

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra zoologie a rybářství (FAPPZ)**



**Česká zemědělská  
univerzita v Praze**

**Chov hmyzu na zbytkových a odpadních produktech  
potravinářského průmyslu a zemědělství**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Marie Urbanová**

**Obor studia: Veřejná správa v zemědělství a krajině ABV**

**Vedoucí práce: Ing. Martin Kulma, Ph.D.**



## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Chov hmyzu na zbytkových a odpadních produktech potravinářského průmyslu a zemědělství" 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 3. 5. 2021

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Kulmovi, Ph.D. za opravdu velkou ochotu a pomoc, obzvláště v této obtížné době a také svým rodičům, za podporu při studiu.

# Chov hmyzu na zbytkových a odpadních produktech potravinářského průmyslu a zemědělství

## Souhrn

Tato bakalářská práce je sepsaná jako literární rešerše věnovaná porovnání nutričních hodnot u hmyzu, především z čeledí Gryllidae, Stratiomyidae a Tenebrionidae, který byl experimentálně krměn směsmi složenými z dostupných odpadních a vedlejších produktů ze zemědělského a potravinářského průmyslu. Cílem práce bylo porovnání dostupných dat pro hmyz uvažovaný jako potravina či krmivo a popsat, jaký měla zvolená dieta vliv na obsah bílkovin, tuku a délku vývoje u jednotlivých druhů hmyzu, a na základě těchto hodnot vybrat nejvhodnější vedlejší produkty pro udržitelný chov hmyzu. Z tohoto pohledu byly nejčastěji zkoumány tyto druhy: *Acheta domesticus*, *Alphitobius diaperinus*, *Gryllus bimaculatus*, *Hermetia illucens*, *Teleogryllus testaceus*, *Tenebrio molitor* a *Zophobas morio*.

V práci je popsáno, proč je vlastně tato problematika aktuální, jsou zde vyjmenovány určité výhody a nevýhody chovu hmyzu oproti konvenčním hospodářským zvířatům, kde mezi hlavní výhody patří dobrý poměr konverze krmiva a nižší spotřeba zdrojů. Také je zde popsána nutriční hodnota, technologie chovu hmyzu včetně krmení, a také popis vzniku zbytkových a vedlejších produktů. Hlavní část se zabývá souhrnem dostupných poznatků chovu hmyzu a jejich porovnáním. Z nich vyplývá, že celkově nejlepším přídatkem krmiva jsou především pivovarské mláto a kvasnice, které měly pozitivní dopad na životní cyklus a nutriční složení výše uvedených druhů hmyzu. Dalšími vhodnými produkty jsou například *Brassica rapa*, listy kolokázie a manioku. V práci je také zmíněna nutnost aktualizace legislativy týkající se chovu hmyzu a využití alternativních krmných komponent.

**Klíčová slova:** alternativa, udržitelnost, potravina nového typu, krmivo, technologie chovu

# Rearing of edible insects on food industry and agricultural by-products

## Summary

This bachelor thesis reviewed the available knowledge on insects fed by experimental diets using by-products and waste from agriculture and food industry. The thesis aimed to compare available data for insects as food and feed, particularly from families of Gryllidae, Stratiomyidae and Tenebrionidae from nutritional and life cycle points of view. Also, the study evaluated the components in order to choose the most appropriate side stream material for insect cultivation. According to the obtained data, the most examined species experimentally reared on these types of diets were: *H. illucens*, *T. molitor*, *A. diaperinus*, *Z. morio*, *A. domesticus*, *T. testaceus* and *G. bimaculatus*.

In the introduction, the thesis explains relevance of the research, describes the potential of insects to ease a world protein shortage, where good nutritional value, high conversion and low environmental footprint are the main advantages. Rearing technology and by-products or organic wastes, which may potentially be used for insect feeding, are also presented. Based on the collected data, the brewer's yeast and brewery spent grains are the most promising components, which were proved to have positive influence on both: nutrient content and life characteristics of the insects. Additionally, the turnip-rape, taro and cassava leaves seemed to be also suitable for sustainable and economic production of insects. Finally, the lack of legislative as well as the urgent need for its establishment was highlighted in the thesis.

**Keywords:** alternative, sustainability, novel foods, feed, rearing technology

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Cíl práce.....</b>	<b>2</b>
<b>3 Literární rešerše.....</b>	<b>3</b>
<b>3.1 Proč hledat alternativní zdroje potravy.....</b>	<b>3</b>
3.1.1 Alternativní zdroje potravy.....	3
<b>3.2 Hmyz jako potravina nového typu a krmivo pro hospodářská zvířata.....</b>	<b>5</b>
3.2.1 Výhody.....	6
3.2.2 Nevýhody.....	9
3.2.3 Legislativa.....	10
<b>3.3 Nutriční hodnota hmyzu.....</b>	<b>10</b>
3.3.1 Bílkoviny.....	11
3.3.2 Tuky.....	11
3.3.3 Sacharidy.....	11
3.3.4 Mikroprvky.....	12
<b>3.4 Technologie chovu hmyzu.....</b>	<b>12</b>
<b>3.5 Krmení hmyzu.....</b>	<b>14</b>
<b>3.6 Chov hmyzu na zbytkových produktech.....</b>	<b>14</b>
3.6.1 Zbytkové produkty a potravinový odpad.....	14
3.6.2 Chov <i>Hermetia illucens</i> .....	16
3.6.3 Chov <i>Tenebrio molitor</i> .....	20
3.6.4 Chov <i>Alphitobius diaperinus</i> .....	23
3.6.5 Chov <i>Zophobas morio</i> .....	26
3.6.6 Chov <i>Acheta domesticus</i> .....	27
3.6.7 Chov <i>Teleogryllus testaceus</i> .....	31
3.6.8 Chov <i>Gryllus bimaculatus</i> .....	31
3.6.9 Dřevokazný hmyz.....	33
<b>3.7 Porovnání krmných směsí.....</b>	<b>33</b>
<b>4 Závěr.....</b>	<b>37</b>
<b>5 Seznam literatury.....</b>	<b>38</b>





# 1 Úvod

Organizace FAO předpokládá, že do roku 2050 bude na Zemi již 9 miliard obyvatel a neúprosně se tak blížíme ke kapacitní limitě 10 miliard obyvatel (PRB 2021). S každým novým obyvatelem Země zároveň stoupá spotřeba potravin a poptávka po živočišné bílkovině. Ta je však velmi ekologicky náročná na výrobu, hlavně na spotřebu krmiva a vody. Tím dochází k větší spotřebě rostlinných produktů pro chov užitkových zvířat a klesá jejich dostupnost pro lidskou potravu. Proto se hledají takzvané alternativní zdroje potravin, které budou nutričně hodnotné, ale zároveň méně ekologicky náročné a přispějí tak ke snížení spotřeby surovin na výrobu potravin. Jednou z těchto alternativ je hmyz. Ten se dříve používal především jako krmivo pro exotická či domácí zvířata, dnes však roste jeho využití i jako udržitelného zdroje a částečné náhrady krmiva pro hospodářská zvířata a také pro konzumaci člověka (tzv. entomofágie).

V závislosti na využití potenciálu hmyzu by toto řešení mohlo být velmi ekologicky výhodné a šetrné k životnímu prostředí. Jedlý hmyz představuje případné řešení pro určité naléhavé problémy zhoršování životního prostředí a lidského zdraví v důsledku zemědělské a průmyslové výroby, jako je změna klimatu, podvýživa lidí, nejistota zajištění a dostupnost potravin (van Huis & Oonincx 2017; Wade & Hoelle 2019).

Aby mohl být potenciál hmyzu naplno využit, je nutno zajistit při jeho chovu optimální podmínky pro jednotlivé druhy a najít pro ně vhodný typ krmení. To je právě jedním z nejdůležitějších faktorů v rámci optimalizace technologie chovu ve smyslu hledání kompromisu mezi ekonomikou a ekologií. Hmyz má totiž dobrou schopnost konvertovat bílkoviny z živinově chudších substrátů.

Tato bakalářská práce se zabývá shrnutím relevantních dostupných informací o chovu několika druhů hmyzu na vedlejších a odpadních produktech ze zemědělského a potravinářského odvětví průmyslu. Získané poznatky jsou do budoucna využitelné pro chovatele hmyzu, kteří by díky využití výše uvedených surovin, mohli sklízet kvalitní biomasu za současného zmenšení objemu organického odpadu a znovuvyužití zdrojů člověkem dále nevyužitelných.

## **2 Cíl práce**

Cílem práce bylo sepsání literární rešerše shrnující dostupné informace o chovu hmyzu na zbytkových či odpadních produktech pocházejících z potravinářského průmyslu a zemědělství se zaměřením na životní cyklus a nutriční hodnoty.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Proč hledat alternativní zdroje potravy

Problematika hledání alternativních zdrojů potravy je ve světě s přibývajícím počtem obyvatel stále aktuálnější. Populace Země již nyní přesahuje 7,8 miliard lidí (Worldometer 2021). Ačkoliv se porodnost ve vyspělých zemích stále snižuje (méně než 2,1 porodu na ženu), v rozvojových zemích porodnost neklesá, ani se jinak nemění. S každodenním přírůstkem přes čtvrt milionu lidí se předpokládá, že do roku 2050 se počet obyvatel v některých zemích až zdvojnásobí a například v Angole, Beninu a Nigeru bude zaznamenán i 150% nárůst populace (PRB 2021).

Světová populace tedy do roku 2050 přesáhne 9 miliard obyvatel. Tento počet bude vyžadovat přibližně zdvojnásobení současné produkce potravin na omezeném množství půdy. Globálním oteplováním dochází vlivem sucha ke zmenšování oblastí vhodných k výrobě potravin na celém světě (Dobermann et al. 2017; Kim et al. 2019). Dalším negativním ovlivněním produkce potravin je také změna klimatu a životního prostředí způsobená rozvojem průmyslu (van Huis & Oonincx 2017; Kim et al. 2019).

Mezi lety 2012 a 2050 bude docházet k očekávanému zvýšení poptávky po živočišných bílkovinách o 70 - 80 %, přičemž už současný stav sektoru živočišné výroby způsobuje významné zhoršování kvality životního prostředí (Oonincx & de Boer 2012; Varelas 2019). Hospodářská zvířata také omezují dostupnost potravin, které by mohly být použity k lidské spotřebě (van Huis & Oonincx 2017). Produkce masa totiž využívá velké množství vody a je náročná na prostory. Odhaduje se, že živočišná výroba spotřebovává 30 % zemědělských plodin, 8 % sladkovodních zdrojů a produkuje až 18 % emisí skleníkových plynů (van Huis et al. 2013). V posledních letech ovšem roste povědomí lidí o zdravé stravě a životním stylu, požadují stále více zdravých a výživných potravin s funkčními vlastnostmi (Granato et al. 2020), snaží se žít udržitelným životním stylem, snížit uhlíkovou stopu, šetřit vodu a neprodukovat velké množství odpadků. Proto začíná klesat obliba masných a mléčných výrobků a na vzestupu jsou alternativní zdroje potravy, mezi které patří i jedlý hmyz, který je oproti konvenčním zdrojům považován za ekologický zdroj kvalitních proteinů (Oonincx & de Boer 2012).

#### 3.1.1 Alternativní zdroje potravy

Jak již bylo výše zmíněno, potřeba alternativních a dlouhodobě udržitelných zdrojů potravy neustále stoupá. Jejich dostupnost však závisí na geografických a klimatických podmínkách, a proto se velmi liší v souvislosti s polohou daného regionu. Alternativními zdroji potravy jsou myšleny především náhradní zdroje bílkovin jako například mořské řasy, různé rostlinné proteiny a také hmyz.

##### **Mořské řasy**

Jedlé mořské řasy jsou bohaté na bioaktivní antioxidanty, vlákninu, minerály, vitamíny a polynenasycené mastné kyseliny a hlavně bílkoviny. Dříve se používaly pouze jako želírující a zahušťovací prostředky v potravinářském nebo farmaceutickém průmyslu. Podle

Gullóna et al. (2020) bylo prokázáno, že červené, hnědé a zelené mořské řasy mají pozitivní vlastnosti pro zdraví člověka. Jsou antikarcinogenní, antiobezitní, antidiabetické, protizánětlivé, antivirové, protiplísňové a antibakteriální. Aktivní sloučeniny přítomné v řasách dle stejného kolektivu autorů zahrnují sulfátované polysacharidy, florotaniny, karotenoidy, minerály, peptidy a sulfolipidy, s prokázanými výhodami proti degenerativním metabolickým onemocněním.

## **Rostlinné bílkoviny**

Dalším zdrojem bílkovin jsou rostliny, které jsou velmi oblíbené u vegetariánů a veganů jako náhrada živočišné bílkoviny, která je ale šetrnější k životnímu prostředí. Nejčastěji se jedná o luštěniny, obiloviny a ořechy.

Nejčastěji využívanými luštěninami je hrách *Pisum L.*, cizrna *Cicer L.*, fazole *Phaseolus L.*, čočka *Lens A.* a sója *Glycine L.* přičemž obsah bílkovin v nich dosahuje 17,5 - 34 % (Kočar 2009). Dalšími luštěninami jsou například vigna čínská, kajan indický a fazole mungo, u kterých Butt & Rizwana (2010) zaznamenali obsah bílkovin kolem 25 % a maximální stravitelnost proteinu, která byla nejvyšší u hrachového izolátu s 82 %.

Sójový protein je mimo jiné zdrojem vysoce biologicky kvalitní rostlinné bílkoviny, ale také fytoestrogenů (isoflavonu) využitelných v lékařství, které mohou být součástí hypokalorických diet pro léčbu obezity (Young 1991). Pokud jsou izoláty a koncentráty sójových bílkovin dobře zpracované, mohou sloužit jako jediný zdroj příjmu bílkovin, jejich nutriční hodnota v zásadě odpovídá bílkovinám živočišného původu a jsou dobře snášeny lidmi napříč všemi věkovými kategoriemi.

## **Hmyz**

Tato práce je zaměřena na další z alternativních zdrojů potravy a tím je hmyz. Hmyz sám o sobě významně přispívá k fungování ekosystému na planetě a zajišťování produkce potravin, jelikož napomáhá při opylování rostlin, degradaci biologického odpadu a hubení škůdců a současně slouží jako potrava a krmivo (van Huis 2015; Bußler et al. 2016; Varelas & Langton 2017). Hmyz je také považován za potravinu s uspokojivou kvantitou a kvalitou bílkovin, energie a různých mikroživin (Rumpold & Schlüter 2013). Entomofágie je součástí stravy lidí po celém světě už několik tisíciletí, pro některé kultury naprosto nedílnou. Odhaduje se, že entomofágie praktikují více než dvě miliardy lidí ve 113 zemích světa, zejména v Asii, Africe a Jižní Americe, přičemž se k tomuto účelu používá více než 2000 druhů jedlého hmyzu (Dobermann et al. 2017; Raheem et al. 2019; Varelas 2019).

Nejčastěji využívané druhy hmyzu pro lidskou spotřebu a krmení zvířat jsou zobrazeny v Tabulce 1, která zároveň ukazuje způsoby jejich získávání, v jakém stádiu vývoje a jak jsou využívány. Například včela medonosná (*Apis mellifera*) je plně domestikována a je využívána v lidské stravě a zároveň v lékařství, jelikož produkuje med, včelí jed a kašičku, které jsou všechny hojně využitelné.

**Tabulka 1: Celosvětově nejčastěji využívané druhy jedlého hmyzu**

Druh hmyzu	Vývojové stadium	Zdroj	Použití
<i>Bombyx mori</i>	Larva, pupa	Chov	Lidská potrava, krmivo pro zvířata
<i>Tenebrio molitor</i>	Larva	Chov	Lidská potrava, krmivo pro domácí mazlíčky, zvířata v ZOO a ryby
<i>Galleria mellonella</i>	Larva	Chov	Lidská potrava, model pro studium lidských nemocí
<i>Rhynchophorus ferrugineus</i>	Larva, pupa	Polodomestikace	Lidská potrava
<i>Rhynchophorus phoenicis</i>	Larva	Polodomestikace	Lidská potrava
<i>Acheta domesticus</i>	Dospělec	Chov	Lidská potrava, krmivo pro domácí mazlíčky, extrakce bílkovin
<i>Gryllus bimaculatus</i>	Dospělec	Chov	Krmivo pro zvířata
<i>Imbrasia belina</i>	Larva (houseska)	Chov	Lidská potrava
<i>Lucilia sericata</i>	Larva (červ)	Polodomestikace	Potrava pro zvířata a ryby, lékařské ošetření
<i>Omphisa fuscidentalis</i>	Larva	Polodomestikace	Lidská potrava
<i>Oecophylla smaragdina</i>	Dospělec, larva, pupa, vajíčko	Polodomestikace	Lidská potrava, použití v lékařství
<i>Patanga succincta</i>	Dospělec	Sběr	Lidská potrava
<i>Oxya spp.</i>	Dospělec	Sběr	Lidská potrava
<i>Locusta migratoria</i>	Dospělec, nymfa	Chov, sběr	Lidská potrava, krmivo pro domácí mazlíčky, návnada pro ryby
<i>Apis mellifera</i>	Dospělec, larva	Chov, polodomestikace	Lidská potrava, lékařské použití (včelí jed, propolis, mateří kašička)
<i>Hermetia illucens</i>	Larva	Chov	Lidská potrava, krmivo pro zvířata
<i>Macrotermes spp.</i>	Dospělec	Sběr	Lidská potrava
<i>Encosternum spp.</i>	Dospělec	Sběr	Lidská potrava
<i>Vespa spp.</i>	Larva	Sběr	Lidská potrava
<i>Panchoa marginata</i>	Larva	Chov	Lidská potrava, krmivo pro zvířata a ryby

Zdroj: Upraveno podle Varelas (2019)

V současnosti je jedlý hmyz získáván především sběrem, dále pak částečnou domestikací hmyzu ve volné přírodě (venkovní zemědělství), kdy hmyz není od divoké populace izolován a chovem (van Huis et al. 2013). Ačkoliv je celosvětově stále 92 % druhů sklízeno z přírody, tedy dlouhodobě neudržitelnou cestou znemožňující adekvátní růst produkce, polodomestikace a chov hmyzu mají potenciál do budoucna toto změnit a zajistit jeho udržitelnější zásobování (Varelas & Langton 2017).

