

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Porovnání stravitelnosti bílkovin jedlého hmyzu s jinými  
bílkovinami**

**Bakalářská práce**

**Dominika Křížová**

**Výživa a potraviny**

**Vedoucí práce Ing. Petra Škvorová**

© 2022 ČZU v Praze

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Porovnání stravitelnosti bílkovin jedlého hmyzu s jinými bílkovinami" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 21.4.2022

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Petře Škvorové za cenné připomínky a také za morální podporu při zpracování této bakalářské práce.

# Porovnání stravitelnosti bílkovin jedlého hmyzu s jinými bílkovinami

## Souhrn

Přestože byl hmyz prokazatelně konzumován již australopitéky, systematický vědecký výzkum využití hmyzu jako potenciálního krmiva hospodářských zvířat a následně i pro výživu lidí byl zahájen až na konci šedesátých let minulého století. Do legislativy EU tato nová potravina vstupuje na přelomu minulého století. V současnosti je v EU schváleno celkem sedm druhů hmyzu pro krmné účely a tři druhy využitelných ve výživě člověka.

Smysluplně shrnout stravitelnost a vhodnost bílkovin pro více než 2000 existujících druhů jedlého hmyzu není v rámci této práce realizovatelné. Potenciál pro průmyslovou produkci v masovém měřítku má především potěmník moučný a moucha bráněnka, která je zatím schválena pouze pro krmné účely. Pro porovnání stravitelnosti s použitím zdánlivé (fekální) stravitelnosti byly tedy vybrány čtyři již komerčně využívané hmyzí druhy - moucha domácí (larva a kukla), potěmník moučný (larva), cvrček domácí (dospělec) a moucha bráněnka (larva a kukla). Pro následné srovnání obsahu nutričních hodnot byla předchozí čtveřice rozšířena ještě o potěmníka brazilského, bource morušového a zavíječe voskového.

Většina jedlého hmyzu obsahuje dostatek bílkovin potřebných pro lidský organismus. První limitující esenciální aminokyselina je obvykle metionin. Obsah a složení všech nutričních aspektů závisí na druhu, vývojovém stádiu, stravě nebo pohlaví hmyzu. Složení mastných kyselin hmyzího tuku je srovnatelné s tukem drůbežím nebo rybím. Hmyz takřka neobsahuje žádné sacharidy. Naproti tomu vláknina je zastoupena ve značném množství. Nejběžnějším polysacharidem v těle hmyzu je chitin. S výjimkou vápníku, který je u hmyzu obecně obsažen v menším množství, je většina ostatních minerálů zastoupena v dostatečném množství nutném pro výživu člověka i hospodářských zvířat. Hmyz je ovšem taxonomicky blízký k roztočům a korýšům, a proto se mohou u některých lidí vyskytovat alergické reakce. Může také akumulovat těžké kovy a pesticidy.

Stravitelnost posuzovaného vzorku hmyzí bílkoviny je srovnatelná s drůbežím masem a pouze mírně nižší než stravitelnost kaseinu. Nižší stravitelnost mouchy bráněnky je způsobena hlavně sírou obsaženou v metioninu a cysteinu. Stravitelnost obecně klesá s obsahem chitinu.

Z posuzovaného vzorku obsahují vysoké procento bílkovin kukly mouchy domácí, cvrček domácí a potěmník moučný. Nejvíce tuku obsahuje zavíječ voskový, následován potěmníkem brazilským. Larvy mají obecně vyšší obsah tuku než dospělci. Na vlákninu jsou z vybraných druhů nejbohatší kukly mouchy domácí.

Hmyz představuje vhodný alternativní zdroj bílkovin pro výživu člověka i hospodářských zvířat. Pro vyhodnocení jeho stravitelnosti jsou však nutné další studie především ty klinické.

**Klíčová slova:** Bílkovina, entomofágie, jedlý hmyz, stravitelnost, výživa



# Comparison of edible insect proteins digestibility with other protein sources

## Summary

Although insects have already been consumed by Australopithecus, systematic scientific research of the potential use of insects as a livestock feed did not begin until the late 1960s. This novel food enters EU legislation at the turn of the last century. At present, seven insect species are approved for feeding purposes and five species used in human nutrition in the EU.

It is not feasible to meaningfully summarize the digestibility and suitability of proteins for more than 2,000 existing edible insect species. The potential for mass production on a large scale has mainly the yellow mealworm and the black soldier fly, which, however, is so far only approved for feeding purposes. To compare digestibility using apparent (fecal) digestibility, four already commercially used insect species were selected - houseflies (larva and pupa), yellow mealworm (larva), house cricket (adult) and black soldier fly (larva and pupa). For further evaluation of suitability based on a comparison of nutritional values, the previous four species were expanded for Morio worm, silkworm and wax moth.

Most edible insects contain enough protein for the human nutrition. The first limiting essential amino acid is usually methionine. The fat content and composition depends on the type, developmental stage, diet or sex of the insect. The fatty acid composition of insect fat is comparable to poultry or fish fat. Insects contain almost no carbohydrates. In contrast, fiber is present in significant amounts. The most common polysaccharide in the insect body is chitin. With the exception of calcium, which is generally present in smaller amounts in insects, most other minerals are present in sufficient quantities to feed humans and livestock. However, insects are taxonomically close to mites and crustaceans, so some people may experience allergic reactions. It can also accumulate heavy metals and pesticides.

The digestibility of the assessed insect protein sample is comparable to poultry meat and only slightly lower than the digestibility of casein. The lower digestibility of the housefly is mainly due to the sulfur contained in methionine and cystine. Digestibility generally decreases with chitin content.

From the assessed sample, houseflies pupae, house crickets and yellow mealworms contain a high percentage of proteins. The wax moth contains the most fat, followed by the Morio worm. The larvae have a higher fat content than adults. Of the selected species, the housefly pupae contain the highest amount of fiber.

Insects are a suitable alternative source of protein for human and livestock nutrition. However, further studies, especially on humans, are needed to evaluate its digestibility.

**Keywords:** Protein, entomophagy, edible insects, digestibility, nutrition

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>- 7 -</b>
<b>2 Cíle práce</b> .....	<b>- 8 -</b>
<b>3 Literární rešerše</b> .....	<b>- 9 -</b>
<b>3.1 Historie a současnost entomofágie</b> .....	<b>- 9 -</b>
3.1.1 Úvod .....	- 9 -
3.1.2 Historie entomofágie ve výživě lidí a zvířat .....	- 9 -
3.1.3 Konzumace jedlého hmyzu ve světě .....	- 10 -
3.1.4 Legislativní rámec využívání hmyzích bílkovin.....	- 11 -
3.1.4.1 Hmyz jako krmivo.....	- 11 -
3.1.4.2 Hmyz jako nová potravina .....	- 11 -
<b>3.2 Výživové hodnoty jedlého hmyzu</b> .....	<b>- 13 -</b>
3.2.1 Bílkoviny .....	- 16 -
3.2.2 Lipidy.....	- 17 -
3.2.3 Sacharidy .....	- 19 -
3.2.3.1 Vláknina.....	- 19 -
3.2.4 Minerální látky a vitamíny.....	- 19 -
<b>3.3 Porovnání stravitelnosti a vhodnosti bílkovin jedlého hmyzu</b> .....	<b>- 21 -</b>
3.3.1 Použitá metodologie .....	- 22 -
3.3.2 Porovnání stravitelnosti hmyzu.....	- 22 -
3.3.3 Porovnání vhodnosti hmyzu jako potraviny .....	- 24 -
3.3.4 Moderní metody určení kvality bílkovin .....	- 26 -
3.3.4.1 Biologická hodnota .....	- 26 -
3.3.4.2 Aminokyselinové skóre .....	- 26 -
3.3.4.3 PDCAAS.....	- 27 -
3.3.4.4 DIAAS.....	- 27 -
<b>3.4 Rizika spojená s konzumací hmyzích bílkovin</b> .....	<b>- 28 -</b>
3.4.1 Alergie .....	- 28 -
3.4.2 Toxicita.....	- 29 -
3.4.3 Patogeny .....	- 29 -
3.4.4 Antinutrienty .....	- 29 -
<b>3.5 Jedlý hmyz v praxi a jeho budoucnost</b> .....	<b>- 30 -</b>
3.5.1 Hmyz jako potravina budoucnosti.....	- 30 -
3.5.2 Produkty na trhu využívající hmyzí bílkovinu.....	- 30 -
<b>4 Závěr</b> .....	<b>- 34 -</b>
<b>5 Citovaná literatura</b> .....	<b>- 35 -</b>

# 1 Úvod

Vědci se shodují, že mezi lety 2000 a 2050 se světová poptávka po živočišných produktech více než zdvojnásobí (z 229 milionů tun na 465 milionů tun). Pokud nemá dojít ke globálním nepokojům a válkám, bude potřeba tuto poptávku uspokojit (Huis 2013). Proto se hmyz stává zajímavým alternativním kandidátem, jak zajistit lidskou i zvířecí potřebu proteinu. Hmyz je vhodný zdroj nejen proteinu, ale i tuku, minerálních látek, vitamínů a díky vysoké nutriční hodnotě i energie.

Hmyz se v několika posledních letech stává pro zákazníky zajímavým a vyhledávaným zdrojem bílkovin. Dnes nalezneme v obchodech množství výrobků, do kterých je hmyzí protein přidáván. Například proteinové tyčinky, těstoviny nebo krmiva pro domácí mazlíčky. Můžeme se s ním setkat i v krmivech pro hospodářská zvířata. V některých zemích je požívání hmyzu považováno za ojedinělý nebo i trochu výstřední gastronomický zážitek, v jiných je požívání hmyzu denní záležitost (Rumpold & Schlüter 2013).

Průměrná energetická hodnota hmyzu je srovnatelná s masem – především s masem kuřecím a rybím. Hmyz má ovšem také svá negativa, která je nutná vzít v úvahu, jako jsou antinutriční látky, které snižují výživovou hodnotu potravin a potenciálně škodlivé složky hmyzu. Také bylo prokázáno, že konzumace hmyzu může například způsobit alergické reakce a že hmyz může obsahovat toxické látky nebo akumulovat těžké kovy (Rumpold & Schlüter 2013). Důležité je také nezapomínat na mikrobiologická rizika, která však lze vyřešit technologickým zpracováním (Oonincx & Finke 2021).

## 2 Cíle práce

Cílem práce bylo posoudit, zda je bílkovina jedlého hmyzu vhodná a stravitelná pro člověka a hospodářská zvířata, a to v porovnání s jinými, dosud běžnými, zdroji živočišných i rostlinných bílkovin. Dále provést analýzu výživových hodnot vybraných druhů jedlého hmyzu a porovnat je s hodnotami jiných zdrojů bílkovin a popsat rizika spojená s konzumací jedlého hmyzu z hlediska potenciální toxicity a možného vzniku alergií.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Historie a současnost entomofágie

#### 3.1.1 Úvod

Entomofágem v širším významu nazýváme každého živočicha, který využívá hmyz jako potravu (Škrabalová 2009). Pojem entomofágie ve výživě pak označuje využívání hmyzu jako potravin. V poslední době je entomofágie na vzestupu i v rozvinutém světě a lze konstatovat, že je v některých případech prezentována jako gastronomický zážitek. Stále širší podpora entomofágie je způsobena výhradně jejími nespornými enviromentálními a do budoucna možná i ekonomickými výhodami, ale také díky vhodnému nutričnímu složení. Hmyz může být vhodným zdrojem proteinu, tuku, minerálních látek, vitamínů. Průměrná energetická hodnota hmyzu je srovnatelná s masem – s výjimkou masa vepřového pro jeho vysoký obsah tuku. Zapotřebí je vzít v úvahu i antinutriční látky, které snižují výživovou hodnotu potravin a případné škodlivé složky hmyzu. Bylo zjištěno, že konzumace hmyzu může například zapříčinit alergické reakce a že hmyz může obsahovat i toxické látky (Rumpold & Schlüter 2013).

