

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů
Katedra kvality zemědělských produktů



**Nutriční rozbor a optimalizace chovu
vybraných druhů jedlého hmyzu v podmínkách ČR
s ohledem na zdraví člověka**

.....
doktorská disertační práce

Autor práce: **Ing. et Ing. Anna Adámková**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Lenka Kouřimská, Ph.D.**
Konzultant práce: **doc. Ing. Marie Borkovcová, Ph.D.**
Mendelova univerzita v Brně

Praha 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou disertační práci "Nutriční rozbor a optimalizace chovu vybraných druhů jedlého hmyzu v podmínkách ČR s ohledem na zdraví člověka" jsem vypracovala samostatně pod vedením školitelky 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 disertační práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 28.8.2017

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Lence Kouřimské, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při zpracování disertační práce.

Děkuji doc. Ing. Marii Borkovcové, Ph.D. a Ing. Martině Bednářové, Ph.D. za poskytnutí různých vzorků jedlého hmyzu, za cenné rady a podporu při zpracování disertační práce.

Dále děkuji rodině, zejména Emílii a Jindřichu Zrůstkovým, za pomoc a podporu nejen ve studiu, bez kterých by vznik této disertační práce nebyl možný. V neposlední řadě bych ráda poděkovala za veškerou pomoc a podporu svému manželovi Ing. Martinovi Adámkovi, Ph.D., který při mně stál v těch nejtěžších chvílích.

Nutriční rozbor a optimalizace chovu vybraných druhů jedlého hmyzu v podmínkách ČR s ohledem na zdraví člověka

Abstrakt

Entomofágie je jedním z nejvíce populárních trendů v lidské výživě v současnosti v Evropě. Důvodem tohoto trendu je potenciál jedlého hmyzu jako dobrého zdroje proteinů, mastných kyselin a mikronutrientů. K zavedení jedlého hmyzu do potravinového koše evropských spotřebitelů je nejdříve nutné analyzovat jedlý hmyz z hlediska nutričních vlastností a bezpečnostních rizik. Tato disertační práce zkoumala problematiku využití jedlého hmyzu jako alternativního zdroje potravy v podmínkách České republiky. Práce se zaměřila na vybrané druhy jedlého hmyzu (potemník moučný, potemník brazilský, potemník stájový a cvrček stepní), které doporučila EFSA jako možné druhy ke konzumaci.

V hypotéze H1 byl zkoumán vliv chovných podmínek, vývojových stádií a optimálních krmných dávek s cílem získání komodity s optimálními nutričními hodnotami pro výživu lidí. V práci byl sledován zejména obsah tuku stanovený podle Soxhleta, obsah dusíkatých látek podle Kjeldahla a profil mastných kyselin pomocí plynového chromatografu. Z analýz vyplynula závislost jednotlivých nutričních hodnot na jednotlivých sledovaných životních podmínkách. V práci se prokázalo, že univerzální doporučení pro všechny druhy hmyzu při optimalizaci jejich nutričních hodnot neexistují, protože každý jedlý druh obsahuje různé živiny. Zvolené podmínky chovu závisí proto na požadovaných nutričních hodnotách, např. při chovu potemníka moučného a požadavku zvýšeného množství tuku byla stanovena ze sledovaných teplot a diet jako optimální teplota 20 °C při otrubové dietě. Optimální zastoupení živin z jedlého hmyzu pro výživu člověka může být dosaženo mícháním jednotlivých druhů jedlého hmyzu.

Hypotéza H2 byla zaměřena na postoj české veřejnosti k otázkám jedlého hmyzu a jeho přijatelnosti na našem trhu. Z dotazníkových šetření a degustace potemníka moučného, potemníka brazilského a cvrčka domácího vyplynula ochota českého konzumenta respektovat jedlý hmyz jako potravinu nového typu. Přijatelnost konzumace hmyzu stoupla z 33 % při pouhém vizuálním hodnocení na více než 60 % po degustaci, tedy o více než 27 %.

Hypotéza H3 se zabývala sledováním vlastností dlouhodobě skladovaných produktů z jedlého hmyzu. K analýzám byla využita mikrobiologická stanovení celkového počtu mikroorganismů, koliformních bakterií, bakterií mléčného kvašení, kvasinek a plísní. U analyzovaných druhů nebyly překročeny hygienické limity s výjimkou potemníka stájového. Obdobně nebyly překročeny limity při stanovení obsahu těžkých kovů pomocí

cyklické voltametrie. Sledováním oxidačních procesů u dlouhodobě skladovaného potměníka moučného a potměníka brazilského pomocí peroxidového a thiobarbiturového čísla byla prokázána možnost dlouhodobého skladování. Bylo zjištěno, že nejvýhodnější příprava hmyzu pro skladování je usmrcení hmyzu vroucí vodou, sušení při teplotě 103 °C po dobu 12 hodin a následné hermetické uzavření v obalech.

Přínos této práce spočívá v získání nových poznatků a informací o nutričních hodnotách vybraných druhů jedlého hmyzu, které by mohly rozšířit využití jedlého hmyzu v jídelníčku evropského konzumenta. Přestože zpočátku půjde o zážitkovou záležitost, bude možné pomocí vhodné kombinace jednotlivých druhů hmyzu získat potenciální přísadu do potravinových přípravků, která může být pro lidské tělo přínosem.

Klíčová slova: jedlý hmyz, dusíkaté látky, tuky, profil mastných kyselin, chitin, senzorické vlastnosti.

Nutritional analysis and optimization of rearing of selected species of edible insects under conditions of the Czech Republic with regard to human health

Summary

Entomophagy is one of the most popular trends in human nutrition in nowadays Europe, due to the potential of edible insect as a good source of protein, fatty acid and micronutrients. To introduce edible insects into the food basket of European consumers, it is first necessary to analyse edible insects in terms of nutritional and safety risks. This dissertation deals with the use of edible insects as an alternative source of food in the Czech Republic. The work was focused on selected insect species (mealworm, superworm, lesser mealworm and field cricket) recommended by EFSA as possible species for human consumption.

The H1 hypothesis analysed the impact of rearing conditions, life cycle stages and optimal feed rations in order to obtain a commodity with optimal nutritional values of human nutrition. In particular, the fat content determined by Soxhlet, the nitrogen content by Kjeldahl and the fatty acid profile by gas chromatograph were monitored. The analyses showed the dependence of the individual nutritional values on the monitored specific living conditions. The research has shown that there is no universal recommendation for all species of insects to optimize their nutritional value, because each edible species contains different nutrients. The optimal rearing conditions therefore depend on the given nutritional values. For example in the rearing of the mealworm was demanded increased fat content, as a result was determined the optimal temperature 20°C and bran feed diet. Optimal nutrient content for human nutrition can be achieved by mixing species of edible insects.

The H2 hypothesis focused on the attitude of the Czech public to the issues of edible insects and their acceptability in our market. The questionnaire survey and the tasting of the mealworm, superworm and the field cricket showed the willingness of the Czech consumer to respect edible insects as a new type of food. Already under the visual evaluation the acceptability of insect consumption increased from 33% to more than 60% after tasting, i.e. by over 27%.

The hypothesis H3 was focused on monitoring the properties of long-term storage products of edible insects. Microbiological determinations of the total number of microorganisms, coliform bacteria, lactic acid bacteria, yeasts and fungi were used for the

analyses. The hygienic limits were not exceeded in the analysed species except for the lesser mealworm. Similarly, limits were not exceeded for the heavy metal content determined by cyclic voltammetry. By monitoring the oxidation processes of long-stored mealworm and superworm using peroxide value and TBA value, the possibility of long-term storage was proved. It has been found that the best preparation of insects for storage is killing of the insects by boiling water, drying at 103°C for 12 hours and subsequent hermetic closure in packages.

The aim of this work is to provide new knowledge and information about nutritional values of selected insect species that could extend the use of edible insects in the European consumer's diet.

Although at the beginning it seems to be only an adventure experience, in future the suitable combination of insect species will be possible to obtain a potential food additive, beneficial to the human body.

Keywords: edible insects, crude protein, fats, fatty acid profile, chitin, sensory properties.

Obsah

Seznam obrázků

Seznam grafů

Seznam tabulek

1 ÚVOD.....	14
2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY.....	16
2.1 Entomofágie.....	16
2.2 Historie chovu hmyzu a chov vybraných druhů jedlého hmyzu.....	16
2.3 Konzumace jedlého hmyzu.....	19
2.4 Nutriční charakteristika jedlého hmyzu.....	20
2.4.1 Energetická hodnota.....	20
2.4.2 Sušina.....	21
2.4.3 Bílkoviny.....	21
2.4.4 Tuky.....	22
2.4.5 Sacharidy.....	23
2.4.6 Vitaminy.....	24
2.4.7 Minerální látky.....	24
2.5 Senzorická jakost jedlého hmyzu.....	24
2.6 Dlouhodobé skladování materiálů z jedlého hmyzu.....	26
2.6.1 Mikrobiologická charakteristika jedlého hmyzu.....	26
2.6.1.1 Bakterie.....	27
2.6.1.2 Mikroskopické vláknité houby.....	28
2.6.2 Těžké kovy.....	28
2.6.3 Oxidační změny u tuku.....	29
2.7 Ostatní pozitiva a negativa chovu a konzumace jedlého hmyzu.....	30
2.7.1 Ostatní pozitiva chovu jedlého hmyzu.....	30
2.7.2 Ostatní negativa a rizika konzumace jedlého hmyzu.....	36
3 HYPOTÉZY A CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE.....	38
4 MATERIÁL A METODY.....	39
4.1 Stanovení nutričních parametrů.....	39
4.1.1 Materiál.....	39
4.1.1.1 Materiál a jeho příprava pro stanovení základních nutričních hodnot.....	39
4.1.1.2 Materiál a jeho příprava pro stanovení vlivu teploty a krmiva na nutriční hodnoty.....	39
4.1.2 Stanovení vybraných nutričních parametrů.....	40
4.1.2.1 Stanovení sušiny na sušicích váhách s infrazářičem.....	40
4.1.2.2 Stanovení obsahu dusíkatých látek.....	40
4.1.2.3 Stanovení obsahu tuku podle Soxhleta.....	40

4.1.2.4	Stanovení obsahu chitinu	41
4.1.2.5	Stanovení profilu mastných kyselin	41
4.1.2.6	Stanovení profilu mastných kyselin při sledování vlivu teploty a krmiva	42
4.1.2.7	Stanovení obsahu vybraných sterolů	43
4.1.3	Stanovení prediktorů kardiovaskulárních rizik	43
4.1.4	Stanovení obsahu vybraných těžkých kovů	44
4.2	Stanovení senzorických vlastností jedlého hmyzu	44
4.2.1	Materiál pro senzorickou analýzu	44
4.2.2	Metody šetření	45
4.3	Stanovení mikrobiologických parametrů	46
4.3.1	Materiál	46
4.3.2	Metodika	47
4.3.2.1	Složení jednotlivých živných půd a příprava ředícího roztoku	47
4.3.2.2	Zpracování vzorků	47
4.3.2.3	Stanovení celkového počtu mikroorganismů	48
4.3.2.4	Stanovení koliformních bakterií	48
4.3.2.5	Stanovení mléčných bakterií	48
4.3.2.6	Stanovení kvasinek a plísní	48
4.3.2.7	Vyjádření výsledků	48
4.4	Stanovení charakteristik materiálu při skladování	49
4.4.1	Stanovení peroxidového čísla	49
4.4.1.1	Použitý materiál	49
4.4.1.2	Metodika měření	50
4.4.2	Stanovení thiobarbiturového čísla	50
4.4.2.1	Použitý materiál	50
4.4.2.2	Metodika měření	51
4.5	Statistická analýza.....	51
5	VÝSLEDKY A DISKUSE	53
5.1	Optimalizace chovných podmínek hmyzu pro získání specifických nutričních vlastností.....	53
5.1.1	Výsledky nutričních parametrů hmyzu	53
5.1.2	Vliv teploty	62
5.1.3	Vliv chovných podmínek	66
5.2	Optimalizace vývojových fází hmyzu pro získání specifických nutričních vlastností.....	70
5.3	Optimalizace krmiva hmyzu pro získání specifických nutričních vlastností	72
5.4	Senzorická analýza.....	74
5.4.1	Tyčinky z listového těsta posypané potměníkem moučným a brazilským.....	74
5.4.2	Energetické tyčinky s přísadkou cvrččí mouky.....	75

5.4.1	Vzorek celého pečeného cvrčka domácího	77
5.5	Vybrané ukazatele bezpečnosti vzorků z jedlého hmyzu	78
5.5.1	Mikrobiologická charakteristika materiálů z jedlého hmyzu	78
5.5.2	Vybrané těžké kovy v jedlém hmyzu	81
5.6	Dlouhodobé skladování jedlého hmyzu.....	82
5.6.1	Mikrobiologické charakteristika dlouhodobě skladovaného materiálu	82
5.6.2	Oxidace tuků u dlouhodobě skladovaného materiálu z jedlého hmyzu.....	83
6	ZÁVĚR	88
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	91
	PŘÍLOHY	106

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1: Vývojový cyklus potemníka moučného (*Tenebrio molitor*). Foto autorka.....18

SEZNAM GRAFŮ

Graf 2.1: Příspěvek na potenciál globálního oteplování na výrobu 1 kg stravitelných bílkovin z larev potemníka moučného (TM) v porovnání s ostatními komoditami.	33
Graf 2.2: Využitá energie na výrobu 1 kg stravitelných bílkovin z larev potemníka moučného (TM) v porovnání s ostatními komoditami.	33
Graf 2.3: Využitá plocha na výrobu 1 kg stravitelných bílkovin z larev potemníka moučného (TM) v porovnání s ostatními komoditami.	34
Graf 5.1: Porovnání obsahu dusíkatých látek v jedlém hmyzu s konvenčními druhy masa (zdroje: Pipek, 1995; Steinhauser, 1995).	54
Graf 5.2: Porovnání obsahu tuku v jedlém hmyzu s konvenčními druhy masa	54
Graf 5.3: Obsah tuku v závislosti na teplotě a krmivu u potemníka moučného (<i>Tenebrio molitor</i>).....	63
Graf 5.4: Procentuální zastoupení jednotlivých chutí u vzorků potemníka moučného a brazilského na tyčinkách z listového těsta u dotazníkového šetření č. 1.....	74
Graf 5.5: Procentuální zastoupení jednotlivých chutí u vzorků potemníka moučného a brazilského na tyčinkách z listového těsta u dotazníkového šetření č. 2.....	75
Graf 5.6: Hodnocení přijemnosti vzorků.	76
Graf 5.7: Průběh thiobarbiturového čísla (TBA) [mg/g] u vzorku celých larev potemníka brazilského v závislosti na době a teplotě skladování.....	84

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1: Environmentální dopad vstupů v produkci potměníka moučného.....	32
Tab. 2.2: Porovnání emise ekvivalentu CO ₂ u hmyzů zkoumaných Kouřilem (2016) a uváděných Oonincem et al. (2010) s ostatními komoditami živočišného původu.	35
Tab. 5.1: Obsah sušiny na 100 g čerstvého materiálu a dusíkatých látek, tuků a chitinu na 100 g sušiny u analyzovaných druhů hmyzu ze Sumatry a z ČR.....	53
Tab. 5.2: Obsah sterolů u jednotlivých analyzovaných druhů hmyzu v mg/kg tuku.	55
Tab. 5.3: Profil mastných kyselin (% z celkového obsahu sledovaných mastných kyselin) u potměníka moučného (<i>Tenebrio molitor</i>) v porovnání s hodnotami jiných autorů.	57
Tab. 5.4: Profil mastných kyselin (% z celkového obsahu sledovaných mastných kyselin) u potměníka brazilského (<i>Zophobas morio</i>) a potměníka stájového (<i>Alphitobius diaperinus</i>) v porovnání s hodnotami jiných autorů.	58
Tab. 5.5: Profil mastných kyselin (% z celkového obsahu sledovaných mastných kyselin) u cvrčka stepního (<i>Gryllus assimilis</i>) a cvrčka domácího (<i>Acheta domestica</i>) v porovnání s hodnotami jiných autorů.	59
Tab. 5.6: Aterogenní index u vzorků potměníka moučného (<i>Tenebrio molitor</i>) a jeho porovnání s ostatními autory	60
Tab. 5.7: Aterogenní index u vzorků potměníka brazilského (<i>Zophobas morio</i>), potměníka stájového (<i>Alphitobius diaperinus</i>), cvrčka stepního (<i>Gryllus assimilis</i>) a cvrčka stepního (<i>Acheta domestica</i>) ve srovnání s ostatními autory.....	61
Tab. 5.8: Profil mastných kyselin u potměníka moučného (<i>Tenebrio molitor</i>) v závislosti na teplotě a krmivu.....	65
Tab. 5.9: Porovnání obsahu dusíkatých látek a tuku u jednotlivých vývojových fází potměníka moučného (<i>Tenebrio molitor</i>) v sušených vzorcích a následné srovnání s jinými autory.	71
Tab. 5.10: Rozdíly preferencí u obou pohlaví pro dva vzorky energetických tyčinek s přídatkem cvrččí mouky.	76
Tab. 5.11: Statistické shrnutí závislosti hodnocení vzorku A a vzorku B.....	77
Tab. 5.12: Statistické hodnocení rozdílu před a po degustací vzorku celého pečeného cvrčka domácího (<i>Acheta domestica</i>) u celé skupiny respondentů.	77
Tab. 5.13: Mikrobiologická charakteristika materiálů	79

Tab. 5.14: Peroxidové číslo (PČ) pro sledované druhy hmyzu [mmol akt. O ₂ /kg tuku].....	83
Tab. 5.15: Profil mastných kyselin (SFA) v závislosti na teplotě skladování pro druh potměník brazilský (<i>Zophobas morio</i>).	85
Tab. 5.16: Profil mastných kyselin (MUFA, PUFA) v závislosti na teplotě skladování pro druh potměník brazilský (<i>Zophobas morio</i>).	86

1 ÚVOD

Hmyz je od počátku lidstva považován za malý „zázrak přírody“ (Ramos-Elorduy, 1998) a to nejen z medicínských a náboženských důvodů, ale i z důvodu využití hmyzu jako potravy (Frkal, 2001). Na světě existuje hmyz více než 300 milionů let a za tu dobu se vyvinul do mnoha různých forem, které obývají mnoho rozdílných životních prostředí (Ramos-Elorduy, 1998).

Člověk využíval hmyz už od svého raného vývoje, kdy se živil jako všežravec ve značné míře i hmyzem. Před tím, než měli lidé nástroje k lovu nebo zemědělství, představoval hmyz důležitou složku jejich potravy (Sponheimer et al., 2005). Konkrétní důkazy konzumace hmyzu v lidské historii pak získáváme z analýz fosilií např. z jeskyní v USA a Mexiku, či z maleb v jeskyních Artamila v severním Španělsku (9000–3000 př. n. l.) (Lesnik, 2014). Nalezené důkazy o entomofagii byly potvrzeny i pomocí analytických technik. Například zkamenělé exkrementy z jeskyň v Mexiku obsahovaly mravence, larvy brouků, vši, klíšťata a roztoče (Meyer-Rochow, 2009). Dále bylo pomocí analýzy stabilních izotopů uhlíku zjištěno, že kosti i sklovina Australopitéků jsou výrazně obohaceny izotopem ^{13}C . Nasvědčuje to tomu, že potravou těchto lidí byli převážně býložraví živočichové včetně hmyzu (Mlček et al., 2014a).

V současnosti je pro mnoho národů a etnických skupin hmyz nepostradatelnou součástí jídelníčku a často je základem tradičních pokrmů. Úlohu jedlého hmyzu ve výživě člověka ovlivňují nejen gastronomické požadavky konzumentů, ale i ekonomické a ekologické aspekty (Cerritos, 2009; Fontaneto et al., 2011; Mariod et al., 2011; Premalatha et al., 2011; Chae et al., 2012). V každé části světa je vnímání jedlého hmyzu odlišné. V rozvojových zemích je často řešení problému nedostatku jiné potravy (De Foliart, 1992; Ramos-Elorduy et al., 2006). V mnoha vyspělých zemích se lidé dívají na entomofagii s odporem a konzumace jedlého hmyzu je spojena s primitivním chováním, chudobou a nemocemi. Tento pohled na vnímání jedlého hmyzu jako potraviny se ale pomalu mění (Zielinská et al., 2015) a jedlý hmyz se stává zajímavým artiklem (De Foliart, 1992; Ramos-Elorduy et al., 2006). V Evropě je entomofágie jedním z nejpopulárnějších trendů ve výživě člověka v současnosti (Rumpold et Schlüter, 2013). Jedlý hmyz se postupně dostává na pozici sofistikovaných gurmánských jídel nabízených v experimentálních restauracích, kde je nabízen s atraktivním vzhledem a chutí. To je jedna z možností změny přístupu lidí k jedlému hmyzu jako potraviny (Nonaka, 2009), který je levný, obnovitelný a snadno dostupný zdroj potravy (Ghosh et al., 2017). Je ironií, že jsou vydávány velké peněžní částky na insekticidy

pro ochranu rostlinných plodin, které neobsahují více než 14 % bílkovin tím, že je ničen další zdroj bílkovin – hmyz, který může obsahovat až 75 % velmi kvalitní bílkoviny (Premalatha et al., 2011).

Mimo zdroje potravy otevírá chov a zpracování hmyzu další zajímavé možnosti jeho využití v jiných odvětvích, např. jako zdroj hedvábné příze pro výrobu hedvábí v textilním průmyslu (Kampmeier et Irwin, 2009), jako zdroj přírodních barviv pro potravinářský a kosmetický průmysl, jako součást výroby pneumatik (Bhattacharyya et al., 2012), balzamovacích činidel (Al-Hayani et al., 2011), biopaliva (Li et al., 2011a, b; Zheng et al., 2012) a mnoha dalších. Klíčovou roli hraje hmyz v zemědělství při opylování a ochraně rostlin (Informační centrum bezpečnosti potravin, 2008). Významné postavení má také v oblasti ekologie při likvidaci organického odpadu (Liu et al., 2008; Myers et al., 2008; Diener et al., 2009) a v humánní a veterinární medicíně (Duclohier, 2010; Kacaniova et al., 2012).

Na využití hmyzu je nutné pohlížet v širokém a komplexním kontextu zahrnujícím nutriční, ekonomické, ekologické a bezpečnostní aspekty. V evropských podmínkách se touto problematikou začala zabývat EFSA (2015), která upozorňuje na nedostatek klíčových informací nejen ohledně nutriční hodnoty jedlého hmyzu z farmových chovů, ale i dopadu konzumace hmyzu na lidské zdraví, rizika a bezpečnost spotřebitelů.

Předložená práce se proto zabývala nutričním rozbohem vybraných druhů jedlého hmyzu, které EFSA (2015) doporučuje jako možné druhy ke konzumaci člověkem v evropských podmínkách. Mimo nutričních charakteristik byly v práci zkoumány a hodnoceny další aspekty týkající se jedlého hmyzu jako bezpečné potraviny a jejího možného dopadu na zdraví člověka.

2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

2.1 Entomofágie

Pojem „entomofagie“ (z řeckých slov έντομον éntomon, "hmyz", a φάγειν phagein, "jíst") znamená využívání hmyzu jako potravin (Sponheimer et al., 2005). Člověk zpočátku vývoje konzumoval potravu, kterou snadno získal v přírodě – od kořínků, ořechů, semen, plodů, vajec až po drobné živočichy – ještěrky, plazy, hlodavce a také hmyz (Pánek, 2002). Nejčastěji se konzumovali například pavouci, brouci, larvy, kobylky. S rozvojem zemědělství se zvyšoval počet informací o jednotlivých druzích (výskyt, chutnost) a jejich úpravě (např. sušení), ale také se zvyšoval a rozvíjel lov velkých živočichů a chov domácích zvířat (Mlček et al., 2014a). Entomofágie byla v dalším vývoji ovlivněna kulturními zvyklostmi a náboženstvím, které ale vedly v některých částech světa (Evropa, USA) k jejímu potlačení (Schouteten et al., 2016). V současnosti jedlý hmyz běžně konzumuje více než 2 miliardy lidí na světě (van Huis et al., 2013).

2.2 Historie chovu hmyzu a chov vybraných druhů jedlého hmyzu

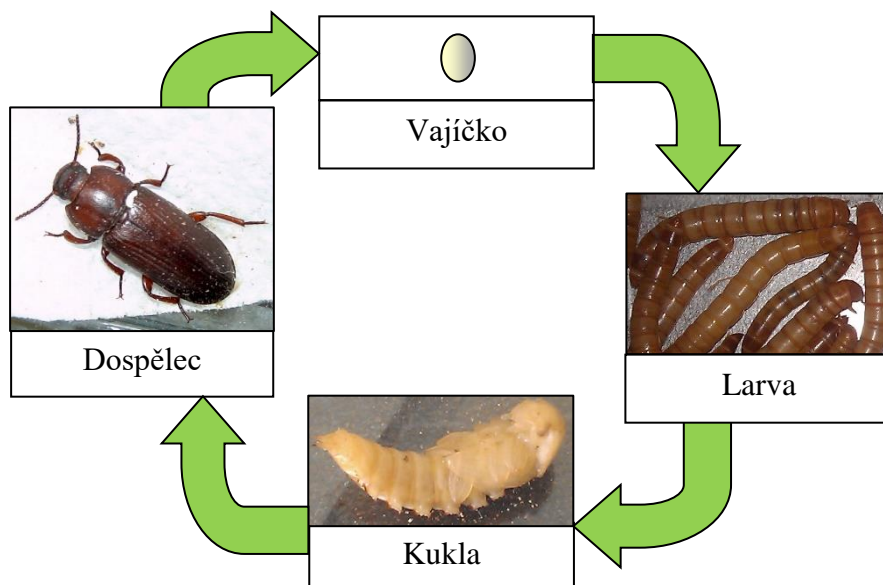
Ve světě je jedlý hmyz nejvíce sbírán ve volné přírodě. Několik druhů hmyzu bylo ale domestikováno kvůli jejich komerčně cenným produktům. Mezi nejznámější patří bourec morušový (*Bombix mori*), který je v Číně chován a využíván k výrobě surového hedvábí již 5000 let (van Huis et al., 2013). Druhým známým příkladem je chov včely medonosné (*Apis mellifera*), který byl v Egyptě prováděn v nízkých hliněných ležanech již před 4000 lety (Veselý, 1985). Včelí produkty (zejména vosk) však byly využívány již od neolitu (Bednářová et al., 2013). Dnes jsou včelí produkty využívány v mnoha odvětvích, zejména v potravinářství, kosmetice, lékařství a zemědělství. Ostatní druhy hmyzu se v současnosti chovají např. jako zdroj přírodních barviv – šelaku z červce lakového (synonymum nopálovec karmínový, *Laccifer lacca*) a košenily ze sušených těl samic brouka červce nopálového (*Dactylopius coccus* Costa). Dalším důležitým hmyzím produktem je také chitin s významnou nutriční a zdravotní hodnotou (Burton et Zacccone, 2007). Zajímavým produktem hmyzu je polyfenolická látka rostlinného původu - tanin, která je extrahovaná ze žlabatky dubové (*Cynips quercusfolii*). Tato tříslovina se využívá pro výrobu inkoustu na důležité dokumenty již od středověku, protože tento inkoust je těžko vymazatelný (Kampmeier et Irwin, 2009).