V rámci Evropské unie se pro lidskou spotřebu chovají především cvrček domácí (*Acheta domesticus*), saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*), potemník stájový (*Alphitobius diaperinus*), potemník moučný (*Tenebrio molitor*), potemník brazilský (*Zophobas morio*), bourec morušový (*Bombyx mori*), zavíječ voskový (*Galleria mellonella*), cvrček banánový (*Gryllus assimilis*) a saranče pustinná (*Schistocerca gregaria*) (MZe, 2021).

### 3.2 Hmyz jako potravina nového typu a krmivo pro hospodářská zvířata

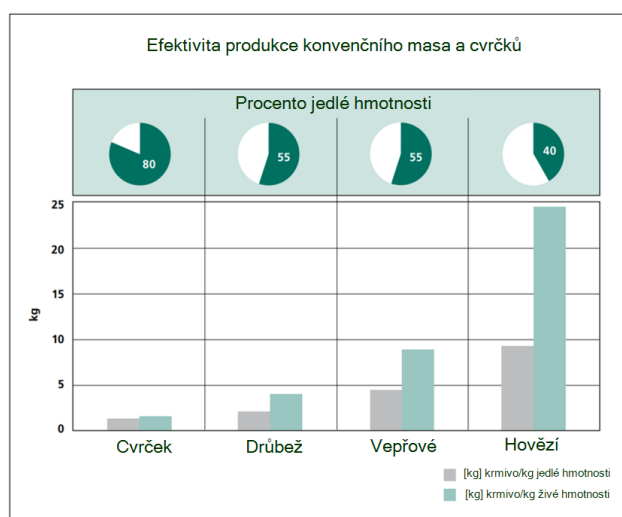
Entomofágie je ve světě a v různých kulturách již stovky let, ve spoustě zemí však doposud není chápána jako normální, přirozená. Poté, co organizace pro výživu a zemědělství (FAO) začala propagovat hmyz jako vhodnou stravovací možnost pro člověka, zájem o jedlý hmyz rychle vzrostl (van Huis et al. 2013; Kim et al. 2019; Wade & Hoelle 2019). Díky tomu se v Evropě a USA, kde je dlouhodobý trend vysokého příjmu masa, nachází momentálně nejrychleji rostoucí průmysl chovu hmyzu (Mlček et al. 2014). Vzhledem k tomu, že v mírném podnebném pásu pro chov hmyzu nejsou vhodné podmínky a chybí i know-how, tento trend by mohl v rozvojových zemích napomoci k tvorbě nových pracovních příležitostí a generování příjmu. Chov by zde probíhal na znehodnocených potravinách zde vzniklých, které nejsou lidmi dále využitelné (Halloran et al. 2017).

### 3.2.1 Výhody

#### Účinnost konverze krmiva

Velkou výhodou hmyzu je jeho schopnost účinně konvertovat (tedy přeměňovat) krmivo, díky tomu, že je poikilotermní a neplýtvá přijatou energií výrobou tepla. Účinnost konverze je jeden z hlavních důvodů, proč se hmyz vůbec považuje za potenciálně udržitelný zdroj bílkovin (Nakagaki & deFoliart 1991). Vysoká účinnost ale vyžaduje vhodnou stravu, proto je nutné znát nutriční požadavky jednotlivých druhů hmyzu. Oonincx et al. (2015) zjistil, že u několika druhů hmyzu existují náznaky velmi efektivní akumulace bílkovin. Potenciál cvrčků a jiného hmyzu jako zdroje bílkovin méně náročného na životní prostředí a zdroje, než běžná hospodářská zvířata z velké části závisí právě na jejich účinnosti přeměny krmiva, obzvláště pak při krmení stravou na bázi zrna (Lundy & Parrella 2015). Kapitola „Chov hmyzu na zbytkových produktech“ na straně 14 udává podrobnější informace o experimentech podporující toto tvrzení.

Na produkci jednoho kilogramu kvalitního živočišného proteinu je u kuřat spotřebováno zhruba 2,5 kg krmiva, pro vepřové maso je to 5 kg a pro hovězí maso 10 kilogramů krmiva (van Huis et al. 2013). Například cvrček *Acheta domesticus* vyžaduje na produkci 1 kg biomasy za optimálních podmínek pouze 1,7 kg krmiva. Dále se musí zohlednit konzumovatelná část těl hospodářských zvířat, kterou Nakagaki & DeFoliart (1991) odhadli u kuřat a prasat na 55 % a 40 % u skotu. Cvrčkům přiřadili až 80 %. Na Obrázku 1 je tato účinnost konverze krmiva graficky zobrazena. Cvrčci jsou tedy dvakrát účinnější v konvertování než drůbež, čtyřikrát než prasata a až dvanáctkrát více než skot.



**Obrázek 1:** Účinnost produkce konvenčního masa a cvrčků. Zdroj: upraveno podle van Huis et al. (2013).

Potemník moučný (*T. molitor*) dokáže ze stravy využít 22 - 45 % bílkovin, larvy *H. illucens* 43 - 55 % a šváb argentinský (*Blaptica dubia*) pomocí endosymbiontů dokonce 51 - 88 %. Oproti tomu drůbež přeměňuje pouze 33 % bílkovin z optimální stravy na jedlou tělesnou hmotu. To ukazuje, že úroveň účinnosti konverze bílkovin je ve srovnání s běžnými hospodářskými zvířaty vysoká i bez úpravy stravy. Optimalizace stravy hmyzu za použití

konvenčních zdrojů by sice měla za následek efektivnější využití bílkovin, ale zároveň by se výrazně snížila udržitelnost a ekonomicky výhodnější způsob produkce hmyzu. Nejvýhodnějším řešením v rámci krmení hmyzu je tedy zapojení málo používaných nebo nepoužívaných substrátů jako jsou organické vedlejší produkty potravinářského průmyslu a zemědělství, čímž sice nelze dosáhnout absolutně nejvyšší konverze, ovšem jedná se o způsob výhodný z hlediska ekologického a ekonomického (Ooninx et al. 2015; Halloran et al. 2017).

### Spotřeba vody a půdy

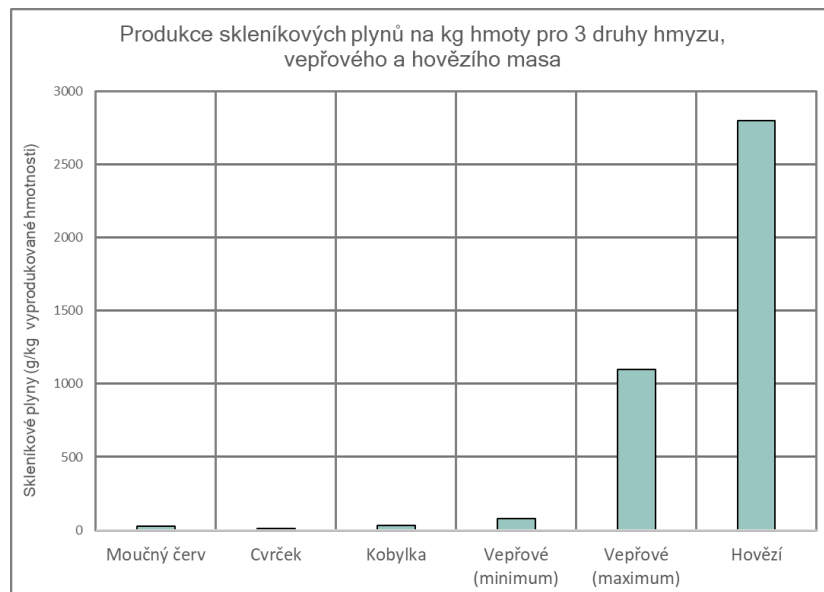
Přímé použití vody ve výrobním zařízení *T. molitor* představuje pouze zlomek vody (včetně dešťové) potřebné k výrobě krmiva (van Huis & Ooninx 2017). Zároveň *T. molitor* ve srovnání s kuřetem vyžaduje na výrobu 1 g jedlého proteinu dvakrát až třikrát méně půdy a o 50 % méně vody (Ooninx & de Boer 2012). Ve srovnání s hovězím masem vyžaduje gram jedlé bílkoviny 8–14krát méně půdy a přibližně pětkrát méně vody.

Lundy & Parrella (2015) také uvádějí, že v porovnání s hospodářskými zvířaty konzumuje hmyz výrazně méně vody.

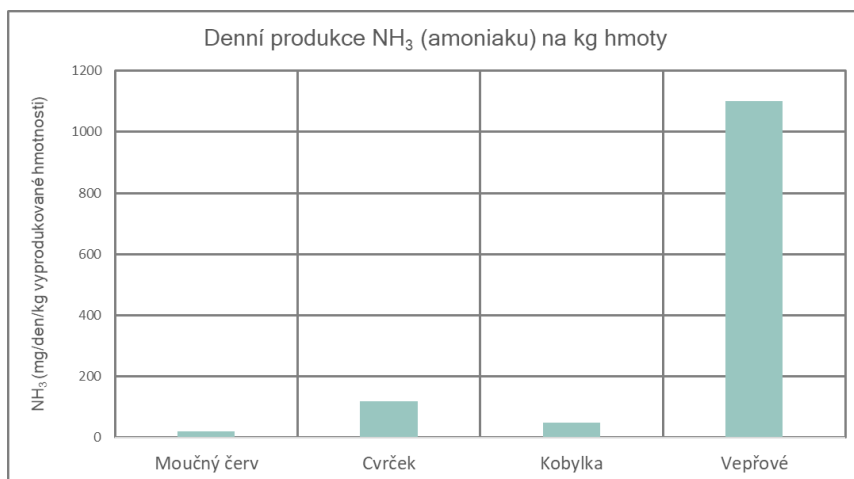
### Produkce skleníkových plynů

Produkce *T. molitor* je zodpovědná za méně přímých emisí skleníkových plynů než systémy konvenčního chovu hospodářských zvířat. Brojlerová kuřata mají emise oproti němu vyšší o 32 - 167 % a hovězí dobytek vypouští 6 - 13krát více ekvivalentů CO<sub>2</sub> (Ooninx & de Boer 2012; van Huis & Ooninx 2017).

Obrázky 2 a 3 zobrazují, jak velký je rozdíl hodnot vyprodukovaných skleníkových plynů a amoniaku u konvenčních hospodářských zvířat a u třech druhů hmyzu – potměnků (jinak se jim také říká mouční červi), cvrčků a kobylek. Již na první pohled je vidět obrovský rozdíl v hodnotách, které potvrzují, že hmyz skleníkových plynů neprodukuje tolik a je tedy šetrnější k životnímu prostředí.



**Obrázek 2:** Produkce skleníkových plynů na kilogram hmotnostního přírůstku. Zdroj: upraveno podle van Huis et al. (2013).



**Obrázek 3:** Produkce amoniaku na kilogram hmotnostního přírůstku. Zdroj: upraveno podle van Huis et al. (2013).

Oonincx et al. (2015) i Lundy & Parrella (2015) také uvedli, že přímé emise skleníkových plynů produkované cvrčky, potemníky a dalšími druhy hmyzu byly mnohem nižší než u prasat a hovězího masa, a na potenciálu globálního oteplování se přímé emise potemníků z celého systému výroby podílejí pouze 0,29 %. Tento potenciál globálního oteplování a spotřeba vody pro živočišnou výrobu jsou do značné míry ovlivnitelné množstvím spotřebovaného krmiva.

### Další způsoby využití

Pokud by se larvy a kukly nedaly použít jako krmivo, mohou se díky vysokému obsahu tuku (především v prepupách *H. illucens*) stát součástí výroby bionafty. Během ní je tuk z larev extrahován petroletherem a modifikován kyselou katalyzovanou esterifikací volných mastných kyselin (aby došlo ke snížení jeho kyselosti) a alkalicky katalyzovanou transesterifikací. Vyrobená bionafta kvalitou odpovídá rostlinným bionaftám a splňuje kritéria normy EN14214 (Čičková et al. 2015).

Zhruba třetina potravin vyrobených pro lidskou spotřebu (činí 1,3 miliardy tun ročně) není spotřebována, ale vyhozena, z toho až 222 milionů tun představuje odpad vytvořený spotřebiteli ve vyspělých zemích, který by se dal využít právě jako substrát pro chov (Lundy & Parrella 2015).

Hmyz může být také použit k získání živin z organického odpadu, jako jsou například lidské a zvířecí výkaly. Naočkováním drůbežího hnoje vajíčky mouchy domácí (*Musca domestica*) je možné vylíhlé larvy chovat, sklídit a kontrolovatelným způsobem zpracovat na moučku pro krmení kuřat. Takovéto zpracování hnoje larvami je i přes nízký výnos (činí 3,2 % čerstvého drůbežího hnoje z čerstvého základu) velmi výhodné kvůli vysoké kvalitě získané bílkoviny, zmenšení hmotnosti hnoje a přetvoření jeho zbytků na nezapáchající zrnitý materiál (Čičková et al. 2015).



### 3.2.2 Nevýhody

Jelikož toto relativně nové odvětví ještě není dostatečně prozkoumáno a popsáno, může představovat určitá rizika. Ve výrobním řetězci hmyzu se může jednat o rizika chemická, fyzikální, alergenová a mikrobiální. Mohou být specifická pro daný druh hmyzu, nebo způsob jeho chovu (použité krmivo, veterinární léčivé přípravky) či použité zpracovatelské postupy nebo podmínky konzervace a přepravu výrobků. Chemickým rizikem jsou toxické látky pro hmyz, antibiotika a kontaminanty z materiálů přicházejících do styku s potravinami. Fyzickými riziky se rozumí části cizích materiálů nebo přímo hmyzu, mikrobiální rizika souvisí s bakteriemi a toxiny (Varelas & Langton 2017). Toxickými látkami jsou například těžké kovy či mykotoxiny, které mohou pocházet z krmného substrátu a kumulovat se v tělech hmyzu nebo chemikálie používané během chovu (čisticí prostředky, veterinární přípravky), které mohou mít negativní vliv na zpracování a konzumaci (Varelas & Langton 2017).

#### **Alergeny, plísňe, kontaminace mikroby**

Larvy hmyzu sice mohou urychlit redukci některých patogenních organismů (*Escherichia coli* a *Salmonella* sp.) z hnoje a výkalů, zároveň ale můžou jak larvy, tak i kukly použité jako krmivo působit jako vektory bakteriálních a virových onemocnění, jelikož v nich mohou tyto potenciálně škodlivé mikroorganismy přežít. Pokud jsou larvy krmeny kontaminovanými zdroji, mohou také hromadit kadmium a další těžké kovy (Čičková et al. 2015). Je proto důležité dodržovat hygienu práce a odebírat zkušební vzorky pro testování nezávadnosti larev a substrátů, na kterých jsou chovány.

Dalšími nebezpečnými bakteriemi, které se v hmyzu mohou vyskytovat, jsou *Shigella*, *Vibrio* spp., *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter*, *Listeria monocytogenes*, *Clostridium perfringens*, a také houbové toxiny jako je *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Cladosporium*, *Pladcomporium* (Varelas & Langton 2017).

Po konzumaci hmyzu mohou nastat různé alergické projevy a kvůli chitinu v exoskeletu hmyzu by je neměli lidé s alergií na mořské plody hmyz konzumovat, protože mají podobné složení, a tudíž i podobné účinky (Ribeiro et al. 2018).

#### **Překážky šíření jedlého hmyzu**

Hlavním důvodem, proč není konzumace hmyzu více rozšířená ve vyspělých zemích, je neexistence společného právního postavení a averze spotřebitelů.

Z hlediska sběru hmyzu ve volné přírodě představuje hrozbu hlavně intenzifikace zemědělství, kde kvůli mechanizaci a odstraňování stromů přichází o přirozené lokality výskytu. Používání pesticidů způsobilo celosvětový pokles populace hmyzu, za posledních 40 let až o 67 % populací (Melgar-Lalanne et al. 2019). Navíc počet hmyzu, zejména cvrčků, klesá i kvůli nadměrnému odlovu hlavně během období rozmnožování hmyzu (Caparros Megido et al. 2016).

Další nevýhodou chovu hmyzu je aktuálně i vysoká cena komerčního krmiva (Caparros Megido et al. 2016). To je pro hmyz speciálně vyvinuté a maloobchodní ceny se pohybují od 7,00 do 28,00 USD za kilogram (150 - 600 Kč/kg). Navíc často zahrnují přísady pocházející z hospodářských zvířat a tím zvyšují ekologickou stopu těchto krmiv čímž snižují požadovanou

udržitelnost chovu hmyzu. To způsobuje společně s primitivními postupy při chovu vysoké náklady a příliš mnoho lidské práce. To se odráží v konečné ceně produktů z hmyzu, která je mnohem vyšší než u jiných potravin bohatých na bílkoviny (Morales-Ramos et al. 2020).

### **Postoj společnosti**

V západních kulturách není entomofágie přijímána, protože hmyz je v nich obecně považován za škůdce a jeho konzumace jako symbol nedostatku finančních prostředků. V posledních letech je však od tohoto postoje upouštěno, protože se změnilы stravovací návyky a entomofágie se začíná do západní stravy začleňovat (Bußler et al. 2016; Varelas & Langton 2017).

### **3.2.3 Legislativa**

Jelikož se ovšem jedná o relativně nový způsob získávání bílkovin, neexistuje moc jasných právních předpisů, které by chov, spotřebu a komercializaci jedlého hmyzu řídily. Chov hmyzu se tedy nedokáže rozvinout do jeho plného potenciálu ve kterém by byl součástí udržitelného zemědělství a zlepšení životního prostředí.

Organizace pro výživu a zemědělství (FAO) vydala v roce 2013 *Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security*, s komplexní analýzou celosvětové lidské spotřeby hmyzu. Jedlý hmyz byl prosazován jako vhodný budoucí zdroj potravy a na základě této zprávy došlo ke zvýšení zájmu médií a spotřebitelů o něj (Wade & Hoelle 2019).

Nařízení 2017/893 Evropské komise (2017) umožňuje použití hmyzích bílkovin jako krmiva pro ryby pocházející z následujících druhů hmyzu: *H. illucens*, *M. domestica*, *T. molitor*, *A. diaperinus*, *A. domesticus*, *Gryllodes sigillatus* a *G. assimilis*. Jiné druhy hmyzích proteinů pro hospodářská zvířata zatím nejsou v Evropské unii povoleny (Pinotti et al. 2019).

Od začátku roku 2018 však vstoupilo v platnost nařízení Evropského parlamentu a Rady Evropské unie č. 2015/2283 o nových potravinách, pod které na základě tohoto nařízení spadá i hmyz a je tedy možné hmyz využívat i pro lidskou konzumaci.

