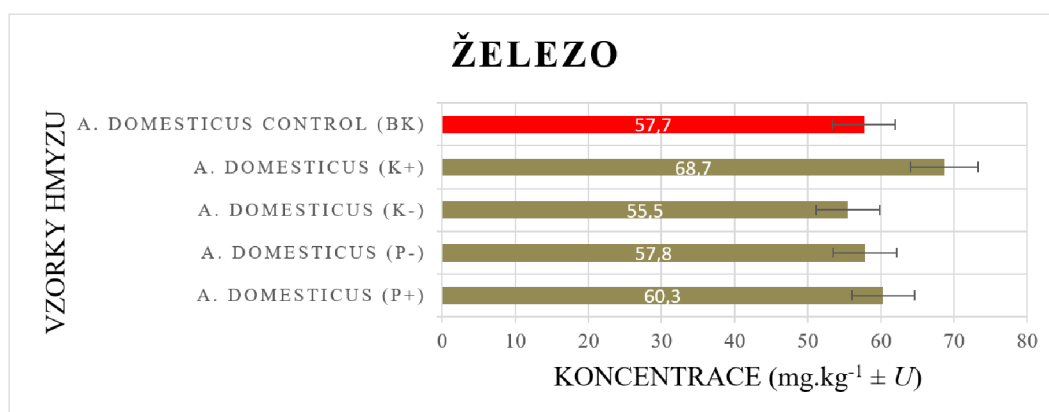
Námi stanovené koncentrace Cl v referenčních materiálech, uvedené v tabulce 16, jsou v souladu s jejich certifikovanými hodnotami v rámci stanovených nejistot.

### 5.1.6 Železo

Železo bylo stanoveno ve všech analyzovaných druzích hmyzu. Stanovený obsah Fe se pohyboval v rozmezí od 38,5–548,8 mg.kg<sup>-1</sup> (Graf 11). Graf 12 udává koncentrace Fe stanovené mezi vzorky *A. domesticus* chovaných na odlišné dietě. Kontrolní vzorek *Achet* je v grafu 12 zvýrazněn červeně a nejvyšší obsah Fe byl zaznamenán u skupiny K<sup>-</sup>.



**Graf 11** Stanovená koncentrace Fe v hmyzu aktivační analýzou



BK ... (control) 100 % výkrm pro brojlerová kuřata

K+ ... 84 % pšenice; 15 % sójový extrahovaný šrot; 1 % BK výkrm

K- ... 85,5 % pšenice; 14,5 % sójový extrahovaný šrot

P- ... 15 % kvasinky *Torula*; 50 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky

P+ ... 16 % kvasinky *Torula*; 48 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky; 1 % BK výkrm

**Graf 12** Stanovená koncentrace Fe ve vzorcích *A. domesticus* dle typu krmiva

**Tabulka 17** Porovnání stanovených koncentrací Fe s jeho obsahem v referenčním materiálu

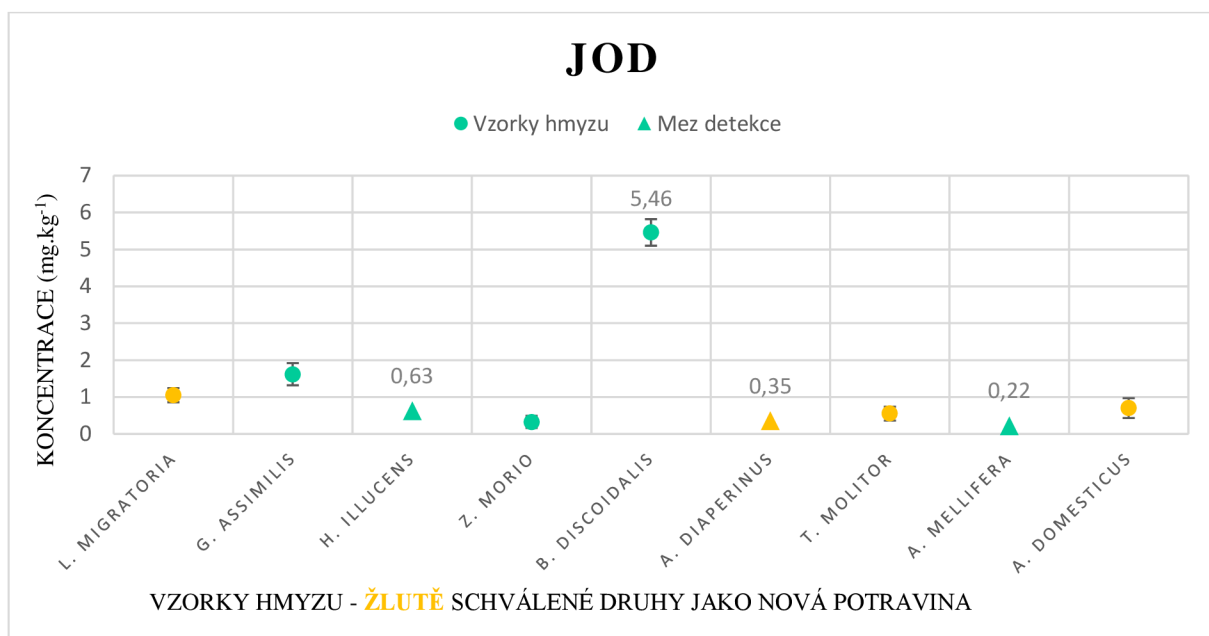
Referenční materiál	Stanovená hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)	Certifikovaná hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)
NIST SRM 1548a Typical Diet	36,1 ± 3,12	35,3 ± 3,77
NIST SRM 1566b Oyster Tissue	195 ± 14	205 ± 6,80
CRPG CNRS GSN Granite	3,63 ± 0,01 % Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	3,75 ± 0,04 % Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T

U ... kombinovaná rozšířená nejistota k = 2; 95 %

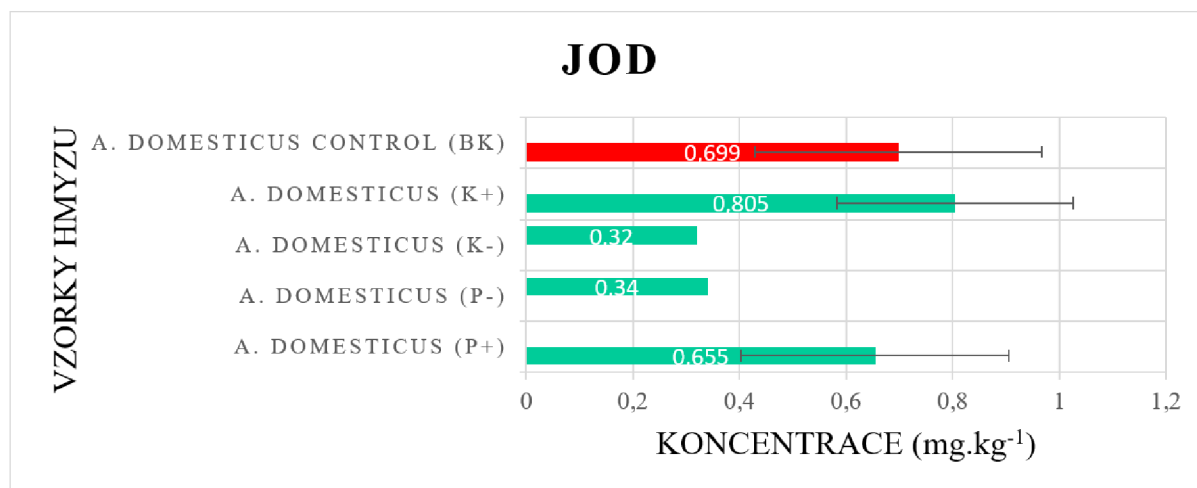
Chybové úsečky v grafech 11 a 12 znázorňují rozšířenou (k = 2) kombinovanou nejistotu U danou statistikou měření aktivity a nejistotou z dalších zdrojů (vážení, fluktuace ozařovací a měřicí geometrie, aj.) odhadnutou úhrnem na 2 %. Námi stanovené koncentrace Fe ve třech referenčních materiálech jsou v souladu s jejich certifikovanými hodnotami v rámci stanovených nejistot (Tabulka 17).

### 5.1.7 Jod

Jod se podařilo stanovit pouze u 6 analyzovaných druhů hmyzu z devíti (Graf 13). U tří druhů (*H. illucens*, *A. diaperinus* a *A. mellifera*) byla koncentrace jodu nižší než jejich detekční limit. Mez detekce jodu byla pro zmiňované druhy 0,63 mg.kg<sup>-1</sup>, 0,35 mg.kg<sup>-1</sup> a 0,22 mg.kg<sup>-1</sup>. Stanovené koncentrace jodu se mezi druhy hmyzu pohybovaly v rozmezí od 0,326–5,46 mg.kg<sup>-1</sup>. Nejvyšší obsah jodu byl detekován u *B. discoidalis*.

**Graf 13** Stanovená koncentrace jodu v hmyzu aktivační analýzou

U vzorků *A. domesticus* lišících se typem krmné směsi se podařilo stanovit obsah jodu pouze u 3 vzorků z pěti viz graf 14. U vzorků *A. domesticus* K<sup>-</sup> a P<sup>-</sup> byla koncentrace jodu nižší než mez detekce. Detekční limit byl 0,32 mg.kg<sup>-1</sup> pro *A. domesticus* K<sup>-</sup> a 34 mg.kg<sup>-1</sup> pro *A. domesticus* P<sup>-</sup>. Kombinovaná rozšířená nejistota U (k = 2; 95 %) je znázorněna v grafech 13 a 14 ve formě chybových úseček. V tabulce 18 je uvedeno porovnání stanovených koncentrací jodu ve dvou referenčních materiálech s jejich obsahem v příslušných certifikátech. Námi stanovené hodnoty jsou v souladu s certifikovanými hodnotami v rámci nejistot.



BK ... (control) 100 % výkrm pro brojlerová kuřata

K+ ... 84 % pšenice; 15 % sójový extrahovaný šrot; 1 % BK výkrm

K- ... 85,5 % pšenice; 14,5 % sójový extrahovaný šrot

P- ... 15 % kvasinky *Torula*; 50 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky

P+ ... 16 % kvasinky *Torula*; 48 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky; 1 % BK výkrm

**Graf 14** Stanovená koncentrace jodu ve vzorcích *A. domesticus* dle typu krmiva

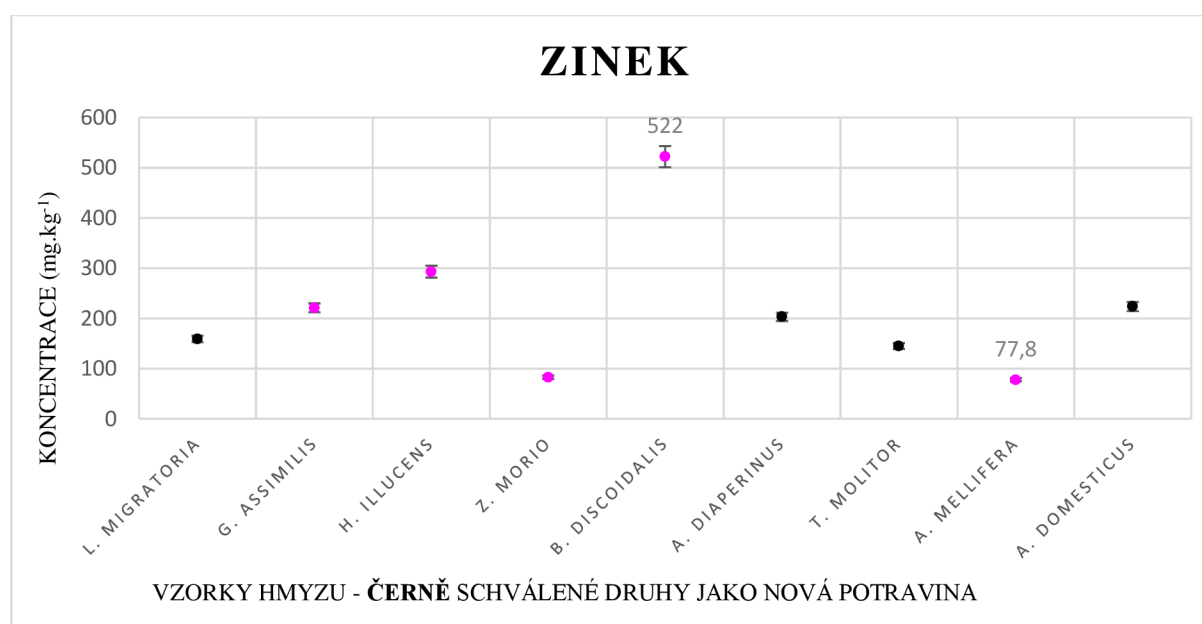
**Tabulka 18** Porovnání stanovených koncentrací jodu s jeho obsahem v referenčním materiálu

Referenční materiál	Stanovená hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)	Certifikovaná hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)
NIST SRM 1549 Non Fat Milch	3,78 ± 0,53	3,38 ± 0,02
NIST SRM 1574 Peach Leaves	0,47 ± 0,24	Inf. 0,3

U ... kombinovaná rozšířená nejistota k = 2; 95 %

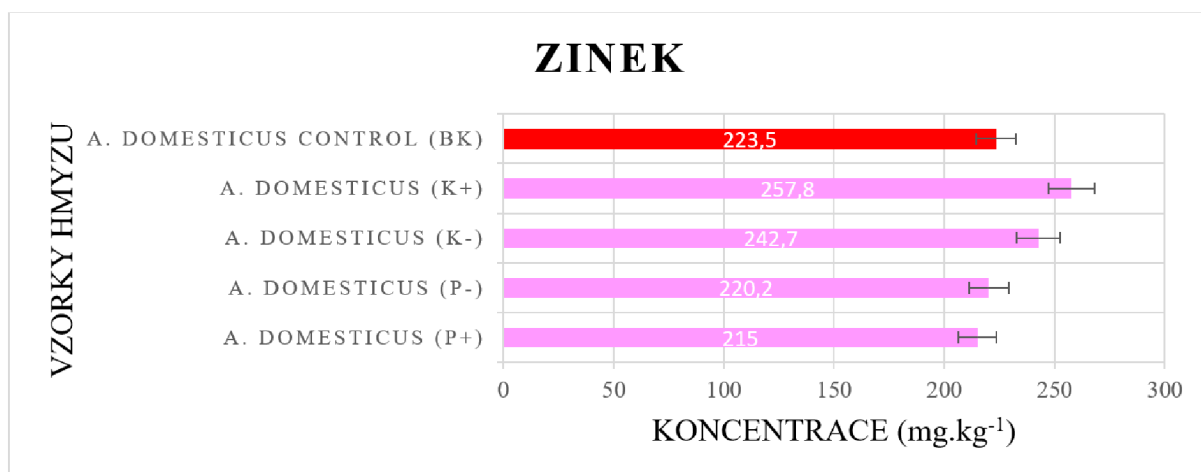
### 5.1.8 Zinek

Zinek byl stanoven u všech devíti analyzovaných druhů hmyzu v koncentracích v rozmezí od 77,8–522 mg.kg<sup>-1</sup>. Nejvyšší koncentrace Zn byla zjištěna u *B. discoidalis*, jak je znázorněno v grafu 15.



**Graf 15** Stanovená koncentrace Zn v hmyzu aktivační analýzou

Stanovené obsahy Zn v analyzovaných vzorcích *A. domesticus*, které byly krmeny různými krmivly, jsou prezentovány na grafu 16. Koncentrace Zn se v těchto vzorcích pohybovala v rozmezí 215 až 257,8 mg.kg<sup>-1</sup>. Nejvyšší hodnota Zn byla zaznamenána ve vzorku označeném jako *A. domesticus* K<sup>+</sup>.



BK ... (control) 100 % výkrm pro brojlerová kuřata

K+ ... 84 % pšenice; 15 % sójový extrahovaný šrot; 1 % BK výkrm

K- ... 85,5 % pšenice; 14,5 % sójový extrahovaný šrot

P- ... 15 % kvasinky *Torula*; 50 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky

P+ ... 16 % kvasinky *Torula*; 48 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky; 1 % BK výkrm

**Graf 16** Stanovená koncentrace Zn ve vzorcích *A. domesticus* dle typu krmiva

**Tabulka 19** Porovnání stanovených koncentrací Zn s jeho obsahem v referenčním materiálu

Referenční materiál	Stanovená hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)	Certifikovaná hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)
NIST SRM 1548a Typical Diet	29,90 ± 1,26	24,60 ± 1,79
NIST SRM 1566b Oyster Tissue	1361 ± 54,5	1429 ± 46
CRPG CNRS GSN Granite	50,30 ± 2,18	48 ± 3,30

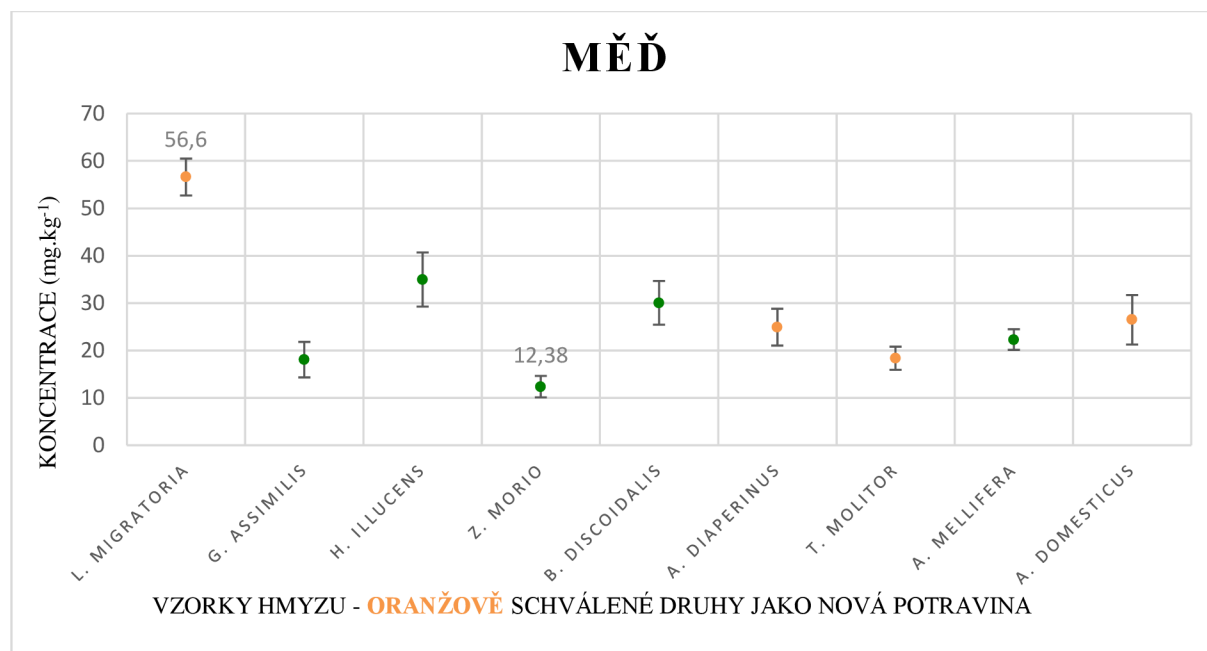
U ... kombinovaná rozšířená nejistota k = 2; 95 %

Chybové úsečky ilustrují rozšířenou kombinovanou nejistotu *U* s koeficientem k = 2, která zahrnuje jak statistické nejistoty měření aktivity, tak nejistoty z jiných zdrojů (např. vážení), s celkovým odhadem 2 % (Graf 15 a 16). Koncentrace Zn, které jsme naměřili v referenčních materiálech (Tabulka 19) jsou v souladu s certifikovanými hodnotami, přičemž se vešly do předem definovaných rozsahů nejistot.

