

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Nutriční hodnota cvrčka domácího jako nové potraviny**

**Diplomová práce**

**Autor: Bc. Zuzana Pitrmanová**

**Obor studia: Kvalita potravin a zpracování zemědělských  
produktů**

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

**Konzultant: Ing. Petra Škvorová**

© 2023 ČZU v Praze



## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Nutriční hodnota cvrčka domácího jako nové potraviny" 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 neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.4.2023

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala prof. Ing. Lence Kouřimské, Ph.D. a Ing. Petře Škvorové, za odborné vedení, pomoc a rady, které mi poskytly jak při vypracování diplomové práce, tak při studiu. Také bych tímto chtěla poděkovat mé rodině za trpělivost a podporu.



# Nutriční hodnota cvrčka domácího jako nové potraviny a krmiva

## Souhrn

Jedlý hmyz jako nová potravina je v poslední době jedním z nejdiskutovanějších témat v oblasti výživy člověka v Evropě. Do budoucna se očekává neudržitelná úroveň produkce a spotřeba masa a je třeba nalézt nové způsoby zajištění dodávky výživných a kvalitních potravin. Z nutričního hlediska má jedlý hmyz výborné nutriční složení, a nejen z tohoto důvodu by mohl být dobrou alternativou pro kvalitní potravinu živočišného původu.

Pro analýzu byl použit cvrček domácí (*Acheta domestica*) chovaný v insektáriu České zemědělské univerzity v Praze ve třech chovech. Vzorky cvrčků se lyofilizovaly a poté se u nich stanovoval obsah sušiny, popelovin, tuků a bílkovin.

V lyofilizovaném vzorku cvrčka domácího bylo ve třech analytických opakováních změřeno v průměru 99,55 % sušiny, 6,60 % popelovin, 26,48 % tuku a 67,17 % bílkovin.

Dospělci cvrčka domácího jsou tedy nutričně srovnatelní s tradičními a rostlinnými zdroji potravin a krmiv. Mají značně vyšší obsah bílkovin, lepší podíl všech esenciálních aminokyselin a srovnatelný podíl polynenasycených mastných kyselin. Dále mají méně cholesterolu a obsahují velké množství minerálních látek a vitamínů. Jedná se o ekologičtější zdroj potravin. Chov hmyzu má se srovnáním s chovem hospodářských zvířat nižší negativní vliv na životní prostředí, spotřebuje menší množství vody, krmiva a využívá méně půdy. Je však nutné podotknout, že přes všechny pozitivní benefity, které hmyz přináší, existují i rizika spojená s jeho konzumací, jako jsou například alergické reakce nebo mikrobiologická kontaminace.

**Klíčová slova:** Cvrček domácí, jedlý hmyz, nutriční kvalita, nová potravina.

# Nutritional value of house cricket as a novel food and feed

## Summary

Edible insects as a new food have recently been one of the most discussed topics in the field of human nutrition in Europe. Unsustainable levels of meat production and consumption are expected in the future, and new ways of ensuring the supply of nutritious and quality food must be found. From nutritional point of view, edible insects have an excellent nutritional composition, and not only for this reason, they could be a good alternative for quality food of animal origin.

The domestic cricket (*Acheta domesticus*) bred in the insectarium of the Czech University of Life Sciences in Prague in three farms was used for the analysis. The cricket samples were freeze-dried and then their dry matter, ash, fat and protein content was determined.

In freeze-dried house cricket sample, an average of 99,66 % dry matter, 6,60 % ash, 26,48 % fat and 67,17 % protein were measured in three analytical replicates.

Adults of house cricket are nutritionally comparable to traditional and plant-based food sources and feeds. They have a significantly higher protein content, a better proportion of all essential amino acids, a comparable proportion of polyunsaturated fatty acids and less cholesterol and contain a large amount of minerals and vitamins. It is a more ecological source of food, insect farming has less negative impact on the environment compared to livestock farming, used less water, feed and uses less land. However, it must be noted that despite all the positive benefits that insects bring, there are also risks associated with their consumption, such as allergic reactions or microbiological contamination.

**Keywords:** House cricket, edible insects, nutritional quality, novel food.

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Vědecká hypotéza a cíle práce .....</b>	<b>2</b>
<b>3 Literární rešerše .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1 Jedlý hmyz .....</b>	<b>3</b>
3.1.1 Entomofágie.....	5
3.1.1.1 Asie.....	5
3.1.1.2 Oceánie .....	5
3.1.1.3 Afrika.....	5
3.1.1.4 Amerika .....	5
<b>3.2 Využití jedlého hmyzu jako potravinu .....</b>	<b>6</b>
3.2.1 Environmentální aspekty .....	6
3.2.1.1 Skleníkové plyny .....	7
3.2.2 Konverze krmiva.....	8
3.2.3 Organické vedlejší produkty .....	9
<b>3.3 Hmyz jako potravina .....</b>	<b>9</b>
3.3.1 Krmivo .....	10
3.3.2 Chov hmyzu.....	11
3.3.3 Zpracování hmyzu .....	12
3.3.4 Bezpečnost konzumace.....	14
<b>3.4 Cvrček domácí.....</b>	<b>14</b>
<b>3.5 Rizika spojená s konzumací hmyzu.....</b>	<b>16</b>
3.5.1 Mikrobiologická rizika .....	16
3.5.2 Chemická rizika .....	17
3.5.3 Alergie .....	17
<b>3.6 Nutriční hodnoty .....</b>	<b>18</b>
3.6.1 Tuky .....	19
3.6.2 Bílkoviny .....	20
3.6.3 Sacharidy .....	22
3.6.4 Vlákna.....	22
3.6.5 Makronutrienty .....	23
3.6.5.1 Minerální látky .....	23
3.6.5.2 Vitaminy .....	23
<b>4 Metodika .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1 Analyzované vzorky .....</b>	<b>25</b>

<b>4.2</b>	<b>Chov.....</b>	<b>25</b>
<b>4.3</b>	<b>Příprava vzorku .....</b>	<b>26</b>
<b>4.4</b>	<b>Stanovení sušiny .....</b>	<b>26</b>
4.4.1	Přístroje a pomůcky .....	26
4.4.2	Postup .....	27
<b>4.5</b>	<b>Stanovení popelovin .....</b>	<b>27</b>
4.5.1	Přístroje a pomůcky .....	27
4.5.2	Postup .....	27
<b>4.6</b>	<b>Stanovení bílkovin .....</b>	<b>27</b>
4.6.1	Princip stanovení .....	28
4.6.2	Přístroje a pomůcky .....	28
4.6.3	Chemikálie .....	28
4.6.4	Postup .....	29
<b>4.7</b>	<b>Stanovení tuků.....</b>	<b>29</b>
4.7.1	Princip stanovení .....	29
4.7.2	Přístroje a pomůcky .....	29
4.7.3	Chemikálie .....	29
4.7.4	Postup .....	29
<b>4.8</b>	<b>Statistická analýza.....</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>31</b>
5.1.1	Statistická analýza .....	34
5.1.1.1	Popeloviny .....	34
5.1.1.2	Sušina .....	35
5.1.1.3	Tuk.....	35
5.1.1.4	Bílkoviny .....	36
<b>6</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>40</b>
<b>9</b>	<b>Seznam tabulek a obrázků .....</b>	<b>45</b>

# 1 Úvod

Jedlý hmyz jako nová potravina se čím dál více dostává do povědomí větší skupiny lidí a zájem o něj v evropských zemích roste.

Rostoucí světová populace zhoršuje problém potravinové bezpečnosti v rozvojových zemích. Obyvatelé těchto zemí se nejvíce potýkají s nedostatkem živočišných bílkovin, což vede k vysoké pravděpodobnosti podvýživy a problémům s růstem.

Na druhé straně v průmyslově vyspělých zemích, kde je problém potravinové dostupnosti méně podstatný, se problémy související s potravinami týkají dvou hlavních faktorů, a to potravinové bezpečnosti a ekologické udržitelnosti potravinové produkce. Potravinová nejistota s klimatickými změnami, je realitou, která vyzývá k urychlenému vypracování a provedení zmírňujících strategií s cílem zajistit odpovídající kvalitu a bezpečnou dostupnost potravin pro současné i budoucí potřeby.

V příštích desetiletích se očekává, že produkce a spotřeba masa dosáhne neudržitelné úrovně, a to nejen kvůli předpokládanému růstu populace, ale také kvůli šíření západních stravovacích návyků do rozvojových zemí. Živočišný průmysl zaujímá velké procento povrchu planety. Náklady na živočišnou výrobu se v průběhu let zvýšily a tato výroba významně přispívá k řadě environmentálních problémů. Z těchto a mnoha dalších důvodů je třeba nalézt nové inovativní způsoby, jak zajistit udržitelné dodávky bezpečných, výživných a kvalitních potravin.

Přijetí hmyzu jako zdroje potravy má tři důvody, a to lidské zdraví, environmentální faktory a socioekonomické faktory. Co se týče dopadu na lidské zdraví, tak mnoho druhů hmyzu má vysoký obsah bílkovin, tuků a dostatek minerálních látek. Poskytuje tak dobrou alternativu živočišných bílkovin. Mezi ekonomické a socioekonomické faktory patří skutečnost, že chov a sběr hmyzu jsou nenáročné, proto hmyz poskytuje příležitost k obživě i pro venkovské obyvatelstvo.

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

Cílem diplomové práce bylo proměření nutričních hodnot dospělců cvrčka domácího a porovnání s konvenčními živočišnými a rostlinnými zdroji proteinů a lipidů.

Hypotézou bylo, že dospělci cvrčka domácího jsou nutričně srovnatelní s tradičními živočišnými a rostlinnými zdroji potravin a krmiv.

### 3 Literární rešerše

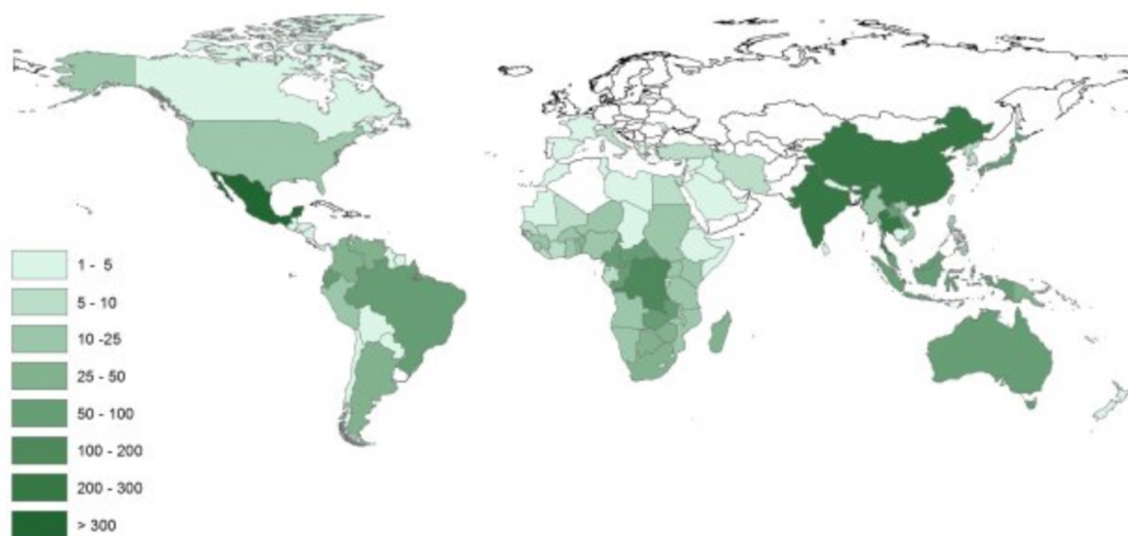
Nárůst světové populace, větší tlak na životní prostředí, celosvětově zvýšené využívání půdních zdrojů a zvýšená poptávka po živinách a neobnovitelné energii jsou problematická témata pro nadcházející desetiletí. Živočišná výroba představuje 70 % veškerého využití zemědělské půdy (Jasson & Berggeren, 2015). Očekává se, že se celosvětově poptávka po produktech živočišné výroby do roku 2050 téměř zdvojnásobí, proto jsou zapotřebí inovativní výrobní řešení. Pro budoucí produkci potravin je chov hmyzu považován za dobrou alternativu ke konvenčnímu chovu dobytka (Jansson & Berggeren, 2015).

Hmyz představuje významnou část stravy pro mnoho komunit a je konzumován v několika zemích Afriky, Jižní Ameriky, Asie a Oceánie. Na západních trzích však konzumace hmyzu musí být teprve kulturně a společensky akceptována. Biodiverzita hmyzu je obrovská, odhady se pohybují od 2,6 do 7,8 milionu druhů (EFSA, 2015). Dle Yde Jongema (2017) se v současnosti celosvětově konzumuje více než 2111 zdokumentovaných členovců, ve velkém se však jako potravina a krmivo chová pouze omezený počet druhů hmyzu.

#### 3.1 Jedlý hmyz

Hmyz je jednou z nejrozmanitějších skupin živočichů na planetě, obývá téměř všechny suchozemské a vodní ekosystémy planety a tvoří přibližně polovinu celkové živočišné biomasy. Hmyz patří mezi nejhojnější a nejspecifičtější skupiny zvířat, s více než jedním milionem popsáných druhů (Rumpold et al. 2013). Dle Udomsil et al. (2019) je známo téměř dva tisíce druhů jedlého hmyzu, které byly historicky součástí lidské stravy. Nejčastěji konzumovanou skupinou hmyzu jsou mravenci, včely, brouci, housenky, cikády, cvrčci, kobylky, listonozy, sarančata, termiti a vosy. Dodnes je katalogizováno téměř dva tisíce jedlých druhů hmyzu, které jsou klasifikovány do osmi hlavních řádů. Těmi jsou *Blattodea* (švábi a termiti), *Coleoptera* (brouci), *Diptera* (mouchy), *Hemiptera* (cikády, páchníci), *Hymenoptera* (včely, vosy, mravenci), *Lepidoptera* (motýli, můry), *Odonata* (vážky) a *Orthoptera* (cvrčci, kobylky). Celosvětově jsou však nejoblíbenějším chovaným hmyzem cvrček domácí (*Acheta domesticus*) a moučný červ (larva *Tenebrio molitor*) (Liceaga, 2021).

Přibližně sto třináct zemí Asie, Afriky, Austrálie a Ameriky považuje jedlý hmyz za velmi ceněnou potravinu. Na obrázku 1 jsou uvedeny nejčastější lokality výskytu konzumace hmyzu (van Huis, 2013).



Obrázek 1. Nejčastější místa výskytu jedlého hmyzu (Yde Jongema, 2017).

Jedlý hmyz je novým trendem na trhu s potravinami po celém světě. Je nejen považován za zdravý zdroj potravy, ale je také vysoce výživný, bohatý na bílkoviny, tuky, vitaminy, vlákninu a minerální látky, má nízký obsah sacharidů a je také šetrnější k životnímu prostředí než jiné zdroje živočišných bílkovin (Udomsil et al. 2019). Očekává se, že v roce 2050 v důsledku populačního růstu, poptávka po masných výrobcích vzroste ze současné úrovně o více než 75 %. Nárůst bude větší v rozvojových zemích (z 28 kg v roce 2005/2007 na 42 kg v roce 2050) než ve vyspělých zemích (z 80 kg na 91 kg). Je poněkud neúměrné, že maso představuje 15 % celkové energie v celosvětové lidské stravě, zatímco přibližně 80 % zemědělské půdy je využíváno k pastvě hospodářských zvířat nebo k produkci píce. Nárůst celosvětové poptávky po mase a omezená dostupnost půdy vedou k hledání alternativních zdrojů bílkovin (van Huis et al. 2017).

Využití hmyzu pro lidskou spotřebu a jako krmiva pro zvířata přitahuje stále větší pozornost i pro svou potenciální schopnost řešit některé problémy, které ohrožují naše životní prostředí. Hlavním důvodem je vysoká účinnost konverze krmiva (tj. spotřeba na jednotku přírůstku; podíl příjmu krmné směsi ku přírůstku hmotnosti zvířete) u hmyzu a jeho schopnost žít se různými zdroji krmiva. Hmyz poskytuje ekologicky udržitelnou alternativu dodávek živočišných bílkovin. Výzkum hmyzu jako potravin i krmiva se v posledním desetiletí rychle rozvinul. V současné době jedlý hmyz začíná být vážně považován za potravinu národní, regionální i místní (Halloran et al. 2016).

Dle Alnadif et al. (2017) může být některý hmyz v různých oblastech považován za jedlý ale v jiných nikoliv, dle jejich zvyklostí a tradic. Některý hmyz může být škodlivý, pokud se živí určitými rostlinami nebo pochází ze znečištěné oblasti ošetřené pesticidy. Některé druhy mohou být bezpečné pro většinu spotřebitelů, ale ne pro všechny, a to kvůli přítomnosti alergenů.



### 3.1.1 Entomofágie

Pojídání hmyzu je označováno jako entomofágie. Lidé na celém světě jedí hmyz jako běžnou součást stravy již po tisíciletí (van Huis et al. 2013).

Entomofágie je silně ovlivněna kulturními i náboženskými praktikami a hmyz je běžně konzumován jako zdroj potravy v mnoha oblastech světa. Ve většině západních zemí však lidé pohlížejí na entomofági s odporem, navzdory historickým zmínkám o využití hmyzu k výživě. Toto téma začalo přitahovat pozornost veřejnosti po celém světě teprve nedávno (van Huis et al. 2013). Konzumace hmyzu se v různých oblastech liší v závislosti na kulturních zvyklostech a dostupnosti hmyzu. V poslední době se konzumace hmyzu stala nejen alternativním zdrojem bílkovin, který nabízí dostatečný příjem živin v lidské stravě v rozvojových zemích, ale také má velký potenciál být do budoucna populární ve vyspělých zemích, kde kladou důraz na zdravou stravu (Hanboonsong et al. 2013).