## **3.3 Nutriční hodnota hmyzu**

Pro správný růst a reprodukci hmyzu je nejdůležitějším faktorem správná výživa. Hlavními potřebnými makroživinami pro vývoj jsou sacharidy, lipidy a bílkoviny, nezbytné mikroživiny zahrnují steroly, vitamíny a minerály. Sacharidy jsou potřebné jako zdroj energie a zároveň i jako stavební jednotka chitinu (Varelas & Langton 2017). Protože bionomie hmyzu včetně fyziologie příjmu potravy se mezi jednotlivými druhy liší, významně se mezi nimi liší také nutriční hodnota. Rumpold & Schlüter (2013) shrnuli známé nutriční složení pro 236 druhů jedlého hmyzu, které se mezi sebou sice často významně liší, ale většina z nich však poskytuje dostatečné množství energie a bílkovin nutné pro výživu člověka (van Huis et al. 2013). Energetická hodnota živočišných produktů se pohybuje v rozmezí 165 - 705 kcal/100 g sušiny, u zeleniny 308 - 352 kcal/100 g. Jedlý hmyz je schopen poskytovat 217 - 777 kcal/100 g, přičemž pokud je chovaný na organických odpadech poskytuje 288 - 575 kcal/100 g (Mlček et al. 2014).

Nejčastěji chované druhy hmyzu pro potravinářské a krmné účely jsou omnivorní, to mimo jiné znamená, že jsou velmi flexibilní při využívání různých zdrojů potravy včetně substrátů s nízkou výživovou hodnotou, a proto jsou ideální variantou pro velkochov (Varelas 2019). Ačkoliv je tato vlastnost z hlediska návratu živin zpět do oběhu velmi žádoucí, zároveň způsobuje určitou obtížnost při určení jejich nutričních hodnot při chovu na specifických substrátech potravinových zdrojů nízké hodnoty ideální pro velkovýrobu jedlého hmyzu.

### 3.3.1 Bílkoviny

Obsah proteinu je hlavním důvodem, proč se o hmyzu uvažuje jako o potravině nového typu. Jeho zastoupení v tělech hmyzu je ovšem rozdílné, závisí na vývojovém stádiu a druhu hmyzu. Například Soetemans et al. (2020) uvádí, larvy bráněnky (*H. illucens*), larvy mouchy domácí (*M. domestica*), bource morušového (*B. mori*) a potemníka moučného (*T. molitor*) jako slibné druhy pro průmyslové potraviny nebo krmiva, jelikož mají obsah bílkovin 56 %, 62 %, 54 % a 52 % (ve stejném pořadí) ze sušiny.

Obsah proteinu v hmyzu se vypočítá z celkového obsaženého dusíku pomocí konverzního faktoru dusík - protein ( $K_p = 6,25$ ). Tento faktor ale obsah bílkovin nadhodnocuje kvůli přítomnosti nebílkovinného dusíku v materiálu hmyzu. V larvách tří druhů hmyzu byl obsah tohoto dusíku určen mezi 11 % a 26 %. Pro larvy *T. molitor*, *A. diaperinus* a *H. illucens* byla pomocí analýzy aminokyselin vypočtena specifická hodnota  $K_p 4,76 \pm 0,09$  a po extrakci a čištění proteinu byl zjištěn faktor  $K_p 5,60 \pm 0,39$  (Pinotti et al. 2019).

Aminokyseliny obsažené v hmyzu se dělí na dvě skupiny – ty, které hmyz nedokáže sám syntetizovat (leucin, isoleucin, valin, threonin, lysin, arginin, methionin, histidin, fenylalanin a tryptofan) a ty které sice syntetizovat dokáže, ale v nedostatečném množství a spotřebuje při tom vysoké množství energie (tyrosin, prolin, serin, cystein, glycin, kyselina asparagová a kyselina glutamová) (Varelas 2019).

### 3.3.2 Tuky

Další jsou lipidy, jejichž kvalita je popisována profilem mastných kyselin, do kterých spadají linolová a linolenová kyselina společně s ostatními polynenasycenými mastnými kyselinami, které jsou hlavní strukturální složkou buněčné membrány. Uchovávají a dodávají metabolickou energii a pomáhají zadržovat vodu v kutikule členovců (Varelas & Langton 2017; Varelas 2019). Hmyz je nedokáže syntetizovat a je proto velmi důležité, aby byly společně s esenciálními aminokyselinami přijímány ve stravě v dostatečné míře (Varelas & Langton 2017). Obsah a složení tuků je stejně jako bílkoviny ovlivněn druhem hmyzu a jeho vývojovým stádiem ale navíc také použitým krmivem (Oonincx et al. 2015; Barbi et al. 2020; Saadoun et al. 2020; Schreven et al. 2020).

### 3.3.3 Sacharidy

Hmyz má nízký obsah sacharidů, je však bohatý na chitin, který slouží jako stavební jednotka kutikulárního exoskeletu členovců. U hmyzu se pohybuje v rozmezí 5 - 20 % hmotnosti v sušině (Varelas & Langton 2017; Soetomans et al. 2020).

### 3.3.4 Mikroprvky

Hmyz dále nedokáže syntetizovat základní mikroživiny (steroly, vitamíny a minerály), které působí jako růstové faktory. Musí je tedy přijímat v potravě (Varelas & Langton 2017; Varelas 2019). Většina jedlého hmyzu má podobný obsah železa jako hovězí maso, o dalších minerálních látkách dostupných v hmyzu ale v současné době existuje málo informací, stejně tak jako o obsahu vitamínů (Varelas 2019). Mlček et al. (2014) uvádí, že jedlý hmyz obsahuje karoten, vitamín B1, B2, B6, C, D, E a K.

Van Huis et al. (2013) uvádí, že hmyz je bohatý na mikroživiny, jako je měď, železo, hořčík, mangan, fosfor, selen a zinek, dále pak riboflavin, kyselinu pantothenovou a biotin. Zejména Orthoptera a Coleoptera jsou bohaté na kyselinu listovou (van Huis et al. 2013; Kim et al. 2019).

## 3.4 Technologie chovu hmyzu

Nejtradičnějším způsobem chovu hmyzu je jeho sklizeň z volné přírody (lesy, vodní cesty nebo zemědělská pole). V souladu s tradičními a kulturními zvyklostmi drobných producentů lze sbírat velké množství druhů v různých životních fázích. Tito producenti mají nezbytné odborné znalosti na to, aby rozpoznali správné načasování, podmínky a vegetaci, a díky tomu mohli produkovat specifické jedlé druhy hmyzu bez poškození životního prostředí, a tyto znalosti dále aplikovat pro velkochov. Sklizeň každého druhu je rozdílná od toho předchozího a závisí právě na stádiu vývoje (vejce, kukly, larvy nebo dospělci), ročním obdobím a prostředím (les, poušť nebo zemědělská pole). Nadměrné využívání, změny stanovišť a kontaminace životního prostředí ovšem tento potravinový zdroj ohrožují. Proto je třeba vyvinout a implementovat udržitelné postupy těžby a zaměřit se na industriální chov hmyzu v regulovatelných podmínkách (van Huis & Oonincx 2017).

Ačkoliv existuje více než 2 000 běžně konzumovaných druhů hmyzu, většina se sklízí hlavně z volné přírody a pouze devět druhů je v současné době komerčně chováno jako potrava a krmivo. Zemědělské systémy však dosud nebyly pro velkovýrobu optimalizovány, a proto je k dispozici jen velmi málo informací o jejich environmentální udržitelnosti. K současným nejpokročilejším systémům chovu hmyzu patří cvrččí farmy v Thajsku. Je jich přes 20 000 a zajišťují živobytí mnoha lidem, nikdy však nebyl studován jejich dopad na životní prostředí (Halloran et al. 2017). Tyto farmy, produkující hmyz ve velkém měřítku, mají přibližně 60 - 80 chovných kontejnerů (2,5 × 8 × 0,5 m), jejichž krmení zabere přibližně 2 - 3 hodiny denně (Caparros Megido et al. 2016).

Jednu takovou farmu v Thajsku vlastní i český startup Sens, který z cvrčků *A. domesticus* a *G. assimilis* vyrábí proteinové tyčinky. Je to momentálně jedna z největších farem na světě, její roční produkce je schopná pokrýt nároky na protein pro více než půl milionu lidí. O své činnosti mluví otevřeně, snaží se udělat potraviny z hmyzu pro spotřebitele atraktivnější. Také poskytují informace o jejich technologii a způsobu chovu. Na Obrázku 4 je zobrazen box, ve které cvrčky chovají, použité kartony od vajec zajišťují rozmanitá zákoutí vhodná pro schovávání cvrčků. V chovu udržují také stálou teplotu 32 - 34 °C a fotoperiodu kopírující přirozený koloběh denního světla (Sens 2021).



**Obrázek 4:** Box pro chov cvrčků firmy Sens. Dostupné z: <https://damesens.cz/blogs/news/zakulisi-cvrcci-farmy-co-potrebuji-cvrcci-k-zivotu>.

Produkce hmyzu jako zdroje potravy nebo krmiva má také dopad na životní prostředí. Ten se dá rozdělit na přímý a nepřímý. Přímým dopadem jsou například emise plynů  $\text{CO}_2$  (oxid uhličitý),  $\text{CH}_4$  (methan),  $\text{N}_2\text{O}$  (oxid dusný) a  $\text{NH}_3$  (amoniak) z dýchání, metabolismu a výkalů hmyzu. Úrovně přímých emisí byly kvantifikovány pouze u pěti druhů hmyzu, jsou ale nižší než u běžných hospodářských zvířat (Oonincx et al. 2010).

Pro nepřímé emise jsou však zapotřebí další studie (van Huis & Oonincx 2017; Halloran et al. 2018). Metodou pro jejich hodnocení je posouzení životního cyklu výrobku, který kvantifikuje dopad hmyzu jako produktu na životní prostředí v celém dodavatelském řetězci. Posouzení životního cyklu bylo publikováno pouze pro potměníka moučného (*T. molitor*), cvrčka domácího (*A. domesticus*), *H. illucens* a mouchy domácí (*M. domestica*) (Oonincx & de Boer 2012; Halloran et al. 2017; van Huis & Oonincx 2017).

Posouzení životního cyklu výrobku umožňuje srovnání systémů produkce hmyzu s referenčními hodnotami. *T. molitor*, použitelný jako potravina bohatá na bílkoviny, se dá z tohoto pohledu přirovnat k mléku. *M. domestica* a *H. illucens* odpovídají rybí moučce a moučce ze sójových bobů. Z toho vyplývá, že energetická bilance produkce hmyzu je srovnatelná s referenčními hodnotami pro běžné zdroje (van Huis & Oonincx 2017).

### 3.5 Krmení hmyzu

Chovatelé hmyzu používají v současné době ve většině případů vysoce kvalitní krmivo na bázi obilovin, které by se ovšem daly použít přímo v potravinářství. Aby se tyto kvalitní přísady mohly zpracovat jako potraviny pro lidskou potřebu, projevuje se snaha najít jejich alternativy. Jednou z takových variant je právě využití vedlejších produktů a odpadů ze zemědělsko-potravinářského průmyslu (Gianotten et al. 2020; Soetemans et al. 2020).

Ve vyvážené stravě musí být hmyzu dodáváno kromě základních makroživin také 10 esenciálních aminokyselin, uvedených v kapitole „Bílkoviny“ a dostatek vlhkosti (Varelas & Langton 2017).

U některých druhů hmyzu bylo prokázáno, že jejich složení může být změněno stravou. Toto tvrzení podporují i studie uvedené v dalších kapitolách. Například výzkum na larvách *H. illucens* prokázal změnu obsahu lipidů a profil mastných kyselin se změnou stravy. Naskytuje se zde příležitost ke zdokonalení nutriční hodnoty hmyzu, například ve složení esenciálních aminokyselin nebo mastných kyselin (Soetemans et al. 2020).

### 3.6 Chov hmyzu na zbytkových produktech

Důležitým faktorem pro úspěšný rozklad organického odpadu je zvolení správného druhu hmyzu. Do úvahy proto musíme brát v potaz velikost, charakteristické chování, plodnost, délku larválního vývoje, zda se ve zvoleném organickém odpadu přirozeně vyskytuje, je-li považován za škůdce a schopnost přizpůsobit se podmínkám hromadnému chovu (Čičková et al. 2015).

Podle Pinotti et al. (2019) tyto kritéria například splňuje moucha domácí (*M. domestica*), *H. illucens* a *T. molitor*. Čičková et al. (2015) k nim přidává bzučivku zelenou (*Lucilia sericata*), mouchu dobytčí (*Musca autumnalis*) a masařku obecnou (*Sarcophaga carnaria*).

Varelas et al. (2019) uvádí nejvhodnější zbytkové produkty pro chov *T. molitor*. Je to pivovarské mláto a kvasnice, zbytky pečiva, zbytky sušenek, bramborové slupky, sušené kukuřičné mláto a vysoce denaturovaná sójová moučka. Larvám *H. illucens* se dobře daří na rostlinných zbytcích, zahradním odpadu (kompost), kuchyňském odpadu a zbytcích jídla. Na směsi pšeničných otrub, vajec a odpadu z lihovarů prosperuje *M. domestica*. Heterogenní substrát z komunálního potravinového odpadu a odpadu z obchodu po aerobním enzymatickém trávení preferuje *A. domesticus* a rýžové otruby, vrcholky manioku, vodní špenát, mláto či zbytky z produkce klíčků mungo zase *Teleogryllus testaceus*.

#### 3.6.1 Vedlejší produkty a potravinový odpad

Vedlejší produkty potravinářské výroby jsou produkty, které již nejsou určeny k lidské spotřebě kvůli problémům při jejich výrobě či balení, ale jsou vyráběny v souladu s potravinovým zákonem Evropské unie a při jejich použití jako krmiva nepůsobí žádná zdravotní rizika (Evropská komise 2013; Pinotti et al. 2019).

Potravinový odpad, který lze použít jako substrát pro chov hmyzu, vzniká ve všech částech distribučního řetězce. V zemích s nízkým hrubým domácím produktem, které jsou zároveň často primárními producenty potravin (země Afriky a Asie), ke vzniku odpadu z potravin dochází hlavně při jejich skladování v nedostatečně funkčních skladovacích

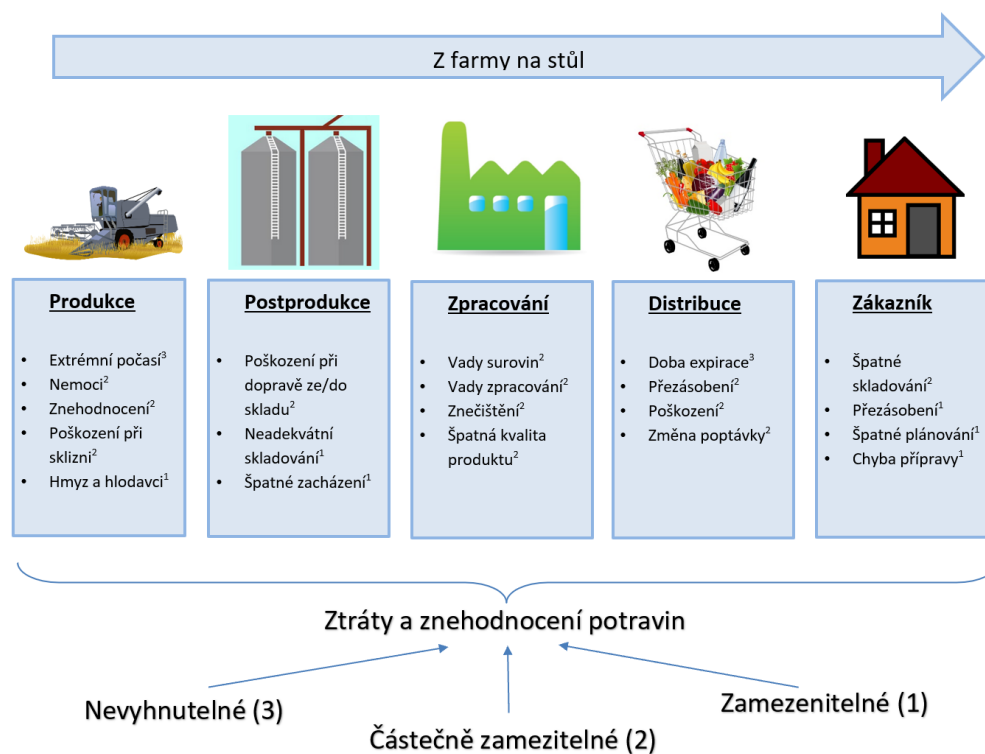
zařízeních. Zde na ně působí přílišně teplé či vlhké klima, které způsobuje vznik plísní a rychlé kažení. Dále zde hrozí napadení škůdci, ať už hlodavci, tak i parazity. V nevyhovujících tržních prostorách, které jsou často nehygienické, bez chlazení a přeplněné lidmi jsou potravinové produkty balené pouze ve velkých, neprodyšných koších nebo pytlích. Další ztráty nastávají kvůli nízkému stupni infrastruktury a možnostech dopravy, které často neobsahují chlazené prostory důležité pro nezávadnou přepravu. Například v Bangladéši se pro transport mléka z farem do zpracovatelského závodu používá obyčejná rikša (Obrázek 5) (Gustavsson et al. 2011).



**Obrázek 5:** Přeprava mléka v Bangladéši. Zdroj: Gustavsson et al. (2011).

Ve vyspělých zemích vzniká potravinový odpad zejména na konci dodavatelského řetězce. Produkt například nemusí splňovat standardy kvality, může nést estetické vady (bledá barva, skvrny, pomačkané, nalomené či jinak fyzicky poškozené ovšem bez vlivu na nezávadnost). Při procesu výroby potravin dochází ke ztrátám při třídění, úpravě, zpracování a přepravě surovin. Největším zdrojem maloobchodního odpadu jsou špatné podmínky při vystavování trvanlivého zboží, především ovoce a zeleniny, jelikož jsou citlivé na přílišné teplo i chlad a nastavení optimální teploty pro jednotlivé produkty není často možné. Špatnou komunikací a koordinací mezi kuchyněmi podniků a zásobováním dochází k dalšímu vzniku odpadů, mnohokrát objednají více potravin, než ve skutečnosti potřebují a jelikož potraviny nelze skladovat na další dny – mohlo by dojít ke kompromitování bezpečnosti potravin – musejí se vyhodit. Velké množství nevyužitých potravin pochází z odpadu domácností, protože spotřebitelé často neznají význam data minimální trvanlivosti a vyhazují potraviny, ačkoliv ještě není zkažená. Také vyhazují zbytky z vaření, přípravy a servírování pokrmů (Gustavsson et al. 2011).

