

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra kvality a zemědělských produktů**



**Nutriční hodnota jedlého hmyzu**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Ingrid Nierostková**

**Vedoucí práce: doc. Ing. Lenka Kouřimská, Ph.D.**

© 2015 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Nutriční hodnota jedlého hmyzu" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí 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 neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 10. 4. 2015 \_\_\_\_\_

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Lence Kouřimské, Ph.D., Ing. Anně Adámkové a jejímu manželovi Ing. Martinu Adámkovi Ph.D., za jejich ochotu, věcné rady a čas, který mi během výzkumu a zpracování této práce věnovali.

# Nutriční hodnota jedlého hmyzu

## Souhrn

Hmyz je v různých částech světa běžnou součástí potravy. V chudých zemích je hmyz snadno dostupným zdrojem bílkovin namísto jinak nedostupného masa. V bohatších zemích jde potom především o delikatesu a zpestření jídelníčku. Nutriční vlastnosti materiálů z jedlého hmyzu jsou závislé na mnoha faktorech – přírodovědný druh, stanoviště chovu, krmivo atd. Z tohoto důvodu se výsledky analýz z různých oblastí chovu mohou lišit.

V České republice, je konzumace jedlého hmyzu stále více diskutována, avšak je potřebné porovnání nutričních hodnot s ostatními krajinami. Proto bylo cílem této diplomové práce zjistit vybrané základních nutričních hodnoty (obsah bílkovin, tuků, mastných kyselin a sušiny) u materiálů z vybraných druhů jedlého hmyzu chovaných v podmínkách ČR. Výsledky analýz byly porovnány nejen mezi jednotlivými zkoumanými druhy, ale porovnány s jinými potravinovými zdroji živočišného původu. K analýze bylo vybráno 5 druhů jedlého hmyzu: saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*), potěmník moučný (*Tenebrio molitor*), potěmník brazilský (*Zophobas morio*), zavíječ voskový (*Galleria mellonella*), cvrček stepní (*Gryllus assimilis*). U vybraných druhů hmyzu byla stanovena sušina pomocí infračervených vah do konstantní hmotnosti. Obsah tuku byl stanoven gravimetricky po extrakci studenou fází podle Soxhleta. Vzorek byl následně použit pro stanovení profilu mastných kyselin pomocí plynové chromatografie, před kterou byl esterifikován. Stanovení dusíku a hrubé bílkoviny bylo stanoveno metodou podle Kjeldahla.

Zjištěný obsah bílkovin u vybraných druhů jedlého hmyzu byl v rozmezí od 39,42 % do 62,63 %. Obsah tuku byl nejmenší u cvrčka stepního (*Gryllus assimilis*) 17,99 % a naopak nejvyšší u druhu zavíječ voskový (*Galleria mellonella*) – 37,05 %. U potěmníka brazilského (*Zophobas morio*) byl stanoven velký podíl nenasycených mastných kyselin.

Výsledky potvrdily vysokou nutriční hodnotu vybraných druhů jedlého hmyzu chovaných v podmínkách České republiky, rozdíl mezi jednotlivými přírodovědnými druhy a srovnatelnost materiálů z jedlého hmyzu s jinými živočišnými zdroji potravy. Tím byly potvrzeny položené hypotézy a cíl práce byl splněn.

**Klíčová slova:** jedlý hmyz, nutriční hodnoty, tuky, bílkoviny

# Nutritional value of edible insects

## Summary

Insects is common part of food in different parts of the world. In poor countries the insects is easily available source of protein instead otherwise unavailable meat. In richer countries it is delicacy and variegation of the diet. Nutritional properties of materials from edible insects are dependent on many factors – natural history species, breeding habitat, feed etc. For this reason the analysis result from different breeding areas may be different.

The consumption of edible insects in the Czech Republic is still more discussed but it is necessary to compare the nutritional value with other countries. Therefore the aim of this thesis was to determine the selected primary nutritional value (content of protein, fats, fatty acids and dry matter) with materials from selected species of edible insects bred in conditions in the Czech Republic. The results were compared not only between the studies species but to the other food sources of animal origin.

Five kinds of edible insects: migratory locust (*Locusta migratoria*), mealworm (*Tenebrio molitor*), superworm (*Zophobas morio*), wax moth (*Galleria mellonella*), field cricket (*Gryllus assimilis*) were chosen for the analysis. Infra-red scales were used to determine dry weight to constant weight for selected in insect species. The fats content was determined gravimetrically after extraction by Soxhlet cold phases. Esterified sample was subsequently used to determine the profile of fatty acids by gas chromatography. Determination of nitrogen and crude protein was determined by the method of Kjeldahl.

Determine content of protein was in range from 39,42% to 62,63% in selected species of edible insects. At field cricket (*Gryllus assimilis*) the content of fat was lowest 17,99% while at wax moth (*Garlleria mellonella*) was the highest – 37,05 %. Large proportion of unsaturated fatty acids was determined at superworm (*Zophobas morio*).

The results confirmed the high nutritional value of selected species of edible insects bred in conditions in the Czech Republic, differences between individual natural species and comparability materials of edible insects with other animal food source. The hypothesis was confirmed and the aim of dissertation was accomplished.

**Keywords:** edible insects, nutritional value, fats, proteins

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Vědecká hypotéza a cíle práce</b> .....	<b>9</b>
<b>3 Přehled literatury</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1 Historie entomofagie</b> .....	<b>10</b>
<b>3.2 Jedlý hmyz ano či ne?</b> .....	<b>11</b>
<b>3.3 Enviromentální aspekty</b> .....	<b>13</b>
3.3.1 Vodní stopa.....	13
3.3.2 Konverze krmiva .....	14
3.3.3 Rozklad organického odpadu .....	15
3.3.4 Skleníkové plyny .....	16
3.3.5 Snížení potřeby pesticidů .....	17
<b>3.4 Hmyz jako krmivo</b> .....	<b>18</b>
<b>3.5 Nutriční hodnota</b> .....	<b>18</b>
3.5.1 Energetická hodnota .....	20
3.5.2 Bílkoviny.....	21
3.5.3 Aminokyseliny.....	22
3.5.4 Tuk .....	23
3.5.5 Mastné kyseliny .....	24
3.5.6 Steroidy.....	25
3.5.7 Minerální látky.....	26
3.5.8 Vitamíny.....	27
<b>3.6 Hlavní skupiny jedlého hmyzu</b> .....	<b>28</b>
<b>3.7 Produkty z hmyzu</b> .....	<b>29</b>
<b>4 Materiál a metody</b> .....	<b>30</b>
<b>4.1 Stanovení sušiny</b> .....	<b>31</b>
4.1.1 Stanovení sušiny vážkově .....	31
4.1.2 Stanovení sušiny na infračervených vahách.....	31
<b>4.2 Stanovení obsahu bílkovin</b> .....	<b>31</b>
<b>4.3 Stanovení obsahu tuku</b> .....	<b>32</b>
<b>4.4 Stanovení profilu mastných kyselin</b> .....	<b>32</b>
<b>5 Výsledky</b> .....	<b>34</b>
<b>5.1 Sušina</b> .....	<b>34</b>
5.1.1 Stanovení sušiny vážkově .....	34

5.1.2 Sušina Infračervené váhy.....	34
<b>5.2 Bílkoviny .....</b>	<b>35</b>
<b>5.3 Tuk .....</b>	<b>36</b>
<b>5.4 Profil mastných kyselin .....</b>	<b>36</b>
<b>6 Diskuze .....</b>	<b>38</b>
<b>7 Závěr .....</b>	<b>41</b>
<b>8 Seznam literatury.....</b>	<b>42</b>

# 1 Úvod

S hmyzem se lidé setkávají v každodenním životě a je nesporné, že představuje pro člověka nepostradatelnou skupinu živočichů. Kromě obrovského výživového potenciálu zasahuje hmyz více či méně nenahraditelným způsobem do mnoha odvětví lidské činnosti.

Hmyz je v různých částech světa vyhledávanou složkou jídelníčku či dokonce považován za delikatesu. V našich končinách je prozatím konzumace hmyzu uznávána jen hrstkou nadšenců, ale v dnešní době potravinové krize a přibývajících zastánců alternativního způsobu stravování se téma využití hmyzu v lidské stravě dostává znovu do popředí a zájmu odborníků i laické veřejnosti.

V Evropských zemích prozatím převládá averze vůči konzumaci jedlého hmyzu, i když v dnešní době již existují vědecké práce, které dokazují jeho plnohodnotnost pro lidskou stravu (Ramos-Elorduy and Pino, 1990; Finke, 2002 Xiaoming et al., 2010; Rumpold and Schlüter, 2013).

S výjimkou Evropy a části Severní Ameriky je hmyz běžně pojídán na všech ostatních obydlených světadílech. V chudých zemích je hmyz snadno dostupným zdrojem bílkovin namísto jinak nedostupného masa. V Africe, Asii nebo Jižní Americe běžně existují tržišťe, kde je hmyz s úspěchem prodáván.

Obrázek č. 1: Ukázka běžně konzumovaných druhů hmyzu (foto: A. Adámková)





## **2 Vědecká hypotéza a cíle práce**

Nutriční vlastnosti materiálu z jedlého hmyzu jsou závislé na intravitálních a extravitálních vlivech (přírodovědný druh, vývojové stádium, stanoviště chovu, krmivo, atd.). Pro stanovení nutričních hodnot jedlého hmyzu z různých stanovišť chovu ve světě je nutné nejdříve provést základní analytické rozborů z těchto jednotlivých oblastí.

Hypotéza I: Nutriční hodnota materiálů z jedlého hmyzu chovaných v České republice se liší podle přírodovědného druhu hmyzu.

Hypotéza II: Nutriční hodnota materiálů z vybraných druhů jedlého hmyzu chovaných v podmínkách České republiky je srovnatelná s jinými potravinovými zdroji živočišného původu.

Na základě hypotéz byly stanoveny cíle diplomové práce. Cílem diplomové práce bylo v teoretické části zpracování literární rešerše zaměřené na základní nutriční hodnoty u vybraných druhů jedlého hmyzu ve světě a v ČR. V praktické části byly proměřeny vybrané základních nutričních hodnoty (obsah bílkovin, tuků, mastných kyselin a sušiny) u materiálů z vybraných druhů jedlého hmyzu chovaných v podmínkách ČR. Jednotlivé druhy byly mezi sebou porovnány.

## 3 Přehled literatury

### 3.1 Historie entomofagie

Pojem entomofagie vyjadřuje využívání hmyzu jako potravin. Entomofagie se dá v historii hledat jako něco přítomného v lidské kultuře už od počátku věků. Zatímco v řadě kultur se tento fenomén ve značné míře zachoval, jinde se stal tabu. Člověk jako potomek původních primátů se v raném vývoji živil jako všežravec ve značné míře i hmyzem. Předtím než měli lidé nástroje k lovu nebo zemědělství, představoval hmyz důležitou složku jejich potravy. Navíc, obýval převážně teplé oblasti, kde byly různé druhy hmyzu k nalezení celoročně a při nedostatku masa obratlovců se stávaly vítaným zdrojem bílkovin (Sponheimer et al., 2005).

Konkrétní důkazy konzumace hmyzu v lidské historii pak získáváme z analýz fosilií např. z jeskyň v USA a Mexiku či z maleb v jeskyních Artamila v severním Španělsku (datování 9000 - 3000 př. n. l.) (Lesnik, 2014). Nalezené důkazy o entomofagii byly potvrzeny i pomocí analytických technik. Například zkamenělé exkrementy z jeskyň v Mexiku obsahovaly mravence, larvy brouků, vši, klíš'ata a roztoče (Meyer-Rochow, 2009). Dále pomocí analýzy stabilních izotopů uhlíku bylo zjištěno, že kosti i sklovina Australopitéků jsou výrazně obohaceny izotopem  $^{13}\text{C}$ . To znamená, že jejich potravou byli převážně živočichové živící se trávami, tedy i hmyz (Sponheimer and Lee-Thorp, 1999).

Dnes je entomofagie tradičně vykonávána ve 113 zemích celého světa a je evidováno více než dva tisíce jedlých druhů hmyzu. Největší konzumace hmyzu je v Africe, Asii a Latinské Americe (Van Huis, 2013; Kyniuru, 2014).

Ve většině evropských zemí, je spotřeba hmyzu lidmi velice malá, nebo dokonce kulturně nevhodná, i když jeho nutriční hodnota je srovnatelná s běžně konzumovaným masem. V budoucnu by se však měla i populace těchto zemí přizpůsobit jiným zdrojům živočišných bílkovin, protože tradiční chov hovězího, vepřového a kuřecího masa bude neudržitelný (Dreon and Paoletti, 2009).

### 3.2 Jedlý hmyz ano či ne?

S nárůstem světové populace je zvýšená poptávka po zdroji proteinu a množství dostupné zemědělské půdy je omezené. Hospodářská zvířata a ryby jsou důležitým zdrojem bílkovin ve většině zemí světa (FAO, 2012). Podle FAO (2012) je k chovu hospodářských zvířat využíváno 70 % veškeré zemědělské půdy.