#### 3.1.1.1 Asie

V Koreji se tradičně konzumují kukly bource morušového (*Bombyx mori*), prodávají se na trzích i v maloobchodních sítích. Kromě toho se na venkově konzumují kobylky. Jedlý hmyz se konzumuje také v Japonsku, především pokrm zvaný inago, což jsou smažené kobylky ochucené sójovou omáčkou. Za drahé lahůdky tu jsou například považovány včelí nebo vosí larvy či dospělci. Další asijskou zemí, kde se hmyz konzumuje již více než 2000 let je Čína (Kim et al. 2019).

Dále je hmyz velice důležitou potravinou v Thajsku, a to zejména pro obyvatele vesnic kde se spotřebuje okolo 40 kg jedlého hmyzu denně. Dokonce thajské ministerstvo veřejného zdraví doporučuje konzumace hmyzu venkovským komunitám k získání potřebných živin (Kim et al. 2019).

#### 3.1.1.2 Oceánie

Například v Papui-Nové Guineji je populárním jedlým hmyzem Ságovník obecný (*Rhynchophorus ferrugineus*). V regionech této země se dále konzumují sarančata, cvrčci, kudlanky a pavouci (Kim et al. 2010).

#### 3.1.1.3 Afrika

V potravinové kultuře Afriky jedlý hmyz hraje důležitou roli. Nejoblíbenějším hmyzem jsou zde housenky a termity ale hojně se konzumuje i hmyz jiných řádů. Celkově je zde entomofágie rozšířená a velice důležitá pro výživu tamních obyvatel (Yen et al. 2010).

#### 3.1.1.4 Amerika

V Americe je jedlý hmyz hlavním zdrojem bílkovin především pro amazonské kmeny. Dále se hmyz konzumuje ve venkovských i městských oblastech v Mexiku (Yen et al. 2010).

## 3.2 Využití jedlého hmyzu jako potravin

### 3.2.1 Environmentální aspekty

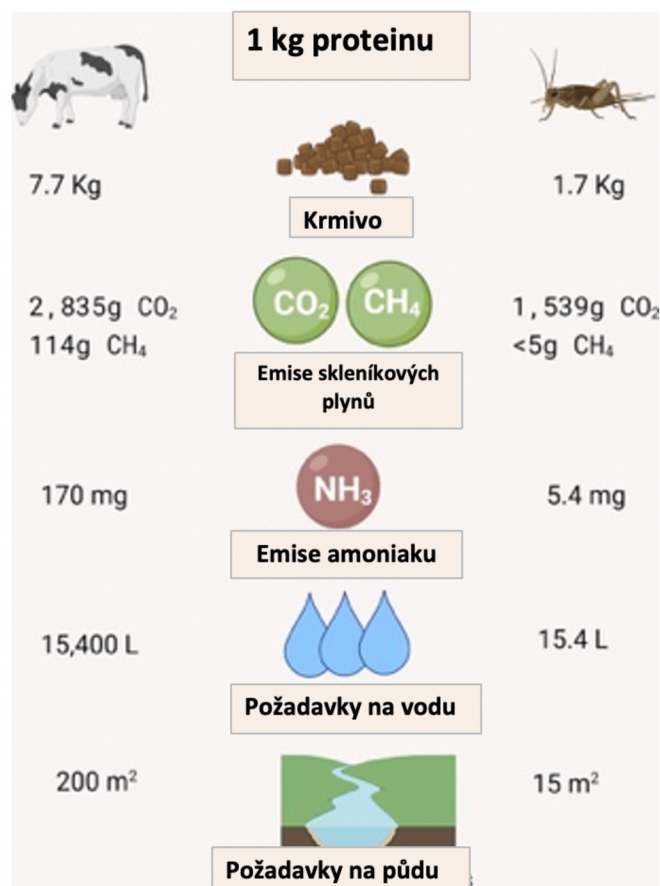
Dle Klunder et al. (2012) neustále rostoucí světová populace v kombinaci se stále zvyšujícím se hospodářským růstem a urbanizací vede ke zvyšující se poptávce po vysoce hodnotných bílkovinách. To následně zvyšuje tlak na světový sektor živočišné výroby. Tento vývoj má téměř jistě negativní dopad na životní prostředí, s ohledem na emise uhlíku, využívání půdy a vody anebo také rizika veřejného zdraví. Produkty na bázi hmyzu byly spojeny s nejnižším dopadem na životní prostředí a jsou šetrnější alternativou ke konvenčním produktům s vysokým obsahem bílkovin (van Huis et al. 2017).

Když se produkuje hmyz, ať už jako zdroj potravy nebo jako krmivo, dopad této produkce lze rozdělit na přímý a nepřímý. Například v důsledku dýchání, metabolismu a výkalů hmyzu mohou být emitovány  $\text{CO}_2$  (oxid uhličitý),  $\text{CH}_4$  (methan),  $\text{N}_2\text{O}$  (oxid dusný) a  $\text{NH}_3$  (amoniak). Úrovně přímých emisí byly kvantifikovány pouze pro pět druhů hmyzu. Zdá se však, že tyto úrovně jsou nižší než u konvenčních hospodářských zvířat (van Huis et al. 2017). Je však třeba vzít v úvahu i nepřímé emise a další parametry dopadu na životní prostředí. Metodu volby pro taková posouzení je hodnocení životního cyklu, které využívá přístup dodavatelského řetězce, který kvantifikuje dopad produktu na životní prostředí v celém řetězci (van Huis et al. 2017). V rámci řetězce produkce hospodářských zvířat a hmyzu je většina využití půdy a vody, stejně jako celkové emise skleníkových plynů, spojena s výrobou krmiv. Efektivní využití krmiva proto vysvětluje relativně nízké požadavky na půdu a vodu v řetězcích produkce hmyzu ve srovnání s jejich příslušnými referenčními hodnotami (Halloran et al. 2016).

Hmyz je také spojen s vysokými energetickými nároky z důvodu potřeby relativně vysokých teplot při odchovu. Hmyz je totiž poikilotermní, to znamená, že jeho tělesná teplota závisí hlavně na okolní teplotě. Na druhou stranu to také znamená, že krmivo spotřebované hmyzem může být efektivně využito pro růst, protože není třeba ho využívat k udržení stále tělesné teploty (van Huis et al. 2017).

Cvrčci domácí jsou udržitelným výživným zdrojem potravy, zatímco konvenční potravinové zdroje a produkce plodin mají problémy s životním prostředím a udržitelností (FAO 2013). Cvrček domácí má rozhodně menší dopad na životní prostředí, produkuje 0,05 oxidu uhličitého (g/kg tělesné hmotnosti/den) a 5,4 plynného amoniaku (mg/kg tělesné hmotnosti/den) ve srovnání s 2–28 oxidu uhličitého (g/kg tělesné hmotnosti/den) a 5–57 plynného amoniaku (mg/kg tělesné hmotnosti/den) od prasat, a 5,98 oxidu uhličitého (g/kg tělesné hmotnosti/den) a 14–170 plynného amoniaku (mg/kg tělesné hmotnosti/den) skotu (Oonincx et al. 2010).

Například chování cvrčci využívají 15 m<sup>2</sup> půdy k produkci 1 kg bílkovin, zatímco skot potřebuje 200 m<sup>2</sup>. Vypouští nižší emise skleníkových plynů a amoniaku na jednotku bílkovin, spotřebuje méně vody a krmiva. Hospodářská zvířata mohou produkovat až 100krát více skleníkových plynů, než mouční červi a mohou vypouštět 10 až 12krát více amoniaku ve srovnání s cvrčky domácími. Další důležitá úvaha se týká efektivity přeměny přijaté potravy, všechny tyto faktory jsou znázorněny na obrázku číslo 2 (Oonincx et al. 2010).



Obrázek 2. Porovnání odhadovaných zdrojů potřebných k produkci 1 kg bílkovin z hospodářských zvířat a chovaného hmyzu (Liceaga, 2021).

### 3.2.1.1 Skleníkové plyny

Ohledně udržitelnosti jsou obzvláště zajímavé emise skleníkových plynů. Osmdesát procent emisí skleníkových plynů generovaných v zemědělském sektoru pochází z živočišné výroby, včetně emisí z půdy využívané k pastvě, energii pro pěstování a přepravě obilí, stejně tak jako přepravování a zpracování masa k prodeji (Halloran et al. 2016). Například brojlerová kuřata jsou spojena s o 32–67 % vyššími emisemi a masný skot vypouští 6 až 13krát více ekvivalentů CO<sub>2</sub> ve srovnání s jedlým hmyzem (van Huis et al. 2017). Halloran et al. (2016) ve své studii podotýkají, že produkce drůbeže v Thajsku je spojena dokonce s 89% vyššími emisemi skleníkových plynů než cvrčci.

Je známo, že některý hmyz produkuje velké množství metanu (Lundy & Parrella, 2015). V roce 2010 Oonincx et al. (2010) provedli studii emisí skleníkových plynů se zástupci jedlého hmyzu *T. molitor* (potemník moučný), *A. domesticus* (cvrček domácí) a *L. migratoria* (saranče stěhovavé). Poznávají, že produkce CO<sub>2</sub> je vysoce závislá na druhu, metamorfním stádiu, teplotě, krmivu a úrovni fyzické aktivity. Studie také ukazuje, že využití půdy a emise skleníkových plynů na kilogram živočišných bílkovin jsou nižší než u prasat, kuřat a skotu. Bylo zjištěno, že podmínky, jako je světlo, vlhkost a koncentrace CO a CO<sub>2</sub>, hrají roli při určování množství produkovaného metanu. Proto existuje potenciál pro optimalizaci systémů

nejen pro nejvyšší účinnost z hlediska výroby, ale také pro snížení emisí již zmiňovaných skleníkových plynů (Lundy & Parrella, 2015).

### 3.2.2 Konverze krmiva

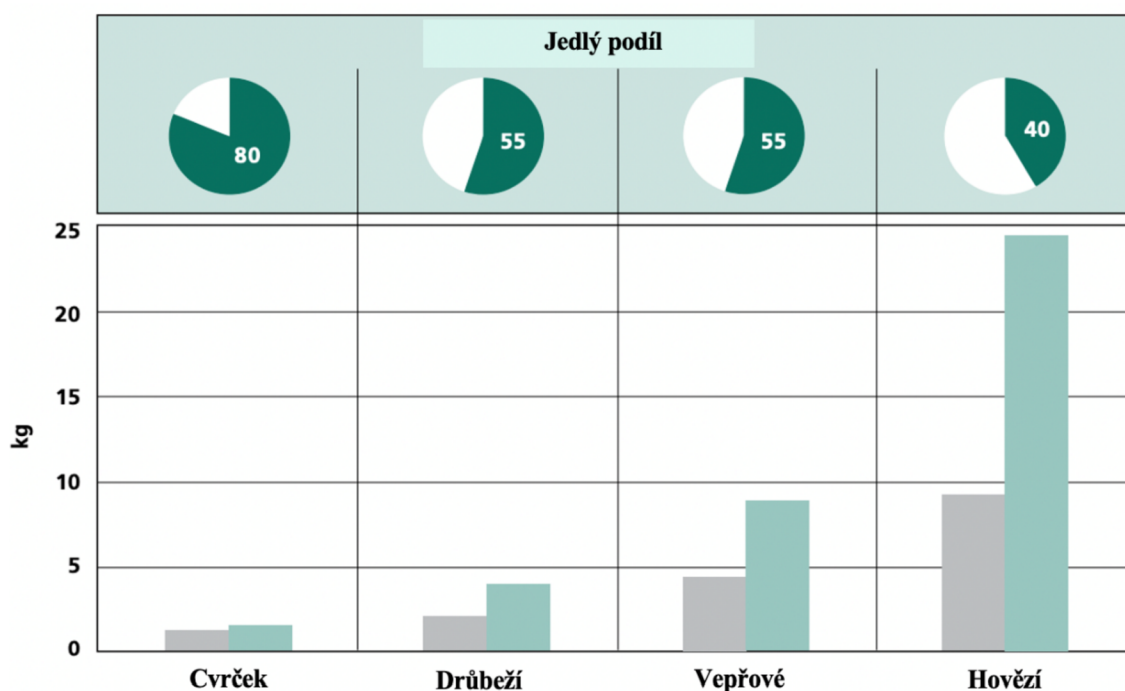
Konverze krmiva je běžnou metodou hodnocení efektivity v živočišné výrobě (Lundy & Parrella, 2015) srovnání schopnosti konverze krmiva jedlého hmyzu s konvenčními hospodářskými zvířaty je uvedeno v tabulce číslo 1.

Jedním z hlavních důvodů, proč je hmyz považován za potencionálně udržitelný zdroj živočišných bílkovin, je právě vysoká účinnost konverze krmiva. Vysoká účinnost vyžaduje optimální stravu, a proto je třeba znát nutriční požadavky druhu (van Huis et al. 2017). Ve srovnání s tradičními druhy hospodářských zvířat je hmyz extrémně účinný při přeměně rostlinných bílkovin na živočišné bílkoviny a krmné energie na energii potravy. Je to především proto, že hmyz je studenokrevný, což znamená, že jeho metabolismus není využíván k udržení tělesné teploty (Halloran et al. 2016).

Tabulka 1. Míra konverze krmiva (Jansson & Berggeren, 2015).

	<b>Konverze krmiva (kg přírůstku/kg krmiva)</b>
<b>Cvrček</b>	1,70
<b>Kuře</b>	1,80
<b>Moučný červ</b>	2,20
<b>Prase (konvenční chov)</b>	2,60
<b>Hovězí</b>	> 4,50

Cvrčci jsou dvakrát účinnější při přeměně krmiva na maso než kuřata a více než 12krát účinnější než u hovězího masa (obrázek 3). V chovu při optimální teplotě potřebují cvrčci přibližně šestkrát méně krmiva než skot, čtyřikrát méně než ovce a poloviční množství ve srovnání s prasaty a brojlerly (Jansson & Berggeren, 2015).



Obrázek 3. Účinnost při přeměně krmiva na živou hmotnost (zelené sloupce = kg krmiva/kg živé hmotnosti a šedivé sloupce = kg krmiva/kg požitelné hmotnosti) pro cvrčky a některé druhy hospodářských zvířat. Jedlý podíl cvrčků, drůbeže, vepřového a hovězího masa je 80, 55, 55 a 40 % v tomto pořadí (van Huis et al. 2013).

### 3.2.3 Organické vedlejší produkty

Další výhodou hmyzu jako alternativního zdroje živočišných bílkovin je to, že jej lze chovat udržitelným způsobem na organických vedlejších produktech (van Huis et al. 2013).

Co se týče cvrčků, ty jsou chováni na hmyzích farmách a krmeny vysoce kvalitním krmivem, podobné jako je krmení pro kuřata. Nahrazení takového krmiva organickými vedlejšími produkty, může pomoci zvýšit ziskovost chovu hmyzu (van Huis et al. 2013).

## 3.3 Hmyz jako potravina

Komericializace hmyzích produktů v západním světě může být podporována, pokud se zvýší akceptace ze strany spotřebitelů. Proto je třeba vyvinout a implementovat optimální metody zpracování pro transformaci, aby se zdůraznilo, že konzumace hmyzu pozitivně přispívá k životnímu prostředí, potravinové a nutriční bezpečnosti a stejně tak zdravému životnímu stylu pro současné i budoucí generace (Alnadif et al. 2017).

Pro spotřebitele je jedním ze základních kritérií výběru potravin vedle nutričních hodnot jejich chuť a vůně. Příjem a odmítání potravy je výsledkem zapojení sensoricko-afektivních funkcí, které se týkají sensorických vlastností. Imaginární představy o povaze a původu jídla také mají vliv a též existuje obava o bezpečnost, která je úzce spojena s fyzickou a duševní

újmou. V západních zemích lidé obecně spojují entomofágií se špínou a chudobou, tudíž požívání hmyzu často odmítají. Vizuální dojem je prvním ukazatelem při posuzování a výběru potravin spotřebitelem (Adámek et al. 2018). Studie smyslového hodnocení také naznačují, že jídla obsahující viditelný hmyz byla hodnocena mnohem negativněji, pokud jde o atraktivitu a pravděpodobnost jeho konzumace, ve srovnání s potravinami, které jsou přeměněny například na hmyzí moučku (Licega, 2022).

Existují tedy jasné náznaky, že západní spotřebitelé mají větší sklon ke konzumaci hmyzu, když je v potravě neviditelný nebo nerozpoznatelný nebo je maskován známou příchutí pro konzumenta (Licega, 2022). Například Barker et al. (2016) uvádějí, že zobrazení úplného obrazu hmyzu jako marketingová strategie pro potravinářské výrobky na bázi hmyzu v maloobchodním prostředí výrazně snížilo ochotu spotřebitelů koupit tento konkrétní potravinářský výrobek. To dokazuje křehkou akceptaci jedlého hmyzu. Spotřebitelé navíc prokázali pozitivnější emocionální odezvu na potravinářské produkty, které byly formulovány se začleněním nerozpoznatelného hmyzu (tj. ve formě moučky nebo prášku) ve srovnání s potravinami, které byly formulovány s hmyzem, který zůstal v rozpoznatelné (viditelné) formě. Dossey et al. (2016) také podotýkají, že při používání výrazů jako „hmyzí mouka“ je třeba postupovat opatrně, protože to může způsobit zmatek u spotřebitelů, kteří by si mohli myslet, že hmyzí mouka bude mít stejné vlastnosti pro vaření a pečení jako ty, které se nacházejí v produktech, jako je obilná mouka. Autoři vysvětlují, že zatímco hmyz se skládá především z bílkovin, následovaných tukem a vlákninou (chitin), pravá mouka (například pšenice) je tvořena především škrobem a vlákninou, po nichž následují bílkoviny.