Přestože evropský trh teprve objevuje možnosti konzumace jedlého hmyzu, EFSA se již tímto problémem zabývá. EFSA (2015) navrhuje určité druhy hmyzu pro využití pro

krmivářské a potravinářské účely. Mezi těmito druhy má specifické zastoupení larvy potemníka moučného (*Tenebrio molitor*), které jsou často používány jako modelový organismus. Výhodou je zejména nenáročnost chovu a jejich krátký životní cyklus. (Yi et al., 2013). Potemník moučný je černý brouk dorůstající velikosti 12–15 mm, který škodí ve skladech mouky, v domácnostech i drobných potravinářských provozovnách požíváním různých substrátů obsahujících škrob (Ondráček, 1992). Říká se mu též „chlebový brouk“ a pochází z Jižní Ameriky (Wang et al., 2012). Teplota chovu se běžně udržuje od 22 °C do 30 °C při relativní vlhkosti 65–70 %. S vyšší teplotou se urychluje vývojový cyklus, avšak nad 33 °C se cyklus začne zpomalovat a nad 36 °C chov vyhyne (Ondráček, 1992). Chov je možné provádět v jedné nádrži s různými vývojovými stádii. Zde však může docházet k přenosu parazitů mezi generacemi a ke kanibalismu. Z tohoto důvodu se často chov synchronizuje podle vývojového stádia s využitím kladišť, kterým je často prostor s dvojitým dnem. Ve spodní části je umístěn materiál, do kterého samičky kladou vajíčka. V horní části je chovný prostor pro dospělé. Jednotlivá vývojová stádia se často chovají v chovných nádržích, boxech nebo bednách vysypaných vrstvami živného substrátu proloženého tkaninou (bavlna, juta) tak, aby se v nich jedinci mohli pohybovat. Živným substrátem pro hmyz určený na krmné účely bývá směs šrotu se sušeným mlékem, krví nebo masokostní moučkou. Larvy jsou podle potřeby přikrmovány suchou směsí, krájenou zeleninou, ovocem, kvasnicemi, případně vitamíny (Hůrka, 2005). Pokud není použito kladiště, je při stádiu dospělců povrch často pokrýván vlnitým papírem nebo borkou stromů, do kterých mohou samičky ukrývat vajíčka. Larvy a imága mohou při nedostatku vody vajíčka požírat a napadají také čerstvě svlečené larvy a kukly. Tím se výtěžnost chovu značně snižuje (Ondráček, 1992). Vajíčka získaná z kladišť se inkubují v menších nádobách přibližně 12 dní. Vlastní vývoj vajíčka trvá přibližně týden. Dále vývoj přechází do stádia larvy, kde rostou 2 až 3 měsíce podle chovné teploty (Ondráček, 1992). Ondráček (1992) uvádí délku stádia larvy 8 - 10 týdnů při teplotě 33 °C. Následuje stádium kukly, obr. 2.1, které trvá cca týden a stádium imága, kde jedinci pohlavně dospívají přibližně za 5 až 7 dní. Li et al. (2013) uvádí životní cyklus ještě kratší. Stádium vajíček podle něj trvá 3 až 9 dní, larvy 26 až 76 dní a kukly 5 až 7 dní. Je zřejmé, že vývojový cyklus je velmi krátký, což je výhodou chovu tohoto druhu. Larva potemníka moučného je některými chovateli ptáků a plazů využívána pro aplikaci vitamínů a léčiv do chovných jedinců (Ondráček, 1992).

Potemník brazilský (*Zophobas morio*) je v dospělosti černý brouk o velikosti 18-25 mm, který je rozšířen ve Střední a Jižní Americe a na Kubě. Jeho larva je velká 40 až 60 mm. Vývoj při teplotě 30 °C a vlhkosti 60–90 % trvá přibližně 3–4 měsíce. S nižší teplotou je

vývoj zpomalen. Brouci se mohou chovat v nádržích o větším objemu se dnem posypaným suchým krmným substrátem pouze příkrmovaným šťavnatou potravou. Pro zvýšení produkce se vkládá do boxu kladiště s oddělováním jednotlivých vývojových fází chovu (Ondráček, 1992).



Obr. 2.1: Vývojový cyklus potměníka moučného (*Tenebrio molitor*). Foto autorka.

Cvrček stepní (*Gryllus assimilis*) pochází z tropických a subtropických oblastí, z tohoto důvodu vyžaduje jeho chov vyšší chovné teploty. Také je zapotřebí dokonale utěsněných nádrží, boxů nebo sklenic, aby cvrček nemohl uniknout. Při větších chovech v akváriích nebo vanách je na zem pokládána pouze dřevěná vlna nebo zmačkaný papír, do kterého se vsakují exkrementy a ukývají se malé nymfy před kanibalismem. Na vyvýšené místo je umísťována krabička s vlhkou zeminou, kam samičky snášejí vajíčka. Potrava je předkládána cvrčkům na miskách nebo v korýtcích. Cvrčci nejsou náročni na krmný substrát, který může být různý. Čím je však potrava pestřejší a vydatnější, tím rychleji cvrčci rostou a jsou odolnější proti nemocem. Ke krmení pro chovatele se často používá sušená krev se sušenými otrubami. Dále je možné přidávat sušenou vojtěšku a dehydratované mléko, čerstvý salát, mrkev, kousky ovoce a jiné potraviny. Vývoj cvrčků od vajíčka po dospělého trvá přibližně 6 až 8 týdnů při teplotě kolem 30 °C. Stádium vajíčka trvá přibližně 14 dnů. Samička za svůj život naklade až 1000 vajíček.

Chov cvrčka chyceného v přírodě (např. cvrčka polního nebo dvouskvrnného) je téměř nemožný. Není problém udržet cvrčka v zajetí při životě, ale je problém s jeho rozmnožováním. Důvodem je jejich zimní diapausa a samotářský způsob života, který souvisí s agresivitou dospělých cvrčků (Ondráček, 1992).

2.3 Konzumace jedlého hmyzu

Největší konzumace hmyzu je v Africe, Asii a Latinské Americe (van Huis et al., 2013; Kinyuru et al., 2013). V současné době je evidováno více než 2000 jedlých druhů hmyzu. V celosvětovém měřítku jsou nejčastěji konzumovaným hmyzem larvy brouků, dále pak housenky, včely, vosy a mravenci. Po nich následují kobylky, sarančata a cvrčci, cikády a další druhy (Cerritos, 2009).

Ve většině evropských zemí, je spotřeba hmyzu lidmi velice malá. Hlavním důvodem je podjatost evropského konzumenta vůči potravině z hmyzu. Evropský spotřebitel má představu, že hmyz je nehygienický, přenáší nemoci a je to jídlo chudých (Schouteten et al., 2016). Na druhou stranu v poslední době dochází k změně postoje evropské veřejnosti k entomofágii a k postupnému nárůstu zájmu o tuto oblast (Yen, 2009; Oonincx et al., 2010). Důvodem je rostoucí význam jedlého hmyzu jako potencionálního potravinového zdroje (ekonomické a ekologické vlastnosti chovu, nutriční hodnota) (Yen, 2009; Oonincx et al., 2010). Hmyz je konzumován jako zpestření jídelníčku (např. mravenci v čokoládě ve Francii) (Kodytek, 2008), lahůdka pro gurmány (hmyzí restaurace v Paříži, Londýně,...) nebo jako potravinový doplněk. Konzumaci hmyzu a možnými riziky s ní spojenými se proto zabývala i EFSA v dokumentu „Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed“ z října 2015 (EFSA, 2015). Tento dokument obsahuje mimo jiné i seznam možných druhů jedlého hmyzu, které by mohly být v Evropě konzumovány.

V České republice je situace obdobná jako v ostatních evropských zemích (Bednářová et al., 2013). Přestože ještě v roce 1920 a 1937 je možné nalézt v české kuchařce recepty na přípravu jídla z hmyzu (např. polévka z chroustů) (Ondráčková, 1920, 1937), v současnosti i ve venkovských kulturách vymizely znalosti, jak hmyz sbírat a zpracovávat. Konzumace hmyzu se tak stala v naší oblasti specialitou či delikatesou, o kterou se zpočátku zajímala jen hrstka nadšenců (Borkovcová et al., 2009).

Důvody konzumace jedlého hmyzu lidmi lze rozdělit na několik skupin. První skupinou je nevědomá konzumace hmyzu v potravinách. Potravinářská legislativa v mnoha státech upravuje povolenou úroveň kontaminace potravin hmyzem nebo jejich částí (Mitsubishi, 2010). Důvodem je tradice konzumace hmyzu v mnoha národech a etnických skupinách (De Foliart, 1992; Mitsuihashi, 1997; Ramos-Elorduy et al., 1997; van Huis, 2003; Nonaka, 2009). Dostupnost volně žijícího hmyzu však není předvídatelná a hmyz nemusí být dostupný po celý průběh roku (Bednářová et al., 2013). Proto musí etnické skupiny využívat

sofistikovanější metody pro uchovávání potravin (sušení hmyzu na slunci, uzení nad ohněm) (Marconi et al., 2002).

Při současném růstu populace se odhaduje, že v roce 2050 bude na světě přibližně 9 miliard lidí (Nowak et al., 2016). Konvenční zdroje proteinů budou v budoucnosti nedostačující, a proto bude potřeba se zaměřit na alternativní zdroje, kterými může být i jedlý hmyz (Godfray et al., 2010). Eliminace podvýživy a hladomoru, jednoho ze současných globálních problémů lidstva, jsou prvním krokem k řešení tohoto problému. Nedostatek jiných živočišných zdrojů a jejich náhrada proteiny z jedlého hmyzu jsou proto třetím důvodem, proč je konzumován jedlý hmyz (Raksakantong et al., 2010). Dalším důvodem konzumace jedlého hmyzu může být jeho chuť, která je ovlivněna druhem hmyzu, jeho vývojovým stádiem, přírodními podmínkami a způsobem úpravy a chuťovým vnímáním a preferencí chutí konzumenta (Ramos-Elorduy, 1996; Borkovcová et al., 2009). Vhodně připravené jídlo s harmonickou chutí obsahující jedlý hmyz může reprezentovat pravou gurmánskou delikatesu (Comby, 1990).

V neposlední řadě jsou důvodem konzumace jedlého hmyzu jeho nutriční hodnota. Značná pozornost se věnuje jedlému hmyzu jako významnému zdroji proteinů a tuků (Nowak et al., 2016), které mohou být bohaté na vitamíny a minerály, speciálně na železo a zinek (Akinawo et Ketiku, 2000; Raksakantong et al., 2010; Bednářová et al., 2013, 2014). Chemické složení jedlého hmyzu je závislé na mnoha faktorech. Významná je nejen základní variabilita druhů, ale i například závislost na pohlaví, stupni metamorfózy, původu hmyzu a jeho potravě (Finke, 2004). Stejně jako většina potravin i hmyz mění svojí nutriční hodnotu také vlivem přípravy a zpracováním před konzumací (van Huis et al., 2013).

2.4 Nutriční charakteristika jedlého hmyzu

2.4.1 Energetická hodnota

Energetická hodnota jedlého hmyzu závisí zejména na obsahu tuku. Larvální stádia nebo kukly bývají obvykle bohatší na energii v porovnání s dospělci. Bílkovinné druhy hmyzu mají naopak obsah energie nižší (Bednářová et al., 2013). Ramos-Elorduy et al. (1997) analyzovali 78 druhů hmyzu a uvádějí, že kalorická hodnota byla v rozmezí 293 až 762 kcal na 100 g sušiny. Van Huis et al. (2013) uvádí hodnoty v rozpětí 89 až 1272 kcal/100 g čerstvé hmotnosti.

2.4.2 Sušina

Některé publikace uvádějí nutriční hodnoty v čerstvém stavu (Yi et al., 2013). Výhodami usušení hmyzu jsou například prodloužení doby skladovatelnosti vzorků, jeho následné zpracování a menší nároky na přepravu a manipulaci (Tančinová et al., 2008). Jedlý hmyz je navíc často v sušeném stavu i konzumován. Z tohoto důvodu jsou častěji uváděny nutriční hodnoty v sušeném hmyzu. Obsah sušiny v jedlém hmyzu je běžně od 15 % do 40 % (Bednářová et al., 2014).

2.4.3 Bílkoviny

Obsah bílkovin se u hmyzu pohybuje od 15 do 81 % v sušině (Finke, 2002; Xiaoming et al., 2008; Bednářová et al., 2013; van Huis et al., 2013; Rumpold and Schlüter, 2013). Potemník moučný (*Tenebrio molitor*) je jedním z nejvíce studovaných druhů jedlého hmyzu (Bernard et al., 1997; Oonincx et Dierenfeld, 2012; Bednářová et al., 2013; van Broekhoven et al., 2015). U larvy potemníka moučného (*Tenebrio molitor*) je uváděn obsah dusíkatých látek v sušině od 45,1 % (Broekhoven et al. 2015) do 50,9 % (Bednářová et al., 2013). Obdobně u potemníka brazilského (*Zophobas morio*) byl zaznamenán obsah dusíkatých látek v sušině od 34,2 - 42,5 % (Broekhoven et al., 2015) do 54,3 % (Bednářová et al., 2013). Rozsah obsahu dusíkatých látek v sušině u potemníka stájového je uváděn od 61,7 % do 65,0 % (Broekhoven et al., 2015; Bosch et al., 2014).

U druhu cvrček stepní (*Gryllus assimilis*) byl naměřen obsah dusíkatých látek 54,3 % (Bednářová et al., 2013). Finke (2004) uvádí 46,8 % u podobného druhu cvrčka domácího (*Acheta domestica*). Jak potvrzují analýzy (Broekhoven et al. 2015) mohou být rozdíly až o 11 % způsobeny jiným typem krmiva. Obsah bílkovin u jedlého hmyzu je srovnatelný s jinými komoditami živočišného původu. Například maso hospodářských zvířat obsahuje přibližně 18 - 22,3 % dusíkatých látek v čerstvé hmotnosti (Dubjel, 2009; Premalatha et al., 2011). Významným ukazatelem kvality bílkovin je také jejich stravitelnost. Stravitelnost bílkovin je u hmyzu uváděna v rozsahu 86 - 89 % (Finke, 2002), nebo až 96 % (Ramos Elorduy et al., 1997). Pro srovnání, stravitelnost vaječného bílku je 95 % a hovězího masa 98 % (Velíšek, 2002).

Jedlý hmyz obsahuje řadu nutričně cenných aminokyselin včetně vysokého obsahu esenciálních aminokyselin, které musí lidský organizmus přijmout ve stravě (Paul et al., 2016). Analýzy téměř stovky jedlých druhů hmyzu ukazují, že obsah esenciálních aminokyselin tvoří 46-96 % z celkového množství aminokyselin (Xiaoming et al., 2008). Některé druhy hmyzu obsahují velké množství lysinu, tryptofanu a threoninu, které bývají

deficitními v některých proteinech obilovin (u pšenice je nízké zastoupení lysinu, methioninu a tryptofanu, u kukuřice je nedostatek lysinu a tryptofanu apod.) (Maček et al., 2011). Domorodci v různých částech světa často kompenzují nedostatek aminokyselin z ostatní stravy konzumací jedlého hmyzu, a proto je příjem z takovéto stravy nutričně vyvážený (Bukkens, 2005; van Huis et al., 2013). Například v Angole by příjem těchto živin mohl být doplněn konzumací termitů rodu *Macrotermes subhyalinus* (Sogbesan et Ugwumba, 2008).

2.4.4 Tuky

Jedlý hmyz se vyznačuje velkou variabilitou nejen u bílkovin, ale také v obsahu tuků. Tato variabilita závisí na ročním období, vývojovém stádiu, pohlaví, prostředí a výživě. Při porovnání množství tuků u samců a samic bylo zjištěno, že samice mají větší podíl tuku, než samci (Finke, 2004). Obsah tuků je vyšší ve vývojovém stádiu larvy a kukly a nižší u dospělého jedince (Finke, 2002). Obsah tuku u larev potemníka moučného, který je uváděn v literatuře (Finke, 2002; Bednářová et al., 2013; van Broekhoven et al., 2015), je od 18,9 % do 38,3 %. U potemníka brazilského byl naměřen od 32,8 % do 43,5 % (Barker, et al., 1998; Finke, 2002; Bednářová et al., 2013; Yi et al., 2013; Bosch et al., 2014; van Broekhoven et al., 2015). Hodnota 34,3 % obsahu tuku v sušině u cvrčka stepního byla naměřena Bednářová et al., (2013). Finke (2004) u obdobného druhu cvrčka domácího uvádí hodnotu jen 14,4 % obdobně jako Yi et al., (2013), který dokumentuje hodnotu 12,3 % (přepočteno z hodnoty pro živou hmotnost 3,6 %). Většina běžných druhů jedlého hmyzu je tak srovnatelná s některými tradičními potravinami jako jsou např. maso úhoře (30 % sušiny), vepřová kýta (32 % sušiny) nebo maso mladé husy (36 % sušiny) (Pipek, 1995; Steinhauser, 1995).

V profilu mastných kyselin může obsah polyenových mastných kyselin v jedlém hmyzu tvořit až 70 % celkového obsahu tuků (Rumpold et Schlüter, 2013). Z výživového hlediska jsou důležité mimo jiné pro správný vývoj mozku a nervové soustavy u dětí a novorozenců. V rozvojových zemích by mohl hmyzí tuk pokrýt deficit n-3 a n-6 mastných kyselin (van Huis et al., 2013). V hmyzu je vysoký obsah C18 mastných kyselin, zejména olejové, linolové a linolenové kyseliny (Tzompa-Sosa et al., 2014). Hojně jsou zastoupené i palmitová a stearová kyselina (Finke, 2002; Bednářová et al., 2013; Barroso et al., 2014). Zastoupení mastných kyselin je srovnatelné s drůbežím a rybím tukem (DeFoliart, 1992). Zastoupení jednotlivých mastných kyselin se liší v závislosti na druhu, fázi metamorfózy jedince, výživě a environmentálních faktorech (Paul et al., 2016).

Steroly jsou nejvíce zastoupenou složkou mezi doprovodnými látkami přírodních lipidů (Velíšek, 2002), které regulují životní procesy (Horniaková et al., 2014). Nejdůležitějším

zoosterolem je cholesterol, který se v těle používá pro biosyntézu steroidních hormonů a žlučových kyselin (Velíšek, 2014). Meziproduktem při biosyntéze cholesterolu je 7-dehydrocholesterol, který je prekurzorem vitamínu D₃. Potemník moučný (*Tenebrio molitor*) obsahuje asi 17 % 7-dehydrocholesterolu a asi 67 % cholesterolu ze všech sterolů (Leclercq, 1948; Svoboda et Feldlaufer, 1991; Ikekawa et al., 1993; Svoboda a Lusby, 1994; Ikekawa et al., 2013).

Popis složení profilu mastných kyselin může být zjednodušen a vyjádřen různými poměrnými čísly a to včetně cholesterol/nasycené tuky index CSI, anterogenního indexu AI a trombogenního indexu TI. Tyto indexy slouží v medicíně jako významné prediktory kardiovaskulární rizik (Joob et Wiwanitkit, 2017). Z hlediska poměru n-3 : n-6 mastných kyselin a jednotlivých indexů by mohl mít tuk z jedlého hmyzu protektivní vliv na zdraví člověka. Aterogenní index je důležitý z nutričně-zdravotního hlediska při posuzování rizika vzniku kardiovaskulárních onemocnění. Se zvyšováním hodnoty tohoto indexu se zvyšuje riziko vzniku aterosklerózy a dalších kardiovaskulárních onemocnění, které jsou nejčastější příčinou úmrtí v Evropě. Obdobně je to u rizika vzniku sraženin v krevním řečišti popsaného indexem trombogenity. Spojení dvou rizik – nadměrného příjmu cholesterolu a nasycených mastných kyselin popisuje index poměru cholesterolu a nasycených mastných kyselin, též cholesterolový index. Vyšší hodnota tohoto indexu u potravin ukazuje vyšší riziko metabolického syndromu (obezita, diabetes mellitus, kardiovaskulární nemoci,...) (Simopoulos, 2002; WHO, 2004; Jiráček et Zeman, 2007; Mourek, 2011).

2.4.5 Sacharidy

Bednářová et al., (2013) uvádí, že obsah sacharidů se běžně pohybuje v rozmezí 1 až 10 %; mají tedy nižší zastoupení než bílkoviny a tuk. Většinu sacharidů u hmyzu tvoří chitin, (Mlček et al., 2014b), který je hlavním stavebním polysacharidem schránek korýšů, hmyzu a bezobratlých. Jeho molekula je velmi podobná celulóze, protože chitin obsahuje N-acetyl-glukosaminové zbytky navzájem spojené β -(1→4) glykosidickými vazbami (Velíšek, 2002). U různých druhů hmyzu se jeho obsah pohybuje v rozpětí 5–16 %. Výjimku tvoří například larvy bource morušového (*Bombyx mori*), u kterých byl zjištěn obsah chitinu pouze 3,73 %. Chitin, je považován za nestravitelný a je spojován s obranou organismu proti parazitárním infekcím a alergickým stavům (Finke, 2007). Je přítomný v kutikule členovců, která může být zpevněna (např. u krabů, raků, hmyzu...) a přeměněna v exoskelet (Velíšek, 2002). Chitin z hmyzích exoskeletů působí v lidském těle jako celulóza a kvůli tomu je často nazýván „živočišnou vlákninou“ (Borkovcová et al., 2009).

2.4.6 Vitaminy

Hmyz obsahuje celou řadu vitaminů, jako například A, D, E, K, C a vitaminy skupiny B (Finke, 2002; Finke, 2004; Xiaoming et al., 2008; Oonincx et Poel, 2011). Bukkens (2005) uvádí celou řadu hmyzu, který obsahuje thiamin. Jeho rozmezí se v jedlém hmyzu pohybuje od 0,1 µg do 4 µg na 100 g sušiny. Riboflavin je zastoupený v jedlém hmyzu v množství 0,11 až 8,9 µg na 100 g. Vitamin B12 se nalézá v hojné míře v larvách moučného červa druhu (*Tenebrio molitor*) (0,47 µg na 100 g) a cvrčka domácího (*Acheta domestica*) (5,4 µg na 100 g u dospělých jedinců a 8,7 µg na 100 g u nymf). Retinol a β-karoten byly zjištěny v některých housenkách motýlů, například u druhů *Imbrasia oyemensis*, *Nudaurelia oyemensis*, *Imbrasia truncata* a *Imbrasia epimethea*, které obsahují na 100 g sušiny 32 až 48 µg retinolu a 6,8 až 8,2 µg β-karotenu. Vitamin E obsahují například larvy nosatce *Rhynchophorus ferrugineus*, které mají v průměru 35 µg α-tokoferolu a 9 µg tokoferolů β+γ na 100 g sušiny (Bukkens, 2005). U bource morušového (*Bombyx mori*) bylo stanoveno 9,65 µg tokoferolů na 100 g sušiny (Tong et al., 2011).

2.4.7 Minerální látky

Jedlý hmyz může být nutričně zajímavý i z hlediska obsahu minerálních látek jako jsou železo, zinek, draslík, sodík, vápník, fosfor, hořčík mangan a měď (van Huis et al., 2013). Například u larvy nosatce palmového (*Rhynchophorus phoenicis*) uvádí Rumpold et Schlüter (2013) obsah železa 15 až 31 mg na 100 g sušiny a zinku 16 až 27 mg na 100 g sušiny a v případě cvrčka domácího (*Acheta domestica*) obsah železa 6 až 11 mg na 100 g sušiny a zinku 19 až 22 mg na 100 g sušiny.

2.5 Senzorická jakost jedlého hmyzu

Senzorické vlastnosti jsou důležitým kritériem doprovázejícím konzumaci jedlého hmyzu (Borkovcová et al., 2009). V západních zemích mají lidé spojenou konzumaci jedlého hmyzu se špínou a chudobou, proto představa konzumace hmyzu se jim zdá často nepřijatelná (Looy et al., 2014). Jedlý hmyz je ale v dalších kulturách běžně konzumovaný a ceněný pro své nutriční vlastnosti a jeho chuť (Hanboonsong, 2010). Je často vyhledávanou lahůdkou zejména pro své sensorické vlastnosti (Borkovcová et al., 2009).

Vizuální dojem je první z ukazatelů při posuzování a volbě potraviny konzumentem. Závisí nejen na vlastním vizuálním efektu, ale i na psychologickém působení na konzumenta (chuťové očekávání jako důsledek minulého působení vzhledu a vnímané chuti) (Köster et al., 2004; Mojet et Köster, 2005). Stejně jako u jiných jídel příjemný vizuální podnět (příjemná

barva) nezaručují dobrou chuť - barva slouží zejména k identifikaci druhu hmyzu. U většiny druhů hmyzu se však používají pro kulinářské úpravy hlavně larvy a kukly, které jsou bílé nebo bezbarvé. Hmyz, obdobně jako korýši, získává finální barvu (nejčastěji přitažlivou červenou) až při vlastní kulinářské úpravě. Hmyz, který obsahuje značné množství zoxidovaného tuku, či hmyz nesprávně sušený, může mít černou barvu. Správně usušený hmyz je zlatavý nebo hnědý a lze jej snadno rozmačkat v prstech (Borkovcová et al., 2009).

Dále konzument hodnotí tvar a konzistenci. U dospělců některých druhů je nutné odstranit některé anatomické části těla (křídla, nohy), které jsou nevhodné ze zdravotního hlediska ke konzumaci (Ramos-Elorduy, 1998).

Na základě dotazníkového šetření, které provedla Bednářová et al. (2013) je možné rozdělit evropské konzumenty do dvou skupin - jedna skupina upřednostňuje možnost konzumace potravin s vysokou viditelností larev, zatím co, druhá skupina vítá konzumaci hmyzu ve skryté formě.

U skrytých forem není snadno postřehnutelná textura konzumovaného hmyzu. Jedlý hmyz je z části tvořen exoskeletem, který způsobuje křupavost hmyzu při konzumaci (hmatový a sluchový efekt), a to společně se žvýkáním vyvolává příjemné pocity, jako jsou u konzumace preclíků, sušenek nebo jiného trvanlivého pečiva (Ramos-Elorduy, 1998). Pro lidský organismus jsou však lépe stravitelné larvy, které jsou po svlečení měkké, protože zatím jejich exoskelet neztvrdnul (Borkovcová et al., 2009). Benefitem exoskeletu je však vysoký obsah chitinu (Bednářová et al., 2010).

Chuť hmyzu je velice rozmanitá. Závisí mimo jiné na prostředí, ve kterém hmyz žije a na potravě, kterou se živí (ovoce, zelenina, pečivo, brambory, rýže, tráva,...). Během kulinářských úprav přebírá hmyz chuť přidávaných přísad. Bude-li připraven například s kořením, které mu dodá úplně novou chuť, původní chuť hmyzu se oslabí. Bude-li se hmyz před požitím umývat (což ale například Ramos-Elorduy (1998) nedoporučuje) nebude mít téměř žádnou chuť, jelikož se smyjí feromony nacházející se na povrchu hmyzu. Pro zlepšení chuťových vlastností a z bezpečnostního a zdravotního hlediska se dále doporučuje jedlý hmyz nechat vyláchnit po dobu minimálně 12 hodin. Toto opatření se doporučuje například u kobytek, larev motýlů a brouků (Ramos-Elorduy et al., 1997). Pro plné chuťové vlastnosti je nutné podávat hmyz živý a neomytý, což je však z bezpečnostního a zdravotního hlediska nebezpečné (Bednářová et al., 2010). Důkaz, že hmyz přebírá chuťové vlastnosti podle přidávaných ingrediencí v průběhu kulinářské úpravy, popisuje již Smith et al. v roce 1971. V této studii popisují výrobu a hodnocení chuti chleba z pšeničné mouky napadené různými druhy potměnků. Výsledkem byla pachut' výraznější pouze ve střídkách, v ostatních částech

byla intenzita pachuti nízká. Přítomnost kontaminujícího hmyzu barvu kůrky, rovnoměrnost pečení a texturu neovlivnila.