V letech 1980 a 2004 se celková produkce masa zvýšila téměř dvojnásobně a tento trend nadále pokračuje. Také produkce a spotřeba ryb se v posledních pěti desetiletích dramaticky zvýšila (Luan et al., 2013). V příštích desetiletích budou lidé čelit nedostatkům výživových prostředků. V roce 2050 je světová populace odhadována na více než 9 miliard lidí, což vede ke zvýšení potřeby potravin až o polovinu vzhledem k momentální potřebě. Konvenční zdroje proteinů budou nedostačující a bude potřeba alternativních zdrojů (Godfray et al., 2010; Luan et al., 2013).

Už dnes je přibližně 870 milionů lidí, kteří trpí podvýživou, což je 12,5 % celkové světové populace. Podvýživa se tedy dotýká přibližně každého 8 člověka (Nnyepi 2007; Gobotswang 1998; FAO 2013).

Hmyz byl vždy součástí lidské stravy. To nabízí významnou příležitost spojení tradičních znalostí a moderní vědy v rozvinutých i rozvojových zemích. Je třeba přehodnotit, co jíme a jakým způsobem vyrábíme potraviny. Je třeba najít nové způsoby produkce potravin a omezit jejich plýtváním (Kyniuru, 2014).

V Africe, jihovýchodní Asii a v severní části Latinské Ameriky nejen že na konzumaci hmyzu doslova závisí lidské životy, ale tato početná skupina živočichů je především vyhledávanou lahůdkou. Je otázkou, proč i v bohatých průmyslových státech není entomofagie rozšířená a neobohacuje tak jídelníček spousty lidí. Přitom například Čína dnes patří k velice moderní společnosti a jedné z nejrychleji se rozvíjejících ekonomik a jsou zde běžně k dostání dárkové koše plné jedlého hmyzu. V Mexiku je po hovězím a fazolích hmyz třetím národním jídlem. (Cerritos et al., 2008).

Obecně lze říci, že hmyz je dobrým potenciálním zdrojem potravy díky svému dobře vyváženému nutričnímu profilu. Má velký podíl vícenenasycených mastných kyselin, je bohatý na mikroživiny a vitamíny (Rumpold and Schlüter, 2013). Hmyz může představovat i dobrý zdroj krmiva, třeba jako alternativa rybí moučky (Chung, 2010). Kromě nutričních výhod, je třeba zkoumat také jeho funkční vlastnosti, například použití extraktu z hmyzu jako texturizační

složky potravin a jako složky s vysokým obsahem bílkovin, pro speciální diety (Hu et al., 2010). Ve srovnání s chovem hospodářských zvířat se zdá být chov hmyzu šetrnější k životnímu prostředí, vzhledem k menší tvorbě skleníkových plynů, potřeby vody a potřeby půdy. Je ovšem zapotřebí ještě další rozsáhlý výzkum. Pro průmyslově chovaný hmyz jako potraviny po celém světě, je třeba vzdělávat veřejnost a zlepšit image jedlého hmyzu, aby bylo možné zajistit přijetí a zvýšení spotřeby hmyzu jako potraviny. Kromě toho je třeba stanovit mezinárodní bezpečnostní předpisy pro jedlý hmyz (Teffo et al., 2007).

Chov jedlého hmyzu jako potraviny má tedy několik výhod:

- Má schopnost vysoké konverze krmiva
- Jeho chov může být ekologický, čímž snižuje znečišťování životního prostředí
- Dokáže přeměňovat organický odpad
- Produkuje poměrně málo skleníkových plynů a relativně málo amoniaku
- Jeho chov vyžaduje mnohem méně vody a půdy než chov hospodářských zvířat
- Představují nízké riziko přenosu infekcí
- Větší efektivita chovu

I přes všechny tyto výhody zůstává největší překážkou přijetí hmyzu jako zdroje bílkovin spotřebitelem v mnoha západních zemích. Historie ovšem ukázala, že stravovací návyky se rychle mění. Dobrým příkladem je přijetí konzumace syrových ryb ve formě sushi (Verkerk et al., 2007).

Je třeba však také zmínit možné rizika spojené s konzumací hmyzu. Jedním z možných rizik je sběr hmyzu, konzumace nevhodného vývojového stádia, špatná manipulace a kulinářská úprava (Bednářová et al., 2010). Bouvier (1945) například pozoroval, že konzumace kobylek a sarančat v celku bez odstranění nohou, může vést ke střevní zácpě, která může mít až fatální následky.

Výsledky rozborů prováděné v letech 2003 – 2010 ukázaly možné nebezpečí konzumace hmyzu krmného umělou dietou. Základní krmná dávka hmyzu je tvořena otrubami, ve kterých je vyšší koncentrace těžkých kovů než v mouce. Po konzumaci hmyzu krmného otrubami tedy hrozí zvýšený příjem těžkých kovů (Bednářová et al., 2010). Výsledky rozborů dvou nejčastěji konzumovaných druhů hmyzu na těžké kovy jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Tabulka č. 1: Obsah těžkých kovů v sušině druhu saranče stěhovavá (*Gryllus assimilis*) a potěmník moučný (*Tenebrio molitor*) (Bednářová et al., 2010)

druh	Sušina g/kg <sup>-1</sup>	Ve 100% sušiny					
		Popelovinag/kg <sup>-1</sup>	Těžké kovy (mean±S.D.) mg/kg <sup>-1</sup>				
			Pb	Cd	Mn	Zn	Cu
<i>Gryllus assimilis</i>	327.53	41.92	0.026	0.071	0.654	185.71	25.465
		±1.06	±0.0119	±0.0225	±0.1008	±25.559	±1.2951
<i>Tenebrio molitor</i>	286.15	38.69	0.023	0.113	0.171	119.42	16.391
		±0.77	±0.0078	±0.0451	±0.0597	±28.364	±1.3448

Konzumace hmyzu může způsobovat alergie. Hmyz má vnější kostru tvořenou chitinem, který je pro člověka těžko stravitelný. Dnes kvůli potravě neobsahující chitin dochází u lidí k úbytku tvorby enzymu, štěpícího chitin. Někteří lidé mají tohoto enzymu tak minimální množství, že u nich po konzumaci hmyzu nastane alergická reakce. Nejvíce ohrožení jsou lidé, kteří trpí alergií na plody moře, hmyz totiž pochází ze stejného kmene jako krevety (Bednářová et al., 2013).

### 3.3 Enviromentální aspekty

Enviromentální aspekty jsou v současnosti diskutovaným tématy vzhledem k neustálému ničení přírodních potravinových zdrojů. Z tohoto důvodu jsou hledány alternativní zdroje, které by mohly být šetrnější k životnímu prostředí. Jedním z možných řešení je chov hmyzu a jeho následné zpracování.

#### 3.3.1 Vodní stopa

Vodní stopa zboží nebo služby je celkové množství vody, jak vnitřní, tak vnější, které je potřeba k produkci dané komodity. Tento koncept může být použit k výpočtu a porovnání požadavků na vodní zdroje, které vyplývají z různých alternativ. Také může být rozšířena na zajištění vodních rozpočtů celých národů, či kontinentů. Vodní stopa měří využití vody v m<sup>3</sup> za

rok. Nedostatek vody již dnes omezuje zemědělskou produkci v mnoha částech světa. Odhaduje se, že v roce 2025 bude 1,8 miliardy lidí žít v zemích nebo regionech s absolutním nedostatkem vody. Je potřeba se nad tím zamyslet, protože zemědělství spotřebuje 70 % sladké vody na celém světě (FAO, 2012).

Mekonen a Hoekstra (2010) zkoumali celkový dopad na spotřebu vody při chovu hospodářských zvířat. Odhadovaná vodní stopa pro hovězí maso je 15400 l/kg, pro vepřové maso 6000 l/kg a 3400 l/kg pro kuřecí maso. Vzhledem k tomu, že nejvyšší podíl na celkové vodní stopě pro produkci masa má voda potřebná pro pěstování krmiva, je důležitá vysoká konverze krmiva, která je například u skotu velmi malá.

Van Huis et al. (2013) uvádí, že vodní stopa u jedlého hmyzu není dosud známa, ale předpokládají mnohonásobně nižší spotřebu vody.

### 3.3.2 Konverze krmiva

Konverze krmiva je schopnost zvířete využít živiny k tvorbě vlastního těla. Z ekonomického hlediska je důležité kolik krmiva zvíře spotřebuje na 1 kg přírůstku živé hmotnosti. Pro tvorbu jednoho kilogramu kvalitních živočišných bílkovin je potřeba několikanásobně větší množství rostlinných bílkovin (Ayieko, 2007).

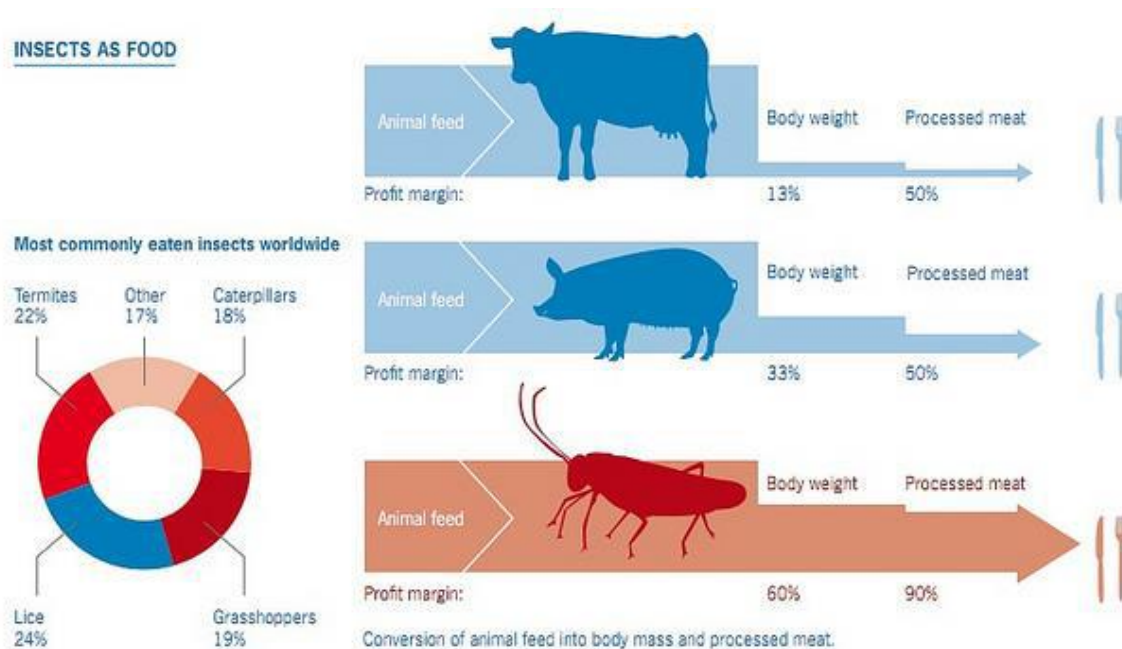
Pimentel and Pimentel (2003) spočítali, že na jedno kilo vysoce kvalitních živočišných bílkovin je potřeba zkrmovat asi 6 kg rostlinných bílkovin. Liší se to v závislosti na druhu zvířete a na používaných postupech výkrmu.

Autoři prováděli výzkum u chovu ve Spojených státech. Z výzkumu bylo zjištěno, že pro přírůstek jednoho kilogramu živé hmotnosti zvířete je zapotřebí 2,5 kg krmiva u kuřecího masa, 5 kg krmiva u vepřového masa a 10 kg krmiva pro hovězí maso (Pimentel and Pimentel, 2003). Pro srovnání Ayieko (2007) uvádí, potřebu krmiva pro produkci 1 kg hovězího masa 7,7 kg krmiva, 6,3 kg krmiva na 1 kg ovčího masa, 3,6 kg krmiva na kilogram vepřového masa a 2,2 kg krmiva na kilogram kuřecího masa.

Hmyz vyžaduje mnohem méně krmiva, například pro produkci 1 kg živé hmotnosti cvrčka domácího (*Acheta domestica*) je uváděna potřeba krmiva 1,7 kg (Collavo et al., 2005).

Je tedy zřejmé, že hmyz má vysokou konverzi krmiva ve srovnání s hospodářskými zvířaty. Van Huis et al. (2013) dokonce uvádí konverzi krmiva cvrčka domácího (*Acheta domestica*) jako 2x efektivnější oproti kuřatům, 4x vyšší než u prasat a více jak 12x vyšší než u skotu. Konverze krmiva je ukázána na obrázku č. 2.

Obrázek č. 2: Porovnání konverze krmiva (FAO, 2013)



Na rozdíl od jiných živočichů, ze kterých až 40 % živé hmotnosti není vhodné pro lidskou konzumaci, je ve většině případů možno hmyz konzumovat celý. Dále jistě není potřeba zdůrazňovat obrovskou reprodukční schopnost hmyzu, která je mnohanásobně vyšší než u běžně chovaných zvířat (Hu et al., 2010).