V potravinářském a nápojovém průmyslu bylo zvaženo několik aplikací využívajících jedlý hmyz. Nejběžnější použití jedlého hmyzu bylo v pekařských výrobcích a výrobcích jako jsou sušenky, chléb, tortilly a těstoviny (Licega, 2022). Například prášek z pražených švábů kropenatých (*Nauphoeta cinerea*) byl použit jako proteinové obohacení pšeničné mouky pro přípravu chleba. Výsledky ukázaly, že složení s 10% obohacením se nejvíce podobalo klasickému chlebu a také vykazovalo nejlepší nutriční vlastnosti včetně vyššího obsahu bílkovin (22,6 % oproti 9,7 % v sušině) a vlákniny (2,3 % oproti 2,0 % v sušině) (de Oliveira et al. 2017).

Kromě použití hmyzu pro jeho obsah proteinů k formulaci potravin, některé další studie zkoumaly použití dalších hmyzích složek pro obohacení potravin. Například lipidy získané z biomasy hmyzu dvou druhů (*Hermetia illucens* a *Tenebrio molitor*) byly použity jako alternativa rostlinných a živočišných lipidů v roztíracích produktech, jako jsou margarín nebo máslo (Smetana et al. 2020). Autoři uvedli, že bylo možné nahradit až 75 % lipidů získanými z hmyzu bez negativního vlivu na rozztíratelnost nebo barvu produktů. V jiné studii měly sušenky připravené s přísadkou hmyzího oleje vyšší obsah omega-3 mastných kyselin, flavonoidů a vitamínu E než sušenky z rostlinných olejů (Cheseto et al. 2020).

### 3.3.1 Krmivo

Optimalizace krmiva v odvětví živočišné výroby je důležitým aspektem ekonomické efektivity. Vysoce formulovaná krmiva byla navržena tak, aby poskytovala zvířatům správnou výživu, aby rostla rychleji a do větších rozměrů. Není pochyb o tom, že další poptávka

po jedlých druzích hmyzu vyvolá zájem výrobců krmiv formulovat podobná krmiva pro hmyz (Lundy & Parrella, 2015).

Vyvíjí se úsilí o systémy, které jsou účinné a nebrzdí je problémy, které mohou ohrozit hygienu a následně bezpečnost potravin. Avšak i když lze použít organickou biomasu, jako jsou zemědělské a potravinářské vedlejší produkty nebo biomasu nízké hodnoty, či biomasu bez hodnoty, nemusí to vždy znamenat, že jde o možnost, která má nejmenší potencionální dopad na životní prostředí (Halloran et al. 2016). Tento základní problém, spojený s jinými formami živočišné výroby, vede ke zkoumání vedlejších organických zdrojů. Zda některé druhy jedlého hmyzu určené k lidské spotřebě bude nebo nebude povoleno chovat na takovýchto zdrojích bude nakonec záležitostí regionálních nebo národních předpisů pro bezpečnost potravin (Lundy & Parrella, 2015).

### 3.3.2 Chov hmyzu

Rostoucí poptávka po jedlém hmyzu vytvořila výzvu produkovat jedlý hmyz ekonomicky efektivním, bezpečným a udržitelným způsobem (Gahukar, 2018). Tyto faktory poukazují na potřebu technologického skoku od sběru z přírody k chovu v halách. V tomto smyslu mohou tradiční domorodé znalosti spojené se sběrem z přírody a místní konzumací hmyzu doplnit vědecké poznatky potřebné k posílení nabídky hmyzu prostřednictvím velkochovu. V souladu s tradičními a kulturními praktikami drobných producentů lze shromáždit velké množství druhů v různých životních fázích (Van Huis & Oonincx, 2017). Úspěch tohoto odvětví bude záviset na jeho schopnosti vytvořit spolehlivé a konzistentní výrobní řetězce, a především na jeho schopnosti produkovat vysoce kvalitní krmiva a potraviny s vysokou nutriční hodnotou (FAO, 2013). Zabíjení hmyzu z jeho přirozeného prostředí je považováno za iracionální ničení přírodních zdrojů a má mnoho omezujících faktorů. Z toho důvodu je velkochov jedlého hmyzu rozumnou a životaschopnou možností (Zuk-Golaszewska et al, 2022).

Protože nutriční hodnota hmyzu je dána především druhem hmyzu, zdrojem potravy hmyzu a způsobem zpracování je možné vyvinout vysoce výživný kulturní hmyz z těchto tří hledisek (Meyer-Rochow et al., 2021). Například podávání stravy bohaté na lněný olej cvrčku domácímu zvýšilo obsah kyseliny alfa-linolenové. Výsledky ukázaly, že diety doplněné 4% lněným olejem zvýšily obsah n-3 mastných kyselin 10–20krát (Oonincx et al., 2020).

Účelem chovu jedlého hmyzu je, aby jedlý hmyz lépe uspokojoval lidské potřeby výživy a zdraví. Za tímto účelem budou lidé vyvíjet a zlepšovat nové strategie pro chov hmyzu. Hmyz chovaný ve velkém měřítku musí mít zjevné výhody, jako je jeho rychlý růst, různorodé zdroje potravy, vysoká reprodukční kapacita, vysoká nutriční hodnota a adaptabilita (Cadinu et al. 2020). Kromě toho musí být hmyz používaný pro chov a pro potravinářské účely bezpečný a netoxický pro člověka. Dále je třeba vzít v úvahu nutriční faktor. Je to proto, že lidé chovají hmyz, aby získali vysoce výživnou potravu. Někdy může být hmyz doplněn o specifické složky potravy, aby se zvýšily určité živiny v jejich tělech. Způsob zpracování a produkce hmyzu je posledním krokem, který ovlivňuje jeho nutriční hodnotu. Jedním ze základních požadavků, který je třeba zajistit je, aby hmyz neztrácel své živiny a aby účinné látky hmyzu nebyly inaktivovány (Zhou et al. 2022).

Na základě standardizovaných metod hodnocení životního cyklu lze životní cyklus produkce a zpracování kulturního hmyzu rozdělit do tří hlavních fází. První je surovina



potřebná k výrobě hmyzu. Druhým je předúprava sklizeného hmyzu, včetně sklizně, sterilizace, sušení a mletí. Třetím je dodatečné zpracování používané k výrobě finální potraviny (Smetana et al. 2016).

Sklizeň každého druhu je jedinečná a závisí na stadiu vývoje (vajíčka, kukly, larvy nebo dospělci), ročním obdobím (déšť nebo sucho) a lokalitě (les, poušť nebo zemědělská pole). Intenzifikace zemědělství představuje hrozbu pro mnoho jedlého hmyzu, především v důsledku mechanizace, kácení stromů a používání pesticidů (Melgar-Lallanne et al. 2019).

Co se týče nakládání s živočišnými odpady, je známo, že je v živočišné výrobě spojeno s velkými dopady na životní prostředí. Nakládání s odpady z produkce hmyzu bude pravděpodobně spojeno se stejnými dopady jako u produkce živočišné. Jedním ze způsobů, kterým se může lišit od situace v mnoha systémech živočišné výroby, je skutečnost, že odpad je často zcela suchý, to znamená, že emise oxidu dusného a methanu během skladování mohou být nižší (Steinfeld et al. 2006).

### 3.3.3 Zpracování hmyzu

Jedlý hmyz se obvykle připravuje za použití tradičních metod, jako jsou mimo jiné tradičně sušení na slunci, pražení, vaření, pečení, smažení a dušení. V dnešní době se hmyz typicky konzumuje celý (syrový či vařený), zpracovaný a ve formě extraktů (Licega, 2021). Způsob zpracování a produkce hmyzu je posledním krokem, který ovlivňuje jeho nutriční hodnotu. Bez ohledu na metodu použitou ke zpracování hmyzu je základním požadavkem zajistit, aby hmyz neztrácel své živiny a aby účinné látky hmyzu nebyly inaktivovány (Melgar-Lallanne et al. 2019). Hmyz se tradičně zpracovává jednoduchými způsoby, aby se zlepšila jeho chuť a kvalita příjmu potravy. S nástupem nových zpracovatelských technologií se zpracování jedlého hmyzu stalo propracovanějším (Zhou et al. 2022).

Metody se samozřejmě mohou měnit a být nahrazeny jinými, protože každá metoda má určité výhody nebo nevýhody vyhovující regionálním potřebám. Například pražení, vaření a smažení se ve velké míře používá v severovýchodní Indii, protože má lepší chuť hmyzu ve srovnání s vařením a pečením (Meyer-Rochow et al. 2021). Stejně jako u jiných tradičních zdrojů bílkovin (například mléčných výrobků, masa atd.) je známo, že způsoby zpracování, které zahrnují tepelné ošetření, jako je pasterizace a sterilizace, účinně snižují mikrobiální zátěž, inaktivují enzymy a také zvyšují nutriční kvalitu a stravitelnost potravin (Licega, 2021).

Potravinářský průmysl projevuje zájem o tento nový zdroj bílkovin. V posledním desetiletí to dokazuje několik začínajících společností a řada vědeckých publikací, přičemž tržní trendy vedou v příštích 10 letech ke globálnímu trhu s jedlým hmyzem v hodnotě přibližně 9 miliard USD. V důsledku tohoto nárůstu trhu zaměřeného na západní kultury se další přístupy k přípravě hmyzu musí spoléhat na zpracovatelské metody, které převedou hmyz do nerozpoznatelných forem, jako jsou například mouky či prášky, fermentované substráty atd (Licega, 2021).

Použití různých technologií sušení se zdá být nejběžněji používaným přístupem ke konzervaci a zpracování jedlého hmyzu. Každá použitá metoda sušení však bude mít různé účinky na nutriční složení (Licega, 2021). Například Kroncke et al. (2018) uvedli, že různé techniky sušení způsobily drobné změny v obsahu bílkovin, tuku a vlákniny u moučných červů. Nicméně sušení v sušárně, sušení v mikrovlnné troubě a sušení ve vakuu snížilo rozpustnost



proteinu, zatímco lyofilizovaní mouční červi vykazovali nejvyšší oxidaci lipidů ve srovnání s jinými způsoby sušení. Celkově byly technologie vakuového sušení a mikrovlnného sušení uváděny jako alternativa ke konvenčnímu sušení v sušárně a sušení mražením. Naproti tomu Lenaerts et al. (2018) ukázali, že sušením mrazem *Tenebrio molitor* zvýšilo oxidaci lipidů ve srovnání s mikrovlnným sušením, které vykazovalo menší změny v obsahu bílkovin, tuků a popelovin. Použití vakua během procesu mikrovlnného sušení nepřidalo žádnou výhodu, protože složení mastných kyselin nebylo významně ovlivněno. Pro zajištění kvality živin a funkčnosti produktu jsou stále zapotřebí strategie pro procesově optimalizované sušení jedlého hmyzu (Licega, 2022).

Jiné metody uváděné v literatuře pro zpracování jedlého hmyzu poukazují na možnost oddělení proteinu z hmyzího exoskeletu (s vysokým obsahem chitinu) pomocí řízené enzymatické proteolýzy komerčními potravinářskými proteázami jako je alkaláza. Výsledné proteinové hydrolyzáty nebo proteinové prášky mají tendenci vykazovat celkové zlepšení funkčních vlastností proteinu (například rozpustnost, emulgace či pění) účinnou separací nerozpustného chitinu od proteinu. Tyto vysoce rozpustné hydrolyzáty mohou být mimo jiné použity ve formulaci potravin jako proteinové doplňky, emulgátory, stabilizátory a zvýrazňovače chuti (Licega, 2019).

Existuje mnoho studií, kde autoři popisují různé zpracování hmyzu, například Farina (2020) porovnával vývar připravený vařením dospělých jedinců *A. domesticus* po jejich zmrazení a těmi dospělci, kteří byli při vaření naživu. Byl zde významný rozdíl v pH, celkovém přijetí a vnímání slanosti a chuti umami. Tyto vlastnosti byly spojeny s rozkladem glykogenu a tvorbou kyseliny mléčné během zabíjení hmyzu. Proto je důležité zvolit správnou metodu jak následného zpracování, tak usmrcení (Meyer-Rochow et al. 2021).

Dále Kewuyemi et al. (2020) navrhli fermentaci pro obohacení přirozeného složení produktů na bázi hmyzu a pro vyvolání antimikrobiálních, nutričních a terapeutických vlastností. V Africe je tato metoda používána již po staletí. Praxe podporovaná nekontrolovanými mikroby nebo řízenou mikroflórou, která následně vede k žádoucím vlastnostem potravin, jako jsou odlišné organoleptické vlastnosti, lepší chutnost a prodloužená trvanlivost. Současně, je proces doprovázen také zlepšením biochemických vlastností a vyčerpáním nebo eliminací toxických složek vlastní suroviny. Fermentační procesy také stimulují produkci bioaktivních sloučenin, které mohou zpočátku chybět nebo být přítomny v malých množstvích v nezpracovaném substrátu (Kewuyemi et al. 2019). Fermentace byla přijata jako technika pro zlepšení skladovatelnosti a mikrobiální bezpečnosti jedlého hmyzu se studii naznačujícími roli fermentace při potlačování růstu patogenních mikroorganismů (Kewuyemi et al. 2019).

Podobné pozorování bylo rovněž zaznamenáno ve studii De Smeta et al. (2019) s uváděnou prevencí růstu nežádoucích organismů. Prostřednictvím mikrobiální aktivity během fermentace organismů se očekává snížení pH. Tato snížená hladina poskytuje bariéru proti většině potravinových patogenů (De Smet et al. 2019). Ačkoliv se na procesu fermentace podílí mnoho mikroorganismů (bakterie, kvasinky a plísně), nejpozoruhodnější jsou však bakterie mléčného kvašení a kvasinky, u nichž byla zdokumentována jejich role při poskytování potenciálních zdravotních přínosů pro fermentovaný jedlý hmyz (De Smet et al. 2019).

### 3.3.4 Bezpečnost konzumace

Bezpečnost potravin, zpracování a konzervace spolu úzce souvisí (Klunder et al. 2012). Tradiční metody zpracování, jako je vaření, pražení a smažení, se často používají ke zlepšení chuti a chutnosti jedlého hmyzu a mají výhodu v zajištění bezpečného potravinářského produktu. Důležitou roli ve zvolené konzervaci hrají kulturní preference a organoleptické vlastnosti (FAO, 2001). V mnoha částech světa se hmyz „k přímé spotřebě“ často prodává na místních trzích po smažení nebo po opékání. V takových případech je důležité dodržovat správnou hygienickou manipulaci, aby se předešlo potenciálnímu riziku kontaminace. (Klunder et al. 2012). Na úrovni domácností, čerstvý hmyz je třeba připravit hygienicky a dostatečně tepelně ošetřit. Pokud jde o mikrobiální bezpečnost, studie syrového a tepelně upraveného moučného červa a cvrčka domácího naznačují, že tepelné zpracování bylo účinné při eliminaci patogenních bakterií (Klunder et al. 2012).

Bezpečnostní obavy mohou souviset s obsahem antinutričních látek v některých druzích hmyzu. Vzhledem k tomu, že hmyz se živí býložravci, je chovaný hmyz krmen především rostlinnou stravou bohatou na alelochemikálie, jako jsou fenolické sloučeniny (Nino et al. 2021). Tyto alelochemikálie mohou být dobrým zdrojem antioxidantů, ale některé mohou mít také antinutriční účinky. Nicméně, podobně jako antinutriční sloučeniny nalezené v jiných potravinách, většina metod zpracování (například vaření či sušení) může snížit jejich obsah (Licega et al. 2021). Kromě toho výhoda chovu jedlého hmyzu umožní výběr pečlivě navržené stravy, která může minimalizovat koncentraci těchto sloučenin (Licega, 2022). Další hmyzí sloučeniny, jako je chitin, mohou také představovat výzvy. Předpokládá se, že nadměrná konzumace chitinu, který se nachází především v exoskeletu hmyzu, zvyšuje riziko tvorby močových kamenů a chronicky degenerativních onemocnění (Yhoung-aree, 2008).

Grabowski & Klein (2017) hodnotili mikrobiální kvalitu různých druhů zpracovaných jedlých druhů hmyzu (například smažené, kořeněné, vařené, sušené a zmrazené). Jejich výsledky ukázaly, že sušený a kořeněný hmyz obsahoval vyšší množství mikrobů než ten, který byl vařený nebo smažený. Všechny vzorky byly negativní na *Salmonella*, *L. monocytogenes*, *E. coli* a *Staphylococcus aureus*, sušený hmyz však obsahoval *B. cereus*, koliformní bakterie, *Listeria ivanovii*, *Aspergillus spp.*, *Penicillium spp.* a *Cryptococcus neoformans* (Grabowski & Klein, 2017). V jiné studii Nyangena et al. (2020) zkoumali účinky různých tradičních technik zpracování (tj. vaření, opékání, sušení na slunci atd.) na přibližné složení a mikrobiologickou kvalitu různých druhů jedlého hmyzu (*Acheta domesticus*, *Ruspolia differentens*, *Hermetia illucens* a *Spodoptera littoralis*) vzhledem k surovému anebo nezpracovanému hmyzu. Autoři uvedli, že nejúčinnějšími metodami pro zvýšení obsahu bílkovin a snížení nebo odstranění aerobních mezofilních bakterií, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, kvasinek a plísní jsou vaření, pražení nebo opékání.

## 3.4 Cvrček domácí

Cvrčci domácí (obrázek 4), jsou udržitelnými a výživnými budoucími zdroji potravy díky svým nutričním výhodám, zvláště vysokému obsahu bílkovin a potenciálu při řešení globální

podvýživy. Růst a nutriční hodnotu cvrčků mohou ovlivnit různé diety, zejména obsah bílkovin (Bawa et al. 2020).