2.6 Dlouhodobé skladování materiálů z jedlého hmyzu

2.6.1 Mikrobiologická charakteristika jedlého hmyzu

Mikroorganismy jsou součástí každého organismu včetně jedlého hmyzu, které jsou přítomny na jak povrchu tak i uvnitř těla hmyzu. Tato mikrobiota může být nebezpečná pro lidské zdraví, proto je nutné při přípravě pokrmů z jedlého hmyzu pro lidskou konzumaci věnovat tomuto aspektu náležitou pozornost (van Huis et al., 2013; EFSA, 2015). Mikroorganismy produkují enzymy, které působí lipolyticky a proteolyticky na komodity a způsobují rozklad tuků a bílkovin. Tím dochází ke změně nutriční hodnoty potraviny (Adams et al., 2002). Podle Nařízení komise (ES) č. 2073/2005 je u lidí hlavním zdrojem onemocnění z potravin mikrobiologické nebezpečí v potravinách. Podle tohoto nařízení: *„Potraviny nesmějí obsahovat mikroorganismy nebo jejich toxiny či metabolity v množstvích, která představují nepřijatelné riziko pro lidské zdraví.“*

Mikrobiota nacházející se v trávicím traktu hmyzu je životně důležitá pro jeho metabolismus. Reflektuje životní styl hmyzu, který je ve volné přírodě nebo v chovných podmínkách. Při kulinářské úpravě se jedlý hmyz zpracovává i s obsahem střev, a proto je nezbytné před touto úpravou nechat hmyz vylačnit. Kromě mikrobioty nacházející se ve střevě hmyzu se další mikrobiota nachází i na jeho povrchu. I tato může být potenciálně nebezpečná pro člověka. To je důvodem hlavního bezpečnostního rizika při konzumaci jedlého hmyzu (EFSA, 2015). Mikrobiologické limity však dosud nebyly pro jedlý hmyz stanoveny. Hmyz má stejný alergen (chitin) jako korýši a z kulinářského pohledu je s korýši často srovnáván. Z tohoto důvodu by bylo možné u jedlého hmyzu uplatnit dodržení mikrobiologických limitů podle kritérií bezpečnosti potravin podle Nařízení komise (ES) č. 2073/2005 pro vařené korýše a měkkýše se schránkami. Limity jsou v této kategorii stanoveny pro mikroorganismy, jejich toxiny a metabolity u mikroorganismu *Salmonella* (nepřítomnost ve 25 g). Dále lze využít mikrobiologické limity určené podle ČSN 56 9609, která uvádí limit u největší přípustné hodnoty M pro celkový počet mikroorganismů $5 \cdot 10^5$ CFU/g, pro *Escherichia coli* $5 \cdot 10^5$ CFU/g a pro *Salmonella* spp. nepřítomnost ve 25 g.

2.6.1.1 Bakterie

Z hlediska mikrobiologické bezpečnosti existuje jen velmi málo konkrétních vědeckých studií na mikrobiologickou bezpečnost jedlého hmyzu, který byl chován v kontrolovaných podmínkách. Dostupné studie uvádí vysoký počet bakterií a to mezi 10^5 – 10^7 CFU/g (van Huis et al., 2013; Grabowski et al., 2008). Nejčastějšími druhy bakterií, které jsou obsaženy v jedlém hmyzu, jsou: *Staphylococcus* spp., *Streptococcus* spp., *Bacillus* spp., *Proteus* spp., *Pseudomonas* spp., *Escherichia* spp., *Micrococcus* spp., *Lactobacillus* spp. a *Acinetobacter* spp. (EFSA, 2015).

Larvy potemníka moučného (*Tenebrio molitor*), jak uvedl Klunder et al. (2012), byly podrobeny na několik minut teplotě varu. Při následném mikrobiologickém rozboru bylo zjištěno, že čeleď *Enterobacteriaceae* byla zničena, ale spory bakterií přežily tento proces a mohou být opět aktivní při dosažení optimálních podmínek růstu. To může mít za následek kažení potraviny. Spory těchto bakterií byly nalezeny ve střevech hmyzu a na povrchu těla hmyzu. Z hlediska kulinářské úpravy je nutné nejdříve hmyz před samotnou kulinářskou úpravou na několik minut ponořit do vroucí vody a následně pražit. Tím je dosaženo požadovaná eliminace enterobakterií (Klunder et al., 2012). Obdobně to bylo i v případě cvrčka domácího (*Acheta domestica*), který měl vyšší počáteční kontaminaci než tepelně opracovaný. Dvojitou kulinářskou úpravou (vaření a následné smažení) byly inaktivovány sporulující bakterie i čeleď *Enterobacteriaceae*. Při analýze jen smaženého vzorku nebo jen vařeného vzorku bylo stanoveno množství sporulujících bakterií 10^3 CFU/g. Nebezpečná úroveň ($> 10^5$ CFU/g) nebyla překročena, ale bakterie se nevhodným skladováním mohou pomnožit a potravina se může pro konzumenta stát nebezpečná (Hanboonsog et Durst, 2014).

Belgická studie, ve které byly larvy potemníka moučného (*Tenebrio molitor*) a jedinců sarančat stěhovavých (*Locusta migratoria*) zamražené, bylo naměřeno 10^7 – 10^9 CFU/g aerobních bakterií a 10^4 CFU/g aerobních spor (EFSA, 2015).

Při výzkumu mikrobiologické kvality u 55 výrobků z hmyzu provedené v Nizozemí bylo zjištěno, že u 59 % z testovaných hmyzích výrobků byly překročeny hygienické limity v množství aerobních bakterií (10^6 CFU/g). Analyzované vzorky byly podrobeny lyofilizaci a dále nebyla provedena žádná kulinářská úprava nebo ošetření. Studie zkoumala také množství spor *Bacillus cereus* a sledovala přítomnost bakterií *Clostridium perfringens*, *Salmonella* a *Vibrio*. *Clostridium perfringens*, *Salmonella* spp. a *Vibrio* spp. nebyly ve vzorcích detekovány a spory bakterií *Bacillus cereus* byly u 93 % vzorků menší než 10^2 CFU/g (EFSA, 2015).

2.6.1.2 Mikroskopické vláknité houby

Příčinou alimentárních onemocnění při konzumaci jedlého hmyzu mohou být také mikroskopické vláknité houby (plísně a kvasinky). Důvodem je produkce sekundárních metabolitů plísní a kvasinek, které mohou být pro lidský organismus a zvířata toxické. Chovné prostředí velmi výrazně ovlivňuje koncentraci mikroskopických vláknitých hub, kterých je hmyz nosičem. Dalším faktorem ovlivňujícím koncentraci mikroskopických vláknitých hub ve zpracované surovině je následná manipulace, zpracování a skladování.

U vzorků potměníka moučného (*Tenebrio molitor*) a sarančete stěhovavého (*Locusta moratoria*) byly stanoveny koncentrace mikroskopických vláknitých hub, které byly detekovány jak v čerstvém, tak i v lyofilizovaném i zamraženém vzorku hmyzu (Suchánková, 2016). *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. byly stanoveny u laboratorně sušených vzorků (EFSA, 2015). Dále byly detekovány u hmyzu *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Fusarium* spp., *Chaetomium* spp., *Mucor* spp., *Mucorales* spp., *Alternaria* spp., *Drechslera* spp. a *Phoma* spp. (Spiegel, 2013).

Toxiny produkované mikroskopickými vláknitými houbami rodu *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. a *Fusarium* spp. mohou být produkovány nejen v trávicím traktu hmyzu, ale mohou pocházet i ze substrátu, na kterém je hmyz chován. Koncentrace těchto mykotoxinů může mít vliv na úmrtnost chovaných jedinců (EFSA, 2015).

Z těchto výzkumů a studií vyplývá, že není vhodná konzumace jedlého hmyzu v čerstvém stavu a je nutná termická technologická úprava a dodržování zásad správného skladování. Je to jeden z možných kroků, kterým je možné eliminovat alimentární onemocnění pocházejícího z jedlého hmyzu.

2.6.2 Těžké kovy

Hmyz je vysoce výživný a zdravý zdroj potravy s vysokým obsahem tuku, bílkovin, vitamínů, vlákniny a minerálních látek (van Huis et al., 2013). Ve svých tkáních může ale hmyz akumulovat z životního prostředí i nebezpečné chemické látky včetně těžkých kovů (Handley et al., 2007; Zhuang et al., 2009, Belluco et al., 2013), dioxinů (Devkota et Schmidt, 2000) a látek zpomalujících hoření (Gaylor et al., 2012). EFSA (2015) upozorňuje na nedostatečné prozkoumání bezpečnosti konzumace hmyzu a jednotlivých rizik včetně zjištění obsahů těžkých kovů (zejména Cd, Pb, Hg a As) v těle hmyzu a stanovení limitů pro bezpečnou konzumaci (EFSA, 2015). Handley et al. (2007) např. prokázali vysoký obsah olova v chapulines (sušené kobyly) ze státu Oaxaca (Mexiko) a asociovali jej se zvýšenou

hladinou olova v krvi dětí a těhotných žen. Chapulines ale nebyly jediným zdrojem olova ve zkoumané populaci. Další studie Zhuang et al., (2009) ukazuje, že kuřata krmená larvami hmyzu naakumulovala významně vysokou hladinu olova ve svých játrech, což naznačuje, že akumulace těžkých kovů v určitých zvířecích orgánech nelze zanedbat. Další chemické analýzy s obsahy těžkých kovů u různých druhů hmyzu uvádějí studie Hyun (2012), Zielinska et al. (2015), Nowak et al. (2016) a Poma et al. (2017). Poma et al., (2017) zkoumali ve své studii devět minerálních látek. U druhu potěmník moučný (*Tenebrio molitor*) naměřili obsah Cd 0,06 mg/kg a obsah Pb byl u vzorku nižší než hranice detekce.

2.6.3 Oxidační změny u tuku

Změny vlastností tuků jsou další skupinou procesů probíhajících v organických materiálech při jejich dlouhodobém skladování. Mezi nejdůležitější patří oxidace lipidů, které je nežádoucím jevem snižujícím sensorické a nutriční vlastnosti tuků. Oxidaci tuků ovlivňuje řada faktorů, jako je teplota, světlo, ultrafialové záření, přítomnost kovů a volných radikálů (Pipek, 1998). Nepříznivou chuť a pach způsobují hlavně vznikající aldehydy a ketony, nízkomolekulární mastné kyseliny a peroxidy (Pipek et al., 1991; Čapek et al., 2008; Velíšek et Hajšlová, 2009), které se kumulují v tucích jako meziprodukty oxidace.

Zpočátku se zdá být tuk čerstvý, primárně vytvořené hydroperoxy a peroxidy nejde sensoricky postřehnout. Obsah vytvořených peroxidů a hydroperoxidů charakterizuje peroxidové číslo, které udává množství kyslíku schopného oxidovat jodid na jód za stanovených podmínek metody měření. Při stanovování peroxidového čísla u čerstvého tuku je peroxidové číslo nízké. Působením vnějších faktorů (teplota, kyslík, čas...) dochází ke zvyšující se koncentraci peroxidů a hydroperoxidů – peroxidové číslo roste. Po dosažení maxima začíná převládat rozkladný proces peroxidů a vznikají rozkladné produkty – aldehydy a ketony (sekundární produkty oxidace tuků). Peroxidové číslo klesá (Pipek et al., 1991).

Výsledkem oxidace tuku může být tvorba malondialdehydu, jako degradačního produktu polyenových mastných kyselin. Malondialdehyd významně mění sensorické vlastnosti - ovlivňuje chuť i vůni lipidů (Davídek et al., 1983). Jeho koncentrace se stanovuje thiobarbiturovým číslem, které je jedním z čísel charakterizujících oxidaci tuků (Sim et al., 2003). S postupným nárůstem a rozkladem polyenových mastných kyselin na začátku žluknutí dochází ke zvyšování koncentrace malondialdehydu (Davídek, 1992; Baião et Lara, 2005; Čapek et al., 2008). Nevýhodou této metody je, že malondialdehyd je pouze jedním z rozkladných produktů peroxidů a metoda může reagovat i na jiné látky (Baião et Lara, 2005). Podle Sim et al. (2003) měření thiobarbiturového čísla je však osvědčenou a nejčastěji

používanou metodou k odhadnutí oxidace tuku. Thiobarbiturové číslo je analyzováno na základě intenzity růžového zbarvení, které je výsledným projevem reakce 2-thiobarbiturové kyseliny a malondialdehydu (Saláková et Bořilová 2014).

2.7 Ostatní pozitiva a negativa chovu a konzumace jedlého hmyzu

2.7.1 Ostatní pozitiva chovu jedlého hmyzu

Chov hmyzu pro potravinářské účely má mimo výše uvedené vlastnosti několik dalších výhod, jako je schopnost vysoké konverze krmiva, větší efektivita chovu a menší zátěž životního prostředí než u chovu ostatních hospodářských zvířat (produkce menšího množství skleníkových plynů a amoniaku, menší nároky na spotřebu vody a půdy) (van Huis et al., 2013). Dále hmyz představuje nízké riziko přenosu zoonoz a dokáže přeměňovat organický odpad.

Zemědělská praxe se často potýká s problémem dostatečného množství kvalitního krmiva pro hospodářská zvířata jak z hlediska produkce, uskladnění a transportu, tak zejména z ekonomického a ekologického pohledu. K produkci 1 kilogramu kvalitních živočišných bílkovin se spotřebuje několikanásobně vyšší množství rostlinných bílkovin (Ayieko, 2007). Smil (2002) zjistil, že pro přírůstek jednoho kilogramu jedlého podílu zvířete je hmotnost dodaného krmiva 4,5 kg u kuřecího masa (při 55 % jedlého podílu z živé hmotnosti), 9 kg u vepřového masa (při 55 % jedlého podílu z živé hmotnosti) a 25 kg u hovězího masa (při 40 % jedlého podílu z živé hmotnosti). Při porovnání s konverzí krmiva u jedlého hmyzu, spotřebuje např. cvrček domácí (*Acheta domestica*) pouze 1,7 kg krmiva na přírůstek 1 kg živé hmotnosti hmyzu (Collavo et al., 2005). Při 80 % jedlého podílu z živé hmotnosti (Van Huis et al., 2013) je u cvrčka domácího (*Acheta domestica*) zapotřebí 2,1 kg krmiva na přírůstek jednoho kilogramu jedlého podílu. Van Huis et al. (2013) uvádí konverzi krmiva cvrčka domácího jako 2× efektivnější oproti kuřatům, 4× vyšší než u prasat a více jak 12× vyšší než u skotu. Vysvětlení tohoto rozdílu je možné zdůvodnit tak, že hmyz je poikilotermický – nemá vnitřní regulaci teploty, proto má nižší spotřebu energie a živin než teplotně hospodářská zvířata (Kouřil, 2016).

Zátěž kladená různými obory lidské činnosti na životní prostředí je v současné době značná a je vynakládáno úsilí k jejímu zmenšení. Jednu z klíčových rolí ve změně přístupu k životnímu prostředí a k environmentální politice přispěl Summit Země v Riu de Janeiro v roce 1992, na kterém se ochrana životního prostředí stala neoddelitelnou součástí udržitelného rozvoje. Do té doby šlo jen o snahu řešit následky znečišťování životního

prostředí s použitím izolovaných indikátorů stavu životního prostředí, mezi které patří znečištění vod a půd, úbytek rostlinných a živočišných druhů, globální změny klimatu aj. Z tohoto důvodu bylo nutno zavést nový agregovaný indikátor, který by v sobě zahrnoval stávající aspekty a komplexněji by popisoval postup pokroku směrem k udržitelnému rozvoji. Tímto indikátorem se stal indikátor „ekologická stopa“, který byl rozvíjen od poloviny 90. let minulého století (Mich, 2007). Výpočet a obecný koncept ekologické stopy byl zpracován v disertační práci Mathise Wackernagela pod dohledem Reese na Univerzitě Britská Kolumbie v kanadském Vancouveru v letech 1990 až 1994 (Wackernagel, 1994). V roce 1992 vydává William Reese (1992) první vědeckou publikaci o ekologické stopě. Následně je metoda dále zdokonalována a rozvíjena (Mich, 2007).

Ekologická stopa je uměle vytvořená jednotka, která je chápána jako nástroj pro určení plochy, která je používána k zabezpečení trvalých potřeb člověka. Z rozdílu mezi ekologickou stopou a množstvím ekologicky produktivní půdy, která je reálně k dispozici, je tzv. mezera trvalé udržitelnosti (Mich, 2007). Pokud je tato hodnota dlouhodobě překročena je rozvoj neudržitelný a mohlo by dojít k závažným ekologickým problémům.

Koncepce ekologické stopy (Ecological Footprint - EF) vychází z myšlenky, že každý člověk žijící v určitém prostředí přijímá určité přírodní zdroje, zpracovává je a produkuje určité množství odpadu - využívá určité množství přírody (biokapacity) k uspokojení svých potřeb. Většinu z těchto přírodních zdrojů a odpadů lze konvertovat na odpovídající plochu ekologicky produktivní země. Ekologická stopa počítá s pěti odlišnými typy půd (orná půda, pastviny, lesy, zastavěná plocha a moře) a plochou (tzv. energetickou půdou), která je ekvivalentem absorpční kapacity CO₂. Ekologická stopa spotřeby EF_C je pak dána rovnicí (Ewing et al., 2010):

$$EF_C = EF_P + EF_I - EF_E \quad (1)$$

kde EF_P - je ekologická stopa produkce (je vyjádřena jako primární poptávka po biokapacitě),

EF_I - je ekologická stopa importovaných komoditních toků (jiné zdroje),

EF_E - je ekologická stopa exportovaných komoditních toků (odpadu).

K vlastnímu výpočtu ekologické stopy je však nutné mít k dispozici široké spektrum vstupních dat.

Ekologickou stopu lze aplikovat nejen na samotného člověka, ale i např. na různé živočichy, město či stát. Výjimkou není ani jedlý hmyz. Každý hmyzí jedinec, od vajíčka až po dospělé, žije v určitém životním prostoru, který ovlivňuje. Modelovým organismem v této práci byl potměnák moučný, jehož environmentální dopad na okolní prostředí zkoumal ve svých studiích Oonincx (Oonincx et al., 2010, Oonincx et Dierenfeld, 2012). Autor stanovil různé vstupy přiváděné do kontrolovaného chovu a sledoval absolutní a relativní příspěvek na potenciál globálního oteplování (global warming potential - GWP), využití energie (energy use - EU) a využití půdy (land use - LU) pro výrobu 1 kg čerstvých larev potměnka moučného na základě jednotlivých ekonomických aspektů tab. 2.1. Při vyjádření výsledků na 1 kg jedlých bílkovin z larev potměnka moučného byl příspěvek na potenciál globálního oteplování 14 kg CO₂-ekv., využitá energie 173 MJ a využitá půda 18 m².

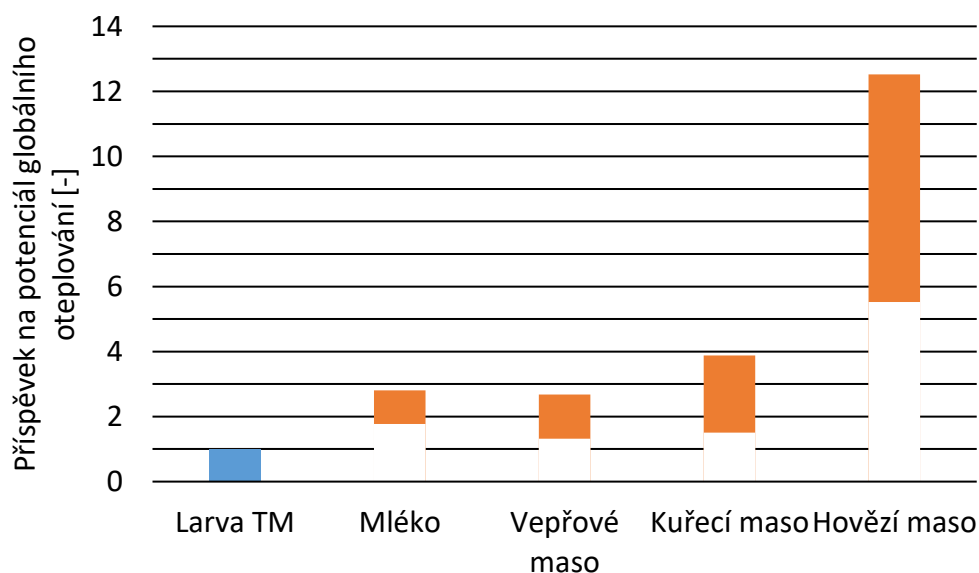
Tab. 2.1: Environmentální dopad vstupů v produkci potměnka moučného
(Oonincx et Dierenfeld, 2012).

	příspěvek na potenciál globálního oteplování (GWP)		využití energie (EU)		využití půdy (LU)	
	[kg CO ₂ ekvivalent]	[%]	[MJ]	[%]	[m ²]	[%]
	Mrkev [kg]	0,38	14,27%	4,31	12,80%	0,51
Směs obilí [kg]	1,11	41,98%	10,47	31,09%	3,03	85,14%
Plyn [MJ]	0,70	26,26%	11,71	34,77%	0,00	0,02%
Vejce [kg]	0,00	0,12%	0,04	0,13%	0,00	0,01%
Elektřina [MJ]	0,45	17,06%	7,13	21,17%	0,01	0,24%
Voda [m ³]	0,00	0,03%	0,01	0,04%	0,00	0,00%
Zvířata [kg]	0,01	0,29%	0,00	0,00%	0,00	0,00%
Farma	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,01	0,20%
Celkem	2,65	100,00%	33,68	100,00%	3,56	100,00%

Oonincx et Dierenfeld (2012) vyhodnotil výše uvedené indikátory a porovnal je s ostatními živočišnými produkty - mlékem, vepřovým, kuřecím a hovězím masem. Z výsledků vyplývá, že příspěvek na potenciál globálního oteplování GWP byl u larev potměnka moučného nižší než u ostatních komodit. V porovnání s hovězím masem byl nižší až 12x. Využitá energie na výrobu 1 kg jedlých bílkovin z larev potměnka moučného byla v porovnání s ostatními komoditami srovnatelná nebo vyšší (např. až o 79 % u mléka). Důvodem je ohřev chovu hmyzu při nízkých okolních teplotách. V tomto směru byly navrženy zmírňující opatření, kdy větší larvy produkující přebytek metabolického tepla ohřívají menší larvy, které teplo vyžadují. Využití půdy je opět u chovu jedlého hmyzu menší než u ostatních porovnávaných komodit. Porovnání výsledků normalizované na 1 kg

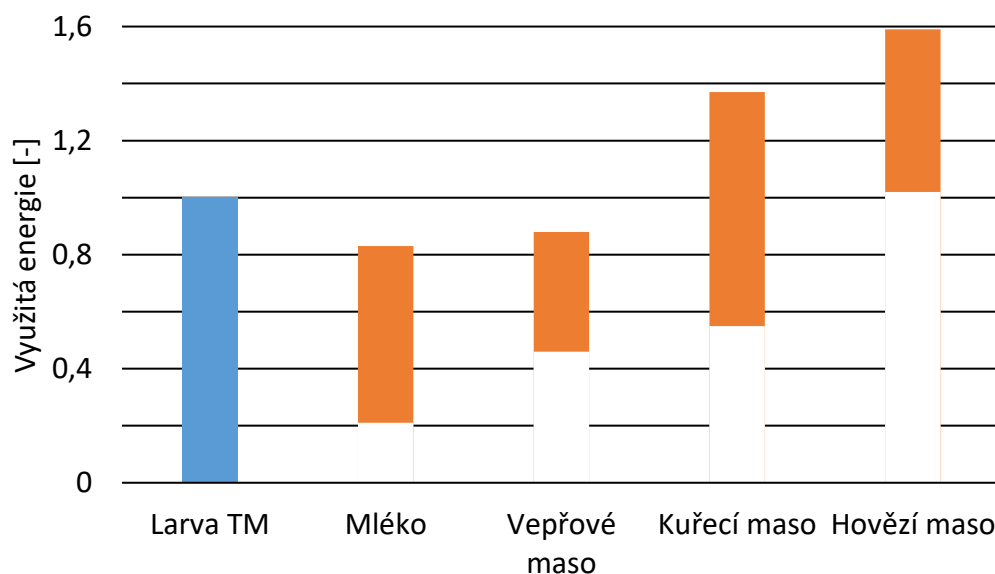
stravitelných bílkovin z larev potměníka moučného adaptovaných podle Oonincx et Dierenfeld (2012) je uvedeno na graf 2.1, graf 2.2 a graf 2.3.

Graf 2.1: Příspěvek na potenciál globálního oteplování na výrobu 1 kg stravitelných bílkovin z larev potměníka moučného (TM) v porovnání s ostatními komoditami.



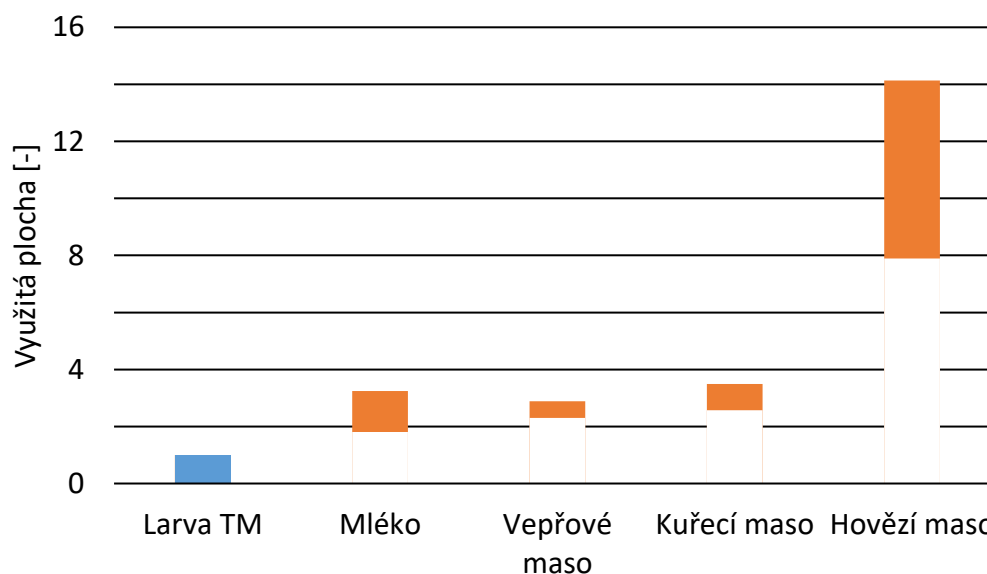
Pozn. Normalizováno na 1 kg stravitelných bílkovin z larev potměníka moučného (zpracováno podle Oonincx et Dierenfeld (2012)).

Graf 2.2: Využitá energie na výrobu 1 kg stravitelných bílkovin z larev potměníka moučného (TM) v porovnání s ostatními komoditami.



Pozn. Normalizováno na 1 kg stravitelných bílkovin z larev potměníka moučného (zpracováno podle Oonincx et Dierenfeld (2012)).

Graf 2.3: Využitá plocha na výrobu 1 kg stravitelných bílkovin z larev potměníka moučného (TM) v porovnání s ostatními komoditami.



Pozn. Normalizováno na 1 kg stravitelných bílkovin z larev potměníka moučného (zpracováno podle Oonincx et Dierenfeld (2012)).

U prasat činí celková emise skleníkových plynů 668 milionů tun ekvivalentu oxidu uhličitého. To je 9 % z celkové emise produkované v živočišné výrobě. Mimo vlastního chovu jsou v této hodnotě zahrnuty emise skleníkových plynů vznikající při výrobě krmiv, hnojiv a dalších nezbytně nutných činností u chovu prasat Gerber et al. (2013). 8 % z celkových emisí v odvětví živočišné výroby připadá na chov drůbeže. To je 606 milionů tun ekvivalentu oxidu uhličitého Gerber et al. (2013).

Posledním významným producentem skleníkových plynů jsou malí přežvýkavci (ovce a kozy), kteří vyprodukují 475 milionů tun ekvivalentu oxidu uhličitého (6,5 % z celkových emisí skleníkových plynů) (Gerber et al., 2013). Po přepočtu je možné u 1 kg kozího mléka vypočítat hodnotu 5,2 kg ekvivalentu oxidu uhličitého na kilogram mléka a 8,4 kg ekvivalentu oxidu uhličitého u 1 kg ovčího mléka. Průměrná hodnota ekvivalentu oxidu uhličitého na 1 kg jatečně upraveného těla činí 23,8 kg (ovčí jatečně upravené tělo 24 kg, kozí jatečně upravené tělo 23,5 kg) (Opio et al., 2013).

Z rostlinné produkce jsou jedny z největších producentů skleníkových plynů rýžová pole, které produkují 30 % všeho metanu a 11 % oxidu dusného produkovaného v zemědělské výrobě (Liu et al., 2016).

Tab. 2.2 uvádí výsledky ostatních autorů při porovnání emisí ekvivalentu CO₂ u hmyzů zkoumaných Kouřilem (2016) a uváděných Oonincx et al. (2010) s ostatními komoditami

živočišného původu. Z tabulky vyplývá, že emise produkované hmyzem na 1 kg živé hmotnosti jsou velmi nízké proti prasatům a kuřatům a až 10 000 krát nižší než u telat. Je důležité vzít ještě v úvahu jatečnou výtěžnost, která je uváděna u skotu přibližně 40 %, zatímco u hmyzu je výtěžnost až 80 % (van Huis et al., 2013).