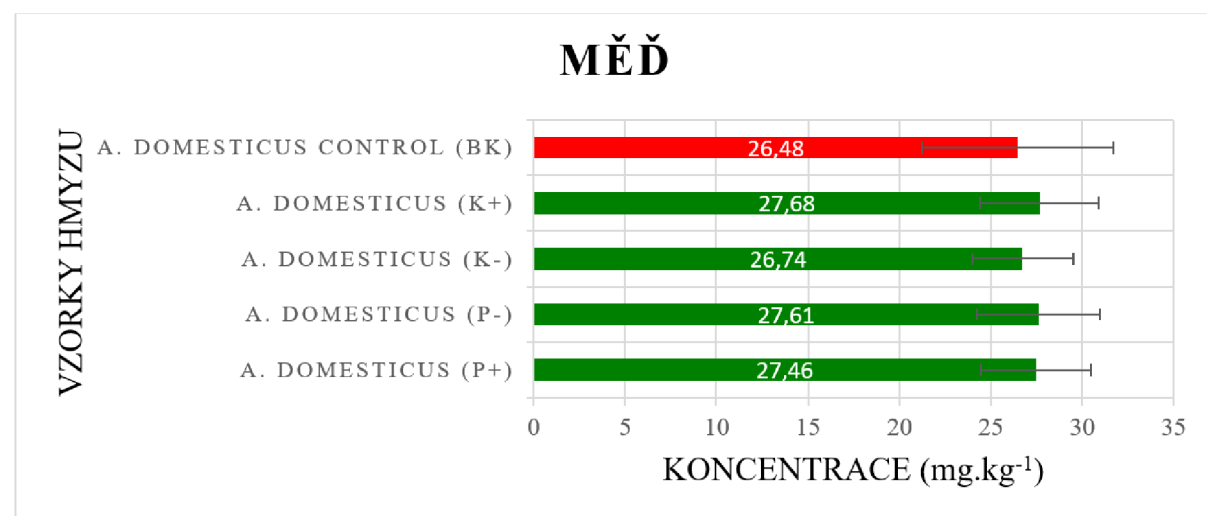
### 5.1.9 Měď

Měď byla analyzována u všech devíti druhů hmyzu. Stanovené koncentrace se pohybovaly v rozmezí od 12,38–56,60 mg.kg<sup>-1</sup>. *Locusta migratoria* obsahovala nejvyšší koncentraci Cu (Graf 17). V Grafu 18 lze vidět, že i ve všech pěti odlišných vzorcích cvrčků byla koncentrace Cu stanovena, konkrétně v rozmezí od 26,48 mg.kg<sup>-1</sup> v *A. domesticus* control (cvrčci krmení neobohacenou krmnou směsí) do 27,68 mg.kg<sup>-1</sup> v *A. domesticus* K<sup>+</sup> (krmná směs sestávající se z 84 % pšenice, 15 % sójového extrahovaného šrotu a 1% přídatku klasické směsi pro výkrm brojlerových kuřat). V obou grafech jsou zobrazené chybové úsečky, které udávají kombinovanou rozšířenou nejistotu *U* (s koeficientem rozšíření k = 2 a úrovní spolehlivosti 95 %) zahrnující statistické nejistoty měření aktivity i nejistoty z jiných zdrojů.

Naše výsledky měření obsahu mědi ve dvou různých referenčních materiálech odpovídají koncentracím Cu uvedeným v certifikátech těchto referenčních materiálů (Tabulka 20).



**Graf 17** Stanovená koncentrace Cu v hmyzu aktivační analýzou



BK ... (control) 100 % výkrm pro brojlerová kuřata

K+ ... 84 % pšenice; 15 % sójový extrahovaný šrot; 1 % BK výkrm

K- ... 85,5 % pšenice; 14,5 % sójový extrahovaný šrot

P- ... 15 % kvasinky *Torula*; 50 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky

P+ ... 16 % kvasinky *Torula*; 48 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky; 1 % BK výkrm

**Graf 18** Stanovená koncentrace Cu ve vzorcích *A. domesticus* dle typu krmiva

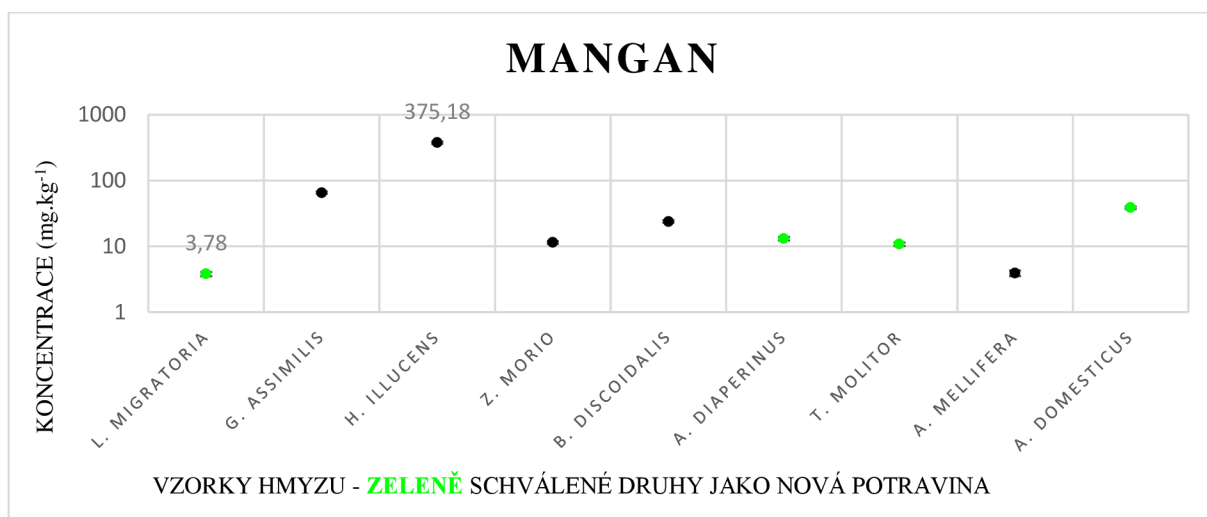
**Tabulka 20** Porovnání stanovených koncentrací Cu s jeho obsahem v referenčním materiálu

Referenční materiál	Stanovená hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)	Certifikovaná hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)
NIST SRM 1566b Oyster Tissue	69,20 ± 10,70	71,60 ± 1,60
NIST SRM 1574 Peach Leaves	4,61 ± 2,07	3,75 ± 0,37

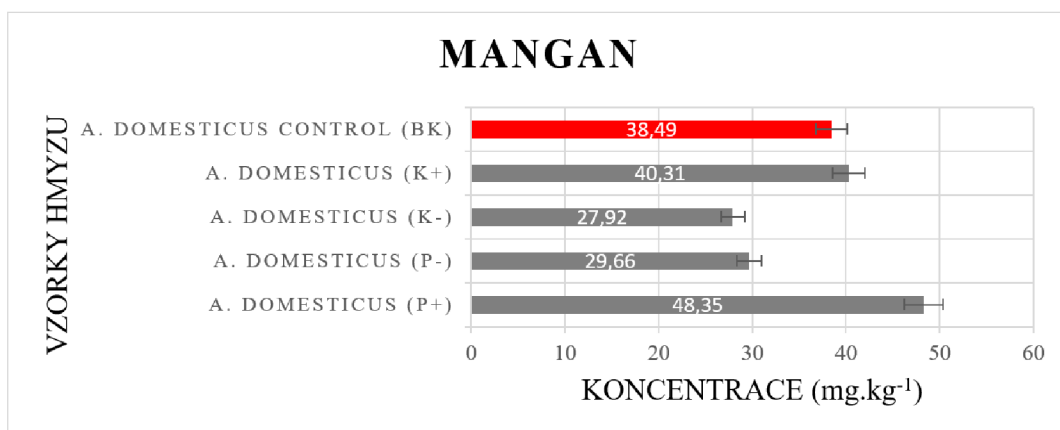
U ... kombinovaná rozšířená nejistota k = 2; 95 %

### 5.1.10 Mangan

Mangan byl detekován ve všech analyzovaných hmyzích druzích s koncentracemi v rozmezí od 3,78–375,18 mg.kg<sup>-1</sup>. Jak je patrné z grafu 19, nejvyšší stanovenou koncentrací Mn mezi druhy dominovala moucha bráněnka (*H. illucens*). Pro lepší vizualizaci stanovených hodnot bylo v grafu 19 využito logaritmického měřítka (log<sub>10</sub>). Mezi odlišnými vzorky cvrčků, chovaných na různých krmných směsích, obsahoval vzorek *A. domesticus* P<sup>+</sup> nejvyšší koncentraci Mn, a to 48,35 mg.kg<sup>-1</sup> (Graf 20). Krmná směs P<sup>+</sup> se skládala z 16 % kvasinek *Torula*, 48 % sušeného pivovarského mláta, 35 % sušených jablečných výlisků a 1 % výkrmu pro brojlerová kuřata. Grafy 19 a 20 také obsahují chybové úsečky, které znázorňují kombinovanou rozšířenou nejistotu *U* (k = 2) s úrovní spolehlivosti 95 %. *U* zahrnuje statistické nejistoty měření aktivity i nejistoty z dalších zdrojů. Kontrola kvality provedené analýzy byla zajištěna souběžným měřením koncentrace Mn ve dvou referenčních materiálech viz tabulka 21. V tabulce 21 je vidět, že námi stanovené koncentrace Mn se v rámci nejistot pohybovaly v rozmezí certifikovaných hodnot.



**Graf 19** Stanovená koncentrace Mn v hmyzu aktivační analýzou



BK ... (control) 100 % výkrm pro brojlerová kuřata

K+ ... 84 % pšenice; 15 % sójový extrahovaný šrot; 1 % BK výkrm

K- ... 85,5 % pšenice; 14,5 % sójový extrahovaný šrot

P- ... 15 % kvasinky *Torula*; 50 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky

P+ ... 16 % kvasinky *Torula*; 48 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky; 1 % BK výkrm

**Graf 20** Stanovená koncentrace Mn ve vzorcích *A. domesticus* dle typu krmiva

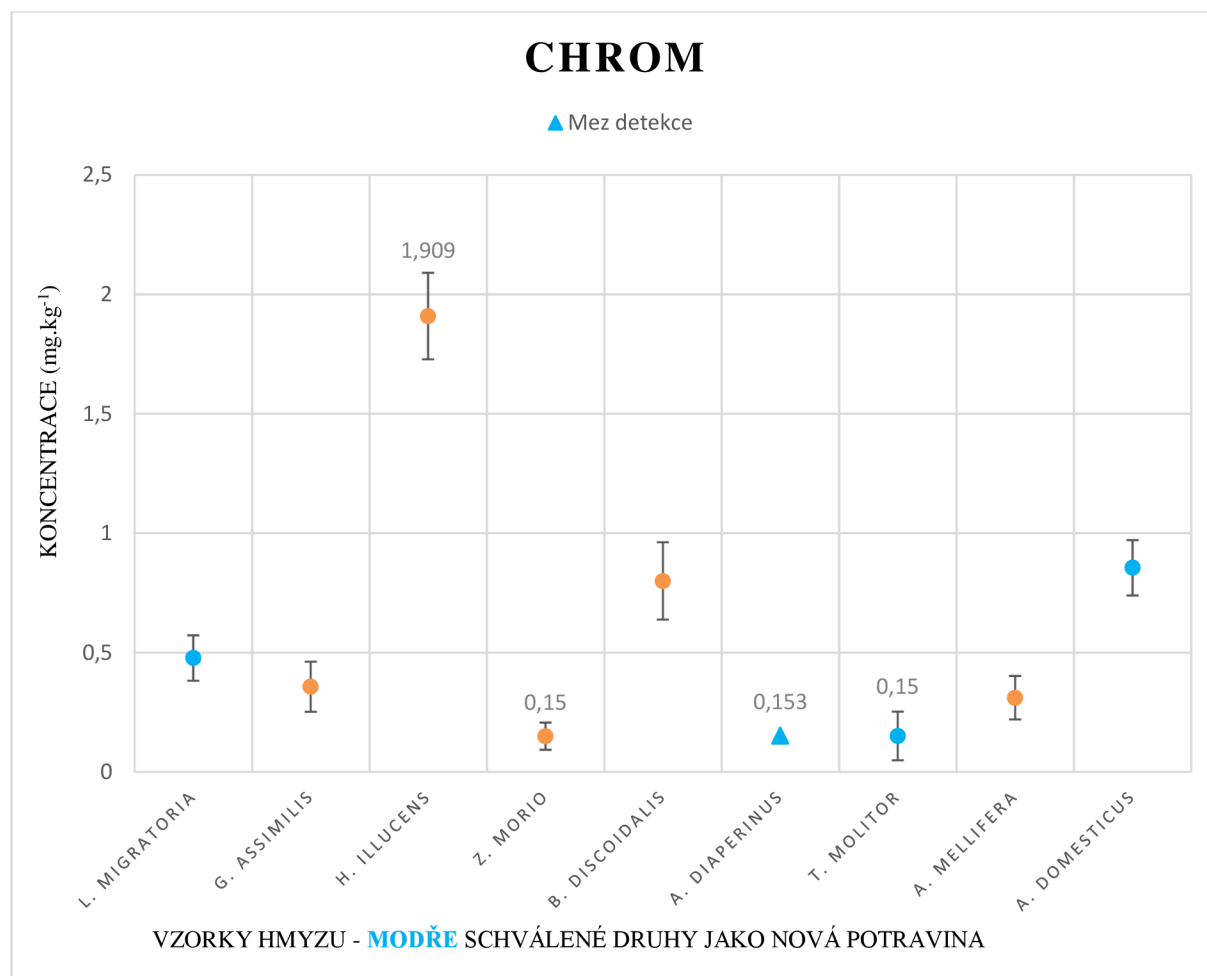
**Tabulka 21** Porovnání stanovených koncentrací Mn s jeho obsahem v referenčním materiálu

Referenční materiál	Stanovená hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)	Certifikovaná hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)
NIST SRM 1566b Oyster Tissue	17,90 ± 0,94	18,5 ± 0,20
NIST SRM 1574 Peach Leaves	92,6 ± 3,84	97,8 ± 1,8

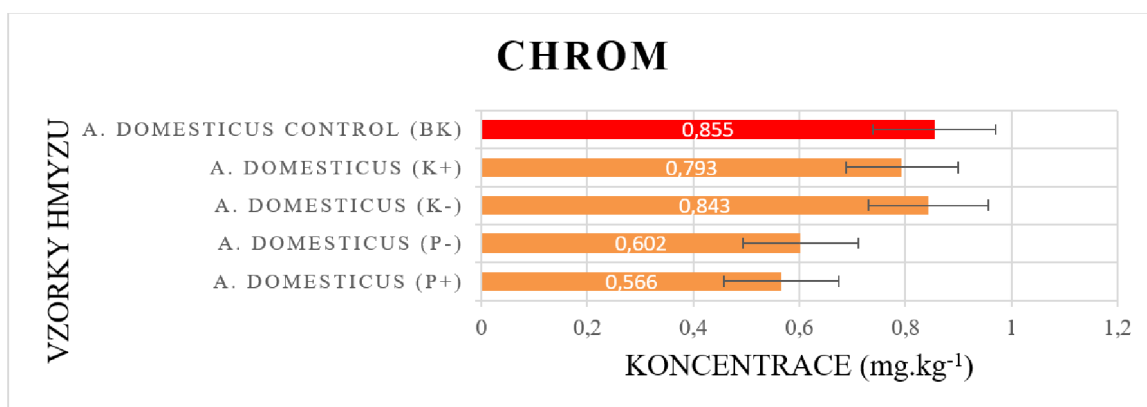
U ... kombinovaná rozšířená nejistota k = 2; 95 %

### 5.1.11 Chrom

Koncentrace Cr byla stanovena u všech hmyzích druhů s výjimkou *A. diaperinus*. U tohoto druhu byla stanovená koncentrace Cr nižší než detekční limit 0,153 mg.kg<sup>-1</sup>. Stanovené koncentrace se u zbylých hmyzích druhů pohybovaly v rozmezí od 0,15–1,91 mg.kg<sup>-1</sup> viz graf 21. Nejvyšší zaznamenaný obsah Cr byl u *H. illucens*. Graf 22 prezentuje údaje o koncentracích Cr ve vzorcích pěti skupin cvrčků domácích, které byly krmeny rozdílnými dietami. Kontrolní skupina, označená jako „*A. domesticus* control BK“ a zvýrazněná červenou barvou, byla krmena směsí obsahující výhradně krmivo pro brojler. Tato skupina vykazovala nejvyšší zjištěnou koncentraci Cr, a to 0,855 mg.kg<sup>-1</sup>. Kombinovaná rozšířená nejistota U (k = 2, 95 %) je v grafech zřetelná ve formě chybových úseček. Kvalitativní analýza byla zajištěna současným stanovením obsahu Cr ve dvou referenčních materiálech. Námi stanovené koncentrace Cr se v rámci nejistot nacházely v certifikovaných rozmezích viz tabulka 22.

**Graf 21** Stanovená koncentrace Cr v hmyzu aktivační analýzou





BK ... (control) 100 % výkrm pro brojlerová kuřata

K+ ... 84 % pšenice; 15 % sójový extrahovaný šrot; 1 % BK výkrm

K- ... 85,5 % pšenice; 14,5 % sójový extrahovaný šrot

P- ... 15 % kvasinky *Torula*; 50 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky

P+ ... 16 % kvasinky *Torula*; 48 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky; 1 % BK výkrm

**Graf 22** Stanovená koncentrace Cr ve vzorcích *A. domesticus* dle typu krmiva

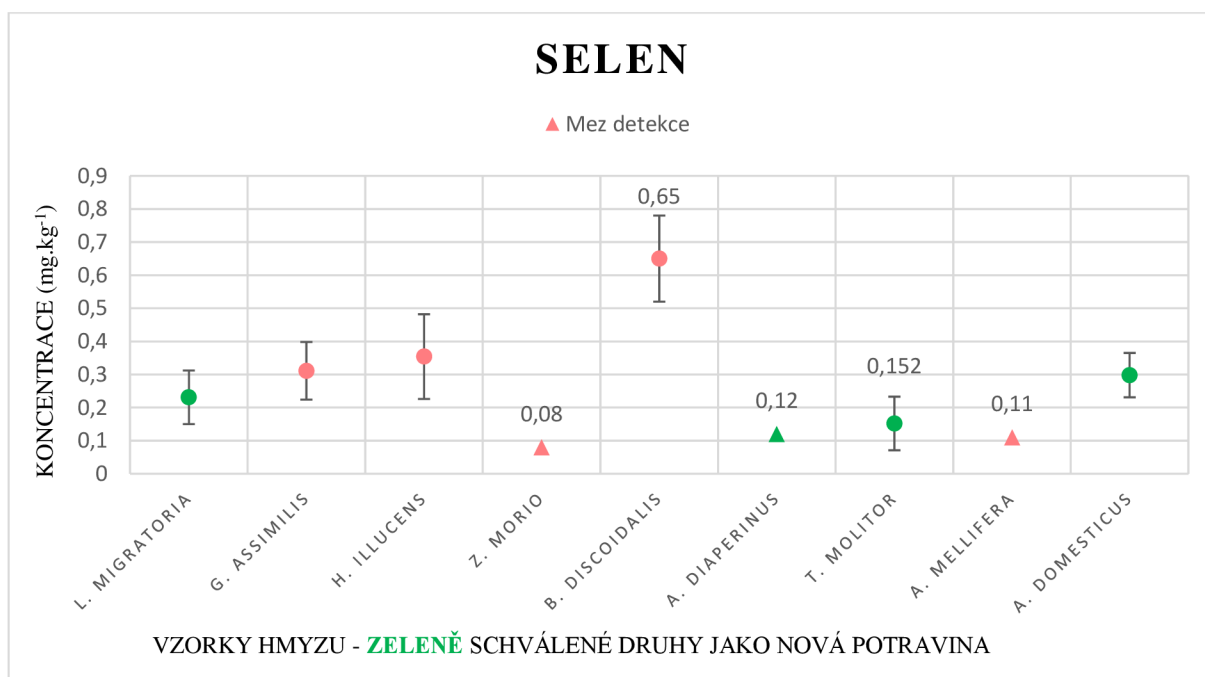
**Tabulka 22** Porovnání stanovených koncentrací Cr s jeho obsahem v referenčním materiálu

Referenční materiál	Stanovená hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)	Certifikovaná hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± U)
CRPG CNRS GSN Granite	53,98 ± 2,23	55 ± 4

U ... kombinovaná rozšířená nejistota k = 2; 95 %

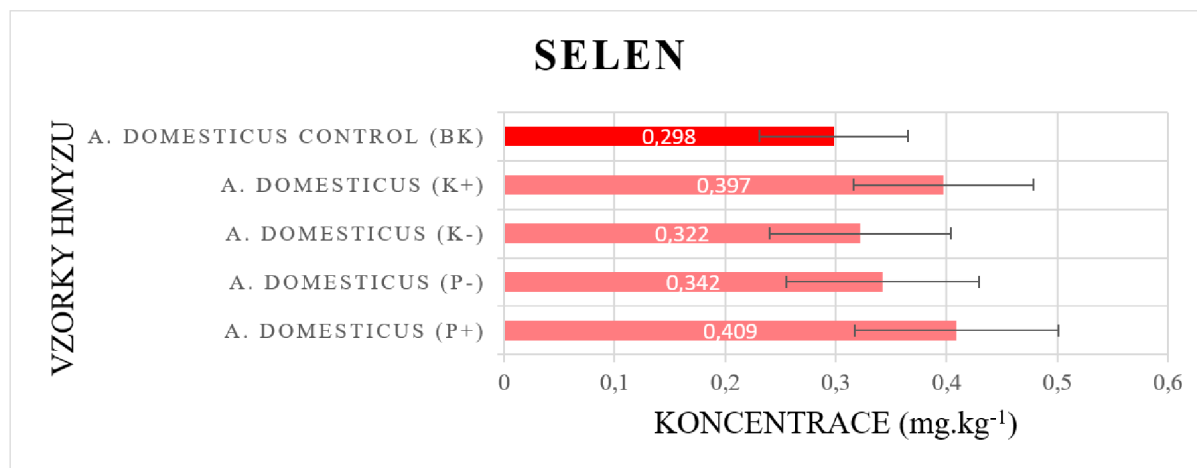
#### 5.1.12 Selen

Selen byl stanoven u šesti druhů hmyzu z devíti (Graf 23). U tří druhů (*Z. morio*, *A. diaperinus* a *A. mellifera*) byly koncentrace Se nižší než příslušné detekční limity 0,08 mg.kg<sup>-1</sup>, 0,12 mg.kg<sup>-1</sup> a 0,11 mg.kg<sup>-1</sup>. Detekční limity jsou v grafu 23 symbolizovány pomocí trojúhelníků. Stanovené koncentrace Se se u zbylých druhů pohybovaly v rozmezí od 0,152–0,650 mg.kg<sup>-1</sup>. Nejvíce Se obsahoval vzorek *B. discoidalis*.