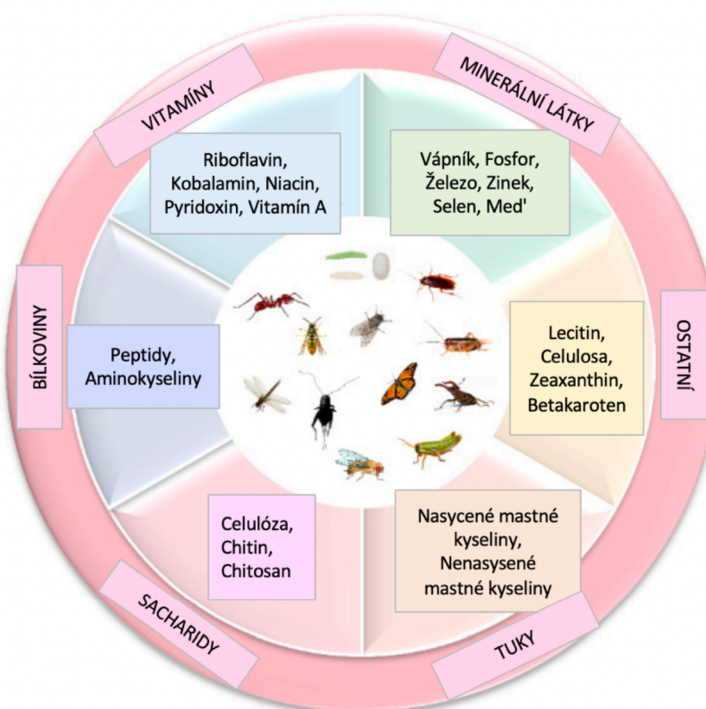
Cvrček domácí (*Acheta domestica*) je typicky šedé nebo nahnědlé barvy. Dorůstá délky 16–21 milimetrů, v dospělosti mají dlouhá zadní křídla, které občas v dospělosti shodí (Alnadif et al. 2017).



Obrázek 4. Cvrček domácí (*Acheta domestica*) (Wikipedia, 2022).

Výživová hodnota jedlého hmyzu je velice vysoká. Mezi hlavní živiny, které jedlý hmyz obsahuje, patří bílkoviny, tuky, vitamíny, minerální látky a sacharidy, které jsou nezbytné pro lidský vývoj (viz obrázek 5). Obsah bílkovin dospělého cvrčka se pohybuje okolo 64,4 %–70,8 %, obsah lipidů mezi 18,6 % a 22,8 %, obsah vlákniny se pohybuje v rozmezí od 16,4 % do 19,1 %. Minoritní mastné kyseliny dospělého cvrčka jsou linolová (30 %–40 %), olejová (23 %–27 %), palmitová (24 %–30 %) a stearová kyselina (7 %–11 %). V menším množství se vyskytuje palmitolejová kyselina (3 %–4 %), myristová kyselina (cca 1 %) a linolenová kyselina (méně než 1 %). Cvrček domácí obsahuje vysoké množství vitamínu A, vitamínu E, vitamínu C a komplexu vitamínu B (Alnadif et al. 2017).

Cvrčci patří mezi nejrozšířenější druhy hmyzu. Konzumují je lidé v mnoha oblastech světa a v západních zemích se již po desetiletí chovají v průmyslovém měřítku, především jako zdroj potravy pro hmyzožravce v zajetí (jako jsou například domácí mazlíčci nebo zvířata v zoologických zahradách) (Lundy & Parrella, 2015). Potenciál pro jejich použití jako doplňku stravy zaměřený na dodržení doporučeného dietního příjmu populace byl stanoven (FAO 2013). Cvrčci využívají okolní energii pro své metabolické reakce, mají kratší generační dobu. Nejen z těchto důvodů jsou dobrou alternativou pro kvalitní potravinu živočišného původu (Lundy & Parrella, 2015).



Obrázek 5. Obsah nutričních látek v těle hmyzu (Liceaga, 2021).

Co se týče srovnání ceny cvrčka domácího v různých zemích, tak maloobchodní cena cvrčka domácího z USA/Kanady (21,36 EUR/kg) je 6krát dražší než ty z Thajska (3,36 EUR/kg) a 11krát dražší než cvrčci domácí z Keni (1,93 EUR/kg). Z toho vyplývá že cena cvrčků ze zemí, kde se tradičně chová je příznivější než v zemích, kde je tato potravina zatím méně dostupná (Dust & Hansboonsong, 2014).

### 3.5 Rizika spojená s konzumací hmyzu

Jedlý hmyz představuje i potencionální biologická a chemická rizika, ale stejně tak rizika alergenní a enviromentální, která jsou spojená s hmyzem používaným jako potraviny a krmivo. Pokud se jako substrát pro krmení hmyzu používají v současnosti povolené krmné suroviny, očekává se, že možný výskyt mikrobiologických rizik bude srovnatelný s jejich výskytem v jiných nezpracovaných zdrojích bílkovin živočišného původu (EFFSA, 2015).

Vzhledem k potencionálním biologickým, chemickým, fyzikálním, alergenním a toxickým rizikům spojeným s konzumací hmyzu, je ideální konzumovat hmyz, který byl chován na farmách za kontrolovaných podmínek a pro který byly dodržovány přísné hygienické a dezinfekční protokoly v celém řetězci výroby (Ordoñez-Araque et al. 2021).

#### 3.5.1 Mikrobiologická rizika

Hmyz může osahovat přidružené mikroorganismy, které mohou ovlivnit jeho bezpečnost jako potraviny (FAO, 2013). Většina mikroorganismů, které se mohou v hmyzu vyskytovat však nepředstavuje hrozbu pro člověka (Marchi et al. 2021). Bez ohledu na formu (jako celí živočichové nebo ve formě prášku) se s hmyzem konzumuje i jejich trávicí trakt. Na konci

odchovu tedy hmyz působí jako rezervoár různých mikroorganismů (FAO, 2021), mezi které patří patogenní bakterie, kvasinky, plísňe, viry a parazity. Řízení biologických rizik ve velkém měřítku výroby je ve výrobě produktů z hmyzu nanejvýš důležité (FAO, 2021).

Hmyz obsahuje velké množství virů a mnohé z nich jsou pro hmyz patogenní (způsobují onemocnění a mohou vést k úmrtnosti a kolapsu kolonií). Viry specifické pro hmyz jsou hlavním problémem výrobců, který chovají hmyz pro produkci potravin, protože mohou způsobit ztrátu produkce (EFFSA, 2015). Hmyz může také přenášet nemoci na lidi, ale tento fakt je považován za zanedbatelný. Většina hmyzu konzumovaného lidmi a zvířaty se totiž živí rostlinami a nepůsobí jako přímí přenašeči infekcí (Zhou et al. 2022).

V některých průmyslových zemědělských provozech zahrnují další vstupy antibiotika, vitaminy a vakcíny. Ty ovlivňují ekosystémy a zvyšují pravděpodobnost vývoje rezistentních patogenů přenosných na člověka. Používání antibiotik v průmyslu je s největší pravděpodobností velmi nízké. Zda bude či nebude na hmyzích farmách k vidění používání antibiotik nebo vitamínů, bude určeno budoucím rozvojem tohoto odvětví. Není to však nepravděpodobné, protože se používají ve velmi rozmanitých produkčních systémech včetně farem s krevetami, což je rovněž skupina členovců (Lundy & Parrella, 2015).

### 3.5.2 Chemická rizika

Stejně jako produkty z jiných zvířat mohou potraviny a krmiva získané z hmyzu obsahovat nebezpečné chemické látky. Některé z těchto látek mohou být přítomny v substrátech pro hmyz, jako jsou látky znečišťující životní prostředí, například těžké kovy. Hmyz také může obsahovat zvýšené hladiny stopových prvků, jako je selen, který se může hromadit v hmyzu z krmného substrátu (EFFSA, 2015). Cvrčci stejně jako jiné potravinářské produkty, mohou obsahovat kadmium, arsen, olovo a cín. Koncentrace těžkých kovů ve cvrčících závisí na jejich přítomnosti v krmivu nebo látkách znečišťujících půdu (EFFSA, 2018). Akumulace těžkých kovů v jedlém hmyzu je také potencionálním bezpečnostním problémem pro hmyz sklizený na poli. Těžké kovy v jedlém hmyzu pocházejí jak ze životního prostředí, tak z lidského znečištění (Poma et al. 2017). Hmyz také může obsahovat přirozeně toxigenní sloučeniny, ty mohou být syntetizovány jako obranné mechanismy nebo akumulovány během chovných procesů. U cvrčků nejsou popsány žádné vnitřní toxiny pro člověka (EFFSA, 2018).

Co se týče reziduí pesticidů, ty u hmyzu chovaného v zajetí nejsou potencionální hrozbou. Ovšem u hmyzu nalezeného ve volné přírodě je tomu naopak. Hmyz ve volné přírodě není pod lidskou kontrolou a může tak častěji pozřít potravu která obsahuje pesticidy, což vede k nejistotě, zda se zbytky pesticidů nebudou vyskytovat v těle hmyzu. Bezpečný a kontrolovaný jedlý hmyz může tomuto riziku zabránit (Houbraken et al. 2016).

### 3.5.3 Alergie

Alergie na hmyz, stejně jako jiné potravinové alergie, je pro mnoho konzumentů hmyzu velice závažným problémem. Podle statistik světová zdravotnická organizace identifikovala 239 možných alergenů z členovců, přičemž většinu z těchto alergenů byly indikovány v kobyilkách a sarančatech. Tyto alergeny mohou způsobovat běžné negativní reakce, jako jsou dýchací potíže, astma, zarudnutí, gastrointestinální problémy, svědění a v těžkých případech mdloby (Ribeiro et al. 2021). Existují metody, které mohou alergeny v jedlém hmyzu snížit.

Je známo, že tepelné ošetření ovlivňuje alergenicitu proteinů, ale nemusí je nutně zcela vymýtit (Ribeiro et al. 2021).

Podle Světové zdravotnické organizace a Mezinárodní unie imunologických společností není pod řádem *Orthoptera* (cvrčci) hlášen jediný alergen. Specifické alergie přenášené potravinami pocházející z konzumace cvrčků nebyly v Evropě hlášeny. Alergické reakce spojené s *Acheta domesticus* jsou jen zřídka hlášené v regionech, kde je jejich spotřeba běžná (EFFSA, 2018). Například tropomyosin, což je známý alergen u koryšů, je také přítomen u cvrčků. Takže lidé, kteří jsou alergičtí na koryše, mohou být citliví na cvrčky a při opakované expozici náchylní k rozvoji alergické reakce. U těchto senzibilních jedinců by tedy konzumace cvrčků mohla vyvolat alergické reakce, jako by byli vystaveni původnímu alergenovému zvířeti (například krevetám). Cvrček a produkty získané z něj by proto měly být označeny, aby byla zajištěna bezpečnost spotřebitelů alergických na koryše nebo měkkýše (EFFSA, 2018).

### 3.6 Nutriční hodnoty

Hmyz je vysoce výživným zdrojem potravy s vysokým obsahem bílkovin (35–61 %), tuků (13–33 %), vitamínů, minerálních látek a vlákniny. Jedlý hmyz je vysoce hodnotným alternativním zdrojem bílkovin, který vykazuje velice kvalitní složení živin s potenciálně zdraví prospěšnými složkami (Kouřimská & Adámková, 2016; Ordoñez-Araque et al. 2021).

Nutriční hodnota se liší stravou, vývojovou fází, pohlavím, druhem, prostředím a metodou měření (Yashung et al. 2020). Srovnání vybraných zástupců jedlého hmyzu s jejich nutričními hodnotami je zaznamenáno v tabulce číslo 2. Co se týče ovlivnění nutričních hodnot pohlavím Kulma et al. (2019) provedli studii, kdy stanovovali základní nutriční látky v samcích a samicích cvrčků a výsledky porovnali. Z výsledků studie lze posoudit, že samice obsahovaly méně vody než samci, ti obsahovali výrazně vyšší obsah bílkovin a nižší obsah lipidů. Pohlaví neovlivnilo hladiny popelovin, a samice vykazovaly mírně vyšší energetickou hodnotu než samci.

Co se týče porovnání obsahu nutričních látek cvrčka domácího s živočišnými a rostlinnými zdroji. Hovězí maso obsahuje 19 %–26 % bílkovin, dále například krevety obsahují 13 %–27 % bílkovin, sójové boby obsahují přibližně 35,8 % bílkovin. Nejenže cvrčci obsahují potřebné množství všech aminokyselin, ale také jich mají více než ostatní živočišné a rostlinné potraviny. Obsah leucinu je srovnatelný s mlékem, ale je vyšší než v sójovém proteinu. Jedlý hmyz je také dobrým zdrojem polyenových mastných kyselin a obsahuje méně cholesterolu než maso (Churchward-Venne et al. 2017). Finke (2002) ve své studii také prováděl porovnání nutričních hodnot, kdy zjistil že například 100 g cvrčků (v živé hmotě) může poskytnout 63 g bílkovin, 446 kcal energie, 0,25 g omega 3- mastných kyselin a 5,0 mg železa. Tyto údaje můžeme porovnat s hodnotami hovězího masa, který poskytuje 25,6 g bílkovin, 278 kcal, 0,009 g omega-3 mastných kyselin a 2,4 mg železa ve 100 g. Hodnoty obsahu nutričních látek můžeme ještě porovnat s masem kuřecím, to poskytuje 39 g bílkovin, 190 kcal, 0,05 g omega-3 mastných kyselin a 1,2 mg železa ve 100 g.



Tabulka 2. Přibližné nutriční hodnoty vybraného jedlého hmyzu.

	<b>Bílkoviny</b>	<b>Tuky</b>	<b>Popeloviny</b>	<b>Vláknina</b>	Literatura
<i>Acheta domestica</i>	20,50 <sup>b</sup>	6,80 <sup>b</sup>	1,10 <sup>b</sup>	10,00 <sup>b</sup>	Finke, 2002
<i>Tenebrio molitor</i>	18,40 <sup>b</sup>	16,80 <sup>b</sup>	1,20 <sup>b</sup>	5,40 <sup>b</sup>	Finke, 2002
<i>Locusta migratoria</i>	48,70 <sup>a</sup>	38,10 <sup>a</sup>	2,30 <sup>a</sup>	8,80 <sup>a</sup>	EFSA Panel on Nutrition, 2021
<i>Gryllus bimaculatus</i>	58,32 <sup>a</sup>	11,88 <sup>a</sup>	9,69 <sup>a</sup>	9,53 <sup>a</sup>	Ghosh et al. 2017
<i>Apis mellifera</i>	21,00 <sup>a</sup>	14,50 <sup>a</sup>	2,20 <sup>a</sup>	2,00 <sup>a</sup>	Payne et al. 2016

<sup>a</sup>: g/100 g v sušině, <sup>b</sup>: g/100 g v živé hmotnosti

Nutriční hodnoty jedlého hmyzu jsou tedy srovnatelné s tradičními druhy masa (viz tabulka 3). Jedlý hmyz je dobrým zdrojem důležitých živin, které mohou lidem pomoci dosáhnout jejich nutričních potřeb. Jedlý hmyz lze použít i například v boji proti podvýživě (díky jejich produkci ve vývojových zemích) a některé druhy hmyzu významně přispívají ke splnění doporučené denní diety (Yashung et al. 2020). Ve srovnání s konvenčními zdroji živočišných bílkovin se tedy hmyz zdá být výživnější a zdravější, i z toho důvodu je hmyz považován za náhražku masa hospodářských zvířat (Yashung et al. 2020).

Tabulka 3. Srovnání obsahu bílkovin s tradičními zdroji bílkovin a cvrčkem domácím (USDA National Nutrient Database).

<b>Zdroj bílkovin</b>	<b>Příprava</b>	<b>Bílkoviny %</b>
<i>Acheta domestica</i>	Celé syrové	66,6 %
Hovězí	Mleté/syrové	17,37 %
Vepřové	Mleté/syrové	15,41 %
Kuřecí	Mleté/syrové	17,44 %
Losos	Divoký/syrový	19,84 %
Mléko	-	3,28 %

### 3.6.1 Tuky

Hmyzí tuková tělíska, podobná tukové tkáni u obratlovců, jsou jedním z hlavních skladovacích míst energetické zásoby. U hmyzu však tato tkáň hraje i komplexnější roli, protože se mimo jiné podílí na hormonální regulaci životních procesů, syntéze

antimikrobiálních peptidů a obecné reakci na stresové faktory (Benzerthia et al. 2020). Až 90 % lipidů v hmyzím těle je ve formě triacylglycerolů. Druhou největší složkou jsou fosfolipidy, které se skládají převážně ze struktur buněčných membrán (Canavos et al. 2001).

Obsah tuku u hmyzu se pohybuje mezi 10 % až 70 % v sušině (Finke, 2013). Obsah tuku se stanovuje extrakcí, která určuje celkovou hmotnost všech molekul rozpustných v tucích. Patří sem glyceridy, vosky, steroly, vitamíny rozpustné v tucích a další sloučeniny rozpustné v tucích. Tuk je složen z mastných kyselin, ty se dělí podle stupně nasycení na nasycené, monoenoové a polyenoové mastné kyseliny. Složení mastných kyselin hmyzu závisí na druhu a životní fázi, stejně jako na faktorech prostředí, což jsou strava, teplota a světlo (Oonincx, 2017). Složení mastných kyselin přímo ovlivňuje nutriční kvalitu tuků v potravinách. Jinými slovy, složení nasycených (SFA), monoenoových (MUFA) a polyenoových (PUFA) mastných kyselin v těle hmyzu určuje nutriční kvalitu tuku (Zhou et al. 2022).

Většina lipidů v hmyzím těle je při pokojové teplotě tekutá, tudíž se jedná o „hmyzí olej“. Tyto oleje jsou bohaté na esenciální mastné kyseliny, jako jsou linolová kyselina, kyselina alfa-linolenová a omega-3 mastné kyseliny. Tyto oleje se přidávají například do majonéz a olejů na smažení. Tuky v hmyzu, které se při pokojové teplotě nerozpouští, se nazývají „hmyzí tuk“. Tento tuk poskytuje vysoký obsah nasycených mastných kyselin a používá se například do těstovin, cukrovinkách nebo margarínů (Silva Lucas et al. 2020).