Tab. 2.2: Porovnání emise ekvivalentu CO₂ u hmyzů zkoumaných Kouřilem (2016) a uváděných Oonincxem et al. (2010) s ostatními komoditami živočišného původu.

	Kouřil (2016)	Oonincx (2010)	Phelippe a Nicks (2014)	Henn et al. (2015)	Hristov et al. (2015)	Brouček a Čermáková (2015)	Zervas a Tsiplakou (2011)	Vries et al. (2010)
potemník moučný	0,016	0,019						
potemník brazilský	0,006							
cvrček stepní	0,017	0,002						
prasata		1,165	0,923				0,971	3,700
kuřata								2,080
brojleři C44 - samci				1,298				
brojleři C44 - samice				1,534				
brojleři Cob 500 - samci				0,890				
brojleři Cob 500 - samice				1,000				
brojleři - nespecifikováno						6,209		
telata					26,649			
skot								11,000
malí přežvýkavci - nespecifikováno							1,737	

Pozn. Normalizováno k emisím CO₂ u brojlerů Cob 500.

Dalším dopadem na životní prostředí se zabýval Miglietta (2015), který sledoval vodní stopu. Vodní stopa zboží nebo služby je celkové množství vody v m³, jak vnitřní, tak vnější, které je potřeba k produkci dané komodity (Vantomme et al., 2012). Miglietta (2015) uvádí, že na 1 tunu živé hmotnosti připadalo u moučného červa 4341 m³ vody, u prasat 3831 m³ vody, u brojlerových kuřat 3364 m³ vody a u hovězího 7477 m³ vody. Při přepočtu na 1 kg jatečně upraveného těla připadá u potemníkovitých 4,341 litrů, u vepřového masa 5,988 litrů, u kuřecího masa 4,325 litrů a u hovězího masa dokonce 15,415 litrů vody. Nejmarkantnější je tento rozdíl zřejmý při přepočtu vodní stopy na jednotku nutriční hodnoty, kdy vodní stopa tvoří u potemníkovitých 23 l/g proteinů, u vepřového 57 l/g proteinů a u hovězího dokonce 112 l/g proteinů. Opět nejnižší dopad na životní prostředí má proto jedlý hmyz, který

spotřeboval nejméně vody a má nejvyšší jatečnou výtěžnost v porovnání s ostatními hospodářskými zvířaty (Migletta (2015) kalkuloval jatečnou výtěžnost až 100 %).

Nedostatek vody již dnes omezuje zemědělskou produkci v mnoha částech světa. Odhaduje se, že v roce 2025 bude 1,8 miliardy lidí žít v zemích nebo regionech s absolutním nedostatkem vody. Je zapotřebí přezkoumat využití jednotlivých potravinových zdrojů, včetně alternativních, protože zemědělství spotřebuje 70 % sladké vody na celém světě (Vantomme et al., 2012). Jedlý hmyz nabízí možnost snížení spotřeby vodních zdrojů při výrobě dostatečného množství potravin.

Jednou ze základních výhod chovu hmyzu je též přeměna organického odpadu na proteiny. Například druhy *Hermetia illucens* (dvoukřídla moucha bráněnka), moucha domácí (*Musca domestica*) a potěmník moučný (*Tenebrio molitor*) jsou velmi účinné při biodegradaci organického odpadu. Společně jsou tyto druhy schopné zpracovat 1,3 miliardy tun bioodpadu ročně (Veldkamp et al., 2012).

Rozšíření farmového chovu jedlého hmyzu v oblastech s vysokou zátěží na životní prostředí by mohlo přispět k řešení environmentálních problémů dotýkajících se jak rozvinutých, tak i rozvojových zemí.

2.7.2 Ostatní negativa a rizika konzumace jedlého hmyzu

Konzumace hmyzu může znamenat i některá rizika (mimo výše jmenovaných), která je potřeba vzít v úvahu. Sběr hmyzu ve velkém ve volné přírodě by mohl znamenat vážný zásah do ekosystému krajiny. Proto je doporučováno, konzumovat hmyz faremně chovaný za kontrolovaných a definovaných podmínek. Výběrem vhodného a bezpečného krmiva je tak zajištěna následná zdravotní nezávadnost jedlého hmyzu.

Mimo environmentálních rizik jsou zde rizika pro samotného konzumenta, která je možné rozdělit na alergická rizika, chemická rizika, mikrobiologická rizika, parazitická rizika (Belluco et al., 2013). Všechna tato rizika lze minimalizovat vhodným značením, výběrem, technologickým zpracováním a dalšími postupy. Mezi chyby patří např. konzumace nevhodného vývojového stádia hmyzu, špatná manipulace a kulinářská úprava. Konzumace hmyzu může způsobovat i alergie. Hmyz má vnější kostru tvořenou chitinem. Chitin není lidským organismem stravitelný, pouze ve slinách a v žaludku se částečně hydrolyzuje lysozymem a kyselinou chlorovodíkovou. Dnes, kvůli potravě neobsahující chitin, dochází u lidí k úbytku tvorby enzymu, štěpícího chitin. Někteří lidé mají tohoto enzymu tak minimální množství, že u nich po konzumaci hmyzu může nastat alergická reakce (EFSA, 2015).

Nejvíce ohrožení jsou lidé, kteří trpí alergií na plody moře, jako jsou např. krevety (Bednářová et al., 2014).

Dalším potenciálním alergenem je protein tropomyosin, který se nachází ve svalových i nesvalových buňkách všech druhů obratlovců a bezobratlých. Může mít více izoform (Belluco et al., 2013). Studie na křížovou reakci u korýšů ukazují, že tropomyosin je jedním z jejich hlavních alergenů, který je zodpovědný za imunologický vztah mezi korýši, šváby a domácími prachovými roztoči. Některé důkazy naznačují, že se může jednat o zkříženou alergii mezi krevetkami a dalšími členovci, jako jsou roztoči a hmyz včetně švábů, kobylek a ovocných mušek (Belluco, 2013). Obdobné závěry ve své studii uvádí i Verhoeckx (2014) a Broekhoven (2016). Výsledky Broekhoven (2016) dále ukazují, že tepelným zpracováním je možné vliv alergenu oslabit, ale riziko není vyloučeno.

Pokud není provedeno správné vyláčení, tepelné opracování, a nejsou zajištěny vhodné podmínky skladování, může se jedlý hmyz stát nebezpečným i z mikrobiologického hlediska (Giaccone, 2005; Klunder et al., 2012).

3 HYPOTÉZY A CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Hlavním cílem disertační práce bylo stanovit základní nutriční parametry materiálů z jedlého hmyzu a zjistit optimální chovné podmínky vybraných druhů jedlého hmyzu v podmínkách ČR pro získání materiálů s požadovanými nutričními vlastnostmi. Dalším cílem bylo zhodnocení přijatelnosti sensorických vlastností materiálů z vybraných druhů jedlého hmyzu pro běžného konzumenta z České republiky. Posledním cílem bylo stanovit a zhodnotit hygienickou a toxikologickou kvalitu dlouhodobě skladovaných materiálů z jedlého hmyzu s ohledem na bezpečnost potravin.

Byly stanoveny následující hypotézy a cíle disertační práce:

Hypotéza H1: Při stanovení optimálních chovných podmínek, vývojových fází a optimálních krmných dávek je možné získat dobrou produkci hmyzu s optimálními nutričními vlastnostmi pro výživu lidí, případně i pro použití ve speciální výživě lidí.

Pro prokázání platnosti hypotézy č. 1 byly stanoveny 3 dílčí cíle:

- **dílčí cíl 1/1:** Stanovit optimální chovné podmínky pro vybrané druhy jedlého hmyzu pomocí analýzy základních nutričních hodnot.
- **dílčí cíl 1/2:** Stanovit nejvhodnější vývojové fáze k získání nejvhodnější kvantity nebo kvality nutričních složek pro vybrané druhy jedlého hmyzu.
- **dílčí cíl 1/3:** Stanovit nejvhodnější složení krmné dávky pro získání nejvhodnější kvantity nebo kvality nutričních složek pro vybrané druhy jedlého hmyzu.

Hypotéza H2: Sensorické vlastnosti vybraných druhů jedlého hmyzu budou přijatelné pro běžného konzumenta z České republiky.

Pro prokázání platnosti hypotézy č. 2 byl stanoven 1 dílčí cíl:

- **dílčí cíl 2/1:** Zjistit formou dotazníkového šetření sensorické vlastnosti vybraného druhu jedlého hmyzu a postoj laické veřejnosti k přijetí vybraného druhu hmyzu do potravinového koše.

Hypotéza H3: Při stanovení optimální doby skladování je možné zajistit udržení dostatečných vlastností nutričních složek pro výživu zvířat a lidí po tuto dobu.

Pro prokázání platnosti hypotézy č. 3 byl stanoven 1 dílčí cíl:

- **dílčí cíl 3/1:** Stanovit optimální dobu skladování k udržení dostatečných nutričních hodnot materiálů z jedlého hmyzu a zhodnotit jeho hygienickou a toxikologickou kvalitu s ohledem na bezpečnost potravin.

4 MATERIÁL A METODY

4.1 Stanovení nutričních parametrů

4.1.1 Materiál

4.1.1.1 Materiál a jeho příprava pro stanovení základních nutričních hodnot

K prvním analýzám byly použity vzorky potemníka brazilského (*Zophobas morio*), potemníka moučného (*Tenebrio molitor*) a cvrčka stepního (*Gryllus assimilis*). Vzorky byly dovezeny z ostrova Sumatra, kde byly chovány v místním chovu hmyzu při podmínkách optimálních pro vývoj jednotlivých druhů. Uvedené druhy hmyzu byly krmeny směsí organického odpadu z místního tržiště - krájená zelenina (mrkev, bílé zelí, čínské zelí, rajčata, brambory), ovoce (banán, pomeranč), hořčičné semínko, kuřecí maso. Vzorky hmyzu se upravily následujícím způsobem: larvy potemníků se odebraly z chovu v posledním a předposledním stádiu vývoje (s plnou délkou těla těsně před zakuklením) a cvrček stepní byl z chovu odebrán ve stádiu dospělce. Dalším krokem bylo vylačnění po dobu 48 hodin, usmrcení vroucí vodou (100 °C) a sušení do konstantní hmotnosti za podmínek, které dovolovalo polní sušení na Sumatře. Takto připravené vzorky byly homogenizovány, uskladněny v plastovém boxu a převezeny do laboratoře, kde byly uskladněny v chladicím boxu při teplotě 4–7 °C do doby analýzy. Každý vzorek byl analyzován ve třech opakováních.

K analýze nutričních hodnot druhů hmyzu chovaných v České republice byl mimo stejných druhů dovezených z ostrova Sumatra doplněn ještě potemník stájový (*Alphitobius diaperinus*). Vzorky byly zakoupeny od firmy Radek Frýželka, Brno, a v prodejně s chovatelskými potřebami Carassius, Praha 6 - Dejvice. Narozdíl od vzorků hmyzu dovezeného z ostrova Sumatra byl hmyz nakoupený v České republice krmen pouze směsí krájené zeleniny a ovoce. Dalším drobným rozdílem bylo použití sušicího boxu pro sušení vzorku při teplotě 105 °C po usmrcení vroucí vodou. Ostatní postup základního zpracování materiálů byl stejný jako u vzorků dovezených ze Sumatry.

4.1.1.2 Materiál a jeho příprava pro stanovení vlivu teploty a krmiva na nutriční hodnoty

K analýze stanovení vlivu teploty a krmiva na nutriční hodnoty byly použity vzorky larev potemníka moučného (*Tenebrio molitor*). Vzorky byly zakoupeny od firmy Radek Frýželka, Brno, chovány doc. Borkovcovou, Mendlova univerzita Brno.

Hmyz byl rozdělen do 3 experimentálních skupin. První experimentální skupina byla krmena pouze pšeničnými otrubami, druhá skupina pouze čočkovou moukou a třetí skupina byla krmena směsí složené z pšeničných otrub (50 %) a čočkové mouky (50 %). Každá experimentální skupina s určitým typem krmiva byla chována při třech různých teplotách 15 °C, 20 °C a 25 °C. Před analýzou byly larvy potemníka moučného v posledním a předposledním instaru vývoje (s plnou délkou těla těsně před zakuklením) odebrány z chovu. Dalším krokem bylo vyláčení po dobu 48 hodin, usmrcení vroucí vodou (100 °C) a usušení při 105 °C. Takto připravené vzorky byly homogenizovány a uskladněny v chladicím boxu při teplotě 4 až 7 °C do doby analýzy.

Nutriční hodnoty krmiva (údaje na 100 g výrobku):

- Pšeničné otruby/hrubé: energetická hodnota: 1210 kJ / 292 kcal, tuky 5,3 g, z toho nasycené mastné kyseliny 0,88 g, sacharidy 24,9 g, z toho cukry 2,2 g, vláknina 40,2 g a bílkoviny 16,2 g, sůl 0,1 g. Firma: Country Life, s.r.o., Beroun 1.

- Čočková mouka: energetická hodnota 1250 kJ / 298 kcal, bílkoviny 24,1 g, tuky 2,0 g, z toho nasycené mastné kyseliny 0,5 g, sacharidy 49,6 g, z toho cukry 2,2 g, vláknina 11,4 g, sůl 6,7 mg. Firma: Extrudo Bečice s.r.o., Bečice 7, 375 01 Týn nad Vltavou.

4.1.2 Stanovení vybraných nutričních parametrů

4.1.2.1 Stanovení sušiny na sušicích váhách s infrazářičem

Zhomogenizované množství vzorku o hmotnosti přibližně 0,5 g bylo rovnoměrně rozloženo na hliníkovou folii a následně analyzováno dle normy ISO 1442:1997 pomocí vah s infrazářičem Precisa HA 300, Precisa Gravimetrics AG, Dietikon, Schweiz.

4.1.2.2 Stanovení obsahu dusíkatých látek

Celkový obsah dusíkatých látek byl stanoven metodou podle Kjeldahla (ISO 1871:2009). Vzorky (1 g) byly mineralizovány při 420 °C po dobu 105 minut. Destilace byla provedena na přístroji Kjeltec™ 2200 (FOSS, Dánsko) po dobu 4 minut. Množství dusíkatých látek bylo vypočteno vynásobením obsahu nalezeného dusíku koeficientem 6,25.

4.1.2.3 Stanovení obsahu tuku podle Soxhleta

Stanovení obsahu tuku u vzorků ze Sumatry bylo provedeno extrakcí metodou podle Soxhleta (Soxhlet, 1879) na přístroji Gerhardt Soxtherm SOX414 (C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Německo). Vysušené a zhomogenizované vzorky o navážce 5 g, byly vloženy do extrakční patry a extrahovány 150 ml petroletheru (zvolený program: 70 °C po dobu

120 minut). Vyextrahovaný vzorek byl potom sušen při teplotě 103 °C a opakovaně vážen do konstantní hmotnosti (rozdíl mezi dvěma následujícími váženými menší než 10 mg).

Pro stanovení obsahu tuku ve vzorcích z ČR byla použita metoda dle Soxhleta (Davídek, 1977), kdy byly použity varné baňky se zábrusem, do kterých byly vloženy varné kamínky. Baňky s kamínky byly zváženy a do každé z nich bylo odměřeno 75 ml petroletheru (Lach-Ner, Česká republika). Do extrakční patrony bylo naváženo přibližně 5 g zhomogenizovaného vzorku s přesností vážení 0,0001 g. Patrona byla následně vložena do aparatury, kde probíhala extrakce rozpouštědlem. Vzorky byly následně odpařeny na rotační vakuové odparce při 40 °C. K odpaření zbylého rozpouštědla byly baňky vloženy do sušičky. Následně byly baňky umístěny do exikátoru a po vychladnutí zváženy na analytických vahách. Obsah tuku byl vypočten jako rozdíl hmotnosti baňky s tukem a baňky prázdné.

4.1.2.4 Stanovení obsahu chitinu

Chitin ve vzorcích byl stanoven hydrolyzou dle Liu et al. (2012). Navážka byla pro každý vzorek 2 x 1,6 g. Poté byl vzorek hydrolyzován po dobu 30 minut 100 ml 1M HCl při 100 °C. Takto vzniklý hydrolyzát byl přefiltrován a promyt 500 ml horké destilované vody až do neutrálního pH. Protože hmyz obsahuje poměrně velké množství tuku, který zpomaloval nebo úplně zastavoval filtraci, bylo během filtrace přidáváno malé množství 5% KOH, který způsobil zmýdelnění tuků, čímž zvýšil jejich rozpustnost ve vodě a umožnil tak promýt vzorek požadovaným množstvím destilované vody. Do každého přefiltrovaného vzorku bylo přidáno 100 ml 1M NaOH a vzorky byly podruhé hydrolyzovány po dobu 20 hodin při teplotě 80 °C. Hydrolyzát byl poté opět přefiltrován ve skleněných fritách na vlákninu a promyt 500 ml horké vody do neutrálního pH. Dva profiltrované hydrolyzáty od každého vzorku byly vysušeny, zváženy, spáleny a převáženy a podle níže uvedeného výpočtu z nich bylo stanoveno množství chitinu. Výpočet chitinu (%) byl proveden podle vzorce:

$$\% \text{ (m/m) chitinu} = ((\text{hmotnost vysušené} - \text{hmotnost spálené frity})/\text{navážka}) * 100 \quad (2)$$

4.1.2.5 Stanovení profilu mastných kyselin

Pro stanovení profilu mastných kyselin byly všechny vzorky vyextrahované podle Soxhleta o navážce 0,5 g tuku esterifikovány dle ISO 12966-2: 2011 s použitím 0,25 mol/l methanolického hydroxidu draselného. Následně proběhlo stanovení profilu mastných kyselin pomocí plynového chromatografu.

V první fázi byly analyzovány vzorky hmyzu dovezených z ostrova Sumatra pomocí plynového chromatografu GC Agilent 7890 (Agilent Technologies, USA) s plameno-

ionizačním detektorem. Teplota detektoru byla 250 °C. Nástřík byl proveden při teplotě 225 °C. Jako nosný plyn bylo použito hélium o průtoku 1,2 ml/min. Teplotní program byl nastaven na 70 °C (výdrž 2 minuty), poté teplota vzrůstala o 5 °C za minutu až do teploty 225 °C (výdrž 9 minut). Dále byl gradient 5 °C/min na teplotu 240 °C (výdrž 15 minut). Celkově trvala analýza 60 minut. Vzorek o objemu 1 µl byl nastříknut ve split módu (poměr 20 : 1). Jako rozpouštědlo byl použit hexan. Profil mastných kyselin u vzorků z České republiky byl proměřen na plynovém chromatografu s hmotnostní detekcí (GC/MS) značky Agilent 7890A. Teplota detektoru, nástříku, teplotní profil a další parametry byly shodné s měřením vzorků z ostrova Sumatra. Pouze split poměr byl u těchto měření 1 : 50.

Použitá kolona pro plynovou chromatografii byla v obou případech typu Restek Rt®-2560 o rozměrech 100 m × 0,25 mm × 0,2 µm. Identifikace mastných kyselin byla provedena v obou případech pomocí standardu FAME Mix (Restek), který obsahoval standard 37 methylesterů mastných kyselin. Zastoupení jednotlivých mastných kyselin bylo vypočteno metodou vnitřní normalizace. U vzorků z ČR byla provedena i detekce pomocí knihovny spekter National Institute of Standards and Technology Library (NIST, USA).

4.1.2.6 Stanovení profilu mastných kyselin při sledování vlivu teploty a krmiva

Stanovení profilu mastných kyselin při sledování vlivu teploty a krmiva u vzorků potěmnik moučný (*Tenebrio molitor*) bylo provedeno na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně. Metylestery mastných kyselin ve vyšetřovaných vzorcích byly stanoveny plynovou chromatografií s plamenově ionizačním detektorem (FID) na přístroji GC-2010 (Shimadzu, Japonsko) za použití vysoce polární chromatografické kolony HP-88 (100 m × 0,25 mm × 0,2 µm) – (Agilent Technologies, CO, USA), která je určena pro identifikaci cis/trans metylesterů mastných kyselin. Chromatografické podmínky byly následující: objem nástříku 1 µl, teplota nástříku 250 °C, splitovací poměr 1 : 100, nosný plyn dusík, teplotní program 80 °C / 5 min, 200 °C / 30 min, 250 °C / 15 min.

Kvantitativní vyhodnocení obsahů jednotlivých mastných kyselin ve vzorcích bylo provedeno metodou vnitřní normalizace za použití standardu FAME Mixture C4-C24 (Supelco, PA, USA), který obsahoval 37 vybraných methylesterů mastných kyselin. Zastoupení jednotlivých mastných kyselin bylo přepočteno na procenta z celkového obsahu přítomných metylesterů.

4.1.2.7 Stanovení obsahu vybraných sterolů

Obsah sterolů byl stanoven na Vysoké škole chemicko-technologické v Praze (Ing. Sabolová) podle AOCS Official Method Ch 6-91, American Oil Chemists' Society, USA, (1997). Přibližně 0,5 g tuku se vařilo v 50 ml ethanolového KOH (2 mol/l) po dobu 1 hodiny. Nezmýdelněná frakce se extrahovala diethyletherem. Rozpouštědlo se odpařovalo za použití rotační vakuové odparky. Vysušené vzorky byly silylovány pomocí pyridinu a BSTFA (bis(trimethylsilyl)-trifluor-acetamidu). Steroly byly stanoveny pomocí plynového chromatografu Agilent 7820A ve spojení s hmotnostním detektorem Agilent 5975 Series (MSD Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA). Použitá kolona byla Supelco SACTM5 o rozměrech 22 m × 0,25 mm × 0,25 μm. Jako nosný plyn bylo použito helium o vysoké čistotě s průtokem 2 ml/min. Nástřik o objemu 1 μl a teplotě 280 °C byl vstříknut do kolony ve split poměru 1 : 20. Teplotní program byl nastaven na 245 °C (výdrž 1 minuta), poté teplota vzrůstala o 10 °C za minutu až do teploty 290 °C (výdrž 33 minut). Dále byl gradient 5 °C/min na teplotu 310 °C (výdrž 15 minut). Jako vnitřní standard pro kvantifikaci cholesterolu, kampesterolu, stigmasterolu a beta-sitosterolu byl použit 5α-cholestan. Výsledky obsahu sterolů byly identifikovány pomocí srovnání retenčních časů jednotlivých analytů s čistým standardem, porovnáním jejich hmotnostních spekter se spektry knihovny NIST a na základě informací s literárními zdroji.

4.1.3 Stanovení prediktorů kardiovaskulárních rizik

Pro jednotlivé druhy jedlého hmyzu byly vypočteny indexy aterogenity (AI) a trombogenity (TI) podle následujících vzorců (Žák et al., 2011):

$$AI = (C12:0 + 4 \times C14:0 + C16:0) / (\Sigma MUFA + \Sigma n-6 + \Sigma n-3) \quad (3)$$

$$TI = (C14:0 + C16:0 + C18:0) / (0,5 \times \Sigma MUFA + 0,5 \times \Sigma n-6 + 3 \times \Sigma n-3 + (n-3/n-6)) \quad (4)$$

Poměr nasycených tuků a cholesterolu (cholesterol/saturated fat index - CSI) byl stanoven u vzorku larev potěmníka moučného a brazilského podle následujícího vzorce (Pánek, 2002):

$$CSI = 1,01 \times \Sigma SFA \text{ (g/100 g)} + 50 \times \text{cholesterol (g/100 g)} \quad (5)$$

4.1.4 Stanovení obsahu vybraných těžkých kovů

Stanovení obsahu vybraných těžkých kovů olova a kadmia bylo provedeno ve spolupráci s VUT v Brně, kde proběhla příprava a měření vzorku potměníka moučného (*Tenebrio molitor*). Zhomogenizovaný vzorek o hmotnosti 0,1 g byl vložen do zkumavky, následně bylo přidáno 2 ml HNO₃ o koncentraci 65 %. Kovy byly extrahovány po dobu 24 hodin při pokojové teplotě a následně byly vzorky zahřáty na teplotu 110 °C po dobu 1 hodiny. Poté bylo přidáno 200 µl 30 % H₂O₂ a dále byl vzorek ohříván dalších 30 minut. Po ochlazení byl vzorek zředěn 5× deionizovanou vodou (v/v) (18,2 MOhm/cm, Milli-Q, Millipore). Před samotnou analýzou byl vzorek zředěn 10× v acetátovém pufru (v/v).

Detekce vybraných kovů (Cd, Pb) byla provedena pomocí cyklické voltametrie v rozsahu $U = \langle -1000; +400 \rangle$ mV se skenovací rychlostí 10 mV/s. Akumulační čas byl $t_{\text{cond}} = 45$ s při potenciálu $E_{\text{cond}} = -1000$ mV. Jako referenční elektroda byla použita Ag/AgCl Reference Electrode (Metrohm AG, Switzerland). Pt Rod Electrode (Metrohm AG, Switzerland) byla použita jako pomocná elektroda. Pracovní elektroda byla vyrobená metodou tlustých vrstev na keramickém substrátu (Al₂O₃). Senzor měl rozměry 25,4 mm × 7,25 mm × 625 µm. Stříbrný vývod byl vytvořený pastou ESL 9562-G (ESL Electroscience, England). Pracovní elektroda o průměru 3 mm byla vyrobená pastou DuPont 7102 (DuPont, USA). Pasta ESL 4917 (ESL Electroscience, England) byla použita pro krycí ochrannou vrstvu.

Naměřená charakteristika byla derivována a vyhodnocena v programu Excel 2013 (Microsoft Corporation, USA).

4.2 Stanovení senzoričkových vlastností jedlého hmyzu

4.2.1 Materiál pro senzoričkovou analýzu

Pro senzoričkovou analýzu byly vybrány tři druhy jedlého hmyzu - potměník moučný (*Tenebrio molitor*), potměník brazilský (*Zophobas morio*) a cvrček domácí (*Acheta domestica*). Uvedené druhy byly před samotnou analýzou různě kulinářsky upraveny. V případě senzoričkové analýzy druhů potměník moučný (*Tenebrio molitor*) a potměník brazilský (*Zophobas morio*) zakoupených v prodejně s chovatelskými potřebami Krmiva Hostivice proběhlo šetření na vzorcích, které byly vyláčnány po dobu 48 hodin, usmrceny vroucí vodou (100 °C) a usušeny při 105 °C. Takto připraveným materiálem byly ozdobeny tyčinky z listového těsta, které byly použity pro senzoričkovou analýzu.

Cvrček domácí (*Acheta domestica*) byl sensoricky testován celý a také ve formě cvrččí mouky. Cvrčci byli zakoupeni v prodejně s chovatelskými potřebami Krmiva Hostivice a následně vylačnění po dobu 48 hodin. Dále byl hmyz usmrcen vroucí vodou (100 °C) a sušen při 200 °C po dobu 10 minut. Vzorky byly uzavřeny do Petriho misek a předloženy respondentům k sensorickému hodnocení.

Vzorek cvrččí mouky byl použit v energetických tyčinkách, které byly vyrobeny společností SENS Foods CZ s.r.o., Praha, která cvrččí mouku dováží z Thajska. Respondentům byly předloženy dva druhy tyčinek. Vzorek A obsahoval datle, cvrččí mouku, ananas, kešu, kokos, psyllium a citronovou kůru. Vzorek B obsahoval datle, cvrččí mouku, 100% čokoládu, kakaový prášek, kešu, psyllium a pomerančovou kůru. Tyčinky byly nakrájeny na kostičky, napíchnuty pro lepší konzumaci na párátko a předloženy respondentům k hodnocení.