**Graf 23** Stanovená koncentrace Se v hmyzu aktivační analýzou

Graf 24 zobrazuje zjištěné koncentrace Se ve vzorcích *A. domesticus*, které byly krmeny různými druhy krmiva. Z grafu je zřejmé, že nejvyšší koncentraci Se obsahoval vzorek *A. domesticus* P<sup>+</sup>, s hodnotou 0,409 mg.kg<sup>-1</sup>. Složení krmné směsi P<sup>+</sup> bylo následovní: 16 % kvasinky *Torula*, 48 % sušené pivovarské mláto, 35 % sušené jablečné výlisky a 1 % výkrm brojlerových kuřat. Chybové úsečky udávají rozšířenou (k = 2) kombinovanou nejistotu *U* danou statistikou měření aktivity a nejistotou z dalších zdrojů (vážení, fluktuace ozařovací a měřicí geometrie, aj.) odhadnutou úhrnem na 2 %.



BK ... (control) 100 % výkrm pro brojlerová kuřata

K+ ... 84 % pšenice; 15 % sójový extrahovaný šrot; 1 % BK výkrm

K- ... 85,5 % pšenice; 14,5 % sójový extrahovaný šrot

P- ... 15 % kvasinky *Torula*; 50 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky

P+ ... 16 % kvasinky *Torula*; 48 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky; 1 % BK výkrm

**Graf 24** Stanovená koncentrace Se ve vzorcích *A. domesticus* dle typu krmiva

V tabulce 23 je uvedena námi stanovená koncentrace Se v referenčním materiálu. Hodnota se shoduje s certifikovanou hodnotou uvnitř definovaného rozsahu nejistoty měření.

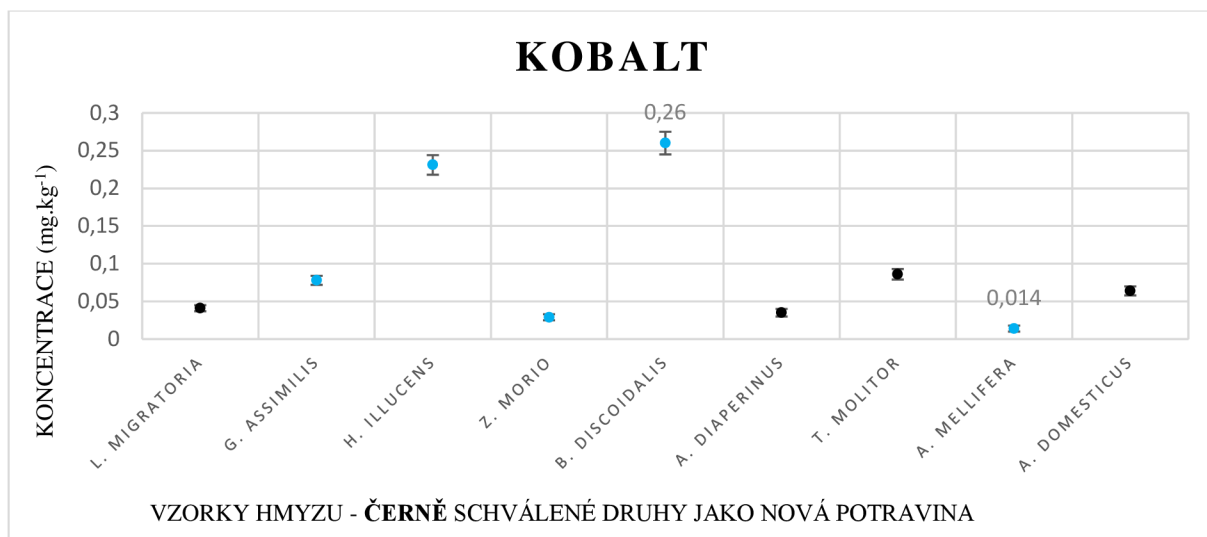
**Tabulka 23** Porovnání stanovených koncentrací Se s jeho obsahem v referenčním materiálu

Referenční materiál	Stanovená hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± <i>U</i> )	Certifikovaná hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± <i>U</i> )
NIST SRM 1566b Oyster Tissue	1,86 ± 0,14	2,06 ± 0,15

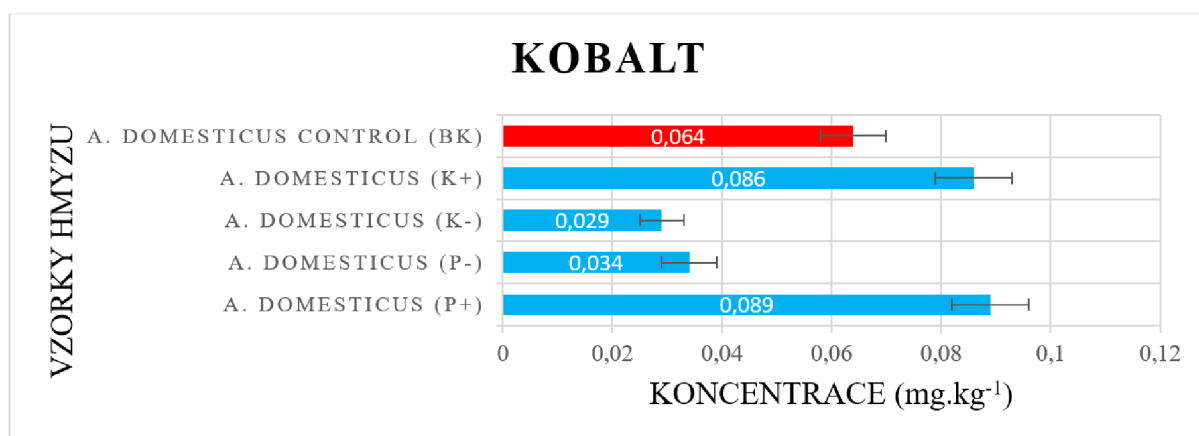
*U* ... kombinovaná rozšířená nejistota k = 2; 95 %

### 5.1.13 Kobalt

Kobalt byl stanoven u všech analyzovaných druhů hmyzu (viz Graf 25). Stanovené koncentrace Co se ve vzorcích pohybovaly v rozmezí od 0,014–0,260 mg.kg<sup>-1</sup>. Vzorek *B. discoidalis* vykazoval nejvyšší obsah Co mezi druhy hmyzu, a to 0,26 mg.kg<sup>-1</sup>. Nejvyšší hodnotu Co mezi cvrčky krmenými odlišným krmivem zaznamenal vzorek krmený směsí označenou jako P<sup>+</sup>, a to 0,089 mg.kg<sup>-1</sup> (Graf 26). Tato krmná směs se skládala z 16 % kvasinek rodu *Torula*, 48 % sušeného pivovarského mláta, 35 % sušených jablek a 1 % výkrmu pro brojlerová kuřata. Kontrolní skupina krmená směsí skládající se výhradně z výkrmu pro brojlerová kuřata je odlišena od modifikovaných směsí červenou barvou.



**Graf 25** Stanovená koncentrace Co v hmyzu aktivační analýzou



BK ... (control) 100 % výkrm pro brojlerová kuřata

K+ ... 84 % pšenice; 15 % sójový extrahovaný šrot; 1 % BK výkrm

K- ... 85,5 % pšenice; 14,5 % sójový extrahovaný šrot

P- ... 15 % kvasinky *Torula*; 50 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky

P+ ... 16 % kvasinky *Torula*; 48 % sušené pivovarské mláto; 35 % sušené jablečné výlisky; 1 % BK výkrm

**Graf 26** Stanovená koncentrace Co ve vzorcích *A. domesticus* dle typu krmiva

Chybové úsečky viditelné v grafu 25 a 26 udávají rozšířenou ( $k = 2$ ) kombinovanou nejistotu  $U$  danou statistikou měření aktivity a nejistotou z dalších zdrojů (vážení, fluktuace ozařovací a měřicí geometrie, aj.) odhadnutou úhrnem na 2 %.

Souběžná analýza tří standardních referenčních materiálů zajišťovala kvalitu zjištěných dat, resp. stanovených koncentrací Co ve vzorcích hmyzu. Z tabulky 24 je patrné, že námi stanovené hodnoty koncentrace Co jsou v referenčních materiálech v souladu s jejich certifikovanými hodnotami v rámci stanovených nejistot.

**Tabulka 24** Porovnání stanovených koncentrací Co s jeho obsahem v referenčním materiálu

Referenční materiál	Stanovená hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± $U$ )	Certifikovaná hodnota (mg.kg <sup>-1</sup> ± $U$ )
NIST SRM 1548a Typical Diet	0,04 ± 0,01	Inf. 0,028
NIST SRM 1566b Oyster Tissue	0,356 ± 0,02	0,37 ± 0,01
CRPG CNRS GSN Granite	65 ± 3	65 ± 4

$U$  ... kombinovaná rozšířená nejistota  $k = 2$ ; 95 %

## 5.2 Statistické a početní vyhodnocení

Hypotéza, že hmyz je významným zdrojem makro- a mikroprvků a může být zajímavým zdrojem nutrientů ve výživě lidí byla vyhodnocena díky přepočtu námi stanovených koncentrací prvků na denní referenční hodnotu příjmu (RHP). RHP ukazuje kolik % stanovená koncentrace prvku představuje z denního doporučeného příjmu (DDP) pro příslušný prvek v jedné porci. Vypočtené RHP v tabulce 25 jsou uvedeny ve 100 g porci pro průměrnou dospělou osobu s denním energetickým příjmem 8400 kJ (2000 kcal). Přepočet koncentrací prvků na RHP byl proveden na základě tohoto vztahu: Stanovená koncentrace prvku (střední hodnota) ve vzorku ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) byla převedena na obsah prvku (mg) v jedné 100 g porci. Následně byla koncentrace prvku ( $\text{mg}/100 \text{ g}$ ) vydělena denní referenční hodnotou příjmu pro daný prvek dle Nařízení evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1169/2011 ze dne 25. října 2011 o poskytování informací o potravinách spotřebitelům. Poslední krok bylo vynásobení stem, tedy převedení na procenta.

**Tabulka 25** Referenční hodnoty příjmu jednotlivých prvků v procentech (%) v jedné 100 g porci sušeného hmyzu

	Ca	Mg	Cl	Fe	Zn	Cu	Mn	I	Se	Cr
<i>A. domesticus</i>	13,5	25,0	77,4	41,2	223,5	264,8	192,5	46,0	52,7	215,0
<i>A. diaperinus</i>	7,3	56,5	96,8	27,5	203,0	249,2	65,2	–	–	–
<i>A. mellifera</i>	6,8	26,9	34,9	39,3	77,8	223,0	19,5	–	–	77,5
<i>B. discoidalis</i>	21,9	38,6	51,7	103,6	522,0	300,5	119,2	364,0	118,2	200,0
<i>G. assimilis</i>	23,8	28,5	79,8	47,9	221,0	180,7	326,4	108,0	56,4	90,0
<i>H. illucens</i>	259,7	159,5	55,4	391,4	293,0	349,7	1875,0	–	63,6	477,5
<i>L. migratoria</i>	10,5	19,2	43,6	42,9	159,0	566,0	18,9	70,0	41,8	120,0
<i>T. molitor</i>	5,4	71,9	51,1	38,9	145,0	183,6	53,8	36,7	27,3	37,5
<i>Z. morio</i>	8,0	29,8	44,6	39,2	82,8	123,8	57,2	22,0	–	37,5

– ... referenční hodnoty příjmu (RHP) nevypočítány, k dispozici byl pouze detekční limit

RHP jsou uvedeny pro průměrného dospělého člověka s denním energetickým příjmem 8400 kJ/2000 kcal.

Pro statistické ověření hypotézy „Obsah prvků v hmyzu je závislý na jeho výživě.“ bylo provedeno testování v programu IBM SPSS Statistics. Použitým testovaným druhem pro vyhodnocení zmíněného předpokladu bylo pět nezávislých skupin *A. domesticus*. K výpočtům byla použita získaná data (střední hodnoty) uvedená v tabulce 10.

Před aplikací samotné metody (ANOVA) i její neparametrické obdoby bylo nutné ověřit několik základních předpokladů. Prvním krokem bylo zjištění, zda mají data normální rozdělení. To bylo ověřováno pomocí Kolmogorovova-Smirnovova testu a Shapirovova-Wilkova testu (Tabulka 26), které ukázaly, že data nesplňují předpoklad o normálním rozdělení, což bylo důvodem pro zamítnutí nulové hypotézy o normálním rozdělení dat. Další nezbytnou podmínkou byla nezávislost náhodných chyb, což bylo zajištěno zvolenou metodikou výběru dat. Jednotlivé skupiny cvrčků na sobě nebyly nijak závislé. Každá skupina byla chována odděleně a krmena svým, příslušným krmivem.

Posledním testovaným předpokladem byla homogenita (shoda) rozptylů, ověřována pomocí Leveneho testu (Tabulka 27). Výsledky tohoto testu ukázaly, že rozptyly byly s určitou mírou spolehlivosti (95 %) shodné, proto bylo možné tento předpoklad potvrdit.

**Tabulka 26** Statistický test normality rozdělení náhodných veličin (IBM SPSS Statistics)

### TESTY NORMALITY

Skupiny cvrčků s odlišným krmivem		Kolmogorovův–Smirnovův test <sup>a</sup>			Shapiroův-Wilkův test		
		Statistika	df	Sig.	Statistika	df	Sig.
PRVKY	<i>A. domesticus</i> P <sup>+</sup>	0,341	13	<0,001	0,553	13	<0,001
(Ca, Mg,	<i>A. domesticus</i> P <sup>-</sup>	0,357	13	<0,001	0,536	13	<0,001
K, Na, Cl,	<i>A. domesticus</i> K <sup>-</sup>	0,350	13	<0,001	0,527	13	<0,001
Fe, I, Zn,	<i>A. domesticus</i> K <sup>+</sup>	0,321	13	<0,001	0,542	13	<0,001
Cu, Mn,	<i>A. domesticus</i> control (BK)	0,356	13	<0,001	0,620	13	<0,001
Cr, Se, Co)							

a ... Lillieforsova korekce významnosti

df ... stupně volnosti

H<sub>0</sub>: Data mají normální rozdělení.

$\alpha = 0,05$

$p < \alpha$

H<sub>0</sub> se zamítá na hladině významnosti  $\alpha$  (0,05 i 0,01) ... nelze tedy předpokládat, že data pocházejí z normálního rozdělení.

**Tabulka 27** Statistický test homogenity rozptylů (IBM SPSS Statistics)

### Ověření shody rozptylů

		Leveneho statistický test	df <sub>1</sub>	df <sub>2</sub>	Sig.
PRVKY (Ca,	Na základě střední hodnoty (průměr)	0,028	4	60	0,998
Mg, K, Na, Cl,	Na základě mediánu	0,010	4	60	1,000
Fe, I, Zn, Cu,	Na základě mediánu a stupňů volnosti (df)	0,010	4	58,777	1,000
Mn, Cr, Se, Co)	Na základě ořezaného průměru	0,021	4	60	0,999

H<sub>0</sub>:  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2$

$p = 0,998$

$p > \alpha$

H<sub>0</sub> se nezamítá na hladině významnosti  $\alpha$  (0,05 i 0,01) – „předpoklad splněn“

Vzhledem k nesplnění základního předpokladu bylo rozhodnuto aplikovat neparametrickou obdobu analýzy rozptylu, konkrétně Kruskal-Wallisův test (Tabulka 28 a Tabulka 29). Hlavní výhodou této metody je, že nevyžaduje splnění předpokladu o normálním rozdělení. Použití klasické ANOVA by mohlo vést k nepřesným závěrům. Stanovená nulová hypotéza – H<sub>0</sub>: Není rozdíl v obsahu prvků mezi jednotlivými cvrčky. Výsledkem testu bylo zjištění, že nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v obsahu prvků mezi jednotlivými cvrčky (mezi cvrčky chovanými na odlišném typu krmiva).

**Tabulka 28** Souhrn Kruskalův-Wallisův test (IBM SPSS Statistics)

**Souhrn testu hypotézy**

Nulová hypotéza	Test	Sig. <sup>a, b</sup>	Závěr
Obsah prvků (Ca, Mg, K, Na, Cl, Fe, I, Zn, Cu, Mn, Cr, Se, Co) je stejný mezi odlišně krmenými skupinami <i>A. domesticus</i>	Kruskalův-Wallisův test pro nezávislé vzorky	0,997	Nulová hypotéza se nezamítá

a ... hladina významnosti  $\alpha$  je 0,050

b ... zobrazuje se asymptotická významnost

p = 0,997

p >  $\alpha$  ...  $H_0$  se nezamítá na hladině významnosti  $\alpha$  (0,05 i 0,01) – „předpoklad splněn“

**Tabulka 29** Kruskalův-Wallisův test pro nezávislé vzorky (IBM SPSS Statistics)

**Nezávislé vzorky Kruskalův-Wallisův Test**

Celkem N	65
Testovací statistika	0,162 <sup>a</sup>
Stupně volnosti (degrees of freedom – df)	4
Asymptotická Sig. (2-stranný test)	0,997

a ... testovací statistika byla upravena, aby zohlednila případy, kdy v datech existují remízy

Testovací statistika H = 0,162

p = 0,997

p >  $\alpha$  =  $H_0$  se nezamítá na hladině významnosti  $\alpha$  (0,05 i 0,01) – „předpoklad splněn“

Nebyl prokázán rozdíl obsahu prvků mezi jednotlivými cvrčky.