#### 3.1.2 Historie entomofágie ve výživě lidí a zvířat

Konzumace hmyzu je významně spojena s evolucí člověka. Hmyz se v jídelníčku vyskytoval již v pravěku. Důkazem jsou například analýzy koncentrace izotopů uhlíku v zubní sklovině australopitéků, které naznačují, že strava se z velké části skládala právě z živočichů, jako je hmyz. Podpurným důkazem může být i poměr stroncia a vápníku (Sr/Ca) u *Paranthropa*, který, jak se zdá, konzumoval více živočišné potravy, než se dříve předpokládalo (Mlcek et al. 2014; Baiano 2020).

Dle Baiano (2020) entomofágii můžeme datovat přinejmenším do období od 30 000 až 9000 let před naším letopočtem. Z této doby pocházejí i nástěnné malby v Altamiře, které zobrazují mimo jiné sbírku včelích hnízd a plástů. Není jasné, jaký a podle jakého klíče si pravěcí lidé hmyz vybírali, pravděpodobně pozorovali stravování a chování okolních zvířat.

K získávání hmyzích pochoutek používali pravěcí lidé i různé nástroje vyrobené třeba z kostí větších zvířat. Kostěné nástroje objevené v údolí Sterkfontein v Jihoafrické republice byly s největší pravděpodobností používány ke kopání termitů. Podle archeologických nálezů i analýz fosilizovaných výkalů můžeme usoudit, že se člověk vyvinul jako entomofágní živočich (Mlcek et al. 2014).

Postupem času byla entomofágie ovlivněna kulturními zvyklostmi a náboženstvím a došlo k jejímu potlačení, a to především v křesťanském kulturním prostoru. V současnosti je hmyz poměrně běžně konzumován v asijských zemích, Africe a Latinské Americe. Mimo tyto oblasti je konzumace hmyzu jen velmi sporadická. I tak celosvětově hmyz konzumuje přibližně 2,5 miliard lidí. Systematický vědecký výzkum využití hmyzu jako potenciálního krmiva hospodářských zvířat byl zahájen až na přelomu šedesátých a sedmdesátých let minulého

století. Poslední dekáda pak přinesla celou řadu odborných studií na toto téma (Ooninx & Finke 2021). Lze očekávat, že společenská poptávka bude iniciovat i v budoucnu další intenzivní výzkum v této oblasti.

### 3.1.3 Konzumace jedlého hmyzu ve světě

Určit kolik druhů hmyzu se ve světě konzumuje je obtížné, protože laická veřejnost nepoužívá k jeho popisu ustálené odborné názvosloví ani taxonomické zařazení. Další komplikací je, že v mnoha kulturách lidé používají několik různých lidových – takzvaně etnospecifických – názvů pro tentýž druh hmyzu (Huis 2013). Různé studie uvádějí cca 2000 (Rumpold & Schlüter 2013) až 2100 (Roos & van Huis 2017) konzumovaných druhů.

Baiano (2020) odhaduje, že hmyz jako surovinu v tradiční kuchyni, využívá okolo 2 miliard lidí. V současné době je konzumace hmyzu alespoň částečně rozšířena v 35 afrických, 29 asijských, 23 amerických, v 11 evropských zemích a ve 14 zemích Oceánie. Největšími konzumenty – z pohledu celkové spotřeby i různorodosti konzumovaných druhů – jsou Mexiko, Čína, Thajsko a Indie. V Evropě, konkrétně v Chorvatsku, můžeme například ochutnat sýr s čerstvými červy, v Itálii je zase dostupný sýr nazývaný „Casu marzu“, který se pojídá ve vysokém stádiu rozkladu, a to i s živými larvami. Nejčastěji jsou konzumovány brouci (31 %); housenky (18 %); včely, vosy a mravenci (14 %); kobyly, sarančata a cvrčci (13 %); cikády; polokřídli (10 %); termity (3 %); vážky (3 %); mouchy (2 %) (Thakur et al. 2017).

Existují snahy o využití hmyzu i pro výživu hospodářských zvířat a zvířat v zájmovém chovu. V tomto směru jsou hospodářská zvířata v Evropě nejčastěji krmena potměnkem moučným (*Tenebrio molitor*) nebo také mouchou bráněnkou (*Hermetia illucens*). Pro zvířata v zájmových chovech jsou pak kromě těchto druhů hmyzu používáni například zavíječ voskový (*Galleria mellonella*), bourec morušový (*Bombix mori*) a především různé druhy cvrčků (*Grylloidea*) (Derrien & Boccuni 2018).

V České republice zatím není konzumace hmyzu ani rozšířená ani obvyklá. I přesto se entomofágie postupně rozrůstá a dostává se do podvědomí obyvatel ČR. Kouřimská et al. (2020), sledovali postoj spotřebitele ke konzumaci jedlého hmyzu, konkrétně cvrčka domácího (*Acheta domestica*). Tento druh hmyzu je nejčastěji využíván ke komerčním účelům, ať už k potravinářským či ke krmeným, a to i v České republice. Devadesát osm respondentům, účastnících se sensorické analýzy, byl nabídnut dospělec cvrčka domácího, který byl po 24 hodinách hladovění usmrčen ponořením do vroucí vody a následně pečen v troubě při 200 °C po dobu 10 minut. Obecně účastníci hodnotili hmyz před ochutnáním negativně, pouze na základě sensoriky, po ochutnání se přijatelnost zlepšila o 52 %. Z průzkumu také vyplývá, že ochutnávce byli otevřené spíše ženy a mladší hodnotitelé (věková skupina mezi 18–25 lety). Respondenti vcelku nepřekvapivě preferovali konzumaci hmyzu po předchozím pečení, smažení či pražení před hmyzem pouze uvařeným.

V sousedním Německu je situace velmi obdobná té české. Orsi et al. (2019) uskutečnili studii, která zkoumala rozhodující faktory pro přijetí jedlého hmyzu v populaci. Jednalo se o online průzkum s 393 účastníky. Výsledky ukazují, že účastníci mají nízkou ochotu vyzkoušet jedlý hmyz, pokud se jedná o hmyz celý, a to převážně z psychologických důvodů a ze strachu

z nové a neznáme potraviny (tzv. neofobie). S mnohem kladnější odezvou se setkaly produkty s přídavkem hmyzu, protože tím odpadla největší překážka – viditelnost hmyzu strávníkem. To jen potvrzuje další, dřívější německou studii, kde Hartmann et al. (2015) porovnávali přijetí jedlého hmyzu německé společnosti oproti čínské. Údaje na tuto studii získali od 502 dospělých osob z Německa a 443 dospělých osob z Číny. Čínští hodnotitelé uváděli větší ochotu jíst testované potraviny (sušenky na bázi cvrččí mouky nebo nápoje obsahující bílkoviny bource morušového) i konzumovat hmyz v celku, konkrétně cvrčka domácího a bource morušového. Němci uváděli vyšší ochotu ochutnat potraviny s přídavkem hmyzího proteinu oproti konzumaci hmyzu zpracovaného v celku.

### **3.1.4 Legislativní rámec využívání hmyzích bílkovin**

#### **3.1.4.1 Hmyz jako krmivo**

Nařízení komise (EU) 2021/1372 ze dne 17. srpna 2021 ze kterého Česká republika vychází, pro krmné účely v České republice aktuálně schvaluje tyto druhy hmyzu: moucha bráněnka (*Hermetia illucens*) a moucha domácí (*Musca domestica*), poterník moučný (*Tenebrio molitor*) a poterník stájový (*Alphitobius diaperinus*), cvrček domácí (*Acheta domestica*), cvrček krátkokřídlý (*Grylloides sigillatus*) a cvrček banánový (*Gryllus assimilis*).

#### **3.1.4.2 Hmyz jako nová potravina**

Jako nové potraviny, anglicky novel food (zkráceně pouze „NP“) označujeme potraviny, které lidé v EU nekonzumovali ve větší míře před 15. květnem 1997, byly pro ně nové, neobvyklé, netradiční. V tento den vstoupilo v platnost první nařízení o nových potravinách. K tomuto kroku došlo díky rostoucí globalizaci, rostoucí etnické rozmanitosti a také díky hledání nových zdrojů živin. Pojem „nové potraviny“ není zcela nový, byl už v průběhu historie několikrát použit, například když se do Evropy začali dostávat nové druhy potravin ze všech koutů světa – kukuřice, brambory a rajčata ze severní a jižní Ameriky, rýže a nudle z Asie, káva z východní Afriky, koření z Indie. Novými potravinami nazýváme nejen potraviny z nových zdrojů, ale také nové látky používané v potravinářství, či nové technologie výroby potravin. Dnes mezi NP můžeme zařadit olej bohatý na omega-3 mastné kyseliny z antarktického krilu (olej z mořského koryše krunýřovky) jako nový zdroj potravin, rostlinné steroly jako novou látku nebo nanotechnologie jako nový způsob výroby potravin. Do této skupiny řadíme také jedlý hmyz (EFSA 2021).

Od 1. ledna roku 2018 novela nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2015/2283 o nových potravinách zařadila jedlý hmyz mezi nové potraviny v zemích Evropské unie. Následně Evropský parlament s jednotlivými státy EU upravuje, sjednocuje a přijímá i další legislativní úpravy týkající se jedlého hmyzu. Vláda České republiky schválila 11. března 2019 (s účinností od 14. prosince 2019) novelu Zákona o veterinární péči, která umožňuje zakládat a provozovat farmy pro chov hmyzu, který je dále určen k lidské spotřebě nebo k výrobě zpracované živočišné bílkoviny. Tímto se tedy hmyz řadí na úroveň běžných hospodářských zvířat. Než vešla novela v platnost, stal se rok 2019 rokem přechodným, kdy na český trh mohl

být uveden pouze takový hmyz, který se už na trhu některých členských států EU vyskytoval před datem 1.1.2018 a nejpozději do 1.1.2019 bylo zažádáno o povolení nové potraviny. Kompletní žádost k datu 21.9.2019 byla podána u těchto druhů: cvrček domácí (*Acheta domestica*), potemník stájový (*Alphitobius diaperinus*), cvrček krátkokřídlý (*Grylloides sigillatus*), potemník moučný (*Tenebrio molitor*) a saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*). Od 2.1.2020 mohou na trh být uváděny pouze druhy hmyzu, které jsou autorizované – tedy zapsané do Seznamu Unie (Mlček 2020). Celým prováděcím nařízením Komise (EU) prošel potemník moučný (*Tenebrio molitor*) (na obrázku 1) – ve formě larev či zmrazený, sušený a práškový, cvrček domácí (*Acheta domestica*) (na obrázku 2) – ve formě zmrazené, sušené a práškové a saranče stěhovavé (*Locusta migratoria*) (na obrázku 3) – ve formě zmrazené, sušené a práškové (Bezpečnost potravin 2022).



Obrázek 1 Sušené larvy potemníka moučného (*Tenebrio molitor*) (Küršner 2022)



Obrázek 2 Sušený cvrček domácí (*Acheta domestica*) (JR Unique 2021)





Obrázek 3 Sušené saranče stěhované (*Locusta migratoria*) (Nosowitz 2021)

### 3.2 Výživové hodnoty jedlého hmyzu

Druhů jedlého hmyzu, které lze zařadit do lidského jídelníčku je celá škála, proto se liší i jejich výživové hodnoty. Nutriční hodnoty dále záleží na vývojovém stádiu hmyzu, kdy se mohou mírně změnit nutriční hodnoty i v rámci jednoho druhu. Na obsah většiny nutrientů s výjimkou některých aminokyselin a minerálních látek má zásadní vliv strava hmyzu. Rozdíly mohou být dále způsobeny i původem hmyzu nebo vnějšími podmínkami prostředí jako je teplota, vlhkost vzduchu nebo světelné podmínky, případně způsobem úpravy před konzumací (vařením, smažením, sušením, ...) (Huis 2013; Oonincx et al. 2018; Oonincx & Finke 2021). Další zajímavým faktorem, který ovlivňuje nutriční hodnoty je pohlaví hmyzu. Nutriční hodnoty a chemické složení hmyzu, konkrétně cvrčka domácího, zkoumali Kulma et al. (2019). Z jejich výzkumu vyplývá, že samice cvrčka domácího obsahují významně vyšší množství lipidů 18,3-21,7 g/100 g sušiny (samci 12,9-16,1 g/100 g sušiny) a méně bílkovin než samci a to 64,9 g/100 g sušiny (samci 66,3-69,6 g/100 g sušiny). Samci obsahovali více chitinu a dusíkatých látek. Pohlavím nebyly ovlivněny hodnoty popelovin ani esenciální aminokyseliny.