4.2.2 Metody šetření

Vzorky byly podrobeny sensorické analýze a vyhodnoceny na základě dotazníkového šetření. U vzorků druhů potěmník moučný (*Tenebrio molitor*) a potěmník brazilský (*Zophobas morio*) bylo šetření provedeno v první části práce a zaměřeno na chuť vzorků. Šetření bylo provedeno v listopadu 2015 na konferenci Mladí vedci - Bezpečnost potravinového řetězce, Nitra (šetření č. 1) a v říjnu 2016 při příležitosti 5. Ročníku Life Sciences Film Festivalu v Praze (šetření č. 2). Krátké formuláře byly určeny hlavně pro laickou veřejnost (příloha č. 1 a č. 2). Před degustacemi obdrželi účastníci formulář a byli požádáni, aby ho samostatně vyplnili a odevzdali po degustaci. Formulář obsahoval hlavně otázky ohledně věku a pohlaví respondenta a otázky týkající se chuti. V případě šetření č. 1 degustovalo vzorek 32 respondentů a v případě šetření č. 2 se účastnilo 25 lidí.

Tyčinky s přídavkem cvrččí mouky byly testovány v druhé části pomocí dotazníkového šetření č. 3 (dotazník uveden v příloze č. 3). Šetření bylo provedeno při příležitosti 21. Odborného semináře s mezinárodní účastí, který pořádala katedra Kvality zemědělských produktů na České zemědělské univerzitě v září 2016. Z celkového počtu respondentů (42 účastníků) bylo 59 % žen (25) a 40 % mužů (17). Účastníkům semináře byly předloženy vzorky tyčinek a formuláře k hodnocení chuti. Dále byli respondenti požádáni o degustaci a ohodnocení přijemnosti vzorků od 1 (výborná chuť) do 5 (nepříjemná chuť). Úkol byl vyhodnocen párovým t-testem pro analýzu rozdílů mezi průměry při hodnocení vzorku A a vzorku B. Závislost mezi pohlavím a hodnocením vzorků byla vyhodnocena pomocí χ^2 testu (χ^2 – chí kvadrát), který byl použit i pro zjištění rozdílů preferencí u obou pohlaví. Pro

tento test byla upravena tabulka, kde podle jednotlivého hodnocení každého respondenta byla určena preference: A = hodnotitel zaškrtl lepší hodnocení u vzorku A, B = hodnotitel zaškrtl lepší hodnocení u vzorku B, O = hodnotitel zaškrtl stejné hodnocení u obou vzorků. Nakonec byla hodnocena závislost hodnocení na věku respondentů pro oba vzorky odděleně. Pro hodnocení byla využita jednoduchá nelineární regrese. Nezávislou proměnnou byl v této analýze věk a závislou proměnnou bylo hodnocení vzorku A a vzorku B.

Vzorky celého pečeného cvrčka domácího (*Acheta domestica*) byly sensoricky hodnoceny šetřením č. 4 v poslední části. Celkem se šetření zúčastnilo 98 osob z České republiky s věkem od 18 do 45 let, z nichž bylo 81,6 % žen a 18,4 % mužů.

V šetření byla hodnocena nejen přijatelnost konzumace jedlého hmyzu respondentem, ale i změna psychologického postoje k jedlému hmyzu před první degustací a po ní (dotazník uveden v příloze č. 4). Dotazník obsahoval otázky o pohlaví, věkové kategorii, znalosti entomofágie, zájmu o konzumaci hmyzu, negativních pocitech vůči požívání a alergii na chitin. Respondenti měli za úkol hodnotit vzorek nejprve vizuálně a následně do předloženého dotazníku vyplnit příjemnost/přijatelnost vzorku. Po vizuálním hodnocení následovalo hodnocení celkové příjemnosti vzorku, při kterém respondenti, kteří měli zájem, vzorek ochutnali, a opět zhodnotili příjemnost/přijatelnost vzorku od odporné po vynikající. Statisticky významný rozdíl mezi hodnocením vzorku před degustací a po degustaci byl hodnocen pomocí t-testu. V návaznosti na předchozí hodnocení měli respondenti odpovědět na otázky zaměřené na ochotu jíst hmyz i v budoucnosti a jeho domácí kulinářské přípravy.

4.3 Stanovení mikrobiologických parametrů

Mikrobiologické parametry v níže uvedených vzorcích byly stanoveny na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně.

4.3.1 Materiál

Vzorky hmyzu pro stanovení mikrobiologických parametrů byly získány ve spolupráci s Mendelovou univerzitou, Brno. Byly měřeny uvedené přírodovědné druhy:

1. Potemník moučný (*Tenebrio molitor*) – larvy, rok chovu 2015
2. Potemník moučný (*Tenebrio molitor*) – larvy, rok chovu 2016
3. Potemník stájový (*Alphitobius diaperinus*) – larvy, rok chovu 2016
4. Cvrček stepní (*Gryllus assimilis*) - nymfy, rok chovu 2016
5. Cvrček stepní (*Gryllus assimilis*) – dospělec, rok chovu 2014
6. Saranče stepní (*Locusta migratoria*) – dospělec, rok chovu 2015

Jednotlivé vzorky byly usušeny u 103 °C po dobu 12 hodin s následnou homogenizací a uskladněním při pokojové teplotě do doby analýzy (leden 2017).

4.3.2 Metodika

4.3.2.1 Složení jednotlivých živných půd a příprava ředícího roztoku

Ke stanovení jednotlivých mikrobiologických parametrů byly využity různé typy živných půd. Pro stanovení celkového počtu mezofilních mikroorganismů byla v práci využita živná půda PCA (Plate Count Agar) firmy Hi Media Laboratories Pvt. Ltd., Indie. Dehydratovaná půda o hmotnosti 20,5 g byla rozpuštěna v 1000 ml destilované vody. Připravená živná půda byla následně promíchána a sterilizována postupem uvedeným níže.

Stanovení počtu koliformních bakterií bylo provedeno pomocí živné půdy VRBA (Violet Red Bile Agar) vyrobené firmou Hi Media Laboratories Pvt. Ltd., Indie. 38,5 g dehydratované půdy bylo rozpuštěno v 1000 ml destilované vody. Půda byla následně promíchána a sterilizována.

Ke stanovení počtu mléčných bakterií (především rodu *Lactobacillus*) byla použita živná půda MRS Agar (De Man Rogosa Sharpe Agar) společnosti Oxoid Ltd., Velká Británie. Podle návodu bylo rozpuštěno 55,15 g dehydratované půdy a 15 g agaru v 1000 ml destilované vody. Připravená živná půda byla následně promíchána a sterilizována.

Poslední živnou půdou byla půda CHYGA (Chloramfenicol Yeast Glucose Agar) společnosti Oxoid Ltd., Velká Británie, která byla využita ke stanovení kvasinek a plísní. 40 g této dehydratované půdy bylo rozpuštěno v 1000 ml destilované vody. Půda byla následně promíchána a sterilizována.

Sterilizace všech živných půd proběhla v autoklávu při 121 °C po dobu 20 minut. Po ochlazení byly sterilní živné půdy rozlity do sterilních Petriho misek a po ztuhnutí uchovány v lednici dnem vzhůru.

Pro přípravu 1000 ml ředícího roztoku PPS (Physiological Peptone Solution) byl použit 1 g peptonu (Hi Media Laboratories Pvt. Ltd., Indie) a 8,5 g NaCl (PENTA, Ing. Petr Švarc, Česká republika). Navážené složky se rozpustily v 1000 ml destilované vody a roztok se nechal sterilizovat v autoklávu při 121 °C po dobu 20 minut.

4.3.2.2 Zpracování vzorků

U jednotlivých vzorků byla provedena navážka, která byla různá podle velikosti a váhy jednotlivých kusů hmyzu. Následně byla provedena homogenizace, kdy do homogenizačního sáčku byl vložen navážený hmyz a 50 ml roztoku PPS. Dále proběhla vlastní homogenizace

po dobu 2 minut na homogenizátoru Stomacher (Seward, Velká Británie) a desítkové ředění roztokem PPS, kde homogenizovaný sáček představoval ředění 10^0 a rozsah ředění byl proveden do ředění 10^{-5} . Z každého ředění se provedlo očkování roztěrem, ve kterém se na příslušnou půdu odpipetovalo 0,1 ml inokula.

4.3.2.3 Stanovení celkového počtu mikroorganismů

Celkový počet mezofilních mikroorganismů (CPM) ve vzorku jedlého hmyzu byl stanoven pomocí živné půdy PCA (Plate Count Agar). Misky byly kultivovány po dobu 48 hodin při teplotě 30 °C aerobně dnem vzhůru v termostatech.

4.3.2.4 Stanovení koliformních bakterií

Pomocí živné půdy VRBA (Violet Red Bile Agar) byly stanoveny koliformní bakterie. Tato živná půda zabraňuje z důvodu svého složení nárůstu jiných skupin mikroorganismů, než je čeleď Enterobacteriaceae. Misky byly kultivovány v termostatu dnem vzhůru aerobně po dobu 24 hodin při teplotě 37 °C.

4.3.2.5 Stanovení mléčných bakterií

Pomocí živné půdy MRS agar (De Man Rogosa Sharpe Agar) byly stanoveny mléčné bakterie. Naočkované misky se kultivovaly po dobu 48 hodin dnem vzhůru v termostatu s 10 % CO₂ při teplotě 37 °C.

4.3.2.6 Stanovení kvasinek a plísní

Přítomnost kvasinek a plísní byla zjišťována pomocí živné půdy CHYGA (Chloramfenicol Yeast Glucose Agar). Živná půda obsahovala chloramfenikol, jenž je inhibiční látkou proti bakteriím. Naočkované misky byly při teplotě 25 °C po dobu 5 dní kultivované dnem vzhůru.

4.3.2.7 Vyjádření výsledků

Kolonie tvořící jednotky, které na Petriho miskách vyrostly, byly po uplynutí kultivační doby na živných půdách spočítány. Pro výpočet byly použity následující vzorce (Suchánková, 2016):

$$N = \frac{\frac{\sum c}{n} \times V_2}{V_1 \times d \times m} \quad (6)$$

$$N = \frac{\frac{\sum c}{n} \times V_2}{V_1 \times d \times Ks} \quad (7)$$

- kde: N - počet mikroorganismů [CFU/ml; CFU/g],
 $\sum c$ - počet jednotek tvořících kolonie (příslušné skupiny mikroorganismů) na všech plotnách použitých pro výpočet,
d - ředící faktor odpovídající ředění pro výpočet,
V₁ - objem inokula (pipetovaného vzorku (suspenze)) očkovaného na každou plotnu [ml],
V₂ - objem roztoku PPS použitého k homogenizaci vzorku [ml],
n - počet misek použitých pro výpočet,
m - navážka vzorku [g],
ks - počet kusů hmyzu použitého k mikrobiologickému rozboru.

Pro nejnižší použité ředění

$$N < \frac{1 \times V_2}{V_1 \times d_n \times m} \quad (8)$$

$$N < \frac{1 \times V_2}{V_1 \times d_n \times ks} \quad (9)$$

kde: d - ředící faktor odpovídající nejnižšímu použitému ředění pro výpočet.

4.4 Stanovení charakteristik materiálu při skladování

4.4.1 Stanovení peroxidového čísla

4.4.1.1 Použitý materiál

Pro stanovení peroxidového čísla byly použity sušené vzorky analyzovaných druhů potěmník moučný (*Tenebrio molitor*) a potěmník brazilský (*Zophobas morio*). Z chemikálií byl pro stanovení peroxidového čísla použit chloroform p. a., (Lach-Ner s.r.o, Neratovice), kyselina octová p. a., (PENTA, Ing. Petr Švarc, Česká republika), jodid draselný p. a., (Lachema, Brno) – čerstvý nasycený roztok, thiosíran sodný (Lach-Ner s.r.o, Neratovice) c(Na₂S₂O₃) = 0,001 mol/l (připravený titrační roztok) a čerstvě připravený škrobový roztok (10 g/l) připravený z přírodního rozpustného škrobu p. a. (PENTA, Ing. Petr Švarc, Česká republika).

4.4.1.2 Metodika měření

Do baňky se zábrusem bylo naváženo 5 g vzorku. Vzorek byl rychle rozpuštěn v 10 ml chloroformu zamícháním. Následně se přidalo 10 ml kyseliny octové a 1 ml jodidu draselného. Baňka se ihned uzavřela zátkou a 1 minutu se míchala. Dále se nechala stát přesně 5 minut ve tmě při teplotě 15 až 25 °C. Po přidání přibližně 70 ml destilované vody se baňkou se prudce zamíchalo a po přidavku škrobového roztoku jako indikátoru se titrovalo thiosíranem sodným. Mimo vlastního měření bylo nutné provést také slepý pokus (ČSN ISO 3960 (58 8765); Poustková et al., 2010).

Výpočet peroxidového čísla (PČ) vyjádřeného v mmol/l aktivního kyslíku ($1/2 O_2$) na kilogram se vypočítal podle vzorce:

$$P\check{C} = \frac{(V_1 - V_0)}{m} c \quad (10)$$

kde: V_1 - spotřeba odměrného roztoku $Na_2S_2O_3$ ($c = 0,001$ mol/l) na vlastní stanovení v ml,

V_0 - spotřeba odměrného roztoku $Na_2S_2O_3$ ($c = 0,001$ mol/l) na slepý pokus v ml,

c - koncentrace odměrného roztoku $Na_2S_2O_3$ v mmol/l,

m - navážka zkušební vzorku v g.

Při přepočtu na miliekvivalenty bylo číslo vynásobeno přepočítávacím faktorem 2 a při převodu na μg bylo vynásobeno přepočítávacím faktorem 16.

4.4.2 Stanovení thiobarbiturového čísla

4.4.2.1 Použitý materiál

Pro stanovení thiobarbiturového čísla byly použity následující vzorky analyzovaného hmyzu:

- cvrček stepní (*Gryllus assimillis*) – vzorky skladovány od února a června 2014;
- potěmník moučný (*Tenebrio molitor*) - vzorky skladovány od srpna 2013;
- potěmník brazilský (*Zophobas morio*) - vzorky skladovány od října 2012;
- saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*) - vzorky skladovány od května 2013 a dubna 2014.

Z chemikálií byl pro stanovení thiobarbiturového čísla použita kyselina chlorovodíková p. a. (Lachema s. p., Brno) zředěné destilovanou vodou v poměru 1:2, chlorid sodný p. a., (PENTA, Ing. Petr Švarc, Česká republika) a $0,02$ mol.l⁻¹ kyselina thiobarbiturová

(PENTA, Ing. Petr Švarc, Česká republika) v 90% kyselině octové (PENTA, Ing. Petr Švarc, Česká republika).

4.4.2.2 Metodika měření

K stanovení hodnot thiobarbiturového čísla byl použitý homogenizovaný vzorek o hmotnosti 2 g vzorku jedlého hmyzu. Do destilační baňky byla přidána destilovaná voda o objemu 97,5 ml, dále 2,5 ml kyseliny chlorovodíkové zředěné destilovanou vodou v poměru 1:2 a několik gramů chloridu sodného, který zabraňoval pění vzorku. Následně byla provedena destilace vodní parou do okamžiku získání 50 ml destilátu. V další fázi byl destilát promíchán a bylo odpipetováno 5 ml destilátu do zábrusové zkumavky. Do této zkumavky bylo přidáno 5 ml 0,02M kyseliny thiobarbiturové v 90% kyselině octové. Následně byly zkumavky uzavřeny zátkou, pečlivě obaleny hliníkovou folií a vloženy do kádinky s vodou, kde se zahřívaly po dobu 35 minut od začátku varu. Zkumavky byly ochlazeny ve studené vodní lázni po dobu 10 minut. Takto připravený vzorek byl vložen do kyvety a byla u něho změřena absorbance při vlnové délce 538 nm spektrofotometrem UV-2900. Hodnota thiobarbiturového čísla byla vypočtena z následujícího vztahu (Buchtová, 2014):

$$c_{MA} = 78 * A * b^{-1} * n^{-1} \quad (11)$$

kde: c_{MA} - je obsah malondialdehydu ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$),

A - je absorbance,

b - je tloušťka kyvety (10 mm),

n - je přesná navážka vzorku (g).

4.5 Statistická analýza

Data byla obecně analyzována pomocí softwaru Excel 2013 (Microsoft Corporation, USA) a Statistica v. 12 (StatSoft, Inc., USA). Výsledky byly vyjádřeny základními charakteristikami souboru - průměr a směrodatná odchylka. Variabilita v datech byla analyzována neprametrickou analýzou rozptylu dle Kruskal-Wallise.

U senzorické analýzy potměníka moučného a potměníka brazilského byly odpovědi respondentů převedeny do tabulky a po zapsání četností byly jednotlivé otázky procentuálně vyhodnoceny pomocí výše uvedeného tabulkového procesoru. Vyhodnocení šetření chuťových vlastností energetických tyčinek s cvrččí moukou bylo provedeno pomocí dvouvýběrového párového t-testu. Dále byla zkoumána závislost mezi pohlavím

a hodnocením každého vzorku pomocí χ^2 (chí-kvadrát) testu a vzájemná závislost mezi vzorkem a věkem pomocí jednoduché nelineární regrese. Dotazníky z šetření přijatelnosti celého pečeného cvrčka domácího byly vyhodnoceny t-testem pro závislé vzorky, kde byl zkoumán statisticky významný rozdíl mezi hodnocením před ochutnáním a po ochutnání. Dále byly provedeny statistické testy pomocí metody jednofaktorová ANOVA, kterou byly zjišťovány statistické rozdíly mezi hodnocením před a po ochutnání a pohlavím. Zvolené hladiny průkaznosti byly $\alpha = 0,05$ a $\alpha = 0,01$.

5 VÝSLEDKY A DISKUSE

5.1 Optimalizace chovných podmínek hmyzu pro získání specifických nutričních vlastností

5.1.1 Výsledky nutričních parametrů hmyzu

Při stanovení optimálních chovných podmínek (hypotéza H1) byla v první fázi práce využita možnost porovnat chovné podmínky mezi farmovými chovy v ČR a na Sumatře. Obsah sušiny, dusíkatých látek, tuků a chitinu u analyzovaných druhů hmyzu z farmových chovů ze Sumatry a z ČR je ukázán v tab. 5.1.

Tab. 5.1: Obsah sušiny na 100 g čerstvého materiálu a dusíkatých látek, tuků a chitinu na 100 g sušiny u analyzovaných druhů hmyzu ze Sumatry a z ČR.

Druh	Původ	Dusíkaté			
		Sušina g/100 g	látky g/100 g	Tuk g/100 g	Chitin g/100 g
<i>Tenebrio molitor</i> (larva)	Sumatra	---	51,9 ± 0,4	31,3 ± 1,1	11,5 ± 0,2
<i>Tenebrio molitor</i> (larva)	ČR	32,6 ± 0,7	62,6 ± 0,4	16,7 ± 0,1	---
<i>Tenebrio molitor</i> (kukla)	Sumatra	---	51,2 ± 1,0	32,2 ± 0,5	13,0 ± 0,4
<i>Zophobas morio</i> (larva)	Sumatra	---	46,5 ± 1,0	34,7 ± 0,1	5,6 ± 0,8
<i>Zophobas morio</i> (larva)	ČR	47,9 ± 0,6	39,4 ± 0,1	39,1 ± 0,4	---
<i>Gryllus assimilis</i> (nymfa)	Sumatra	---	56,3 ± 3,1	32,3 ± 0,2	7 ± 0,7
<i>Gryllus assimilis</i> (nymfa)	ČR	22,6 ± 1,0	55,6 ± 1,1	11,9 ± 0,5	---
<i>Alphitobius diaperinus</i> (larva)	ČR	---	59,8 ± 0,5	28,8 ± 0,3	---

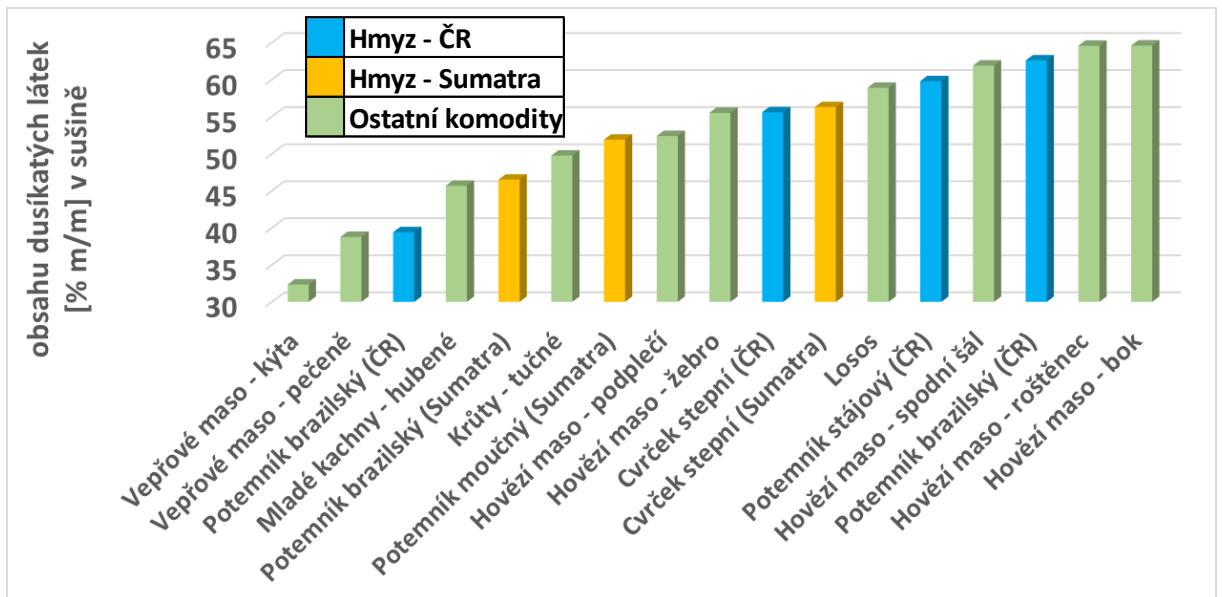
Vzorky jedlého hmyzu byly k měření dodány v sušeném i nativním stavu. Vzorky ze Sumatry a vzorky potměníka stájového byly dodány již v sušeném stavu, a nebylo proto možné určit obsah sušiny. U ostatních vzorků byl stanoven obsah sušiny, který byl naměřen v rozsahu od 22,6 % do 47,9 %. Tato hodnota je v souladu s dostupnou literaturou (Finke, 2004; Bednářová et al., 2013; Broekhoven et al., 2015), která uvádí obecně sušinu až od 15 % do 50 % v rozmezí. Naměřené hodnoty sušiny pro konkrétní druhy se od ostatních autorů mírně liší. Autoři však uvádějí, že odchylky jsou závislé na přesné vývojové fázi. Porovnání výsledků mezi dostupnými farmovými chovy je provedeno v kapitole „Vliv chovných podmínek“.

Porovnání obsahu dusíkatých látek v jedlém hmyzu chovaném v ČR a Sumatře s konvenčními zdroji masa je uvedeno v graf 5.1. Z tohoto grafu je zřejmé, že hodnoty potměníka moučného a potměníka stájového jsou srovnatelné například s hovězím roštěncem

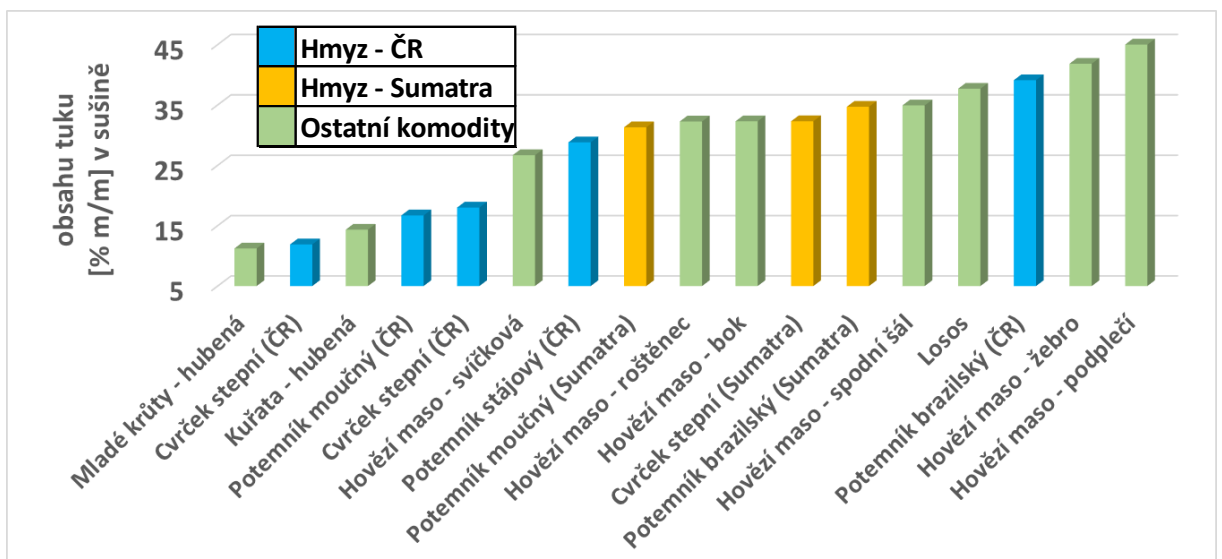
(64 %) a hovězím bokem (64 %), (Pipek, 1995; Steinhauser, 1995). Obsah bílkovin u potměníka brazilského je možné srovnat např. s vepřovou pečení (39 %) nebo se skopovým masem (41 %) (Pipek, 1995; Steinhauser, 1995). Porovnání obsahu tuku v jedlém hmyzu s konvenčními druhy masa je zdokumentováno v

graf 5.2. Obsahy tuku u potměníka brazilského a stájového jsou srovnatelné s masem úhoře (30 %), vepřovou kýtou (32 %) nebo masem z tučných mladých hus (36 %) (Pipek, 1995; Steinhauser, 1995)

Graf 5.1: Porovnání obsahu dusíkatých látek v jedlém hmyzu s konvenčními druhy masa (zdroje: Pipek, 1995; Steinhauser, 1995).



Graf 5.2: Porovnání obsahu tuku v jedlém hmyzu s konvenčními druhy masa (zdroje: Pipek, 1995; Steinhauser, 1995).



U vzorků ze Sumatry i z ČR byl dále stanoven obsah vybraných sterolů, který je uveden v tab. 5.2.

Tab. 5.2: Obsah sterolů u jednotlivých analyzovaných druhů hmyzu v mg/kg tuku.

Druh	Původ	Steroly			
		Cholesterol mg/kg	Kampesterol mg/kg	Stigmasterol mg/kg	β-sitosterol mg/kg
<i>Tenebrio molitor</i> (larva)	Sumatra	669,4 ± 34,7	350,5 ± 56,0	71,9 ± 2,5	244,7 ± 12,0
<i>Zophobas morio</i> (larva)	Sumatra	1784,1 ± 30,4	227,6 ± 19,9	79,3 ± 9,4	344,1 ± 35,8
<i>Zophobas morio</i> (larva)	ČR	1594,9 ± 164,1	169,2 ± 8,45	nedetekováno	260,2 ± 12,3

Obsah jednotlivých druhů sterolů v materiálu z jedlého hmyzu potměníka moučného (*Tenebrio molitor*) a potměníka brazilského (*Zophobas morio*) chovaných ve farmových chovech České republiky, které jsou živěné ad libitum běžným krmivem, zatím není z dostupné literatury dostatečně znám (Sabolová, 2016) a doposud tato problematika nebyla hlouběji zkoumána.

U potměníka brazilského (*Zophobas morio*) byly hodnoty naměřené v této práci vyšší než stanovila u stejného druhu Ramos-Bueno (2016), která naměřila 248 mg/kg sušiny. Rozdílné hodnoty mohou být způsobeny výživou, protože si cholesterol nevytváří de novo, ale příjem je závislý na složení a množství výživy. Obdobně příčiny mohou ovlivňovat množství cholesterolu i u druhu potměník moučný (*Tenebrio molitor*), u kterého Ramos-Bueno (2016) stanovila množství cholesterolu 826 mg/kg sušiny. Tyto hodnoty jsou opět vyšší, než byly stanoveny v této práci.

Při srovnání obsahu cholesterolu u potměníka moučného (*Tenebrio molitor*) v této práci s jinými komoditami živočišného původu jsou tyto hodnoty srovnatelné s telecím masem (až 650-700 mg/kg) a vepřovým masem (až 600-760 mg/kg). Druh potměník brazilský (*Zophobas morio*) je srovnatelný s majonézou (1100 mg/kg). Uvedené druhy hmyzu mají nižší obsah cholesterolu než např. máslo (2400 mg/kg) (Velíšek, 2002).