Výše uvedenými metodami sice nemohl být statistický rozdíl ve výsledném prvkovém složení prokázán, nicméně z grafu č. 6 (pro draslík) a 24 (pro selen) bylo patrné, že koncentrace těchto dvou prvků byly u všech obohacených krmiv ( $K^+$ ,  $K^-$ ,  $P^+$  a  $P^-$ ) mnohem vyšší než u kontrolní skupiny – chované na komerční směsi BK určené pro výkrm brojlerových kuřat. Z tohoto důvodu byla u těchto prvků provedena indexní analýza (Tabulka 30 a 31), kterou byla stanovena relativní změna prvkového složení oproti kontrolní skupině *A. domesticus* control. Pro draslík byly relativní indexy následující: pro skupinu  $P^+$  126,2 %;  $P^-$  125,1 %;  $K^-$  117,2 % a u  $K^+$  131,9 %. Pro selen byla relativní změna následující:  $P^+$  141 %;  $P^-$  117,2 %;  $K^-$  110,3 % a 137,9 % u  $K^+$ . Výpočty indexních analýz byly provedeny v programu MS Excel 2016.

**Tabulka 30** Indexní analýza pro K v rozdílných *A. domesticus* (IBM SPSS Statistics)

	P+	P-	K-	K+	Control = BK
<b>Koncentrace K v <i>A. domesticus</i> dle krmné směsi</b>	14533	14407	13492	15190	11514
<b>iq</b>	3019	2893	1978	3676	
<b>iΔ</b>	1,262	1,251	1,172	1,319	

iq ... absolutní ukazatel

iΔ ... index (relativní změnu lze vyjádřit po vynásobení 100 v procentech)

**Tabulka 31** Indexní analýza pro Se v rozdílných *A. domesticus* (IBM SPSS Statistics)

	P+	P-	K-	K+	Control = BK
<b>Koncentrace Se v <i>A. domesticus</i> dle krmné směsi</b>	0,409	0,34	0,32	0,4	0,29
<b>iq</b>	0,119	0,05	0,03	0,11	
<b>iΔ</b>	1,410	1,172	1,103	1,379	

iq ... absolutní ukazatel

iΔ ... index (relativní změnu lze vyjádřit po vynásobení 100 v procentech)

Z grafu 8 bylo naopak patrné, že všechny skupiny cvrčků krmené alternativním krmivem měly výrazně nižší koncentraci Na. Proto byla indexní analýza provedena i pro tento prvek. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 32 a naznačují pokles koncentrací sodíku u všech „alternativních“ skupin (P<sup>+</sup>, P<sup>-</sup>, K<sup>-</sup> a K<sup>+</sup>) cvrčků oproti prvkovému složení kontrolní skupiny *A. domesticus* control. Relativní změna byla vypočtena 60,4 % u skupiny P<sup>+</sup>, 56,9 % u P<sup>-</sup> 58,7 % u K<sup>-</sup> a 56,6 % u skupiny K<sup>+</sup>.

**Tabulka 32** Indexní analýza pro Na v rozdílných *A. domesticus* (IBM SPSS Statistics)

	P+	P-	K-	K+	Control = BK
<b>Koncentrace Na v <i>A. domesticus</i> dle krmné směsi</b>	2414	2276	2347	2262	3997
<b>iq</b>	-1583	-1721	-1650	-1735	
<b>iΔ</b>	0,604	0,569	0,587	0,566	

iq ... absolutní ukazatel

iΔ ... index (relativní změnu lze vyjádřit po vynásobení 100 v procentech)

## 6 Diskuze

Jedlý hmyz se ukazuje jako slibná alternativa ke konvenčním živočišným bílkovinám a může hrát klíčovou roli v řešení globálních výzev potravinové bezpečnosti (Kouřimská & Adámková 2016). Poukazováno je také na to, že některé druhy hmyzu mají poměrně vysoký obsah minerálních látek, jako jsou Fe, Ca, Zn, Mg a další, což přitahuje pozornost vědecké komunity, která usiluje o hlubší pochopení jeho potenciálních přínosů a případných rizik pro lidské zdraví a výživu (Araújo et al. 2019; Costa et al. 2020; Toti et al. 2020). V rámci této práce jsme se proto zaměřili na detailní prvkové analýzy devíti druhů hmyzu, přičemž pouze čtyři druhy (*Tenebrio molitor*, *Acheta domesticus*, *Locusta migratoria* a *Alphitobius diaperinus*) se v současné době nacházejí na seznamu nových potravin (EC 2021a; 2021b; 2022b; 2023a). Dva druhy (trubci *Apis mellifera* a *Hermetia illucens*) čekají na zařazení na tento seznam (EC 2023b) a přesná a podrobná prvková analýza by mohla významným způsobem přispět k větší informovanosti ohledně možných dietních přínosů těchto druhů hmyzu pro člověka. Zbýlé tři druhy (*Zophobas morio*, *Gryllus assimilis* a *Blaberus discoidalis*) představují budoucí potenciál pro vědeckou činnost v oblasti výživy člověka.

Rešeršní činností v této práci bylo zjištěno, že nejčastějšími analytickými metodami uplatňovanými při prvkových analýzách námi studovaných druhů hmyzu byla hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS), atomová absorpční spektrometrie (AAS), optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES), atomová emisní spektroskopie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-AES) a (FAAS) plamenová atomová absorpční spektrometrie (Tabulka 4, 5 a 6). Koncentrace námi sledovaných makro- a mikroprvků v jedlém hmyzu se v literatuře různí. Rozdílný obsah prvků může být způsoben řadou faktorů, jako jsou druh hmyzu (Kulma et al. 2020; Aydoğan et al. 2021), pohlaví hmyzu (Kulma et al. 2019), podmínky chovu (Bjørge et al. 2018), životní fáze sklizeného analyzovaného hmyzu (Kouřimská & Adámková 2016), či použitá analytická metoda. Výsledný obsah minerálů v hmyzu může být ovlivněn i způsobem kulinárního zpracování (Lachmanová 2023).

V rámci této diplomové práce dochází k průlomovému využití jaderných analytických metod, konkrétně neutronové aktivační analýzy (INAA) a fotonové aktivační analýzy (IPAA), pro prvkovou analýzu hmyzu určeného pro výživu lidí a zvířat. Tyto metody byly v oblasti analytiky hmyzu doposud využity jen omezeně, přestože mají široké uplatnění například v geologii (Krausová et al. 2015) nebo při analýze biologických vzorků (Witkowska et al. 2005; Krausová et al. 2007; Abrefah et al. 2011; Krausová et al. 2014; Messaoudi et al. 2018). Showler et al. (2006) studoval obsah vzácného zemského prvku, samaria (Sm), jakožto markeru pohybu a distribuce u bavlníkového škůdce květopasa bavlníkového (*Anthonomus grandis*). Zmiňované metody však umožňují zjištění širokého spektra makro- a mikroprvkových koncentrací ve vzorcích. V našem výzkumu jsme se zaměřili na prvkovou analýzu druhů hmyzu, pro které dosud nebyly tyto pokročilé analytické techniky využity. Studie tak přispívá k rozšíření poznatků o prvkovém složení hmyzu a jeho potenciálním využití ve stravě. Hlavní výhodou použitých metod byl zejména nedestruktivní charakter a možnost současně stanovit mnoho chemických prvků (Řanda 1976), jenž by se musely stanovit vícero analytickými metodami (viz Tabulka 4, 5 a 6), které jsou většinou destruktivní. Metodou INAA a IPAA se podařilo stanovit obsahy Ca, Cl, Co, Cr, Cu, Fe, I, K, Mg, Mn, Na, Se a Zn. Spolu se vzorky



hmyzu byly analyzovány standardní referenční materiály s certifikovanými hodnotami pro studované prvky. Koncentrace stanovených prvků jsou ve shodě s certifikovanými hodnotami v rámci jejich nejistot. Prvky jako I, Cr, Se a Co byly jinými autory stanoveny jen omezeně viz tabulka 5 a 6. V diplomové práci se podařilo tyto prvky díky INAA a IPAA stanovit u většiny vzorků. U některých vzorků (jak lze vidět v tabulce 10 a 11) byl u jodu, Se, Cr a Co stanoven pouze detekční limit. Během příprav vzorků pro analýzu, i během samotného ozařování nedošlo k žádným komplikacím (praskání pouzdra, pění obsahu apod.).

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1169/2011 z 25. října 2011 stanovuje, jaké informace o živinách musí být uvedeny na etiketách potravin. Zmíněny jsou i náležitosti pro informovanost ohledně obsahu minerálních látek. Ty mají být vyjádřeny v jednotkách buď na 100 g nebo 100 ml. Uveden by měl být i přepočítaný RHP – denní referenční hodnotu příjmu u průměrné dospělé osoby (Evropský parlament a Rada Evropské unie 2011), který jsme provedli a příslušné hodnoty lze nalézt v tabulce 25. V případě produktů jiných než nápoje, v našem případě sušený hmyz a produkty z něj (hmyzí moučka), jsou hodnoty RHP vyšší jak 15 % považovány za významné z hlediska dietetického přínosu pro člověka. Nejvyšších RHP ze všech druhů dosahovaly larvy mouchy bráněnky (*Hermetia illucens*). Signifikantně vysoké RHP u Ca (259,7 %), Mg (159,5 %), Mn (1875 %) a Fe (391,4 %) u tohoto druhu v porovnání s ostatními druhy by mohly být způsobeny mineralizovanou strukturou jejich exoskeletu, jak uvádí Reborá et al. (2023).

Tabulky 4, 5 a 6 zaznamenávají rozdíly v obsahu minerálů mezi různými druhy hmyzu. Naše výsledky s tímto tvrzením korespondují. U zbylých sledovaných druhů RHP nedosahovaly tak vysokých hodnot jako u mouchy bráněnky. RHP se pro Ca pohybovaly v rozmezí od 5,4 % (*Tenebrio molitor*) do 23,8 % u *Gryllus assimilis*. Námi stanovená koncentrace Ca  $20772 \pm 881 \text{ mg.kg}^{-1}$  se u *H. illucens* v rámci rozpětí shodovala s prací Sadykova et al. (2021), ale byla nižší než hodnota udávaná Janssen et al. (2019). Vysoký obsah Ca ve stravě však není z hlediska lidského zdraví negativní. Vysoký obsah minerálu však nutně neznamená jeho vysokou biodostupnost (Společnost pro výživu 2019). Rozdíly v získaných datech mohou být způsobeny faktory vypsány výše. Skupina cvrčků krměných směsí  $\text{K}^+$  obsahovala více Ca než kontrolní skupina *Achet*. Využití této alternativní krmné směsi by se mohlo za účelem zvýšení obsahu Ca v *Acheta domesticus* zvážit.

Ve srovnání s konvenčními zdroji Mg, jako jsou pšenice (70–150 mg Mg na 100 g) nebo kuřecí maso s obsahem (13–29 mg/100 g), byl námi stanovený obsah Mg např. v larválním stádiu mouchy bráněnky (*Hermetia illucens*) značně vyšší (Pánek & Chrpová 2021). Námi stanovená hodnota Mg u *H. illucens*  $5980 \text{ mg.kg}^{-1}$  odpovídá 598 mg/100 g, což je ve srovnání s kuřecím masem cca dvacetinásobek. Tento významný rozdíl zdůrazňuje potenciál larválního stádia mouchy bráněnky jako vysoce efektivního zdroje Mg ve srovnání s tradičními potravinovými zdroji. Zjištění, že všechny přepočtené koncentrace Mg na RHP překračují 15 % viz tabulka 25, ukazuje, že všech devět sledovaných druhů hmyzu lze považovat za významné zdroje Mg ve výživě lidí.

Společnost pro výživu (2019) zmiňuje, že bohatý příjem K může pomoci snižovat krevní tlak. Sadykova et al. (2021) stanovila u larev *H. illucens* koncentraci K ve výši cca dvakrát nižší ve srovnání s hodnotou  $23198 \text{ mg.kg}^{-1}$  stanovenou našimi metodami. Larvy mouchy bráněnky se živí širokou škálou organických odpadů (Jucker et al. 2017; Wang & Shelomi 2017). Draslík z těchto zdrojů může být jejich organismem absorbován. Při porovnávání stanovených

koncentrací K od různých autorů je tedy důležité zohlednit také typ krmiva, které bylo hmyzu během chovu podáváno (Jucker et al. 2017; Wang & Shelomi 2017; Lievens et al. 2021; Suryati et al. 2023). Dalším zajímavým zjištěním této práce bylo porovnání obsahu K v dospělých *A. domesticus* s obsahem K v komerčně krmeném cvrčkovi *A. domesticus* control. Indexní analýza odhalila (Tabulka 30), že cvrčci krmení alternativními krmivy svou koncentrací K převyšovali kontrolní skupinu o 17,2–31,9 %. Toto zjištění naznačuje možnou závislost výsledného prvkového složení *A. domesticus* na typu krmiva. Ghosh et al. (2020) ve své práci uvádí koncentraci K u trubců *A. mellifera*  $13416 \pm 124,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ . My jsme stanovili obsah K ve stejném živočišném druhu  $14575 \pm 1535 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Přesto, že byly použity odlišné analytické metody a mohlo se lišit i přesné stáří kukel hodnoty spolu korespondují. Pokud námi stanovenou hodnotu K např. u zmiňovaných trubců porovnáme s obsahem K ve vepřovém masu (260–400 mg Mg/100 g) (Pánek & Chrpová 2021), vidíme, že je cca třicet šestkrát vyšší.

Zvýšený příjem Na ve stravě má za následek zvýšené vylučování sodíku močí, což je spojeno s vyšším vylučováním Ca (Společnost pro výživu 2019). Hodně sodíku také podporuje prevalenci vysokého krevního tlaku. Aktuální výživové tendence jsou obsah Na ve stravě spíše snižovat (Společnost pro výživu 2019; Costa et al. 2020). Pozitivním zjištěním této studie bylo, když indexní analýza (Tabulka 32) ukázala, že všechny skupiny *Acheta domesticus* ( $P^+$ ,  $P^-$ ,  $K^-$  a  $K^+$ ) chované na alternativní krmné směsi obsahovaly přibližně o 40 % méně Na ve srovnání s cvrčky krmenými komerčním krmivem určeným pro brojlerová kuřata. Kosečková et al. (2022) uvádí koncentraci Na v dospělých *A. domesticus* 3310–4130  $\text{mg.kg}^{-1}$  v sušině. Pokud tuto hodnotu porovnáme s námi stanoveným obsahem Na ( $3997 \pm 152 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) u stejného druhu hodnoty spolu korespondují. EFSA NDA Panel et al. (2021a) uvádí hodnotu nižší. Potenciální důvody rozdílů v koncentracích jsou uvedeny výše.

Chlor se za použití INAA a IPAA podařilo detekovat ve všech námi sledovaných vzorcích hmyzu (Tabulka 11), což je velkým přínosem, jelikož v impaktovaných článcích nebyla zjištěna relevantní data ohledně obsahu Cl ve stejných druzích hmyzu viz tabulka 4. Jedinou uvedenou hodnotou je koncentrace Cl v *Z. morio* ( $520 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), nicméně Finke (2002) neudává použitou analytickou metodu, a námi zjištěná koncentrace tohoto prvku ve stejném živočišném druhu je velmi odlišná, konkrétně  $3564 \pm 152 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Přepočty na RHP dokazují, že z hlediska přínosu pro lidskou výživu a naplnění denních požadavků organismu na tento prvek jsou hodnoty více než významné u všech devíti druhů. Nejnižší RHP (34,9 %) byla zjištěna u trubců *Apis mellifera*. Naopak nejvyšší RHP dosáhl *Alphitobius diaperinus* (96,8 %), který se nachází na seznamu nových potravin.

V diplomové práci byly provedeny analýzy koncentrací Fe ve zmiňovaných druzích hmyzu. Z tabulky 5 lze usoudit, že koncentrace Fe se v 1 kg sušených druhů hmyzu pohybují v desítkách miligramů. Naše výsledky uvedené v tabulce 11 se s tímto tvrzením shodují. Stanovené koncentrace Fe u všech námi sledovaných druhů hmyzu převyšovaly  $50 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Jediný *G. assimilis* obsahoval „pouze“  $38,5 \pm 2,62 \text{ mg.kg}^{-1}$  Fe. Konzumace všech devíti druhů hmyzu by z hlediska obsahu Fe mohlo významnou měrou přispět k pokrytí denního doporučeného příjmu tohoto důležitého prvku, jak lze vidět v tabulce 25 (až z 391,4 % v případě *H. illucens*). Araújo et al. (2019) uvádí, že cvrček *G. assimilis* a potěmník *Z. morio* mají vyšší obsah Fe, než který je udáván pro vepřové ( $0,89 \text{ mg Fe/100 g}$  sušiny) a kuřecí ( $0,76 \text{ mg Fe/100 g}$  sušiny) maso, ale hodnotám pro maso hovězí ( $3,31 \text{ mg Fe/100 g}$  sušiny) se pouze přibližují. Námi stanovené koncentrace Fe v hmyzu potvrzují informaci, že *G. assimilis* ( $67,1 \pm 4,49$

mg.kg<sup>-1</sup>) a *Z. morio* (54,9 ± 4,11 mg.kg<sup>-1</sup>) v sušině obsahovali více Fe než vepřové a kuřecí maso. V našem případě oba druhy dokonce převyšovaly obsah Fe 3,31 mg/100 g sušiny udávaný pro maso hovězí (Araújo et al. 2019). Van Huis et al. (2013) uvádí obsah Fe v hovězím masu cca 6 mg na 100 g sušiny. Na základě těchto údajů jsme zjistili, že obsah Fe se u většiny námi studovaných druhů hmyzu této hodnotě velmi podobal. Hemolymfa u hmyzu analogicky zastává funkci krve u obratlovců. Zůstává otázkou, z jaké míry je koncentrace Fe v hmyzu ovlivněna mechanismy nakládajícími s Fe v hmyzím organismu (Mehta et al. 2009).

Nejvíce jodu jsme detekovali u *B. discoidalis* v koncentraci 5,46 mg.kg<sup>-1</sup>. Tuto hodnotu bohužel nemůžeme srovnat, jelikož informace jsou v tomto ohledu omezené. V literatuře zveřejněné v impaktovaných časopisech se zatím neobjevuje žádná studie zabývající se prvkovým složením tohoto konkrétního druhu švába (viz Tabulka 5). Jedním z možných vysvětlení této skutečnosti může být předpoklad, že tento druh švába není běžně konzumován lidmi, ani se nevyskytuje na seznamu jedlého hmyzu (Jongema 2017), což může vést k menšímu vědeckému zájmu o jeho chemické složení. Tento druh rovněž vyvolává u lidí značnou averzi, což může další výzkum omezovat (Bednářová et al. 2013). RHP 364 % naznačuje, že má tento druh extrémně vysoký obsah jodu ve srovnání s doporučeným množstvím. U zbylých sledovaných druhů byly RHP v rozmezí od 22–108 %. Požadavky na výživu se liší v závislosti na pohlaví, věku, zdravotním stavu atd. Proto jsou uvedené RHP pouze orientační (Evropský parlament a Rada Evropské unie 2011).

Obsah Zn byl v jedlém hmyzu sledován mnoha autory. Udávané hodnoty v tabulce 5 se v rámci námi stanovených koncentrací Zn a rozmezí udávaných autory shodovaly u druhů *A. domesticus*, *L. migratoria* a *Z. morio*. U druhů *A. diaperinus*, *A. mellifera* a *T. molitor* jsme detekovali mírně zvýšené koncentrace. U *G. assimilis* a *H. illucens* byly námi zjištěné koncentrace výrazně vyšší. Zhodnocení dietetického přínosu bylo provedeno díky přepočtu na RHP viz tabulka 25. U sedmi druhů byla RHP vyšší než 100 % (konkrétně 149–522 %). U dvou druhů dosahoval více jak tři čtvrtin z denní RHP. Mnoho druhů hmyzu je považováno za bohatý zdroj Zn (Van Huis et al. 2013). Hlavní obavou spojenou s nadměrným příjmem Zn není přímá toxicita, ale možný nedostatek mědi, který může vyvolat dlouhodobé užívání vysokých dávek Zn. Tento nedostatek Cu může vést ke zdravotním komplikacím. Symptomy akutní toxicity Zn, jako jsou nevolnost, zvracení, letargie a únava, se obvykle vyskytují jen při extrémně vysokých dávkách, které výrazně přesahují doporučené denní množství (Plum et al. 2010). Z tohoto důvodu bych konzumaci *B. discoidalis* momentálně nedoporučila, protože u něho byla RHP 522 %.