Tabulka 1 - Průměrné nutriční složení (%) a obsah energie (Kcal/100 g) jedlého hmyzu (Rumpold & Schlüter 2013)

		Surové bílkoviny (% sušiny)	Celkový tuk (% sušiny)	Vláknina (% sušiny)	Bezdušičkaté látky výtažkové (% sušiny)	Popel (% sušiny)	Energie (Kcal/100 g sušiny)
<b>Blattodea</b>	Švábi	57,30	29,90	5,31	4,53	2,94	X
<b>Coleoptera</b>	Brouci	40,69	33,40	10,74	13,20	5,07	490,30
<b>Diptera</b>	Dvoukřídlí	49,48	22,75	13,56	6,01	10,31	409,78
<b>Hemiptera</b>	Polokřídlí	48,33	30,26	12,40	6,08	5,03	478,99
<b>Hymenoptera</b>	Blanokřídlí	46,47	25,09	5,71	20,25	3,51	484,45
<b>Isoptera</b>	Termiti	35,34	32,74	5,06	22,84	5,99	X
<b>Lepidoptera</b>	Motýli	45,38	27,66	6,60	18,76	4,51	508,89
<b>Odonata</b>	Vážky	55,23	19,83	11,79	4,63	8,53	431,33
<b>Orthoptera</b>	Rovnokřídlí	61,32	13,41	9,55	12,98	3,85	426,25

V tabulce 1 můžeme vidět průměrné nutriční složení založené na analýze celkem 236 druhů hmyzu. Zde jsou uvedeny pouze průměrné hodnoty pro jednotlivé analyzované řády. Je nutné zdůraznit, že nutriční složení jednotlivých druhů v rámci každého řádu může výrazně kolísat. Například průměrná hodnota obsahu hrubého proteinu u brouků činí 40,69 %, ale rozptyl jednotlivých druhů v rámci tohoto řádu je v intervalu od 8,85 % do 71,10 %. Protože se jedná o studii založenou na datech z různých zdrojů, můžeme ovšem předpokládat, že důvodem pro takový rozptyl hodnot není jen variabilita druhů, ale také srovnávání různých vývojových stadií hmyzu, rozdílných krmných směsí, míst původu (Chen et al. 2009) nebo i rozdílných metod měření (Ramos-Elorduy et al. 2002).

Jak vidíme, proteiny představují hlavní složku hmyzího těla. Průměrné hodnoty obsahu proteinu v hmyzím těle se pohybují od 35,34 % u termitů až po 61,32 % u rovnokřídlných. Druhy s největším zjištěným obsahem proteinu jsou kobyly *Melanoplus femurrubrum* (77,00 %), *Sphenarium histrio* (71,15 - 77,00 %) a *Melanoplus mexicanus* (58,90 - 77,13 %). Hmyz a specificky kobyly představují fantastický zdroj alternativního proteinu. Nejbohatší známý rostlinný zdroj proteinu představuje sója (35,8 %) (Blásquez et al. 2012).

Tuk je v průměru druhou nejvíce zastoupenou složkou hmyzího těla. Průměrné hodnoty obsahu tuku v hmyzím těle se pohybují od 13,41 % u rovnokřídlných až po 33,40 % u brouků. Hmyz s největším zjištěným obsahem tuku jsou housenky motýla *P. triangularis*

(77,00 - 77,13 %) (Ramos-Elorduy et al. 1997). Nejmenší obsah tuku byl zjištěn u larev brouků *Oryctes boas* (1,50 %) a *Oryctes rhinoceros* (0,66 - 38,12 %) (Onyeike et al. 2005; Olowu et al. 2012) a dále u cvrčka *Brachytrupes ssp.* (3,24 - 53,05 %) (Agbidye et al. 2009; Raksakantong et al. 2010; Blásquez et al. 2012). Rozptyl hodnot u posledních dvou jmenovaných demonstuje, s jak velkou odchylkou se v dostupné literatuře můžeme setkat i u stejných druhů. Protože se v tomto konkrétním případě jedná o divoce žijící brouky ze stejné lokality, nemůže mít na odchylku vliv ani místo sběru. Obecně lze říci, že tuk je v porovnání s dospělci obsažen ve větším množství v larvách a kuklách (Chen et al. 2009).

Průměrné hodnoty vlákniny se pohybují od 5,06 % u termitů až po 13,56 % u polokřídých. Největší obsah vlákniny byl zjištěn u mravence *Polyrhackis vicina* (28,88 %) a larvy mola *Latebraria amphipyriodes* (29,00 %) (Ramos-Elorduy et al. 1997). Druh s nejmenším zjištěným obsahem vlákniny je naopak larva motýla *Aegiale hesperiaris* (0,12 %) (Rumpold & Schlüter 2013).

Obsah bezdusíkatých látek výtažkových, které jsou nejběžnější metodou určení obsahu sacharidů (bez vlákniny) se pohybují od 4,63 % u vážek až po 22,84 % u termitů. Vzhledem k jeho obrovské druhové rozmanitosti existuje ovšem i hmyz s významným obsahem sacharidů. Hmyz s největším zjištěným obsahem sacharidů je cvrček *Brachytrupes ssp.* (2,33 - 85,30 %) (Agbidye et al. 2009; Blásquez et al. 2012), mravenec *Myrmecosistus melliger* (77,00 - 77,73 %) a včela medonosná (*Apis mellifera*) (22,00 - 73,60 %) (Ramos-Elorduy et al. 1997; Rumpold & Schlüter 2013). Druhy s nejmenším zjištěným obsahem sacharidů jsou pak mravenec *Atta mexicana* (0,00 - 4,92 %) (Ramos-Elorduy et al. 1997; Rumpold & Schlüter 2013) a brouci potemník moučný (*Tenebrio molitor*) (0,01 - 3,86 %) (Finke 2002; Ramos-Elorduy et al. 2002) a *Euschistus strennus* (0,01 %) (Rumpold & Schlüter 2013).

Průměrný obsah popelovin se pohybuje mezi 2,94 % u švábů až po 10,31 % u dvoukřídých s nejvyšší hodnotou 25,95 % u mouchy *Eristalis* (Rumpold & Schlüter 2013). Nejnižší obsah popelovin byl zjištěn u kobylky *Sphenarium mexicanum* (0,34 %) (Blásquez et al. 2012).

Tabulka 2 - Nutriční složení (%) a energetický obsah (MJ/kg) běžně používaného hmyzu v potravinách a krmivech na bázi sušiny (Hawkey et al. 2021)

Třída	Název	Latinský název	Surové bílkoviny (% sušiny)	Celkový tuk (% sušiny)	Vláknina (% sušiny)	Popel (% sušiny)	Energie (MJ/kg sušiny)
Brouci	Potemník moučný	<i>Tenebrio molitor</i>	46-54	23-36	2-5	3-4	27
	Potemník brazilský	<i>Zophobas morio</i>	47	44	X	8	X
Dvoukřídlí	Moucha bráněnka (larva)	<i>Hermetia illucens</i>	34-42	25-58	7	4-20	22-24
	Moucha domácí (kukla)	<i>Musca domestica</i>	71-76	14-16	15-16	7-8	20-24
Motýli	Bourec morušový	<i>Bombyx mori</i>	23,1	14,1	X	1,2	9,6
	Zavíječ voskový	<i>Galleria mellonella</i>	38,8	51,4-58,6	8,92	2,2-3,3	X
Rovnokřídlí	Cvrček domácí	<i>Acheta domestica</i>	59-72	10-23	5	5	X

Tabulka 2 popisuje nutriční složení a energetický obsah sedmi druhů běžně komerčně využívaného jedlého hmyzu. Tyto druhy jsou považovány za bohatý zdroj bílkovin, obsah energie je srovnatelný například se sójou či rybí moučkou. Z tabulky vyčteme, že v sušině je hlavní složkou bílkovina, následovaná tukem. Kukly mouchy domácí (*Musca domestica*), cvrček domácí (*Acheta domestica*) a potemník moučný (*Tenebrio molitor*) obsahují vysoké procento bílkovin (od 46 % až do 76 %). Obecně platí, že v sušině mají larvy vyšší obsah tuku než dospělci. Nejvíce tuku obsahuje zavíječ voskový (*Galleria mellonella*), následován potemníkem brazilským (*Zophobas morio*). Tuk se z 80 % vyskytuje ve formě triacylglycerolu zbylých 20 % je ve formě fosfolipidů. Hmyz může obsahovat až 10 % vlákniny, na kterou jsou z uvedených druhů nejbohatší kukly mouchy domácí (*Musca domestica*) (Hawkey et al. 2021).

### 3.2.1 Bílkoviny

Bílkoviny jsou pro lidský organismus nepostradatelné, proto považujeme obsah a složení proteinů v konkrétním hmyzu za nejpodstatnější kritérium pro rozhodování o jeho potenciálním využití. K biosyntéze všech bílkovin jsou nepostradatelné aminokyseliny, především esenciální aminokyseliny, které musí člověk přijímat v potravě, protože si je tělo neumí syntetizovat (Huis 2013).

Obsah proteinu se u hmyzu pohybuje v rozmezí cca 25 % - 75 % v sušině. Skutečný obsah proteinu lze určit součtem obsahu jednotlivých aminokyselin. Množství proteinu se ale obvykle v praxi odhaduje tak, že vynásobíme obsah dusíku faktorem 6,25. Tento postup je zobecňující a může být pro hmyz nepřesný. Pro v současnosti nejčastěji průmyslově využívaný

hmyz - potměnka moučného a mouchu bráněnkou, se doporučuje používat faktor 4,76. Studie zahrnující 20 vzorků třinácti druhů hmyzu v různých vývojových stádiích, určila proteinový faktor v intervalu 4,56 – 6,45. Přesto se z důvodu srovnatelnosti různých studií i nadále běžně používá faktor 6,25. Z toho je zřejmé, že většina studií obsah bílkoviny v hmyzu více či méně nadsazuje (Oonincx & Finke 2021).

Aminokyseliny můžeme - podle schopnosti organismu je syntetizovat - dále rozdělit na esenciální a neesenciální. Výsledné složení aminokyselin do značné míry určuje, nakolik je konkrétní hmyz nutričně vhodný pro člověka nebo hospodářské zvíře.

O tom, zda se v průběhu života hmyzu může složení aminokyselin měnit rozhoduje z velké části to, zda hmyz v průběhu života prochází úplnou nebo neúplnou proměnou. U hemimetabolického hmyzu (hmyz u nichž neprobíhá úplný vývoj metamorfózy, sem řadíme například řády - *Hemiptera*, *Orthoptera*, *Mantodea*, *Blattodea*, *Dermaptera* a *Odonata*) je složení aminokyselin relativně stálé v průběhu celého života a to bez ohledu na krmnou směs hmyzu. U holometabolického hmyzu (skupina hmyzu s proměnou dokonalou, to znamená včetně stadia kukly a patří sem například řády - *Coleoptera*, *Hymenoptera*, *Neuroptera* nebo *Diptera*) se ovšem skladba aminokyselin mezi jednotlivými vývojovými stádii mění (Oonincx & Finke 2021).

Finální obsah bílkovin může být dále ovlivněn krmnou směsí, kterou je hmyz krměn (například zeleninou, zrním nebo vedlejšími produkty z výroby potravin). Například kobylky, které jsou v Nigérii krmeny otrubami s vysokým obsahem esenciálních mastných kyselin, mají téměř dvojnásobný obsah bílkovin než ty, které jsou krmeny kukuřicí. Termiti, kteří jsou bohatí nejen na bílkoviny, ale také na mastné kyseliny a další minerální látky, po úpravě smažením či sušením obsahují 32-38 % bílkovin (Huis 2013). Krmné testy na myších, kdy byl použit protein získaný z cvrčků *Acheta domesticus* prokázaly, že cvrččí protein předčí, jako zdroj aminokyselin, protein získaný ze sóji (Finke et al. 1989). Krmné testy na myších se zbytky kukel bource morušového, které jsou odpadním produktem při výrobě hedvábí, naopak přinesly výrazně horší výsledky než srovnatelné testy s kaseinem jako modelovým proteinem. Předpokládá se, že horší výsledky mohly být způsobeny vysokou aromaticností krmiva s přísadkou kukel bource morušového. (Ozimek et al. 1985). Také krmné testy na kuřatech, kde byla jako doplňkový zdroj proteinu použita larva mouchy domácí *Musca domestica* prokázaly, že krmná směs obohacená o 10–15 % tohoto proteinu zlepšuje přírůstek i kvalitu kuřat (Rumpold & Schlüter 2013).