Zjednodušeně je vznik potravinového odpadu zobrazen na Obrázku 6, který ho zároveň dělí na vyhnutelné, částečně vyhnutelné a nevyhnutelné ztráty.



**Obrázek 6:** Příčiny ztráty potravin v celém potravinovém řetězci. Zdroj: Vypracováno podle Ojha et al. (2020).

V Evropské unii není zatím jejich přepracování na krmiva plně využíváno – z 89 milionů tun odpadu za rok se znova zpracuje pouze 5 milionů (Pinotti et al. 2019). Existuje zde tedy velký potenciál pro rozvoj do budoucna. Pokud bychom účinnost přepracování odpadů zvýšili, mohl by se částečně vyřešit problém spalování či skládkování potravinového odpadu.

Velké množství zemědělských odpadů a hnoje produkují farmy soustředěné na malých plochách, které neumožňují správnou likvidaci odpadu. Nastává zde nerovnováha živin, která může vést ke znečištění vody a ovzduší a také ke zhoršení kvality půdy (Čičková et al. 2015).

Všechny takto vzniklé organické odpady a vedlejší produkty se dají použít jako substrát pro chov hmyzu, jelikož se těmito organickými odpady přirozeně živí mnoho druhů hmyzu a tím snižují celkové množství odpadního materiálu. Při takovéto recyklaci organické hmoty v přírodě jsou důležité koprofágní a mrchožravé druhy hmyzu, většinou se jedná o dvoukřídlé (Diptera) (Čičková et al. 2015).

### 3.6.2 Chov larev *Hermetia illucens*

Velmi oblíbeným druhem hmyzu pro průmyslový chov je díky svému krátkému životnímu cyklu, skvělému poměru konverze krmiva a schopnosti získat živiny z různorodých organických materiálů bráněnka *Hermetia illucens*. Tento druh dokáže zmenšit organickou odpadní biomasu o 50 až 60 % a přeměnit jí na bílkovinnou. Nutriční hodnoty larev jsou srovnatelné se semeny olejnatin jako jsou konopné, lněné a řepkové, jenž obsahují kolem 28 % proteinu a až 40 % oleje (Ojha et al. 2020). Naopak podle Smetany et al. (2019) obsahují 37 - 63 % proteinu ze sušiny a 49 % oleje. Velmi podobné hodnoty udává



i Schreven et al. (2020), kde obsah proteinu je 34 - 63 % a obsah tuku 7 - 58 %. Zároveň obsahuje makro i mikroživiny důležité pro správný vývoj zvířat a lidskou výživu. Může mít antimikrobiální účinky, a tudíž možné využití jako přídavek do krmiva, také jsou vysoce tolerantní proti toxinům, mykotoxinům a pesticidům (Smetana et al. 2019).

Pokyny pro zpracování odpadu pomocí *H. illucens* ukazují, že malý podnik dokáže během dvanácti dnů zkonvertovat až 60 kg organického odpadu pomocí 40 000 larev na 1 m<sup>2</sup> (Smetana et al. 2019). Je však důležité zajistit bezpečnost a nezávadnost hmyzí biomasy před dalším využitím.

Jak již bylo výše zmíněno, druh *H. illucens* je jedním z nejrozšířenějších a nejběžnějších druhů hmyzu pro chov. V závislosti na valorizaci (zhodnocení) dále jinak nevyužitelných odpadů a vedlejších produktů z potravinářského a zemědělského průmyslového odvětví proběhlo několik studií o možnosti jejich využití jako substrátů pro chov larev bráněnky a vliv na jejich nutriční hodnoty. Tyto pokusy provedli Pinotti et al. (2019), Oonincx et al. (2015), Chia et al. (2020), Čičková et al. (2015) a Meneguz et al. (2018) s různými typy substrátů, které byly většinou voleny specificky pro lokalitu, kde výzkum probíhal v závislosti na dostupnosti zdrojů. V následující části jsou poznatky a výsledky z těchto pokusů porovnány.

Prakticky všechny experimenty probíhaly alespoň z části na zbytcích ovoce a zeleniny (Spranghers et al. 2017; Meneguz et al. 2018; Pinotti et al. 2019; Barbi et al. 2020; Saadoun et al. 2020) a odpadu z lihovarů (Chia et al. 2020; Bava et al. 2019). Autoři se také pokoušeli využít i další produkty, například Saadoun et al. (2020) za testované substráty zvolili vedlejší produkty od maloobchodníků jako chlebové těsto, kávovou sedlinu a také zbytky mořčáka evropského (*Dicentrarchus labrax*). Dále využili také průmyslové vedlejší produkty – pivovarské mláto, syrovátku z kravského mléka, hroznové stonky a slupky a semena z rajčat. Oonincx et al. (2015) se zaměřili na krmné směsi složené z řepné melasy, bramborových slupek, otrub, pivovarských kvasnic a zbytků pečiva.

Všechny výše zmíněné experimenty probíhaly za kontrolovaných podmínek. Pokus Oonincx et al. (2015) probíhal za teploty 28 °C, 70% vlhkosti a dvanáctihodinové fotoperiodě. Pokus Chia et al. (2020) probíhal za totožných podmínek na rozdíl od Bava et al. (2019), kde teplota byla 25 ± 0,5 °C, relativní vlhkost 60 ± 0,5% a fotoperioda 12:12. Saadoun et al. (2020) a Barbi et al. (2020) pro své experimenty stanovili podmínky 27 ± 0,5 °C, 60 - 70% vlhkost a fotoperioda 16:8 (světlo : tma).

Pinotti et al. (2018) uvádějí výsledky dalších tří studií účinnosti konverze u larev *H. illucens* na organických substrátech, především zbytcích z restaurací, zeleninových zbytcích a bioplynovém digestátu za použití kuřecího krmiva pro referenční hodnoty (Spranghers et al. 2017). Ve výsledku neměl druh substrátu vliv na obsah bílkovin v larvách, hodnoty se pohybovaly mezi 399 až 431 gramy na kilogram sušiny. Zároveň rozdílný obsah aminokyselin byl zanedbatelný, nejvíce zastoupené byly esenciální lysin, valin a arginin s hladinou mezi 20 - 30 g/kg sušiny. Hodnoty vyextrahovaného tuku byly u larev chovaných na bioplynovém digestátu velmi nízké (218 g/kg sušiny), zatímco na zbytcích zeleniny dosahovaly 371 g/kg sušiny a odpad z restaurací zajistil až 386 g/kg sušiny. Obsah popeloviny dosahoval ve stejném pořadí 197, 96 a 27 g/kg sušiny. Kontrolní hodnoty pro kuřecí krmivo byly 336 g pro vyextrahovaný tuk a 100 g/kg popelovin v sušině. Nevíce se k nim blížily hodnoty pro zbytky zeleniny. Hodnoty mastných kyselin se prokázaly vysokým obsahem kyseliny laurové, který závisí na obsahu mastných kyselin v substrátu (Spranghers et al. 2017). Z toho vyplývá, že

obsah a kvalita bílkovin v larvách nezávisí na druhu použitého substrátu na rozdíl od obsahu lipidů a popelovin. Meneguz et al. (2018) tyto výsledky částečně potvrdili a zároveň zjistili, že druh použitého substrátu ovlivňuje délku vývoje larev. Při využití zbytků ovoce a zeleniny, stejně tak jako vedlejších produktů výroby vína, byla zkrácena délka vývoje larev z 22 na 20 dní a vedlejší produkty výroby piva ji zkrátily na pouhých 8 dní. Dále zjistili, že larvy velice efektivně prosperují na substrátech s vysokým obsahem vlákniny, jelikož vláknina obsažená v produktech z pivního průmyslu neměla na růstový výkon žádný negativní účinek stejně tak, jako substráty s vysokou vlhkostí, která výrazně snižuje mortalitu larev a není tedy nutné vlhký substrát předzpracovávat sušením.

Ooninx et al. (2015) založili pokus, kde byly larvy *H. illucens* chovány na čtyřech rozdílných krmných substrátech, přičemž dieta 1 je s vysokým obsahem bílkovin i tuku, dieta 2 má vysoký obsah bílkovin ale nízký tuku, dieta 3 má nízký obsah tuku ale vysoký bílkovin a dieta 4 má nízký obsah jak tuku, tak i bílkovin. To je zřetelné z Tabulky 2 níže. Stejně jako Spranghers et al. (2017) používají pro referenční hodnoty krmivo pro drůbež.

**Tabulka 2: Složení krmných směsí (%)**

Krmná směs	Otruby	Pivovarské kvasnice	Zbytky sušenek	Bramborové slupky	Řepná melasa	Zbytky pečiva
1	60	20	20			
2		50		30	20	
3			50			50
4				30	20	50

Zdroj: přepracováno podle Ooninx et al. (2015)

Pokus probíhal v šesti identických nádobách pro každou krmnou směs. Do každé z plastových nádob o rozměrech 17,8 × 11,4 × 6,5 cm předem upravených tak, aby bylo zajištěné volné proudění vzduchu, bylo vloženo 100 larev *H. illucens*. Směsi byly larvám dávkovány po 4 g společně se 2 ml vody na každý gram krmiva tak, aby bylo zajištěné krmení *ad libitum*. Kontrola nádob probíhala třikrát denně a po zpozorování první prepupy byl hmyz sklizen, jelikož většina jedinců byla ještě v posledním larválním stádiu, které je lépe stravitelné. Po usmrcení zmrazením a vysušení při 70 °C byli jedinci z každé nádoby namletí a byla provedena analýza konverze krmiva. Míra přežití byla na všech substrátech velmi vysoká, největší nastala při použití diety 1 s hodnotami 86 ± 18 %, zato nejnižší byla u diety 3 s vysokým obsahem tuku ale nízkým obsahem bílkovin 72 ± 12,9 %. Délka vývoje larev byla nejdelší u krmiva 3 (37 ± 10,6 dní) a krmiva 4 (37 ± 5,8 dne). Jediné krmivo, na kterém se délka vývoje larev přiblížila kontrolní (21 ± 1,1 dne) bylo krmivo 1 a to s 21 ± 1,4 dne. Poměr konverze krmiva byl nejúčinnější i oproti kontrolní dietě (1,8 ± 0,71) na krmivu 1 (1,4 ± 0,12) a nejvyšší, tedy nejméně účinný, u diety s nízkým obsahem bílkovin i tuku (2,6 ± 0,85). Pro přirovnání je poměr konverze krmiva 2,3 pro drůbež (van Broekhoven et al. 2015 uvádí 1,9), 4 pro vepřové a 8,8 pro hovězí chované na obilí (Ooninx et al. 2015).

Dalším, kdo provedl studii na larvách *H. illucens*, byl Chia et al. (2020), kteří kombinovali vysušené pivovarské mláto s vodou, odpadními pivovarskými kvasnicemi či směsí pivovarských odpadních kvasnic s třtinovou melasou. Tím získali 12 různých substrátů

rozdělených do 3 skupin (Tabulka 3). První skupina vznikla smícháním 500 g otrub s 10% vlhkostí s 800 ml vody, pro druhou skupinu bylo místo vody přidáno 900 ml tekutých pivovarských kvasnic a poslední skupina vznikla z 500 g zrna, 450 ml kvasnic a 450 ml tekuté třtinové melasy (Chia et al. 2020).

**Tabulka 3: Složení substrátů a jejich rozdělení na skupiny**

Komponent	Skupina 1	Skupina 2	Skupina 3
Ječmen			
Sladový ječmen	+ voda	+ kvasnice	+ kvasnice
Sladová kukuřice			+ melasa
Čirok + ječmen			

Zdroj: přepracováno podle Chia et al. (2020)

Výsledná analýza ukazuje, že larvy chované na směsi z čiroku, ječmene a kvasnic (Skupina 2) měly nejvyšší obsah proteinu, následované larvami chovanými na substrátu z čiroku, ječmene ze skupiny 3 (Tabulka 4). Nejnižší obsah bílkovin byl zaznamenán u larev chovaných na sladovém ječmeni ze třetí skupiny substrátů, a i ten se pohyboval kolem 30 %. Z tohoto zjištění vyplývá, že larvy chované na substrátu doplněném o pivovarské kvasnice obsahují více proteinu než ty, u kterých substrát obsahuje pouze vodu, nebo směs kvasnic a melasy. Zároveň larvy chované na ječmeni, sladovém ječmeni či sladové kukuřici ze skupiny 3 vykazují vyšší obsah tuku, než ty z první a druhé skupiny substrátů. Larvy, které jako krmivo dostaly směs ječmene a čiroku doplněnou o kvasnice (Skupina 2) či kvasnice s melasou (Skupina 3) měly nejnižší obsah tuku (11,4 %) ze sušiny (Tabulka 4) (Chia et al. 2020).

**Tabulka 4: Nutriční složení larev *H. illucens* podle substrátů (% ze sušiny)**

Zkoumané hodnoty	Druh substrátu											
	Ječmen			Sladový ječmen			Sladová kukuřice			Čirok + ječmen		
	Sk.1	Sk. 2	Sk. 3	Sk. 1	Sk. 2	Sk. 3	Sk.1	Sk. 2	Sk. 3	Sk.1	Sk. 2	Sk. 3
Hrubý protein	37,4	41,9	31,7	39,9	41,3	29,9	40,6	39,8	31,8	40,3	45,7	44,6
Tuk	33,2	22,5	49	21,1	17,1	39,3	25,5	21,1	42,3	29,7	9,5	11,4
Popeloviny	8,3	7,2	6,7	9,7	8,7	9,1	10	8,2	9,2	10,6	12,4	15,4

Zdroj: přepracováno podle Chia et al. (2020)

Zvolený druh substrátu měl také značný vliv na koncentraci minerálů. Larvy chované na směsi ječmene a čiroku ze skupiny 2 a 3 měly hladinu těchto látek výrazně vyšší v porovnání se všemi ostatními. Zároveň larvy na substrátech doplněných jen o kvasnice měly poměr vápníku k fosforu nižší než ty doplněné o kvasnice s melasou. Směsi čiroku a ječmene ze druhé a třetí skupiny (Tabulka 3) se prokázaly jako nejvhodnější substráty pro chov *H. illucens* díky tomu, že larvy na nich chované obsahovaly nejvíce bílkovin, nejméně tuku a hodnoty obsažených minerálů byly srovnatelné s hodnotami pro rybí moučku a sójové krmivo, za které jsou vhodnou alternativou.

### 3.6.3 Chov *Tenebrio molitor*

Larvy druhů moučných červů z čeledi Tenebrionidae, jako je potemník moučný (*T. molitor*), potemník stájový (*A. diaperinus*) a potemník brazilský (*Z. morio*), se již běžně chovají jako krmivo pro domácí zvířata jako jsou plazi, ryby a ptáci (Gianotten et al. 2020). Nejrozšířenějším z nich je potemník moučný, a tedy o něm máme i více informací než o dalších druzích. *T. molitor* je hmyz s proměnou dokonalou a za nejlepší zdroj živin jsou považovány jeho larvy (Tabulka 1).

Stejně jako u *H. illucens*, byl na larvách tohoto potemníka proveden pokus Oonincxem et al. (2015). Použili stejné směsi diet (Tabulka 2), místo jedné kontrolní krmné směsi měly dvě, běžně používané při velkochovu, a namísto 100 larev jich bylo pouze 50. Ty byly umístěny do plastové nádoby (17,5 × 9,3 × 6,3 cm) s provzdušňovacími štěrbinami po stranách a byl jim poskytnut jeden gram buď experimentální stravy nebo jedné ze dvou kontrolních diet. Za kontrolovaných podmínek při 28 °C s relativní vlhkostí 70 % a fotoperiodou 12 hodin byly nádoby třikrát týdně vizuálně kontrolovány. Pokud bylo poskytnuté krmivo téměř vyčerpáno, tak bylo doplněno tak, aby bylo zajištěno krmení *ad libitum*. Po zpozorování první kukly byly jednotlivé krabice sklizeny. Experimentální a kontrolní diety použité v této studii měly vysoký obsah sušiny (88 - 95 %) na rozdíl od mrkve poskytované larvám v určitých dietách. Mrkev měla nízký obsah sušiny (9 %), což z ní činilo vhodný zdroj vody.

Oonincx et al. (2015) očekávali, že vysoký obsah vody v mrkvi zvýší poměr konverze krmiva pro všechny stravy doplněné mrkví. K tomu však došlo pouze u diet s nízkým obsahem bílkovin, které zároveň vedly k delší době vývoje jedinců, a tudíž i k větší spotřebě množství mrkve. Zjištěný poměr konverze krmiva byl vysoký (více než 3,8) u všech diet bez doplnění mrkví, zatímco u diet doplněných mrkví byly hodnoty mezi 1,8 a 3,1 (strava s vysokým obsahem bílkovin a tuků). Tyto hodnoty konverze jsou podobné jako u komerčně produkovaných moučných červů (2,2). U většiny ostatních diet vedlo poskytnutí mrkve ke zvýšení účinnosti přeměny dusíku (22 - 31% na 35 - 58%) a účinnosti konverze skutečně spotřebovaného krmiva (7 - 12% na 13 - 21%) (Oonincx et al. 2015). Tyto hodnoty jsou v porovnání se studií od van Broekhoven et al. (2015) kde k dietám byla také přidána mrkev nízké (van Broekhoven uvádí 17 - 29%), ale zároveň u diet s extrémně vysokým obsahem bílkovin (33 - 39 % sušiny) byly tyto hodnoty vyšší (28 - 29%). To naznačuje, že obsah bílkovin ve stravě je klíčovým faktorem konverze krmiva.

U potemníka moučného doplněk mrkve snížil obsah sušiny na 30 - 37 %, přičemž nejvyšších hodnot dosahoval na obou kontrolních dietách a dietě 2, ale neovlivnil obsah hrubého proteinu, fosforu nebo mastných kyselin. Potemník, stejně tak jako cvrček domácí, nevyužil potravu tak efektivně jako bráněnka (Oonincx et al. 2015).

Oonincx & de Boer (2012) zjistili, že červi neprodukují metan a zároveň mají vysokou míru reprodukce – jedna samice *T. molitor* vyprodukuje za svůj život (trvá 3 měsíce) až 160 vajíček a dospělosti dosáhne za 10 týdnů. V této studii trvala doba vývoje jedinců 12 týdnů u diet s vysokým obsahem bílkovin nebo kontrolní dietou a u diet s nízkým obsahem bílkovin až 32 týdnů. S tím korespondovala i míra přežití. Oba tyto faktory byly podobné hodnotám publikovaným van Broekhoven et al. (2015), až na diety s nízkým obsahem bílkovin (10,5 - 24 týdnů a 69 - 92 %) (Oonincx et al. 2015). Dále van Broekhoven et al. (2015)

zaznamenali nízkou průměrnou hmotnost larev *T. molitor* (maximálně 0,14 g), když byly chovány na stravě s vysokou koncentrací bílkovin.