### 3.3.3 Rozklad organického odpadu

Další výhodou hmyzu jako alternativního zdroje bílkovin je, že k jeho chovu může být použit organický odpad z chovu hospodářských zvířat, jako je hnůj, kejda a kompost. Druhy *Hermetia illucenc* (dvoukřídla moucha bráněnka, české jméno prozatím nemá), moucha domácí (*Musca domestica*) a potěmník moučný (*Tenebrio Mollitor*) jsou velmi účinné při biodegradaci organického odpadu. Společně jsou tyto druhy schopné zpracovat 1,3 miliardy tun bioodpadu ročně (Veldkamp et al., 2012).

Recyklace zemědělských a lesnických odpadů na krmivo výrazně snižuje organické znečištění prostředí. V současné době však zatím není povoleno používat hmyz krmený organickým odpadem jako krmivo pro hospodářská zvířata. Toto využití hmyzu je prozatím

předmětem zkoumání vzhledem k neznámým rizikům patogenů a kontaminantů (Offenberg, 2011).

V roce 2004 byl na Slovensku zahájen projekt spolufinancovaný z Evropské unie s názvem Ecodiptera. Byla vytvořena pilotní technologie pro biologický rozklad prasečí kejdy pomocí larev mouchy domácí (*Musca domestica*). Účelem bylo zajistit lepší využití obrovského množství tohoto organického odpadu. Jeho nadužívání jako hnojiva je spojeno s řadou problémů v oblasti životního prostředí, včetně nitrifikace, nadměrného obohacení živin v půdě a vodě, a tvorbou skleníkových plynů. Larvy mouchy domácí (*Musca domestica*) byly použity pro transformaci prasečí kejdy na bílkovinné zdroje. Larvy jsou používány jako proteinové krmivo v akvakultuře. Cílem projektu bylo utlumování současné praxe používání prasečí kejdy jako hnojivo a dále prokázat, že získaný vedlejší biologicky rozložitelný odpad lze pomocí mouchy domácí (*Musca domestica*) zahrnout také do jiných procesů s cílem získat technologii, která neprodukuje žádné odpadní produkty (van Huis et al., 2013).

Ovšem tvrzení, že hmyz dokáže vyrůst na hromádce odpadu, není tak zcela správné. Některé druhy mají specifické nároky na potravu například saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*) má velké nároky na zelené krmivo. Zvláštní případy jsou pak druhy, které jsou specializované na určitou stravu jako například larvy zavíječe voskového (*Galleria mellonella*), který je přirozeným škůdcem ve včelích úlech a živí se voskovými plásty (Salášková a Hyršl 2008).

### 3.3.4 Skleníkové plyny

Chov hospodářských zvířat je zodpovědný za 18 % emisí skleníkových plynů, což je vyšší podíl než má odvětví dopravy. Z celkové tvorby skleníkových plynů je 9 % CO<sub>2</sub>, 35 až 40 % CH<sub>4</sub>, 65 % N<sub>2</sub>O a 64 % NH<sub>3</sub> vytvářeno chovem hospodářských zvířat (Steinfeld et al., 2006).

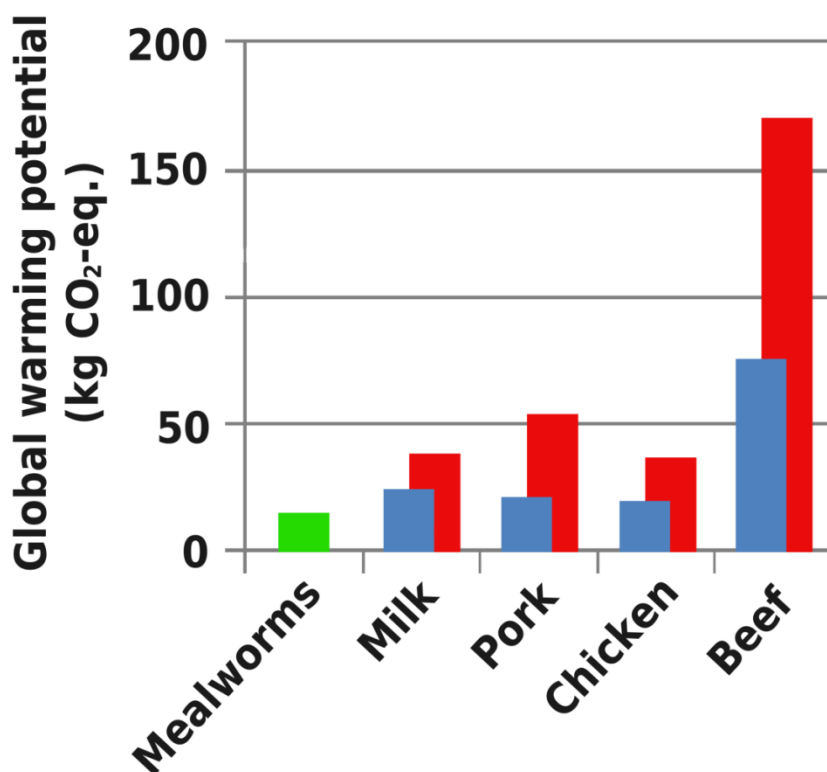
Ve studii Premalatha et al. (2011) o emisi skleníkových plynů a amoniaku, byla porovnávána tvorba skleníkových plynů v konvenčním chovu prasat a skotu s chovem hmyzu. Pro pozorování byly použity druhy potěmník moučný (*Tenebrio molitor*), cvrček domácí (*Acheta domestica*), saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*) a argentinský šváb (*Blattella germanica*). Ve studii bylo prokázáno, že hmyz produkoval srovnatelné nebo nižší množství skleníkových plynů obecně a CO<sub>2</sub> na kilo masového zisku méně než prasata a mnohem méně než skot. Tvorba amoniaku u všech čtyř druhů hmyzu byla nižší než u sledovaných hospodářských zvířat.



Výhoda chovu hmyzu spočívá také v tom, že hmyzí kultury nepotřebují žádné speciální vybavení pro kontrolu koncentrací oxidu uhličitého, a není vyžadována ani striktní kontrola. Využití hmyzu je tedy snadnější a efektivnější (Bednářová, 2013).

Na obrázku č. 3 podle Oonincx and de Boer (2012) je uvedeno porovnání produkce CO<sub>2</sub> na produkci 1 kg proteinu z moučného červa (*Tenebrio mollitor*) a jiných zdrojů živočišných bílkovin. Modrý sloupeček uvádí minimální hodnoty uváděné v literatuře, červený sloupeček zobrazuje hodnoty maximální.

Obrázek č. 3: Dopad chovu hmyzu na životní prostředí v porovnání s ostatními živočišnými bílkovinami (Oonincx and de Boer 2012).



### 3.3.5 Snížení potřeby pesticidů

Také je třeba zmínit, že entomofagie by mohla pomoci snížit používání pesticidů. Řízený sběr jedlého hmyzu, který je považován za škůdce hospodářských plodin může přispět k menší potřebě insekticidů. Vezmeme-li v úvahu obsah bílkovin v rostlinách (38 % u suchých sójových bobů) ve srovnání s obsahem bílkovin například u čeledi kobyolkovití (až do 77 % v sušině) se zdá být používání pesticidů pro zachování rostlin diskutabilní. Kromě toho by měly

být brány v úvahu také ekonomické výhody sběru hmyzu v porovnání s pěstováním rostlin. V Thajsku mohl malý zemědělec v roce 1992 vydělat až 120 dolarů na polovině akru sbíráním kobylek, což byl dvojnásobek ceny než by vydělal na pěstování kukuřice (Chung, 2010).

Obdobně v Mexiku přináší sběr hmyzu pozitiva. Mezi hlavní patří sběr hmyzu k lidské konzumaci, jako je tomu například u kobylky rodu *Sphenarium purpurascens*, snížení množství pesticidů při rostlinné zemědělské produkci a tím snížení finanční zátěže na rodinu zemědělce (Cerritos et al., 2009).

### **3.4 Hmyz jako krmivo**

Hmyz má jako krmivo velký potenciál, vzhledem k jeho vysoké nutriční hodnotě, malé náročnosti na chov a dobrému zkrmování drůbeži, rybám a plazům. Důvodem je, že hmyz běžně patří k stravě v jejich přirozeném prostředí. Například kobylky (*Acridis*) byly posouzeny jako dobrá složka do stravy pro drůbež, protože mají vyšší obsah bílkovin než momentálně používané sójové a rybí moučky, a jsou bohaté na zdroje Ca, Mg, Zn, Fe a Cu. Na Filipínách jsou kuřata chována na pastvině, kde se jejich strava skládá z pastvy a kobylek. Kuřata díky tomu mají mít lahodnou chuť a jsou prodávána za mnohem vyšší cenu než běžně průmyslově chovaná kuřata (Chung, 2010).

### **3.5 Nutriční hodnota**

Nutriční hodnoty jedlého hmyzu jsou velmi různorodé především kvůli množství a variabilitě druhů. Je evidováno více než dva tisíce jedlých druhů hmyzu. I v rámci jedné skupiny hmyzu se mohou nutriční hodnoty značně lišit v závislosti na stupni metamorfózy. Dále jsou rozdíly přisuzovány různým stanovištím a stravě. Stejně jako většina potravin i hmyz mění svojí nutriční hodnotu vlivem přípravy a zpracováním před konzumací (sušení, vaření, smažení) (van Huis et al., 2013).

Většina jedlého hmyzu poskytuje dostatečné množství energie a proteinů, splňuje požadavky aminokyselin pro člověka, má vysoký obsah mono a polyenových mastných kyselin, je bohatá na stopové prvky jako je měď, železo, hořčík, mangan, fosfor, selen a zinek, stejně jako riboflavin, kyselinu pantothenovou, biotin a v některých případech kyselinu listovou (Rumpold and Schlüter, 2013).

Na základě studie nutriční hodnoty 8 druhů hmyzu běžně konzumovaných v Manipuru v Indii, došli autoři k závěru, že hmyz představuje nejlevnější a zároveň nutričně vhodný zdroj

živočišných bílkovin v tomto regionu. Konzumace hmyzu by měla být podporována, protože mnoho lidí si jiné zdroje živočišných bílkovin jako maso a ryby nemůže dovolit (Premalatha et al., 2011).

Ramos-Elorduy and Pino (1990) vypočítali energetické hodnoty pro 94 jedlých druhů hmyzu. Zjistili, že z 94 druhů analyzovaného hmyzu jich 50 % mělo vyšší nutriční hodnotu než sója; 87 % bylo nutričně lepší než kukuřice; 63 % než hovězí maso a 70 % bylo nutričně lepší než ryby, čočka, fazole aj. Pouze 9 analyzovaných druhů obsahovalo méně než 30 % bílkovin v sušině.

Například 100 g housenek pokrývá ze 76 % denní potřebu proteinů, a téměř 100 % denního potřebného množství vitamínů pro člověka (Agbidye et al., 2009). Tři kukly bource morušového mají být stejně výživné jako jedno slepičí vejce (Ramos-Elorduy and Moreno, 2002).

Energetická hodnota 100 g masa a 100 g hmyzu je srovnatelná. Nicméně většina druhů hmyzu je lepším hmotnostním zdrojem bílkovin ve srovnání s hovězím, vepřovým, kuřecím i jehněčím masem (Agbidye et al., 2009).

Vysoká nutriční hodnota hmyzu je velice závislá na složení jeho krmiva. Pro průmyslový chov hmyzu se jako krmivo používá organický odpad. Je nutné zajistit nepřítomnost potenciálně škodlivých přísad, jaké jsou například alergeny, aby bylo dosaženo bezpečnosti konečné potraviny nebo krmiva (Klunder et al., 2012).

Obrázek č. 4: Ukázka možného zakomponování jedlého hmyzu do lidské stravy (foto: A. Adámková)



### 3.5.1 Energetická hodnota

Množství metabolizovatelné energie se odvíjí podle obsahu tuku, takže larvální stadia nebo kukly bývají obvykle bohaté na energii. Naopak druhy spíše bílkovinné mají obsah energie nižší (Bednářová, 2013).

Ramos-Elorduy et al. (1997) analyzovali 78 druhů hmyzu a uvádějí, že kalorická hodnota byla v rozmezí 293 - 762 kcal na 100 g sušiny.

Bednářová (2013) ve své disertační práci uvádí nejnižší hodnoty metabolizovatelné energie u druhu saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*), a to 364,74 kcal na 100 g sušiny. Naopak nejvíce metabolizovatelné energie, téměř 2 x více než saranče, zjistila u housenek zavíječe voskového (*Gallerie mellonella*) – 665,46 kcal na 100 g sušiny.

Obrázek č. 5 uvádí energetické hodnoty vyjádřené v kcal na 100 g čerstvé hmotnosti vybraných druhů hmyzu.