Pro zhodnocení přínosu obsahu mědi ve zmiňovaných 9 druzích hmyzu byly nejprve porovnány hodnoty koncentrací v tabulce 5 publikované ve vědeckých člancích s hodnotami koncentrací stanovených, pro tento účel doposud nevyužitými jadernými analytickými metodami, v této práci (Tabulka 11). Překvapivým zjištěním bylo, že se námi stanovené koncentrace Cu, mimo *B. discoidalis* a *H. illucens*, vyskytovaly v rozmezí koncentrací Cu, stanovených autory v tabulce 5, kteří použili zcela odlišné analytické metody. Obsah Cu je autory u *Hermetiae* uváděn přibližně 2x nižší, než jsme detekovali v této práci. Všechny druhy sledovaného hmyzu se po přepočtu na RHP zdají být významným zdrojem Cu ve výživě člověka, protože RHP byly vyšší než 15 % (Evropský parlament a Rada Evropské unie 2011). Na nutriční přínos jedlého hmyzu z hlediska obsahu Cu upozorňuje i Van Huis et al. (2013).

Analytickými metodami použitými v této diplomové práci se podařilo stanovit obsah Mn u všech zkoumaných druhů, jak lze vidět v tabulce 11. Koncentrace Mn u většiny druhů byly srovnatelné s hodnotami uvedenými různými autory v tabulce 6, což ukazuje na konzistenci výsledků mezi studiemi. Avšak u druhu *B. discoidalis*, i když byl obsah Mn stanoven, nedá se jeho hodnota přímo porovnat s literaturou, jelikož prvková analýza tohoto konkrétního druhu nebyla v předchozích studiích zaznamenána. Pokud námi zjištěné koncentrace Mn v druzích hmyzu porovnáme s významnými potravinovými zdroji Mn, např. s čokoládou (8,9 mg.kg<sup>-1</sup>) a obilovinami (cca 8 mg.kg<sup>-1</sup>) (EFSA NDA Panel et al. 2022b), dospějeme k závěru, že kromě trubců *A. mellifera* a saranče *L. migratoria* všechny sledované druhy hmyzu uváděné koncentrace Mn v čokoládě a v obilovinách v této práci převyšují. Velmi vysoká RHP (např. 1878 % u *H. illucens*) Mn je sice v tomto případě na první pohled znepokojivá, nicméně stravitelnost Mn se udává cca 10 % z celkového přijatého množství (European Food Safety Authority 2013; Martins et al. 2020). Navíc nesmíme zapomínat na to, že hodnota RHP je vypočtena na 100 g porci a běžná porce sušeného hmyzu se udává pětinasobně nižší.

Jedlý sušený hmyz se většinou prodává v baleních po 20 g. Zjištěná poměrně vysoká RHP Cr (477,5 % u *H. illucens*) nás tedy nemusí znepokojovat ani v případě Cr. Problém by mohlo představovat, pokud by se jednalo o koncentraci toxického Cr<sup>+VI</sup> (Pánek & Chrpová 2021). Námi využitá jaderná analytická metoda sice nedokáže provést speciální analýzu, nicméně v biologických materiálech se Cr nalézá převážně v netoxické formě Cr<sup>+III</sup>. V šestimocné podobě se Cr vyskytuje jako environmentální kontaminant např. z průmyslu (Hiller & Leggett 2019), proto se vysoké hodnoty RHP u Cr nemusíme obávat. Informace o obsahu Cr byly v impaktovaných časopisech nalezeny jen u čtyř sledovaných druhů. Uvedené koncentrace Cr v tabulce 6 byly následující: *A. domesticus* (0,13–0,18 mg.kg<sup>-1</sup>), *H. illucens* (1,89 ± 0,03 mg.kg<sup>-1</sup>), *T. molitor* (0,08–0,23 mg.kg<sup>-1</sup>) a 0,12–0,21 mg.kg<sup>-1</sup> u *Z. morio* (Sadykova et al. 2021; Kosečková et al. 2022). Po porovnání s koncentracemi stanovenými INAA a IPAA (Tabulka 11) lze vyvodit, že námi stanovený obsah Cr se shodoval s literaturou, kromě mírně zvýšeného obsahu detekovaného u *A. domesticus*.

Pro selen Evropský parlament a Rada EU (2011) stanovili denní RHP asi 55 µg. Z přepočtů na RHP námi stanovených koncentrací v tabulce 25 lze vyčíst, že u 5 hmyzích druhů byl obsah Se ve 100 g porci sušeného hmyzu sice nižší v porovnání s RHP (pouze 27,3–63,6 %), ale hodnoty jsou přesto považovány za významné, protože převyšují hodnotu 15 % (Evropský parlament a Rada Evropské unie 2011). U *B. discoidalis* přepočtená RHP převyšuje 100 %. Rayman et al. (2008) za dobrý zdroj Se považuje např. ryby s obsahem Se v rozmezí 0,4–4,3 µg.g<sup>-1</sup>. *Blaberus discoidalis* je hlediska obsahu Se přibližně stejně bohatým zdrojem jako zmíněný potravinový zdroj, protože u něj byl detekován obsah Se 0,65 ± 0,13 mg.kg<sup>-1</sup>. Indexní analýza (Tabulka 31) naznačuje, že k dosažení vyššího obsahu selenu u dospělých cvrčků *A. domesticus* by mohly být vhodné alternativní krmné směsi P<sup>+</sup> nebo K<sup>+</sup>. U těchto skupin byl obsah Se o přibližně 40 % vyšší než u kontrolní skupiny.

Kobalt je stopovým prvkem, jehož DDP je cca 2–3 µg/den (Pánek Chrpová 2021), ale jeho denní RHP v Nařízení evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1169/2011 není uvedena (Evropský parlament a Rada Evropské unie 2011). Při zachování pestré stravy se není třeba obávat jeho nedostatku Co. Tabulka 11 dokládá, že se u všech námi sledovaných druhů hmyzu podařilo stanovit koncentrace kobaltu ve stopových množstvích. Naopak v tabulce 6 byl kobalt stanoven pouze v pěti případech (Kosečková et al. 2021; Pastell et al. 2021; Sadykova et al.

2021) za použití čtyř odlišných analytických metod. To dokládá, že sledování chemického, potažmo prvkového složení u hmyzu není ještě tak propracované a sjednocené a monitoring kobaltu v této práci by tyto „vědecké mezery“ mohl pomoci zaplnit. Námi stanovená koncentrace Co  $0,04 \pm 0,004 \text{ mg.kg}^{-1}$  se u *Locusta migratoria* nacházela v rozmezí hodnot  $0,02 \pm 0,08 \text{ mg.kg}^{-1}$  udávaných Sadykova et al. (2021). Koncentrace kobaltu je u *A. domesticus* ( $0,06 \pm 0,01 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) a *Z. morio* ( $0,03 \pm 0,004 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) nepatrně vyšší v porovnání s hodnotami v tabulce 6. Nepatrně rozdílné výsledky přikládám použití odlišných, v našem případě velmi přesných, analytických metod.

Tato diplomová práce prokázala, že cvrček domácí (*A. domesticus*) úspěšně dokončil svůj vývojový cyklus, i když byl odchován na čtyřech modifikovaných dietách ( $K^+$ ,  $K^-$ ,  $P^+$  a  $P^-$ ) sestávajících se v různých poměrech z vedlejších zemědělských produktů, tzn. organického odpadu (sušených jablečných výliskách a sušeném pivovarském mlátu). Všechny diety byly vhodné v tom smyslu, že nedocházelo k výraznému či nepřiměřenému úhynu jedinců či nedokončení vývojového cyklu do stádia imaga (dospělce). Nicméně celková délka chovu, a tedy vývojového cyklu, byla o cca 10 dní delší než na konvenční krmné směsi (BK výkrmu). Doba krmení cvrčků do dospělosti byla u modifikovaných diet prodloužena o zmiňovaných cca 10 dní. Životní cyklus komerčně chovaného cvrčka je závislý na okolní teplotě a dalších faktorech, každopádně se udává cca 60–75 dnů (Odhiambo et al. 2022). Pokud by byl zaznamenáván úbytek krmiva během chovu, dala by se zhodnotit účinnost konverze krmiva jednotlivých skupin cvrčků a případně určit, která z modifikovaných krmných směsí byla v porovnání s klasickou krmnou směsí BK (výkrm brojlerových kuřat) nejefektivnější. Z našich pozorování je jisté, že se alternativní krmné směsi v chovu cvrčka domácího dají využít. Z hlediska udržitelnosti a nakládání s hospodářským (organickým) odpadem lze úpravu krmných směsí u *A. domesticus* zvážit, nicméně musela by se v první řadě zajistit toxikologická a mikrobiologická bezpečnost krmiva. Chov by samozřejmě musel probíhat v kontrolovaných podmínkách. Zároveň by bylo nutné zvážit, zda je ekonomický přínos využití alternativního krmiva pozitivní či negativní, protože sušení zmiňovaných vedlejších produktů by chov hmyzu mohl značně prodražit.

Na základě provedených statistických testů – nejprve testů předpokladů pro danou analýzu a následně K. Wallisova testu bylo zjištěno, že odlišná krmná směs statisticky významným způsobem neovlivňovala prvkové složení u našich dospělců *A. domesticus*. Nicméně toto testování by bylo vhodné provést znovu s větším počtem proměřených vzorků (větším výběrovým statistickým souborem), protože vliv krmné směsi na výsledné nutriční složení jedlého hmyzu je na základě studia vědeckých článků jistý (Finke 2002; van Huis et al. 2013; Kouřimská & Adámková 2016).

## 7 Závěr

Za využití jaderných analytických metod INAA a IPAA bylo stanoveno celkem 13 prvků. Konkrétně se podařilo detekovat tyto makro- a mikroprvky: Ca, Cl, Co, Cr, Cu, Fe, I, K, Mg, Mn, Na, Se a Zn. Díky přepočtu námi stanovených koncentrací prvků na referenční hodnoty příjmu a porovnání s hodnotami uvedenými v Nařízení evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1169/2011 ze dne 25. října 2011 o poskytování informací o potravinách spotřebitelům byla ověřena hypotéza „Hmyz je významným zdrojem makro- a mikroprvků a může být zajímavým zdrojem nutrientů ve výživě lidí.“. Druhou hypotézu „Obsah prvků v hmyzu je závislý na jeho výživě.“ nešlo považovat za potvrzenou a do budoucna je žádoucí pokus zopakovat s větším počtem biologických opakování a za využití většího statistického výběrového souboru. Poslední hypotézu a to „Jaderné analytické metody jsou vhodné pro multielementární analýzu hmyzu jako zástupce biologických materiálů“ lze považovat u všech devíti sledovaných hmyzích druhů (*Acheta domesticus* L., *Alphitobius diaperinus* P., *Apis mellifera* L., *Blaberus discoidalis* Audinet-Serville, *Gryllus assimilis* F., *Hermetia illucens* L., *Locusta migratoria* L., *Tenebrio molitor* L. a *Zophobas morio* F.) z uvedených důvodů za potvrzenou.

Závěrem lze konstatovat, že v kontextu rostoucího zájmu o využití hmyzu jako udržitelného zdroje potravy je klíčové pochopení jeho nutričního složení. Do budoucna by bylo přínosné co nejvíce sjednotit metodiku produkce jedlého hmyzu a ke stanovení prvkového složení použít shodných analytických metod. Vzhledem ke kontroverzním názorům a tvrzením, které jsou spojeny s konzumací hmyzu je nezbytné pokračovat ve výzkumech, aby byly prozkoumány jeho možné přínosy i rizika a vyvráceny mýty spjaté s jeho konzumací. Zajištění bezpečnosti a hygieny v produkci hmyzu je rovněž nezbytné pro minimalizaci rizika kontaminace.

## 8 Literatura

- Abrefah RG, Mensimah E, Sogbadji RBM, Opata NS. 2011. The effects of milling on the corn flour using instrumental neutron activation analysis: A case study of three selected corn millers within Accra metropolis. *Elixir Agriculture* **39**:5000–5003.
- Adámková A, Kouřimská L, Borkovcová M, Kulma M, Mlček J. 2016. Nutritional value of edible coleoptera (*Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* and *Alphitobius diaperinus*) reared in the Czech Republic. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences* **10**:663–671.
- Akhtar Y, Isman MB. 2018. Insects as an Alternative Protein Source. Pages 263–288 in Yada RY, editor. *Proteins in Food Processing, Second Edition*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Sawston, Cambridge.
- Akram M, Munir N, Daniyal M, Egbuna C, Găman MA, Onyekere PF, Olatunde A. 2020. Vitamins and Minerals: Types, Sources and their Functions. Pages 149–172 in Egbuna C, Tupas GD, editors. *Functional Foods and Nutraceuticals*. Springer, Switzerland.
- Aleknavičius D, Markaitytė E, Būdienė J, Blažytė-Čereškienė L, Stanevičienė R, Mozūraitis R, Servienė E. 2023. Can crickets recognise bacterially contaminated feed? *Gryllus assimilis* odour perception of *Escherichia coli*. *Journal of Insects as Food and Feed* **9**:947–954.
- Angelucci E, Cogoni C, Pettinau M, Pilo F, Targhetta C, Zaccheddu F. 2008. Organ damage and iron overload. *Nephrology Reviews* **2**:3–5.
- Araújo RRS, dos Santos Benfca TAR, Ferraz VP, Santos EM. 2019. Nutritional composition of insects *Gryllus assimilis* and *Zophobas morio*: potential foods harvested in Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis* **76**:22–26.
- Aydoğan Z, İncekara Ü, Gürol A. 2021. Two new edible insect species from Ghana and their chemical content evaluation. *International Journal of Tropical Insect Science* **41**:3049–3054.
- Bednářová M, Borkovcová M, Mlček J, Rop O, Zeman L. 2013. Edible insects – species suitable for entomophagy under condition of Czech republic. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* **1**:587–593.
- Bell WJ, Roth LM, Nalepa CA. 2007. *Cockroaches: Ecology, Behavior, and Natural History*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Bosch G, van Zanten HHE, Zamprogna A, Veenenbos M, Meijer NP, van der Fels-Klerx HJ, van Loon JJA. 2019. Conversion of organic resources by black soldier fly larvae: Legislation, efficiency and environmental impact. *Journal of Cleaner Production* **222**:355–363.
- Bjørge JD, Overgaard J, Malte H, Gianotten N, Heckmann LH. 2018. Role of temperature on growth and metabolic rate in the tenebrionid beetles *Alphitobius diaperinus* and *Tenebrio molitor*. *Journal of Insect Physiology* **107**:89–96.
- Bjørklund G, Shanaida M, Lysiuk R, Antonyak H, Klishch I, Shanaida V, Peana M. 2022. Selenium: An Antioxidant with a Critical Role in Anti-Aging. *Molecules*

- 27:6613. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Available from <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/19/6613/htm> (accessed February 2024).
- Blaauw M. 1996. The IRI gamma-ray Catalogue for INAA. Interfaculty Reactor Institute, Delft.
- Buchtová A. 2015. Čeští entomofágové a jejich motivace [BSc. Thesis]. Masarykova univerzita, Brno.
- Cazzola R, della Porta M, Manoni M, Iotti S, Pinotti L, Maier JA. 2020. Going to the roots of reduced magnesium dietary intake: A tradeoff between climate changes and sources. *Heliyon* **6**:e05390.
- Clopton RE. 2011. Redescription of *Protomagalhaensia granulosa* Peregrine, 1970 (Apicomplexa: Eugregarinida: Blabericolidae) Parasitizing the *Discoid Cockroach*, *Blaberus discoidalis* (Dictyoptera: *Blaberidae*). *Comparative Parasitology* **78**:63–72.
- Costa S, Pedro S, Lourenço H, Batista I, Teixeira B, Bandarra NM, Murta D, Nunes R, Pires C. 2020. Evaluation of *Tenebrio molitor* larvae as an alternative food source. *NFS Journal* **21**:57–64.
- Costa-Neto EM, Dunkel FV. 2016. Insects as Food: History, Culture, and Modern Use around the World. Pages 29–60 in Dossey AT, Morales-Ramos JA, Rojas MG, editors. *Insects as Sustainable Food Ingredients*. Elsevier Inc.
- Dobrzyńska M, Drzymała-Czyż S, Woźniak D, Drzymała S, Przystawski J. 2023. Natural Sources of Selenium as Functional Food Products for Chemoprevention. *Foods* **12**:1247. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Available from <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/6/1247/htm> (accessed February 2024).
- Dragojlović D, Đuragić O, Pezo L, Popović L, Rakita S, Tomičić Z, Spasevski N. 2022. Comparison of Nutritional Profiles of Super Worm (*Zophobas morio*) and Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) as Alternative Feeds Used in Animal Husbandry: Is Super Worm Superior?. *Animals* **12**:1277.
- EC (European Commission). 2015. Regulation (EU) No. 2015/2283 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2015 on novel foods, amending Regulation (EU) No 1169/2011 of the European Parliament and of the Council and repealing Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council and Commission Regulation (EC) No 1852/2001. Pages 2–22 in *Official Journal of the European Union*, Strasbourg.
- EC (European Commission). 2017. Regulation (EU) No. 2017/2469 of 20 December 2017 Laying down administrative and scientific requirements for applications referred to in Article 10 of Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council on novel foods. Pages 4–8 in *Official Journal of the European Union*, Brussels.
- EC (European Commission). 2021a. Regulation (EU) No. 2021/882 of 1 June 2021 Authorising the placing on the market of dried *Tenebrio molitor* larva as a novel food under Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council, and



- amending Commission Implementing Regulation (EU) 2017/2470. Pages 1–3 in Official Journal of the European Union, Brussels.
- EC (European Commission). 2021b. Regulation (EU) No. 2021/1975 of 12 November 2021 Authorising the placing on the market of frozen, dried and powder forms of *Locusta migratoria* as a novel food under Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council and amending Commission Implementing Regulation (EU) 2017/2470. Pages 1–3 in Official Journal of the European Union, Brussels.
- EC (European Commission). 2022a. Regulation (EU) No. 2022/169 of 8 February 2022 Authorising the placing on the market of frozen, dried and powder forms of yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food under Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council, and amending Commission Implementing Regulation (EU) 2017/2470. Pages 1–4 in Official Journal of the European Union, Brussels.
- EC (European Commission). 2022b. Regulation (EU) No. 2022/188 of 10 February 2022 Authorising the placing on the market of frozen, dried and powder forms of *Acheta domesticus* as a novel food under Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council, and amending Commission Implementing Regulation (EU) 2017/2470. Pages 1–2 in Official Journal of the European Union, Brussels.
- EC (European Commission). 2023a. Regulation (EU) No. 2023/58 of 5 January 2023 Authorising the placing on the market of the frozen, paste, dried and powder forms of *Alphitobius diaperinus* larvae (lesser mealworm) as a novel food and amending Implementing Regulation (EU) 2017/2470. Pages 1–6 in Official Journal of the European Union, Brussels.
- EC (European Commission). 2023b. Summary of applications and notifications. European Commission. Available from [https://food.ec.europa.eu/safety/novel-food/authorisations/summary-applications-and-notifications\\_en#2015/2283](https://food.ec.europa.eu/safety/novel-food/authorisations/summary-applications-and-notifications_en#2015/2283) (accessed November 2023).
- EFSA NDA Panel et al. 2021a. Scientific Opinion on the Safety of frozen and dried formulations from migratory locust (*Locusta migratoria*) as a Novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. EFSA Journal **19**:6667.
- EFSA NDA Panel et al. 2021b. Scientific Opinion on the Safety of frozen and dried formulations from whole house crickets (*Acheta domesticus*) as a Novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. EFSA Journal **19**:6779.
- EFSA NDA Panel et al. 2022a. Safety of partially defatted house cricket (*Acheta domesticus*) powder as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. EFSA Journal **20**:7258.
- EFSA NDA Panel et al. 2022b. Safety of frozen and freeze-dried formulations of the lesser mealworm (*Alphitobius diaperinus* larva) as a Novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. EFSA Journal **20**:7325.
- EFSA NDA Panel et al. 2022c. Safety of dried yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. EFSA Journal **19**:6343.