Můžeme shrnout, že hmyz obecně – a řád rovnokřídlých zvláště – představuje zdroj bohatý na proteiny. Slibně dopadají i srovnávací krmné testy oproti jiným zdrojům proteinu i když zde bylo zjištěno, že lepších výsledků lze dosáhnout odstraněním chitinu. Většina jedlého hmyzu také představuje uspokojivý zdroj esenciálních aminokyselin (Rumpold & Schlüter 2013).

### 3.2.2 Lipidy

Tuky slouží jako zásobárna energie pro období, kdy je organismus vystaven většímu energetickému výdeji. Obsahují více než dvojnásobek využitelné energie než stejné množství

sacharidů. Tuky jsou většinou estery mastných kyselin a alkoholů. Podle stupně saturace pak dělíme mastné kyseliny na nasycené, které neobsahují dvojnou vazbu, mononenasycené (monoenové) s jednou dvojnou vazbou a polynenasycené (polyenové), které mají dvě a více dvojných vazeb (Bezpečnost potravin 2013).

Obsah tuku je ovlivněn druhem hmyzu, vývojovým stádiem, výživou a dále faktory prostředí jako je teplota nebo světlo. Samci mají u většiny druhů menší tukové zásoby než samice. Komerčně pěstovaný hmyz má větší tukové zásoby než ten, který žije divoce. To může souviset buď s energeticky bohatou krmnou směsí nebo s menším výdejem energie v zajetí, případně s obojím (Oonincx & Finke 2021).

Obecně má hmyz větší procento nenasycených mastných kyselin než nasycených (de Castro et al. 2018). Oonincx & Finke (2021) pozorovali, že krmná směs má vliv na výsledný obsah i složení mastných kyselin v sušině. Larvy mouchy bráněnky (*Hermetia illucens*), tedy jednoho z nejvíce komerčně využívaného hmyzu v krmných směsích pro zvířata, jsou ovšem bez ohledu na krmnou směs nezvykle bohaté na laurovou kyselinu (C12).

Tabulka 3 - Složení mastných kyselin (%) jedlého hmyzu (Rumpold & Schlüter 2013)

Vědecký název	Řád	SFA (%)	MUFA (%)	PUFA (%)
<b><i>Coleoptera</i></b>	Brouci	38,49	35,72	27,14
<b><i>Diptera</i></b>	Dvoukřídlí	33,02	47,23	15,95
<b><i>Hemiptera</i></b>	Polokřídlí	43,89	32,39	22,89
<b><i>Hymenoptera</i></b>	Blanokřídlí	29,88	48,76	21,18
<b><i>Isoptera</i></b>	Termiti	41,97	22,00	36,04
<b><i>Lepidoptera</i></b>	Motýli	37,04	23,36	39,76
<b><i>Orthoptera</i></b>	Rovnokřídlí	32,05	29,37	37,08
<b><i>Dictyoptera</i></b>	Švábi, všekazi, kudlanky	41,22	49,58	37,08

\*SFA = nasycené mastné kyseliny

\*MUFA = mononenasycené mastné kyseliny

\*PUFA = polynenasycené mastné kyseliny

Tabulka 3 shrnuje průměrné rozložení nasycených a nenasycených mastných kyselin v rámci celkového obsahu tuku pro jednotlivé řády hmyzu. Průměrné procento nasycených mastných kyselin (SFA) v hmyzím těle se pohybuje od 30,83 % u blanokřídlných až po 41,97 % u termitů. Průměrná hodnota mononenasycených mastných kyselin (MUFA) se u hmyzu

pohybuje v intervalu od 22,00 % u termitů až po 48,60 % u blanokřídlých. U polynenasycených mastných kyselin (PUFA) je to pak od 15,95 % u dvoukřídlých až po 39,76 % u motýlů (Rumpold & Schlüter 2013).

### 3.2.3 Sacharidy

Jak je vidět z Tabulky 1, sacharidy (bez vlákniny) měřené jako množství bezdusíkatých látek výtažkových, jsou u hmyzu většinou zastoupeny jen ve velmi malém množství. Jejich obsah pravděpodobně závisí i na krmné směsi, která byla obsahem trávicího traktu hmyzu v době jeho usmrcení, pokud nebyl před usmrcením vyhladověn (Oonincx & Finke 2021). S výjimkou chitinu je nejběžnější formou sacharidu vyskytující se v hmyzím těle glykogen, který je jako zdroj energie uložen ve svalové tkáni (Ojha et al. 2021).

#### 3.2.3.1 Vlákna

Hmyz obsahuje významné množství vlákniny – měřeno jako hrubá vláknina, neutrálně-detergentní vláknina (NDF) nebo acido-detergentní vláknina (ADF). Její skladba v hmyzím těle není přesně známa, předpokládá se, že se jedná o směs sklerotizovaných proteinů a proteínů, které jsou spolu s minerály a dalšími složkami vázány na chitin (Oonincx & Finke 2021).

Nejběžnějším polysacharidem v těle hmyzu je chitin – po celulóze druhý nejrozšířenější polysacharid v přírodě. Chitin je hlavní složkou kutikuly členovců a slouží u hmyzu (ale také u krabů, raků, pavouků, štírů apod.) jako exoskelet. V odborné literatuře se obsah chitinu pohybuje ve značném rozpětí. To může být dáno rozdílnými způsoby detekce této látky. Chitin může být stanoven gravimetricky, ale jeho obsah může být analyzován i za pomoci HPLC (vysokoúčinná kapalinová chromatografie). V průměru se obsah chitinu v jedlém hmyzu pohybuje mezi 5-20 % sušiny (Finke 2007; Kouřimská & Adámková 2016; Selenius et al. 2018; Woods et al. 2020).

Finke (2007) dokládá, že člověk je schopen chitin do jisté míry trávit, ale po odstranění chitinu je hmyzí bílkovina pro člověka stravitelná lépe. Roos & van Huis (2017) doplňují, že chitin, který člověk není schopen syntetizovat, je cílem imunitního systému, protože je složkou některých patogenů – např. hub. Chitin a jeho deriváty proto především v plicích a střevech aktivují imunitní odezvu makrofágů a tvorbu cytokinu a tím spouští protizánětlivou reakci. Chitin je v lidském těle rozkládán chitinázou, která jak se zdá, ale také hraje zásadní roli při bakteriálních infekcích a zánětlivých onemocněních. Chitin je spojován se zlepšením mikrobioty lidského střeva, především díky svým prebiotickým účinkům a tím napomáhá předcházet výskytu nežádoucích mikroorganismů (Selenius et al. 2018), jako jsou například *Salmonella*, *Escherichia coli* a *Vibrio cholera* (Fernandes et al. 2008).

### 3.2.4 Minerální látky a vitamíny

Ve výživě dělíme minerální látky obvykle podle množství potřebného pro organismus na makroelementy, mikroelementy a stopové prvky. První skupina zahrnuje minerální látky, které lidské tělo potřebuje v relativně velkém množství (více jak 100 mg za den), protože jsou

součástí měkkých tkání a kostí. Mezi makroelementy zahrnujeme vápník, fosfor, sodík, draslík, chlor, hořčík a síru. Z tabulky 4 můžeme vyčíst s jakými následky se musí lidské tělo potýkat, pokud má některého makronutrientu nadbytek nebo naopak nedostatek. Mezi mikroelementy (jejichž denní potřeba je nižší než 100 mg) řadíme železo, měď, zinek, mangan, jod, molybden, selen, fluor, chrom a kobalt. Stopové prvky jsou zastoupeny v řádově menším množství (hodnoty se pohybují řádově v  $\mu\text{g}$ ) a podílejí se především na fungování metabolismu. Mezi hlavní stopové prvky patří křemík, vanad, nikl, cín, kadmium, arzen, hliník a bor. Pravidelný přísun vhodných minerálních látek ve stravě je pro zdraví – člověka i zvířat – naprosto zásadní (Bezpečnost potravin 2016).

Tabulka 4 - přehled denní potřeby, příznaky nedostatku a nadbytku u hlavních minerálních látek (Bezpečnost potravin 2016)

Minerální látka	Denní potřeba	Příznaky nedostatku	Příznaky nadbytku	Zdroje
<b>Sodík</b>	3-5 g	Slabost, nízký krevní tlak, nejistota, ztráta pocitu žízně	Otoky, vysoký krevní tlak, žízeň, křeče	Kuchyňská sůl
<b>Draslík</b>	2-3 g	Křeče ve svalech, zpomalení pohybu střev, poruchy srdečního rytmu	Svalová ztuhlost	Peckové ovoce, sušené plody, kompoty, zelenina
<b>Vápník</b>	800 mg	Křeče ve svalech, poruchy srdečního rytmu, závratě, migrény, poruchy krevní srážlivosti	Nechutenství, zácpa, psychické změny, horečka	Mléko, mléčné výrobky, mák, fazole, pažitka, cibule, losos, tuňák, fíky, sója
<b>Hořčík</b>	80-120 mg	Křeče, brnění, mravenčení, zhoršení anginy pectoris, poruchy rytmu srdce		Semena, luštěniny
<b>Fosfor</b>	15-20 mg	Svalová slabost, postižení srdeční, nervové, zmatenost, slabost dechového svalstva	Nervové poruchy, obrny, nechutenství, pocit na zvracení	Luštěniny, maso, ryby, kvasnice, sýry, těstoviny, pečivo, rozinky, fíky, kakao

Obsah minerálních látek v jedlém hmyzu je sezonní a závislý na krmivu (Kouřimská & Adámková 2016). Rumpold & Schlüter (2013) na analýze osmdesáti pěti hmyzích druhů navíc dokládají, že obsah minerálních látek významně kolísá i v rámci jednoho hmyzího řádu. Proto



by byl souhrnný rozbor průměrných hodnot v rámci jednoho řádu, v případě minerálních látek a vitamínů, velmi zavádějící.

Hmyz, který nemá mineralizovanou kostru, téměř neobsahuje vápník (typicky méně než 0,3 % vápníku v sušině). Naopak vysoké hodnoty vápníku u cvrčků, mohou být pozůstatky na vápník bohaté stravy v jejich gastrointestinálním traktu, protože jeho obsah může tvořit 4 - 7 % živé váhy hmyzu. Larvy mouchy bráněnky mají ovšem exoskelet mineralizovaný, a proto mohou obsahovat i vysoké hodnoty vápníku v sušině. Většina hmyzu obsahuje více fosforu než vápníku a více draslíku než sodíku. Podle současných studií s výjimkou vápníku většina jedlého hmyzu obsahuje dostatečné množství makroelementů, jak pro výživu člověka, tak pro výživu zvířat (Oonincx & Finke 2021).

Většina jedlého hmyzu také obsahuje dostatečné množství železa, zinku, mědi, manganu a selenu (Huis 2013). V rámci jednotlivých druhů existují ovšem značné rozdíly. Například *Gonimbrasia belina*, druh můry císařské, jejichž housenky jsou známé i pod názvem madora nebo mopane, obsahují vysoké množství železa (31 - 77 mg na 100 g sušiny). Vysoký obsah železa vykazuje i saranče stěhovavé (8 - 20 mg na 100 g sušiny). *Gonimbrasia belina* je také dobrým zdrojem zinku (14 mg na 100 g sušiny), podobně jako brouk *Rhynchophorus phoenicis* (26,5 mg na 100 g sušiny) (Oonincx et al. 2010). Některé druhy termitů zase obsahují extrémní množství manganu (2 710 - 5 150 mg na kg sušiny) (Oonincx & Finke 2021).