Z nutričního hlediska je velmi důležitá také struktura lipidů a zastoupení jednotlivých mastných kyselin, jak upozorňuje WHO (Zielinská et al., 2015; Paul et al., 2016). Zejména linolová a α-linolenová kyselina jsou významné pro zdravý vývoj dětí a dospívajících, protože jsou pro lidský organizmus esenciální. Lidský organizmus si je nedokáže syntetizovat a musí být přijímány ze stravy (Zielinská et al., 2015). Jedna z možností, jak tyto esenciální látky získat, je doplnění stravy člověka o konzumaci vybraného vhodného druhu jedlého hmyzu. Tab. 5.3, tab. 5.4 a tab. 5.5 ukazují profil mastných kyselin u analyzovaných vzorků

v porovnání s hodnotami jiných autorů. Rozdíly v profilu mastných kyselin (v %) u potměníka moučného (*Tenebrio molitor*) jsou např. v obsahu olejové kyseliny, která byla naměřena v této práci téměř o 7 % nižší, než zjistil Ravzanaadii et al. (2012) a více než 13 % než zjistil Tzompa-Sosa et al. (2014). Ten také uvádí nižší procentuální zastoupení kyseliny linolové – až o 8 % než je uvedeno v této práci.

U potměníka brazilského (*Zophobas morio*) jsou rozdíly v profilu mastných kyselin (v %) hlavně u vzorků původem ze Sumatry a z ČR zkoumaných v této práci např. u olejové kyseliny byl rozdíl téměř 13 % a u linolové kyseliny až 8 %. Vzorek původem z ČR byl svými hodnotami podobný výsledkům, které stanovil Barroso et al. (2014). V případě potměníka stájového (*Alphitobius diaperinus*) byly u vzorků z ČR stanoveny nižší obsahy u nenasycených mastných kyselin (např. olejové a linolové), než stanovili ostatní autoři, avšak byly stanoveny vyšší obsahy u některých nasycených mastných kyselin, např. palmitové nebo stearové kyseliny. Rozdíly mezi výše uvedenými nutričními hodnotami stanovenými v této práci a jinými zdroji mohou být způsobeny různými faktory, jako jsou například složení krmné dávky pro hmyz, vývojové stádium druhu, pohlaví a další životní podmínky.

Z důvodu zaměření této práce na konzumaci jedlého hmyzu s ohledem na zdraví člověka byl vypočítán aterogenní index u analyzovaných druhů v této práci porovnán s dalšími autory. Výsledky jsou prezentovány v tab. 5.6 a tab. 5.7. Z uvedených dat byl vypočítán aterogenní index. U aterogenního indexu vypočítaného z profilů mastných kyselin stanovených v této práci byl shledán soulad s dostupnou literaturou. Při mezidruhovém porovnání má potměník moučný (*Tenebrio molitor*) nejnižší aterogenní index jak pro larvu, tak i pro dospělce. Nejnižší aterogenní index 0,3 byl stanoven u larev autory Barroso et al. (2014) a Sánchez-Muros et al. (2016), který byl nejnižší v celé této práci. Naopak nejvyšší aterogenní index 0,7 byl stanoven u potměníka brazilského (*Zophobas morio*). Z uvedených dat vyplývá, že z pohledu dopadu na zdraví člověka je výhodnější potměník moučný.

Při porovnání aterogenního indexu jsou výsledné hodnoty u hmyzu srovnatelné s ostatními živočišnými komoditami. Stajíc et al. (2011) uvádí u hovězího masa 0,7, drůbežího masa 0,5 a vepřového masa 0,6, Camacho et al. (2016) vypočítal index v rozsahu 0,6–1,0 u skopového masa. Vypočítaný aterogenní index u potměníka moučného se svou hodnotou přibližuje i olivovému oleji. Z tohoto důvodu je možné jedlý hmyz doporučit do jídelníčku člověka bez rizika, které je vyjádřeno aterogenním indexem.

Tab. 5.3: Profil mastných kyselin (% z celkového obsahu sledovaných mastných kyselin) u potměníka moučného (*Tenebrio molitor*) v porovnání s hodnotami jiných autorů.

Mastné kyseliny	Larva				Dospělec				Larva				Dospělec			
	Larva	Larva	Kukla	Dospělec	Larva	Dospělec	Larva	Dospělec	Larva	Larva	Neuvedeno	Larva	Larva	Neuvedeno	Larva	
Původ	ČR	Sumatra	Sumatra	ČR	Marion, IL	Marion, IL	Suwon	Suwon	Spain	Spain	Netherlands	Warsaw				
C12:0	0,2	0,3	0,2	0,0	ND	ND	ND	ND	ND	0,0	0,2	0,2				
C14:0	3,5	2,6	2,5	1,7	2,3	1,8	3,1	1,8	2,2	2,2	3,2	2,6				
C16:0	18,6	21,6	22,6	19,0	18,5	18,9	16,7	18,7	16,7	16,7	18,8	18,1				
C17:0	0,3	0,3	0,2	0,3	ND	0,4	ND	ND	ND	0,0	0,0	0,2				
C18:0	6,7	4,3	4,8	6,3	3,2	5,8	2,5	6,2	3,4	3,4	2,5	3,9				
C20:0	0,3	0,6	0,7	0,9	0,2	0,4	0,2	0,5	ND	ND	0,0	0,2				
Suma SFA	29,7	29,7	31,1	28,2	24,3	27,4	22,5	27,1	22,3	22,3	24,6	25,2				
C16:1 (cis-9)	1,4	0,4	0,2	1,5	2,8	1,3	2,7	2,2	2,2	2,2	2,1	2,1				
C18:1 (cis-9)	36,9	37,7	36,3	38,5	43,6	39,9	43,2	36,7	43,8	43,8	50,2	41,2				
Suma MUFA	38,4	38,1	36,6	40,0	46,4	41,2	45,8	38,9	46,0	46,0	52,4	43,3				
C18:2 (cis-9,12)	30,9	31,9	31,9	31,2	28,2	30,5	30,2	32,5	30,5	30,6	22,1	29,9				
C18:3 (cis-9,12,15)	1,1	0,3	0,5	0,6	1,1	0,9	1,4	0,7	1,1	1,1	0,9	1,6				
Suma PUFA	32,0	32,2	32,3	31,8	29,3	31,4	31,6	33,2	31,6	31,7	23,0	31,5				
Suma n-3	1,1	0,3	0,5	0,6	1,1	0,9	1,4	0,7	1,1	1,1	0,9	1,6				
Suma n-6	30,9	31,9	31,9	31,2	28,2	30,5	30,2	32,5	30,5	30,6	22,1	29,9				
Suma n-9	36,9	37,7	36,3	38,5	43,6	39,9	43,2	36,7	43,8	43,8	50,2	41,2				
Zdroj dat					Finke (2002)	Finke (2002)	Ravzanaadij et al. (2012)	Ravzanaadij et al. (2012)	Sánchez-Muros et al. (2016)	Barroso et al. (2014)	Tzompa-Sosa et al. (2014)	Zielínska et al. (2015)				

Pozn. ND – hodnota je pod mezí detekce nebo ji autoři neuvádí.

Tab. 5.4: Profil mastných kyselin (% z celkového obsahu sledovaných mastných kyselin) u potměníka brazilského (*Zophobas morio*) a potměníka stájového (*Alphitobius diaperinus*) v porovnání s hodnotami jiných autorů.

Mastné kyseliny	Zophobas morio					Alphitobius diaperinus		
	Larva	Larva	Larva	Larva	Larva	Larva	Larva	Larva
	Sumatra	ČR	Brno	Marion, IL	Spain	ČR	Netherlands	Netherlands
Původ								
C12:0	0,7	0,1	0,0	ND	0,0	0,1	0,0	ND
C14:0	2,4	1,3	0,6	1,0	1,1	1,4	0,7	0,6
C16:0	29,1	32,3	32,2	31,3	30,6	27,0	25,6	25,9
C17:0	0,2	0,9	0,1	0,4	0,0	0,7	0,4	ND
C18:0	6,4	8,2	7,7	7,5	7,7	11,2	8,7	9,9
C20:0	0,1	0,3	2,4	0,2	ND	0,6	0,4	0,5
Suma SFA	39,1	43,0	43,1	40,4	39,5	41,0	35,8	36,9
C16:1 (cis-9)	1,2	0,6	1,2	0,4	1,0	1,1	0,2	ND
C18:1 (cis-9)	45,0	32,4	35,9	39,1	35,2	36,7	39,2	38,8
Suma MUFA	46,2	33,0	37,1	39,5	36,2	37,9	39,4	38,8
C18:2 (cis-9,12)	14,4	23,4	19,8	19,5	22,9	20,7	23,7	23,6
C18:3 (cis-9,12,15)	0,3	0,6	0,0	0,7	1,4	0,4	1,2	0,7
Suma PUFA	14,8	24,0	19,8	20,1	24,3	21,1	24,8	24,3
Suma n-3	0,3	0,6	0,0	0,7	1,4	0,4	1,2	0,7
Suma n-6	14,4	23,4	19,8	19,5	22,9	20,7	23,7	23,6
Suma n-9	45,0	32,4	35,9	39,1	35,2	36,7	39,2	38,8
Zdroj dat			Bednářová et al., (2013)	Finke (2002)	Barroso et al. (2014)		Tzompa-Sosa et al. (2014)	Broekhoven et al. (2015)

Pozn. ND – hodnota je pod mezí detekce nebo ji autoři neuvádí.

Tab. 5.5: Profil mastných kyselin (% z celkového obsahu sledovaných mastných kyselin) u cvrčka stepního (*Gryllus assimilis*) a cvrčka domácího (*Acheta domesticus*) v porovnání s hodnotami jiných autorů.

Mastné kyseliny	Gryllus assimilis			Acheta domesticus			
	Nymfa	Nymfa	Dospělec	Dospělec	Nymfa	Nymfa	Dospělec
Původ	Sumatra	ČR	Spain	Marion, IL	Marion, IL	Netherlands	Spain
C12:0	2,7	0,1	0,0	ND	ND	0,3	0,0
C14:0	0,7	1,3	0,4	0,6	0,7	1,9	0,5
C16:0	22,0	26,6	27,0	25,1	22,0	27,0	25,2
C17:0	1,2	0,6	0,0	0,3	0,4	0,2	0,0
C18:0	8,2	14,5	7,4	9,3	10,5	6,3	8,9
C20:0	1,3	0,6	ND	0,6	1,1	0,0	ND
Suma SFA	36,1	43,7	34,8	36,0	34,7	35,7	34,7
C16:1 (cis-9)	1,3	2,0	1,7	1,4	1,1	2,2	0,9
C18:1 (cis-9)	25,5	25,8	26,4	24,8	23,1	30,3	20,7
Suma MUFA	26,8	27,7	28,1	26,2	24,2	32,4	21,6
C18:2 (cis-9,12)	35,7	26,9	35,2	36,8	39,7	30,2	41,9
C18:3 (cis-9,12,15)	1,3	1,6	1,8	1,0	1,4	1,6	1,8
Suma PUFA	37,0	28,5	37,1	37,8	41,2	31,9	43,8
Suma n-3	1,3	1,6	1,8	1,0	1,4	1,6	1,8
Suma n-6	35,7	26,9	35,2	36,8	39,7	30,2	41,9
Suma n-9	25,5	25,8	26,4	24,8	23,1	30,3	20,7
Zdroj dat			Barroso et al. (2014)	Finke (2002)	Finke (2002)	Tzompa-Sosa et al. (2014)	Barroso et al. (2014)

Pozn. ND – hodnota je pod mezí detekce nebo ji autoři neuvádí.

Tab. 5.6: Aterogenní index u vzorků potměníka moučného (*Tenebrio molitor*) a jeho porovnání s ostatními autory

Mastné kyseliny	Larva	Larva	Kukla	Dospělec	Larva	Dospělec	Larva	Dospělec	Larva	Larva	Neuveдено	Larva
	ČR	Sumatra	Sumatra	ČR	Marion, IL	Marion, IL	Suwon	Suwon	Spain	Spain	Netherlands	Warsaw
C12:0	0,2	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
C14:0	3,5	2,6	2,5	1,7	2,3	1,8	3,1	1,8	2,2	2,2	3,2	2,6
C16:0	18,6	21,6	22,6	19,0	18,5	18,9	16,7	18,7	16,7	16,7	18,8	18,1
C18:0	6,7	4,3	4,8	6,3	3,2	5,8	2,5	6,2	3,4	3,4	2,5	3,9
Suma MUFA	38,4	38,1	36,6	40,0	46,4	41,2	45,8	38,9	46,0	46,0	52,4	43,3
Suma n-3	1,1	0,3	0,5	0,6	1,1	0,9	1,4	0,7	1,1	1,1	0,9	1,6
Suma n-6	30,9	31,9	31,9	31,2	28,2	30,5	30,2	32,5	30,5	30,6	22,1	29,9
n-6/n-3	27,7	110	68,9	52,0	24,9	34,3	22,2	43,9	27,6	27,6	26,0	18,4
AI	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4
TI	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,7	0,5	0,7	0,5	0,5	0,6	0,6
Zdroj dat					Finke, 2002	Finke, 2002	Ravzanaadii et al., 2012	Ravzanaadii et al., 2012	Sánchez-Muros, 2016	Barroso, 2014	Tzompa-Sosa, 2014	Zielińska, 2015

Tab. 5.7: Aterogenní index u vzorků potměníka brazilského (*Zophobas morio*), potměníka stájového (*Alphitobius diaperinus*), cvrčka stepního (*Gryllus assimilis*) a cvrčka stepního (*Acheta domestica*) ve srovnání s ostatními autory.

	<i>Zophobas morio</i>				<i>Alphitobius diaperinus</i>			<i>Gryllus assimilis</i>			<i>Acheta domestica</i>			
	Larva	Larva	Larva	Larva	Larva	Larva	Larva	Nymfa	Nymfa	Dospělec	Dospělec	Nymfa	Nymfa	Dospělec
Mastné kyseliny														
Původ	Sumatra	ČR	Marion, IL	Spain	ČR	Netherlands	Netherlands	Sumatra	Praha	Spain	Marion, IL	Marion, IL	Netherlands	Spain
C12:0	0,7	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	2,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
C14:0	2,4	1,3	1,0	1,1	1,4	0,7	0,6	0,7	1,3	0,4	0,6	0,7	1,9	0,5
C16:0	29,1	32,3	31,3	30,6	27,0	25,6	25,9	22,0	26,6	27,0	25,1	22,0	27,0	25,2
C18:0	6,4	8,2	7,5	7,7	11,2	8,7	9,9	8,2	14,5	7,4	9,3	10,5	6,3	8,9
Suma MUFA	46,2	33,0	39,5	36,2	37,9	39,4	38,8	26,8	27,7	28,1	26,2	24,2	32,4	21,6
Suma n-3	0,3	0,6	0,7	1,4	0,4	1,2	0,7	1,3	1,6	1,8	1,0	1,4	1,6	1,8
Suma n-6	14,4	23,4	19,5	22,9	20,7	23,7	23,6	35,7	26,9	35,2	36,8	39,7	30,2	41,9
n-6/n-3	41,3	36,8	29,9	16,1	50,5	20,4	32,4	27,3	16,3	19,1	38,2	27,5	18,7	23,0
AI	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4
TI	1,2	1,4	1,3	1,2	1,3	1,0	1,1	0,9	1,3	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9
Zdroj dat			Finke, 2002	Barroso, 2014		Tzompa-Sosa, 2014	Broekhoven, 2015			Barroso et al., 2014	Finke, 2002	Finke, 2002	Tzompa-Sosa et al., 2014	Barroso et al., 2014

Trombogenní index má obdobný trend jako má aterogenní index. Nejnižší trombogenní index byl vypočítán u potměníka moučného. Dále následoval cvrček stepní a potměník stájový a nejvyšší trombogenní index byl vypočítán u potměníka brazilského, který je téměř 2x vyšší než u potměníka moučného. Trombogenní index u druhu potměník brazilský (1,4) lze přirovnat k tuku hovězího nebo vepřového masa. U druhu potměník moučný je trombogenní index obdobný jako v případě tuku z kuřecího masa (Attia et al., 2017). Naměřené hodnoty v této práci jsou v souladu s ostatními autory. Z tabulky je patrný stejný nebo mírně nižší hodnota AI i TI u ostatních autorů než u vzorků naměřených v této práci.

Dalším důležitým faktorem popisujícím riziko metabolického syndromu plynoucího z konzumace tuků je hodnocení poměru n-6 : n-3 mastných kyselin, který podle Výživových doporučení pro obyvatelstvo České republiky má být maximálně 5 : 1 (Dostálová et al., 2012). Reálný poměr n-6 : n-3 je v potravě západní civilizace běžně 15 : 1, jak ve své studii uvádí Simopoulos (2002). Poměr u námi naměřených vzorků i u hodnot uváděných jinými autory je vyšší než tento poměr (až 110:1). Přestože poměry mastných kyselin nejsou pro konzumaci tuku z jedlého hmyzu příliš příznivé, mohou např. hodnota aterogenního indexu a obsah bílkovin z jedlého hmyzu tento nedostatek vyvážit.

Ze zdravotního hlediska je u tuků stanovován poměr cholesterolu a nasycených mastných kyselin (CSI). U vzorků ze Sumatry měl CSI index hodnotu 33,3 u potměníka moučného a 48,4 u potměníka brazilského. U chovu potměníka brazilského z ČR byl stanoven CSI index 51,4. Hodnoty CSI u potměníka moučného jsou srovnatelné s CSI hodnotou husího a kachního tuku a u potměníka brazilského tyto hodnoty odpovídají hovězímu loji (Pánek et al., 2002).

Z uvedených zjištěných dat vyplývá, že ze zdravotního pohledu je při mezidruhovém porovnání nejvýhodnější konzumace potměníka moučného a cvrčka stepního.

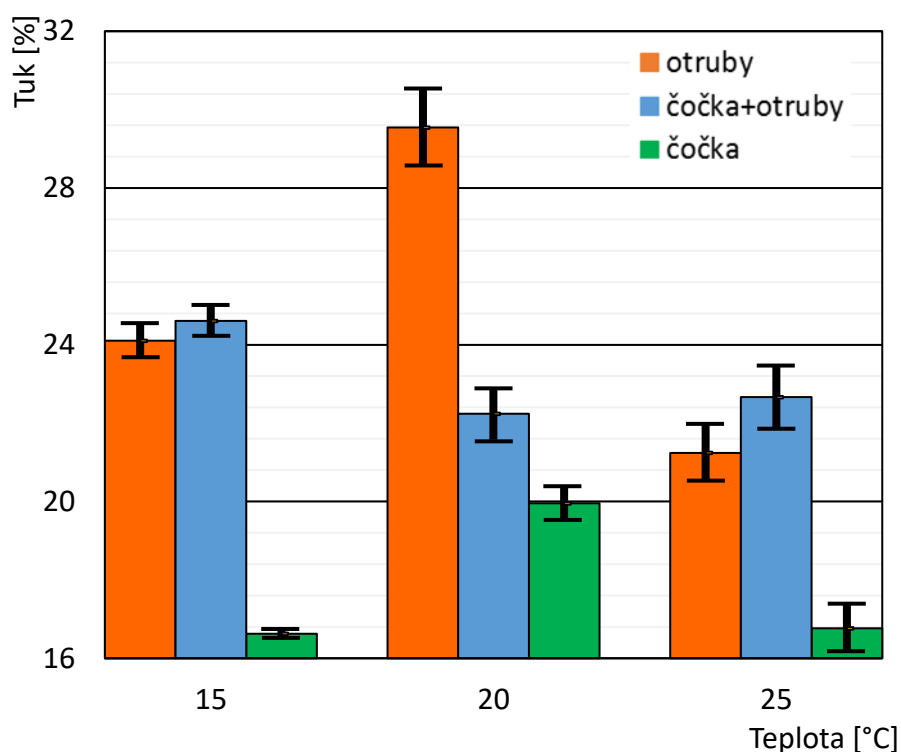
5.1.2 Vliv teploty

Vliv teploty a krmiva byl analyzován u tří experimentálních skupin - první skupina byla krmena pouze pšeničnými otrubami, druhá skupina pouze čočkovou moukou a třetí skupina byla krmena směsí složené z pšeničných otrub (50 %) a čočkové mouky (50 %). Každá skupina byla chována při třech různých chovných teplotách: 15 °C, 20 °C a 25 °C. Zjištěný obsah tuku je vyjádřen v graf 5.3.

U hmyzu krměného otrubami byl naměřen největší průměrný obsah tuku při 20 °C (29,5 %), který se snižující se i zvyšující se teplotou klesal. Předpokládaným důvodem je, že se zvyšující se teplotou analyzovaný hmyz k fyziologickým pochodům nepotřebuje zvýšené

množství tuku a může dojít k tvorbě glykogenu z tuku v hemolymfě. S klesající teplotou dochází ke spotřebě tuku na tepelnou energii (Kodřík, D., 31. 3. 2017, osobní sdělení). Dalším klíčovým faktorem může být aktivita enzymů a hormonů. Enzymy mohou být aktivovány při různých teplotách (Dostálová, J., 9. 4. 2017, osobní sdělení). Hormony (ekdysteroidy, juvenilní hormon) mohou ovlivňovat metabolismus tuků (Kodřík, 2004). Závislost obsahu tuku na teplotě při krmení otrubami byla stanovena jako statisticky významná ($p < 0,05$).

Graf 5.3: Obsah tuku v závislosti na teplotě a krmivu u potměníka moučného (*Tenebrio molitor*).



Obdobný trend měla i skupina krmená výhradně čočkou. Absolutní hodnoty obsahu tuku u skupiny krmené čočkou však byly menší než u skupiny krmené otrubami a to až o 23 %. Závislost obsahu tuku na teplotě při krmení čočkou byla stanovena jako statisticky nevýznamný ($p > 0,05$). Obdobně tomu bylo i u skupiny krmené kombinací krmiv – čočka a otruby. I zde byla závislost obsahu tuku na teplotě vyhodnocena jako statisticky významně nezávislé ($p > 0,05$). Trend však byl u této skupiny jiný. Obsah tuku nejprve klesl a dále zůstala průměrná hodnota přibližně na stejné úrovni.

Z tab. 5.8 vyplývá, že obsah nasycených mastných kyselin v závislosti na teplotě při stejném druhu krmiva je značně kolísavý. Tento vliv s odbornou literaturou nelze komplexně porovnat, protože mnoho autorů neuvádí chovnou teplotu. Nejvyšší obsah polyenových

mastných kyselin byl dosažen při teplotě chovu 15 °C při otrubové dietě. Nejbližší doporučenému poměru mastných kyselin SFA : MUFA : PUFA (0,8-1 : 1-1,2 : 1) (Dostálová et al., 2012) byla chovná teplota 25 °C s čočkovou dietou. Při této kombinaci byl také dosažen nejvyšší obsah monoenoových mastných kyselin.

Broekhoven et al. (2015) ve své studii popisuje, že při změně obsahu tuku v krmivu dochází k nutričním změnám tuku a profilu mastných kyselin. Změna profilu mastných kyselin v krmivu pro hmyz nemusí znamenat stejnou změnu v profilu mastných kyselin u jedlého hmyzu. Jiný druh hmyzu nemusí sledovat stejný trend jako druhu potměnk moučný. Studie Broekhoven et al. (2015) uvádí u druhů potměnk moučný a potměnk brazilský přímou závislost obsahu tuku v hmyzu na obsahu tuku v krmivu. Hlavní složkou jejího krmiva bylo pivovarnické mláto, pивní kvasinky (*Saccharomyces cerevisiae* Meyen ex Hansen), zbytky chleba, sušenek a bramborové slupky. Naproti tomu Oonincx (2015), který choval hmyz při stejné teplotě (28 °C) jako Broekhoven et al. (2015), zařadil do diety řepnou melasu a využil jiný typ pivovarnických kvasinek (Anheuser-Busch, Dommelen, The Netherlands). Při změně množství tuku v krmivu (1 % až 14,6 %) došlo ke změně obsahu tuku v larvách v rozsahu od 23,0 % do 28,5 %. Výsledky však nejsou přímo úměrné – největší obsah tuku v larvě byl naměřen u krmiva s nejmenším obsahem tuku a proteinu.

Předchozí studie Oonincx et Poel (2011) zaměřená na saranče stěhované (*Locusta migratoria*) ukazuje vliv chovných podmínek na nutriční hodnoty tohoto druhu. Studie uvádí významný vliv změny složení krmiva (změna poměru trávy, pšeničných otrub a mrkve) na množství tuku a proteinu v těle hmyzu. Změna obsahu tuku je od 17,9 % do 24,7 % u předposledního instaru a od 18,6 % do 29,6 % u dospělce (s rostoucím množstvím pšeničných otrub a karotky hodnota stoupá).

V případě výživy sacharidovou stravou se může zvýšit podíl obsahu tuku u hmyzu. Nejvyšší obsah tuku u hmyzu lze docílit vhodnou teplotou chovu, která byla v tomto případě 20 °C. Obsah jednotlivých mastných kyselin je různý v závislosti na krmivu a teplotě, u obecně nutričně nejvýznamnějších mastných kyselin jejich obsah stoupá s obsahem proteinů ve stravě. Vhodnou volbou chovných podmínek (25 °C, krmivo čočka) je docíleno nižšího obsahu tuku a výraznějšího zastoupení esenciálních mastných kyselin v porovnání s transmastnými kyselinami. Z tohoto důvodu by tento druh mohl sloužit jako prevence před neinfekčními civilizačními chorobami (kardiovaskulární nemoci, diabetes mellitus, karcinom tlustého střeva).

Tab. 5.8: Profil mastných kyselin u potměníka moučného (*Tenebrio molitor*) v závislosti na teplotě a krmivu

	otruby						čočka+otruby						čočka					
	15°C		20°C		25°C		15°C		20°C		25°C		15°C		20°C		25°C	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
C12:0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,3	0,1
C13:0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
C14:0	1,7	0,1	3,0	0,0	1,9	0,0	2,1	0,5	2,3	0,3	2,6	0,3	2,7	0,2	2,7	0,5	4,0	0,7
C15:0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0
C16:0	15,7	1,0	20,1	0,1	11,9	0,1	14,4	3,3	13,1	1,5	13,1	1,3	11,7	0,9	11,5	2,1	12,7	2,2
C17:0	2,8	0,2	2,2	0,0	5,0	0,2	0,4	0,0	5,2	0,6	5,4	0,6	2,8	0,2	2,8	0,5	0,3	0,1
C18:0	7,8	0,5	6,7	0,0	9,2	0,2	7,7	1,7	7,7	0,9	7,5	0,7	7,6	0,6	7,6	1,4	6,3	1,1
Suma SFA	28,3		32,3		28,6		24,6		28,8		29,0		25,2		25,0		23,8	
C16:1(cis-9)	1,6	0,1	1,7	0,0	0,8	0,0	1,5	0,7	1,6	0,2	1,3	0,1	1,0	0,1	1,2	0,2	1,3	0,2
C18:1(cis-9)	22,8	1,5	26,3	0,2	25,3	0,4	26,5	6,0	25,9	3,1	28,5	2,7	28,0	2,1	29,3	5,4	35,9	6,4
C20:1(cis-11)	0,9	0,1	0,9	0,0	1,4	0,0	1,4	0,3	1,1	0,1	1,0	0,1	1,0	0,1	1,0	0,2	1,1	0,2
Suma MUFA	25,3		28,9		27,6		29,4		28,6		30,9		30,1		31,5		38,4	
C18:2(all-cis-9,12)	39,5	2,7	34,1	0,2	37,1	0,6	45,9	8,8	35,7	4,3	34,7	3,4	41,9	3,2	39,2	7,3	37,8	6,7
C22:6(all-cis-4,7,10,13,16,19)	6,9	0,2	4,6	0,5	6,7	0,3	0,0	0,0	6,9	0,2	5,4	0,2	2,8	0,9	4,3	0,3	0,0	0,0
Suma PUFA	46,4		38,8		43,9		45,9		42,6		40,1		44,7		43,5		37,8	

Pozn. M – průměr, SD – směrodatná odchylka

5.1.3 Vliv chovných podmínek

V první fázi práce byla využita možnost porovnat chovné podmínky mezi farmovými chovy v ČR (mírné klimatické pásmo) a na Sumatře (tropické pásmo). Jejich porovnáním (tab. 5.1, tab. 5.2) byly získány prvotní informace umožňující optimalizaci chovných podmínek pro získání požadovaných nutričních hodnot, i když výraznější dopad na nutriční hodnoty je přikládán složení a množství krmné dávky (graf 5.3, tab. 5.8).