- EFSA NDA Panel et al. 2023. Scientific Opinion on the safety of UV-treated powder of whole yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. EFSA Journal **21**:8009.
- EFSA Scientific Committee. 2015. Scientific Opinion on a risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. EFSA Journal **13**:4257.
- Erwin TL. 1982. Tropical forests: their richness in *Coleoptera* and other arthropod species. The Coleopterists Bulletin **36**:74–75.
- EURACHEM. 2012. Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. CITAC, UK.
- European Food Safety Authority. 2013. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for manganese. EFSA Journal **11**:3419.
- Evropský parlament a Rada Evropské unie. 2011. Nařízení evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1169/2011 ze dne 25. října 2011 o poskytování informací o potravinách spotřebitelům, o změně nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1924/2006 a (ES) č. 1925/2006 a o zrušení směrnice Komise 87/250/EHS, směrnice Rady 90/496/EHS, směrnice Komise 1999/10/ES, směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/13/ES, směrnic Komise 2002/67/ES a 2008/5/ES a nařízení Komise (ES) č. 608/2004. Úřední věstník Evropské unie.
- Fialho ATS, Silva AS, Brito CO, Vale PACB, Oliveira CJP, Ribeiro Junior V. 2021. Nutritional composition of larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) and crickets (*Gryllus assimilis*) with potential usage in feed. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia **73**:539–542.
- Filis C, Vasileiadis I, Koutsoukou A. 2018. Hyperchloraemia in sepsis. Annals of Intensive Care **8**:1–8. Springer Verlag.
- Finke MD. 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. Zoo Biology **21**:269–285.
- Gajewska R, Nabrzyski M, Ganowiak Z, Cybulski M, Kułakowska D. 2000. The content of selected mineral nutrients in green and black tea. Roczniki Państwowego Zakładu Higieny **51**:251–258.
- García-Herrera P, Morales P, Cámara M, Fernández-Ruiz V, Tardío J, Sánchez-Mata MC. 2020. Nutritional and Phytochemical Composition of Mediterranean Wild Vegetables after Culinary Treatment. Foods **9**:1761.
- Gasco L, Biancarosa I, Liland NS. 2020. From waste to feed: A review of recent knowledge on insects as producers of protein and fat for animal feeds. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry **23**:67–79.
- Ghosh S, Jung C, Meyer-Rochow VB. 2016. Nutritional value and chemical composition of larvae, pupae, and adults of worker honey bee, *Apis mellifera ligustica* as a sustainable food source. Journal of Asia-Pacific Entomology **19**:487–495.
- Ghosh S, Sohn H-Y, Pyo S-J, Jensen AB, Meyer-Rochow VB, Jung C. 2020. Nutritional Composition of *Apis mellifera* Drones from Korea and Denmark as a Potential Sustainable

- Alternative Food Source: Comparison Between Developmental Stages. *Foods* **9**:389.
- Godswill A G, Somtochukwu I V, Ikechukwu A O, Kate E C. 2020. Health Benefits of Micronutrients (Vitamins and Minerals) and their Associated Deficiency Diseases: A Systematic Review. *International Journal of Food Sciences* **3**:1–32.
- Greenberg RR, Bode P, De Nadai Fernandes EA. 2011. Neutron activation analysis: A primary method of measurement. *Spectrochimica Acta – Part B* **66**:193–241.
- Gurung MB, Partap U, Shrestha NCTD, Sharma HK, Islam N, Tamang NB. 2012. Beekeeping Training for Farmers in the Himalayas: Resource Manual for Trainers. International Centre for Integrated Mountain Development, Kathmandu.
- Harper D. 2017. Online Etymology Dictionary. Available from [https://www.etymonline.com/word/entomophagous#etymonline\\_v\\_50344](https://www.etymonline.com/word/entomophagous#etymonline_v_50344) (accessed August 2022).
- Hiller MM, Leggett RW. 2020. A biokinetic model for trivalent or hexavalent chromium in adult humans. *Journal of Radiological Protection* **40**:19.
- Chvátíl D, Vognar M, Krist P. 2008. Mikrotron MT-25 – zdroj tvrdého záření gama. Pages 26–29 in *Sborník přednášek semináře Radioanalytické metody IAA 07. Spektroskopická společnost J. M. Marci, Praha*.
- IAEA. 2004. Quantifying uncertainty in nuclear analytical measurements. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Janssen RH, Canelli G, Sanders MG, Bakx EJ, Lakemond CMM, Fogliano V, Vincken JP. 2019. Iron-polyphenol complexes cause blackening upon grinding *Hermetia illucens* (black soldier fly) larvae. *Scientific Reports* **9**:2967.
- Johner SA, Thamm M, Schmitz R, Remer T. 2015. Current daily salt intake in Germany: biomarker-based analysis of the representative DEGS study. *European Journal of Nutrition* **54**:1109–1115.
- Jongema Y. 2017. List of Edible Insects of the World (1 April 2017). Wageningen UR: Wageningen, The Netherlands. Available from <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm> (accessed August 2022).
- Jucker C, Erba D, Leonardi MG, Lupi D, Savoldelli S. 2017. Assessment of Vegetable and Fruit Substrates as Potential Rearing Media for *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) Larvae. *Environmental Entomology* **46**:1415–1423.
- Kasper H. 2015. *Výživa v medicíně a dietetika*. Grada Publishing, a.s., Praha.
- Kasrai M, Shoushtarian M, Bozorgzadeh M. 1977. Determination of trace elements in tea leaves by neutron activation analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **41**:73–79.

- Kieliszek M, Błaż S, Santi C, Bagnoli L. 2016. Current Knowledge on the Importance of Selenium in Food for Living Organisms: A Review. *Molecules* **21**:609.
- Kim SK, Weaver CM, Choi MK. 2017. Proximate composition and mineral content of five edible insects consumed in Korea. *CyTA – Journal of Food* **15**:143–146.
- Kočárek P, Holuša J, Vlk R, Marhoul P. 2013. Rovnokřídli (*Insecta: Orthoptera*) České republiky. Academia, Praha.
- Kosečková P, Zvěřina O, Pěchová M, Krulíková M, Duborská E, Borkovcová M. 2022. Mineral profile of cricket powders, some edible insect species and their implication for gastronomy. *Journal of Food Composition and Analysis* **107**:104340.
- Kouřimská L, Adámková A. 2016. Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal* **4**:22–26.
- Krausová I. 2015. Krátkodobé produkty fotojaderných reakcí na mikrotronu a jejich využití ve fotonové aktivační analýze [disertační práce]. České vysoké učení technické v Praze, Praha.
- Krausová I, Cejnar R, Kučera J, Dostálek P. 2014. Impact of the brewing process on the concentration of silicon in lager beer. *Journal of The Institute of Brewing* **120**:433–437.
- Krausová I, Kučera J, Světlík I. 2013. Determination of I-129 in biomonitors collected in the vicinity of a nuclear power plant by neutron activation analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **295**:2043–2048.
- Krausová I, Mizera J, Dostálek P, Řanda Z. 2018. Nondestructive determination of nitrogen in malting barleys by instrumental photon activation analysis and its comparison with the Dumas method. *Journal of the Institute of Brewing*. **124**:4–8.
- Krausová I, Mizera J, Řanda Z, Chvátíl D, Krist P. 2015. Nondestructive assai of fluorine in geological and other materials by instrumental photon activation analysis with a microtron. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. **342**:82–86.
- Krausová I, Světlík I, Kučera J. 2007. Determination of <sup>129</sup>I in bovine thyroid by NAA. Pages 50–53 in Vobecky M, editor. Workshop on radioanalytical methods 'IAA 06' Summaries of lectures. Ioannes Marcus Marci Spectroscopic Society, Czech Republic.
- Krausová I, Tajer J, Světlík I, Chvátíl D. 2019. Matrix determination of Bronze Age bracelet via nitrogen assay by instrumental photon activation analysis and radiocarbon dating of its exact age. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. **448**:26–30.
- Kučera J. 2018. Activation analysis in Czechoslovakia and in the Czech Republic: more than 50 years of activities. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **318**:1473–1492.
- Kučera J, Havránek V, Krausová I. 2009. Preparation and characterization of a new set of IAEA reference air filters using instrumental neutron activation analysis, proton-induced X-ray emission and Rutherford backscattering. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **281**:123–129.

- Kulma M, Kouřimská L, Homolková D, Božik M, Plachý V, Vrabec V. 2020. Effect of developmental stage on the nutritional value of edible insects. A case study with *Blaberus craniifer* and *Zophobas morio*. *Journal of Food Composition and Analysis* **92**:103570.
- Kulma M, Kouřimská L, Plachý V, Božik M, Adámková A, Vrabec V. 2019. Effect of sex on the nutritional value of house cricket, *Acheta domestica* L. *Food Chemistry* **272**:267–272.
- Kulma M, Plachý V, Kouřimská L, Vrabec V, Bubová T, Adámková A, Hučko B. 2016. Nutritional value of three *Blattodea* species used as feed for animals. *Journal of Animal and Feed Sciences* **25**:354–360.
- Kurečka M, Kulma M, Petříčková D, Plachý V, Kouřimská L. 2021. Larvae and pupae of *Alphitobius diaperinus* as promising protein alternatives. *European Food Research and Technology* **247**:2527–2532.
- Kuria A, Fang X, Li M, Han H, He J, Aaseth JO, Cao Y. 2020. Does dietary intake of selenium protect against cancer? A systematic review and meta-analysis of population-based prospective studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **60**:684–694.
- Kurzy.cz. 2024a. Black food market s.r.o., Plzeň IČO 14351056 - Obchodní rejstřík firem. Kurzy.cz, Plzeň. Available from <https://rejstrik-firem.kurzy.cz/14351056/black-food-market-sro/> (accessed March 2024).
- Kurzy.cz. 2024b. Crunchy s.r.o., Brno IČO 11796171 - Obchodní rejstřík firem. Kurzy.cz, Brno. Available from <https://rejstrik-firem.kurzy.cz/11796171/crunchy-sro/> (accessed March 2024).
- Kurzy.cz. 2024c. FARMERIO s.r.o., Ostrava IČO 09980105 - Obchodní rejstřík firem. Kurzy.cz, Ostrava. Available from <https://rejstrik-firem.kurzy.cz/09980105/farmerio-sro/> (accessed March 2024).
- Kurzy.cz. 2024d. Grig a.s., Brno IČO 07411162 - Obchodní rejstřík firem. Kurzy.cz, Brno. Available from <https://rejstrik-firem.kurzy.cz/07411162/grig-as/> (accessed March 2024).
- Kurzy.cz. 2024e. SENS, s.r.o., Praha IČO 47121963 - Obchodní rejstřík firem. Kurzy.cz, Praha. Available from <https://rejstrik-firem.kurzy.cz/47121963/sens-sro/> (accessed March 2024).
- Kurzy.cz. 2024f. WormUP s.r.o., Vamberk IČO 07994605 - Obchodní rejstřík firem. Kurzy.cz, Vamberk. Available from <https://rejstrik-firem.kurzy.cz/07994605/wormup-sro/> (accessed March 2024).
- Kymla Z. 2019. Hmyz: Příroda do kapsy. Universum (Euromedia Group), Praha.
- Kwong EJJ, Whiting S, Bunge AC, Leven Y, Breda J, Rakovac I, Cappuccio FP, Wickramasinghe K. 2023. Population-level salt intake in the WHO European Region in 2022: a systematic review. *Public Health Nutrition* **26**:6–19.
- Lachmanová F. 2023. Nutriční hodnota jedlého hmyzu v závislosti na jeho zpracování [MSc. Thesis]. Czech University of Life Sciences Prague, Prague.

- Lagad R, Alamelu D, Acharya R, Aggarwal S. 2011. Instrumental neutron activation analysis for multi-elemental determination in Indian tea samples. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **288**:613–620.
- Lievens S, Poma G, De Smet J, Van Campenhout L, Covaci A, Van Der Borgh M. 2021. Chemical safety of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*), knowledge gaps and recommendations for future research: a critical review. *Journal of Insects as Food and Feed* **7**:383–396.
- Lutz GJ. 1971. Photon activation analysis: a review. *Analytical Chemistry* **43**:93–103.
- Magara HJO et al. 2021. Edible Crickets (*Orthoptera*) Around the World: Distribution, Nutritional Value, and Other Benefits – A Review. *Frontiers in Nutrition* **7**:537915.
- Manditsera FA, Lakemond CMM, Fogliano V, Zvidzai CJ, Pieterse AL. 2018. Consumption patterns of edible insects in rural and urban areas of Zimbabwe: taste, nutritional value and availability are key elements for keeping the insect eating habit. *Food Security* **10**: 561–570.
- Mareček F. 1997. *Zahradnický slovník naučný 2. díl Č–H. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.*
- Martins AC, Krum BN, Queirós L, Tinkov AA, Skalny AV, Bowman AB, Aschner M. 2020. Manganese in the Diet: Bioaccessibility, Adequate Intake, and Neurotoxicological Effects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **68**:12893–12903. Available from <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jafc.0c00641> (accessed January 2024).
- Martins da Silva R, Köhler A, de Souza Schneider RC, de Vargas DP, Köhler A, da Costa e Silva D, Soares J. 2024. Proximate and fatty acid profile analysis of *Tenebrio molitor* and *Zophobas morio* using different killing methods. *Food Chemistry* **445**:138719.
- Mařan J. 1972. *Naši brouci. Albatros, Praha.*
- McGavin G. 2005. *Hmyz: pavoukovci a jiný suchozemští členovci. Knižní klub, Praha.*
- Mehta A, Deshpande A, Bettedi L, Missirlis F. 2009. Ferritin accumulation under iron scarcity in *Drosophila* iron cells. *Biochimie* **91**:1331–1334.
- Messaoudi M, Begaa S, Hamidatou L, Salhi M, Ouakouak H, Mouzai M, Hassani A. 2018. Neutron activation analysis of major and trace elements in Arabica and Robusta coffee beans samples consumed in Algeria. *Radiochimica Acta* **106**:525–533.
- Meyer-Rochow VB, Gahukar RT, Ghosh S, Jung C. 2021. Chemical Composition, Nutrient Quality and Acceptability of Edible Insects Are Affected by Species, Developmental Stage, Gender, Diet, and Processing Method. *Foods* **10**:1036.
- Mizera J, Krausová I, Chvátíl D, Olšanský V. 2023. Oxygen determination in the Ti certified reference material ERM-EB090b by instrumental photon activation analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. Available from <https://doi.org/10.1007/s10967-023-09260-1> (accessed March 2024).

- Mizera J, Řanda Z, Krausová I. 2017. Neutron and photon activation analyses in the geochemical characterization of Libyan Desert Glass. *J Radioanal. Nucl. Chem.* **311**: 1465–1471.
- Montanari F, Pinto de Moura A, Cunha LM. 2021. *Production and Commercialization of Insects as Food and Feed*. Springer International Publishing, Cham.
- Moruzzo R, Mancini S, Boncinelli F, Riccioli F. 2021. Exploring the Acceptance of Entomophagy: A Survey of Italian Consumers. *Insects* **12**:123.
- Nielsen FH. 2014. Update on the possible nutritional importance of silicon. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* **28**:379–382. Available from <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtemb.2014.06.024> (accessed February 2024).
- Novotny V, Basset Y, Miller SE, Weiblen GD, Bremer B, Cizek L, Drozd P. 2002. Low host specificity of herbivorous insects in a tropical forest. *Nature* **416**:841–844.
- Obrusník I. 1984. Neutronová aktivační analýza (NAA). Pages 163–190 in Zýka J, editor. *Nové směry v analytické chemii*. SNTL, Praha.
- Odhiambo M, Ochia C, Okuto E. 2022. Effects of Temperature on the Development and Survival of Cricket Species; *Acheta domesticus* and *Gryllus bimaculatus* (*Orthoptera: Gryllidae*). *East African Journal of Agriculture and Biotechnology* **5**:176–189.
- Oonincx DGAB, Dierenfeld ES. 2012. An Investigation Into the Chemical Composition of Alternative Invertebrate Prey. *Zoo Biology* **31**:40–54.
- Papastavropoulou K, Xiao J, Proestos C. 2022. Edible insects: Tendency or necessity (a review). *eFood* **4**.
- Pastell H, Mellberg S, Ritvanen T, Raatikainen M, Mykkänen S, Niemi J, Latomäki I, Wirtanen G. 2021. How Does Locally Produced Feed Affect the Chemical Composition of Reared House Crickets (*Acheta domesticus*)?. *ACS Food Science & Technology* **1**:625–635.
- Pánek J, Chrpová D. 2021. Živiny a jejich dietární zdroje. Pages 225–294 in Kohout P, Havel E, Matějovič M, Šenkyřík M, editors. *Klinická výživa*. Galén, Praha.
- Pernal SF. 2021. Introduction to Apiculture (*Apis mellifera*). *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* **37**:381–386.
- Pires LN, Almeida JS, De F, Dias S, Teixeira LSG. 2020. Sequential and simultaneous determination of chlorine, iron, and silicon in beer samples by high-resolution continuum source graphite furnace molecular and atomic absorption spectrometry. *Food Analytical Methods* **13**:1746–1754. Available from <https://doi.org/10.1007/s12161-020-01787-3> (accessed February 2024).
- Plum L, Rink L, Haase H. 2010. The Essential Toxin: Impact of Zinc on Human Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **7**:1342–1365.
- Podwika W, Kleszcz K, Krośniak M, Zagrodzki P. 2018. Copper, Manganese, Zinc, and Cadmium in Tea Leaves of Different Types and Origin. *Biological Trace Element Research* **183**:389–395.

- Prashanth L, Kattapagari K, Chitturi R, Baddam VR, Prasad L. 2015. A review on role of essential trace elements in health and disease. *Journal of Dr. NTR University of Health Sciences* **4**:75.
- Pritchard A, Nielsen BD. 2024. Silicon supplementation for bone health: An umbrella review attempting to translate from animals to humans. *Nutrients* **16**:339. Available from <https://www.mdpi.com/2072-6643/16/3/339/htm> (accessed February 2024).
- Purkayastha D, Sarkar S. 2022. Sustainable waste management using black soldier fly larva: a review. *International Journal of Environmental Science and Technology* **19**:12701–12726.
- Rayman MP, Infante HG, Sargent M. 2008. Food-chain selenium and human health: spotlight on speciation. *The British journal of nutrition* **100**:238–253.
- Rebora M, Salerno G, Piersanti S, Saitta V, Venturi DM, Li Ch, Gorb S. 2023. The armoured cuticle of the black soldier fly *Hermetia illucens*. *Scientific Reports* **13**:22101.
- Rietschel S. 2004. Hmyz: klíč ke spolehlivému určování: 3 znaky. Rebo Productions, Dobřejovice.
- Roman M, Jitaru P, Barbante C. 2013. Selenium biochemistry and its role for human health. *Metallomics* **6**:25–54. Oxford Academic. Available from <https://dx.doi.org/10.1039/c3mt00185g> (accessed February 2024).
- Rumbos CI, Athanassiou CG. 2021. The Superworm, *Zophobas morio* (Coleoptera: Tenebrionidae): A ‘Sleeping Giant’ in Nutrient Sources. *Journal of Insect Science* **21**:1–11.
- Rumbos CI, Karapanagiotidis IT, Mente E, Athanassiou CG. 2018. The lesser mealworm *Alphitobius diaperinus*: a noxious pest or a promising nutrient source?. *Reviews in Aquaculture* **11**:1418–1437.
- Řanda Z, Kreisinger F. 1983. Tables of nuclear constants for gamma-activation analysis. *Journal of Radioanalytical Chemistry* **77**:279–495.
- Řanda Z, Kučera J, Mizera J, Frána J. 2007. Comparison of the role of photon and neutron activation analyses for elemental characterization of geological, biological and environmental materials. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **271**:589–596.
- Sadykova EO, Shumakova AA, Shestakova S, Tyshko NV. 2021. Nutritional and biological value of *Hermetia illucens* larvae biomass. *Vopr Pitan* **90**:73–82.
- Salama SM. 2020. Nutrient Composition and Bioactive Components of the Migratory Locust (*Locusta migratoria*). Pages 231–239 in Adam Mariod A, editor. *African Edible Insects As Alternative Source of Food, Oil, Protein and Bioactive Components*. Springer, Cham.
- Segebade C, Weise HP, Lutz GJ. 1988. *Photon Activation Analysis*. Walter de Gruiter, Berlin, New York.
- Segebade C, Berger A. 2008. *Photon activation analysis, encyclopedia of analytical chemistry*. John Wiley & Sons Ltd, New York.