Obrázek č. 5: Energetické hodnoty vybraných druhů hmyzu (van Huis et al., 2013)

Location	Common name	Scientific name	Energy content (kcal/100 g fresh weight)
Australia	Australian plague locust, raw	<i>Chortoicetes terminifera</i>	499
Australia	Green (weaver) ant, raw	<i>Oecophylla smaragdina</i>	1 272
Canada, Quebec	Red-legged grasshopper, whole, raw	<i>Melanoplus femurrubrum</i>	160
United States, Illinois	Yellow mealworm, larva, raw	<i>Tenebrio molitor</i>	206
United States, Illinois	Yellow mealworm, adult, raw	<i>Tenebrio molitor</i>	138
Ivory Coast	Termite, adult, dewinged, dried, flour	<i>Macrotermes subhyalinus</i>	535
Mexico, Veracruz State	Leaf-cutter ant, adult, raw	<i>Atta mexicana</i>	404
Mexico, Hidalgo State	Honey ant, adult, raw	<i>Myrmecocystus melliger</i>	116
Thailand	Field cricket, raw	<i>Gryllus bimaculatus</i>	120
Thailand	Giant water bug, raw	<i>Lethocerus indicus</i>	165
Thailand	Rice grasshopper, raw	<i>Oxya japonica</i>	149
Thailand	Grasshopper, raw	<i>Cyrtacanthacris tatarica</i>	89
Thailand	Domesticated silkworm, pupa, raw	<i>Bombyx mori</i>	94
The Netherlands	Migratory locust, adult, raw	<i>Locusta migratoria</i>	179

### 3.5.2 Bílkoviny

Bílkoviny jsou vysokomolekulární látky, které poskytují organismu potřebné aminokyseliny na zachování tělesné hmoty, růstu a specifické produkce. Jsou společně s minerálními látkami a vodou stavební živinou, hlavní složkou živé hmoty, buněk, tkání a orgánů. Mají nezastupitelné místo v syntéze ve výživě. Bílkoviny jsou důležité v látkové přeměně - katabolizují metabolické pochody, slouží k realizaci genetické informace, organismus je dokáže přeměňovat na tuky a glukózu a použít na tvorbu energie (Horniaková et al., 2010). Doporučený přísun bílkovin je pro dospělého člověka 0,8 g/kg/den (Pánek et al., 2002).

Xiaoming et al. (2010) hodnotili obsah bílkovin u 100 druhů hmyzu. Uvedli, že obsah proteinu byl v rozmezí 13 až 77 % v sušině, jak je vidět na obrázku č. 6. Velké rozpětí zdůvodnili velkou variabilitou zkoumaného hmyzu.

Obrázek č. 6: Obsah bílkovin u 100 druhů jedlého hmyzu (Xiaoming et al., 2010)

Insect order	Stage	Range (% protein)
Coleoptera	Adults and larvae	23 – 66
Lepidoptera	Pupae and larvae	14 – 68
Hemiptera	Adults and larvae	42 – 74
Homoptera	Adults, larvae and eggs	45 – 57
Hymenoptera	Adults, pupae, larvae and eggs	13 – 77
Odonata	Adults and naiad	46 – 65
Orthoptera	Adults and nymph	23 – 65

Bednářová (2013) zkoumala obsah celkového proteinu u sedmi druhů hmyzu. Obsah celkového proteinu byl u všech sledovaných druhů hmyzu poměrně vyrovnaný s výjimkou zavíječe voskového (*Galleria mellonella*), kde obsah bílkovin byl pouze 38,41 %, zatímco u ostatních druhů se procentuální obsah pohyboval od 50,86 % u potemníka moučného (*Tenebrio molitor*) do 62,21 % u saranče stěhovavého (*Locusta migratoria*). Broekhoven et al. (2015) naměřili obsah proteinu potemníka moučného (*Tenebrio monitor*) 47 %.

Na rozdíl od předchozích autorů, uvádějí jiní autoři průměrný obsah bílkovin v běžně jedlém hmyzu u čerstvé hmotnosti. Například u larev potemníka brazilského (*Zophobas morio*)

uvádí Finke (2002) 19 % bílkovin stejně jako u cvrčka domácího (*Acheta domestica*) (Finke, 2004). Konvenční masové zdroje bílkovin obsahují asi 15 až 22 % bílkovin (Ghaly and Alkokaik, 2009). U hmyzu je běžně uváděno 9 – 25 % bílkovin (Finke, 2004).

V Mexiku bylo zkoumáno 87 jedlých druhů hmyzu a průměrný obsah bílkovin v sušině byl uveden od 15 % do 81 %. Ve studii byla také zkoumána stravitelnost proteinů hmyzu, která činí 76 - 96 % (Ramos Elorduy et al., 1997), což je v průměru jen o něco méně než u vaječné bílkoviny (95 %) či hovězího masa (98 %) a naopak více, než u mnoha rostlinných bílkovin (Finke, 2004).

Z analyzovaných dat vyplývá, že obsah bílkovin v tělech hmyzu převyšuje obsah ve většině rostlin. Protein z cvrčka domácího (*Acheta domestica*) je kvalitnější než protein sóji (Xiaoming et al., 2008) a obsah proteinů u některých druhů hmyzu je dokonce vyšší než u slepičích vajec, masa a drůbeže (Ramos-Elorduy and Moreno, 2002). Naměřené množství dusíkatých látek hmyzu může být vyšší než jejich skutečný obsah bílkovin jelikož určité množství dusíku je také vázáno v exoskeletech (Klunder et al., 2012). Finke (2007) uvedl obsah chitinu u hmyzu komerčně chovaného v rozmezí od 2,7 mg do 49,8 mg na kg (čerstvé hmotnosti) a od 11,6 mg do 137,2 mg na kg (sušiny). Chitin je podobně jako polysacharid celulóza z velké části nestravitelný lidmi. Odstranění chitinu ještě více zlepšuje kvalitu proteinu hmyzu. Například odstranění chitinu alkalickou extrakcí zlepšuje stravitelnost proteinu ze včely až na 71,5 % až 94,3 % (Finke, 2007).

### **3.5.3 Aminokyseliny**

Aminokyseliny jsou stavební buňky pro biosyntézu všech proteinů v lidském organismu. Jsou nezbytné pro růst a vývoj člověka. Zvláště důležité jsou esenciální aminokyseliny fenylalanin, valin, treonin, tryptofan, izoleucin, metionin, leucin a lysin, které si tělo samo nedokáže vytvořit a proto musí být přijímány z potravy (Referenční hodnoty pro příjem živin, 2012).

Rostlinné proteiny často nesplňují požadavky na obsah aminokyselin, nejčastěji chybí lysin a u některých plodin i tryptofan a threonin. Pokud jde o požadavky na složení aminokyselin pro lidskou výživu, jedlý hmyz obsahuje vysoce kvalitní profil aminokyselin s vysokým obsahem fenylalaninu a tyrosinu a obecně splňuje požadavky pro výživu, kromě obsahu metioninu. V Africe, kde je základní potravinou kukuřice, běžně kompenzují nedostatek aminokyselin požíváním termitů (Sogbesan and Ugwumba, 2008).

Analýzy téměř stovky jedlých druhů hmyzu ukazují, že obsah esenciálních aminokyselin tvoří 46 - 96 % z celkového množství aminokyselin (Xiaoming et al., 2008).

Bednářová (2013) uvádí množství nepostradatelných (esenciálních) aminokyselin u saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*) 26,90 g na 100g sušiny, u housenek zavíječe voskového (*Galleria mellonella*) 12,32 g na 100 g sušiny. Celkové množství aminokyselin u jednotlivých druhů hmyzu je uvedeno v tabulce č. 2.

Tabulka č. 2: Celkové množství aminokyselin u jednotlivých druhů hmyzu (Bednářová, 2013).

Druhy hmyzu	Aminokyseliny [g.100 g <sup>-1</sup> sušiny]	
	Esenciální	Neesenciální + semiesenciální
Bourec morušový	17,18	33,54
Včela medonosná	20,00	32,94
Saranče stěhovavá	26,90	31,93
Zavíječ voskový	12,32	23,70
Cvrček stepní	25,46	31,10
Potemník moučný	20,06	28,37
Potemník brazilský	17,33	32,90

### 3.5.4 Tuk

Tuky se obvykle definují jako přírodní sloučeniny obsahující esterově vázané mastné kyseliny o více než třech atomech uhlíku v molekule. Většinou se v praxi za lipidy považují také netěkavé lipofilní sloučeniny, které v průmyslových i přírodních produktech doprovázejí vlastní lipidy. Nazývají se proto doprovodné látky lipidů. Do této skupiny doprovodných látek lipidů patří velké množství sloučenin, jako jsou různé terpenoidy, např. steroly a karotenoidy. Dále jsou to lipofilní vitamíny, barviva, přírodní antioxidanty a jiné lipofilní sloučeniny (Velíšek, 1999).

Tuky v potravě jsou důležitým dodavatelem energie, především při její vysoké potřebě. Energetická hodnota tuků přesahuje více než dvojnásobně hodnoty sacharidů a bílkovin, 1g tuku poskytuje 37 – 39 KJ energie. Tuky, které se přírodně vyskytují, se skládají téměř výhradně ze smíšených triacylglycerolů a jsou absorbovány u zdravých jedinců z 98 % (Referenční hodnoty pro příjem živin, 2012).

Tuky vytvářejí prostředí, ve kterém se rozpouštějí látky, jež jsou jinak nerozpustné ve vodě. Jedná se o léčiva, barviva, hormony a hlavně vitamíny nerozpustné ve vodě (A, D, E, K). Tuky mají ochranou funkci – tepelná izolace a jsou zdrojem esenciálních nenasycených mastných kyselin, zejména kyseliny linolové (Horniaková et al., 2010).

Tuk je v hmyzu přítomen v několika formách, asi 80 % je přítomna ve formě triacylglycerolů, které slouží jako zásoba energie pro období vysoké energetické náročnosti, například pro delší lety. Druhou nejvýznamnější formou jsou fosfolipidy, které mají úlohu ve struktuře buněčných membrán (Tzompa-Sosa et al., 2014). Obsah fosfolipidů v tuku je obvykle nižší než 20 %, ale mění se podle životní fáze a druhu hmyzu (Ekpo et al., 2009; Tzompa-Sosa et al., 2014).

Obsah tuku hmyzu je průměrně uváděn 10 – 50 % a je vyšší v larválních stádiích než v dospělosti (Xiaoming et al., 2010). Lipidy hmyzu mají poměrně vysoký obsah C18 mastných kyselin, včetně kyseliny olejové, linolové a linolenové (Tzompa-Sosa et al., 2014).

Housenky patří mezi hmyz s nejvyšším obsahem tuku, který dosahuje až 77 % v sušině, např. *Aegiale hesperiales* (nemá český název) 58,55 %, zavíječ voskový (*Galleria mellonella*) 51,4 – 60 %. Zástupce brouků *Rhynchophorus phoenicis* (nemá český název) má obsah tuku v rozmezí 52,4 - 62,1 % v závislosti na vývojovém stádiu (Bukkens, 1997). Tzompa-Sosa et al. (2014) uvádějí celkový obsah tuku u housenek (*Lepidoptera*) v rozmezí 8,6 - 15,2 g na 100 g hmyzu. Naopak u kobylek a příbuzných druhů Rovnokřídli (*Orthoptera*), uvádějí relativně nízký obsah tuku, který se pohybuje od 3,8 g do 5,3 g na 100 g hmyzu. Broekhoven et al. (2015) uvádějí obsah tuku 25 % pro potměníka moučného (*Tenebrio Molitor*).

Bednářová (2013) uvádí obsah tuku housenek zavíječe voskového (*Galleria mellonella*) 56,65 % v sušině. Významně méně tuku naměřila u saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*) a to pouze 12,61 % v sušině. U ostatních druhů uvádí obsah tuku od 29,36 % u housenek bource morušového (*Bombyx mori*), do 36,10 % u larev potměníka moučného (*Tenebrio molitor*).

### 3.5.5 Mastné kyseliny

Nejdůležitější složkou tuků v potravě jsou mastné kyseliny, které mohou být nasycené, mono nebo polyenové. Nasycené mastné kyseliny jsou sice většinou dodávány potravou, mohou se ale tvořit i v těle lipogenezí z glukózy. Mono a polyenové mastné kyseliny jsou buď obsaženy v potravě, nebo se syntetizují z nasycených mastných kyselin. Výjimku tvoří



polyenové mastné kyseliny s cis-konfigurací a určitou polohou dvojitých vazeb. Tyto kyseliny jsou esenciální, protože se v lidském organismu nemohou syntetizovat (Velíšek, 1999).