Naměřené hodnoty obsahu dusíkatých látek u analyzovaných druhů hmyzu ze Sumatry a ČR byly v rozmezí od 39,4 % do 62,6 % v sušině. Zjištěné množství dusíkatých látek u larvy potemníka moučného (*Tenebrio molitor*) chovaného na Sumatře bylo v souladu s literaturou. Bednářová et al. (2013) uvádí u téhož druhu 50,9 %, Finke (2004) uvádí 49,1 % a Broekhoven et al. (2015) naměřili průměrně 45,1 - 48,6 % v závislosti na krmivu. Zastoupení dusíkatých látek v sušině u potemníka moučného chovaného v ČR je 63 %. Při porovnání tohoto farmového chovu s chovem na Sumatře byl mezi těmito hodnotami definován rozdíl jako vysoce statisticky průkazný ($p < 0,01$). Z těchto výsledků lze usuzovat závislost obsahu dusíkatých látek na chovných podmínkách, konkrétně na klimatickém pásmu. Hodnota naměřená u chovu v ČR je vyšší než uvádějí zahraniční i domácí autoři. Obdobné hodnoty naměřila i Bednářová et al. (2013), která čerpala vzorky ze středoevropských zdrojů. Vzorky potemníka stájového obsahovaly 60 % dusíkatých látek v sušině. Obdobné hodnoty uvádí Yi et al. (2013), Bosch et al. (2014) a Broekhoven et al. (2015).

U potemníka brazilského (*Zophobas morio*) chovaného na Sumatře korespondují naměřené výsledky 46,5 % s výsledky, které uvádí Finke (2004) 46,8 %. Bednářová et al. (2013) uvádí u stejného druhu 54,3 % a Broekhoven et al. (2015) naměřili průměrně 34,2-42,5 %. U potemníka brazilského chovaného v ČR bylo naměřeno 39 % dusíkatých látek. To prokázalo u tohoto druhu statisticky významný rozdíl ($p < 0,05$) mezi chovnými podmínkami na Sumatře a v ČR.

Na rozdíl od předchozích druhů nebyl u druhu cvrček stepní (*Gryllus assimilis*) zjištěn statisticky významný rozdíl ($p > 0,05$) v chovných podmínkách při sledování obsahu dusíkatých látek. U chovu ze Sumatry byl naměřen obsah dusíkatých látek 56,3 %. Téměř stejné hodnoty 55,6 % byly naměřeny u chovu v ČR. Obdobné hodnoty u stejného druhu naměřila i Bednářová et al. (2013) - 54,3 %. Finke (2004) uvádí 46,8 % u podobného druhu cvrčka domácího (*Acheta domestica*).

Goodman (1989) uvádí hodnotu chitinu v hmyzu průměrně 10 %. U cvrčka polního (*Gryllus testaceus* Walker) dokumentuje Wang et al. (2004) 8,7 % chitinu v sušině. To je v souladu s naměřenou hodnotou 7,0 % u cvrčka stepního chovaného na Sumatře. U druhu potemník moučný uvádí Marono (2015) množství chitinu průměrně 5 % na rozdíl od Finkeho (2015), který uvádí 1,2 %. Naměřená hodnota chitinu u tohoto druhu ve stádiu larvy byla 11,5 %. Obsah chitinu u analyzovaného druhu potemník brazilský byl stanoven na 5,6 % v sušině. V dostupné literatuře není obsah chitinu u tohoto druhu zdokumentován. Chitin se však u hmyzu nevyskytuje v čisté formě, ale je vázaný na značné množství aminokyselin. Při stanovení chitinu však bývá hodnocen celkový obsah chitinu včetně těchto sloučenin (Barker et al., 1998; Finke, 2002).

Naměřené hodnoty tuku se pohybovaly u vzorků v rozsahu od 11,9 % do 39,1 %. U larev potemníka moučného byly pro vzorky ze Sumatry naměřené hodnoty v souladu s literaturou, která uvádí 36,1 % (Bednářová et al., 2013), 35,0 % (Finke, 2004) nebo 27,1 % (přepočteno z hodnoty pro živou hmotnost 9,9 %, Yi et al., (2013) U potemníka moučného z ČR byl obsah tuku výrazně nižší (17 %) a rozdíl mezi chovy ze Sumatry a ČR byl vysoce statisticky průkazný ($p < 0,01$). Nižší hodnotu u tohoto druhu 12 % uvádí Nowak et al. (2016) a podobnou hodnotu 18,9-27,6 % uvádí Broekhoven et al. (2015) v závislosti na krmivu.

Největší obsah tuků z analyzovaných vzorků měl potemník brazilský (larva). Vzorky z chovu ze Sumatry obsahovaly 34,7 % tuku v sušině a vzorky z chovu z ČR obsahovaly 39,4 % tuku v sušině. To prokázalo statisticky významný rozdíl ($p < 0,05$) mezi místy chovu. Broekhoven et al. (2015) uvádí u téhož druhu rozsah 32,8–43,5 % podle krmiva, Finke (2004) 42,0 % a Bednářová et al. (2013) udávají hodnotu 40,3 %. Množství tuku je v souladu s literaturou. Vzorky potemníka stájového obsahovaly 28,8 % tuku v sušině. Tento výsledek je o 5 % vyšší než uvádí Broekhoven et al. (2015), kteří zároveň zjistili 10% rozsah hodnot v závislosti na krmivu.

Obdobně i naměřená hodnota 32,3 % u cvrčka stepního ze Sumatry koresponduje s literaturou. Hodnotu 34,3 % naměřila Bednářová et al. (2013). Finke (2004) u obdobného druhu cvrčka domácího uvádí hodnotu jen 14,4 %, obdobně jako Yi et al. (2013), který udává hodnotu 12,3 % (přepočteno z hodnoty pro živou hmotnost 3,6 %). Tyto hodnoty naopak korespondují s naměřeným obsahem tuku 11,9 % u cvrčka stepního z ČR. Tato hodnota se shoduje i s obsahem tuku u obdobného druhu cvrček domácí (*Acheta domestica*), kde tuk tvoří od 9,8 do 22,8 % a s průměrnou hodnotou pro řád rovnokřídlí (Orthoptera) 13,4 % (Rumpold et Schlüter, 2013). U tohoto druhu byl opět prokázán rozdíl mezi místy chovu jako vysoce statisticky průkazný ($p < 0,01$).

U druhu potměnků moučným (*Tenebrio molitor*) je pořadí zastoupení prvních čtyř mastných kyselin shodné s ostatními autory. Pouze Tzompa-Sosa et al. (2014) uvádí na čtvrtém místě myristovou kyselinu na rozdíl od ostatních autorů, kteří uvádějí na čtvrtém místě stearovou kyselinu. Svým složením se vzorek potměnka moučného ze Sumatry nejvíce blíží hodnotám uváděným Finkem (2002) nebo Zielinskou et al. (2015). Nejvíce se lišil od hodnot uváděných Tzompa-Sosa et al. (2014), který uvádí o 13 % vyšší obsah olejové kyseliny a o 9 % nižší obsah linolové kyseliny. U potměnka moučného chovaného v podmínkách ČR bylo nejvíce zastoupených mastných kyselin obdobné jako u chovu ze Sumatry. Rozdíly se ukázaly u minoritně zastoupených mastných kyselin, například linolenová kyselina byla detekována v množství 0,3 % u chovu ze Sumatry a 1,1 % u chovu v ČR. Obdobně palmitová kyselina byla naměřena v množství 0,4 % u chovu ze Sumatry a 1,4 % u chovu v ČR.

V případě hypotézy, že obsah jednotlivých mastných kyselin ve vzorcích chovu ze Sumatry a ČR se u potměnka moučného (*Tenebrio molitor*) neliší, byl zjištěn statisticky významný rozdíl ($p < 0,05$) pro mastné kyseliny C14:0, C16:1(cis-9) a C18:3(cis-9,12,15). Pro tyto kyseliny byla výše uvedená hypotéza zamítnuta. V případě ostatních kyselin nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl – hypotéza byla přijata. Z porovnání výsledků dále vyplynul vysoce statisticky průkazný rozdíl ($p < 0,01$) v obsahu linolenové kyseliny, která je pro člověka esenciální. Významně vyšší obsah byl zjištěn ve prospěch vzorků z ČR.

Při porovnání profilu mastných kyselin u potměnka brazilského (*Zophobas morio*) bylo zjištěno, že pořadí prvních čtyř mastných kyselin je shodné s ostatními autory. Množství olejové kyseliny bylo u vzorků ze Sumatry vyšší až o 10 %, v porovnání s ostatními autory a o 12 % vyšší v porovnání s chovem z ČR. Naopak byl nižší obsah třetí nejvíce zastoupené linolové kyseliny. Obsahy kyseliny palmitové a stearové byly shodné s literaturou. Ve vzorku potměnka brazilského chovaného na Sumatře byla v porovnání s ČR dále stanovena vyšší hladina myristové a laurové kyseliny. Množství α -linolenové kyseliny bylo zjištěno menší, než dokumentuje Finke (2002) a Barroso et al. (2014), ale větší než stanovila Bednářová et al. (2013). Srovnání obsahu monoenoových mastných kyselin u chovu ze Sumatry a ČR vyznívá ve prospěch chovu z ČR. Vzorky z chovu na Sumatře mají jiné zastoupení monoenoových mastných kyselin než vzorky z ČR, ale v komplexu jsou ve shodě s ostatními autory. U obou uváděných monoenoových kyselin (C16:1(cis-9) a C18:1(cis-9)) byl zjištěn statisticky významný rozdíl ($p < 0,05$), hypotéza o shodě byla proto zamítnuta. Pro linolenovou mastnou kyselinu byl zjištěn statisticky nevýznamný rozdíl ($p > 0,05$). Statisticky významný rozdíl byl však stanoven u mnohonásobně více zastoupené linolové kyseliny.

Z tohoto důvodu rozdíl v celém obsahu polyenových mastných kyselin byl statisticky významně závislý na podmínkách chovu. Při sledování rozdílu v obsahu n-3 mastných kyselin nebyl zjištěn mezi chovy ze Sumatry a z ČR statisticky významný rozdíl. Tento rozdíl byl zjištěn u obsahu n-6 a n-9 mastných kyselin, kde obsah n-6 mastných kyselin byl vyšší u vzorků z ČR a obsah n-9 mastných kyselin byl vyšší u vzorků ze Sumatry. Výsledky z chovu z ČR jsou blízké ostatním autorům, ale u vzorků ze Sumatry bylo zjištěno o více než 5 % obsahu n-9 mastných kyselin. V případě požadavku zákazníka na vyšší obsah této kyseliny v poměru k ostatním kyselinám je vhodné tento druh chovat na Sumatře.

U druhu potměnk stájový (*Alphitobius diaperinus*) bylo naměřeno v porovnání s ostatními autory více obsahu nasycených mastných kyselin a menší množství polyenových a monoenových mastných kyselin. Rozdíl je i v poměru n-3 a n-6 mastných kyselin, přičemž významný rozdíl je v obsahu linolenové a palmitové kyseliny. Při mezidruhovém porovnání mezi potměnkem stájovým a potměnkem brazilským nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly, avšak při porovnání potměnka stájového s potměnkem moučným byl stanoven statisticky významný rozdíl v obsahu nasycených a polyenových mastných kyselin. V případě požadavku na vyšší obsah polyenových mastných kyselin by měl být volen potměnk moučný.

V případě porovnání potměnka moučného s cvrčkem stepním (*Gryllus assimilis*) byl nalezen statisticky významný rozdíl v obsahu esenciálních mastných kyselin v poměru k ostatním kyselinám a to ve prospěch cvrčka stepního ze Sumatry. U tohoto druhu chovaného na Sumatře a jemu příbuznému druhu cvrček domácí (*Acheta domestica*) je u mnoha studií nejvíce zastoupená linolová kyselina, která byla stanovena jako nejvíce zastoupená mastná kyselina i v analyzovaném vzorku v této práci, viz tab. 5.5. Tzompa-Sosa et al. (2014) však uvádí na prvním místě olejovou kyselinu, která je v dalších studiích (např. Finke, 2002 a Barroso et al., 2014) a na druhém nebo třetím místě. Zastoupení linolové kyseliny u Tzompa-Sosa et al. (2014) je však téměř shodné s olejovou kyselinou. S touto kyselinou má v další literatuře podobné zastoupení i palmitová kyselina. Stearová kyselina je zastoupená na čtvrtém místě v našich analýzách i v odborné literatuře. Cvrček stepní (*Gryllus assimilis*) chovaný v podmínkách ČR měl na rozdíl od chovu na Sumatře nižší množství linolové kyseliny téměř o 10 %, naopak zvýšenou hladinu palmitové a stearové kyseliny.

Přestože je možné usuzovat, že chovné (klimatické) podmínky mají menší vliv na nutriční hodnoty než krmivo, odráží se jejich vliv u některých mastných kyselin. Rozdíly se ukazují zejména u minoritně zastoupených mastných kyselin. Rozdíly v zastoupení

jednotlivých mastných kyselin se však liší podle přírodovědného druhu a jsou ovlivněny hlavně výběrem krmiva. Posouzení změny profilu podle chovných (klimatických podmínek) je potřeba následně dále zkoumat.

V závěru této fáze práce byl analyzován obsah sterolů. Cholesterol, typický živočišný sterol, byl analyzován ve vzorcích s největší koncentrací. V potravinách rostlinného původu se vyskytuje v minimálním množství. Příjem vysokého množství cholesterolu může způsobit metabolický syndrom (WHO, 2004). V analyzovaných vzorcích byl prokázán rozdíl obsahu cholesterolu v závislosti na přírodovědném druhu a chovných podmínkách. U kampesterolu je významný rozdíl mezi druhy a mezi chovnými podmínkami, kdy u druhů chovaných na Sumatře byla zaznamenána vyšší hladina kampesterolu. Předpokládá se, že daný rozdíl byl způsoben druhem krmiva. Obdobně je tomu u stigmasterolu, jehož výsledky však neprokazují významnou mezidruhovou rozdílnost. U β -sitosterolu lze vysledovat rozdíl mezi druhy, ale není rozdíl v závislosti na místě chovu. Pro zpřesnění výsledků je nutné rozšířit v budoucnosti testovaný soubor.

5.2 Optimalizace vývojových fází hmyzu pro získání specifických nutričních vlastností

Srovnání nutričních hodnot u vývojových fází proběhlo na vývojové fázi – larvě, kukle a dospělce. Tab. 5.9 ukazuje srovnání obsahu dusíkatých látek a tuku u sledovaných vývojových fází potměníka moučného, který byl modelovým organismem v této práci. V tabulce je také uvedeno porovnání s odbornou literaturou.

V rámci stejné chovné oblasti nebyl v práci prokázán signifikantní rozdíl ($p > 0,05$) v obsahu dusíkatých látek a tuku mezi jednotlivými vývojovými stádii. Autoři uvádí, že rozdíl v obsahu dusíkatých látek mezi stádiem larvy a dospělce je více než 15 %. U vývojového stádia larvy a dospělce chovaného v ČR se v této práci tento rozdíl nepotvrdil. Přestože rozdíl v obsahu dusíkatých látek a tuku nebyl prokázán, doporučuje se konzumovat ze sensorického a zdravotního hlediska stádium larvy (Ramos-Elorduy, 2006; Borkovcová et al., 2009; Belluco et al., 2013). Důvodem rozdílu mezi touto prací a ostatními autory mohly být rozdílné chovné podmínky a použité krmivo pro jednotlivé vzorky. U kukly a larvy původem ze Sumatry se obsah dusíkatých látek a tuku blížil ostatním autorům, ale vzájemný rozdíl mezi kuklou a larvou nebyl statisticky významný. I přesto se opět doporučuje konzumovat stádium larvy.

Tab. 5.9: Porovnání obsahu dusíkatých látek a tuku u jednotlivých vývojových fází potměníka moučného (*Tenebrio molitor*) v sušených vzorcích a následné srovnání s jinými autory.

Vývojové stádium	Původ	Dusíkaté	
		látky g/100 g	Tuk g/100 g
Larva	ČR	62,6 ± 0,4	16,7 ± 0,1
Larva	Sumatra	51,9 ± 0,4	31,3 ± 1,1
Kukla	Sumatra	51,2 ± 1,0	32,2 ± 0,5
Dospělec	ČR	62,5 ± 1,4	16,7 ± 0,6
Larva (Finke, 2004)	USA	49,1	35,0
Larva (Ravzanaadii, 2012)	Korea	46,4	32,7
Larva (Rumpold and Schlüter, 2013)	Mexiko	47,7	37,7
Larva (Rumpold and Schlüter, 2013)	USA	47,1	43,1
Larva (Wang et al., 2012)	Čína	50 - 60	Neuvedeno
Larva (Broekhoven et al., 2015)	Nizozemí	45,1 - 48,6	25,0 - 27,6
Larva (Li et al., 2013)	Čína	76,1 ± 0,7	6,4 ± 0,5
Larva (Li et al., 2013)	Čína	68,1 ± 0,6	17,4 ± 0,1
Kukla (Rumpold and Schlüter, 2013)	Mexiko	53,1	36,7
Dospělec (Finke, 2004)	USA	65,3	14,9
Dospělec (Wang et al., 2012)	Čína	64,0	Neuvedeno
Dospělec (Ravzanaadii, 2012)	Korea	63,3	7,6
Dospělec (Rumpold and Schlüter, 2013)	Mexiko	60,2	20,8

Naměřené hodnoty dusíkatých látek a tuku v této práci jsou v souladu s literaturou, která uvádí velké rozpětí těchto hodnot, tab. 5.9. Z tohoto značného rozpětí vyplývá, že obsah dusíkatých látek a tuku je výrazně ovlivněn různými aspekty, zejména výživou. Toto dokládá ve své studii Li et al. (2013), který uvádí rozdíl 11 % v obsahu tuku v závislosti na krmivu, kde ostatní chovné parametry byly stejné.

Profil mastných kyselin v závislosti na vývojových fázích ukazuje tab. 5.3. V porovnání s obsahem tuku a dusíkatých látek, kde bylo zaznamenáno významné rozpětí hodnot u vývojových stádií, se profil mastných kyselin v průběhu vývoje jedince mění jen mírně. Finke (2002) uvádí, rozdíl v absolutním množství jednotlivých mastných kyselin u larvy a dospělce (larva má větší množství monoenoových mastných kyselin), avšak vzájemný poměr hlavních mastných kyselin je téměř shodný. Obdobný trend byl naměřen i v této práci.

Změna obsahu chitinu byla u vývojové fáze larvy a kukly u potměníka moučného naměřené v této práci pouze mírná. Ve stádiu larvy byla zjištěná hodnota 11,5 %, která je blízká hodnotě chitinu ve stádiu kukly 13,0 %.

5.3 Optimalizace krmiva hmyzu pro získání specifických nutričních vlastností

V práci byl sledován vliv krmiva u druhu potěmník moučný (*Tenebrio molitor*) na obsah tuku a profil mastných kyselin. Základní výsledky jsou uvedeny v kapitole 5.1.2 společně s vlivem teploty, která byla neoddelitelnou součástí tohoto experimentu. Z tohoto důvodu jsou výsledky diskutovány ve výše uvedené kapitole. Z graf 5.3 je zřejmé, že obsah tuku závisí na složení krmiva a že pro získání nejvyššího obsahu tuku při nízké a vysoké chovné teplotě je optimální složení krmiva kombinace krmiva čočka a otruby. Při 20 °C byl zaznamenán nejvyšší obsah tuku u krmení otrubami a byl naznačen trend, že při snižování sacharidů v krmivu se snižuje i obsah tuku u sledovaného druhu. Předpokládá se, že zvýšeným podílem proteinové diety se bude zvyšovat i množství dusíkatých látek. Závislost obsahu tuku na krmivu při teplotě 15 °C a 20 °C byla vyhodnocena jako statisticky významná ($p < 0,05$). Přestože byla závislost obsahu tuku na krmení při teplotě 25 °C vyhodnocena jako statisticky neprůkazná, vypočítaný výsledek se limitně blíží hranici významnosti ($p = 0,0509$). Z těchto výsledků proto vyplynulo, že při teplotě 25 °C přestal být hmyz náročný na druh krmiva vzhledem k získanému množství tuku. Při teplotách nižších je nutné zvolit jako krmivo otruby.

Analýza profilu mastných kyselin u druhu potěmník moučný (*Tenebrio molitor*), tab. 5.8, ukazuje, že trendy v závislosti na teplotě a krmivu u jednotlivých mastných kyselin jsou různé.

Celkový obsah nasycených mastných kyselin byl obecně pro 15 °C a 25 °C statisticky neprůkazný na krmivu ($p > 0,05$). Statisticky významná závislost obsahu nasycených mastných kyselin na krmivu byla zjištěna pro teplotu 20 °C. Výjimkami mohou být kyseliny C14:0 a C16:0. U kyseliny C14:0 byl zjištěn statisticky významný rozdíl ($p < 0,05$) obsahu této kyseliny při teplotě 25 °C na krmivu. Závislost obsahu kyseliny C16:0 na krmivu byla prokázána při teplotě 15 °C a 20 °C, zatímco při teplotě 25 °C byl obsah této kyseliny na krmivu nezávislý.

Na rozdíl od nasycených mastných kyselin byla u celkového obsahu monoenových mastných kyselin zjištěna závislost na krmivu při 15 °C a 25 °C. Naopak při teplotě 20 °C nebyla potvrzena závislost na krmivu. Se zvyšujícím se obsahem čočky v dietě se zvyšoval obsah kyseliny C18:1(cis-9), ale klesal celkový obsah tuku (při zastoupení čočky více než 50 %).

Důležitým zjištěním bylo prokázání závislosti obsahu polyenových mastných kyselin v závislosti na krmivu při teplotě 25 °C. U ostatních teplot nebyla prokázána tato závislost. Nejvýznamnější z polyenových mastných kyselin z tohoto přehledu byla C18:2(all-cis-9,12), u které byla zjištěna statisticky významná závislost ($p < 0,05$) na krmivu při teplotě 15 °C. Při krmení směsí (čočka a otruby) byla u této mastné kyseliny zjištěna závislost na teplotě. To dokazuje, že obsah této esenciální kyseliny je možné ovlivnit podmínkami chovu.

Z nutričního a technologického hlediska jsou významné kyseliny C18:0, C18:1(cis-9) a C18:2(all-cis-9,12), u kterých byla zjištěna významná závislost na obsahu čočkové mouky. S rostoucím obsahem čočkové mouky (se zanedbáním vlivu teploty) se průměrný obsah mastných kyselin zvyšoval. Tato tabulka také ukazuje, že v analyzovaných vzorcích nebylo naměřeno významné množství trans-mastných kyselin, ale byl zjištěn významný obsah esenciálních mastných kyselin. Z hlediska profilu mastných kyselin je vhodnější proteinová dieta a kombinace proteinové a sacharidové diety v porovnání s dietou založenou pouze na sacharidové stravě.

Obdobné výsledky naměřili Oonincx et al., (2015). Zastoupení jednotlivých mastných kyselin u druhu potěmník moučný (*Tenebrio molitor*) se může lišit v závislosti na krmivu. Oonincx et al., (2015) uvádí, že potěmník moučný (*Tenebrio molitor*) byl bohatý na C18:1(cis-9), C18:2(all-cis-9,12) a C16:0 při všech dietách, které testoval. Po přidání mrkve do krmiva došlo ke změně poměru n-6 : n-3 mastných kyselin. Změnu zastoupení obsahu škrobu a proteinu v krmivu zkoumali Broekhoven et al. (2015), kteří uvádí změnu poměru n-6 : n-3 mastných kyselin od 19 : 1 do 32 : 1. Zastoupení n-6 mastných kyselin výrazně převyšuje doporučenou hodnotu pro výživu člověka. Mezi sledované mastné kyseliny uváděné Broekhoven et al. (2015) patří palmitová kyselina s rozsahem 16,13 až 16,96 g/100 g tuku a stearová kyselina s hodnotou od 2,64–2,97 g/100 g tuku, u kterých neměla významný vliv změna sacharidů a proteinů v krmivu na obsah mastných kyselin. U některých nutričně významných kyselin došlo k významné změně jejich zastoupení, např. u olejové kyseliny 39,98 g/100 g tuku, kde krmivo mělo vysoký obsah proteinů a nízký obsah škrobu, až 57,63 g/100 g tuku, kde byl nízký obsah proteinů a vysoký obsah škrobu v krmivu. Obdobně se změna krmiva projevila i u linolové kyseliny (15,45 až 31,25 g/100 g tuku) a α -linolenové kyseliny (0,67 až 1,48 g/100 g tuku). Z výsledků je zřejmé, že vhodnou volbou krmiva lze u některých mastných kyselin zvýšit nebo snížit jejich obsah.

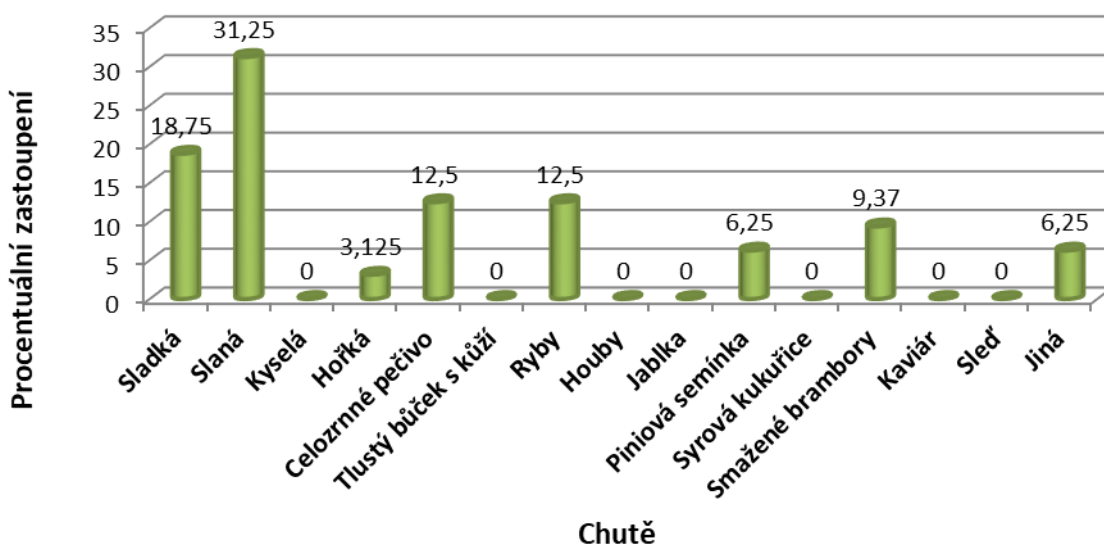
5.4 Senzorická analýza

5.4.1 Tyčinky z listového těsta posypané potměníkem moučným a brazilským

V první fázi sensorické analýzy byly pomocí dotazníkového šetření hodnoceny vzorky potměníka moučného a brazilského na tyčinkách z listového těsta. Respondenti měli určit chuť, kterou jim vzorek nejvíce připomínal.

V případě sensorického šetření z listopadu 2015 degustovalo vzorek 32 respondentů, z nichž 31 % popsalo chuť jako slanou. Další hodnotitelé popsaly chuť jako sladkou téměř oříškovou (18,8 %), chuť celozrnného pečiva (12,5 %), chuť rybí (12,5 %) a chuť smažených brambor (9,4 %). Malé množství hodnotitelů popsalo chuť jako chuť připomínající piniová semínka, kuřete, hořkou chuť nebo chuť jinou. Procentuální zastoupení jednotlivých chutí ukazuje graf 5.4. Při tomto šetření mělo 53 % respondentů zkušenost se sensorickou analýzou a 47 % tuto zkušenost nemělo.