- Segebade C, Starovoitova VN, Borgwardt T, Wells D. 2017. Principles, methodologies, and applications of photon activation analysis: a review. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **312**:443–459.
- Sharma K, Tayade A, Singh J, Walia S. 2020. Bioavailability of Nutrients and Safety Measurements. Pages 543–593 in Egbuna C, Tupas GD, editors. *Functional Foods and Nutraceuticals*. Springer, Switzerland.
- Showler AT, James WD, Armstrong JS, Westbrook JK. 2006. An experiment using neutron activation analysis and a rare earth element to mark cotton plants and two insects that feed on them. *Applied Radiation and Isotopes* **64**:875–880.
- Shumoy H, Raes K. 2021. Dissecting the facts about the impact of contaminant iron in human nutrition: A review. *Trends in Food Science & Technology* **116**:918–927.
- Siddiqui SA, Wu YS, Vijeepallam K, Batumalaie K, Hatta MHM, Lutuf H, Castro-Muñoz R, Fernando I, Ibrahim SA. 2024. *Alphitobius diaperinus* larvae (lesser mealworm) as human food – An approval of the European Commission – A critical review. *Journal of Insects as Food and Feed* **0**:1–40.
- Souci SW, Fachmann W, Kraut H. 2008. *Food Composition and Nutrition Tables*, 7th revised and completed edition. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart.
- Společnost pro výživu, z.s. 2019. Referenční hodnoty pro příjem živin (DACH). Společnost pro výživu, z.s., Praha.
- Srividhya B, Subramanian R, Raj V. 2011. Determination of lead, manganese, copper, zinc, cadmium, nickel and chromium in tea leaves. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* **3**:16–17.
- Stone M, Weaver C. 2020. Improving human nutrition: A critical objective for potassium recommendations for agricultural crops. Pages 416–445 in Murrell TS, Mikkelsen RL, Sulewski G, Norton R, Thompson ML, editors. *Improving Potassium Recommendations for Agricultural Crops*. Springer, Switzerland.
- Sun J, Prabhu A, Aroney STN, Rinke C. 2022. Insights into plastic biodegradation: community composition and functional capabilities of the superworm (*Zophobas morio*) microbiome in styrofoam feeding trials. *Microbial Genomics* **8**:000842.
- Sun ZJ, Wells DP, Segebade C, Maschner H, Benson B. 2013. A provenance study of coffee by photon activation analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **296**:293–299.
- Suryati T, Julaeha E, Farabi K, Ambarsari H, Hidayat AT. 2023. Lauric Acid from the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) and Its Potential Applications. *Sustainability* **15**:10383.
- Škrabalová B. 2009. Entomofagie – hmyz na talíři [BSc. Thesis]. Masarykova univerzita, Brno.
- Škrabalová B. 2011. Vytvoření webové stránky zaměřené na chov hmyzu, entomofágie a přežití v přírodě. Masarykova univerzita, Brno.
- Tautz J. 2021. Fenomenální včely: biologie včelstva jako superorganismu. Brázda, Praha.

- TITAG. 2005. Husbandry Data Sheet False Death's Head Cockroach Latin Name: *Blaberus discoidalis*. Terrestrial Invertebrate Taxon Advisory Group, Seattle.
- Toti E, Massaro L, Kais A, Aiello P, Palmery M, Peluso I. 2020. Entomophagy: A Narrative Review on Nutritional Value, Safety, Cultural Acceptance and A Focus on the Role of Food Neophobia in Italy. *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education* **10**:628–643.
- Toviho AO, Bársony P. 2022. Nutrient Composition and Growth of Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) at Different Ages and Stages of the Life Cycle. *Agriculture* **12**:1924.
- Traynor A, Burns DT, Wu D, Karoonuthaisiri N, Petchkongkaew A, Elliott CT. 2024. An analysis of emerging food safety and fraud risks of novel insect proteins within complex supply chains. *npj Science of Food* **7**.
- Truzzi C, Illuminati S, Girolametti F, Antonucci M, Scarponi G, Ruschioni S, Riolo P, Annibaldi A. 2019. Influence of Feeding Substrates on the Presence of Toxic Metals (Cd, Pb, Ni, As, Hg) in Larvae of *Tenebrio molitor*: Risk Assessment for Human Consumption. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **16**:4815.
- Ulmer M, Smetana S, Heinz V. 2020. Utilizing honeybee drone brood as a protein source for food products: Life cycle assessment of apiculture in Germany. *Resources, Conservation and Recycling* **154**:104576.
- United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2022. *World Population Prospects 2022: Summary of Results*. United Nations, New York.
- van Huis A, van Itterbeek J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, Vantomme P. 2013. *Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security*. FAO Forestry Paper, Rome.
- Van Itterbeek J, Pelozuelo L. 2022. How Many Edible Insect Species Are There? A Not So Simple Question. *Diversity* **14**:143.
- Verspoor RL et al. 2020. Mineral analysis reveals extreme manganese concentrations in wild harvested and commercially available edible termites. *Scientific reports* **10**:6146.
- Ververis E, Boué G, Poulsen M, Pires SM, Niforou A, Thomsen ST, Tesson V, Federighi M, Naska A. 2022. A systematic review of the nutrient composition, microbiological and toxicological profile of *Acheta domesticus* (house cricket). *Journal of Food Composition and Analysis* **114**:104859.
- Veselý V, et al. 2013. *Včelařství*. Brázda, Praha.
- Volpe SL. 2013. Magnesium in Disease Prevention and Overall Health. *Advances in Nutrition* **4**:378–383.
- Wasim M, Rehman S, Arif M, Fatima I, Zaidi JH. 2012. Neutron activation analysis and atomic absorption spectrophotometry for the analysis of fresh, pasteurised and powder milk. *Radiochimica Acta* **100**:51–56.

- Wang Y-S, Shelomi M. 2017. Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food. *Foods* **6**:91.
- Weissman DB, Gray DA, Pham HT, Tijssen P. 2012. Billions and billions sold: Pet-feeder crickets (*Orthoptera: Gryllidae*), commercial cricket farms, an epizootic densovirus, and government regulations make for a potential disaster. *Zootaxa* **3504**:67–88.
- Weissman DB, Walker TJ, Gray DA. 2009. The Field Cricket *Gryllus assimilis* and Two New Sister Species (*Orthoptera: Gryllidae*). *Annals of the Entomological Society of America* **102**:367–380.
- Witkowska E, Szczepaniak K, Biziuk M. 2005. Some applications of neutron activation analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **265**:141–150.
- World Health Organization. 2023. WHO global report on sodium intake reduction. World Health Organization, Geneva.
- Xu X et al. 2020. Measurement of talc in flour by the 14 MeV neutron activation analysis method. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* **465**:24–30.
- Yadav S, Kumar Y, Jat BL. 2017. Honeybee: Diversity, Castes and Life Cycle. Pages 5–34 in Omkar, editor. *Industrial Entomology*. Springer, Singapore.
- Yang SS et al. 2021. Biodegradation of polypropylene by yellow mealworms (*Tenebrio molitor*) and superworms (*Zophobas atratus*) via gut-microbe-dependent depolymerization. *Science of The Total Environment* **756**:144087.
- Zahradník J. 2020. Brouci. Aventinum s.r.o., Praha.
- Zlatohlávek L. 2019. Klinická dietologie a výživa. Druhé rozšířené vydání. Current media s.r.o., Praha.

## 8.1 Reference obrázků

- CRUNCHY s.r.o. 2024. Crunchy hrachové chipsy s hmyzí moučkou WASABI 80 g. Crunchy – jedlý hmyz. Available from <https://www.crunchy.cz/hrachove-chipsy-s-hmyzi-mouckou-80-g/> (accessed March 2024).
- FARMERIO s.r.o. 2024. Farmerio čokoláda s červíky MILK. Farmerio.cz. Available from <https://www.farmerio.cz/p/protein-chocolate-milk/> (accessed March 2024).
- Grig a.s. 2024. Sušený hmyz – Grig Ochutnávkový mix Sušených červíků 5 x 20g. Grig.cz. Available from <https://www.grig.cz/zbozi/grig-ochutnavkovy-mix-krupavych-cerviku-5-x-20g/> (accessed March 2024).
- Hmyzárna. 2024. Proteinové suroviny a hotová jídla – Black Food Market Hmyzí Těstoviny fusilli 250 g. Hmyzárna.cz. Available from <https://www.hmyzarna.cz/black-food-market-hmyzi-testoviny-fusilli-250-g/> (accessed March 2024).

- Hmyzárna. 2024. Proteinové tyčinky – Sens Pleasure Proteinová tyčinka s cvrččím proteinem 40 g. Hmyzárna.cz. Available from <https://www.hmyzarna.cz/pleasure-proteinova-tycinka-s-cvrccim-proteinem-40g/> (accessed March 2024).
- Kořínek M. 2010. *Blaberus discoidalis* (Audinet-Serville, 1839). Biolib.cz. Available from <https://www.biolib.cz/cz/taxonimage/id132113/?taxonid=533734&type=1> (accessed March 2024).
- Wageningen Academic Publishers. 2024. Insects Directory – Scientific names. Available from <https://e-insects.wageningenacademic.com/directory> (accessed March 2024).
- WormUP s.r.o. pochoutky z hmyzu. 2024. Kup jedlý hmyz – Lahodní cvrčci s kari. WormUP.com. Available from <https://www.wormup.com/jedly-hmyz/lahodni-cvrcci-s-kari/> (accessed March 2024).

## 9 Seznam použitých zkratek a symbolů

AA	Aktivační analýza
AAS	Atomová absorpční spektroskopie
AD	<i>Acheta domesticus</i> L.
ADH	Antidiuretický hormon
ADP	Adenosindifosfát
AMK	Aminokyseliny
ATP	Adenosintrifosfát
BFS	Black soldier fly (Moucha bráněnka)
BK výkrm	Kompletní směs pro výkrm brojlerových kuřat
CRPG	Centrum petrografických a geochemických výzkumů
ČR	Česká republika
ČZU	Česká zemědělská univerzita v Praze
DACH	Zkratka pro německojazyčný region (Německo, Rakousko a Švýcarsko)
DDP	Denní doporučený příjem
EC	European Commission (Evropská Komise)
EFSA	European Food Safety Authority (Evropský úřad pro bezpečnost potravin)
EU	Evropská unie
FAAS	Flame Atomic Absorption Spectrometry (Plamenová AAS)
FAES	Flame Atomic Emission Spectrometry (Plamenová AES)
FAO	Food and Agriculture Organization (Organizace pro výživu a zemědělství)
FAPPZ	Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů
FWHM	Full Width at Half Maximum (Plná šířka při polovině maxima)
ICP-AES	Atomová emisní spektroskopie s indukčně vázaným plazmatem
ICP-OES	Optická emisní spektroskopie s indukčně vázaným plazmatem
ICP-MS	Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
INAA	Instrumentální neutronová aktivační analýza
IPAA	Instrumentální fotonová aktivační analýza
KS	Krmná směs
LT-INAA	Dlouhodobá instrumentální neutronová analýza
LT-IPAA	Dlouhodobá instrumentální fotonová analýza
MES	Multielementární standard (Železný monitor)
NAA	Neutronová aktivační analýza
NIST	Národní ústav pro normy a technologie
NP	Nové potraviny
PAA	Fotonová aktivační analýza
PE	Polyethylen
PNT	Potraviny nového typu
QC	Quality Control (Kontrola kvality)
RHP	Referenční hodnota příjmu
RM	Referenční materiál
SEŠ	Sójový extrahovaný šrot
SFA	Saturated fatty acids (Nasycené mastné kyseliny)

SRM	Standardní referenční materiál
ST-INAA	Krátkodobá instrumentální neutronová analýza
ST-IPAA	Krátkodobá instrumentální fotonová analýza
ÚJF AV ČR	Ústav jaderné fyziky Akademie věd České republiky, v.v.i
WHO	World Health Organization (Světová zdravotnická organizace)
XRF	Rentgenová fluorescenční spektroskopie

## 10 Seznam tabulek, grafů a obrázků

### 10.1 Seznam tabulek

- Tabulka 1** Doporučený denní příjem (DDP) vybraných prvků ve stravě uvedených pro muže a ženy (25–50 let) v ČR a referenční hodnoty příjmu (RHP) v EU dle Nařízení č. 1169/2011
- Tabulka 2** Obsah majoritních prvků ve vybraných potravinách
- Tabulka 3** Obsah minoritních prvků ve vybraných potravinách
- Tabulka 4** Obsah makroprvků ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) v sušině vybraných druhů hmyzu stanovených konvenčními analytickými metodami s příslušnými referencemi
- Tabulka 5** Obsah mikroprvků Fe, I, Zn, Cu ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) v sušině vybraných druhů hmyzu a příslušné reference
- Tabulka 6** Obsah mikroprvků Mn, Cr, Se, Co ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) v sušině vybraných druhů hmyzu a příslušné reference
- Tabulka 7** Schéma chovného pokusu – rozmístění do beden dle typu krmné směsi
- Tabulka 8** Hlavní fyzikální parametry mikrotronu MT-25
- Tabulka 9** Jaderná data a způsob aktivační analýzy pro námi stanovované prvky
- Tabulka 10** Stanovené koncentrace makro- a mikroprvků ( $\mu\text{g.g}^{-1} \pm U$ ) ve vzorcích *A. domesticus* chovaných na jiné krmné směsi ( $\text{P}^+ / \text{P}^- / \text{K}^+ / \text{K}^- / \text{BK}$ )
- Tabulka 11** Stanovené koncentrace makro- a mikroprvků ( $\mu\text{g.g}^{-1} \pm U$ ) v hmyzích druzích aktivační analýzou
- Tabulka 12** Porovnání stanovených koncentrací Ca s jeho obsahem v referenčním materiálu
- Tabulka 13** Porovnání stanovených koncentrací Mg s jeho obsahem v referenčním materiálu
- Tabulka 14** Porovnání stanovených koncentrací K s jeho obsahem v referenčním materiálu
- Tabulka 15** Porovnání stanovených koncentrací Na s jeho obsahem v referenčním materiálu
- Tabulka 16** Porovnání stanovených koncentrací Cl s jeho obsahem v referenčním materiálu
- Tabulka 17** Porovnání stanovených koncentrací Fe s jeho obsahem v referenčním materiálu
- Tabulka 18** Porovnání stanovených koncentrací I s jeho obsahem v referenčním materiálu
- Tabulka 19** Porovnání stanovených koncentrací Zn s jeho obsahem v referenčním materiálu
- Tabulka 20** Porovnání stanovených koncentrací Cu s jeho obsahem v referenčním materiálu
- Tabulka 21** Porovnání stanovených koncentrací Mn s jeho obsahem v referenčním materiálu
- Tabulka 22** Porovnání stanovených koncentrací Cr s jeho obsahem v referenčním materiálu
- Tabulka 23** Porovnání stanovených koncentrací Se s jeho obsahem v referenčním materiálu
- Tabulka 24** Porovnání stanovených koncentrací Co s jeho obsahem v referenčním materiálu
- Tabulka 25** RHP jednotlivých prvků v procentech (%) v jedné 100 g porci sušeného hmyzu
- Tabulka 26** Statistický test normality rozdělení náhodných veličin
- Tabulka 27** Statistický test homogenity rozptylů
- Tabulka 28** Souhrn Kruskalův-Wallisův test
- Tabulka 29** Kruskalův-Wallisův test pro nezávislé vzorky
- Tabulka 30** Indexní analýza pro K v rozdílných *A. domesticus*
- Tabulka 31** Indexní analýza pro Se v rozdílných *A. domesticus*
- Tabulka 32** Indexní analýza pro Na v rozdílných *A. domesticus*

## 10.2 Seznam grafů

<b>Graf 1</b>	Stanovená koncentrace Ca v hmyzu aktivační analýzou ( $\text{mg.kg}^{-1} \pm U$ )
<b>Graf 2</b>	Stanovená koncentrace Ca ve vzorcích <i>A. domesticus</i> dle typu krmné směsi
<b>Graf 3</b>	Stanovená koncentrace Mg v hmyzu aktivační analýzou ( $\text{mg.kg}^{-1} \pm U$ )
<b>Graf 4</b>	Stanovená koncentrace Mg ve vzorcích <i>A. domesticus</i> dle typu krmné směsi
<b>Graf 5</b>	Stanovená koncentrace K v hmyzu aktivační analýzou ( $\text{mg.kg}^{-1} \pm U$ )
<b>Graf 6</b>	Stanovená koncentrace K ve vzorcích <i>A. domesticus</i> dle typu krmné směsi
<b>Graf 7</b>	Stanovená koncentrace Na v hmyzu aktivační analýzou ( $\text{mg.kg}^{-1} \pm U$ )
<b>Graf 8</b>	Stanovená koncentrace Na ve vzorcích <i>A. domesticus</i> dle typu krmné směsi
<b>Graf 9</b>	Stanovená koncentrace Cl v hmyzu aktivační analýzou ( $\text{mg.kg}^{-1} \pm U$ )
<b>Graf 10</b>	Stanovená koncentrace Cl ve vzorcích <i>A. domesticus</i> dle typu krmné směsi
<b>Graf 11</b>	Stanovená koncentrace Fe v hmyzu aktivační analýzou ( $\text{mg.kg}^{-1} \pm U$ )
<b>Graf 12</b>	Stanovená koncentrace Fe ve vzorcích <i>A. domesticus</i> dle typu krmné směsi
<b>Graf 13</b>	Stanovená koncentrace jodu v hmyzu aktivační analýzou ( $\text{mg.kg}^{-1} \pm U$ )
<b>Graf 14</b>	Stanovená koncentrace jodu ve vzorcích <i>A. domesticus</i> dle typu krmné směsi
<b>Graf 15</b>	Stanovená koncentrace Zn v hmyzu aktivační analýzou ( $\text{mg.kg}^{-1} \pm U$ )
<b>Graf 16</b>	Stanovená koncentrace Zn ve vzorcích <i>A. domesticus</i> dle typu krmné směsi
<b>Graf 17</b>	Stanovená koncentrace Cu v hmyzu aktivační analýzou ( $\text{mg.kg}^{-1} \pm U$ )
<b>Graf 18</b>	Stanovená koncentrace Cu ve vzorcích <i>A. domesticus</i> dle typu krmné směsi
<b>Graf 19</b>	Stanovená koncentrace Mn v hmyzu aktivační analýzou ( $\text{mg.kg}^{-1} \pm U$ )
<b>Graf 20</b>	Stanovená koncentrace Mn ve vzorcích <i>A. domesticus</i> dle typu krmné směsi
<b>Graf 21</b>	Stanovená koncentrace Cr v hmyzu aktivační analýzou ( $\text{mg.kg}^{-1} \pm U$ )
<b>Graf 22</b>	Stanovená koncentrace Cr ve vzorcích <i>A. domesticus</i> dle typu krmné směsi
<b>Graf 23</b>	Stanovená koncentrace Se v hmyzu aktivační analýzou ( $\text{mg.kg}^{-1} \pm U$ )
<b>Graf 24</b>	Stanovená koncentrace Se ve vzorcích <i>A. domesticus</i> dle typu krmné směsi
<b>Graf 25</b>	Stanovená koncentrace Co v hmyzu aktivační analýzou ( $\text{mg.kg}^{-1} \pm U$ )
<b>Graf 26</b>	Stanovená koncentrace Co ve vzorcích <i>A. domesticus</i> dle typu krmné směsi

## 10.3 Seznam obrázků

<b>Obrázek 1</b>	Ukázka produktů z jedlého hmyzu na českém trhu. Zleva Sens tyčinka s cvrčím proteinem; Grig mix sušených červíků; Black Food Market hmyzí těstoviny; WormUP cvrčci s kari; Farmerio čokoláda s červíky a Crunchy hrachové chipsy s hmyzí moučkou
<b>Obrázek 2</b>	Vlevo cvrček domácí <i>Acheta domesticus</i> L., vpravo saranče stěhovavá <i>Locusta migratoria</i> L.
<b>Obrázek 3</b>	Vlevo larva <i>Tenebrio molitor</i> L., vpravo larva <i>Alphitobius diaperinus</i> P.
<b>Obrázek 4</b>	Délka (dny) a stádia životního cyklu včely ( <i>Apis mellifera</i> L.) královny, dělnice, trubce
<b>Obrázek 5</b>	Dospělci švába <i>Blaberus discoidalis</i>
<b>Obrázek 6</b>	Schéma životního cyklu <i>Hermetia illucens</i> L.
<b>Obrázek 7</b>	Vlevo larva <i>Zophobas morio</i> F., vpravo dospělec <i>Gryllus assimilis</i> F.
<b>Obrázek 8</b>	Přehled prvků stanovitelných v biologických materiálech metodami INAA