Bednářová (2013) ve své disertační práci uvádí, největší obsah nasycených mastných kyselin u cvrčka stepního (*Gryllus assimilis*) a to 25,04 g na 100 g sušiny, nenasycených mastných kyselin u druhu zavíječ voskový (*Galleria mellonella*), 34,23 g na 100 g sušiny. U druhů včela medonosná (*Apis mellifera*) a cvrček stepní (*Gryllus assimilis*) zjistila v absolutním množství méně polynenasycených mastných kyselin než nasycených, u ostatních druhů tomu bylo naopak. Celkový obsah mastných kyselin u jednotlivých druhů hmyzu, který uvádí Bednářová (2013) je uveden v tabulce č. 3.

Tabulka č. 3: Celkový obsah mastných kyselin u jednotlivých druhů hmyzu (Bednářová, 2013)

<b>Mastné kyseliny [g.100g<sup>-1</sup> sušiny]</b>	<b>SFA</b>	<b>MUFA</b>	<b>PUFA</b>	<b>MUFA+PUFA</b>
Bourec morušový ( <i>Bombyx mori</i> )	8,67	2,64	12,3	14,94
Včela medonosná ( <i>Apis mellifera</i> )	15,85	6,3	3,3	9,6
Saranče stěhovavá ( <i>Locus migratoria</i> )	4,01	4,26	4,23	8,49
Zavíječ voskový ( <i>Garlleria mellonella</i> )	21,5	30,02	4,21	34,23
Cvrček stepní ( <i>Locusta migratoria</i> )	25,04	4,23	4,92	9,15
Potemník moučný ( <i>Tenebrio monitor</i> )	9,87	11,33	14,58	25,91
Potemník brazilský ( <i>Zophobas morio</i> )	17,26	14,86	7,93	22,79

### 3.5.6 Steroidy

Steroidy jsou látky, které regulují životní procesy a jsou to vysokomolekulární alkoholy. Rozdělují se na zoosteroly (cholesterol) a fytosteroly (ergosterol). Cholesterol se nachází pouze v živočišných buňkách a je důležitou složkou somatických buněk a slouží jako prekurzor pro vitamin D (Horniaková et al., 2010; Tzompa-Sosa et al., 2014). Tvoří se v játrech, ale do organismu se dostává i potravou (Horniaková et al., 2010).

Cholesterol je nejvíce zastoupeným steroidem přítomným v hmyzu. Ekpo a kol. (2009) studovali obsah cholesterolu v lipidech termitů *Macrotermes bellicosus* (nemá český název) a housenkách *Imbrasia Belina* (nemá český název), které jsou běžně konzumovány v Nigérii. Zjistili, že průměrný obsah cholesterolu v hmyzu v lipidové frakci byl 3,6 %.

### 3.5.7 Minerální látky

Minerální látky hrají důležitou roli v nutriční hodnotě potravin, patří mezi neenergetické živiny a pro organismus jsou nenahraditelné (Horniaková et al., 2010). Minerální látky můžeme rozdělit podle několika hledisek. Jedno z nich je dělení podle kvantitativních znaků:

- a) makroelementy - denní potřeba je nad 100 mg,
- b) mikroelementy – denní potřeba je do 100 mg,
- c) stopové prvky – potřeba většinou není stanovena, pohybuje se v mikrogramech.

Nedostatek stopových prvků, který je běžný v mnoha rozvojových zemích, může mít závažné negativní zdravotní důsledky. Může přispět k poruchám růstu, imunitních funkcí, duševního a fyzického vývoje a reprodukční schopnosti (Referenční hodnoty pro výpočet živin, 2012).

Obecně je možné uvést, že většina druhů hmyzu vykazuje vysoké množství draslíku, vápníku, železa a hořčíku. Zvláště termiti mají vysoký obsah železa. Hmyz obsahuje mnohem více železa a vápníku než hovězí, vepřové a kuřecí maso. Například 100 g housenek poskytuje 335 % minimální denní potřeby železa. Obsah železa u saranče stěhovavého (*Locusta moratoria*) se pohybuje mezi 8 mg a 20 mg na 100 g sušiny, v závislosti na jejich stravě (Oonincx et al., 2010).

Mimo železa je hmyz bohatý také na zinek, proto se spekuluje o tom, že by konzumace hmyzu v rozvojových zemích mohla významně snížit nedostatek železa a zinku u tamního obyvatelstva. Průměrný obsah zinku u hovězího masa je 12,5 mg na 100 g sušiny, zatímco larvy *Rhynchophorus phoenicis* (nemá český název), obsahují 26,5 mg na 100 g sušiny (Bukkens, 2005).

### 3.5.8 Vitamíny

Vitamíny představují biologicky nezastupitelnou skupinu přírodních látek, které katalyzují životní procesy v buňkách a tkáních. V organismu mají různé důležité funkce. Vitamíny slouží jako regulátory chemických procesů, složky hormonů, regulátory osmotického tlaku v buňkách, jsou součástí metabolické činnosti, podílejí se na tvorbě kostí, energetických vzruchů, potlačují stres, zvyšují duševní a fyzickou výkonnost a jiné (Velíšek, 1999).

Bukkens (2005) uvádí, obsah thiaminu (vitamín B1) v rozmezí od 0,1 mg do 4 mg na 100 g sušiny hmyzu a obsah riboflavinu, také známého jako vitamín B2 v rozmezí od 0,11 mg až 8,9 mg na 100 g. Pro srovnání, celozrnný chléb poskytuje 0,16 mg na 100 g vitamínu B2 a vitamínu B1 0,19 mg na 100 g. Vitamin B12 se vyskytuje pouze v potravinách živočišného původu a je dobře zastoupen v moučných larvách *TenebrioMolitor* (0,47 µg na 100 g) a cvrčka domácího (*Acheta domestica*) (5,4 µg na 100 g u dospělého a 8,7 µg na 100 g u nymfy), nicméně u mnoha dalších druhů je zastoupení vitamínu B12 velmi malé. Včelí plod je bohatý na vitamín A a D, housenky jsou obzvláště bohaté na vitamíny B1, B2 a B6 (Bukkens, 2005).

Tabulka č. 4: Základní nutriční hodnoty jednotlivých druhů masa (Referenční hodnoty pro příjem živin, 2012)

Potravina	Bílkovina [g/100g]	Tuk [g/100g]	Sodík Na [mg/100g]	Draslík K [mg/100g]	Vápník Ca [mg/100g]	Fosfor P [mg/100g]
hovězí maso	20,8	7,8	69	334	8	152
vepřové maso libové	17,3	18,2	45	400	24	175
vepřový bůček	9,1	56	45	400	6	84
kuře	22,5	3,2	46	407	12	200
husa	16	33	145	406	10	170
kapr	16	4,2	46	306	10	215
rybí filé	16,5	0,4	100	360	25	194

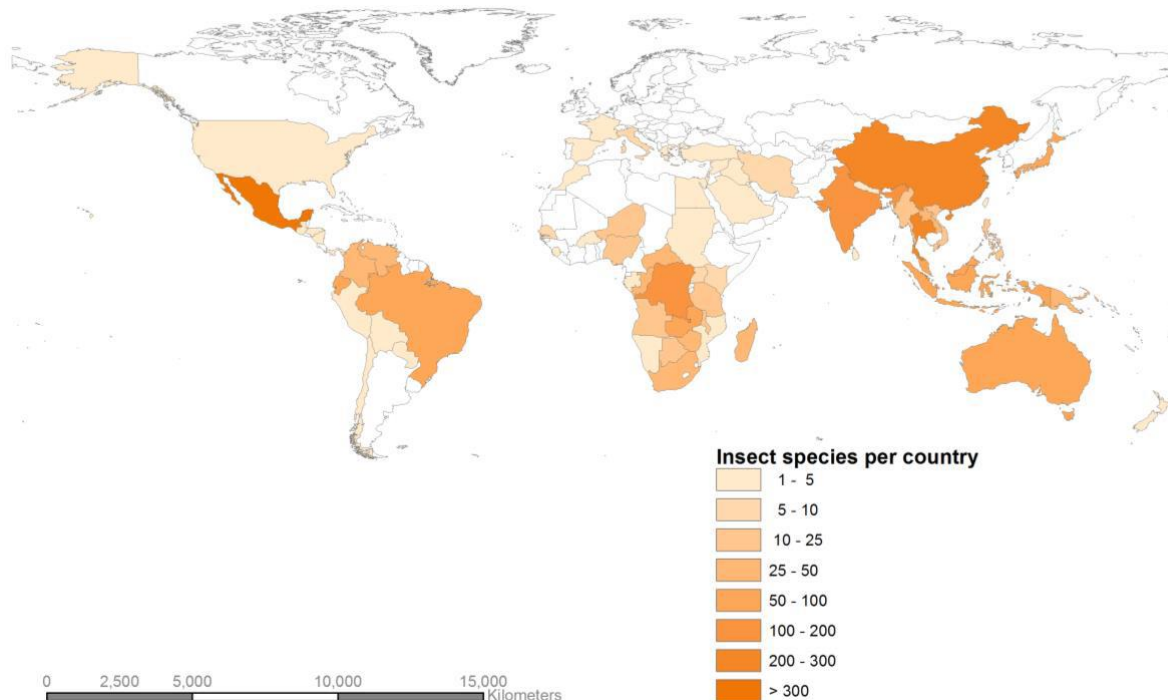
Výživová hodnota hmyzu je srovnatelná s dnes běžně konzumovanou stravou, viz tabulka č 4. Strava, kterou je hmyz krměn, dobře ovlivní jeho budoucí nutriční hodnotu. Není problém do jejich krmiva přidávat práškové vitamíny, či je dodávat přirozenou cestou ovocem či zeleninou (Finke, 2004).

### 3.6 Hlavní skupiny jedlého hmyzu

V současnosti je známo více než 2000 druhů jedlého hmyzu. V celosvětovém měřítku jsou nejčastěji konzumovaným hmyzem brouci (*Coleoptera*), což není překvapivé, vzhledem k tomu, že skupina obsahuje asi 40 % všech známých druhů hmyzu. Konzumace housenek (*Lepidoptera*) je populární zejména v Africe a odhaduje se na 18 %. Včely, vosy a mravenci (*Hymenoptera*) jsou třetím nejvíce konzumovaným hmyzem zejména v Latinské Americe. Po nich následují kobylinky, sarančata a cvrčci (*Orthoptera*) s 13 %. Cikády, křískovití a ploštice (*Hemiptera*) 10 %, termiti (*Isoptera*) 3 %, vážky (*Odonata*) 3 %, mouchy (*Diptera*) 2 % a další druhy 5 % (Cerritos, 2009).

Včely, vosy, mravenci (*Hymenoptera*) se konzumují převážně v larválních stádiích. Brouci (*Coleoptera*) se konzumují jak v larválním stadiu tak i dospělci. Cvrčci (*Orthoptera*), stejnokřídlí (*Homoptera*), termiti (*Isoptera*) a ploštice (*Hemiptera*) převážně jako dospělci (Cerritos, 2009). Obrázek č. 7 zobrazuje počet druhů jedlého hmyzu, který se konzumuje v dané zemi.

Obrázek č. 7: Zaznamenaný počet jedlých druhů hmyzu v dané zemi (van Huis, 2013)



Seznam druhů hmyzu, na který byl vznesený dotaz zástupci České republiky ke komisi EU pro využívání jako potravinového typu (Bednářová, 2013)

- Cvrček domácí (*Acheta domestica*)
- Cvrček stepní (*Gryllus assimilis*)
- Saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*)
- Saranče pustinná (*Schistocerca gregaria*)
- Potemník moučný (*Tenebrio molitor*)
- Potemník brazilský (*Zophobas morio*)
- Včela medonosná (*Apis mellifera*)
- Zavíječ voskový (*Galleria mellonella*)

V rámci výzkumu v ČR a EU je možné se setkat s výsledky rozborů dělaných i na jiných druzích hmyzu jako alternativního zdroje výživy.

### 3.7 Produkty z hmyzu

V dnešní době jsou běžně užívány produkty z hmyzu. Například u včel jsou to produkty jako med, pyl, včelí jed, mateřská kašička, propolis a včelí vosk. Bourec morušový je využíván k produkci hedvábí. Existují však další produkty z hmyzu, které jsou veřejnosti málo známé, i když se běžně vyskytují v potravinách, barvivech nebo lécích (Luo et al., 2012).

#### Košenila

Karmín jinak nazývaný košenila, je červené barvivo vyrobené z hmyzu, které se využívá v potravinářském, textilním a farmaceutickém průmyslu. Největším výrobcem košenily jsou Kanárské ostrovy, Chile, Ekvádor a Peru. V letech 2000 až 2006 vzrostla světová produkce košenily až 2,5násobně z důvodu větší poptávky po přírodních barvivech. V roce 2006 celková produkce v Peru činila 2300 tun. Na počátku roku 2012 byla zaznamenána kauza společnosti Starbucks coffee, která do svého jahodového frappuccina přidávala přírodní barvivo košenilu. Po zjištění se u spotřebitelů zejména ve Spojených státech zvedla vlna nevole, hlavně v řadách veganů. Proto Starbucks coffee začala místo košenily do svých výrobků používat barviva izolované z rajčat, i přesto, že použití košenily je ve Spojených státech legislativně povoleno (Burrows, 2012).