Jedlý hmyz není jen zdrojem minerálních látek, ale obsahuje také řadu hydrofilních (rozpustných ve vodě) i lipofilních (rozpustných v tucích) vitamínů, jako vitamín A, D, E nebo K (Oonincx & Dierenfeld 2012; Raheem et al. 2019). Bylo pozorováno, že divoce žijící druhy obsahují podstatně více vitamínu A a také více vitamínu E. Naopak vitamíny skupiny B u divoce žijícího hmyzu téměř chybí. Lze usuzovat, že v případě vitamínů B a E je to způsobeno rozdílnou skladbou stravy. Obsah vitamínu A je ovlivněn anatomii konkrétního druhu hmyzu, protože k syntéze vitamínu A z karotenoidů u hmyzu nedochází tak jako u člověka v játrech ale ve složeném oku. Proto například ty larvy, které nemají složené oči, neobsahují žádný vitamín A (Oonincx & Finke 2021). Rumpold & Schlüter (2013) dále na příkladu osmdesáti pěti druhů hmyzu dokládají, že 100 gramů hmyzí sušiny je obvykle bohaté na vitamín B<sub>2</sub> (riboflavin), B<sub>5</sub> (kyselina pantothenová) a B<sub>7</sub> (biotin). Rovnokřídli a brouci jsou dále bohatí na vitamín B<sub>9</sub> (kyselina listová). Zároveň stejné množství hmyzí sušiny není pro člověka dostatečným zdrojem vitamínu A, C, B<sub>1</sub> (thiamin) a B<sub>3</sub> (niacin).

### 3.3 Porovnání stravitelnosti a vhodnosti bílkovin jedlého hmyzu

Smysluplně shrnout stravitelnost a vhodnost bílkovin pro více než 2000 existujících druhů jedlého hmyzu napříč mnoha řády není v rámci této práce realizovatelné. Hmyz je natolik rozmanitá skupina, že například Payne et al. (2016) vůbec nepovažují za vhodné kategorii „hmyz“ ve výživě používat. Proto bylo nutné vhodně vymezit vybraný vzorek hmyzu.

### 3.3.1 Použitá metodologie

Potenciál pro průmyslovou produkci potravin má především moucha bráněnka a potemník moučný (Lamsal 2018). Jak již bylo uvedeno výše, moucha bráněnka ovšem zatím není pro lidskou konzumaci schválena a není ani zvažována, že by byla na seznam jedlého hmyzu přidána. Pro krmné účely doporučuje Oonincx et al. (2015) na prvním místě cvrčka domácího případně mouchu domácí. Pro porovnání stravitelnosti byly tedy vybrány tyto čtyři již komerčně využívané hmyzí druhy - moucha domácí (larva a kukla), potemník moučný (larva), cvrček domácí (dospělec) a moucha bráněnka (larva a kukla) u kterých byla porovnána zdánlivá stravitelnost. Vhodnost pak byla posuzována na základě srovnání obsahu nutričních a energetických hodnot v porovnání s konvenčními potravinami. Předchozí čtveřice vzorků byla v této části rozšířena ještě o potemníka brazilského, zavíječe voskového a bource morušového.

### 3.3.2 Porovnání stravitelnosti hmyzu

Není dostupná žádná klinická studie, proto je nutné na stravitelnost pro člověka usuzovat pouze nepřímo buď ze studií provedených na zvířatech anebo z výsledků analýz využití hmyzu v krmných směsích zvířat.

Stravitelnost lze pozorovat i v laboratorních podmínkách *in vitro*, tedy „ve zkumavce“. Tato metoda je alternativní náhrada metody *in vivo* („v živém“). Její výhodou je, že k pozorování stravitelnosti není nutný živočich a celý proces je založen pouze na buněčných a tkáňových systémech nebo izolovaných orgánech (Kubincová et al. 2016).

V tabulce 5 jsou dostupné studie zdánlivé stravitelnosti vybraného vzorku hmyzu a srovnání jejich stravitelnosti s vybranými konvenčními potravinami. Je vidět, že stravitelnost zkoumaného vzorku je s výjimkou kukly mouchy bráněnky srovnatelná se stravitelností rybího nebo drůbežího masa.

Tabulka 5 - Srovnání stravitelnosti (%) hmyzu s konvenčními potravinami (Schaafsma 2000; Bosch et al. 2014; Oonincx & Finke 2021)

	Zdánlivá stravitelnost (člověk) (Schaafsma 2000)	Zdánlivá stravitelnost (drůbež) (Oonincx & Finke 2021)	Zdánlivá stravitelnost (myš) (Oonincx & Finke 2021)	In vitro stravitelnost organické hmoty (Bosch et al. 2014)
Moucha domácí, larva	-	90	90	-
Moucha domácí, kukla	-	95	-	83
Potemník moučný, larva	-	86	92	92
Cvrček domácí, dospělec	-	-	84	88
Moucha bráněnka, larva	-	78	-	84
Moucha bráněnka, kukla	-	68	-	68
<b>Referenční bílkoviny</b>				
Vejce	98	-	-	-
Kravné mléko	95	-	-	-
Hovězí maso	98	-	-	-
Drůbeží maso	-	-	-	86
Rybí maso	-	-	-	82
Sója	95	-	-	81
Pšenice	91	-	-	-
Kasein	-	-	88 – 100	-

Nejvíce je stravitelnost hmyzu prostudovaná na drůbežích modelech. Byly také provedeny studie stravitelnosti na myších, které potvrdily, že stravitelnost hmyzí bílkoviny je rovná nebo pouze mírně nižší než stravitelnost mléčného kaseinu, často používaného pro porovnání. Nižší stravitelnost larvy a kukly mouchy bráněnky je způsobena hlavně sírou obsaženou v metioninu a cysteinu. (Oonincx & Finke 2021). Bosch et al. (2014) publikovali studii, zaměřenou na stravitelnost některých druhů hmyzu u psů a koček. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 5.

Koncentrace hmyzího proteinu může být až 77 % sušiny, což jsou srovnatelné hodnoty s jinými zdroji bílkovin, které jsou využívány na výrobu krmiv, jako je například masokostní nebo rybí moučka (Khusro et al. 2012). Úplným nahrazením sójového šrotu za moučku

z mouchy bráněnký ve výživě nosnic (24-45 týdnů věku) se příjem krmiva snížil, stejně tak jako živá hmotnost nosnic, ale trávení lipidů nebylo ovlivněno (Cutrignelli et al. 2018). Oproti tomu přidání pouze 15 % hmyzí moučky do krmiva nemělo žádný vliv na již zmiňovaný příjem krmiva či přírůstek hmotnosti u brojlerových kuřat (Onsongo et al. 2018).

Bosch et al. (2014, 2016) prováděli pokus stravitelnosti hmyzu pro psa metodou *in vitro*. Ke zkoumání si vybrali tři zástupce hmyzu – larvy mouchy bráněnký, mouchu domácí a potemníka moučného. Částečně lyofilizované larvy byly podrobeny *in vitro* stimulovanému trávení v žaludku a tenkém střevu psa. Aminokyselinový profil se mezi larvami lišil, moucha bráněnký a potemník moučný obsahovali více valinu a méně methioninu a lysinu než moucha domácí. Výsledky stravitelnosti bílkovin *in vitro* byly zaznamenány u 11 druhů lyofilizovaného hmyzu, které se pohybovaly od 76,4 % do 93,3 %. Stravitelnost bílkovin *in vitro* syrových moučných červů byla zvýšena vařením, zatímco smažení nemělo žádný výrazný vliv.

### **3.3.3 Porovnání vhodnosti hmyzu jako potraviny**

Tabulka 6 popisuje nutriční složení a energetický obsah sedmi druhů běžně komerčně využívaného jedlého hmyzu. Tyto druhy jsou považovány za bohatý, nebo alespoň dostatečný zdroj bílkovin (obsah energie je srovnatelný například se sójou či rybí moučkou). Z tabulky 6 vidíme, že v sušině je hlavní složkou bílkovina, následovaná tukem.

Tabulka 6 - Nutriční složení a energetický obsah konvenčně používaného hmyzu v potravinách a krmivech v sušině (Hawkey et al. 2021) a srovnání s vejcem, kravským mlékem, masem a kaseinem (NutriDatabase.cz 2020)

Hmyz	Hrubé bílkoviny (% sušiny)	Celkový tuk (% sušiny)	Sacharidy a polysacharidy (% sušiny)	Popel (% sušiny)	Energie (MJ/kg sušiny)
Potemník moučný	46-54	23-36	2-5	3-4	27
Potemník brazilský	47	44	N/A	8	N/A
Moucha bráněnka (larva)	34-42	25-58	7	4-20	22-24
Moucha bráněnka (kukla)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Moucha domácí (larva)	71-76	14-16	15-16	7-8	20-24
Moucha domácí (kukla)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Bourec morušový	23,1	14,1	N/A	1,2	9,6
Zavíječ voskový	38,8	51,4-58,6	8,92	2,2-3,3	N/A
Cvrček domácí	59-72	10-23	5	5	N/A
Referenční bílkoviny	Hrubé bílkoviny (% sušiny)	Celkový tuk (% sušiny)	Sacharidy a polysacharidy (% sušiny)	Popel (% sušiny)	Energie (MJ/kg sušiny)
Vejce	51,3	38,5	5,4	3,8	575
Kravské mléko, polotučné	32	14,6	46,6	6,8	193
Hovězí maso, kýta	90,3	5,3	0	4,5	427
Kuřecí maso, prsa, bez kůže	90,5	4,8	0	5,2	429
Kasein	93,7	2,1	0	4,2	15

\* N/A = not available (není k dispozici)

Kukly mouchy domácí (*Musca domestica*), cvrček domácí (*Acheta domestica*) a potemník moučný (*Tenebrio molitor*) obsahují vysoké procento bílkovin (od 46 % až do 76 %). Obecně platí, že v sušině mají larvy vyšší obsah tuku než dospělci. Nejvíce tuku obsahuje zavíječ voskový (*Galleria mellonella*), následován potemníkem brazilským (*Zophobas morio*). Tuk se u uvedeného vzorku z cca 80 % vyskytuje ve formě triacylglycerolu, zbylých 20 % je ve formě fosfolipidů. Hmyz může obsahovat až 10 % vlákniny, na kterou jsou z uvedených druhů nejbohatší kukly mouchy domácí (*Musca domestica*) (Hawkey et al. 2021).

Složení mastných kyselin hmyzího tuku je srovnatelné s tukem drůbežím nebo rybím. Hmyzí tuk ale obsahuje více polynenasycených mastných kyselin. Naproti tomu maso vepřové a hovězí obsahuje velmi málo polynenasycených mastných kyselin, nejvýznamnější složkou

jejich tuku jsou mononenasyčené mastné kyseliny. Hmyzí tuk ovšem neobsahuje žádné EPA (kyselina eikosapentaenová) (C20:5) ani DHA (kyselina dokosahexaenová) (C22:6), které jsou doporučovány jako prevence kardiovaskulárních chorob (Rumpold & Schlüter 2013).

Payne et al. (2016), kteří zkoumali, zda je hmyz z nutričního hlediska vhodnější než tradiční zdroje bílkovin, použili 183 veřejných zdrojů o nutričním složení svaloviny a vnitřností v syrovém stavu z běžně dostupných zdrojů masa – konkrétně šlo o maso hovězí, vepřové a kuřecí. Vše srovnali se šesti komerčně dostupnými druhy hmyzu. Při vzájemném porovnání použili dvě metody – Ofcom model a model Nutrient Value Score (NVS), pro srovnání výsledků použili Bonferroniho korekci (hodnota P). Výsledkem podle modelu Ofcom bylo, že hmyz není výrazně „zdravější“ než masné výrobky. Naproti tomu pomocí NVS bylo zjištěno, že cvrčci, potemník moučný a *Rhynchophorus ferrugineus* mají vhodnější složení nutričních hodnot než hovězí maso a kuřecí maso.

Hmyz s vysokým obsahem bílkovin má naopak nižší energetické hodnoty (Kouřimská & Adámková 2016). Ramos-Elorduy et al. (1997) analyzovali 78 druhů hmyzu a odhadli jejich energetickou hodnotu v rozmezí od 293 do 762 kcal na 100 g sušiny.

### 3.3.4 Moderní metody určení kvality bílkovin

Kvalita bílkovin je podstatným faktorem, který nás ve výživě zajímá. Určit kvalitu bílkovin můžeme posouzením vhodnosti složení esenciálních aminokyselin, měřením stravitelnosti nebo biologickou dostupností aminokyselin. K hodnocení kvality bílkovin existuje několik měřících stupnic a technik (Hoffman & Falvo 2004).