- Obrázek 9** Přehled prvků stanovitelných metodami IPAA na mikrotronu MT-25
- Obrázek 10** Kreslené schéma kladiště
- Obrázek 11** Reálná fotografie vyskládaných chovných beden v insektáriu na ČZU
- Obrázek 12** Navažování vzorků na analytických vahách před lyofilizací
- Obrázek 13** Lyofilizátor se vzorky před spuštěním
- Obrázek 14** Navažování vzorku do lodičky na předvážkách OHAUS Navigator™
- Obrázek 15** Laboratorní lis MP250M s vloženým tabletovacím zařízením
- Obrázek 16** Tabletovačka a její součásti
- Obrázek 17** Zleva vkládání a utěšňování obaleného vzorku do transportního pouzdra (králíka) a umístění do zařízení potrubní pošty
- Obrázek 18** Zleva detektor ORTEC 53 a detektor PGT 21
- Obrázek 19** Vlevo mikrotron MT-25, vpravo detail karuselu pro vkládání vzorků k ozáření



## 11 Samostatné přílohy

ucebna

Optimix 2014

07.12.2022 Str. 1

Krmná směs pro: KUR DOMÁČÍ-komise výživy - 3015/BR II od 11-16 do 24-27 dne KS i K

Název: **Brouci K+**

Poř. číslo: 43 / V

Poznámka:

Složení krmné směsi

Suroviny	%	Min	Max	Kč/t	Kč
97 Pšenice Van. 2018	13,3	84.000	0.000	100.000	0.00
20095 SEŠ 47,5 ČZU aktuální	15.000	0.000	100.000	0.00	0.00
938603 BR výkrm	1.000	1.000	1.000	0.00	0.00
Celkem	100.000				
			Cena surovin		0.00
			Velkoobchodní cena		1000.00
			Prodejní cena		1000.00

Obsah živin v 1 kg

	Výpočet	Min	Max		Výpočet	Min	Max
*MED	MJ	12.597	12.70	*ARGININ	g	9.678	13.36
*NL	g	183.437	200.52	*K.linolová	g	7.767	11.45
*LYSIN	g	9.074	12.41	*Vápník	g	1.824	8.59
*METHIONIN	g	3.779	4.96	*P nefyt.	g	1.908	4.29
*MET+CYS	g	8.577	8.97	*Sodík	g	0.259	1.52
THREONIN	g	9.273	8.30	*Chlor	g	0.484	1.43
TRYPTOFAN	g	2.195	2.00				2.10

Kalkulovaná ME (vyhl. MZe):

MEp MJ/kg	14.03	MEs MJ/kg	13.06
MEd MJ/kg	12.01	MEm MJ/kg	12.51

**Příloha 1** Výrobní list krmné směsi K<sup>+</sup> pro cvrčka domácího *Acheta domesticus* L. v experimentálních chovných bednách číslo 2, 3 a 4. K<sup>+</sup> tvoří z 84 % pšenice (Van. je pouze zkratka firmy, která pšenici dodala), SEŠ (15 %) je sójový extrahovaný šrot a v 1 % byl zachován BR výkrm, což je premix minerálů a vitaminů. Výrobní listy zaznamenávají i základní obsah některých prvků a živin.

ucebna

Optimix 2014

07.12.2022 Str. 1

Krmná směs pro: KUR DOMÁCÍ-komise výživy - 3015/BR II od 11-16 do 24-27 dne KS i K

Název: **Brouci K-**

Poř. číslo: 44 / V

Poznámka:

Složení krmné směsi

Suroviny	%	Min	Max	Kč/t	Kč	
97 Pšenice Van. 2018	13,3	85.500	0.000	100.000	0.00	0.00
20095 SEŠ 47,5 ČZU aktuální	14.500	0.000	100.000	0.00	0.00	
Celkem	100.000	Cena surovin			0.00	
		Velkoobchodní cena			1000.00	
		Prodejní cena			1000.00	

Obsah živin v 1 kg

	Výpočet	Min	Max		Výpočet	Min	Max	
MEd	MJ	12.748	12.70	*ARGININ	g	9.605	13.36	
*NL	g	183.032	200.52	*K.linolová	g	7.870	11.45	
*LYSIN	g	7.695	12.41	*Vápník	g	0.822	8.59	
*METHIONIN	g	2.371	4.96	*P nefyt.	g	1.118	4.29	
*MET+CYS	g	8.583	8.97	*Sodík	g	0.258	1.52	1.91
THREONIN	g	9.204	8.30	*Chlor	g	0.489	1.43	2.10
TRYPTOFAN	g	2.186	2.00					

Kalkulovaná ME (vyhl. MZe):

MEp MJ/kg	14.17	MEs MJ/kg	13.06
MEd MJ/kg	12.14	MEm MJ/kg	12.65

**Příloha 2** Výrobní list krmné směsi K<sup>-</sup> pro cvrčka domácího v experimentálních chovných bednách číslo 5, 6 a 7. K<sup>-</sup> tvoří z 85,5 % pšenice a SEŠ 14,5 %. Míňus za písmenem P tedy znamená, že BR výkrm nebyl v krmné směsi v tomto případě použit.

ucebna

Optimix 2014

07.12.2022 Str. 1

Krmná směs pro: KUR DOMÁCÍ-komise výživy - 3015/BR II od 11-16 do 24-27 dne KS i K

Název: **Brouci P+**

Poř. číslo: 42 / v

Poznámka:

Složení krmné směsi

Suroviny	%	Min	Max	Kč/t	Kč
30360 Kvas. torula	16.000	0.000	100.000	8000.00	1280.00
50291 Mláto pivovar 19.4 NL	48.000	0.000	100.000	0.00	0.00
50503 Jablečné výl 4,7 NL	35.000	0.000	100.000	0.00	0.00
938603 BR výkrm	1.000	1.000	1.000	0.00	0.00
Celkem	100.000	Cena surovin			1280.00
		Velkoobchodní cena			2292.80
		Prodejní cena			2292.80

Obsah živin v 1 kg

	Výpočet	Min	Max		Výpočet	Min	Max
*MEd MJ	6.239	12.70		*ARGININ g	7.591	13.36	
*NL g	181.015	200.52	219.62	K.línolová g	14.951	11.45	
*LYSIN g	11.400	12.41		*Vápník g	3.697	8.59	
*METHIONIN g	4.439	4.96		*P nefyt. g	3.524	4.29	
*MET+CYS g	5.600	8.97		*Sodík g	1.482	1.52	1.91
THREONIN g	8.536	8.30		*Chlor g	0.779	1.43	2.10
TRYPTOFAN g	2.209	2.00					

Kalkulovaná ME (vyhl. MZe):

MEp MJ/kg	7.92	MEs MJ/kg	11.33
MEd MJ/kg	5.06	MEm MJ/kg	11.07

**Příloha 3** Výrobní list krmné směsi P<sup>+</sup> pro AD v experimentálních chovných bednách číslo 11, 12 a 13. Směs obsahuje 16 % kvasinek rodu *Torula* (hojně využívané např. v krmných směsích pro hospodářská zvířata), 48 % sušeného pivovarského mláta (to ve směsi nahrazuje bílkovinnou složku), 35 % sušených jablečných výlisků a 1 % BR výkrmu.

ucebna

Optimix 2014

07.12.2022 Str. 1

Krmná směs pro: KUR DOMÁČÍ-komise výživy - 3015/BR II od 11-16 do 24-27 dne KS i K

Název: **Brouci P-**

Poř. číslo: 41 / V

Poznámka:

Složení krmné směsi

Suroviny	%	Min	Max	Kč/t	Kč
30360 Kvas. torula	15.000	0.000	100.000	8000.00	1200.00
50291 Mláto pivovar 19.4 NL	50.000	0.000	100.000	0.00	0.00
50503 Jablečné výl 4,7 NL	35.000	0.000	100.000	0.00	0.00
Celkem	100.000	Cena surovin			1200.00
		Velkoobchodní cena			2212.00
		Prodejní cena			2212.00

Obsah živin v 1 kg

	Výpočet	Min	Max		Výpočet	Min	Max
*MEd MJ	6.318	12.70		*ARGININ g	7.510	13.36	
*NL g	180.304	200.52	219.62	K.linolová g	15.544	11.45	
*LYSIN g	9.930	12.41		*Vápník g	2.711	8.59	
*METHIONIN g	3.041	4.96		*P nefyt. g	2.577	4.29	
*MET+CYS g	5.632	8.97		*Sodík g	1.513	1.52	1.91
THREONIN g	8.481	8.30		*Chlor g	0.802	1.43	2.10
TRYPTOFAN g	2.222	2.00					

Kalkulovaná ME (vyhl. MZe):

MEp MJ/kg	7.99	MEs MJ/kg	11.30
MEd MJ/kg	5.13	MEm MJ/kg	11.19

**Příloha 4** Výrobní list krmné směsi P<sup>-</sup> pro AD v experimentálních chovných bednách číslo 8, 9 a 10. I tato směs se skládá z kvasinek *Torula* (15 %), pivovarského mláta (50 %) a jablečných výlisků (35 %). Tato KS není obohacena o BR výkrm.

Číslo vzorků resp. vzorkovnic	Bližší identifikace vzorku	Navážky (m) prázdných vzorkovnic s víčky (g)	Navážky (m) vzorkovnic s víčky a nevysušenými vzorky (g)	Hmotnost (m) nevysušeného vzorku (g)	Hmotnost (m) vzorkovnic s víčky a vysušenými vzorky (g)	Hmotnost (m) vysušeného vzorku (g)	Procento (%) sušiny ve vzorku	Procento (%) vody ve vzorku
1	DOSPĚLCI <i>Locusta migratoria</i> L.	23,4348	51,2242	27,7894	33,7650	10,3302	37,1732	62,8268
2	DOSPĚLCI <i>Gryllus assimilis</i> F.	23,0435	82,5184	59,4749	40,3316	17,2881	29,0679	70,9321
3	DOSPĚLCI <i>Locusta migratoria</i> L.	22,9578	51,6404	28,6826	33,4200	10,4622	36,4758	63,5242
4	LARVY <i>Hermetia illucens</i> L.	23,4189	87,0261	63,6072	39,5027	16,0838	25,2861	74,7139
5	LARVY <i>Zophobas morio</i> F.	23,1479	96,6745	73,5266	53,7054	30,5575	41,5598	58,4402
6	DOSPĚLCI <i>Blaberus discoidalis</i>	30,6534	85,8223	55,1689	47,7404	17,0870	30,9722	69,0278
7	LARVY <i>Alphitobius diaperinus</i> P.	31,3058	87,2825	55,9767	44,1211	12,8153	22,8940	77,1060
8	LARVY <i>Tenebrio molitor</i> L.	15,0747	41,3202	26,2455	25,8155	10,7408	40,9243	59,0757
9	DOSPĚLCI <i>Acheta domestica</i> L. 13 P+	15,1253	35,0732	19,9479	20,5550	5,4297	27,2194	72,7806
10	DOSPĚLCI <i>Acheta domestica</i> L. 12 P+	15,0770	35,8096	20,7326	20,6623	5,5853	26,9397	73,0603
11	DOSPĚLCI <i>Acheta domestica</i> L. 11 P+	14,9597	36,6860	21,7263	20,5100	5,5503	25,5465	74,4535
12	DOSPĚLCI <i>Acheta domestica</i> L. 10 P-	14,9721	35,6939	20,7218	20,3085	5,3364	25,7526	74,2474
13	DOSPĚLCI <i>Acheta domestica</i> L. 9 P-	14,9881	31,9060	16,9179	19,4516	4,4635	26,3833	73,6167
14	DOSPĚLCI <i>Acheta domestica</i> L. 8 P-	14,9687	35,3859	20,4172	20,4526	5,4839	26,8592	73,1408
15	DOSPĚLCI <i>Acheta domestica</i> L. 7 K-	15,1498	35,9328	20,7830	20,6691	5,5193	26,5568	73,4432
16	DOSPĚLCI <i>Acheta domestica</i> L. 6 K-	15,1641	32,4334	17,2693	19,8767	4,7126	27,2889	72,7111
17	DOSPĚLCI <i>Acheta domestica</i> L. 5 K-	15,1111	30,6631	15,5520	19,3258	4,2147	27,1007	72,8993
18	DOSPĚLCI <i>Acheta domestica</i> L. 4 K+	15,1467	33,2251	18,0784	19,8310	4,6843	25,9110	74,0890
19	DOSPĚLCI <i>Acheta domestica</i> L. 3 K+	15,0660	34,1340	19,0680	19,9663	4,9003	25,6991	74,3009
20	DOSPĚLCI <i>Acheta domestica</i> L. 2 K+	15,0528	36,2556	21,2028	20,7602	5,7074	26,9181	73,0819
21	DOSPĚLCI <i>Acheta domestica</i> L. Control	14,9549	38,8056	23,8507	21,6819	6,7270	28,2046	71,7954
22	DOSPĚLCI <i>Apis mellifera</i> L. (trubci)	15,1570	36,1061	20,9491	20,3094	5,1524	24,5949	75,4051

**Příloha 5** Seznam navážek jednotlivých vzorků hmyzu s doplněnými výpočty (vlastní tvorba)

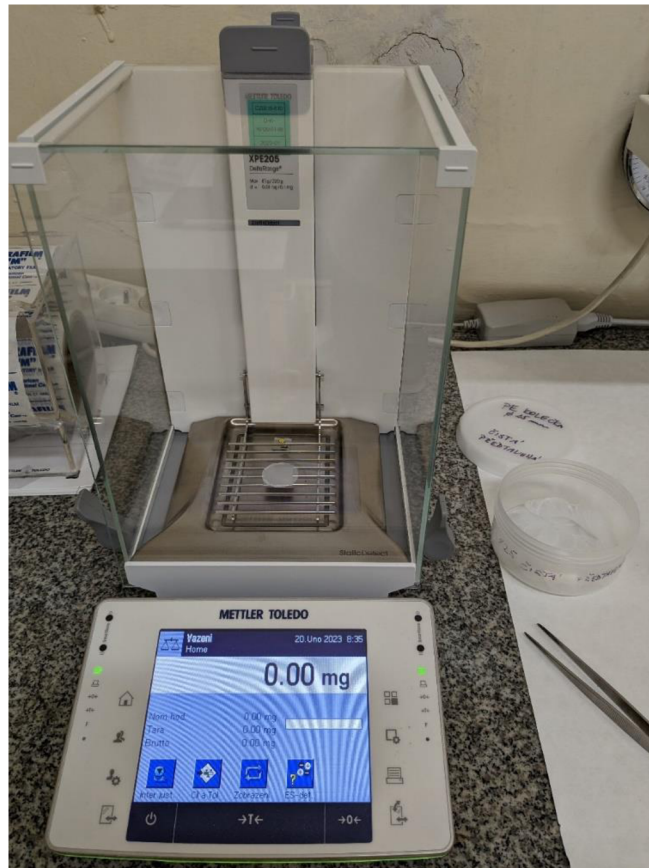


**Příloha 6** Vážení lyofilizovaných vzorků na analytických vahách Mettler Toledo AE 200 (vlastní tvorba)

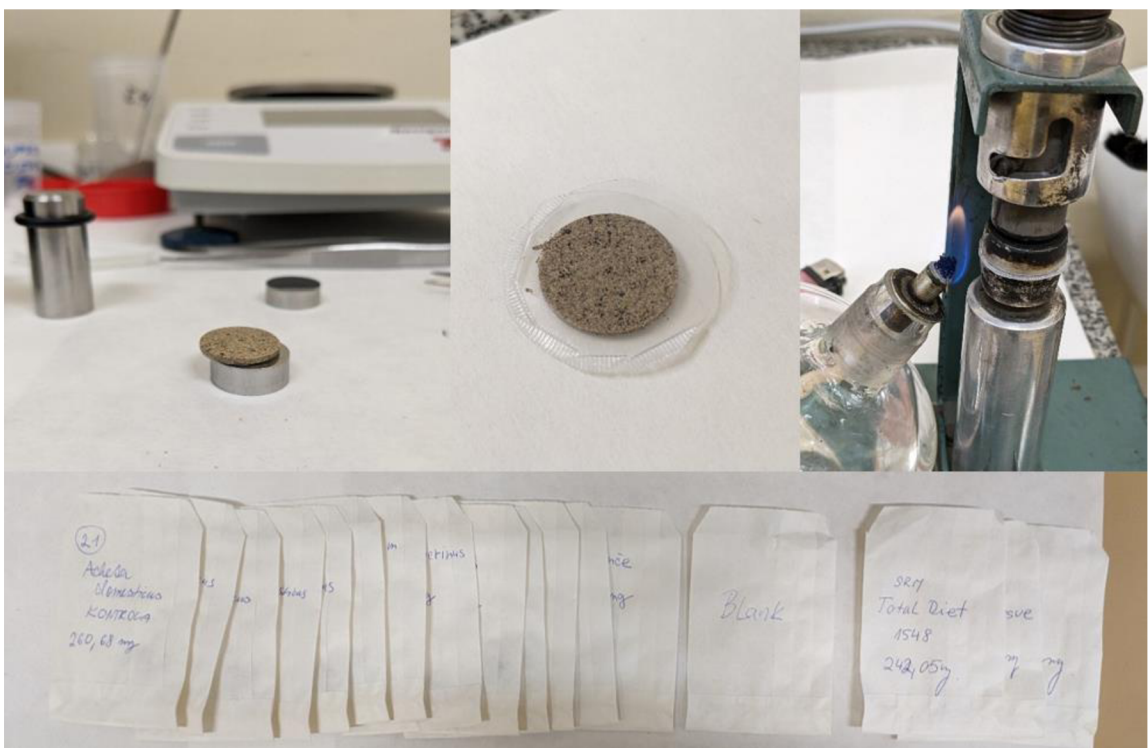


**Příloha 7** Homogenizace lyofilizovaných vzorků hmyzu v mlýnku IKA Yellowline A10 (vlevo před homogenizací, vpravo po homogenizaci) (vlastní tvorba)





**Příloha 8** Vážení na automatických analytických vahách METTLER XPE205. Vidět je kompenzace prázdného čistého polyethylenového kolečka o průměru 25 mm (vlastní tvorba)



**Příloha 9** Nahoře zleva vylisovaná tableta vzorku, vzorek v polyethylenovém pouzdře, zatavení vzorku za pomoci kahanu a otočného držáku; dole 17 vzorků k zabalení do hliníku (vlastní tvorba)



**Příloha 10** Poslední fáze přípravy vzorků pro INAA. Zleva popsané vzorky hmyzu a slepý pokus (vlastní tvorba)



**Příloha 11** Připravené popsané hliníkových proužky bez vzorků; vzorky zabalené v proužcích; vzorky se zastříženými rohy hliníkových proužků (aby se daly naskládat do tuby) (vlastní tvorba)

$M_6$  - HES  
 BL - SLEPÝ VZOREK (BLANK)  
 16 } VZORKY HMYZU  
 15 } ČÍSLO 15-16  
 14 }  
 13 }  
 $M_5$  - HES  
 $X_6 - X_{10}$  STANDARDY  $X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}$   
 $M_4$  - HES  
 $X_1 - X_5$  STANDARDY  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$   
 $M_3$  - HES  
 12 }  
 11 } VZORKY HMYZU  
 10 } ČÍSLO 7-12  
 9 }  
 8 }  
 7 }  
 $M_2$  - HES  
 6 }  
 5 }  
 4 } VZORKY HMYZU  
 3 } ČÍSLO 1-6  
 2 }  
 1 }  
 $M_1$  - HES



**Příloha 12** Pořadí vzorků během skládání do kratšího hliníkového pouzdra 1145 UJF-K (vlastní tvorba)