## 4 Materiál a metody

### Hmyz použitý k rozborům:

Všechny vzorky hmyzu použité k rozborům byly zakoupeny u firmy Radek Frýželka, Brno, a dále zpracovány doc. Ing. Borkovcovou, Ph.D. z Mendelovy univerzity v Brně. Vzorky hmyzu byly vyláčněné, usmrcené v horké vodě a následně sušené. Pro analýzu byly vybrány druhy potěmník moučný, potěmník brazilský, cvrček stepní, zavíječ voskový a saranče stěhovavá. Latinské názvy vývojová stadia a zdroj těchto druhů jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Tabulka č. 5: Seznam testovaných druhů hmyzu a jejich zdroj

Český název	Latinský název	Vývojové stadium/forma	Zdroj
potěmník moučný	<i>Tenebrio molitor</i>	Larva	doc. Ing. Borkovcová, Ph.D.
potěmník brazilský	<i>Zophobas morio</i>	Larva	doc. Ing. Borkovcová, Ph.D.
cvrček stepní	<i>Gryllus assimilis</i>	Nymfa	doc. Ing. Borkovcová, Ph.D.
zavíječ voskový	<i>Garlleria mellonella</i>	Housenka	doc. Ing. Borkovcová, Ph.D.
saranče stěhovavá	<i>Locusta migratoria</i>	Nymfa	doc. Ing. Borkovcová, Ph.D.

### Vlastní příprava vzorků k dalšímu zpracování

Vzorky byly homogenizovány pomocí kávového mlýnku po dobu 3 minut při pokojové teplotě. Dále byly uchovávány ve skleněných boxech při pokojové teplotě.

## 4.1 Stanovení sušiny

### 4.1.1 Stanovení sušiny vázkově

Do vysoušecí misky se skleněnou tyčinkou bylo naváženo 25 g písku. Vysoušecí miska s pískem byla vložena do sušárny a vysoušena za občasného promíchání při teplotě 103 °C do konstantní hmotnosti. Po vychladnutí v exsikátoru (30 minut) byla vysoušecí miska s pískem zvážena s přesností na 1 mg. Analyzovaný sušený vzorek hmyzu byl rozmělněn a bylo naváženo 5 g vzorku. Vzorek byl tyčinkou důkladně promíchán s pískem, rozetřen na stejnorodou hmotu a pokropen několika kapkami etanolu. Poté byl sušen v pootevřené sušárně při teplotě 60 °C ± 2 °C po dobu 1 hod. Následně se dosušil při teplotě 103 ± 2 °C. Poprvé se úbytek kontroloval po třech hodinách a poté každou hodinu. Vždy po hodině sušení byla miska dána na půl hodiny zchladnout do exsikátoru a následně vážena. Tento postup byl opakován až do získání konstantní hmotnosti. Obsah sušiny v hmotnostních % byl vypočten pomocí vzorce:

$$\text{sušina} = \frac{m_2 - m_1}{m_{vz}} \times 100 \%$$

kde:  $m_1$  je hmotnost misky s pískem po sušení,  
 $m_2$  je hmotnost misky s pískem a vzorkem po sušení,  
 $m_{vz}$  je navážka vzorku.

### 4.1.2 Stanovení sušiny na infračervených vahách

Analyzovaný sušený vzorek hmyzu byl rozmělněn a navážen na hmotnost přibližně 0,5 g. Vzorek byl rovnoměrně rozetřen na hliníkovou folii a následně vložen do Infračervené váhy. Infračervená váha byla nastavena na program Uzeniny 105°C.

## 4.2 Stanovení obsahu bílkovin

Stanovení dusíku a hrubé bílkoviny bylo stanoveno metodou podle Kjeldahla.

### -Mineralizace

Sušený vzorek hmyzu byl rozmělněn. Do každé kyvety byl navážen přibližně 1 g vzorku a přidány dvě tablety Selenium a 20 ml (2 x 10) kyseliny sírové H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Současně byl prováděn 2x slepý pokus, kde místo vzorku byla použita destilovaná voda. Takto připravený vzorek a slepé pokusy byly vloženy do mineralizátoru při teplotě 420 °C a nechány po dobu 105 minut.

#### **-Destilace**

Destilace byla prováděna na přístroji Kjelték při programu P2 po dobu 4 minuty. K destilaci byly použity chemikálie: 40% hydroxid sodný NaOH, destilovaná voda, kyselina boritá (kyselina boritá 50 ml, destilovaná voda 70 ml, louh 160 ml).

#### **-Titrace**

Po zchlazení vzorku byla provedena titrace 0,2% roztokem kyseliny sírové H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> do fialového zbarvení.

Obsah hrubé vlákniny byl vypočten vynásobením obsahu N koeficientem 6,25.

### **4.3 Stanovení obsahu tuku**

Stanovení množství tuku bylo provedeno kontinuální extrakcí podle Soxhleta na přístroji Gerhardt Soxtherm. Metoda je založena na extrakci tuku ze vzorku pomocí nepolárních rozpouštědel, odstranění rozpouštědla odpařením, sušením a vážením (gravimetricky). Sušený vzorek hmyzu byl zhomogenizován a navážen na hmotnost přibližně 5 g do extrakční patrony. Vzorek v extrakční patroně byl přikryt vatou a umístěn do skleněné baňky extrakčního přístroje se třemi varnými kamínky a přelit přes vatou přibližně 150 ml petroléteru. Takto připravený vzorek byl vložen do přístroje Gerhardt a extrahován studenou extrakcí při programu 70 °C po dobu 120 minut. Poté byla extrakční baňka sušena v sušárně 1 hod při 103 °C, nechána vychladnout v exsikátoru a zvážena s přesností na 1 mg. Tento postup byl opakován do konstantní hmotnosti vzorku. Z rozdílu celkové hmotnosti vzorku a hmotnosti tuku byl získán obsah tuku ve vzorku.

### **4.4 Stanovení profilu mastných kyselin**

#### **-Esterifikace**

Do 250 ml zábrusové baňky s kulatým dnem bylo na analytických vahách naváženo přibližně 0,5 g extrahovaného vzorku hmyzu na přístroji Gerhardt. Ke vzorku bylo přidáno 5ml methanolu a 0,5 ml 0,25 M hydroxidu draselného KOH v methanolu. Po přidání varných kamínků byla směs zahřívána ve varném hníždě pod zpětným chladičem. Do té doby, než došlo k vymizení mastných kapiček na dně baňky, bylo přidáváno po 1 ml 0,25M KOH v methanolu a dále zahříváno. Celkem bylo KOH v methanolu přidáno 7x po 5 minutách zahřívání. Samotná esterifikace trvala cca. 50 minut. Po skončení varu bylo skrz



ústí zpětného chladiče přidáno 5 ml n-heptanu. Směs byla promíchána a po sundání z chladicí aparatury doplněna roztokem chloridu sodného tak, aby hladina dosáhla hrdla baňky. Po oddělení horní heptanové fáze byla tato vrstva odsáta do vialky, kam byl přidán bezvodý síran sodný pro případné vysušení vzorku. Vialky byly uchovány v mrazničce až do doby, kdy byla provedena plynová chromatografie.

### **-Plynová chromatografie**

Stanovení profilu mastných kyselin bylo provedeno na plynovém chromatografu typu GC-FID značky Agilent 7890A.

Objem nastříknutého vzorku k měření byl 2  $\mu\text{l}$ , split 1:20, teplota injektoru 225 °C. Pro měření byla použita kolona Restek 2560, o rozměrech 100 m x 0,25 mm x 0,2  $\mu\text{m}$ . Nosným plynem bylo helium o průtoku 1,2 ml/min. Teplotní program byl nastaven na 70 °C s dobou výdrže 2 minuty, poté teplota vzrůstala o 5 °C/min. až do teploty 225 °C s dobou výdrže 9 minut a dále byl gradient 5 °C/min na teplotu 240 °C s výdrží 15 minut. Analýza trvala 60 minut. Teplota detektoru byla 250 °C. Vyhodnocení bylo provedeno v programu Agilent chromatography. Výsledky profilu mastných kyselin byly vyjádřeny metodou vnitřní normalizace, identifikovány prostřednictvím standardu FAME MIX a porovnány s literaturou.

## 5 Výsledky

### 5.1 Sušina

#### 5.1.1 Stanovení sušiny vážkově

Touto metodou byl změřen pouze vzorek potemníka brazilského (*Tenebrio monitor*), u kterého byla stanovena sušina o obsahu 85,43 %.

#### 5.1.2 Sušina Infračervené váhy

Nejvyšší hodnota sušiny na infračervených vahách byla naměřena u druhu potemníka brazilského (*Tenebrio monitor*) 93,71 %. Sušina měřená vážkově u tohoto druhu vyšla o 8,28 % nižší což je přijatelný rozdíl mezi různými metodami stanovení. Nejnižší obsah sušiny vykazoval druh Zavíječ voskový (*Garlleria mellonella*) 83,17 %. Celkově byl mezi zkoumanými vzorky jen malý rozdíl v obsahu sušiny a je třeba vzít na vědomí, že vzorky použité k rozborům již byly sušené. Výsledné hodnoty pro analyzované vzorky jsou uvedeny v tabulce č. 6.

Tabulka č. 6: Sušina naměřená v analyzovaných vzorcích hmyzu

Vzorek Český název	Vzorek Latinský název	1. měření [%]	2. měření [%]	Průměr [%]	Směrodatná odchylka [%]
potemník moučný	<i>Tenebrio molitor</i>	92,78	94,64	93,71	± 0,93
potemník brazilský	<i>Zophobas morio</i>	93,72	95,16	94,44	± 0,72
cvrček stepní	<i>Gryllus assimilis</i>	82,95	83,38	83,17	± 0,215
zavíječ voskový	<i>Garlleria mellonella</i>	91,92	91,81	91,86	± 0,055
saranče stěhovavá	<i>Locusta migratoria</i>	90,08	88,54	89,31	± 0,770

## 5.2 Bílkoviny

Obsah celkového proteinu byl u sledovaných druhů poměrně vyrovnaný. Nejnižší obsah bílkovin vykazovaly druhy potěmník brazilský (*Zophobas morio*) 39,42 % a cvrček stepní (*Gryllus assimilis*) 43,67 %. Naopak nejvyšší obsah bílkovin byl stanoven u saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*) a to 62,02 %. Tabulka č. 7 udává naměřený obsah bílkovin v jednotlivých vzorcích hmyzu.

Tabulka č. 7: Obsah bílkovin v jednotlivých vzorcích hmyzu

Vzorek Český název	Vzorek Latinský název	1. vzorek [%]	2. vzorek [%]	Průměr [%]	Směrodatná odchylka [%]
Potěmník moučný	<i>Tenebrio molitor</i>	62,268	62,990	62,63	± 0,361
Potěmník brazilský	<i>Zophobas morio</i>	39,536	39,298	39,42	± 0,119
Cvrček stepní	<i>Gryllus assimilis</i>	44,676	42,665	43,67	± 1,005
Zavíječ voskový	<i>Garlleria mellonella</i>	60,274	61,209	60,74	± 0,468
Saranče stěhovavá	<i>Locusta migratoria</i>	62,083	61,957	62,02	± 0,063

### 5.3 Tuk

Z důvodu nedostatku vzorků bylo provedeno měření tuku jen u třech z pěti sledovaných druhů hmyzu. Nejvyšší obsah tuku byl naměřen u zavíječe voskového (*Garlleria mellonella*) 37,05 %. Naopak nejmenší procentuální podíl tuku vykazoval vzorek cvrčka stepního (*Gryllus assimilis*), který se s obsahem tuku 17,99 % výrazně lišil od ostatních druhů, jak ukazuje tabulka č. 8.

Tabulka č. 8: Obsah tuku ve vybraných vzorcích hmyzu

Vzorek Český název	Vzorek Latinský název	1. měření [%]	2. měření [%]	Průměr [%]	Směrodatná odchylka [%]
Zavíječ voskový	<i>Garlleria mellonella</i>	36,99	37,11	37,05	± 0,060
Cvrček stepní	<i>Gryllus assimilis</i>	18,07	17,92	17,99	± 0,075
Potemník brazilský	<i>Zophobas morio</i>	32,19	32,61	32,40	± 0,210

### 5.4 Profil mastných kyselin

Bylo provedeno testování na obsah mastných kyselin u druhu potemník brazilský (*Zophobas morio*), jednotlivé hodnoty mastných kyselin jsou uvedeny v tabulce č. 9. Potemník brazilský (*Zophobas morio*) měl celkový obsah tuku 32,40 %, z něhož dvě třetiny tvoří C16:0 a C18:1 (cis-9). Další nejvyšší zastoupení mastných kyselin bylo zjištěno u C18:2 (cis-9,12) a to 22,98 %. Z tabulky č. 9 je zřetelné vyšší zastoupení nenasycených mastných kyselin.