#### 3.3.4.1 Biologická hodnota

Biologická hodnota bílkovin je nejpoužívanější ukazatel kvality bílkoviny. Stanovuje, kolik gramů tělesných bílkovin může být vytvořeno ze 100 gramů proteinu ve stravě. Její hodnota značí jak množství a spektrum esenciálních aminokyselin, tak i využitelnost a stravitelnost bílkoviny z dané potraviny (Konopka 2004). Udává, jak efektivně tělo využívá bílkoviny přijaté potravou (Hoffman & Falvo 2004). Čím je biologická hodnota vyšší, tím více esenciálních aminokyselin bílkovina obsahuje (Hoffman & Falvo 2004) a tělo je následně schopno danou aminokyselinu využít k syntéze bílkovin tělu vlastních (Roubík 2018).

Živočišné zdroje bílkovin jsou považovány za bílkoviny s vyšší biologickou hodnotou než rostlinné, a to proto, že rostlinným bílkovinám obvykle chybí jedna nebo dvě aminokyseliny, které jsou pro lidský organismus esenciální (například lysin a methionin) a tudíž nezbytné (Hoffman & Falvo 2004).

#### 3.3.4.2 Aminokyselinové skóre

Aminokyselinové skóre, dříve chemické skóre, určuje efektivnost, s jakou může pokrýt absorbovaný dusík z potravy potřebu nepostradatelných aminokyselin. Toho se dosáhne porovnáním obsahu limitující aminokyseliny v bílkovině s obsahem aminokyseliny ve vzorku (WHO 2007; FAO 2013).

### 3.3.4.3 PDCAAS

Od roku 1989 je jako preferovaná metoda pro měření a srovnávání kvality konkrétní bílkoviny v lidské výživě doporučeno používání PDCAAS (Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score). WHO (World Health Organization – Světová zdravotnická organizace), FAO (Food and Agriculture Organization – Organizace pro výživu a zemědělství) a UNU (United Nations University – Univerzita OSN) společně definovaly a posléze několikrát upřesnily tři tzn. ideální bílkoviny – pro kojence do 6 měsíců, pro děti od 6 měsíců do 3 let a pro všechny osoby starší 3 let. Ideální bílkovina je referenčním základem pro určení aminokyselinového skóre. Toto skóre určíme tak, že vydělíme množství konkrétní aminokyseliny obsažené ve vzorku zkoumané bílkoviny množstvím stejné aminokyseliny v ideální bílkovině o stejné hmotnosti a výsledek vyjádříme v procentech. Dle Rubenova zákona limitní aminokyseliny – využití všech aminokyselin je závislé na obsahu relativně nejméně zastoupené aminokyseliny – je pak jako aminokyselinové skóre pro výpočet PDCAAS použita nejnižší zjištěná hodnota pro relativně nejméně zastoupenou aminokyselinu (první limitní aminokyselina) (FAO 2013).

Metodika PDCAAS následně vyžaduje, aby byla zohledněna i stravitelnost bílkoviny. Měřením množství bílkoviny vyloučeném na konci trávicího traktu se přibližně určí, kolik procent aminokyseliny bylo stráveno. Vynásobením aminokyselinového skóre pro první limitující aminokyselinu jejím indexem stravitelnosti pak dostaneme výsledné PDCAAS, tedy:

$$\text{PDCAAS (\%)} = \text{aminokyselinové skóre první limitující AK} \times \text{index stravitelnosti první limitující AK}$$

Pokud je výsledná hodnota větší než 1 (tedy větší než 100 %) považuje se za PDCAAS pro danou bílkovinu hodnota 1. Zdánlivou (fekální) stravitelnost zjistíme jako rozdíl mezi množstvím přijatého krmiva a množstvím živin vyloučených ve výkalech. Pro získání skutečné (ileální) stravitelnosti potřebné pro výpočet PDCAAS musíme dále z výkalů odečíst endogenní živiny, tedy bílkoviny, které pocházejí přímo z těla zvířete (FAO 2013).

K metodě lze mít několik výhrad. Metoda nadhodnocuje nutriční hodnotu bílkoviny, protože dusík je částečně vylučován i močí. Metoda také nadhodnocuje skóre u starších osob. Pravděpodobně je to způsobeno referenčními hodnotami, které jsou založené na mladých jedincích a antinutričních faktorech (Sarwar 1997). Mezi antinutriční faktory řadíme například lektiny a třísloviny, které jsou přítomny v některých rostlinných bílkovinách, jako je sójový šrot, hrách, fazole a které zvyšují ztráty endogenních bílkovin v terminálním ileu (Salgado et al. 2002). Odborníci se shodují, že spíše, než zdánlivá stravitelnost je správným parametrem stravitelnost skutečná (ileální) (Schaafsma 2000).

### 3.3.4.4 DIAAS

V reakci na nedokonalosti PDCAAS byla organizací OSN pro výživu a zemědělství (FAO) v roce 2013 zveřejněna novější metoda DIAAS (Digestible Indispensable Amino Acid Score), která stravitelnost určuje nikoliv měřením bílkoviny na konci trávicího traktu ale měřením

jejího množství na konci tenkého střeva. Takové měření je ovšem velmi komplikované, i z důvodu srovnatelnosti dat, a proto je dodnes PDCAAS standardem při měření hodnoty bílkovin (FAO 2013).

Předpokládá se, že aminokyseliny, které se vstřebávají v této části gastrointestinálního traktu se zapojí do výstavbového metabolismu a jsou využity pro tvorbu vlastních tělesných bílkovin. Nevýhodou této metody je fakt, že nebere v potaz tepelnou úpravu potravin, která ovlivňuje stravitelnost (Marinangeli & House 2017; Craddock et al. 2021).

### 3.4 Rizika spojená s konzumací hmyzích bílkovin

Stejně jako u rostlin nebo u obratlovců, i u hmyzu platí, že některý hmyz je nejedlý nebo není bezpečné ho konzumovat. Jedlý hmyz musí splňovat všechny platné potravinářské zákony, musí pocházet ze spolehlivých a prověřených zdrojů a jejich výrobci musí kvalitu hmyzu testovat podobně jako u jiných potravin (Orkusz 2021). Nesmíme opomenout, že hmyz je taxonomicky blízký k roztočům a korýšům, a proto se mohou u některých lidí vyskytovat alergické reakce, či jiné komplikace. Dále jsou zde chemické a biologické kontaminanty a to zejména, pokud se hmyz žíví organickými zdroji jako jsou výkaly. Například u mouchy bráněnky (*Hermetia illucens*) může docházet k akumulaci olova a u potemníka moučného (*Tenebrio molitor*) zase k akumulaci arsemu (Schrögel & Wätjen 2019).

#### 3.4.1 Alergie

Alergie je abnormální reakce imunitního systému při kontaktu se specifickou látkou. Alergeny můžeme rozdělit na inhalační, injekční a kontaktní. U hmyzu dominují alergeny kontaktní a inhalační, proto hmyz představuje největší riziko pro zaměstnance pěstelských farem (Rumpold & Schlüter 2013).

Orkusz (2021) upozorňuje na určité druhy bílkovin obsažené v jedlém hmyzu, včetně např. argininkinázy obsažené mimo jiné i v korýších, které jsou potenciálním zdrojem alergií. Kromě argininkinázy řadíme k běžným alergenům, souvisejících s jedlým hmyzem také  $\alpha$ -amylázu a tropomyozin (de Gier & Verhoeckx 2018; Imathiu 2020).

Existuje několik studií prokazujících zkříženou alergickou reakci u pacientů alergických na korýše s alergií na specifické proteiny tří druhů potemníků včetně v průmyslu hojně využívaného potemníka moučného. Alergická reakce byla pozorována i po tepelné úpravě tohoto proteinu. Zkřížená alergie byla pozorována i u pacientů alergických na krevety při konzumaci cvrčků. Jak již bylo zmíněno, existují rovněž obavy z rozvoje alergií u zaměstnanců podílejících se na produkci hmyzu z důvodu jejich každodenního kontaktu s ním (Hawkey et al. 2021).

Stull (2021) uzavírá, že ačkoliv konzumace hmyzu může způsobit i těžké a život ohrožující stavy, anafylaktický šok byl při konzumaci hmyzu pozorován pouze ve výjimečných případech.



### 3.4.2 Toxicita

Hmyz je schopen ve svém těle akumulovat pesticidy a různé další chemikálie z krmné směsi. To přináší určitá potenciální rizika spojená s konzumací hmyzu. Také pravidelná konzumace některých specifických chemických látek, které se v určitých druzích hmyzu vyskytují (např. testosteron a jiné steroidy), mohou způsobovat růstové abnormality, otoky nebo poruchy plodnosti. Některý hmyz zase produkuje přírodní toxiny na svou vlastní ochranu (Hawkey et al. 2021).

Stull (2021) komentuje studii provedenou na kobylkách a kuklách bource morušového, která potvrdila vysoké koncentrace histidinu v obou zkoumaných druzích. Histidin může být následně bakteriemi rozložen na histamin, který v potravině zůstává i po její tepelné úpravě a může způsobovat vyrážky, nevolnost, zvracení a další komplikace.

Hmyz také může z krmné směsi akumulovat těžké kovy. Hyun et al. (2012) zkoumali mimo jiné i obsah těžkých kovů jako je rtuť a kadmium v kobylce luční. Došli k závěru, že výsledný obsah je nízký a nepředstavuje tak pro člověka riziko. Oonincx & Finke (2021) upozorňují na to, že larvy potemníka moučného akumulují arzen, ale bez ohledu na krmnou směs neakumulují měď, zinek, olovo nebo kadmium. Další studie - Diener et al. 2015, které potvrzuje, že konkrétní druhy hmyzu jsou schopny akumulovat některé konkrétní těžké kovy, pokud jsou součástí jejich krmné směsi.

### 3.4.3 Patogeny

Zatím existuje velmi málo studií, které by zkoumali obsah potenciálně nebezpečných mikrobů v zažívacím traktu hmyzího těla. Bezobratlí živočichové, včetně hmyzu, mohou být napadeni, stejně jako člověk, patogenními bakteriemi rodu *Escherichia*, *Staphylococcus* a *Bacillus* (Grabowski & Klein 2017). Hawkey et al. (2021) doporučují snížit toto riziko tím, že před zpracováním necháme hmyz nějakou dobu hladovět. Zároveň upozorňuje, že mikrobiální obsah zažívacího traktu hmyzu lze ovlivnit krmnou směsí nebo dokonce jeho pěstováním v aseptickém prostředí. V masovém měřítku je ovšem produkce v aseptickém prostředí prakticky neproveditelná. Následné zpracování (mytí a především zahřátí) může riziko bakteriální nebo parazitární infekce u konzumenta významně snížit.

### 3.4.4 Antinutrienty

Antinutrienty jsou látky které snižují schopnost organismu vstřebávat základní živiny. Tyto látky jsou běžnější u potravin rostlinného původu a u konzumenta mohou vyvolat i nepříznivé zdravotní účinky. Vždy to závisí na druhu a koncentraci antineutrinu v potravině (Imathiu 2020). Takových látek existuje celá řada a některé z nich byly identifikovány i v některých druzích jedlého hmyzu – například fytát, oxalát nebo tanin. Fytáty a tyniny byly zjištěny u kobylek, termitů a brouků (Musundire et al. 2016). Tyto antinutrienty může hmyz buď přímo syntetizovat nebo je druhotně absorbovat z krmné směsi. Koncentraci antinutrientů lze ovlivnit při zpracování hmyzu (např. zahřátím) (Stull 2021).