Z toho plyne, že obsah bílkovin ve stravě je také určujícím faktorem pro vývoj a přežití. Například přidáním pivovarských kvasnic do stravy s vysokým obsahem bílkovin by se mohlo docílit ještě kratší doby vývoje a vyšší míry přežití. Tomu také pomohlo přidání mrkve jako zdroje vody. Van Broekhoven et al. (2015) uvažují, že by za tuto lepší míru přežití a zkrácenou dobu vývoje mohly i jiné živiny obsažené v mrkvi jako je například  $\beta$ -karoten. Zároveň doplněním substrátu mrkví zkrátilo dobu vývoje a vedlo k jednotné míře přežití ( $\geq 80$  %) s výjimkou stravy s nízkým obsahem bílkovin a vysokým obsahem tuku ( $< 20$  %). Mortalita byla u této stravy vysoká bez ohledu na obsah mrkve, což mohlo být způsobeno obsahem skořice ve zbytcích sušenky (která představovala 50 % této diety) (van Broekhoven et al. 2015; Oonincx et al. 2015).

Automatizací, optimalizací krmiva a výběrem genetického kmene se do budoucna může systém produkce moučných červů zlepšit a snížit tím dopad na životní prostředí (Oonincx & de Boer 2012). Dá se předpokládat, že potenciální míra zlepšení produktivity bude u moučných červů vyšší než u běžnějších produkčních zvířat, protože tyto aspekty u nich zatím nejsou dostatečně vyvinuty.

Dalšími, kdo provedli studii na *T. molitor* byli Harsányi et al. (2020), kde jako substráty použili 10 % drůbežního krmiva doplněné o 90 % zeleninového odpadu, zahradního odpadu, chlívské mrvy nebo koňského hnoje. Drůbeží krmivo bylo přidáno, jelikož předběžné testy prokázaly vysokou úmrtnost hmyzu na všech substrátech v čisté formě a poskytnutí krmiva vedlo k jejímu snížení. Diety byly složeny následovně: dieta 1 (zeleninový odpad - směs slupek z 10 % cibule, 25 % brambor, 25 % sladkých brambor, 30 % mrkve a 10 % okurky, s celkovým obsahem vody 91,4 %), dieta 2 (zelený zahradní odpad s trávou – 50 % druhů Poaceae a jiných běžných plevelů, 25 % listů stromů a 25 % větví - druhy *Populus*, *Salix*, *Pinus* a *Corylus*, a směsí peckovin a jiných okrasných rostlinných částí, s obsahem vody 36,2 %), dieta 3 (55 % hnoje skotu s výkaly a močí a 45% obilná sláma s obsahem vody 45,7 %) a dieta 4 (35 % koňského hnoje s výkaly a močí a 65% obilná sláma s obsahem vody 28,3 %). Pro lepší přehlednost je složení diet zobrazeno v Tabulce 5.

Stejně jako u předchozích pokusů bylo krmení zajišťováno *ad libitum*, za kontrolované vlhkosti udržované na  $60 \pm 4$  %, teploty ( $22,5 \pm 2,5$  ° C) a dvanáctihodinového cyklu světlo : tma. Jako kontrola sloužilo krmivo pro drůbež. Pokus trval 45 dní, přičemž každých 15 dní proběhlo kontrolní vážení larev. Výsledné hodnoty ukazují, že obsah hrubého proteinu v larvách byl nejvyšší u kontrolní diety ( $47,18 \pm 0,04$  g/kg sušiny). Tomu se nejvíce přiblížila hodnota diety 1 s  $46,30 \pm 0,47$  g/kg a ostatní diety měly 37,90 (dieta 4) až 42,57 g/kg sušiny (dieta 2). Těmto hodnotám odpovídal i obsah tuku larev, který byl u všech diet relativně vysoký, ale nejvyšších hodnot dosahoval tam, kde hrubého proteinu bylo nejméně, dieta 4 ho měla  $47,50 \pm 0,36$  g/kg sušiny, zároveň měla i druhý nejvyšší obsah vlákniny ( $9,30 \pm 0,16$  g/kg) a nejvyšší obsah popelovin ( $5,30 \pm 0,33$  g/kg). Nejlepších hodnot napříč všemi kategoriemi dosahovala kromě kontrolního krmiva dieta 1, dále pak i dieta 2. Diety s obsahem hnoje a nízkým obsahem vody nedosahovaly tak dobrých hodnot, nicméně rozdíly mezi nimi nebyly nijak velké. (Harsányi et al. 2020).

**Tabulka 5: Zjednodušené složení krmných směsí**

Krmná směs	Složení krmných směsí (%)					Celkový obsah vody (%)
1 (Zeleninový odpad)	Cibule 10	Brambory 25	Sladké brambory 25	Mrkev 30	Okurka 10	91,4
2 (Zahradní odpad)	Poaceae 50	Listy stromů 25	Větve stromů 25			36,2
3 (Hněj skotu)	Hněj 55	Obilná sláma 45				45,7
4 (Koňský hnůj)	Hněj 35	Obilná sláma 65				28,3

Zdroj: vypracováno podle Harsányi et al. (2020)

Van Broekhoven et al. (2015) sledovali růst a přežití larev *T. molitor* na dietách složených z organických vedlejších produktů pocházejících z vaření piva, pečení pečiva či sušenek, zpracování brambor a výroby bioethanolu, s ohledem na obsah bílkovin a škrobu. Jejich procentuální složení je zobrazeno v Tabulce 6. Z tabulky je zřejmé, že použili diety složené podobně jako Oonincx et al. (2015) v Tabulce 2. Jednotlivé složky rozdělili do 6 diet s vysokým obsahem bílkovin i škrobu (dieta 1 a 2), vysokým obsahem bílkovin a nízkým obsahem škrobu (dieta 3), nízkým obsahem bílkovin a vysokým obsahem škrobu (dieta 4 a 5) a nízkým obsahem bílkovin i škrobu (dieta 6). Jako kontrolní dieta bylo použito krmivo získané od dvou komerčních společností chovajících hmyz (van Broekhoven et al. 2015).

**Tabulka 6: Složení krmných směsí (%)**

Krmná směs	Kukuřičné mláto	Pivovarské kvasnice	Zbytky pečiva	Otruby	Bramborové slupky	Zbytky sušenek
1	10	40	10		40	
2	10	40	10			40
3	20	40	10	30		
4		5	10		85	
5		5	10			85
6		10	50	40		

Zdroj: vypracováno podle van Broekhoven et al. (2015)

U diety 2 a 5 byl pokus ukončen předčasně, protože vysoký obsah zbytků sušenek způsoboval vysokou úmrtnost larev. Musela být tedy nahrazena dietami s vysokým obsahem škrobu založeným na bramborových slupkách – diety 1 a 4. Stejně jako Oonincx et al. (2015) k dietám přidali jako zdroj vody mrkev. Každá nádoba na začátku obsahovala 4 g stravy a 1 g mrkve a díky vizuální kontrole bylo zajištěno krmení *ad libitum* a přidávání 2 g čerstvé mrkve

dvakrát týdně tak, aby měly larvy dostatek vlhkosti a staré kousky byly odstraněny. Věk larev, během kterého byl experiment prováděn, byl od 45 – 60 dní. Po čtyřech týdnech, když se cca 50 % přeživších zakuklilo, byly larvy zváženy a sklizeny, přičemž průměrný čas od zakuklení do dospělosti byl 7 dní a dietou nebyl nijak ovlivněn (van Broekhoven et al. 2015).

Hmotnost kukel byla vyšší u diety 3 a nižší u diety 4 ve srovnání s kontrolními dietami. Zároveň míra přežití byla vyšší u diet 3 a 4 (> 80 %) než u kontrolní stravy (71 %). Larvy konzumovaly více mrkve na gram stravy u diety 4 než při kontrolní stravě, kvůli nízkému obsahu proteinu v dietě. Účinnost konverze skutečně spotřebovaného krmiva byla nejnižší u diety 4 a mezi ostatními dietami se dále nelišila, zatímco poměr konverze krmiva byl na dietě 3 nižší než na kontrolní stravě a dietě 1. Jde tedy říci, že strava ovlivnila výkonnost larev a účinnost konverze krmiva, kdy nejhorších výkonů dosahovaly larvy na dietě 4, která kromě nedostatku živin mohla obsahovat sloučeniny, které jsou pro potěmnyky hůře stravitelné nebo toxické. Poměr konverze krmiva u diet s vysokým obsahem bílkovin byl přibližně 3, což je vyšší než hodnota, kterou uvedli Oonincx & De Boer (2012) pro *T. molitor* (2,2).

Jak již bylo zmíněno výše, úmrtnost larev u diet 2 a 5 s vysokým obsahem škrobu obsahujících zbytky sušenky byla téměř 100%. To bylo nejspíše způsobeno obsaženým kořením, jako je skořice a hřebíček, jejichž výpary mohou být pro hmyz toxické. U náhradních diet s bramborovými slupkami jako zdrojem škrobu byla míra přežití larev podobná jako u ostatních diet (84 - 94,6 %), přičemž larvy u diet s vyšším obsahem bílkovin vykazovaly nižší mortalitu (5,4 - 17,2 %) a kratší dobu vývoje (75,8 - 98,6 dní) a u diety 4 vyšší mortalitu a delší dobu vývoje ( $168 \pm 11,5$  dne) ve srovnání s kontrolní dietou ( $117 \pm 1,5$  dne) (van Broekhoven et al. 2015).

**Tabulka 7: Nutriční složení larev *T. molitor***

Směs	Obsah sušiny (%)	Hrubý protein (% ze sušiny)	Hrubý tuk (% ze sušiny)
kontrolní	27,3	45,1	25
1	33,4	48,6	26,3
3	29,4	47,5	27,6
6	33,3	46,9	18,9

Zdroj: vypracováno podle van Broekhoven et al. (2015)

Obsah sušiny stejně jako obsah bílkovin v larvách byl na všech dietách vyšší než u skupiny kontrolní (Tabulka 7). Obsah tuku byl oproti kontrolní dietě vyšší u vysokoproteinových diet a výrazně nižší u diety s nízkým obsahem bílkovin i škrobu. V Tabulce 7 není zobrazena dieta 4, jelikož její kvalita nebyla pro vývoj larev dostatečná – spotřeba mrkve byla při této dietě významně vyšší, larvy tím nejspíše kompenzovaly nedostatek živin ve stravě, ale i přesto byla hmotnost kukly ( $0,117 \pm 0,017$  g) stejně tak jako dospělých jedinců ( $0,100 \pm 0,015$  g) nejnižší. Nejvyšší byla u diety 3, larvy vážily  $0,161 \pm 0,023$  g a dospělci  $0,140 \pm 0,020$  g.

### 3.6.4 Chov *Alphitobius diaperinus*

Potěmník stájový (*Alphitobius diaperinus*) je dalším druhem z čeledi Tenebrionidae, v larválním stádiu je často spojován s využitím v lidské stravě i jako krmivo pro domácí

mazlíčky. Ačkoli se již komerčně vyrábí pro lidskou spotřebu, publikovaných údajů o jeho složení živin je zatím jen omezené množství. Patří mezi sedm druhů hmyzu z nařízení č. 2017/893, které umožňuje použití jejich bílkovin v krmivech pro živočichy pocházející z akvakultury. Ve srovnání s *T. molitor* má kratší dobu vývoje (66 dní oproti 117) a vyšší obsah bílkovin v larvách (van Broekhoven et al. 2015; Soetemans et al. 2020).

Studie van Broekhoven et al. (2015) byla provedena také pro tento druh, za použití stejných diet z Tabulky 5. Pokus probíhal stejně, ale na rozdíl od *T. molitor* byla míra přežití u obou kontrolních diet u *A. diaperinus* nižší (kolem 80 %) než u experimentálních, kde všechny měly více než 90 %. Nejmenší však byla u diety 4 ( $91 \pm 5,2$  %) a nejvyšší u diety 1 ( $95 \pm 4,1$  %) a 6 ( $97 \pm 1,1$  %). Zároveň průměrná hmotnost kukel byla nižší u diety 4 ( $0,018 \pm 0,003$  g) než u kontrolních diet ( $0,023 \pm 0,004$  g), stejně jako hmotnost dospělých ( $0,015 \pm 0,003$  g pro dietu 4 a  $0,019 \pm 0,003$  g pro kontrolní dietu). U *A. diaperinus* byla účinnost konverze skutečně spotřebovaného krmiva nejvyšší u diety 1 a velmi nízká u diety 4. Tam kde byla účinnost konverze skutečně spotřebovaného krmiva vysoká, byl zároveň poměr konverze krmiva nízký. Ten dosahoval u kontrolní stravy, diety 1 a diety 3 stejných hodnot. Extrémně vysokých hodnot dosahoval u diety 4 a kontrolní stravy kvůli velkému množství konzumované mrkve (van Broekhoven et al. 2015).

Pokud byla mrkev konzumována jako zdroj vody, a ne dalších živin, bylo by možné hodnotu poměru konverze krmiva snížit dodáváním vody v jiné formě, to však tato studie nenaznačuje, jelikož larvy zvýšenou konzumací mrkve kompenzovaly špatnou kvalitu stravy. Spotřeba mrkve na gram stravy byla přibližně dvakrát vyšší u kontrolní stravy a diety 4, na rozdíl od diet s vysokým obsahem bílkovin. Jak zobrazuje Tabulka 8, obsah sušiny v larvách chovaných na nevhodnější dietě (dieta 3) byl 30 %, z toho 65 % bílkovin a 18,1 % tuku (van Broekhoven et al. 2015).

**Tabulka 8: Nutriční složení larev *A. diaperinus***

Směs	Obsah sušiny (%)	Hrubý protein (% ze sušiny)	Hrubý tuk (% ze sušiny)
kontrolní	33,3	61,7	24,3
1	31,8	64,3	21,8
3	30	65	18,1
6	33,3	-	13,4

Zdroj: vypracováno podle van Broekhoven et al. (2015)

Stejně jako pro *T. molitor* se jako nejlepší dieta pro *A. diaperinus* ukázala být vysokoproteinová dieta s nízkým obsahem škrobu a nejméně vhodnou byla dieta 4, což jde poznat už z délky vývoje larev, kdy na kontrolních stravách byla 42 a 66 dní, na dietách 1, 3 a 6 se pohybovala v rozmezí 38 dnů (dieta 3) a 48 dnů (dieta 6) a larvy na dietě 4 dosahovaly požadovaného vývojového stádia až za  $106 \pm 8,1$  dní (Van Broekhoven et al. 2015).

První část studie Gianotten et al. (2020) se zabývala dopadem různých druhů diet z vedlejších produktů ze zemědělsko-potravinářského sektoru na parametry výkonnosti růstu larev *A. diaperinus*. Podmínky, za kterých pokus probíhal, byly prakticky totožné jako u výše zmiňovaných pokusů napříč druhy hmyzu (teplota 28 - 32 °C a vlhkost nad 60 %).



Složky krmných směsí byly vybrány na základě vysokého obsahu sušiny (více než 80 %) a byly to rýžové otruby, řepková moučka, kukuřičný lepek a pšeničná krupice, které byly zkombinovány do 29 diet s rozdílným procentuálním zastoupením a vždy s přídatkem s jedním ze dvou zdrojů vlhkosti – mrkev (stejně jako Oonincx et al. 2015) či pivovarské mláto, které obsahuje zhruba 75 % vlhkosti a zároveň je bohaté na živiny. Jelikož není mrkev pro chov průmyslového měřítka ekonomicky výhodná, byla většina diet smíchaná právě s mlátem a hlavní složkou diet stanovili pšeničnou krupici. Mrkev v kombinaci se 100 % vedlejších produktů jako jedinou složkou testované diety způsobila horší výkon larev (Gianotten et al. 2020).

Larvy chované na 100% rýžových otrubách doplněných o pivovarské mláto dosahovaly pouze 40% výtěžnosti a téměř se nedaly oddělit od substrátu. Ačkoliv u larev chovaných na mlátu a kukuřičném lepku byla výtěžnost vyšší (79 a 84 %), byla stále nižší než u kontrolní skupiny. Na druhou stranu larvy na řepkové moučce dosahovaly lepších hodnot a výsledky ukazují, že diety z pšeničné krupice a řepkové moučky poskytovaly vyvážený nutriční profil pro dobrý chov larev i bez přídatku mláta. Ty však charakteristiky larev ještě zlepšily (Gianotten et al. 2020).

Van Broekhoven et al. (2015) uvádí stejné výsledné hodnoty pro efektivitu konverze pro dva další druhy hmyzu (*T. molitor* a *Z. morio*) ačkoliv byly chovány na jiné stravě a doba jejich vývoje se také zásadně lišila.

Výsledky studie dokazují, že potemník *A. diaperinus* byl schopen přežít na všech testovaných dietách, ty ale značně ovlivnily vývoj jedinců. Nejlepší výsledky poskytla referenční strava z pivovarského mláta a pšeničné krupice. Tu je možné nahradit 5 až 15 % rýžovými otrubami nebo řepkovou moučkou, aniž by to negativně ovlivnilo růst larev nebo výrobní náklady. Ukázalo se, že pšeničná krupice a řepkový šrot (moučka) podporují dobré charakteristiky larev, pokud jsou použity jako jediná přísada. Kombinace těchto dvou látek s pivovarským mlátem jako zdrojem vlhkosti poskytla nejlepší růst larev a ekonomicky nejvýhodnější stravu (Gianotten et al. 2020).

Druhá část této studie, nyní pod vedením Soetomans et al. (2020), se zaměřila na to, jak zahrnutí těchto vedlejších produktů ze zemědělství a potravinářství do stravy ovlivňuje složení larev. Z původních 29 diet zmíněných výše vybrali 18 nejvhodnějších (vysoké zastoupení pšeničné krupice, 100% dieta z ostatních vedlejších produktů a mláta jako zdroje vlhkosti) a na nich studovali nutriční složení larev v chovu poloprůmyslového měřítka (45000 jedinců na nádobu) po dobu 28 dnů. Podmínky chovu byly stejné jako v první části studie (Soetomans et al. 2020).