Udomsil et al. (2019) ve své studii uvádí, že nasycené mastné kyseliny (SFA) jsou převládající mastné kyseliny nalezené u *A. domesticus* a *G. bimaculatus*., následované v pořadí monoenoovými mastnými kyselinami (MUFA) a polyenoovými kyselinami (PUFA). SFA jsou jedním z dietních faktorů, které mají velký negativní vliv na LDL cholesterol. Navíc bylo prokázáno, že MUFA a PUFA snižují koncentrace cholesterolu v plazmě. Hlavními SFA, které byly nalezeny ve vzorcích obou cvrčků byly palmitová (C16:0) a stearová kyselina (C18:0), zatímco dominantní nenasyčenou mastnou kyselinou byla olejová (C18:1). Esenciální alfa-linolenová (omega-3 mastná kyselina) a linolová kyselina (omega-6 mastná kyselina) byly též přítomny u obou cvrčků. Uvádí se, že obsah mastných kyselin v lipidech jedlého hmyzu je lepší než v lipidech konvenčních potravin (například kuřecí, vepřové a hovězí maso) (Ghosh et al. 2017).

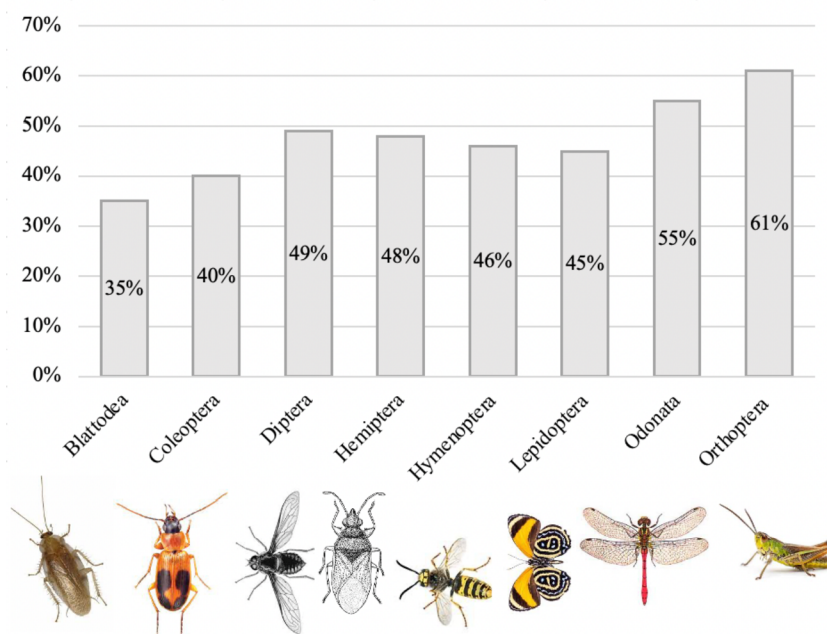
Samci většiny druhů mají menší zásoby tuku než samice a také se zdá, že komerčně chovaný hmyz má vyšší obsah tuku než hmyz, který byl sesbíráán ve volné přírodě. To může být způsobeno sníženým výdejem energie v zajetí anebo také snadným přístupem ke stravě s vysokým obsahem energie (Finke, 2013). Obecně platí, že volně žijící hmyz obsahuje relativně vysoké množství linolové kyseliny a linolenové kyseliny. Hmyz, který je komerčně chovaný obsahuje také vysoké hladiny linolové kyseliny, ale mnohem nižší hladiny linolenové kyseliny. Stejně jako obratlovci si většina hmyzu dokáže syntetizovat SFA a MUFA. Tuto schopnost mají konkrétně například šváb americký a cvrček domácí (Oonincx & Finke, 2021).

### 3.6.2 Bílkoviny

Zvyšuje se zájem o alternativní zdroje bílkovin pro stravování rostoucí světové populace. Jak už bylo řečeno, jedlý hmyz představuje jeden z potenciálních zdrojů, který lze využít. Bílkoviny se skládají z více než 20 aminokyselin, ale osm z nich nemůže být v těle syntetizováno a je potřeba je přijímat z potravy, aby byly splněny nutriční požadavky



(Zhou et al. 2022). Obsah bílkovin hmyzu se pohybuje mezi 25 a 75 % v sušině (Oonincx & Finke, 2021). Množství bílkovin hmyzu je tedy poměrně vysoké, ale existují velké rozdíly napříč různými druhy, tyto nálezy uvádí Liceaga (2021) na obrázku 6. Druhově mají *Orthoptera* (rovnokřídlí), kam patří například cvrčci, sarančata a kobylky obecně vyšší obsah bílkovin (Zhou et al. 2022).

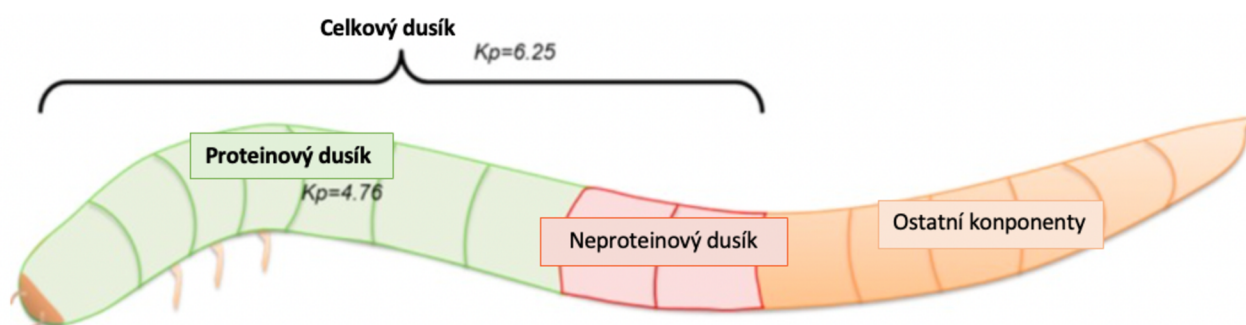


Obrázek 6. Obsah bílkovin (v sušině) pro osm nejběžnějších řádů jedlého hmyzu (%) (Liceaga, 2021).

Udomsil et al. (2019) provedli studii, kde srovnávají obsah bílkovin ve vzorcích *A. domesticus* a *G. bimaculatus*. Všechny esenciální aminokyseliny (EAA) byly přítomny v obou vzorcích, obsah EAA byl dle výsledků srovnatelný s obsahem EAA ve vejcích, drůbežím, vepřovém a hovězím mase, které jsou považovány za hlavní zdroje bílkovin v lidské stravě. Vysoký obsah lysinu a threoninu, který se vyskytuje v obou živočiších, by mohl pomoci doplnit stravu na bázi obilovin, která je obecně velice chudá na obsah těchto dvou aminokyselin. Nejhojnější aminokyselinou byly glutamin a kyselina glutamová, a to jak u *A. domesticus* tak u *G. bimaculatus*. Silná chuť umami jedlého hmyzu může tedy pocházet z bohaté kyseliny glutamové. Další aminokyselinou, která byla u obou cvrčků nalezena ve vysokém množství byl arginin, který je u lidí považován za esenciální aminokyselinu. Dále bylo zjištěno, že profily aminokyselin obou cvrčků mají nízké množství methioninu, tryptofanu a cysteinu. U většiny jedlého hmyzu bylo hlášeno nízké množství lysinu a tryptofanu. Nízké nebo limitující aminokyseliny se však liší podle druhů hmyzu a jejich stravy (Ghosh et al. 2017). Výsledky Udomsil et al. (2019) ukázaly, že jak *A. domesticus*, tak *G. bimaculatus* by mohly být použity jako aminokyselinové doplňky, které poskytují uspokojivé množství esenciálních aminokyselin pro lidské zdraví.

Obsah bílkovin se obvykle vypočítává z celkového dusíku pomocí konverzního faktoru (Kp) 6,25. Tento faktor nadhodnocuje obsah bílkovin v důsledku přítomnosti neproteinového

dusíku u hmyzu, viz obrázek 7. Součástí neproteinového dusíku u hmyzu jsou například chitin, nukleové kyseliny, fosfolipidy a amoniak (Yi et al. 2013). Janssen (2017) ve své studii navrhuje použít hodnoty konverzního faktoru pro stanovení obsahu bílkovin u hmyzu, abychom se vyhnuli nadhodnocení obsahu bílkovin. Alternativní Kp 4,76 pro hmyz byl navržen na základě údajů o aminokyselinách v larvách potměnků moučných (*Tenebrio molitor*), potměnků stájových (*Alphitobius diaperinus*) a mouchy bráněnky (*Hermetia illucens*). Tato nová hodnota Kp poskytuje přesnější odhad obsahu bílkovin tím, že bere v úvahu přítomnost neproteinového dusíku. To vede k více než 20% nižším hodnotám obsahu bílkovin ve srovnání s hodnotami, které vycházejí z Kp 6,25 (Janssen et al. 2017).



Obrázek 7. Rozdíl mezi konverzními faktory Kp 6,25 a 4,76 (Janssen et al. 2017).

### 3.6.3 Sacharidy

Sacharidy v hmyzu se vyskytují ve dvou formách, jako chitin a jako glykogen. Chitin je polymer N-acetyl-D-glukosaminu, který je primární složkou exoskeletu, zatímco glykogen je zdrojem energie uložené v buňkách a svalových tkáních (Kouřimská & Adámková, 2016). Obsah sacharidů se pohybuje mezi 1 %–7 %, tyto rozdíly jsou však pravděpodobně výsledkem toho, že potrava zůstává v gastrointestinálním traktu hmyzu (Oonincx & Finke, 2021).

Mezi studiemi se obsah sacharidů uvádí buď jako celkové sacharidy (tj. včetně vlákniny) nebo jako stravitelné sacharidy (tj. bez vlákniny). Ve většině případů nebyl obsah sacharidů stanoven analyticky, ale byl vypočítán s ohledem na součet ostatních nutričních parametrů (Ververis et al. 2022).

### 3.6.4 Vlákna

Bylo zjištěno, že hmyz obsahuje značné množství vlákniny. Nejběžnější formou je chitin, který se nachází v exoskeletu a tvoří přibližně 10 % v sušině, to však závisí na druhu hmyzu a vývojovém stadiu. Jedlý hmyz, zejména ten s tvrdým exoskeletem, je tedy vhodným zdrojem vlákniny, čistý chitin totiž obsahuje přibližně až 90 % vlákniny (Kinyuru et al. 2015). Chitin a jeho deriváty mají vynikající antioxidační, antimikrobiální i protinádorové účinky, chitin je také nízkokalorický. Dále je zajímavou složkou pro potravinářský a farmaceutický průmysl (Govorushko, 2019). Jak chitin, tak chitosan (jeho deacylovaná forma) mohou mít

příznivé účinky na kardiovaskulární systém, tlusté střevo, imunitu, snížení cholesterolu a hojení ran (Lange et al. 2021).

Ververis et al. (2022) stanovovali vlákninu u nesusušených cvrčků převážně pomocí enzymaticko-gravimetrických metod. Odstranění chitinu z hmyzu před konzumací by mohlo zlepšit kvalitu a biologickou dostupnost bílkovin ve stravě, například Ordoñez-Araque et al. (2021) zjistili, že stravitelnost bílkovin u včel je 72 %, když obsahovaly chitin, a 94 % bez něho.

### 3.6.5 Makronutrienty

Vitaminy a minerální látky se běžně vyskytují u hmyzu, ale vitaminy, jsou nezbytné v metabolických procesech lidí a zvířat. Jejich nedostatek může mít za následek nežádoucí zdravotní účinky, jako jsou zpomalení růstu, anémie, zánětlivé onemocnění střev a další onemocnění spojená s nedostatkem mikroživin (Kinyuru et al. 2015). Složení minerálních látek a vitaminů se liší podle druhu, řádu a také závisí na dodávaném krmivu (Hawkey et al. 2021).

#### 3.6.5.1 Minerální látky

Obecně platí, že hmyz obsahuje dostatečné množství minerálních látek, aby splnil dietní požadavky pro většinu živočišných druhů. Hmyz může poskytnout významné množství hořčíku, manganu, fosforu a selenu se znatelně vysokými hladinami železa a zinku (Hawkey et al. 2021; Oonincx & Dierenfeld, 2011). Minerální látky se dělí na makroelementy (vápník, fosfor, hořčík, sodík, draslík a chlorid) a mikroelementy nebo také stopové prvky (železo, zinek, měď, mangan, jod a selen). Tato klasifikace je založena na množství potřebném ke splnění dietních požadavků (Oonincx & Finke, 2021).

Mnoho hmyzu je bohatým zdrojem železa a obvykle má stejný nebo větší obsah železa ve srovnání s hovězím masem. Světová zdravotnická organizace (WHO) uvádí, nedostatek železa jako jednu z nejrozšířenějších poruch výživy na světě (Kinyuru et al. 2015). Hmyz obecně obsahuje nízké hladiny vápníku. Hladiny vápníku jsou obvykle nižší než 0,3 % v sušině (Oonincx & Finke, 2021). Udasmil et al. (2019) ve výsledcích své studie ukazují, že nejvyšší obsah minerálních látek spadal na fosfor, ten byl následovaný draslíkem, vápníkem a sodíkem. Fosfor je nezbytný pro syntézu ATP a nukleových kyselin (RNA a DNA) a produkci bílkovin, které jsou obzvláště bohaté na fosfor. Vápník, fosfor a hořčík jsou důležitými složkami kostí. Údaje získané z této studie byly v souladu s údaji od jiných druhů hmyzu, tedy že obsahovaly více železa, zinku a vápníku, které jsou nezbytné pro lidské zdraví, než konvenční potraviny (jako jsou hovězí, vepřové a kuřecí maso) (Ghosh et al. 2017). Složení minerálních látek obou studií ukázalo, že cvrčci mají potenciál poskytovat dobré zdroje minerálních látek.

#### 3.6.5.2 Vitaminy

Většina jedlého hmyzu je vhodným zdrojem různých druhů vitaminů nezbytných pro lidský organismus (Kinyuru et al. 2015). Dosud byly u hmyzu nalezeny vitamín A, vitamín D<sub>2</sub>, vitamín D<sub>3</sub>, vitamín C, vitamín E, vitamín K, thiamin, riboflavin, pantotenová kyselina, niacin, pyridoxin, listová kyselina a vitamín B<sub>12</sub> (Zhou et al. 2022). Navzdory tomu není každý hmyz bohatý na všechny druhy vitaminů a jejich obsah úzce souvisí s druhem, prostředím, zdrojem

potravy a vývojovým stádiem. Konkrétně cvrček domácí je považován za dobrý zdroj vitamínů skupiny B, jako jsou thiamin, riboflavin a listová kyselina (Zhou et al. 2022).

Kobalamin neboli vitamín B<sub>12</sub> je syntetizován určitými bakteriemi a řasami a hromadí se v mase, mléce a další potravě živočišného původu jako jediný přirozený zdroj pro lidskou výživu. Tento vitamín hraje klíčovou roli ve fungování mozku, nervového systému a při tvorbě červených krvinek (Roos & van Huis, 2017). Roos & van Huis (2017) analyzovali několik druhů hmyzu a konkrétně u cvrčka domácího se obsah vitamínu B<sub>12</sub> pohyboval okolo 8 mikrogramů na 100 g čerstvé hmotnosti. Doporučený denní příjem je 2,4 mikrogramů na den, což ukazuje právě zejména cvrčky jako nadějný zdroj vitamínu B<sub>12</sub>.

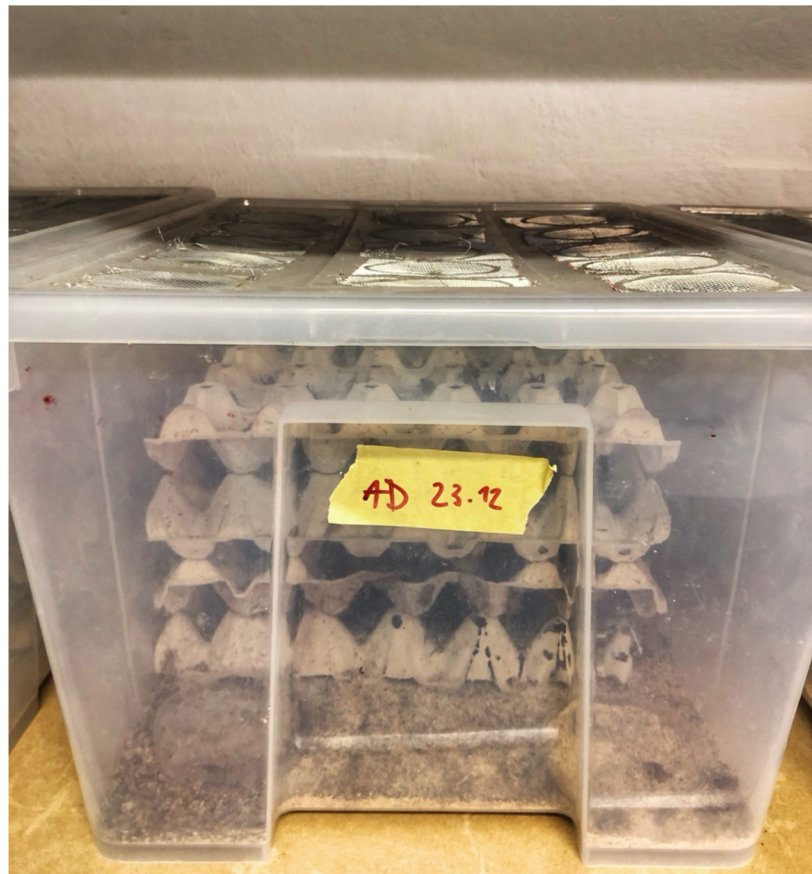
## 4 Metodika

### 4.1 Analyzované vzorky

Pro analýzu byl vybrán druh *Acheta domestica*.