## 3.5 Jedlý hmyz v praxi a jeho budoucnost

### 3.5.1 Hmyz jako potravina budoucnosti

Odborníci se shodují, že do roku 2050 bude na planetě Zemi žít okolo 9 miliard lidí. Pro takové množství lidí bude v kombinaci s předpokládaným růstem životní úrovně potřeba téměř zdvojnásobit produkci potravin, což současně zvyšuje tlak na zdroje, jako je půda, oceány, hnojiva, voda a energie. Jedna možnost, jak nakrmit budoucí lidstvo a snížit nepříznivé dopady na zemské klima, je vývoj alternativních zdrojů bílkovin, jako jedlý hmyz (Huis 2013). Rozvíjející se chov hmyzu je také příležitostí pro vytvoření nových pracovních míst nejen rozvinutých, ale také rozvíjejících se zemích, což by mohlo vylepšit životní úroveň zemí (Imathiu 2020). Ve vzdálenější budoucnosti se předpokládá, že jedlý hmyz, bude hlavním zdrojem bílkovin, při cestách do vesmíru. Nejen při samotném letu, ale také při kolonizování nových planet. Výhodou je, že hmyz nezabere příliš mnoho prostoru v kosmické lodi, má vysokou míru reprodukce a snadno se s ním manipuluje (Mitsubishi 2010).

### 3.5.2 Produkty na trhu využívající hmyzí bílkovinu

Protože se hmyz postupně stává mezi lidmi více a více akceptovaným zdrojem bílkovin, na trhu se již dnes můžeme setkat s celou řadou produktů, které jsou určeny ke krmení zvířat, jako jsou psí granule nebo různé pamlsky. Objevují se i produkty určené k lidské konzumaci, například proteinové tyčinky, těstoviny či mouka. Při produkci krmiv se nejčastěji používají larvy mouchy bráněnký (*Hermetia illucens*). V lidské výživě pak výrobci nejčastěji volí cvrččí protein (cvrček domácí *Acheta Domestica*) (Brit 2022; Sens Food 2020).

Na českém trhu se v roce 2016 objevila značka Sens, která používá zmiňovaný cvrččí protein, jako hlavní zdroj bílkovin. Je to první firma v ČR, která s produktem obohaceným o hmyzí protein na trh přišla. Proteinové tyčinky Sens obsahují 20 % cvrččího proteinu, který je dále doplněn proteinem z fazolí Fava a dýňovým proteinem. V těstovinách stejné značky bylo použito 10 % cvrččího proteinu. Ukázka portfolia produktů firmy SensFood je na obrázku 4 (Sens Food 2020).



Obrázek 4 Produkty zakoupené na e-shopu Sens Food (foto autorka 2022)

Dalším produktem na českém trhu je značka Entoway, kterou založil dvaadvacetiletý student z Brna. Pod touto značkou vyrábí proteinové směsi s obsahem jedlého hmyzu pro sportovce, konkrétně používá larvy potemníka moučného a stájového či cvrčka domácího. Na obrázku 5 lze vidět produkt Entoway, obsahují 20 % prášku z jedlého hmyzu, doplněný o hrachový a rýžový protein (Entoway 2022).



Obrázek 5 Entoway - Proteinblend 500 g (Entoway 2022)

Slané pochoutky z hmyzu prodává značka WormUp, která má sídlo ve Vamberku. Produkty obsahují průměrně 96 % larev potemníka moučného ochucené různými druhy koření, například česnek, kari, chilli či slaná skořice, které můžeme vidět na obrázku 6 (WormUP 2022).



Obrázek 6 WormUP - Degustační balení Křupavých červíků 5 x 20 g (WormUP 2022)

První firma na českém trhu využívající příměs hmyzího proteinu do svých produktů určených k výživě psů, je společnost Vafo, která pod značkou Brit vyrábí psí granule nazvané Brit Care Dog Insect a Brit Care Crunchy Cracker. Brit produkty obsahují 14 % hmyzího proteinu, který je kombinován s jinými zdroji bílkovin, jako je například králičí, jehněčí, krůtí, lososový, či tuňákový. Na obrázku 7 lze vidět produkt z řady Brit Care Dog Hair & Skin s hmyzím a rybím proteinem (Brit 2022).



Obrázek 7 Brit Care Dog Hair & Skin. Insect&Fish (Brit 2022)

Další alternativou pro chovatele domácích mazlíčků může být krmivo Yora, britská značka založena v Brightonu. Výrobce uvádí, že krmivo pro dospělé psy obsahuje 40 % hmyzu, konkrétně – moučka 26,2 %, celé granulované larvy 8,3 %, hmyzí olej 5,5 %, a žádnou jinou bílkovinu získanou z živočišných zdrojů. V krmivu pro kočky pak výrobce uvádí dokonce 62,5 % hmyz (moučka 40 %, celé granulované larvy 19,5 %, hmyzí olej 3 %) a zase žádný jiný zdroj živočišné bílkoviny. Yora krmivo s hmyzem pro kočky můžeme vidět na obrázku 8 (Yora 2022). U produktu s takto vysokým obsahem hmyzího proteinu by ovšem bylo zajímavé znát jeho palatabilitu a míru přijetí krmiva psy.



Obrázek 8 Yora krmivo s hmyzem pro kočky 1,5 kg (Yora 2022)

## 4 Závěr

Současné studie potvrzují, že hmyz by se mohl stát zajímavým alternativním zdrojem výživy člověka a hospodářských zvířat, a to i v průmyslovém měřítku. Většina jedlého hmyzu obsahuje dostatek bílkovin potřebných pro lidský organismus. Obsah a složení tuku závisí na druhu, vývojovém stádiu, stravě nebo pohlaví hmyzu. Složení mastných kyselin hmyzího tuku je srovnatelné s tukem drůbežím nebo rybím. Hmyz ale takřka neobsahuje žádné sacharidy. Naproti tomu vláknina je zastoupena ve značném množství. S výjimkou vápníku, který je u hmyzu obecně obsažen v menším množství, je většina ostatních minerálů zastoupena v dostatečném množství nutném pro výživu člověka i hospodářských zvířat.

Stravitelnost hmyzí bílkoviny u posuzovaného vzorku byla srovnatelná s drůbežím masem a pouze mírně nižší než stravitelnost kaseinu. Nižší stravitelnost mouchy bráněnky je způsobena hlavně sírou obsaženou v metioninu a cystinu. Stravitelnost obecně klesá s obsahem chitinu.

Z posuzovaných druhů hmyzu obsahují vysoké procento bílkovin kukly mouchy domácí, cvrček domácí a potemník moučný. Nejvíce tuku obsahuje zavíječ voskový, následován potemníkem brazilským. Larvy mají obecně vyšší obsah tuku než dospělci. Na vlákninu jsou z vybraných druhů nejbohatší kukly mouchy domácí.

Hmyz představuje vhodný alternativní zdroj bílkovin pro výživu člověka i hospodářských zvířat. Pro vyhodnocení jeho stravitelnosti jsou však nutné další studie především ty klinické. Další studie jsou potřebné na podrobnější popis rizik spojených s konzumací hmyzu, zvláště se zaměřením na obsah a akumulaci toxických látek a případně i na mikrobiologickou kvalitu hmyzu. Do legislativy zřejmě bude třeba zařadit jedlý hmyz jako možný alergen.



## 5 Citovaná literatura

- Agbidye FS, Ofuya TI, Akindele SO. 2009. Marketability and Nutritional Qualities of Some Edible Forest Insects in Benue State, Nigeria. *Pakistan Journal of Nutrition* **8**:917-922.
- Baiano A. 2020. Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. *Trends in Food Science* **100**:35-50.
- Bezpečnost potravin. 2022. Hmyz: Informace o uvedení hmyzu jako nové potraviny na trh. Ministerstvo zemědělství, Praha. Available at <https://www.bezpecnostpotravin.cz/kategorie/hmyz.aspx> (accessed April 2022).
- Bezpečnost potravin. 2013. Mastné kyseliny. Ministerstvo zemědělství, Praha. Available at <https://www.bezpecnostpotravin.cz/az/termin/92250.aspx> (accessed February 2022).
- Bezpečnost potravin. 2016. Minerální látky. Ministerstvo zemědělství, Praha. Available at <https://www.bezpecnostpotravin.cz/az/termin/76795.aspx> (accessed January 2022).
- Blásquez JR-E, Moreno JMP, Camacho VHM. 2012. Could Grasshoppers Be a Nutritive Meal?. *Food and Nutrition Sciences* **03**:164-175.
- Bosch G, Vervoort JJM, Hendriks WH. 2016. In vitro digestibility and fermentability of selected insects for dog foods. *Animal Feed Science and Technology* **221**:174-184.
- Bosch G, Zhang S, Oonincx D, Hendriks W. 2014. Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods. *Journal of Nutritional Science* (e29) DOI: 10.1017/jns.2014.23.
- Brit. 2022. Brit Care Dog Hair & Skin. Insect&Fish. VAFO PRAHA, Praha. Available from <https://krmivo-brit.cz/cs/produkty/psi/579969-brit-care-dog-hair-andamp-skin-insectandamp-fish> (accessed January 2022).
- Chen X, Feng Y, Chen Z. 2009. Common edible insects and their utilization in China. *Entomological Research* **39**:299-303.
- Craddock JC, Genoni A, Strutt EF, Goldman DM. 2021. Limitations with the Digestible Indispensable Amino Acid Score (DIAAS) with Special Attention to Plant-Based Diets: a Review. *Current Nutrition Reports* **10**:93-98.
- Cutrignelli M, Messina M, Tulli F, Randazzo B, Olivotto I, Gasco L, Loponte R, Bovera F. 2018. Evaluation of an insect meal of the Black Soldier Fly ( *Hermetia illucens* ) as soybean substitute: Intestinal morphometry, enzymatic and microbial activity in laying hens. *Research in Veterinary Science* **117**:209-215.
- de Castro R, Ohara A, Aguilar J, Domingues M. 2018. Nutritional, functional and biological properties of insect proteins: Processes for obtaining, consumption and future challenges. *Trends in Food Science & Technology* **76**:82-89.
- de Gier S, Verhoeckx K. 2018. Insect (food) allergy and allergens. *Molecular Immunology* **100**:82-106.
- Derrien, C., Boccuni, A. 2018. Current Status of the Insect Producing Industry in Europe. Pages 471-479 In: Halloran A, Flore R, Vantomme P, Roos N, editors. *Edible Insects in Sustainable Food Systems*. Springer, Switzerland.

- Diener S, Zurbrügg C, Tockner K. 2015. Bioaccumulation of heavy metals in the black soldier fly, *Hermetia illucens* and effects on its life cycle. *Journal of Insects as Food and Feed* **1**:261-270.
- EFSA. 2021. Novel food. European Food Safety Authority. Available at <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/novel-food> (accessed September 2021).
- Entoway. 2022. Proteinblend 500g. NutrieM, Brno. Available from <https://entoway.com/products/entoway-proteinblend> (accessed January 2022).
- Evropská komise (EU). 2021. NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2021/1372 ze dne 17. srpna 2021, kterým se mění příloha IV nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 999/2001, pokud jde o zákaz krmení nepřežvýkavých hospodářských zvířat jiných než kozešinových zvířat živočišnými bílkovinami. *Belgie*.
- FAO. 2013. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: report of an FAO expert consultation, 31 March-2 April, 2011, Auckland, New Zealand. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Fernandes J, Tavaría F, Soares J, Ramos Ó, João Monteiro M, Pintado M, Xavier Malcata F. 2008. Antimicrobial effects of chitosans and chitooligosaccharides, upon *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*, in food model systems. *Food Microbiology* **25**:922-928.
- Finke MD. 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology* **21**:269-285.
- Finke MD. 2007. Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biology* **26**:105-115.
- Finke MD, DeFoliart GR, Benevenga NJ. 1989. Use of a Four-Parameter Logistic Model to Evaluate the Quality of the Protein from Three Insect Species when Fed to Rats. *The Journal of Nutrition* **119**:864-871.
- Grabowski N, Klein G. 2017. Microbiology of cooked and dried edible Mediterranean field crickets (*Gryllus bimaculatus*) and superworms (*Zophobas atratus*) submitted to four different heating treatments. *Food Science and Technology International* **23**:17-23.
- Hartmann C, Shi J, Giusto A, Siegrist M. 2015. The psychology of eating insects: A cross-cultural comparison between Germany and China. *Food Quality and Preference* **44**:148-156.
- Hawkey K, Lopez-Viso C, Brameld J, Parr T, Salter A. 2021. Insects: A Potential Source of Protein and Other Nutrients for Feed and Food. *Annual Review of Animal Biosciences* **9**:333-354.
- Hoffman J, Falvo M. 2004. PROTEIN – WHICH IS BEST?. *The Journal of Sports Science and Medicine* **3**:118-130.
- Huis A. 2013. Edible insects: future prospects for food and feed security. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Hyun S-H, Kwon KH, Park K-H, Jeong HC, Kwon O, Tindwa H, Han YS. 2012. Evaluation of nutritional status of an edible grasshopper, *Oxya Chinensis Formosana*. *Entomological Research* **42**:284-290.
- Imathiu S. 2020. Benefits and food safety concerns associated with consumption of edible insects. *NFS Journal* **18**:1-11.