Van Broekhoven et al. (2015) uvádí 30 - 33 % obsah sušiny larev pro různé druhy krmných směsí (Tabulka 8), v této studii se sušina pohybovala mezi 23 % a 33 %, což je srovnatelné. Obsah bílkovin v larvách se pohyboval mezi 37 % a 49 %, zatímco v předchozích experimentech dosahovaly 48 - 65 % (Soetomans et al. 2020). Tato široká škála může být způsobena rozdílným věkem použitých larev nebo jinou metodou zpracování dat, či rozdílného použití konverzního faktoru dusík - protein (6,25). Obsah lipidů se pohyboval mezi 14 - 28 % ze sušiny, obsah popelovin mezi 4 - 7 % a chitinu mezi 4,2 % a 6,2 % (Soetomans et al. 2020).

Získaná data naznačují, že optimální výtěžnost larev byla dosažena u směsí obsahujících 17 - 22 % bílkovin, 6 - 8 % lipidů a 18 - 20 % sacharidů ze sušiny, přičemž nejoptimálnější složení měla dieta složená z 85 % pšeničné krupice a 15 % řepkové moučky s přidáním

pivovarského mláta. Přidáním této řepkové moučky se tak mohou výrazně snížit náklady na produkci larev, stejně tak i přidáním rýžových otrub (Soetomans et al. 2020).

Různé přísady krmiva ovlivnily výtěžnost larev, ty byly schopné koncentrovat bílkoviny a tuky, stejně tak i esenciální aminokyseliny a mastné kyseliny. Tím nepřímo zvýšily nutriční hodnotu vedlejších produktů. V závislosti na měnící se koncentrací živin v krmivu byl pozorován nevýznamný účinek na nutriční hodnoty larev, přímou souvislost s koncentracemi ve stravě nebylo možné určit (Soetomans et al. 2020). Van Broekhoven a kol. (2015) také nezjistili jasnou korelaci mezi obsahem bílkovin v dietách (12 - 39 %) a jejich obsahu v larvách, který zůstal poměrně konstantní (32,2 % ± 1,6 %).

### 3.6.5 Chov *Zophobas morio*

Třetím druhem z čeledi Tenebrionidae, který je v této práci zmiňován, je potemník brazilský (*Zophobas morio*). Pro něj byly provedené studie van Broekhoven et al. (2015) a také Harsányi et al. (2020), přičemž složení testovaných diet již bylo zmíněno výše (Tabulka 5 a Tabulka 6).

Oonincx & de Boer (2012) uvádí, že *Z. morio* za svůj život (1 rok) dokáže vyprodukovat až 1 500 vajíček, přičemž dospělosti dosáhne po 3,5 měsících. V této studii trvalo jedincům dosáhnout dospělosti od zakuklení 12 dní. Zároveň pro tuto studii byly použity larvy staré 70 až 112 dní (van Broekhoven et al. 2015).

Larvy potemníka nebyly schopné se v podmínkách zajištěných van Broekhoven et al. (2015) zakuklit, proto jakmile cca 50 % larev dosáhlo délky těla 5 cm, byly jednotlivě přemístěny do nádob obsahujících 1 g stravy a 0,25 g mrkve. Procento přežití bylo vyšší u experimentálních diet s vysokým obsahem bílkovin ( $\geq 84$  %) než u kontrolních ( $\leq 78$  %). Přežití na dietě 4 bylo velmi nízké (27 %), k vysoké úmrtnosti došlo ve 20. týdnu studie. To by mohly mít za následek glykoalkaloidy obsažené v bramborách, které mohou mít toxický účinek na hmyz, který brambory běžně v přírodě nekonzumuje. Mezi kontrolní a experimentálními dietami se také lišila hmotnost kukel i dospělých jedinců, přičemž na dietě 1, 3 a 6 byla vyšší než u diety 4, u které zároveň larvy konzumovaly nejvíce mrkve. Tím se potvrdilo zjištění, že dieta 4 je pro chov hmyzu nejméně vhodná (van Broekhoven et al. 2015). Obsah sušiny byl v průměru 34 %, z toho 40 % tvoří bílkoviny a 38 % tuk (Tabulka 9).

**Tabulka 9: Nutriční složení larev *Z. morio***

Směs	Obsah sušiny v %	Hrubý protein (% ze sušiny)	Hrubý tuk (% ze sušiny)
kontrolní	33,3	41,5	36,2
1	36,7	41,1	43,5
3	35,7	42,5	40
6	30,8	34,2	32,8

Zdroj: vypracováno podle van Broekhoven et al. (2015)

V dalším pokusu Harsányi et al. (2020) za stejných podmínek na substrátech (Tabulka 5) zjistili, že ze tří druhů hmyzu použitých, dosahovalo *Z. morio* nejvyšší rychlosti růstu – ve věku 56 dnů byly larvy tohoto druhu významně těžší než *T. molitor* a tento rozdíl se s časem dále zvětšoval. Přesto ale byly tyto dva druhy z pohledu koncentrace bílkovin, tuků i popelovin srovnatelné na všech dietách, přičemž larvy chované na chlévské mrvě vykazovaly nejnižší

koncentrace bílkovin ( $38,70 \pm 0,39$  g/kg sušiny) a nejvyšší tuků ( $46,30 \pm 0,42$  g/kg). Jako jediná se lišila koncentrace vlákniny napříč dietami, kde jí dieta 2 (Tabulka 5) měla nejvyšší a dieta 4 nejnižší v porovnání s kontrolním kuřecím krmivem (Harsányi et al. 2020).

Stejně jako pro *A. domesticus*, a *T. molitor* je optimální k organickému odpadu použitým v této studii přidat kuřecí krmivo, jelikož zvyšuje hmotnost larev, které by při vysokoprocenním zastoupení odpadu nebyly schopné dosáhnout.

### 3.6.6 Chov *Acheta domesticus*

Cvrčci (Orthoptera; Gryllidae) patří mezi nejčastěji chované druhy hmyzu. Jsou konzumováni přímo lidmi v mnoha oblastech světa a zároveň chovány v průmyslovém měřítku jako zdroj krmiva, například pro domácí insektivorní či omnivorní živočichy. Orinda et al. (2017) tvrdí, že cvrčci by měli být obecně krmeni dostatečně vlhkými nebo čerstvými zdroji potravy s vysokým obsahem bílkovin, jako je kuřecí krmivo. To je však nákladné, a proto je třeba vyvíjet cenově dostupná krmiva, která splňují nutriční požadavky cvrčků.

Cvrček domácí (*Acheta domesticus* L.) je jedním z nejdůležitějších druhů průmyslového hmyzu nejen ve Spojených státech. Tam za posledních pět let rostl jeho trh jako složky lidské potravy společně se zvyšujícím se zájmem spotřebitelů o udržitelnější zdroje potravin (Morales-Ramos et al. 2020). Proto pro něj, jakožto nejrozšířenějšího chovaného druhu z čeledi Gryllidae bylo vypracováno mnoho studií, jejichž výsledky jsou, stejně jako u předchozích druhů, v následující části shrnuty. Jedná se o práce od Lundy & Parrella (2015), Oonincx et al. (2015), Orinda et al. (2017), Sorjonen et al. (2019), Harsányi et al. (2020) a Morales-Ramos et al. (2020).

Na dietách (Tabulka 2) a za stejných podmínek jako ostatní druhy v této studii, cvrčci nevyužili krmivo tak efektivně jako *H. illucens*, poměr konverze krmiva u nich dosahoval hodnot u kontrolní stravy  $2,3 \pm 0,57$ , té se nejvíce blížily hodnoty u diety 4 ( $3,2 \pm 0,69$ ). Dieta 3 měla tento poměr v porovnání s ostatními ještě relativně nízký ( $4,5 \pm 2,84$ ), za to pro vysokoproteinovou dietu s nízkým obsahem tuku (dieta 2) byl tento poměr 10. Efektivita konverze dusíku byla zjištěna pouze u kontrolní diety a diety 1, kde dosahovala 23 - 41 %, což je v porovnání s konvenčními produkčními zvířaty vysoké (2 % u hovězího masa, 23 % u vepřového masa a 33 % u kuřete). Je tomu tak zřejmě díky větší jedlé části hmyzu. Podobné hodnoty uvádějí i Lundy & Parrella (2015) pro cvrčky s dietou na bázi obilí (25 %). Efektivita konverze skutečně spotřebovaného krmiva byla u cvrčků nejnižší (5 - 12 %) ze všech druhů ve studii. Délka vývoje se výrazně lišila mezi kontrolní dietou (7 týdnů) a dietou 3 (24 týdnů). U diety 1 a kontrolní stravy byly tyto hodnoty podobné hodnotám uváděným v již dostupné literatuře (4,5 - 11,5 týdne). Míra přežití u tohoto druhu byla u všech diet, až na kontrolní (55 %) extrémně nízká, dosahovala pouhých 6 - 27 % (Oonincx et al. 2015).

Co se nutriční hodnoty týče, ačkoli cvrčci dosahovali nejnižšího obsahu sušiny (25 %), procento bílkovin z ní bylo opravdu vysoké. Kvůli nízkému počtu opakování pokusu u některých diet však byly hodnoty dostupné pouze u diety 1 ( $59,2 \pm 5,57$  %) a kontrolní stravy ( $57,8 \pm 2,78$  %) (Oonincx et al. 2015). Z těchto hodnot lze vyvodit, že experimentální dieta 1 s vysokým obsahem proteinu i tuku je prakticky srovnatelná v obsahu hrubého proteinu cvrčků chovaných na kontrolní stravě.

Sorjonen et al. (2019) ve svých výsledcích uvádějí, že nejvyšší výnos byl na ječmenné dietě se střední hladinou bílkovin a činil v průměru  $4,10 \pm 0,45$  g hmotnosti na každých 10 jedinců. Nejvyšší konečná hmotnost jedinců byla pozorována u vysokoproteinového krmiva s *Brassica rapa* ( $0,447 \pm 0,039$  g), nejlehčí byli jedinci krmení ječmenným krmivem s nízkým obsahem bílkovin ( $0,221 \pm 0,039$  g). Složení diet a průběh pokusu je podrobněji popsán v kapitole 3.6.8.

Doba vývoje do dospělosti se u *A. domesticus* pohybovala mezi 34 až 45 dny, kdy nejrychleji rostli cvrčci krmení kontrolním kuřecím krmivem, ječmennou kaší a *B. rapa* se středním obsahem bílkovin. Míra přežití byla oproti *G. bimaculatus* zhruba dvakrát vyšší (80 %), obzvláště pak na ječmenné kaši se středním a vysokým obsahem bílkovin, kde předchozí studie dosahovaly 64 - 94 % přežití na rozdílných vedlejších produktech (Sorjonen et al. 2019).

Také Orinda et al. (2017) prováděli pokus na *A. domesticus* a *G. bimaculatus*, kde se zaměřili na rychlost růstu v závislosti na stravě. V kapitole 3.6.8 je postup rozepsán podrobněji, nicméně výsledné hodnoty ukazují, že cvrčci rostli nejrychleji na kontrolní směsi v jedenáctém týdnu, v devátém na dietě 2 a v týdnu patnáctém na zbylých dietách. Konečná váha jedinců nebyla na tomto faktoru závislá, nejtěžší byli cvrčci na kontrolní směsi ( $0,6085 \pm 0,022$  g) a nejlehčí na dietě 3 ( $0,3415 \pm 0,12$  g). Nejvhodnější stravou je tedy z pohledu rychlosti růstu a konečné hmotnosti kromě kontrolní směsi i dieta 2 obsahující rýžové otruby a mláto.

Stejně jako v kapitole 3.6.3 byly cvrčci ve studii Harsányi et al. (2020) chováni na čtyřech různých dietách (Tabulka 5), přičemž konečná koncentrace hrubého proteinu ve cvrčcích byla na kontrolní dietě (67 % ze sušiny), následovaná dietou 2 (65 %) a dietou 1 (61 %). Diety s obsahem hnoje dosahovaly 57 % obsahu bílkovin a zároveň nejvyššího zastoupení tuků (19 %) a vlákniny (18,5 % ze sušiny). Morales-Ramos et al. (2020) zaznamenali maximální přírůstek hmotnosti 56. den při 27 °C, v této studii k tomu docházelo ve věku 36 - 66 dnů. *A. domesticus* byl oproti *T. molitor* a *Z. morio* na všech substrátech bohatý na bílkoviny a vlákninu, ale chudý na tuky a energii. Oonincx et al. (2015) zjistili, že toto složení se dá do jisté míry ovlivnit právě výběrem vhodného chovného substrátu. Z výsledných koncentrací živin v sušině cvrčků lze určit zahradní odpad jako průměrný, kuřecí krmivo jako nejlepší a zeleninový odpad jako nejméně vhodné krmivo pro chov hmyzu.

Morales-Ramos et al. (2020) ve své studii složili experimentální krmné směsi na základě vlastního výběru (samovolné selekce) surových složek cvrčky, čímž si zajistí potřebné živiny díky své schopnosti regulovat příjem esenciálních živin. Tato schopnost byla prokázána u mnoha druhů hmyzu, kdy nejlépe funguje u všežravých druhů, jelikož konzumují širokou škálu druhů potravin. Tato samovolná selekce nebyla předtím pro druh *A. domesticus* zaznamenána. Pro experiment bylo vytvořeno sedm skupin krmiv složených z různých kombinací vedlejších zemědělských produktů na základě jejich nízké ceny a nutričních hodnot (Tabulka 10). Kombinace byly zvoleny tak, aby byl zajištěn dostatečný přísun makroživin s různými poměry. Experiment probíhal při teplotě  $27 \pm 1$  °C, relativní vlhkosti  $65 \pm 5$  % a čtrnáctihodinovém přísunu světla.

**Tabulka 10: Složení skupin pro samovolnou selekci pro *A. domesticus***

Složky	Skupina						
	A	B	C	D	E	F	G
Semeno pohanky	×		×	×	×		
Plnotučná sójová mouka	×						
Odtučněná sójová mouka		×					
Kukuřičná mouka		×					
Slunečnicová semena		×					
Sušené mléko	×						
Suché zelí			×	×	×		
Řasy bohaté na tuky						×	×
Řasy bohaté na bílkoviny						×	
Spirulina							×
Pšeničné otruby	×	×	×				
Rýžové otruby					×		×
Pivovarské kvasnice	×	×	×	×	×		
Mletá slisovaná vojtěška	×		×		×		
Kukuřičné mláto			×	×	×	×	×
Odtučněná řepná mouka					×		×
Odtučněné sójové boby						×	
Odtučněné rýžové otruby						×	
Arašídové slupky			×				
Sójové slupky					×		×
Rýžové slupky						×	

Zdroj: Přepřacováno podle Morales-Ramos et al. (2020)

Podle takto vytvořených skupin bylo na začátku rozděleno 5 gramů každé potravinové složky do boxů s jedinci a po osmi týdnech bylo vyhodnoceno, které složky byly cvrčky nejvíce využité. Cvrčci ve skupině E spotřebovali podstatně více krmiva oproti ostatním a díky tomu také vyprodukovali více živé biomasy než ostatní, s výjimkou skupiny C. Preference spotřeby ingrediencí se mezi skupinami lišila a byla ovlivněna dostupným výběrem potravin. Například mletá slisovaná vojtěška byla nejpreferovanější složkou ve skupině A, ale nejméně preferovanou u C a E, pšeničné otruby byly konzumovány více než pivovarské kvasnice u B, ale u C to bylo naopak. Na základě toho byly poté formulovány čtyři diety použité v hlavní části studie (Tabulka 11). Dieta 1 vznikla upravením skupiny C, dieta 2 upravením poměrů ze skupiny D, dieta 3 vznikla ze skupiny E po vyloučení sóji a dieta 4 vznikla smícháním vysoce konzumovaných produktů napříč všemi skupinami tak, aby byly zachovány poměry makroživin jako u skupiny E (Morales-Ramos et al. 2020).

**Tabulka 11: Zastoupení složek diet (%)**

Složky	Krmná směs			
	1	2	3	4
Semeno pohanky	29	25	19	
Suché zelí	9		10	8
Pšeničné otruby	8	5		
Rýžové otruby		5	17	20
Pivovarské kvasnice	16	10	17	8
Mletá slisovaná vojtěška	4	12	3	4
Kukuřičné mláto	34	38	28	30
Řepková moučka		5	6	10
Odtučněné rýžové otruby				20

Zdroj: Přepřacováno podle Morales-Ramos et al. (2020)

Tyto diety (Tabulka 11) následně použili v experimentu, který probíhal při 27 °C, 65% vlhkosti a dvanáctihodinové fotoperiodě. Účinnost přeměny skutečně spotřebované stravy se mezi dietami významně nelišila, stejně tak jako míra přežití a konečná hmotnost sušiny jedinců. Ta se však lišila podle pohlaví cvrčků, samice byly těžší ( $73,6 \pm 0,86$  mg) než samci ( $68,26 \pm 0,73$  mg), zároveň dospívaly rychleji: 52 dní oproti 56 u samců. U diety 2 byla živá hmotnost výrazně nižší (228 mg) než u ostatních (275 mg). Tato dieta také způsobila delší vývoj (61,43 dne), následovaná dietou 4 (57 dní). Doba vývoje mezi dietou 1 ( $54,0 \pm 0,37$  dne) a dietou 3 ( $53,91 \pm 0,38$  dne) se významně nelišila. Dieta 2 je pro chov cvrčků nejméně vhodná, protože produkovala menší dospělce, kteří se zároveň vyvíjeli pomaleji než dospělci ze skupin 1, 3 a 4 (Morales-Ramos et al. 2020). Dieta 4 je z diet v tomto experimentu nejlepší na základě délky vývoje cvrčků a nízkých nákladů vedlejších produktů obsažených v krmné směsi.

Vitamín B12, který zlepšuje růstovou schopnost cvrčků, byl v dietách zastoupen pouze v pivovarských kvasnicích a jeho obsah v nich nebyl nijak vysoký. Pokud by se však do diet přidaly složky živočišného původu, které mají koncentrace vitamínu vyšší, mohli by cvrčci dosahovat lepších hodnot. Mohl by se tím ale zároveň zvýšit dopad na životní prostředí a uhlíková stopa produkce, což sníží hodnotu krmiva a potravin na bázi hmyzu jako udržitelného zdroje živočišných bílkovin. (Morales-Ramos et al. 2020).