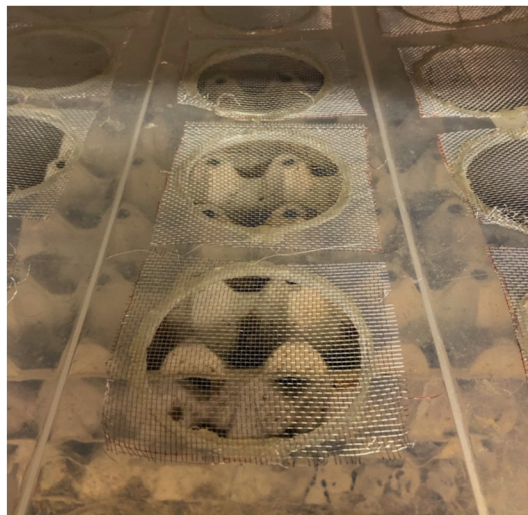
### 4.2 Chov

Cvrčky domácí jsme chovali ve třech biologických opakováních (A, B a C) v inktáriu České zemědělské univerzity. Chov probíhal při teplotě  $27\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ . Cvrčci byli chováni v boxech a ty byly pravidelně přesouvány, aby byly nejpodobnější podmínky ve všech třech opakováních. V boxech cvrčci pobývali v platech od vajec. Ve vršku boxů byly vytvořené díry, který byly zadělány sítkou. To kvůli přístupu vzduchu a nemožnosti útěku.



Obrázek 8. Box se cvrčky, inktárium ČZU (foto autorka).





Obrázek 9. Detail chovného boxu, insektárium ČZU (foto autorka).

### 4.3 Příprava vzorku

Před usmrcením byli cvrčci přesunuti do krabice bez plat a bez krmiva, zde se nechali vylačnit po dobu asi 24 hodin a poté se nechali zmrazit.

Pro analýzu byli cvrčci *Acheta domestica* usmrceni vložением do mrazáku při teplotě  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  a po 5 dnech došlo k lyofilizaci (ScanVan, Dánsko).

Poté byly vzorky rozemlety pomocí laboratorního mlýnku (IKA Multidrive basic, Německo). Rozemleté vzorky byly důkladně promíchány, čímž bylo dosaženo maximální homogenity vzorků. Takto rozemleté a zhomogenizované vzorky byly skladovány v mrazáku při teplotě  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  do doby nadcházející analýzy.

### 4.4 Stanovení sušiny

Sušina byla stanovena gravimetricky po sušení do konstantní hmotnosti.

#### 4.4.1 Přístroje a pomůcky

- Porcelánové kelímky
- Exsikátor
- Lžička
- Kleště
- Sušárna (Mammert UFB 500, Česká republika)
- Analytické váhy (AE 200, Metler Toledo, Česká republika)

#### 4.4.2 Postup

Nejprve byly porcelánové kelímky vysušeny v sušárně při 103 °C za atmosférického tlaku a nechaly se vychladit v exsikátoru. Poté byly kelímky zváženy na analytických vahách a jejich hmotnost byla zaznamenána. Dále bylo do kelímků naváženo 3–5 g vzorku s jejich hmotnost byla také zaznamenána. Následně byly kelímky umístěny do sušárny a sušily se při 103 °C přes noc. Po vyndání se sušárny byly kelímky přemístěny do exsikátoru, kde byly ponechány na vychladnutí. Poté byly kelímky znovu zváženy a hmotnost zaznamenána.

$$[(A-C) / (B-C)] / 100 \text{ [g/100g]}$$

A= hmotnost kelímku se vzorkem před vysušením [g]

B= hmotnost kelímku se vzorkem po vysušení [g]

C= hmotnost prázdného kelímku [g]

#### 4.5 Stanovení popelovin

Obsah popelovin je ukazatelem celkového množství minerálních látek přítomných v potravíně. Minerální látky jsou anorganické složky. Stanovení popelovin bylo provedeno dle normy ISO 749:1997.

##### 4.5.1 Přístroje a pomůcky

- Porcelánové kelímky
- Exsikátor
- Kleště
- Analytické váhy (AE 200, Metler Toledo, Česká republika)
- Muflová pec (LAC, Ht Industry, Česká republika)

##### 4.5.2 Postup

Stanovení popelovin ve vzorcích bylo navázáno na stanovení sušiny. Porcelánové kelímky s vysušenými vzorky byly přesunuty do muflové pece a žihány při teplotě 550 °C přes noc. Následně po dokonalém spálení byly vzorky umístěny do exsikátoru pro vychladnutí. Poté byly kelímky zváženy s přesností na čtyři desetinná místa a hmotnost byla zaznamenána.

$$[(C-B) / (A-B)] * S \text{ [g/100 g]}$$

A= hmotnost kelímku se vzorkem před spálením [g]

B= hmotnost prázdného kelímku [g]

C= hmotnost misky se vzorkem po spálení [g]

S= obsah sušiny vzorku [g/100 g]

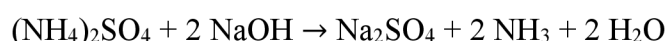
#### 4.6 Stanovení bílkovin

Obsah bílkovin ve vzorku byl stanoven Kjeldahlovou metodou podle normy ISO 1871:2009. Tato norma poskytuje obecné pokyny pro stanovení dusíku a používá se u potravin

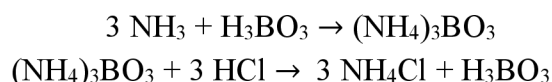
a krmiv, které obsahují dusíkaté sloučeniny. Pro stanovení obsahu bílkovin se k přepočtu naměřené koncentrace dusíku na koncentraci bílkovin používá přepočítávací faktor (Kp) 6,25, což odpovídá 0,16 g dusíku na 1 g bílkoviny.

#### 4.6.1 Princip stanovení

Analyzovaný vzorek se rozkládá zahříváním v přítomnosti kyseliny sírové (oxidační činidlo, které rozkládá potravinu), peroxidu vodíku (30%) a katalyzátorů, jako jsou měď, selen, titan nebo rtuť (pro urychlení reakce). V této fázi se přítomný dusík přeměňuje mineralizací na amoniak, CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O. Plynný amoniak ve formě amonného iontu (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) se naváže na síranový ion (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>), čímž vzniká roztok (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Roztok se poté alkalizuje přidáním hydroxidu sodného, který přemění síran amonný na plynný amoniak:



Vzniklý plynný amoniak se jímá do předlohy s roztokem kyseliny borité. Vzniklý boritan amonný se titruje kyselinou sírovou nebo chlorovodíkovou za použití vhodného indikátoru ke stanovení koncového bodu reakce.



Koncentrace vodíkových iontů (v molech) potřebná k dosažení koncového bodu je ekvivalentní koncentraci dusíku, který byl v původním vzorku.

#### 4.6.2 Přístroje a pomůcky

- Destilovaná voda
- Směsné katalyzační tablety pro mineralizaci (KJELTABS S/3,5; 3,5 g K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 0,0035 g Se) (Thompson & Capper, Velká Británie)
- Běžné laboratorní nádobí
- Mineralizační tuby
- Topné hnízdo na mineralizaci
- Analytické váhy (AE, Metler Toledo, Česká republika)
- Kjeltec FOSS 2400 (Foss, Dánsko)

#### 4.6.3 Chemikálie

- Kyselina sírová 96% (Lach-Ner s.r.o., Česká republika)
- Peroxid vodíku 30% p.a. (Lach-Ner s.r.o., Česká republika)
- Hydroxid sodný (Lach-Ner s.r.o., Česká republika)
- Kyselina boritá min. 99,5% (Lach-Ner s.r.o., Česká republika)
- Bromkresolová zeleň (Fisher Scientific s.r.o., Česká republika)
- Methylčerveň (Lach-Ner s.r.o., Česká republika)
- Kyselina chlorovodíková 0,1M (Lach-Ner s.r.o., Česká republika)
- Denaturovaný ethanol



#### 4.6.4 Postup

Nejprve byl vzorek mineralizován. Do patron bylo naváženo 0,2 g vzorku. Dále byla do každé patrony vložena směsná tableta KJELTAB a bylo přidáno 10 ml 96% kyseliny sírové. Poté byl vzorek lehce protřepán, aby byla tableta ponořena do kyseliny. Patrony byly přeneseny do digestoře, kde bylo přidáno 10 ml 35% roztoku peroxidu vodíku a byly umístěny na topné hnízdo, kde se vzorek zahříval při 440 °C po dobu 45 minut.

Po mineralizaci bylo do každé vychladlé patrony přidáno 10 ml vody a po protřepání se obsah patron zbarvil modře. Dále byly patrony vloženy do přístroje Kjeltec, který pro analýzu potřebuje 75% hydroxid sodný a 5% kyselinu boritou. Z přístroje bylo přibližně po pěti minutách odečteno množství dusíkatých látek (procentuální zastoupení).

#### 4.7 Stanovení tuků

Obsah tuku byl stanoven pomocí Soxhletovy extrakce.

##### 4.7.1 Princip stanovení

Metoda dle Soxhleta spočívá v extrakci vzorku petroletherem v Soxhletově extraktoru po dobu 4–6 hodin. Extrakce je separační proces, při kterém jsou v kontaktu dvě vzájemně nemísitelné fáze a analyty se rozdělují mezi ně.

Obsah tuků u vzorků se poté vypočítá jako rozdíl v hmotnosti baňky s obsahem tuků po extrakci a hmotností baňky před extrakcí.

##### 4.7.2 Přístroje a pomůcky

- Papírové patrony
- Kovové kroužky na patrony
- Extrakční nádoba
- Vata
- Exikátor
- Analytická váhy (AE, Metler Toledo, Česká republika)
- Extraktor (Behr E4, Německo)
- Běžné laboratorní nádobí

##### 4.7.3 Chemikálie

- Petrolether (Lach-Ner s.r.o., Česká republika)

##### 4.7.4 Postup

Do každé extrakční patrony bylo naváženo 5 g vzorku s přesností na čtyři desetinná místa. Patrona byla utěsněna vatou a napojena na extraktor. Během extrakce byla teplota plotýnky nastavena na 65–70 °C, což je teplota varu petroletheru.

Jako extrakční činidlo byl tedy použit petrolether. Na každou kádinku, ve které byla vložena patrona bylo nalito 70 ml petroletheru. Po 20ti minutách se patrona zvedla z kádinky s petroletherem a začalo odsávání z patrony. Poté, co stoj dodělal extrakci, vzorek se nechal

2– 3 hodiny vysušit abych se zbavil veškerého petroletheru. Vysušený konečný produkt byl zvážen na analytických váhách.

#### **4.8 Statistická analýza**

Pokud byl k dispozici dostatek vzorku, byla pro každé biologické opakování provedena tři paralelní měření. Hodnoty získané ze stanovení nutričních látek jsou vyjádřeny jako aritmetický průměr  $\pm$  směrodatná odchylka. K výpočtům byl použit program Excel (Microsoft Corporation, USA).

V programu Statistica 12 (StatSoft CR s.r.o.), byl použit test jednofaktorová ANOVA.

## 5 Výsledky

Ve vzorcích cvrčka domácího (*Acheta domestica*) byl stanoven celkový obsah sušiny, popelovin, tuku a bílkovin. Výsledky z jednotlivých analýz byly zaznamenány a následně vloženy do tabulek.

V tabulce číslo 4 jsou uvedeny hodnoty měření sušiny, popelovin, tuku a bílkovin ve třech biologických opakování (označeny jako Acheta A, Acheta B a Acheta C). U bílkovin byly provedeny tři analytická opakování z každého vzorku, pro ostatní analýzy pak pro nedostatečné množství vzorku pouze dvě analytická opakování. Hodnoty jsou uvedeny v lyofilizovaném vzorku v procentech. V grafech 1, 2 a 3 jsou tyto hodnoty znázorněny graficky. V tabulce číslo 5 jsou poté uvedeny průměrné hodnoty se směrodatnými odchylkami pro jednotlivé biologické opakování. Naše hodnoty směrodatné odchylky jsou poměrně nízké, tudíž přesnost analýz byla uspokojivá. V tabulce číslo 6 jsou poté znázorněny nutriční hodnoty přepočtené na 100 % sušinu. Vzhledem k vysokému podílu sušinu ve vzorku se hodnoty téměř příliš neliší.

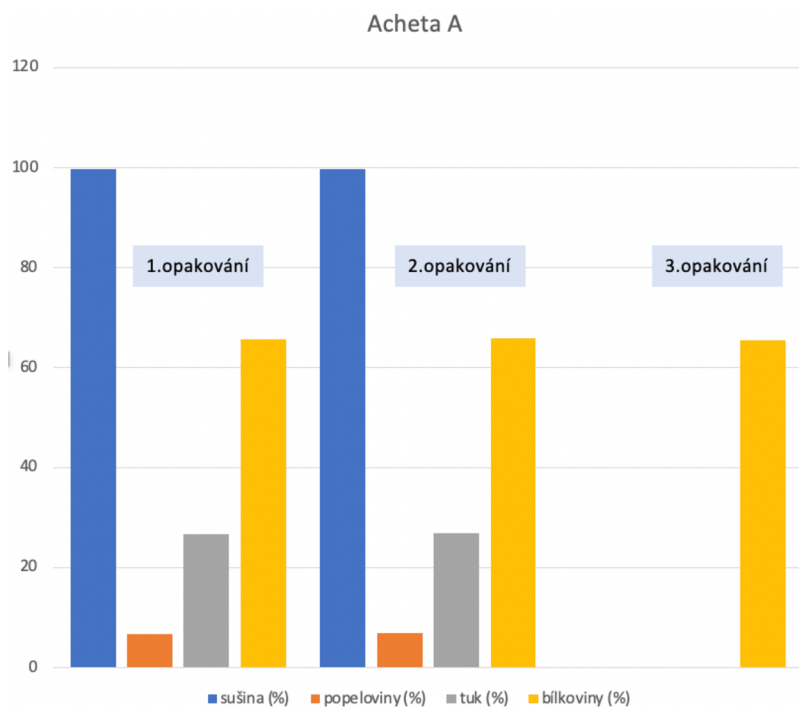
Tabulka 4. Nutriční hodnoty *Acheta domestica* v lyofilizovaném vzorku.

	sušina (%)	popeloviny (%)	tuk (%)	bílkoviny (%)
Acheta A	99,69	6,71	26,77	65,75
	99,73	7,01	26,91	65,82
	x	x	x	65,54
Acheta B	99,62	6,67	25,86	67,46
	99,56	6,19	26,81	67,27
	x	x	x	67,81
Acheta C	99,20	6,35	26,26	68,32
	99,47	6,64	26,25	68,42
	x	x	x	68,15

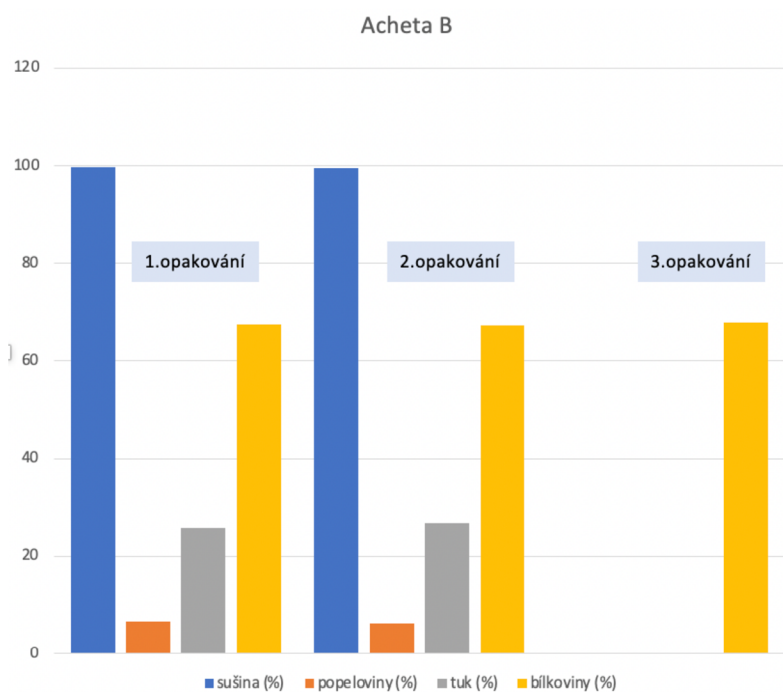
x- nedostatečné množství vzorku pro analýzu

Tabulka 5. Průměrné hodnoty (z lyofilizovaném vzorku) z každého měření pro jednotlivou živinu se směrodatnou odchylkou (SD).

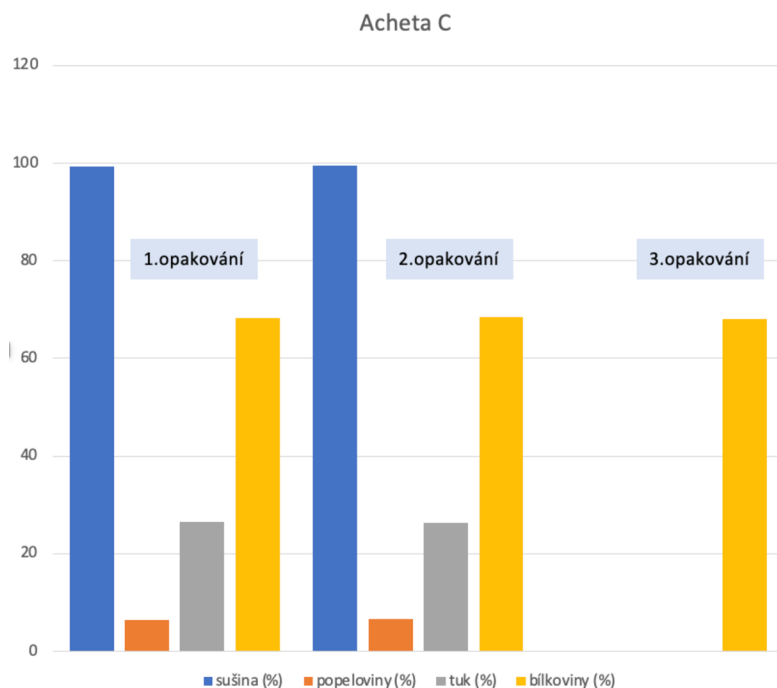
	sušina (%)		popeloviny (%)		tuk (%)		bílkoviny (%)	
	průměr	SD	průměr	SD	průměr	SD	průměr	SD
Acheta A	99,71	0,03	6,88	0,21	26,92	0,09	65,98	0,03
Acheta B	99,59	0,04	6,45	0,34	26,45	0,69	67,65	0,11
Acheta C	99,34	0,19	6,54	0,19	26,43	0,06	68,83	0,06



Graf 1. Grafické znázornění nutričních hodnot ve vzorku A (první chov) ve třech analytických opakování.