Tabulka č. 9: Profil mastných kyselin u potměníka brazilského (*Zophobas morio*)

	Mastné kyseliny		Zophobas morio A	Zophobas morio B	Průměr
		RT [min]	Area [%]	Area [%]	[%]
1	FM_C4:0	12,467	0,037	0,045	0,041
2	FM_C6:0	15,523	0,010	0,008	0,009
3	FM_C8:0	19,280	0,473	0,413	0,443
4	FM_C10:0	23,060	0,060	0,056	0,058
5	FM_C11:0	24,843	0,003	0,000	0,001
6	FM_C12:0	26,537	0,061	0,059	0,060
7	FM_C13:0	28,140	0,028	0,026	0,027
8	FM_C14:0	29,663	1,281	1,223	1,252
9	FM_C14:1 (cis-9)	30,887	0,003	0,007	0,005
10	FM_C15:0	31,107	0,436	0,409	0,423
11	FM_C15:1 (cis-10)	32,293	0,000	0,000	0,000
12	FM_C16:0	32,483	31,774	31,788	31,781
13	FM_C16:1 (cis-9)	33,457	0,637	0,569	0,603
14	FM_C17:0	33,803	0,933	0,871	0,902
15	FM_C17:1 (cis-10)	34,780	0,000	0,000	0,000
16	FM_C18:0	35,117	7,947	8,091	8,019
17	FM_C18:1 (trans-9)	35,713	0,032	0,017	0,024
18	FM_C18:1 (cis-9)	35,993	31,883	31,903	31,893
19	FM_C18:2 (trans-9,12)	36,680	0,000	0,000	0,000
20	FM_C18:2 (cis-9,12)	37,343	22,877	23,086	22,982
21	FM_C20:0	37,800	0,281	0,253	0,267
22	FM_C18:3 (cis-6,9,12)	38,420	0,020	0,015	0,018
23	FM_C20:1 (cis-11)	38,750	0,104	0,093	0,099
24	FM_C18:3 (cis-9,12,15)	39,010	0,628	0,620	0,624
25	FM_C21:0	39,237	0,072	0,000	0,036
26	FM_C20:2 (cis-11,14)	40,283	0,102	0,113	0,107
27	FM_C22:0	40,797	0,216	0,240	0,228
28	FM_C20:3 (cis-8,11,14)	41,550	0,003	0,008	0,005
29	FM_C22:1 (cis-13)	41,937	0,012	0,010	0,011
30	FM_C20:3 (cis-11,14,17)	42,247	0,017	0,029	0,023
31	FM_C20:4 (cis-5,8,11,14)	42,517	0,045	0,042	0,044
32	FM_C23:0	42,603	0,000	0,000	0,000
33	FM_C22:2 (cis-13,16)	43,697	0,001	0,000	0,000
34	FM_C24:0	44,273	0,000	0,000	0,000
35	FM_C20:5 (cis-5,8,11,14,17)	44,753	0,016	0,000	0,008
36	FM_C24:1 (cis-15)	45,427	0,008	0,007	0,008
37	FM_C22:6 (cis-4,7,10,13,16,19)	49,857	0,000	0,000	0,000
	Suma		100	100	100

## 6 Diskuze

Konzumace jedlého hmyzu má dlouholetou historii, proto je entomofagie obecně považována za bezpečnou (DeFoliart, 1999).

Nutriční složení sledovaného hmyzu se nijak významně neodlišovalo od jiných dříve publikovaných výzkumů (Ramos-Elorduy and Pino, 1990; Finke, 2002; Xiaoming et al., 2010; Rumpold and Schlüter, 2013). Je však potřeba brát v potaz důležitost složení krmné směsi hmyzu, které velmi ovlivňuje jeho nutriční hodnoty (Klunder et al., 2012; van Huis et al., 2013). Dále se mohou nutriční hodnoty značně lišit v závislosti na stupni metamorfózy a vlivem přípravy hmyzu před konzumací (van Huis et al., 2013). Ve většině studií však nejsou dopodrobna popisovány specifika chovu zkoumaného hmyzu a je jím tedy přisuzována velká variabilita naměřených nutričních hodnot (Ramos Elorduy et al., 1997; Finke, 2004; Xiaoming et al., 2010). Většina jedlého hmyzu ovšem poskytuje dostatečné množství energie a proteinů a splňuje aminokyselinové požadavky pro člověka. Má vysoký obsah mono a polyenových mastných kyselin a je bohatá na stopové prvky (Rumpold and Schlüter, 2013).

### Sušina

Sušina se skládá především z organických, ale i anorganických látek. Procentuální zastoupení sušiny v těle vykrmeného prasete je 56 %, u slepice a vykrmeného býka je 44 % a u ovce a koně 40 %. Různí autoři uvádějí sušinu v rozpětí od 18 % v plodu včely medonosné (*Apis mellifera*) po 40 % u larvy potemníka brazilského (*Zophobas morio*) (Bednářová, 2013). Vzhledem k tomu, že hmyz je nejčastěji konzumován v sušeném stavu a v tomto stavu byl také dodán k rozborům, bylo provedeno stanovení sušiny z tohoto výchozího stavu. Výsledky 83 % - 93 % z tohoto důvodu nejsou srovnatelné s výsledky jiných autorů.

### Bílkoviny

Průměrný obsah bílkovin jedlého hmyzu je uváděn v rozmezí od 15 % do 81 % (Ramos Elorduy et al., 1997), 13 až 77 % (Xiaoming et al., 2010), 38,41 % až 62,21 % (Bednářová, 2013) v sušině jedlého hmyzu, který byl předmětem zkoumání jednotlivých autorů. Jiní autoři uvádějí obsah bílkovin u čerstvé hmotnosti jedlého hmyzu 9 – 25 % bílkovin (Finke, 2004). Pro srovnání konvenční masové zdroje obsahují asi 15 až 22 % bílkovin u čerstvé hmotnosti (Ghaly and Alkoaik, 2009). V této práci byl naměřen obsah bílkovin v sušině u jedlého hmyzu od 39,42 % do 62,63 %.

Nejmenší obsah byl naměřen u druhu potemníka brazilského (*Zophobas morio*) a to 39,42 %. Bednářová (2013) u tohoto druhu naměřila  $54,25 \pm 9,05$  %. Naopak nejvyšší obsah bílkovin byl naměřen u saranče stěhovavého (*Locusta migratoria*) 62,63 % což je shodné s výsledky Bednářové (2010), která naměřila  $62,21 \pm 9,35$  %. U jednoho z nejčastěji konzumovaných druhů v České republice potemníka moučného (*Tenebrio molitor*) bylo naměřeno 55,92 % bílkovin v sušině, hodnota se téměř shoduje s jinými autory, kteří uvádějí  $50,86 \pm 7,74$  % (Bednářová, 2013) a 47 % (Broekhoven et al., 2015).

Důležitá je stravitelnost hmyzího proteinu, která dosahuje až 96 % (Ramos-Elorduy et al., 1997), vaječná bílkovina je stravitelná z 95 % a hovězí maso z 98 % (Finke, 2004). V porovnání s rostlinnými bílkovinami je stravitelnost i obsah proteinů hmyzu vyšší, u některých druhů je obsah dokonce vyšší než u slepičích vajec, masa a drůbeže (Ramos-Elorduy and Moreno, 2002).

Zvláště důležitý je pro člověka obsah esenciálních aminokyselin (fenylalanin, valin, treonin, tryptofan, izoleucin, metionin, leucin a lysin) které si tělo samo nedokáže vytvořit, a proto musí být přijímány z potravy (Referenční hodnoty pro příjem živin, 2012). Rostlinné proteiny často nespĺňují požadavky na obsah aminokyselin, pro lidskou výživu, jedlý hmyz obsahuje vysoce kvalitní profil aminokyselin (Sogbesan and Ugwumba, 2008). Analýzy téměř stovky jedlých druhů hmyzu ukazují, že obsah esenciálních aminokyselin tvoří 46 - 96 % z celkového množství aminokyselin (Xiaoming et al., 2008; Bednářová, 2013). Je tedy zřejmé, že pro naplnění potřeb organismu člověka na bílkoviny postačí na den již malé množství hmyzu. Bednářová (2013) uvádí 77 g sušených sarančat na den pro člověka o váze 80 kg. Krom toho hmyz představuje mnohem udržitelnější zdroje živočišných bílkovin než dosavadní konvenční zdroje masa, protože jeho chov nemá tak zásadní dopad na degradaci životního prostředí (Oonincx and De Boer, 2012).

## **Tuky**

Doporučené zastoupení tuků v denní výživové dávce pro člověka je okolo 30 % (Referenční hodnoty pro příjem živin, 2012). Obsah tuku ve zvířecím těle (množství a složení) je variabilní a závisí od věku a úrovně výživy (Raksakantong et al., 2010). Obsah tuku hmyzu je průměrně uváděn 10 - 50 % (Xiaoming et al., 2010). V této práci byl obsah tuku v sušině ve vybraných vzorcích zjištěn v rozmezí od 17,99 do 32,40 %. Nejméně tuku obsahoval druh cvrček stepní (*Gryllus assimilis*), který se konzumuje ve stádiu dospělce. To potvrzuje, že dospělci mají menší obsah tuku než larvální stadia (Xiaoming et al., 2010), které byly

zkoumány v této práci u ostatních druhů. V larválním stádiu byly zkoumány druhy zavíječ voskový (*Galleria mellonella*) a potemník brazilský (*Zophobas morio*). U nich byly naměřeny hodnoty 37,05 % a 32,40 %. U zavíječe voskového (*Galleria mellonella*) byly naměřeny nižší hodnoty, než uvádí jiní autoři (52,4 - 62,1% Bukkens, 1997; 56,65 % Bednářová 2013). Obsah tuku u potemníka brazilského (*Zophobas morio*) je obdobný jako u jiných autorů (40,26 % Bednářová, 2013). Autor práce se domnívá, že zjištěné rozdíly jsou dány výživou hmyzu z rozdílných chovů.

### **Profil mastných kyselin**

Stejně jako u tuků je i profil mastných kyselin ovlivněn velkým množstvím faktorů, jedním z nejvýznamnějších je výživa chovaného hmyzu (Schaefer, 1968; Bukkens, 1997).

Analýza profilu mastných kyselin byla provedena u druhu potemník brazilský (*Zophobas morio*). Nejvíce zastoupená byla mononenasycená (n-9) kyselina olejová s 31,9 %. Obdobný obsah může mít i hovězí lůj (26 – 50 %) a ovčí lůj (30 – 42 %), avšak DeFoliart (1992) uvádí, že složení mastných kyselin je podobné jako u drůbeže a ryb. Tomu by přibližně odpovídal i obsah kyseliny olejové v kuřecím sádle uváděný Velíškem (1999) a to 37 %.

Druhou nejvíce zastoupenou kyselinou byla nasycená kyselina palmitová (C16:0) u které byla naměřena průměrná hodnota 31,8 %. Nejblíže je tomu králičí sádlo s 32 %, jak uvádí Velíšek (1999).

Poslední kyselinou s nejvýznamnějším zastoupením je nenasycená kyselina linolová (C18:2 (cis-9,12)) s 23,0 %. Tato kyselina je důležitá pro syntézu dalších polyenových mastných kyselin, ovlivňuje propustnost buněčných membrán, snižuje riziko onemocnění plicního a střevního charakteru. Dalším benefitem je tvorba kostí, zadržování dusíku v živočišném organismu a společně s kyselinou linoleovou je důležitá při tvorbě eikosanoidů, které jsou důležitými regulátory fyziologických procesů (Horniaková et al., 2010).

V porovnání s Bednářovou (2013) bylo zjištěno, že pořadí prvních čtyř mastných kyselin od největšího obsahu k nejmenšímu je u potemníka brazilského (*Zophobas morio*) shodné s výsledky uvedenými v této práci. Srovnání ostatních mastných kyselin není možné z důvodu rozdílného standardu.

Celkově bylo vyšší zastoupení nenasycených mastných kyselin než nasycených, což odpovídá požadavkům na současnou racionální výživu, jak potvrzují i studie dalších autorů (Katayama et al., 2009; Oonincx and de Boer, 2012).



## 7 Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo zjistit vybrané základní nutriční hodnoty (obsah bílkovin, tuků, mastných kyselin a sušiny) u materiálů z vybraných druhů jedlého hmyzu chovaných v podmínkách ČR. K analýze bylo vybráno 5 druhů jedlého hmyzu: saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*), potemník moučný (*Tenebrio molitor*), potemník brazilský (*Zophobas morio*), zavíječ voskový (*Galleria mellonella*), cvrček stepní (*Gryllus assimilis*).

Hypotéza I: Nutriční hodnota materiálů z jedlého hmyzu chovaných v České republice se liší podle přírodovědného druhu hmyzu.