Lundy & Parrella (2015) zkoumali obsah bílkovin v *A. domesticus* v populacích s vysokou hustotou. Tato studie měřila produkci biomasy a poměry konverze krmiva v mnohem větší populační hustotě, než jaké byly dříve uváděny ve vědecké literatuře (viz studie v předchozích kapitolách). Pokus probíhal na 14 dní starých cvrčcích, které odchovali z vajíček (boxy o rozměrech  $1.2 \times 1.0 \times 0.61$  metrů, v každém 50 000 vajec) za teploty  $29,0 \pm 2,1$  °C a  $67,2 \pm 14,7\%$  vlhkosti. Světlo bylo poskytováno 24 hodin, krmivo *ad libitum*. Diety byly následující: 1) kuřecí krmivo s rýžovými otrubami v poměru 5:1, 2) potravinový odpad, 3) minimálně zpracovaný spotřebitelský odpad, 4) pšeničná a kukuřičná siláž obsahující 50 % nadzemní biomasy (slámy) v poměru 1:1 a 5) drůbeží hnůj s pšeničnou a rýžovou silážní slámou v poměru 2:1:1. Jako kontrola bylo použito kuřecí krmivo složené převážně z kukuřice a sójových zrn (Lundy & Parrella 2015).

Populace na dietě 1 měly až 4574% nárůst biomasy (čerstvé hmotnosti, s obsahem vlhkosti) na jednotlivce mezi 14. a 37. dnem. Populace krmené dietou 2 měly stálý přírůstek biomasy (2583% nárůst mezi 14. a 43. dnem). Zbylé diety nezajistily dostatek živin a cvrčci

nepřežili do velikosti, která by se dala sklízet – dieta 5 způsobila 99% mortalitu již 22. den. Poměr konverze krmiva byl pro cvrčky na dietě 2 pro 100 % sklizené biomasy 1,91 a pro 80 % biomasy (podle Nakagaki & de Foliart 1991) 2,39. Dieta 1 a 2 byly z tohoto experimentu považovány za nejvhodnější (Lundy & Parrella 2015).

Chov cvrčků na substrátech nižší kvality a úrovně zpracování ovšem vyžaduje další analýzu, jelikož nezpracované a méně kvalitní organické zbytky testované v této studii nebyly pro růst a přežití populací cvrčků dostačující. To ukazuje, že potenciál cvrčků jako udržitelného a ekonomicky výhodného zdroje bílkovin je omezenější, než se očekávalo.

### 3.6.7 Chov *Teleogryllus testaceus*

Tento cvrček (Orthoptera: Gryllidae, F.Walker, 1869) byl zkoumán Caparros Megido et al. (2016) na nevyužitých zdrojích v provincii Ratanakiri v Kambodži. Snažili se optimalizovat systém jejich chovu na sedmi dietách složených ze surovin lokálně dostupných. Jednalo se o mouku z nadzemní části kolokázie jedlé, mladých listů manioku, mladých listů kešu a hnědé rýže. Jako kontrolní krmivo bylo použito kuřecí krmivo lokálního původu. Diety se skládaly z 80 % výše zmíněných surovin a 20 % mouky z hnědé rýže s výjimkou pro maniok, kde byla navíc zhotovena dieta s přídavkem 2 mm tenkým plátkem banánu dodávaným jednou týdně. Pokus probíhal na 30 dní starých jedincích za zajištění krmení *ad libitum*, kdy potrava byla dodávána jednou týdně a vláha jednou za čtyři dny pomocí navlhčeného kusu látky.

Cvrčci na experimentálních směsích dosáhli podobné konečné tělesné hmotnosti jako u kontrolní stravy ( $31,67 \pm 3,02$  g), když byli chováni na kombinaci mladých listů manioku a hnědé rýže s ( $31,05 \pm 3,77$  g) nebo bez přídavku ( $27,15 \pm 4,06$  g) banánu. Jedinci chovaní na mladých kešu listech s i bez přídavku hnědé rýže měli vysokou úmrtnost (přes 80 %) a nízkou konečnou hmotnost (2,49 g) v porovnání s ostatními dietami. Cvrčci krmení experimentální stravou měli vyšší hladinu bílkovin než ti, kteří byli krmení kontrolní směsí (468 g/kg sušiny). Nejvyšších hodnot dosahovali na samotných listech kolokázie (685 g/kg) a manioku (642 g/kg sušiny) (Caparros Megido et al. 2016).

Nutriční analýzy mladých listů manioku ukázaly, že jsou relativně bohaté na bílkoviny a zároveň chudé na sacharidy pro optimální vývoj cvrčků, kdežto starší listy by mohly být vzhledem ke sníženému obsahu bílkovin a zvýšenému sacharidů vhodnější, jelikož jejich obsah je ovlivněn zralostí listů (Caparros Megido et al. 2016).

K produkci cvrčků s vysokou hmotností se tedy nejvíce hodí směsi z mladých listů manioku a hnědé rýže (s banány nebo bez banánů), při zaměření na vysoký obsah bílkovin se jako vhodná dieta jeví použití kolokázie nebo mladých listů manioku. Pro chov cvrčků s vysokou tělesnou hmotou i hladinou bílkovin doporučují autoři navrhnout nový experiment, ve kterém bude zralost maniokového listu přizpůsobena tak, aby odpovídala nutričním požadavkům cvrčků.

### 3.6.8 Chov *Gryllus bimaculatus*

V této práci jsou také zahrnuty výsledky dvou studií zahrnující cvrčka dvojskvrnného (*Gryllus bimaculatus*, De Geer, 1773) z čeledi (Orthoptera: Gryllidae). Jak Sorjonen et al. (2019), tak i Orinda et al. (2017) zkoumali tento druh zároveň s *A. domesticus*.

První studie byla zaměřena na růst těchto dvou druhů na 18 experimentálních dietách, kde sóju z kuřecího krmiva částečně nahradili rostlinnými vedlejšími produkty z potravinářského průmyslu. Těmito produkty byly bramborová bílkovina, ječmenná kaše, ječmenné krmivo, *Brassica rapa* a směs fazolí a hrachu, se třemi rozdílnými obsahy bílkovin (vysoký 30,5 %, střední 22,5 % a nízký 15 %). Stejně jako u ostatních pokusů bylo zajištěno krmení *ad libitum* a dostatek vláhy ve formě vody i čerstvé mrkve a teplota byla udržována na  $29\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  při dvanáctihodinové fotoperiodě (Sorjonen et al. 2019).

Doba vývoje jedinců se pohybovala mezi 24 - 28 dny, přičemž nejrychlejší byl na *B. rapa* s vysokým a středním obsahem bílkovin a nejpomalejší na ječmeni, stejně jako u *A. domesticus*. Míra přežití *G. bimaculatus* byla oproti *A. domesticus* poloviční (44 % oproti 80 %). Efektivita konverze skutečně spotřebovaného krmiva byla nejvyšší u krmiva ze směsi fazolí s vysokým i středním obsahem bílkovin ( $29,5 \pm 9,0\%$ ) a nejnižší u středně a nízkoproteinové diety z ječmene ( $7,44 \pm 2,3\%$ ) (Sorjonen et al. 2019).

Z výsledků vyplynulo, že krmná směs z *B. rapa* ( $5,12 \pm 0,57\text{ g}$ ) a ječmenné kaše ( $4,90 \pm 0,58\text{ g}$ ) s vysokým obsahem bílkovin měla za následek nejvyšší výtěžnost a celkově všechny vysokoproteinové diety zajistily nejvyšší výnos, růst a nejrychlejší vývoj (Sorjonen et al. 2019).

Z této studie tedy plyne, že vedlejší produkty potravinářského průmyslu by mohly být použity jako součást krmiv pro cvrčky, a tak zlepšit návratnost živin do oběhu, zároveň se cvrčkům dařilo nejenom při vysokoproteinových dietách (30,5 %) jak bylo již dříve uváděno, ale i při dietách se středním obsahem bílkovin (22 %), což by mohlo do budoucna snížit náklady na jejich chov.

Druhá studie byla zaměřena na délku vývoje *G. bimaculatus* krmeným třemi dietami v následujícím složení: dieta 1 (rýžové otruby + krevní moučka), dieta 2 (rýžové otruby + mláto), dieta 3 (rýžové otruby + použité kvasnice) a konvenční krmnou směsí pro hmyz jako kontrolním krmivem. Pokus probíhal na 14 dní starých cvrčcích, krmení bylo zajištěno *ad libitum* (Orinda et al. 2017).

Nejkratší doba vývoje byla zaznamenána u kontrolní stravy, nejdelší, stejně jako *A. domesticus*, u diety 1. Rychlost růstu byla také ovlivněna použitým krmivem. Nejrychleji rostli jedinci na kontrolní směsi a dietě 3 ve 3. týdnu, na dietě 1 rostli nejrychleji ve 4. týdnu a na dietě 2 až v 5. týdnu. Nízkou rychlost růstu pozorovanou v této studii může být vysvětlena vysokým obsahem vlákniny v rýžových otrubách a mlátu, která je pro cvrčky nestravitelná a působí tedy jako inhibitor růstu. Tuto teorii dále podporují výsledky Lundy & Parrella (2015), kteří zaznamenali až 99% mortalitu u cvrčků krmených slámou. Dalším možným faktorem ve zpomaleném růstu je vysoký obsah bílkovin v dietě 3, neboť cvrčci museli vynaložit více energie na vyloučení přebytečných bílkovin v podobě kyseliny močové a amoniaku, a to je pro tyto organismy náročné. Nejvyšší hmotnost po kontrolní dietě měli cvrčci chovaní na dietě 1 ( $0,7333 \pm 0,23\text{ g}$ ), nejmenší na dietě 3 ( $0,6038 \pm 0,19\text{ g}$ ) (Orinda et al. 2017). Tyto výsledky se shodovaly s předchozími od Caparros Megido et al. (2016) kteří zjistili, že tempo růstu hmyzu závisí na použitém druhu stravy.



### 3.6.9 Dřevokazný hmyz

Varelas & Langton (2017) se zabývali shrnutím dostupných informací o využití lesní biomasy jako potenciálního zdroje pro chov jedlého hmyzu. Většina těchto druhů je tradičně sklízena ve volné přírodě z lesů, které pro hmyz představují nejenom prostředí pro život, ale také zásoby lignocelulózy a živin, které dřevokazný hmyz dokáže využívat. Ačkoliv většina jedlého hmyzu pochází z lesa, tak je hmyz považován hlavně za škůdce dřeva a současný výzkum je zaměřen pouze na ochranu proti nim. Lesní organický odpad a živiny z něj by přitom bylo možné využít pro kultivaci různých druhů jedlého hmyzu při procesu biodegradace dřeva. Přímým obhospodařováním stromů a lesů za účelem podpory produkce jedlého či jinak užitečného hmyzu by mohl vzniknout inovativní a udržitelný průmysl jedlého hmyzu založený právě na lesích. (Bußler et al. 2016; Varelas & Langton 2017).

Celosvětově se k lidské výživě a krmení hospodářských zvířat používá nejméně 43 jedlých druhů termitů (nejčastěji rod *Macrotermes*) (Defoliart 1995; Varelas & Langton 2017). Dále se také konzumují dospělí brouci z čeledí Scarabaeidae, Lucanidae, Cerambycidae, Buprestidae, Dytiscidae a Chrysomelidae (Varelas & Langton 2017).

U larev brouka *Prionoplus reticularis* již byla úspěšně použita umělá strava obsahující borové piliny pro průmyslové chování lesního hmyzu pro účely biologické kontroly hmyzích škůdců (Varelas & Langton 2017). Dále by se ke krmení daly použít listy, větve, kmenové dřevo, kůra, pařezy a piliny různých druhů stromů, jelikož se liší skladbou živin, a tudíž mohou splňovat nutriční požadavky pro růst hmyzu.

Určité druhy hmyzu dokáží trávit dřevěnou lignocelulózu vlastními enzymy a enzymy ze symbiotické mikrobioty (např.: *Zootermopsis angusticollis*, Isoptera: Termopsidae, *Heterotermes longiceps*, *Coptotermes gestroi*, Isoptera: Rhinotermitidae, *Nasutitermes jaraguae*, Isoptera: Termitidae), zároveň však lze dřevnatý substrát předupravit a zlepšit tak vstřebatelnost a dostupnost živin i pro další druhy (Varelas & Langton 2017).

Odpad z lesní biomasy lze tedy chápat jako potenciální krmný substrát pro různé druhy hmyzu. V budoucnu by mělo být provedeno více experimentů se zaměřením na využití tohoto odpadu jako součástí diet pro chov hmyzu, ať už samostatně nebo jako přídavek k dalším biologickým odpadům a také na nutriční složení takto chovaného hmyzu.

### 3.7 Porovnání krmných směsí

Všechny popsané studie v této práci zabývající se chovem *H. illucens*, *T. molitor*, *A. diaperinus*, *Z. morio*, *A. domesticus*, *T. testaceus* a *G. bimaculatus* na zbytkových a odpadních produktech potravinářského průmyslu a zemědělství se sledováním obsahu jejich nutričních hodnot se shodovaly v několika bodech. Nezávisle na druhu chovaného hmyzu byly podmínky pro jejich růst stanovené od 22 °C do 29 °C kvůli tomu, že je hmyz poikilotermní a teplo musí přijímat z okolí. Zároveň, aby potenciál růstu hmyzu nebyl nijak omezen, bylo krmivo vždy dodáváno *ad libitum* a s dostatečnou vlhkostí (60 - 70 %), ta byla dodávána ve formě mrkve, která měla pozitivní vliv na většinu výsledných hodnot s výjimkou poměru konverze krmiva. Na druhou stranu toto využití mrkve ve velkochovu by bylo ekonomicky velmi nákladné, a proto je vhodné použít například vlhčený substrát. Takto stanovené podmínky nijak výrazně výkon hmyzu neovlivnily a nemusely by se tudíž dále upravovat.

Pro *H. illucens* byla z pohledu vysokého obsahu bílkovin v larvách nejlepším substrátem směs vytvořená Oonincxem et al. (2015) obsahující pivovarské mláto. I přes to, že bylo mláto v dietě zastoupeno z 60 %, poměr konverze krmiva byl 1,4 (kg krmiva na kg vytvořené bílkoviny), což je v porovnání s drůbeží méně (Oonincx & de Boer 2012 uvádí 2,2) a lze tedy tento vedlejší produkt považovat za vhodný. Z Tabulky 12 je patrné, že larvy chované na směsi od Chia et al. (2020) obsahující čirok, ječmen a kvasnice obsahovaly vysoké množství bílkovin (45,7 % sušiny) a málo tuku (9,5 %), což svědčí o vhodnosti této směsi produktů pro chov *H. illucens*.

Larvy *T. molitor* dosahovaly příznivých výsledků na téměř všech experimentálních směsích, ovšem nejvýhodnější byla ta, která obsahovala 40 % pivovarských kvasnic a 40 % bramborových slupek (van Broekhoven et al. 2015). Na ní se larvy vyvíjely 79 dní a obsah bílkovin měly 48,6 % sušiny. Podobných hodnot dosahovaly také na další směsi od van Broekhoven et al. (2015), tvořené z 50 % zbytky pečiva, 40 % otrubami a 10 % pivovarskými kvasnicemi, nicméně délka jejich vývoje se prodloužila na 95 dní a míra přežití klesla o 4 %. Obsah bílkovin se prakticky nezměnil, zato obsah tuku značně klesl na 18,9 % ze sušiny (Tabulka 12).

Směs navržená van Broekhoven et al. (2015) obsahující 40 % pivovarských kvasnic, 30 % otrub, 20 % kukuřičného mláta a 10 % zbytků pečiva byla pro *A. diaperinus* nejvhodnější. V Tabulce 12 je zobrazeno, že délka vývoje byla pouhých 38 dní, míra přežití 94 % a obsah bílkovin v larvách byl 65 % ze sušiny. Přesto byl však poměr konverze o něco horší než u drůbeže, dosahoval 3,24. O něco lepší byl u směsi tvořené převážně z bramborových slupek (40 %) a pivovarských kvasnic (40 %) (van Broekhoven et al. 2015). Byl 3,01, ale prodloužila se doba vývoje a zvýšil obsah tuku v larvách (21, 8 %).

Krátká délka vývoje byla pozorována u *Z. morio* na směsi tvořené 40 % pivovarských kvasnic, 30 % otrub, 20 % kukuřičného mláta a 10 % zbytky pečiva a byla 103 dní. Zároveň zajišťovala nejvyšší obsah bílkovin v hmyzu (42,5 % ze sušiny) (van Broekhoven et al. 2015).

Směsi, které obsahovaly pivovarské mláto, kvasnice a zbytky chleba nebyly pro *A. domesticus*, na rozdíl od ostatních druhů hmyzu, vůbec vhodné, jelikož míra přežití na nich byla minimální. Výrazně lepší míry přežití bylo dosaženo na ječmenné kaši s vysokým a středním obsahem proteinu (Sorjonen et al. 2019), ačkoliv poměr konverze krmiva byl 6 – 8, délka vývoje cvrčků byla pouhých 34 dní. Krmivo Lundy & Parrella (2015) tvořené z 20 % rýžovými otrubami a 80 % krmné směsi pro kuřata zajistilo cvrčkům 43 denní délku vývoje a poměr konverze krmiva 1,91, což se vyrovná poměru konverze brojlerovým kuřatům.

Listy kolokázie poskytovaly *T. testaceus* dostatek živin a cvrčci na nich chováni obsahovali 68,5 % bílkovin v sušině, zároveň jejich míra přežití byla vysoká, 90% (Caparros Megido et al. 2016). Délka vývoje *G. bimaculatus* byla na 29 % *Brassica rapa* 25 dní a míra přežití, jak z Tabulky 12 vyplývá, byla 61 %, bohužel bez dalších dat ohledně nutričního složení či poměru konverze krmiva (Sorjonen et al. 2019). Na základě dalších dat, která v Tabulce 12 chybí, je zřetelné, že studie byly vždy zaměřeny pouze na některé faktory. Je proto nutné dále a komplexně testovat diety s různorodým zastoupením a koncentrací živin. Musí se ovšem vyloučit potraviny, které obsahují pro hmyz toxické látky, jak prokázali van Broekhoven et al. (2015) a Oonincx et al. (2015).