Graf 2. Grafické znázornění nutričních hodnot ve vzorku B (druhý chov) ve třech analytických opakování.



Graf 3. Grafické znázornění nutričních hodnot ve vzorku C (třetí chov) ve třech analytických opakování.

Tabulka 6. Nutriční hodnoty *Acheta domesticus* přepočtené na 100% sušinu.

	popeloviny (%)	tuk (%)	bílkoviny (%)
Acheta A	6,73	26,85	65,94
	7,03	26,99	66,01
	x	x	65,73
Acheta B	6,70	25,97	67,74
	6,22	26,92	67,55
	x	x	68,09
Acheta C	6,39	26,44	68,78
	6,68	26,43	68,88
	x	x	68,61

x- nedostatečné množství vzorku pro analýzu

Nutriční hodnoty byly přepočteny na čerstvou hmotu (tabulka 8) z hodnot čerstvé hmoty a její sušiny (tabulka 7). Ztráty sušení z čerstvé hmoty činili u vzorku A 292,85 g/100 g, u vzorku B 946,6 g/100 g a u vzorku C 2753,2 g/100 g.

Tabulka 7. Hodnoty čerstvé hmoty (FM), sušiny (DM) a procentuální sušiny.

	FM (g/100 g)	DM (g/100 g)	DM (%)
Acheta A	425,00	132,15	31,05
Acheta B	1372,00	425,40	31,00
Acheta C	4000,00	1246,80	31,17

Tabulka 8. Nutriční hodnoty přepočteny na čerstvou hmotu.

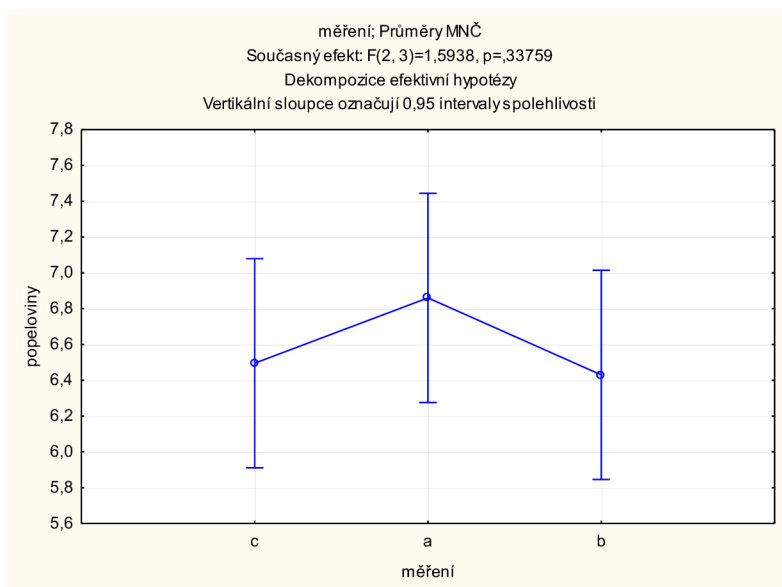
	popeloviny (%)	tuk (%)	bílkoviny (%)
Acheta A	2,09	8,34	20,47
	2,21	8,38	20,50
	x	x	20,41
Acheta B	2,08	8,05	20,99
	1,92	8,35	20,84
	x	x	21,11
Acheta C	1,99	8,24	21,44
	2,08	8,24	21,47
	x	x	21,39

### 5.1.1 Statistická analýza

Pro měření v programu Statistica 12, byl použit pro každou nutriční hodnotu test jednofaktorová ANOVA, statisticky se vyhodnocovali hodnoty v sušině.

#### 5.1.1.1 Popeloviny

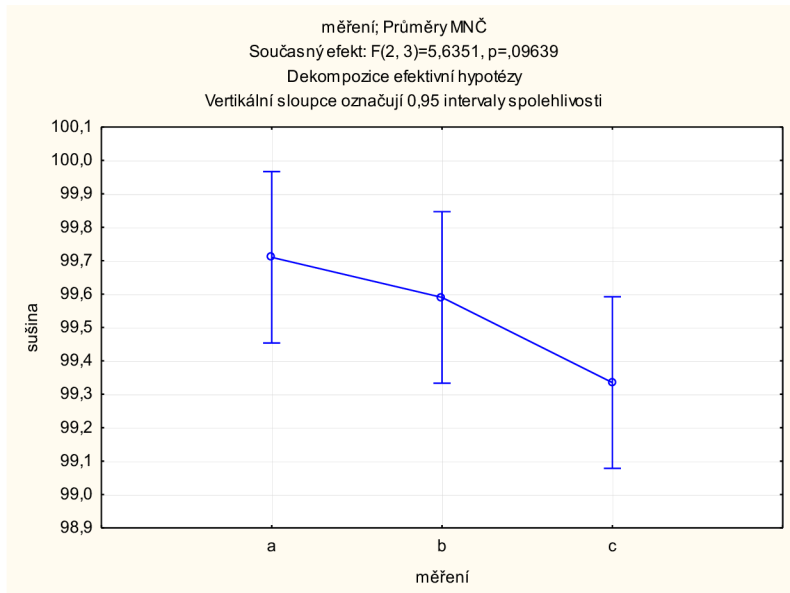
Na základě statistického hodnocení obsahu popelovin mezi jednotlivými biologickými opakování nebyl nalezen statisticky průkazný rozdíl na hladině významnosti (0,05). Pro toto hodnocení byl použit jednofaktorový test ANOVA. V grafu číslo 4 je znázorněn grafický výstup ANOVY.



Graf 4. Grafický výstup ANOVY

### 5.1.1.2 Sušina

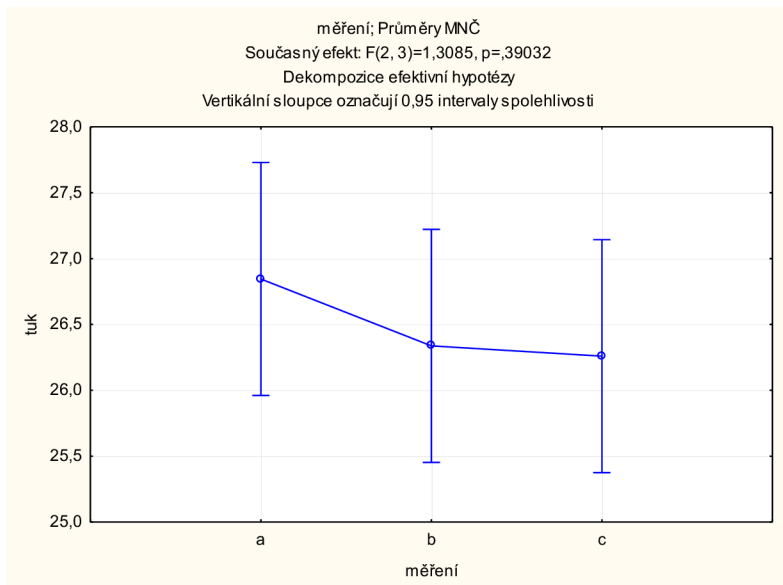
Pro statistické hodnocení sušiny byl použit test jednofaktorová ANOVA, kdy hodnota  $p$  je větší než hladina významnosti (0,05). Tudiž neexistují statisticky významné rozdíly v obsahu sušiny u tří biologických opakování měření vzorků cvrčka domácího. V grafu číslo 5 je znázorněn grafický výstup ANOVY.



Graf 5. Grafický výstup ANOVY

### 5.1.1.3 Tuk

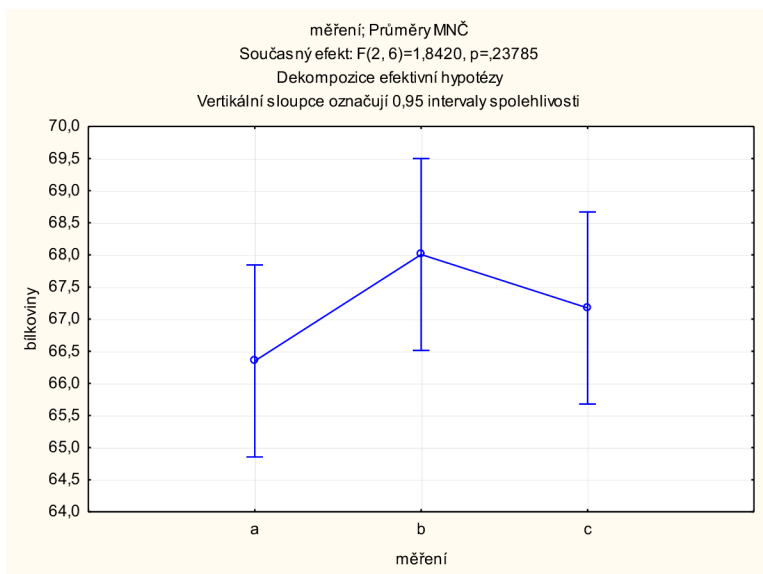
Pro statistické hodnocení tuku byl použit test jednofaktorová ANOVA, kdy hodnota  $p$  je vyšší než hladina významnosti (0,05). Tudiž neexistují statisticky významné rozdíly v obsahu tuku u tří biologických opakování měření vzorků cvrčka domácího. V grafu číslo 6 je znázorněn grafický výstup ANOVY.



Graf 6. Grafický výstup ANOVY

#### 5.1.1.4 Bílkoviny

Pro statistické hodnocení bílkovin byl použit test jednofaktorová ANOVA, kdy hodnota  $p$  je vyšší než hladina významnosti (0,05). Tudiž neexistují statisticky významné rozdíly v obsahu bílkovin u tří biologických opakování měření vzorků cvrčka domácího. V grafu číslo 6 je znázorněn grafický výstup ANOVY.



Graf 7. Grafický výstup ANOVY



## 6 Diskuze

V našem měření jsme prováděli tři biologická opakování, která se shodovala. Ve většině případech se s autory studií shodujeme, a to především v hodnotě obsahu bílkovin a sušiny.

Udomisil et al. (2019) prováděli studii, kde stanovovali nutriční hodnoty cvrčka domácího a cvrčka polního zakoupené na farmě v Thajsku. Zakoupené zmražené vzorky vysušili a před analýzou rozemleli na prášek a skladovali při 4 °C a výsledkem 10–23 % v sušině, obsah bílkovin činil 71,7 %. Oba výsledky se blíží i našim výsledkům. Oonincx et al. (2015) prováděli stanovení nutričních hodnot 4 druhů hmyzu. Larvy cvrčka domácího byly odebrány z kolonií udržovaných v laboratoři ve Wageningen University. Jako složky krmiva byly vybrány vedlejší produkty získané při výrobě potravin dostupné v Nizozemsku a s různým obsahem bílkovin a tuku. Jednalo se o řepnou melasu, slupky brambor, mláto a pивní kvasnice. Po sklizni byla zvířata usmrcena zmražením a poté byla všechna zvířata sušena při 70 °C do konstantní hmotnosti a následně byly rozemlety ve vsádkovém mlýnku a skladována při -20 °C. Ve výsledcích se naše výsledky (v sušině) lišily o jednotky procent, protein 63 %, tuk 21,15 %, sušina 89,9 %. Další studií na stanovení nutričních hodnot cvrčka domácího se zabývali Meyer-Rochow et al. (2021), kteří vzorky cvrčků zamrazili při teplotě -50 °C po dobu 96 hodin, další šarži produktů sušili v sušárně při 60 °C po dobu 24 hodin. V obou metodách nebyly přítomny žádné významné rozdíly, co se týče obsahu proteinu a tuku ve vzorku. Jejich výsledné hodnoty (v sušině) se též shodovaly s našimi, obsah proteinu činil 62,6 %, tuk 22,6 %, sušina 99,8 % a popeloviny 5,8 %. Bbosa et al. (2019) cvrčka domácího chovali ve smíšeném chovu obsahujících banánové slupky, maniokové slupky, maniokové listy, sladké bramborové slupky a sladké bramborové listy. Sklizeni byli jako dospělí ve třech měsících. Sušina byla stanovena gravimetricky, obsah proteinu Kjeldhalovou metodou, obsah tuku dle Soxhleta a obsah popeloviny zpopelněním v peci při 550 stupních po dobu 2 hodin. Jejich výsledky (v sušině) byly podobné, bílkoviny 62,57 %, tuk 12,15 %, popeloviny 4,97 %. Nižší hodnota obsahu tuku může být zapříčiněna jinou krmnou dávkou. Hawkey et al. (2020) prováděli studii kdy porovnávali nutriční hodnoty jednotlivých druhů jedlého hmyzu a jejich hodnoty u cvrčka domácího se s našimi též shodují, stanovili 59–72 % bílkovin a 10–23 % tuku, hodnoty jsou uvedeny v sušině.

Payne et al. (2016) srovnávali obsah bílkovin a tuků cvrčka domácího s ostatními druhy jedlého hmyzu a hospodářských zvířat. Dospělec cvrčka obsahoval (v živé hmotě) v průměru 20,1 g/100 g, bílkovin a 5,06 g/100 g tuku, moučný červ obsahoval v průměru 19,4 g/100 g bílkovin a 12,3 g/100 g tuku. Hovězí maso obsahovalo 20,6 g/100 g bílkovin a 9,3 g/100 g tuku, vepřové maso obsahovalo 20,1 g/100 g bílkovin a 12,4 g/100 g tuku, kuřecí maso obsahovalo 19,9 g/100 g bílkovin a 7,2 g/100 g tuku. Finke (2002) ve své studii též porovnával obsah bílkovin cvrčka domácího s hovězím a kuřecím masem. Kdy stanovil v živé hmotě u cvrčka 63 g bílkovin na 100 g, u hovězího 25,6 g/100 g a u kuřecího 39 g/100 g. Zajímavé nutriční složení mají také droby (části masa, které zbyly po jatečném zpracování masa jako jsou například jedlé orgány), Payne et al. (2016) stanovili (v čerstvé hmotě) u kuřecích drobů 16,8 g/100 g bílkovin a 6,8 g/100 g tuku, vepřové droby obsahovali 16,9 g/100 g bílkovin a 4,15 g/100 g tuků a u hovězích drobů stanovili u bílkovin 16,9 g/100 g a u tuků 3,45 g/100 g. Co se týče obsahu nutričních látek u hospodářských zvířat, ty se mohou lišit i u jednoho druhu, a to na základě jeho jatečné partie, například kuřecí prsa obsahují (v živé hmotě) 17,8 g/100 g

bílkovin, vepřová kýta 19,2 g/100 g a krkovička 18,1 g/100 g. Dalšími příklady na srovnání nutričních hodnot jsou například králík, který obsahuje 13 g/100 g bílkovin, losos s obsahem 19,8 g/100 g bílkovin, tuňák s 19,6 g/100 g bílkovin a vejce (cca 55 g), které obsahuje přibližně 6,7 g/100 g. Bílkoviny poskytují v potravě i rostlinné zdroje, kdy například sója obsahuje (v čerstvé hmotě) 35 g/100 g bílkovin, červená čočka 25 g/100 g, hrách 22 g/100 g a dále například dýňová semínka obsahují 32 g/100 g bílkovin.

## 7 Závěr

V práci byla provedena tři biologická opakování u měření nutričních hodnot cvrčka domácího. Tři biologická opakování byla dostatečná, protože mezi hodnotami nebyl zaznamenán statisticky významný rozdíl a test byl tedy dostatečně robustní.

Dospělci cvrčka domácího chováni v inktáriu České zemědělské univerzity v Praze obsahovali v sušině 26,6 % tuku a 67,48 % bílkovin. S těmito hodnotami se *Acheta domestica* svými nutričními hodnotami rovná živočišným a převyšuje rostlinné zdroje.

Hypotézou bylo stanoveno, že dospělci cvrčka domácího jsou nutričně srovnatelní s tradičními a rostlinnými zdroji potravin a krmiv a tato hypotéza byla potvrzena. Literární studie ukazují, že nutriční hodnoty cvrčka domácího jsou opravdu srovnatelné ne-li hodnotnější, nežli nutriční hodnoty rostlinné a živočišné potravy. Mají značně vyšší obsah bílkovin a také lepší podíl všech devíti esenciálních aminokyselin, které tvoří kompletní protein pro člověka. Živočišné bílkoviny jsou nezbytné pro lidi, kteří chtějí zajistit dobré nutriční zdraví, růst a regeneraci. Hmyz je tedy velice dobrým zdrojem bílkovin, a i malé množství bílkovin pocházející z živočišných zdrojů, včetně cvrčka domácího, již může zvýšit hodnotu kvalitní stravy.

Nutriční hodnoty jedlého hmyzu by se daly ovlivnit způsobem chovu, pohlavím, zpracováním, a především krmnou dávkou. Největší výzvou však prozatím stále zůstává přesvědčení široké veřejnosti o výhodách hmyzu jako potravy a taky přijetí jej jako potraviny. Faktem je, že hmyz by se mohl stát součástí strategie pro dosažení potravinové bezpečnosti.