Hypotéza byla potvrzena. Sledované druhy hmyzu obsahovaly rozdílné množství základních živin v závislosti na druhu hmyzu. Všechny zkoumané vzorky obsahovaly více bílkovin než tuku. Druh potemník brazilský (*Zophobas morio*) obsahoval nejméně bílkovin a to 39,42 %, naopak nejvyšší obsah bílkovin byl stanoven u druhu saranče stěhovavé (*Locusta migratoria*) a to 62,02 %. Rozdíly v obsahu bílkovin jsou tedy značné.

Podobně u obsahu tuku, kde byl nejmenší procentuální obsah naměřen u cvrčka stepního (*Gryllus assimilis*) s hodnotou 17,99 %, která se výrazně odlišovala od ostatních druhů zkoumaného jedlého hmyzu. Nejvyšší obsah tuku byl naměřen u zavíječe voskového (*Garlleria mellonella*) 37,05 %.

Hypotéza II: Nutriční hodnota materiálů z vybraných druhů jedlého hmyzu chovaných v podmínkách České republiky je srovnatelná s jinými potravinovými zdroji živočišného původu.

Výsledky analýz byly porovnány nejen mezi jednotlivými zkoumanými druhy, ale i s jinými potravinovými zdroji živočišného původu. Analyzované druhy hmyzu jsou svou nutriční hodnotou srovnatelné s konvenčními zdroji masa. Mají vyvážený obsah tuku a bílkovin. U potemníka brazilského (*Zophobas morio*) byl stanoven velký podíl nenasycených mastných kyselin. Potemník brazilský (*Zophobas morio*) by se díky svému vhodnému nutričnímu profilu mohl stát u nás dobrým alternativním zdrojem potravy. Obdobně by tomu mohlo být i u ostatních zkoumaných druhů hmyzu po doplnění dalších analýz v budoucnosti.

## 8 Seznam literatury

Agbidye, F. S., Ofuya, T. I., Akindele, S. O. 2009. Marketability and nutritional qualities of some edible forestinsects in Benuestate, Nigeria. *Pakistan J. Nutr.* 8, 917-922.

Ayieko, A. M., 2007. Nutritional value of selected species of reproductive Isoptera and Ephemeroptera within the ASAL of Lake Victoria basin. *Journal of Discovery and Innovation* 19 (2) 126-130.

Bednářová, M., Borkovcová, M., Zorníková, G., Zeman, L. 2010. Insect as food in czech republic. Mendel University in Brno.

Bednářová, M. 2013. Dizertační práce: Možnosti využití hmyzu jako potraviny v podmínkách České republiky. Mendelova univerzita Brno.

Bednářová, M., Borkovcová, M., Mlček, J., Rop, O., Zeman, L. 2013. Edible insects - species suitable for entomophagy under condition of Czech Republic.

Bouvier, G. 1945. Quelques questions d'entomologie vétérinaire et lutte contre certains arthropodes en Afrique tropicale. *Acta tropica*, 2: 42-59.

Bukkens, G. F. 1997: The nutritional value of edible insects. *Ecology of Food Nutrition*, 36: 287-319.

Bukkens, G. F. 2005: Insects in the human diet: Nutritional aspects, s 545-578. In: Paoletti M. G. (ed), *Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails*. Science Publishers Inc., Enfield, 648 s.

Burrows, C. 2012. Update regarding cochineal extract. In Starbucks Blog, posted on 29 March 2012 (přístupné z <http://blogs.starbucks.com/blogs/customer/archive/2012/03/29/update-regarding-cochineal-extract.aspx>).

Cerritos, R., Crop Z. C. S. 2008. Harvesting grasshoppers *Sphenarium purpurascens* in Mexico for human consumption: A comparison with insecticidal control for managing pest outbreaks. Volume 27, Issues 3 - 5, Pages 473-480.

Cerritos, R. 2009. Insects as food: an ecological, social and economical approach. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 4(27): 1-10.

Collavo, A., Glew, R. H., Huang, Y. S., Chuang, L. T., Bosse, R., Paoletti, M. G. 2005. House cricket small-scale farming. In M. G. Paoletti, ed., Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails. New Hampshire, Science Publishers 519-544.

Defoliart, G. R. 1992. Insects as human food. Crop Protection, 11: 395-399.

Ekpo, K. E., Onigbinde, A. O., Asia, I. O. 2009. Pharmaceutical potentials of the oils of some popular insects consumed in southern Nigeria. African Journal of Pharmacy and Pharmacology, 3(2), 51-57.

FAO, 2012. State of the world fisheries. Rome.

FAO, 2013: Edible insects: Future prospects for food and feed security [cit 2013-05-22].

Finke, M. D., 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. Zoo Biology 21, 269-285.

Finke, M. D., Winn, D. 2004. Insects and related arthropods: a nutritional primer for rehabilitators. Journal of Wildlife Rehabilitation, 27 (3/4), 14.

Finke, M. D. 2007. Estimate of chitin in raw whole insects. Zoo Biology, 26(2), 105-115.

Ghaly, A. E., Alkoaik, F. N. 2009. The yellow mealworm as a novel source of protein. American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 4(4), 319-331.

- Gobotswang, K. 1998. Determinants of the nutritional status of children in a rural African setting: the case in Chobe District, Botswana.
- Godfray, H. C. J., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Nisbett, N., et al. 2010. The future of the global food system. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 365, 2769-2777.
- Horniaková, E., Bíro, D., Pajtáš, M., Gálik, B., Šimko, M., Juráček M., Rolinec M. 2010. *Základy výživy*. 1st ed. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 137 p. ISBN 978-80-552-0446-8.
- Hu E., Bartsev S. I., Liu H., 2010: Conceptual design of a bioregenerative life support system containing crops and silkworms. *Advances in Space Research*, 45: 929-939.
- Chung, A. Y. C. 2010. Edible insects and entomophagy in Borneo. Edible insects in Lao market economy. In P. B. Durst, D. V. Johnson, R. L. Leslie., K. Shono. *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*, pp. 131-140. Bangkok, Thailand, FAO Regional Office for Asia and the Pacific.
- Katayama, N., Yoshimura T., Baba K., Yamashita M. 2009. Insects for space agriculture and sustainable foods web on earth. In: *RAST*: s 53-55.
- Kinyuru, J. N., Konyole, S. O., Roos, N., Onyango, Ch. A., Owino, V. O., Owuor B. O., Estambale, B. B., Friis, H., Aagaard-Hansen, J., Kenji, G. M. 2013. Nutrient composition of four species of winged termites consumed in western Kenya. *Journal of Food Composition and Analysis* 30: 120-124.
- Klunder, H. C., Wolkers-Rooijackers, J., Korpela, J. M., Nout M. J. R. 2012. Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food Control*, 26 (2): 628-631.
- Lesnik, J. J. 2014. Termites in the hominin diet: A meta-analysis of termite genera, species and castes as a dietary supplement for South African robust australopithecines. *Journal of Human Evolution* 71: 94-104.

Luan, Y., Cui, X., & Ferrat, M. 2013. Historical trends of food self-sufficiency in Africa. *Food Security*, 5, 393-405.

Luo, W., Li, T., Wang, C. S.; Huang, F. C. 2012. Discovery of Beeswax as binding agent on a 6th-century BC Chinese Turquoise-inlaid Bronze sword. *Journal of Archaeological Science*, 39 (5): 1227-1237.

Mekonnen, M. M., Hoekstra, A. Y. 2010. The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. *Value of Water Research Report Series No. 48, Vol. 48*, Delft, The Netherlands: UNESCO-IHE.

Meyer-Rochow, V. B., 2009. Food taboos: Their origins and purposes. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 5: 1-10.

Nnyepi, M. S. 2007. Household factors are strong indicators of children's nutritional status in children with access to primary health care in the greater Gaborone area. *Scientific Research and Essay*, 2, 055-061.

Offenberg, J. 2011. *Oecophylla smaragdina* food conversion efficiency: prospects for ant farming. *Journal of Applied Entomology*, 135(8): 575-581.

Oonincx, D. G. A. B., van Itterbeeck, J., Heetkamp, M. J. W., van Den Brand, H., Van Loon, J. J. A., van Huis A., 2010: An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PLoS ONE*, 5: e14445.

Oonincx, D. G. A. B., de Boer, I. J. M. 2012. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans: a life cycle assessment. *PLoS ONE*, 7(12): e 51145.

Pánek, J., Pokorný, J., Dostálová, J. 2002. *Základy výživy a výživová politika*. 1st ed. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 219 p. ISBN: 80-7080-468-8.

Pimentel, D., Pimentel, M. 2003. Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment. *American Journal of Clinical Nutrition* 78: 660-663s.

Premalatha, M., Abbasi, T., Abbasi T., Abbasi, S. A. 2011. Energy-efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: The use of edible insects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9): 4357-4360.

Raksakantong, P., Meeso, N., Kubola, J., Siriamornpun, S. 2010. Fatty acids and proximate composition of eight Thai edible terri-colous insects. *Food Research International*, 43: 350-355.

Ramos-Elorduy, J., Pino, MJM. 1990. Caloric content of some edible insects of Mexico. *Reviews of Society of Mexico* 34, 56-68.

Ramos-Elorduy, J., Moreno, J. M. P., Prado, E. E., Perez, M. A., Otero, J. L., Larron, D. G. O. 1997. Nutritional value of edible insects from the State of Oaxaca, Mexico. *Journal of Food Composition and Analysis* 10, 142-157.

Ramos-Elorduy, J., Moreno, J. M. P., 2002: Edible insects of Chiapas, Mexico. *Ecology of Food and Nutrition*, 41(4): 271-299.

Referenční hodnoty pro příjem živin 2012. Forsapi 1. vydání. ISBN:978-80-254-6987-3

Rumpold, B. A., Schlüter, O. K. 2013. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research*, 57(3): 802-823.

Salášková, V., Hyršl L. Stále stejný zavíječ voskový *Galleria mellonella*? In *Zoologické dny České Budějovice 2008*. ISBN 978-80-87189-00-9.

Schaefer, C. H., 1968. The relationship of the fatty acid composition of *Heliothis zea* larvae to that of its diet. *Journal of Insect Physiology*, 14: 171-178.

Sogbesan, A. O., Ugwumba, A. A. A., 2008. Nutritional values of some non-conventional animal protein feedstuffs used as fishmeal supplement in aquaculture practices in Nigeria. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* volume: 8 (1), pages: 159-164

Sponheimer, M., Lee-Thorp, J. A., 1999. Oxygen isotopes in enamel carbonate and their ecological significance. *Journal of Archaeological Science*, 26: 723-728.

Sponheimer, M., De Ruiter D., Lee-Thorp J., Späth A., 2005. Sr/Ca and early hominin diets revisited: New data from modern and fossil tooth enamel. *Journal of Human Evolution*, 48: 147-156.

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C. 2006. *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Rome, FAO.

Teffo, L. S., Toms, R. B., Eloff, J. N. 2007. Preliminary data on the nutritional composition of the edible stink-bug, *Encosternum delegorguei* Spinola, consumed in Limpopo province, South Africa. *South African Journal of Science*, 103, 434-436.

Tzompa-Sosa, D. A., Liya Yi, Hein J. F. van Valenberg, Martinus A. J. S. van Boekel, Catriona M. M. Lakemond 2014. Insect lipid profile: aqueous versus organic solvent-based extraction methods. *Food Research International* 62, 1087-1094.

van Broekhoven, S., Oonincx, D. G. A. B., van Huis A., van Loon J. A. J. 2015. Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. *Journal of Insect Physiology* volume 73, pages 1-10.

van Huis, A. 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58(1), 563-583.

van Huis, A., van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., Vantomme, P. 2013. Edible insects: future prospects for food and feed security. Food and agriculture organization of the united nations. ISSN 0258 - 6150.

Veldkamp, T., G. van Duinkerken, A. van Huis, C.M.M. Lakemond, E., Ottevanger, E., van Boekel, M.A.J.S. 2012. Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets. A feasibility study. Wageningen UR Livestock Research, Report 638.

Velišek, J. 1999. Chemie potravin 1sv. OSSIS. Tábor. 352 s. ISBN: 80-902391-3-7.

Verkerk, M. C., Tramper, J., van Trijp, J. C. M., Martens, D. E. 2007. Insect cells for human food. *Biotechnology Advances*, 25: 198-202.

Xiaoming, CH., Ying, F., Hong, Z., Zhiyong, CH. 2008. Review of the nutritive value of edible insects. Edible insects and other invertebrates in Australia: future prospects, s 65-84. In: Durst, P. B., Johnson, D. V., Leslie, R. N., Shono, K. (eds): Forest insects as food: humans bite back. Proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development, 19. - 21. února, 2008, Chiang Mai, Thajsko, 231 s.

Xiaoming, C., Ying, F., Hong, Z., Zhiyong, C. 2010. Review of the nutritive value of edible insects. In P. B. Durst, D. V. Johnson, R. L. Leslie., K. Shono, eds. Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development. Bangkok, FAO Regional Office for Asia and the Pacific.