**Tabulka 12 část 1: Příklady využití vedlejších či zbytkových produktů potravinářského a zemědělského sektoru jedlého/krmného hmyzu**

Řád	Druh	Použitý vedlejší produkt	Množství v krmné dávce (%)	Délka vývoje (dny)	Míra přežití (%)	Obsah bílkovin (% ze sušiny)	Obsah tuku (% ze sušiny)	Poměr konverze krmiva (g/kg sušiny)	Zdroj
Diptera	<i>Hermetia illucens</i>	Pivovarské mláto	60	21	86	46,3	24,7	1,4	Omincx et al. (2015)
		Čirok + ječmen + kvasnice	100	-	-	45,7	9,5	-	Chia et al. (2020)
		Čirok + ječmen + kvasnice + melasa	100	-	-	44,6	11,4	-	
		Pivovarské mláto	60	116	79	53,6	26,5	3,8	Omincx et al. (2015)
		Pivovarské mláto + mrkev	60	88	88	51,3	22,6	4,5	
		Brambory a sladké brambory	50	101	> 90	46,3	43,3	-	Harsányi et al. (2020)
		Poceteae	50	101	> 90	42,6	45,2	-	
		Kukuřičné mláto	10						
		Pivovarské kvasnice	40	79	88	48,6	26,3	3,04	
		Zbytky pečiva	10						
Coleoptera	<i>Tenebrio molitor</i>	Bramborové slupky	40						
		Kukuřičné mláto	20						
		Pivovarské kvasnice	40	95	92	47,5	27,6	2,62	van Broekhoven et al. (2015)
		Zbytky pečiva	10						
		Otruby	30						
		Pivovarské kvasnice	10						
		Zbytky pečiva	50	95	84	46,9	18,9	-	
		Otruby	40						
		Kukuřičné mláto	10						
		Pivovarské kvasnice	40	44	95	64,3	21,8	3,01	
Coleoptera	<i>Alphitobius diaperinus</i>	Zbytky pečiva	10						
		Bramborové slupky	40						
		Kukuřičné mláto	20						
		Pivovarské kvasnice	40	38	94	65	18,1	3,24	van Broekhoven et al. (2015)
		Zbytky pečiva	10						
		Otruby	30						
		Pivovarské kvasnice	10						
		Zbytky pečiva	50	48	97	-	13,4	-	
		Otruby	40						
		Pšeničná krupice + pivovarské mláto	100 - 85	28	-	38	27	-	
Rýžové otruby	nahrazení pšeničné krupice 5-15%	28	-	38-43	23-26	-		Gianotten et al. (2020), Soetomans et al. (2020)	
	nahrazení pšeničné krupice 5-15%	28	-	40-44	24	-			
Řepková moučka									

**Tabulka 12 část 2: Příklady využití vedlejších či zbytkových produktů potravinářského a zemědělského sektoru jedlého/krmného hmyzu**

Rád	Druh	Použitý vedlejší produkt	Množství v krmné dávce (%)	Délka vývoje (dny)	Míra přežití (%)	Obsah bílkovin (% ze sušiny)	Obsah tuku (% ze sušiny)	Poměr konverze krmiva (g/kg sušiny)	Zdroj
Coleoptera	<i>Zophobas morio</i>	Brambory a sladké brambory	50	101	> 95	45,7	43,2	-	van Broekhoven et al. (2015)
		Pocceae	50	101	> 95	41,2	44,3	-	
		Kukuričné mláto	10						
		Pivovarské kvasnice	40	117	96	41,1	43,5	3,11	
		Zbytky pečiva	10						
		Bramborové slupky	40						
		Kukuričné mláto	20						
		Pivovarské kvasnice	40	103	91	42,5	40	2,73	
		Zbytky pečiva	10						
		Otruby	30						
Pivovarské kvasnice	10								
Zbytky pečiva	50	152	84	34,2	32,8	-			
Otruby	40								
Orthoptera	<i>Achetia domesticus</i>	Pivovarské mláto	60	55	27	59,2	20,8	4,5	Morales-Ramos et al. (2020)
		Jedenná kaše (30,5% proteinu)	100	34	91	-	-	8	
		Jedenná kaše (22,5% proteinu)	100	34	94	-	-	6	
		Brambory a sladké brambory	50	66	78	61,2	17,1	-	
		Pocceae	50	66	68	65,3	19,3	-	
		Semeno pohanky	29						
		Suché zeli	9						
		Pšenčné otruby	8	54	69	-	-	-	
		Pivovarské kvasnice	16						
		Mletá slisovaná vojička	4						
		Kukuričné mláto	34						
		Suché zeli	8						
		Rýžové otruby	20						
Pivovarské kvasnice	8	57	62	-	-	-			
Mletá slisovaná vojička	4								
Kukuričné mláto	30								
Řepková moučka	10								
Odtučněné rýžové otruby	20								
Kučecí krmivo : rýžové otruby	5:1	43	-	-	-	1,91	Lundý & Parella (2015)		
Lisiny kolokázie	100	28	90	68,5	-	-	Caparrós Megido et al. (2016)		
Lisiny manduku	100	28	87	64,2	-	-			
Orthoptera	<i>Gryllus bimaculatus</i>	<i>Brassica rapa</i> (30,5 % proteinu)	29	25	61	-	-	Sorjonen et al. (2019)	

## 4 Závěr

V této bakalářské práci byly shrnuty poznatky o možnosti využití vedlejších a odpadních produktů potravinářského průmyslu při chovu hmyzu. Na základě této kompilace bylo zjištěno, že nejvhodnějšími druhy pro kultivaci na takových produktech se zdají být *Hermetia illucens* a larvy brouků z čeledi Tenebrionidae. Dále byla tato možnost testována i u jiných druhů hmyzu z řádu Orthoptera.

Vedlejší produkty lze použít buď samostatně, nebo jako částečnou náhradu konvenčně používaných složek krmné směsi pro kuřata, která je v chovu hmyzu považována za nejvhodnější či kontrolní krmivo. Co se týče nutričních hodnot vedlejších produktů ze zemědělství a potravinového průmyslu, většina testovaných substrátů obsahujících například pivovarské mláto a kvasnice, zbytky pečiva anebo také zbytky rostlin (kolokázie, *Brassica rapa*), poskytovaly hmyzu dostatečné množství živin pro jejich vývoj. Výjimkou byly cvrčci *A. domesticus*, kteří měli na všech směsích obsahujících produkty z pivovarů nízkou míru přežití (maximálně 27 %). Doba vývoje hmyzu se od kontrolních skupin v některých případech značně lišila, nejlepších výsledků bylo dosaženo na dietách s obsahem 20 - 30 % bílkovin v sušině. Tento obsah je klíčovým faktorem účinnosti konverze krmiva, jelikož příliš vysoké zastoupení bílkovin vede k prodloužení doby růstu kvůli zvýšenému výdaji energie na vylučování přebytečných dusíkatých látek.

Na základě provedené literární rešerše se nejlepším zdrojem krmiva zdají být pivovarské kvasnice a mláto. Využití těchto komponent mělo pozitivní dopad na životní charakteristiky i nutriční profily u *H. illucens*, *T. molitor*, *A. diaperinus* a *Z. morio* a byly srovnatelné s již komerčně využívanými krmivy. Další vhodné produkty a krmné směsi z nich jsou kukuřičné mláto, bramborové slupky, rýžové otruby a směs čiroku a ječmene.

Chov hmyzu na vedlejších či odpadních produktech je relativně novou záležitostí, tato práce tedy poukázala na to, že některé zbytkové produkty mohou být v budoucnu využitelné v chovu hmyzu, čímž by bylo dosaženo levné a ekologické produkce kvalitního hmyzího proteinu. Na druhou stranu zatím existuje pouze omezené množství experimentů, které se touto problematikou doposud zabývaly, a na základě kterých by se mohl rozvinout takto udržitelný chov a legislativa spravující toto odvětví průmyslu. Proto je na místě další intenzivní výzkum na toto téma. Zároveň by se mělo začít uvažovat o potenciálu využití dřevokazného hmyzu jako zdroje bílkovin a způsobu moderního obhospodařování lesů. V neposlední řadě je třeba neopomenout hledisko bezpečnosti a možných rizik spojených s konzumací hmyzu odchovaném na substrátech obsahujících odpadní materiály či vedlejší produkty.

## 5 Literatura

- Barbi S, Macavei LI, Fuso A, Luparelli AV, Caligiani A, Ferrari AM, Maistrello L, Montorsi M. 2020. Valorization of seasonal agri-food leftovers through insects. *Science of the Total Environment*. 709: (e136209) DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.136209.
- Bava L, Jucker C, Gislon G, Lupi D, Savoldelli S, Zucali M, Colombini S. 2019. Rearing of *Hermetia Illucens* on Different Organic By-Products: Influence on Growth, Waste Reduction, and Environmental Impact. *Animals*. **9** (6):289.
- van Broekhoven S, Oonincx DGAB, van Huis A, van Loon JJA. 2015. Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. *Journal of Insect Physiology* **73**:1–10.
- Bußler S, Rumpold BA, Jander E, Rawel HM, Schlüter OK. 2016. Recovery and techno-functionality of flours and proteins from two edible insect species: Meal worm (*Tenebrio molitor*) and black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Heliyon* **2** (12): (e00218) DOI: 10.1016/j.heliyon.2016.e00218.
- Butt MS, Rizwana B. 2010. Nutritional and functional properties of some promising legumes protein isolates. *Pakistan Journal of Nutrition* **9** (4):373-379.
- Caparros Megido R, Alabi T, Nieus C, Blecker C, Danthine S, Bogaert J, Haubruge É, Francis F. 2016. Optimisation of a cheap and residential small-scale production of edible crickets with local by-products as an alternative protein-rich human food source in Ratanakiri Province, Cambodia. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **96** (2):627-632.
- Čičková H, Newton GL, Lacy RC, Kozánek M. 2015. The use of fly larvae for organic waste treatment. *Waste Management* **35**:68-80.
- DeFoliart GR. 1995. Edible insects as minilivestock. *Biodiversity and Conservation* **4**: 306-321.
- Dobermann D, Swift JA, Field LM. 2017. Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. *Nutrition Bulletin* **42** (4):293-308.
- European Commission 2013. Commission Regulation (EU) No. 68/2013 of 16 January 2013 on the Catalogue of feed materials. *Official Journal L 29/1*, 1–64.
- Evropský parlament a Rada Evropské unie. Nařízení Evropského parlamentu a Rady Evropské unie (EU) 2015/2283 ze dne 25. listopadu 2015 o nových potravinách, o změně nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1169/2011 a o zrušení nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 258/97 a nařízení Komise (ES) č. 1852/2001. Brusel.
- Evropská komise. 2017. Nařízení Komise (EU) 2017/893 ze dne 24. května 2017, kterým se mění přílohy I a IV nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 999/2001 a přílohy X, XIV a XV nařízení Komise (EU) č. 142/2011, pokud jde o ustanovení týkající se zpracovaných živočišných bílkovin. Brusel.
- Gianotten N, Soetemans L, Bastiaens L. 2020. Agri-Food Side-Stream Inclusions in the Diet of *Alphitobius diaperinus* Part 1: Impact on Larvae Growth Performance Parameters. *Insects*. **11** (2):79.

- Granato D, Barba FJ, Kovačević DB, Lorenzo JM, Cruz AG, Putnik P. 2020. Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual Review of Food Science and Technology* **11**:93–118.
- Gullón B, Gagaoua M, Barba FJ, Gullón P, Zhang W, Lorenzo JM. 2020. Seaweeds as promising resource of bioactive compounds: Overview of novel extraction strategies and design of tailored meat products. *Trends in Food Science and Technology* **100**:1-18.
- Gustavsson J, Cederberg C, Sonesson U. 2011. *Global Food Losses and Food Waste*. FAO, Rome.
- Halloran A, Hanboonsong Y, Roos N, Bruun S. 2017. Life cycle assessment of cricket farming in north-eastern Thailand. *Journal of Cleaner Production*. **156**:83–94.
- Halloran A, Hansen HH, Jensen LS, Bruun S. 2018. *Edible Insects in Sustainable Food Systems*. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018, New York City.
- Harsányi E, Juhász C, Kovács E, Huzsvai L, Pintér R, Fekete G, Varga ZI, Aleksza L, Gyuricza C. 2020. Evaluation of Organic Wastes as Substrates for Rearing *Zophobas morio*, *Tenebrio molitor*, and *Acheta domesticus* Larvae as Alternative Feed Supplements. *Insects* **11** (9):604.
- van Huis A, van Itterbeeck J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, Vantomme P. 2013. *Edible Insects – Future prospects for food and feed security*. FAO, Rome.
- van Huis A. 2015. Edible insects contributing to food security?. *Agric & Food Secur* **4**:20.
- van Huis A, Oonincx DGAB. 2017. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **37** (5):43.
- Chia SY, Tanga CM, Osuga IM, Cheseto X, Ekesi S, Dicke M, van Loon JJA. 2020. Nutritional composition of black soldier fly larvae feeding on agro-industrial by-products. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **168** (6–7):472–481.
- 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** (4):521-540.
- Kočař F. 2009. Srovnání biologické hodnoty bílkovin u vybraných luštěnin [MSc. Thesis]. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Zlín.
- Lundy ME, Parrella MP. 2015. Crickets Are Not a Free Lunch: Protein Capture From Scalable Organic Side-Streams via High-Density Populations of *Acheta domesticus*. *PLoS ONE* **10** (4): (e0118785) DOI: 10.1371/journal.pone.0118785.
- Melgar-Lalanne G, Hernández-Álvarez AJ, Salinas-Castro A. 2019. Edible Insects Processing: Traditional and Innovative Technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **18** (4):1166-1191.
- Meneguz M, Schiavone A, Gai F, Dama A, Lussiana C, Renna M, Gasco L. 2018. Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **98** (15):5776–5784.

- Ministerstvo zemědělství. 2021. Internetový portál bezpečnosti potravin - Hmyz. Available from <https://www.bezpecnostpotravin.cz/kategorie/hmyz.aspx> (accessed February 2021).
- Mlček 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** (3):147-157.
- Morales-Ramos JA, Rojas MG, Dossey AT, Berhow M. 2020. Self-selection of food ingredients and agricultural by-products by the house cricket, *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae): A holistic approach to develop optimized diets. *PLoS ONE* **15** (1): (e0227400) DOI: 10.1371/journal.pone.0227400.
- Nakagaki BJ, Defoliart GR. 1991. Comparison of Diets for Mass-Rearing *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae) as a Novelty Food, and Comparison of Food Conversion Efficiency with Values Reported for Livestock. *Journal of Economic Entomology* **84** (3):891–896.
- Ojha S, Bußler S, Schlüter OK. 2020. Food waste valorisation and circular economy concepts in insect production and processing. *Waste Management* **118**:600-609.
- Oonincx DGAB, de Boer IJM. 2012. Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment. *PLoS ONE* **7** (12): (e51145) DOI: 10.1371/journal.pone.0051145.
- Oonincx DGAB, van Itterbeeck J, Heetkamp MJW, van den Brand H, van Loon JJA, 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): (e14445) DOI: 10.1371/journal.pone.0014445.
- 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): (e0144601) DOI: 10.1371/journal.pone.0144601.
- Pinotti L, Giromini C, Ottoboni M, Tretola M, Marchis D. 2019. Review: Insects and former foodstuffs for upgrading food waste biomasses/streams to feed ingredients for farm animals. *Animal*. **13** (7):1365–1375.
- PRB (Population Reference Bureau). 2021. International Indicators: Total Fertility Rate – PRB. (n.d.). Available from <https://www.prb.org/international/indicator/fertility/snapshot> (accessed January 2021).
- Raheem D, Carrascosa C, Oluwole OB, Nieuwland M, Saraiva A, Millán R, Raposo A. 2019. Traditional consumption of and rearing edible insects in Africa, Asia and Europe. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **59** (14):2169-2188.
- Ribeiro JC, Cunha LM, Sousa-Pinto B, Fonseca J. 2018. Allergic risks of consuming edible insects: A systematic review. *Molecular Nutrition and Food Research*. **62** (1): (e1700030). DOI: 10.1002/mnfr.201700030.
- Rumpold BA, Schlüter OK. 2013. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research* **57** (5):802-823.
- Saadoun JH, Montevicchi G, Zanasi L, Bortolini S, Macavei LI, Masino F, Maistrello L, Antonelli A. 2020. Lipid profile and growth of black soldier flies (*Hermetia illucens*,



- Stratiomyidae) reared on by-products from different food chains. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **100** (9):3648–3657.
- SENS Foods CZ s.r.o..2020. Zákulisí cvrččí farmy - Jak vypadá moderní cvrččí farma? Available from <https://damesens.cz/blogs/news/zakulisi-cvrcci-farmy-jak-vypada-moderni-cvrcci-farma> (accessed april 2021)
- Schreven SJJ, Yener S, van Valenberg HJF, Dicke M, van Loon JJA. 2020. Life on a piece of cake: performance and fatty acid profiles of black soldier fly larvae fed oilseed by-products. *Journal of Insects as Food and Feed* **7** (1):35-49.
- Smetana S, Schmitt E, Mathys A. 2019. Sustainable use of *Hermetia illucens* insect biomass for feed and food: Attributional and consequential life cycle assessment. *Resources, Conservation and Recycling* **144**:285–296.
- Soetemans L, Gianotten N, Bastiaens L. 2020. Agri-Food Side-Stream Inclusion in The Diet of *Alphitobius Diaperinus*. Part 2: Impact on Larvae Composition. *Insects* **11** (3): 190.
- Sorjonen JM, Valtonen A, Hirvisalo E, Karhapää M, Lehtovaara VJ, Lindgren J, Marnila P, Mooney P, Mäki M, Siljander-Rasi H, Tapio M, Tuiskula-Haavisto M, Roininen H. 2019. The plant-based by-product diets for the mass-rearing of *Acheta domesticus* and *Gryllus bimaculatus*. *PLOS ONE* **14** (6): (e0218830) DOI: 10.1371/journal.pone.0218830.
- Spranghers T, Ottoboni M, Klootwijk C, Owyn A, Deboosere S, De Meulenaer B, Michiels J, Eeckhout M, De Clercq P, De Smet S. 2017. Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **97** (8): 2594–2600.
- Varelas V. 2019. Food Wastes as a Potential New Source for Edible Insect Mass Production for Food and Feed: A review. *Fermentation* **5** (3):81.
- Varelas V, Langton M. 2017. Forest biomass waste as a potential innovative source for rearing edible insects for food and feed – A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. **41**:193-205.
- Wade M, Hoelle J. 2019. A review of edible insect industrialization: Scales of production and implications for sustainability. *Environmental Research Letters* **15** (12): (e123013) DOI: 10.1088/1748-9326/aba1c1.
- Worldometer, 2021. Available from <https://www.worldometers.info/world-population/> (accessed January 2021).
- Young VR. 1991. Soy protein in relation to human protein and amino acid nutrition. *Journal of the American Dietetic Association* **91**(7):828-835.