- JR Unique Foods Ltd., Part. 2021. House crickets (*Acheta domestica*). JR Unique Foods, Thailand. Available from <https://jrunique.com/product/whole-acheta-cricket/> (accessed April 2022).
- Khusro M, Andrew N, Nicholas A. 2012. Insects as poultry feed: a scoping study for poultry production systems in Australia. *World's Poultry Science Journal* **68**:435-446.
- Konopka P. 2004. *Sportovní výživa*. Kopp, České Budějovice.
- Kouřimská L, Adámková A. 2016. Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal* **4**:22-26.
- Kouřimská L, Kotrbová V, Kulma M, Adámková A, Mlček J, Sabolová M, Homolková D. 2020. Attitude of assessors in the Czech Republic to the consumption of house cricket *Acheta domestica* L. – A preliminary study. *Czech Journal of Food Sciences* **38**:72-76.
- Kubincová P, Novák J, Sovadinová I. 2016. Nový přístup při stanovení akutní systémové toxicity. *Chemické listy* **110**:118-125.
- Kulma M, Kouřimská L, Plachý V, Božik M, Adámková A, Vrabec V. 2019. Effect of sex on the nutritional value of house cricket, *Acheta domestica* L. *Food Chemistry* **272**:267-272.
- Küršner R. 2022. Sušený hmyz - Mouční červi. *Krmivohulín.cz*, Hulín. Available from <https://www.krmivahulin.cz/p/suseny-hmyz-moucni-cervi#4497> (accessed April 2022).
- Lamsal P. 2018. Cattle Hygiene Status and Its Relation with Subclinical Mastitis: A Study in Commercial Farms in Rampur, Nepal. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology* **6**:252-254.
- Marinangeli CPF, House JD. 2017. Potential impact of the digestible indispensable amino acid score as a measure of protein quality on dietary regulations and health. *Nutrition Reviews* **75**:658-667.
- Mitsubishi J. 2010. The future use of insects as human food. Pages 115-122 in *Forest insects as food: humans bite back*. FAO of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok.
- Mlcek J, Rop O, Borkovcova M, Bednarova M. 2014. A Comprehensive Look at the Possibilities of Edible Insects as Food in Europe – A Review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* **64**:147-157.
- Mlček J. 2020. *Netradiční druhy potravin - jejich význam, vlastnosti a využití: Non-traditional types of food - their importance, properties and utilization*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín.
- Musundire R, Osuga I, Cheseto X, Irungu J, Torto B, Dickens J. 2016. Aflatoxin Contamination Detected in Nutrient and Anti-Oxidant Rich Edible Stink Bug Stored in Recycled Grain Containers. *PLoS ONE* (e0145914) DOI: 10.1371/journal.pone.0145914.
- Nosowitz D. 2021. The Migratory Locust: It's What's for Dinner. *Modern Farmer Media*. Available from <https://modernfarmer.com/2021/11/insects-as-food-migratory-locust-eu/> (accessed April 2022).

- NutriDatabase.cz. 2020. Centrum pro databázi složení potravin: Databáze složení potravin České republiky. Ústav zemědělské ekonomiky a informací, Praha. Available from <http://www.nutridatabase.cz/> (accessed March 2022).
- Ojha S, Bekhit A, Grune T, Schlüter O. 2021. Bioavailability of nutrients from edible insects. *Current Opinion in Food Science* **41**:240-248.
- Olowu RA, Moronkola BA, Tovide OO, Denloye AA, Awokoya KN, Sunday CE, Olujimi OO. 2012. Assessment of Proximate and Mineral Status of Rhinoceros Beetle Larva, *Oryctes rhinoceros* Linnaeus (1758) (Coleoptera: Scarabaeidae) from Itokin, Lagos State, Nigeria. *Research Journal of Environmental Sciences* **6**:118-124.
- Onsongo V, Osuga I, Gachuri C, Wachira A, Miano D, Tanga C, Ekesi S, Nakimbugwe D, Fiaboe K. 2018. Insects for Income Generation Through Animal Feed: Effect of Dietary Replacement of Soybean and Fish Meal With Black Soldier Fly Meal on Broiler Growth and Economic Performance. *Journal of Economic Entomology* **111**:1966-1973.
- Onyeike EN, Ayalogu EO, Okaraonye CC. 2005. Nutritive value of the larvae of raphia palm beetle (*Oryctes rhinoceros*) and weevil (*Rhyncophorus pheonicis*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* **85**:1822-1828.
- Oonincx D, Finke M. 2021. Nutritional value of insects and ways to manipulate their composition. *Journal of Insects as Food and Feed* **7**:639-659.
- Oonincx D, van Itterbeeck J, Heetkamp M, van den Brand H, van Loon J, van Huis A, Hansen I. 2010. An Exploration on Greenhouse Gas and Ammonia Production by Insect Species Suitable for Animal or Human Consumption. *PLoS ONE* (e14445) DOI: 10.1371/journal.pone.0014445.
- Oonincx DGAB, Dierenfeld ES. 2012. An Investigation Into the Chemical Composition of Alternative Invertebrate Prey. *Zoo Biology* **31**:40-54.
- Oonincx DGAB, van Broekhoven S, van Huis A, van Loon JJA, Papadopoulos NT. 2015. Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food By-Products. *PLoS ONE* (e0222043) DOI: 10.1371/journal.pone.0144601.
- Oonincx DGAB, van Keulen P, Finke MD, Baines FM, Vermeulen M, Bosch G. 2018. Evidence of vitamin D synthesis in insects exposed to UVb light. *Scientific Reports* (e10807) DOI: 10.1038/s41598-018-29232-w.
- Orkus A. 2021. Edible Insects versus Meat—Nutritional Comparison: Knowledge of Their Composition Is the Key to Good Health. *Nutrients* (e1207) DOI: 10.3390/nu13041207.
- Orsi L, Voegelé LL, Stranieri S. 2019. Eating edible insects as sustainable food? Exploring the determinants of consumer acceptance in Germany. *Food Research International* (e108573) DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108573.
- Ozimek L, Sauer WC, Kozikowski V, Ryan JK, Jørgensen H, Jelen P. 1985. Nutritive Value of Protein Extracted from Honey Bees. *Journal of Food Science* **50**:1327-1329.
- Payne CLR, Scarborough P, Rayner M, Nonaka K. 2016. Are edible insects more or less 'healthy' than commonly consumed meats? A comparison using two nutrient profiling models developed to combat over- and undernutrition. *European Journal of Clinical Nutrition* **70**:285-291.

- Raheem D, Raposo A, Oluwole OB, Nieuwland M, Saraiva A, Carrascosa C. 2019. Entomophagy: Nutritional, ecological, safety and legislation aspects. *Food Research International* (e108672) DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108672.
- Raksakantong P, Meeso N, Kubola J, Siriamornpun S. 2010. Fatty acids and proximate composition of eight Thai edible terricolous insects. *Food Research International* **43**:350-355.
- Ramos-Elorduy J, González EA, Hernández AR, Pino JM. 2002. Use of *Tenebrio molitor*/I (Coleoptera: Tenebrionidae) to Recycle Organic Wastes and as Feed for Broiler Chickens. *Journal of Economic Entomology* **95**:214-220.
- Ramos-Elorduy J, Moreno JMP, Prado EE, Perez MA, Otero JL, de Guevara OL. 1997. Nutritional Value of Edible Insects from the State of Oaxaca, Mexico. *Journal of Food Composition and Analysis* **10**:142-157.
- Roos N, van Huis A. 2017. Consuming insects: are there health benefits?. *Journal of Insects as Food and Feed* **3**:225-229.
- Roubík L. 2018. *Moderní výživa ve fitness a silových sportech*. Erasport, s.r.o., Praha.
- Rumpold B, Schlüter O. 2013. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research* **57**:802-823.
- Salgado P, Montagne L, Freire J, Ferreira R, Teixeira A, Bento O, Abreu M, Toullec R, Lallès J. 2002. Legume Grains Enhance Ileal Losses of Specific Endogenous Serine-Protease Proteins in Weaned Pigs. *The Journal of Nutrition* **132**:1913-1920.
- Sarwar G. 1997. The Protein Digestibility–Corrected Amino Acid Score Method Overestimates Quality of Proteins Containing Antinutritional Factors and of Poorly Digestible Proteins Supplemented with Limiting Amino Acids in Rats. *The Journal of Nutrition* **127**:758-764.
- Selenius O, Korpela J, Salminen S, Gallego C. 2018. Effect of chitin and chitooligosaccharide on in vitro growth of *Lactobacillus rhamnosus* GG and *Escherichia coli* TG. *Applied Food Biotechnology* **5**:163-172.
- Sens Food. 2020. Sens Food. Společnost SENS Foods CZ, Praha. Available from <https://damesens.cz/> (accessed January 2022).
- Schaafsma G. 2000. The Protein Digestibility–Corrected Amino Acid Score. *The Journal of Nutrition* **130**:1865S-1867S.
- Schrögel P, Wätjen W. 2019. Insects for Food and Feed-Safety Aspects Related to Mycotoxins and Metals. *Foods* (e288) DOI: 10.3390/foods8080288.
- Stull V. 2021. Impacts of insect consumption on human health. *Journal of Insects as Food and Feed* **7**:695-713.
- Škrabalová B. 2009. *Entomofágie – hmyz na talíři*. [BSc. Thesis]. Masarykova univerzita, Brno.
- Thakur A, Thakur K, Thakur N. 2017. ENTOMOPHAGY (INSECTS AS HUMAN FOOD): A STEP TOWARDS FOOD SECURITY. Department of Food Science and Technology, Dr Y S Parmar University of Horticulture and Forestry, Nauni, Solan (HP) India.
- WHO. 2007. Protein and amino acid requirements in human nutrition: report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. World Health Organization, Geneva.

- Woods MJ, Goosen NJ, Hoffman LC, Pieterse E. 2020. A simple and rapid protocol for measuring the chitin content of *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) larvae. *Journal of Insects as Food and Feed* **6**:285-290.
- WormUP. 2022. WormUP - Degustační balení Křupavých červíků 5 x 20g - Degustační balení 5x 20g. WormUP, Vamberk. Available from <https://www.wormup.com/p/degustacni-baleni-krupavych-cerviku> (accessed January 2022).
- Yora. 2022. Yora Pet Foods, Warninglid. Available at <https://www.yorapetfoods.com/> (accessed April 2022).

Příloha 1: Slovník nejběžnějších latinských a anglických rodových a druhových názvů

<b>Český název</b>	<b>Latinský název</b>	<b>Anglický název</b>
Potemník moučný	<i>Tenebrio molitor</i>	The Yellow mealworm
Potemník stájový	<i>Alphitobius diaperinus</i>	The litter beetle; Lesser mealworm
Potemník brazilský	<i>Zophobas morio</i>	The Morio worm; the superworm
Cvrček domácí	<i>Acheta domestica</i>	The house cricket
Cvrček krátkokřídlý	<i>Gryllodes sigillatus</i>	The tropical house cricket
Cvrček banánový	<i>Gryllus assimilis</i>	The Jamaican field cricket
Cvrček polní	<i>Gryllus campestris</i>	The European field cricket
Moucha bráněnka	<i>Hermetia illucens</i>	The black soldier fly
Bourec morušový	<i>Bombyx mori</i>	The domestic silk moth; The silkworm
Zavíječ voskový	<i>Galleria mellonella</i>	The wax moth
Saranče stěhovavé	<i>Locusta migratoria</i>	The migratory locust
Saranče pustinná	<i>Schistocerca gregaria</i>	The desert locust
	<i>Gonimbrasia belina</i>	The mopane worm
Moucha domácí	<i>Musca domestica</i>	Housefly
Šváb pestrý	<i>Eublaberus distantis</i>	Six spot roach
Šváb smrtihlav	<i>Blaberus craniifer</i>	Death's head cockroach