## 8 Literatura

- ADÁMEK M, ADÁMKOVÁ A, MLČEK J, BORKOVCOVÁ M, BDNÁŘOVÁ M. 2018. Acceptability and sensory evaluation of energy bars and protein bars enriched with edible insect. *Potravinářstvo slovak journal of food sciences* **12**(1):431-437.
- ALNADIF, A., M. MIRGHANI, I. HUSSEIN, 2017. *Acheta domesticus* House Cricket. Unconventional Oilseeds and Oil Source. Pages 233-325
- BAKER MA, SHON JT, KIM YW. 2016. An exploration and investigation of edible insect consumption: the impact of image and description on risk perceptions and purchase intent. *Psychology & Marketing* **33**(2):92-112.
- BAWA M, SONGSERMPONG S, KAEWTAPEE C, CHANPUT W. 2020. Effect of Diet on Growth Performance, Feed Conversion, and Nutrient Content of the House Cricket. *Journal of Insect Science* **20**(2):10.
- BENZERTIHA A, KIERONCZYK B, RAWSKI M, MIKOLAJCZAK Z, URBANŚKI A, NOGOWSKI L, JOŻEFIAK D. 2020. Insect fat in animal nutrition. *Annals of Animal Science* **20**(4):1217-1240.
- BBOSA T, NDAGIRE CT, MUKISA IM, FIABOE KKM, NAKIMBUGWE D. 2019. Nutritional Characteristics of Selected Insects in Uganda for Use as Alternative Protein Sources in Food and Feed. *Journal of Insect Science* **19**(6):23;1-8.
- CADINU AL, BARRA P, TORRE F, DELOGU F, MADAU F. 2020. Insect Rering: Potential, Challanges and Circularity. *Sustainability* **12**:2-23.
- CANAVOSO EL, JOUNI ZE, KARNAS KJ, PENNINGTON JE, WELLS MA. 2001. Fat metabolism in insects. *Annual Review of Nutrition* **21**:23-46.
- DA SILVA LUCAS AJ, DE OLIVEIRA M, DA ROCHA M, PRENTICE C. 2020. Edible insects: An alternative of nutritional, funcional and bioactive compounds. *Food Chem.* **311**:1-11.
- DE OLIVEIRA LM, DA SILVA LUCAS AJ, CADAVAL CL, MELLADO MS. 2017. Bread enriched with flour from cinereous cockroach (*Nauphoeta cinerea*). *Innovate Food Science & Emerging Technologies* **44**:30-35.
- DE SMET J, LENAERTS S, BORREMANS A, SCHOLLIERS J, VAN DER BORGHT M, VAN CAMPENHOUT L. 2019. Stability assessment and laboratory scale fermentation of pastes produces on a pilot scale from mealworm (*Tenebrio molitor*). *LWT-Food Sci. Technol.* **102**:113-121.
- DOOSEY AT, MORALES-RAMOS AM, GUADULPE ROJAS M. 2016. Insects as Sustainable Food. USDA-ARS National Biological Control Laboratory. Stoneville, MS, United States.
- EFSA. 2015. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal* **13**:1-60.
- EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Foods allergens. 2021. Safety frozen and dried formulations from migratory locust as a Novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal* **19**(7):6667.
- FAO. 2013. The state of food and agliculture. Food and agriculture organization of the United Nations, Rome.

- FINKE MD. 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology* **21**(3):269-285.
- FINKE MD. 2013. Complete nutrient content of four species of feeder insects. *Zoo Biology* **32**:27-36.
- GAHUKAR R. 2018. Entomophagy in traditional healthcare practiced by indigenous communities: potential, implications and constraints. *International Journal of Basic and Applied Sciences* **7**(4):55.
- GHOSH S, LEE SM, JUNG C, MAYER-ROCHOW VB. 2017. Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *J. Asia Pac, Entomol.* **20**:686-694.
- GOVORUSHKO S. 2019. Global status of insects as food and feed source: A review. *Trends Food Sci. Technol.* **91**:436-445.
- GRABOWSKI NT, GUNTER KLEIN. 2017. Microbiology of processed edible insect products- Results of a preliminary survey. *Int. J. Food Microbiol.* **243**:103-107.
- HALLORAN A, ROOS N, EILENBERG J, CERUTTI A, BRUUN S. 2016. Life cycle assessment of edible insects for food protein: a review. *Agronomy for sustainable development* **36**:57.
- HANBOONSONG Y, JAMJANYA T, DURST PB. 2013. Six-legged livestock: edible insect farming, collecting, and marketing in Thailand. Food and agriculture organization of the United Nations, Regional office for Asia and the Pacific, Bangkok.
- HANSBOONSONG Y, DUST PB. 2014. Edible insects in Lao PDR: building on tradition to enhance food security. Food and agriculture organization of the United Nations, Regional office for Asia and the Pacific, Bangkok.
- HAWKEY KJ, LOPEZ-VISO C, BRAMELD JM, PARR T, SALTER AM. 2021. Insects: A Potential Source of Protein and Other Nutrients for Feed and Food **16**:333-354.
- HOUBRAKEN M, SPRANGHERS T, CLERCG PD, COOREMAN-ALGOED M, COUCHEMENT T, CLERCG GD, VERBEKE S. 2016. Pesticide contamination of *Tenebrio molitor* for human consumption. *Food chemistry* **201**:264-269.
- CHEN PP, WONGSIRI S, JAMYANYA T, RINDERER TE, VONGSAMANODE S, MATSUKA M, SYLVESTER HA, OLDROYD BP. 1998. Honey Bees and other Edible Insects Used as Human Food in Thailand. *Am. Entomology* **44**:24-29.
- CHESETO X, BALEBA S, TANGA CM, KELEMU S, TORTO B. 2020. Chemistry and sensory characterization of a bakery product prepared with oils from African edible insects. *Food* **9**:800.
- CHRISTENSEN DL, ORECH FO, MUNGAI MN, LARSEN T, FRIIS H, AAGAARD-HANSEN J. 2006. Entomophagy among the Luo of Kenya: A potential mineral source? *Int.J.Food Sci. Nutr* **57**:198-203.
- CHURCHWARD-VENNE TA, PINCKAERS JM, VAN LOON JJA, VAN LOON LJC. 2017. Consideration of insects as a source of dietary protein for human consumption. *Nutrition Review* **75**:1035-1045.
- JANSSON A, BERGGREN Å. 2015. Insects as Food – Something for the Future? Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- JANSSEN RH, VINCKEN JP, VAN DEN BROEK LAM, FOGLIANO V, LAKEMOND CMM. 2017. Nitrogen-to-protein Conversion Factors for Three Edible Insects: *Tenebrio*

- molitor, *Alphitobius diaperinus*, *Hermetia illucens*. *Journal of agricultural and food chemistry* **65**(11):2275-2278.
- JONGEMA Y. 2017. List of edible insects of the world, 2017. Available from: <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm> (accessed April, 2023).
- KEWUYEMI YO, KESA H, CHINMA CE, ADEBO OA. 2020. Fermented Edible Insects for Promoting Food Security in Africa. *Insects* **11**(5):283.
- KIM TK, YONG HI, KIM YB, KIM HW, CHOI YS. 2019. Edible Insects as a Protein Source: A Review of Public Perception Processing Technology, and Research Trends. *Food Science of Animal Resources* **39**:521-540.
- KINYURU JN, MOGENDI JB, RIWA CA, NDUNG'U NW. 2015. Edible insects- a novel source of essential nutrients for human diet: Learning from traditional knowledge. *Animal Frontiers* **5**:14-19.
- KLUNDER HC, WOLKERS-ROOIJACKERS J, KORPELA JM, NOUT MJR. 2012. Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food control* **26**:628-631.
- KOUŘIMSKÁ L, ADÁMKOVÁ A. 2016. Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal*. **4**:22-26.
- KRONCKE N, BOSCHEN V, WOYZICHOVSKI J, DEMTRODER S, BENNING R. 2018. Comparison of suitable drying processes for mealworms (*Tenebrio molitor*). *Innovate Food Science & Emerging Technologies* **50**:20-25.
- LABU S, SUBRAMANIAN S, CHESETO X, AKITE P, KASANGAKI P, CHEMUROT M, TANGA CM, SALIFU D, EGONYU JP. 2022. Agrochemical contaminants in six species of edible insects from Uganda and Kenya **2**:100049.
- LANFE KW, NAKAMURA Y. 2021. Edible insects as future food: chances and challenges. *J. Futur. Foods* **1**:38-46.
- LENAERTS S, VAN DER BORGHT M, CALLENS A, VAN CAMPENHOUT L. 2018. Suitability of microwave drying for mealworms (*Tenebrio molitor*) as alternative to freeze drying: Impact on nutritional quality and colour. *Food chemistry* **254**:129-136.
- LICEGA AM. 2021. Edible insects, a valuable protein source from ancient to modern times. *Advances in Food and Nutrition Research* **101**:129-152.
- LICEGA AM. 2019. Approaches for Utilizing Insect Protein for Human Consumption: Effect of Enzymatic Hydrolysis on Protein Quality and Functionality. *Annals of the Entomological Society of America* **112**:529-532
- LICEGA AM. 2021. Processing insects for use in the food and feed industry. *Current opinion in insect science* **48**:32-36.
- LICEGA AM, AGUILAR-TOALÁ JE, VALLEJO-CORDOBA B, GONZÁLEZ-CÓRDOVA AF, HERNÁNDEZ-MENDOZA A. 2021. Insects as an Alternative Protein Source. *Annual Review of Food Science and Technology* **13**:19-34.
- LICEGA AM. 2022. Chapter Four – Edible insects, a valuable protein source from ancient to modern times. *Advances in Food and Nutrition Research* **101**:129-152.
- LUNDRY ME, PARRELLA MP. 2015. Cricket Are Not a Free Lunch: Protein Capture from Scalable Organic Side-Streams via High-Density Population of *Acheta domesticus*. *PLoS One* **10**(4):1-12.

- MARCHI LD, MAINENTE F, LEONARDI M, SCHEURER S, WANGORSCH A, MAHLER V, PILOLLO R, SORIO D, ZOCCATELLI G. 2021. Allergenicity of the edible cricket *Acheta domesticus* in terms of thermal and gastrointestinal processing and IgE cross-reactivity with shrimp. *Food Chemistry* **359**(10):129878.
- MELGAR-LALANNE G, HERNÁNDEZ-ÁLVAREZ AJ, SALINAS-CASTRO A. 2019. Edible Insects Processing: Traditional and Innovative Technologies **18**:1166-1191.
- MEYER-ROCHOW VB, GAHUKAR RT, GOSH 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.
- NINO MC, REDDIVARI L, FERRUZZI MG, LICEGA AM. 2021. Targeted Phenolic Characterization and Antioxidant Bioactivity of Extracts from Edible *Acheta domesticus*. *Food* **10**:2295.
- NYANGENA DN, MUTUNGI CH, IMATHIU S, KINYURU J, AFFOIGNON H, EKESI S, NAKIMBUGWE D, FIABOE KKM. 2020. Effects of Traditional Processing Techniques on the Nutritional and Microbiological Quality of Four Edible Insect Species Used for Food and Feed in East Africa. *Foods* **9**:574.
- OONINCX DGAB, DIERENFELD ES. 2011. An Investigation into the Chemical Composition of Alternative Invertebrate Prey. *Zoo Biology* **31**:40-54.
- OONINCX DGAB, FINKE MD. 2021. Nutritional value of insects and ways to manipulate their composition. *Journal of Insects as Food and Feed* **7**:639-659.
- OONINCX DGAB, LAURENT S, VEENENBOS ME, VAN LOON JJA. 2020. Dietary enrichment of edible insects with omega 3 fatty acids. *Insect Sci.* **27**:500-509.
- OONINCX DGAB, VAN ITTERBEECK J, HEETKAMP MJ, VAN DEN BRAND H, VAN LOON JJ, VAN HUIS A. 2010. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PLoS One* **5**(12):1-7.
- OONINCX DGAB, VAN BROEKHOVEN S, VAN HUIS A, VAN LOON JJA. 2015. Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food By-Products. *PLoS One* **10**(12):1-20.
- ORDOÑEZ-ARAQUE R, EGAS-MONTEGORO E. 2021. Edible insects: A food alternative for the sustainable development of the planet. *Int. J. Gastron. Food Sci.* **23**:1-6.
- PAYNE CLR, SCARBOROUGH P, RAYNER M, NONAKA K. 2016. A systematic review of nutrient composition data available for twelve commercially available edible insects, and comparison with reference values. *Trends Food Sci. Technol.* **47**:69-77.
- PERDOMO M, CERRITOS R. 2015. Pre-Hispanic agriculture practices: Using pest insects as an alternative source of protein. *Animal Frontiers* **5**(2):31-36.
- POMA G, CUYKX M, AMATO E, CALAPRICE C, FOCANT JF, COVACI A. 2017. Evaluation of hazardous chemicals in edible insects and insect-based food intended for human consumption. *Food and Chemical Toxicology* **100**:70-79.
- RIBEIRO JC, SOUSA-PINTO B, FONSECA J, CALDAS FONSECA S, CUNHA LM. 2021. Edible insects and food safety: allergy. *Journal of Insects and Feed* **7**(5):833-847.
- ROOS N, VAN HUIS A. 2017. Consuming insects: are there health benefits? *Journal of Insects as Food and Feed* **3**:225-229.

- SINGH Y, CULLERE M, KOVITVADHI A, CHUNDANG P, DALLA ZOTTE A. 2020. Effect of different killing methods on physicochemical traits, nutritional characteristics, in vitro human digestibility, and oxidative stability during storage of the house cricket (*Acheta domestica* L.). *Innovative Food Science and Emerging Technologies* **65**(1):102444.
- SMETANA S, LEONHARDT L, KAUPPI SM, PAJIC A, HEINZ V. 2020. Insect margarine: Processing, sustainability and desing. *Journal of Cleaner production* **4**:2-11.
- SMETANA S, PALANISAMY M, MATHYS A, HEINZ V. 2016. Sustainability of insect use for feed and food: Life Cycle Assessment perspective. *J. Clean. Prod.* **137**:741-751.
- STEINFELD H, GERBER P, WASSENAAR T, CASTEL V, ROSALES M, HAAN C. 2006. *Livestocks Long Shadow: Environmental Issues and Options*. United Nations Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- STULL V, PATZ J. 2020. Research and policy priorities for edible insects. *Sustain. Sci.* **15**:633-645.
- UDOMISIL N, IMSOONTHORNNUKSA S, GOSALAWIT CH, KUTUDAT-CAIRNS M. 2019. Nutritional values and functional properties of House Cricket (*Acheta domestica*) and Field Cricket (*Gryllus bimaculatus*). *Food science and technology research* **25**:597-605.
- VAN HUIS A, ITTERBEECK JV, KLUNDER E, HALLORAN A, MUIR G, VANTOMME P. 2013. *Edible insects: future prospects for food and feed security*. Food and agriculture organization of the united nation, Rome.
- VAN HUIS A, OONINCX D. 2017. The environmental sustainability of insects as food and feed. *Agronomy for Sustainable Development* **37**:43.
- VERVERIS E, BOUÉ G, POULSEN M, MONTEIRO PIRES S, NIFOROU A, THOMSEN ST, TESSON V, FEDERIGHI M, NASKA A. 2022. A systematic review of the nutrient composition, microbiological and toxicological profile of *Acheta domestica*. *Journal of Food Composition and Analysis* **114**:14.
- YASHUNG P, MEGU K, NARAH J, CHAKRAVORTY J. 2020. Benefits and Risk of Consuming Edible Insects. *Dera Natung Government College Research Journal* **5**:35-48.
- YEN AL. 2010. Edible insects and other invertebrates in Australia: Future prospects. In *Forest insects as food: Human bite back*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- YHOUNG-AREE. 2008. Edible insects in Thailand: nutritional values and health concerns. *Forest insects as food: humans bite back*. Proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- YI L, LAKEMOND CMM, SAGIS LMC, EISNER-SCHADLER V, VAN HUIS A, BOEKEL MAJS. 2013. Extraction and characterisation of protein fraction from five insect species. *Food Chemistry* **141**(4):3341-3348.
- ZHOU Y, WANG D, ZHOU S, DUAN H, GUO J, WENJIE Y. 2022. Nutritional Composition, Health Benefits, and Application Value of Edible Insects. *Foods* **11**(24):3961.



## 9 Seznam tabulek a obrázků

Tabulka 1. Míra konverze krmiva.....	8
Tabulka 2. Přibližné nutriční hodnoty vybraného jedlého hmyzu.....	19
Tabulka 3. Srovnání obsahu bílkovin s tradičními zdroji bílkovin a cvrčkem domácím .....	19
Tabulka 4. Nutriční hodnoty <i>Acheta domesticus</i> v lyofilizovaném vzorku. ....	31
Tabulka 5. Průměrné hodnoty (z lyofilizovaném vzorku) z každého měření pro jednotlivou živinu se směrodatnou odchylkou (SD).....	31
Tabulka 6. Nutriční hodnoty <i>Acheta domesticus</i> přepočtené na 100% sušinu.....	33
Tabulka 7. Hodnoty čerstvé hmoty (FM), sušiny (DM) a procentuální sušiny.....	34
Tabulka 8. Nutriční hodnoty přepočteny na čerstvou hmotu.....	34
Obrázek 1. Nejčastější místa výskytu jedlého hmyzu .....	4
Obrázek 2 .Porovnání odhadovaných zdrojů potřebných k produkci 1 kg bílkovin z hospodářských zvířat a chovaného hmyzu.....	7
Obrázek 3. Účinnost při přeměně krmiva na živou hmotnost .....	9
Obrázek 4. Cvrček domácí ( <i>Acheta domesticus</i> ).....	15
Obrázek 5. Obsah nutričních látek v těle hmyzu .....	16
Obrázek 6. Obsah bílkovin (v sušině) pro osm nejběžnějších řádů jedlého hmyzu (%) .....	21
Obrázek 7. Rozdíl mezi konverzními faktory Kp 6,25 a 4,76 .....	22
Obrázek 8. Box se cvrčky, insektárium ČZU .....	25
Obrázek 9. Detail chovného boxu, insektárium ČZU.....	26
Graf 1. Grafické znázornění nutričních hodnot ve vzorku A (první chov) ve třech analytických opakování.....	32
Graf 2. Grafické znázornění nutričních hodnot ve vzorku B (druhý chov) ve třech analytických opakování.....	32
Graf 3. Grafické znázornění nutričních hodnot ve vzorku C (třetí chov) ve třech analytických opakování.....	33
Graf 4. Grafický výstup ANOVY.....	35
Graf 5. Grafický výstup ANOVY.....	35
Graf 6. Grafický výstup ANOVY.....	36
Graf 7. Grafický výstup ANOVY.....	36