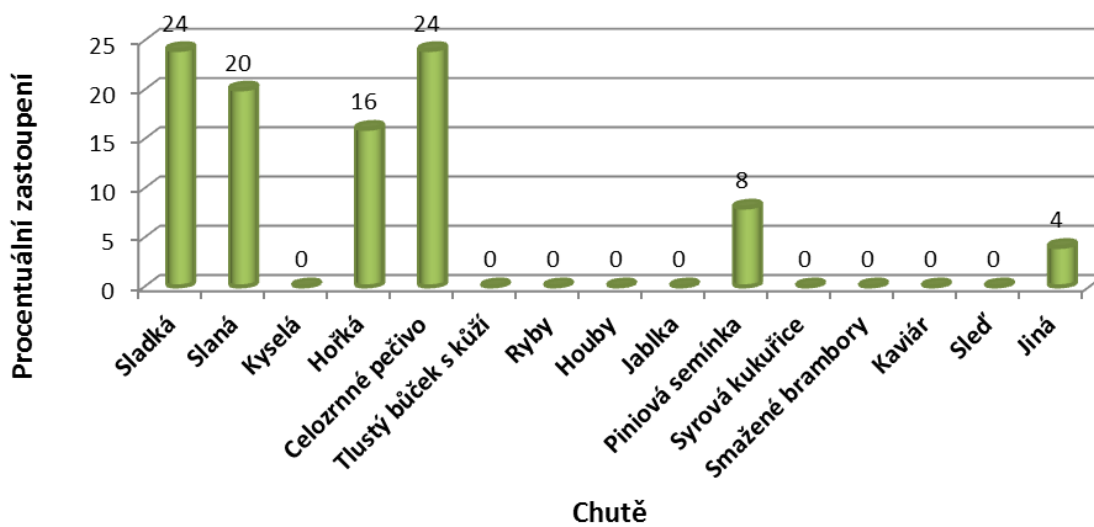
Graf 5.4: Procentuální zastoupení jednotlivých chutí u vzorků potměníka moučného a brazilského na tyčinkách z listového těsta u dotazníkového šetření č. 1.



V případě šetření z října 2016 se degustace účastnilo 25 lidí, z nichž 40 % respondentů mělo určitou zkušenost se sensorickou analýzou a zbylých 60 % se sensorické analýzy nikdy nezúčastnilo. Pojem entomofágie nikdy neslyšelo 72 % respondentů. Zbylých 28 % respondentů odpovědělo, že pojem znají a pokrm z jedlého hmyzu se jim zdá nutričně hodnotný. Nejvíce hodnotitelů se shodovalo ve sladké chuti (24 %) a v chuti celozrnného pečiva (24 %). Slanou chuť zaškrtno dohromady 20 % respondentů a 16 % respondentů popsalo chuť jako hořkou (tato chuť byla v předchozím šetření málo zastoupená). Chuť

piniových semínek označilo 8 % respondentů. Možnost „jiná“ chuť byla hodnocena pouze ze 4 % (1 hodnotitel) a ten popsals chuť, stejně jako u předchozí degustace, jako chuť kuřete. Procentuální zastoupení jednotlivých chutí ukazuje graf 5.5. Obdobné výsledky popisuje ve své práci Ramos-Elorduy (1998), která uvádí, že chuť potemníka moučného (*Tenebrio molitor*) připomíná celozrnné pečivo.

Graf 5.5: Procentuální zastoupení jednotlivých chutí u vzorků potemníka moučného a brazilského na tyčinkách z listového těsta u dotazníkového šetření č. 2.



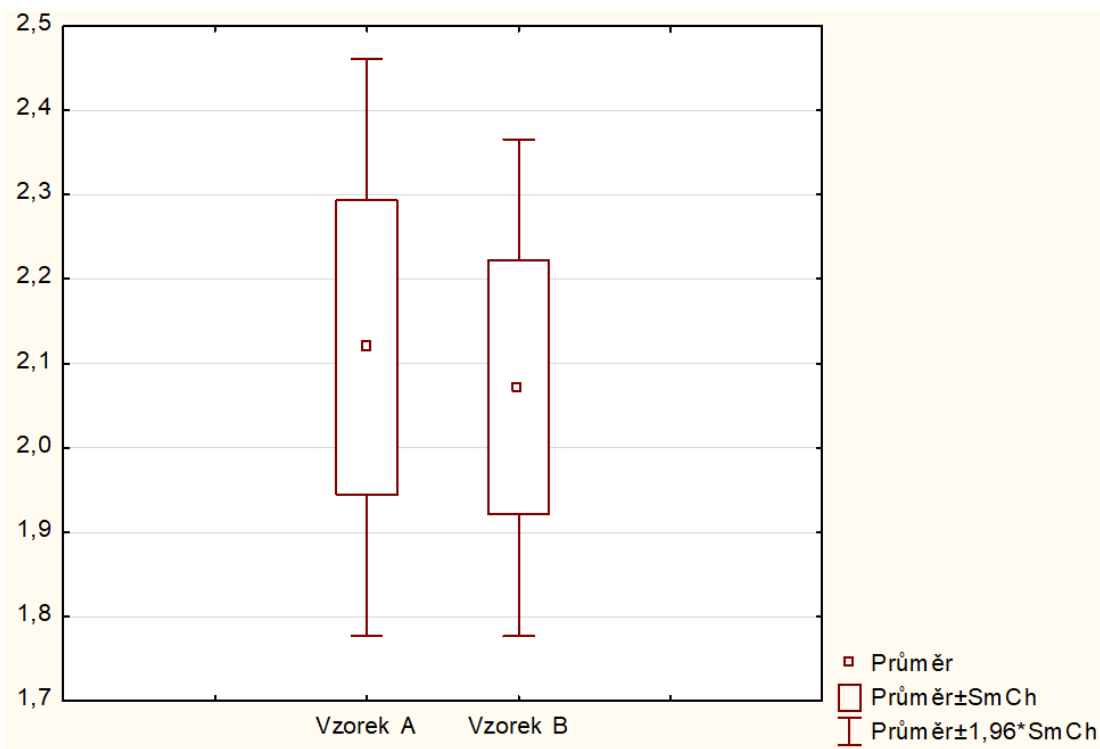
5.4.2 Energetické tyčinky s přidavkem cvrččí mouky

Při sensorickém hodnocení energetických tyčinek s přidavkem cvrččí mouky byly hodnoceny dva vzorky A (datle, cvrččí mouku, ananas, kešu, kokos, psyllium a citronovou kůru) a B (datle, cvrččí mouku, kakaový prášek, kešu, psyllium a pomerančovou kůru). Celkový počet respondentů byl 42 lidí. Nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi hodnocením příjemnosti vzorků ($p > 0,05$). Výsledek dále ukazuje pozitivní hodnocení obou vzorků respondenty, které se blíží průměrně k známce 2, (**Graf 5.6**).

Z výsledku vyplynulo, že závislost mezi pohlavím a hodnocením vzorku A není statisticky významná ($p > 0,05$). Ke stejnému výsledku dospělo i vyhodnocení závislosti mezi pohlavím a hodnocením vzorku B - neexistuje statisticky významná závislost mezi pohlavím a hodnocením vzorku B ($p > 0,05$).

Výsledky v tab. 5.10 ukázaly, že shoda preferencí u obou pohlaví nelze zamítnout ($p < 0,05$). Nelze však přehlédnout, drobný rozdíl, kdy ženy více preferovaly vzorek B a muži naopak vzorek A. Vysvětlení je pravděpodobně způsobeno vyrobením vzorku B z kakaového prášku – ženy mají obecně více rády čokoládové cukrovinky než muži.

Graf 5.6: Hodnocení příjemnosti vzorků.



Pozn. Vzorek A - datle, cvrččí mouku, ananas, kešu, kokos, psyllium a citronová kůra
 Vzorek B - datle, cvrččí mouku, kakaový prášek, kešu, psyllium a pomerančová kůra

Tab. 5.10: Rozdíly preferencí u obou pohlaví pro dva vzorky energetických tyčinek s přidavkem cvrččí mouky.

Pohlaví	Preference			Celkem
	A	B	O	
Ženy	10	12	3	25
Muži	8	7	2	17
Chí-kvadrát	0,21	0,16	0,00	0,38

Pozn. Preference: A = hodnotitel zaškrtl lepší hodnocení u vzorku A,
 B = hodnotitel zaškrtl lepší hodnocení u vzorku B,
 O = hodnotitel zaškrtl stejné hodnocení u obou vzorků.

Pozn. Kritická hodnota testovaného kritéria χ^2 pro hladinu významnosti 0,05 a 2 stupně volnosti je 5,991.

Nakonec byla hodnocena závislost hodnocení na věku respondentů pro oba vzorky odděleně. Výsledky uvedené v tab. 5.11 ukázaly nezávislost hodnocení jednotlivých vzorků na věku hodnotitelů.

Tab. 5.11: Statistické shrnutí závislosti hodnocení vzorku A a vzorku B na věku respondentů.

Statistická veličina	Vzorek	
	A	B
Vícenásobné R	0,0474	0,0267
Vícenásobné R ²	0,0022	0,0000
Upravené R ²	-0,0227	-0,0250
F (1,40)	0,0900	0,0003
p	0,7657	0,9867
Směrodatná chyba odhadu	1,1433	0,9847

5.4.1 Vzorek celého pečeného cvrčka domácího

V dalším dotazníkovém šetření se odkrývá rozpor mezi očekáváním určité chuti u respondentů na základě vizuálního podmětu a předchozích zkušeností a skutečných vlastností. Respondenti hodnotili vzorek celého pečeného cvrčka domácího nejprve po jeho prohlédnutí. Následně vzorek ochutnali a znovu zhodnotili. 69,4 % respondentů předložený vzorek ochutnalo, zatímco zbylých 30,6 % si vzorek pouze prohlédlo. Z výsledků respondentů, kteří vzorek ochutnali, vyplývá statisticky významný rozdíl mezi hodnocením před a po degustací vzorku ($p < 0,05$). U mužů i žen došlo k nárůstu přijatelnosti (tab. 5.12) o více než 27 %.

Tab. 5.12: Statistické hodnocení rozdílu před a po degustací vzorku celého pečeného cvrčka domácího (*Acheta domestica*) u celé skupiny respondentů.

	Před degustací	Po degustaci
Muži	36,35 ± 22,25	64,18 ± 15,52
Ženy	32,95 ± 21,57	60,25 ± 16,67
Všichni respondenti	33,55 ± 21,73	60,91 ± 16,55

Z výsledku analýzy, kdy byl zkoumán statisticky významný rozdíl mezi hodnocením vzorku před ochutnáním a pohlavím, vyplynulo, že nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi hodnocením žen a mužů ($p > 0,05$). Obdobně tomu bylo i u analýzy zkoumající rozdíl mezi hodnocením vzorku po ochutnání a pohlavím. I zde nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi hodnocením mužů a žen ($p > 0,05$). Přestože nebyl zaznamenán statisticky významný rozdíl mezi muži a ženami z tab. 5.12 vyplývá, že muži mají průměrně o 4 % vyšší přijatelnost vzorku než ženy.

Rozpor mezi očekáváním určité chuti u respondentů na základě vizuálního podmětu a předchozích zkušeností a skutečných vlastností prokázal ve své studii také např. Yeomans et

al. (2008), kteří zkoumali rozdíl v očekávání určité chuti a skutečné senzoričké zkušenosti při degustaci mraženého výrobku z lososa s dominující slanou chutí. Respondenti, kterým byl výrobek předložen pouze s označením „zmrzlina“ a kteří neměli informaci o jeho složení, očekávali příjemnou sladkou chuť ovoce. Z tohoto důvodu výrazně kleslo jejich hodnocení a výrobek označovali často jako nechutný. Naopak u respondentů, kterým byl výrobek předložen jako „zmražená slaná pěna“ nebyl tento pokles nalezen a respondenti hodnotili tyto vzorky v souladu se svým očekáváním. Pokusy Yeomans et al. (2008) dokládají, že očekávání hraje významnou roli při vytváření odpovědi na potravinové stimuly - stejná potravina může mít přijatelnou chuť, pokud jsou očekávání a aktuální chuť v souladu, ale může být i nechutná nebo naopak velmi chutná, pokud je očekávání s aktuální chutí v rozporu.

Capparos Megido et al. (2014) ve své studii zkoumal akceptaci jedlého hmyzu u belgických zákazníků. Studie byla provedena s larvami potměníka moučného a dospělci cvrčka domácího v různých úpravách. Přestože byla zjištěna mírná neofobie, lidé souhlasili s hodnocením hmyzích vzorků a po hedonickém testu vypadali, že jsou ochotni jíst a vařit hmyz i v budoucnu. Respondenti nejlépe hodnotili moučného červa pečeného, v čokoládě a s paprikou. Nejvíce byl hmyz vnímán jako předkrm (pravděpodobně z důvodu malé velikosti), dále jako hlavní jídlo nebo dezert. Studie tím ukazuje potenciál jedlého hmyzu, který by se mohl stát se obvyklou potravinou v západoevropských populacích. Dále výsledky ukazují, že spotřebitelé jsou připraveni kupovat a vařit hmyz doma, pokud jsou schopni asociovat je se známými příchutěmi.

5.5 Vybrané ukazatele bezpečnosti vzorků z jedlého hmyzu

5.5.1 Mikrobiologická charakteristika materiálů z jedlého hmyzu

Výsledky mikrobiologických rozborů pro sledované druhy jedlého hmyzu jsou uvedeny v tab. 5.13. V práci byl z těchto hodnot stanoven celkový počet mikroorganismů, jehož limit byl překročen pouze u potměníka stájového (*Alphitobius diaperinus*) a to přibližně 5x ($2,3 \cdot 10^6$ CFU/g). U ostatních vzorků nebyl limit překročen, a to i přesto, že Suchánková (2016) dokumentuje u podobných vzorků překročení limitu. Suchánková (2016) však uvádí hodnoty pro živý, právě usmrcený hmyz, ale v této práci je uváděný hmyz usmrcený a usušený. Touto tepelnou úpravou (103 °C po dobu 12 hodin) dochází ke snížení aktivity vody (Adams et al., 2002) a tím snížení množství mikroorganismů na bezpečnou úroveň. Suchánková (2016) dále ve své práci popisuje mikrobiologické charakteristiky dlouhodobě

zamražených vzorků, u kterých byla překročený nejvyšší přípustný limit mimo vzorků saranče stěhovavé (*Locusta migratoria*) – nymfy a potemníka brazilského (*Zophobas morio*).

Tab. 5.13: Mikrobiologická charakteristika materiálů pro sledované druhy hmyzu [CFU/g].

Druh	Rok chovu	Vývojové stádium	Celkový počet mikroorganismů (CPM)	Koliformní bakterie	Mléčné bakterie (laktobacily)	Kvasinky a plísňe
<i>Tenebrio molitor</i>	2015	Larvy	$6,6 \cdot 10^3$	<10	$3,8 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^4$
<i>Tenebrio molitor</i>	2016	Larvy	$5,4 \cdot 10^3$	<10	$2,6 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^3$
<i>Alphitobius diaperinus</i>	2016	Larvy	$2,3 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^6$	$2,8 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^6$
<i>Gryllus assimilis</i>	2014	Dospělec	<10 ²	<10	<10 ²	$7 \cdot 10^2$
<i>Gryllus assimilis</i>	2016	Nymfy	$7,1 \cdot 10^3$	<10	$2,2 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$
<i>Locusta migratoria</i>	2015	Dospělec	$7,3 \cdot 10^3$	<10	$1,6 \cdot 10^4$	$2,6 \cdot 10^3$

Z porovnání analýz vyplývá, že z hlediska mikrobiologické bezpečnosti je vhodnější usmrcení, sušení a následné skladování než usmrcení a zamražení vzorků. V zahraničních studiích (Klunder et al., 2012; Vandeweyer et al., 2015; Stoops et al., 2016; Ssepuuya, 2017) jsou uváděny výsledky pro rozbor živého hmyzu, kde byly limity pro mikrobiologickou bezpečnost překročeny u všech sledovaných vzorů uvedených v naší práci. Sledování mikrobiologické bezpečnosti u vzorků, které byly tepelně upraveny, následně skladovány v boxu, aby nedošlo ke kontaminaci z vnějšího prostředí, prováděl Grabowski (2017). Z jeho studie vyplývá, že u potemníka brazilského (*Zophobas atratus*) při vaření 10 minut a sušení 24 hodin při 80 °C došlo ke snížení CPM pod nebezpečnou hladinu po dobu 5 dnů skladování. Pokud byla teplota sušení 60 °C, nedošlo ke snížení CPM pod maximální přípustný limit a potravinu zůstala nevhodnou pro lidskou konzumaci. Poslední testovanou tepelnou úpravou bylo vaření po dobu 30 minut s následným sušením 80 °C po dobu 12 hodin a sušením při 100 °C po dobu 12 hodin. Je zajímavé, že u této tepelné úpravy došlo ke snížení CPM pod nejvyšší přípustný limit pouze v první den skladování a v dalších dnech CPM stoupl nad povolený bezpečný limit. Na druhou stranu *Staphylococcus* v těchto vzorcích na rozdíl od ostatních termických úprav nebyl detekován. U cvrčka dvojskvrnného (*Gryllus bimaculatus*) Grabowski (2017) detekoval CPM nad bezpečnou hladinou u všech vzorků.

Dalšími sledovanými mikroorganismy byly koliformní bakterie, které u žádného ze všech sledovaných vzorků mimo potemníka stájového (*Alphitobius diaperinus*) nebyly detekovány. U vzorku potemníka stájového (*Alphitobius diaperinus*) byla stanovena hodnota

$1,6 \cdot 10^6$ CFU/g. Tato hodnota je vyšší než u ostatních vzorků z důvodu chovných podmínek a přírodovědného druhu. V dostupné literatuře jsou uváděny obdobné výsledky při použití termických úprav. Klunder et al. (2012) stanovili ve vařených vzorcích potměníka moučného (*Tenebrio molitor*) a cvrčka domácího (*Acheta domestica*) v množství pod 10 CFU/g u celé skupiny bakterií *Enterobacteriaceae*. K obdobným hodnotám dospěla i Suchánková (2016) pro pečeného potměníka moučného (*Tenebrio molitor*) 13 CFU/g a pro smaženého cvrčka stepního (*Gryllus assimilis*) 25 CFU/g. Z důvodu usmrcení jedinců vroucí vodou proběhl na vzorcích krátký termický ohřev, při kterém ve shodě s literaturou, k účinnému ničení koliformních bakterií.

Kvasinky a mikroskopické vláknité houby, které jsou producenty mykotoxinů s častým dopadem na lidské zdraví, jsou také indikátorem narušení potravin a znečištění životního prostředí (Tančinová et al., 2008). Úroveň kvasinek a plísní ve vzorcích se pohybovala od $7 \cdot 10^2$ CFU/g u vzorku cvrčka stepního (*Gryllus assimilis*) (dospělci 2014) do $2,6 \cdot 10^6$ CFU/g u potměníka stájového (*Alphitobius diaperinus*). U tohoto vzorku byla množství kvasinek a plísní výrazně vyšší než u ostatních vzorků. Přestože v této práci byly analyzovány vzorky po termické úpravě, při které by mělo dojít k eliminaci kvasinek a plísní, následné skladování probíhalo při pokojové teplotě, která je výhodná pro jejich růst. Suchánková (2016) zvolila skladování při nízkých teplotách, u kterých předpokládala udržení koncentrace těchto mikroorganismů. Výsledek jejího experimentu prokázal, že kvasinky a mikroskopicky vláknité houby jsou odolné i těmto teplotám a dokážou při nich vegetovat – množství se zvýšilo. Ostatní autoři uvádí obsah kvasinek a mikroskopicky vláknitých hub v živém hmyzu, kdy průměrná hodnota se pohybovala mezi 10^5 až 10^6 CFU/g. Tato práce dokladuje, že sušení je efektivním způsobem snížení kvasinek a plísní v jedlém hmyzu.

Bakterie mléčného kvašení (BMK) jsou v přírodě velmi rozšířené, z potravinářského a biotechnologického hlediska důležité (Tančinová et al., 2008) a mají pozitivní vliv na zdraví člověka (Suchánková, 2016). Bakterie rodu *Lactobacillus* produkují enzymy, které umožňují rozkládat složitější látky v potravě na látky jednodušší. Z tohoto důvodu mají BMK prospěšné účinky hlavně na střevní mikrobiotu – zlepšují peristaltiku střev a zabraňují množení škodlivých bakterií. Dále ovlivňují imunitní systém, umožňují produkci vitamínů a pomáhají při vstřebávání železa, vápníku a dalších látek (Agerholm-Larsen et al., 2000; Adams et Moss, 2002).

Vzhledem k velké rozšířenosti bakterií mléčného kvašení v přírodě bylo u živého hmyzu stanoveno relativně vysoké množství těchto bakterií. U živých larev potměníka moučného (*Tenebrio molitor*) stanovil Vandeweyer et al. (2015) v rozsahu od $2,5 \cdot 10^7$ do

$1,6 \cdot 10^8$ CFU/g a cvrčka domácího (*Acheta domestica*) v rozsahu od $2,0 \cdot 10^7$ do $7,9 \cdot 10^7$ CFU/g. V živých vzorcích nymf sarančete stěhovavého (*Locusta migratoria*) naměřil Stoops et al. (2016) množství mléčných bakterií v rozmezí $4,0 \cdot 10^7$ - $3,2 \cdot 10^8$ CFU/g a u potemníka moučného (*Tenebrio monitor*) v rozmezí $1,0 \cdot 10^7$ - $4,0 \cdot 10^8$ CFU/g. Výsledky jsou ve shodě se Suchánkovou (2016), která dále uvádí množství mléčných bakterií u dlouhodobě zamražených vzorků. U druhů sledovaných v této práci obsahovaly změřené vzorky množství mléčných bakterií v rozsahu od $1,8 \cdot 10^3$ CFU/g u saranče stěhovavé do $5,0 \cdot 10^5$ CFU/g u nymfy cvrčka stepního. Suchánková (2016) dokládá, že tepelnou úpravou potravin mimo optimální teplotu růstu BMK dochází ke snížení jejich množství. Tento výsledek je prokázán i v této práci, kde po termické úpravě byl naměřen průměrný obsah o 4 řády nižší než u vzorků z živého hmyzu. Rozsah BMK naměřených v této práci byl od $<10^2$ CFU/g u vzorku cvrčka stepního (*Gryllus assimilis*) (dospělci 2014) do $2,8 \cdot 10^6$ CFU/g u potemníka stájového (*Alphitobius diaperinus*). U tohoto vzorku bylo množství BMK výrazně vyšší než u ostatních vzorků. Předpokládá se, že u ostatních vzorků došlo ke snížení a udržení nízké vodní aktivity po celou dobu skladování, která zabránila mikrobiologickým změnám a následnému znehodnocení potravin.

Z výše uvedeného vyplývá, že nejvhodnější pro dlouhodobé skladování je námi zvolená úprava – spaření vroucí vodou $100\text{ }^\circ\text{C}$ a následné sušení 12 hodin při teplotě $103\text{ }^\circ\text{C}$ v hermeticky uzavřených obalech. V dostupné literatuře jsou uváděny mikrobiologické charakteristiky jednotlivých druhů hmyzu v živém stavu. Tato práce byla však zaměřena na sledování mikrobiologických parametrů v sušeném hmyzu, protože se předpokládá, že jedlý hmyz se bude konzumovat nejčastěji v sušené formě. Množství mikroorganismů v jedlém hmyzu při různých úpravách (např. čerstvý, mražený, sušený,...) závisí nejen na přírodovědném druhu, krmivu, chovných podmínkách, ale i na konkrétních podmínkách jeho zpracování a skladování. Podmínky pro zpracování a skladování výrobků z jedlého hmyzu však dosud nejsou legislativně stanoveny.

5.5.2 Vybrané těžké kovy v jedlém hmyzu

V analyzovaných vzorcích larev potemníka moučného byla hodnota kadmia i olova pod hranicí detekce použitého senzoru (limit detekce je pro olovo $2\text{ }\mu\text{g/l}$ a kadmium $3\text{ }\mu\text{g/l}$). Senzorem je možné stanovit hladiny koncentrace kadmia a olova uváděné jako maximální limit v nařízení Komise 1881/2006 (olovo $0,5\text{ mg/kg}$ tj. $2,41\text{ }\mu\text{g/l}$ a Cd tj. $4,46\text{ }\mu\text{g/l}$). Přestože se jedná o prvotní výsledky získané senzory s limity detekce mírně pod maximálními limity

povolenými v dané komoditě, jeví se z tohoto důvodu hodnota koncentrace kadmia a olova v daném vzorku pro konzumaci bezpečná.

Poma (2017) zkoumal ve své studii devět minerálních látek. U druhu potěmník moučný (*Tenebrio molitor*) naměřil obsah Cd 0,06 mg/kg a obsah Pb byl u vzorku nižší, než byla hranice jím použité detekce. Hladina detekovaných těžkých kovů v této studii byla nižší, než uvádí nařízení Komise 1881/2006 a nižší nebo srovnatelná s konvenčními druhy potravin živočišného původu.

5.6 Dlouhodobé skladování jedlého hmyzu

U skladovaných materiálů pro přípravu potravin může v průběhu doby skladování docházet k různým vnitřním chemickým procesům, které mohou vést ke zhoršení organoleptických vlastností, ke snížení obsahu nutričně cenných látek a ke vzniku zdravotně závadných složek (Saláková a Bořilová, 2014). Druhy procesů a jejich intenzita závisí na druhu materiálu, jeho technologické úpravě, druhu a podmínkách skladování atd.

5.6.1 Mikrobiologická charakteristika dlouhodobě skladovaného materiálu

Mikrobiologické procesy jsou jednou ze skupin vnitřních chemických procesů, které probíhají v materiálu při skladování a mohou vést ke zhoršení vlastností těchto materiálů. Mikrobiologické rozbory byly provedeny u šesti vzorků uvedených v tab. 5.13. V tabulce jsou dva druhy hmyzu, které je možné porovnat s ohledem na dobu skladování – potěmník moučný (*Tenebrio molitor*) a cvrček stepní (*Gryllus assimilis*). U vzorků potěmníků moučných zabíjých a uskladněných jeden a dva roky před analýzou je možné sledovat mírný nárůst CPM a mléčných bakterií s dobou uskladnění. U obou vzorků byly koliformní bakterie pod hranicí detekce. Počet kvasinek a plísni stoupl 10x. U vzorků cvrčka stepního, které byly zpracovány a uskladněny jeden a tři roky před měřením, byl obdobně jako u potěmníka moučného počet koliformních bakterií pod hranicí detekce. CPM, počet mléčných bakterií a počet kvasinek a plísni byl však u staršího vzorku menší než u novějšího. Důvodem je, že u vzorku skladovaného kratší dobu byly mikroorganismy v aktivní formě, zatímco u vzorku skladovaného delší dobu došlo k tvorbě spor a inaktivaci aktivní formy.

Přesné srovnání s ostatními autory není možné z důvodu jiné technologické přípravy vzorku, jiné doby skladování a jeho dalších parametrech. Většina autorů provádí analýzu hlavně u živých vzorků bez tepelné úpravy po dobu do jednoho měsíce a modifikuje podmínky skladování (Stoops et al. 2016, Suchánková, 2016) nebo provádí jiné termické úpravy, než jsou uvedeny v této práci (Grabowski et al., 2017; Ssepuyaya et al., 2017).

5.6.2 Oxidace tuků u dlouhodobě skladovaného materiálu z jedlého hmyzu

Oxidace při skladování tuků z jedlého hmyzu byla analyzována pomocí peroxidového a thiobarbiturového čísla. Peroxidové číslo (PČ) naměřeno pro vybrané vzorky ukazuje tab. 5.14. U vzorku potemníka moučného (*Tenebrio molitor*) bylo naměřeno PČ po šesti dnech od usmrcení více než 45 mmol akt. O₂/kg tuku extrahovaného z hmyzu. Tato hodnota byla vyšší než u vzorku změřeného ihned po usmrcení a to pravděpodobně z důvodu vzniku velkého množství primárních oxidačních produktů (hydroperoxidů) při přípravě vzorku, hlavně při sušení v peci. Dále byl vzorek dlouhodobě skladován a po 144 dnech skladování byla naměřena hodnota PČ = 4,34 mmol akt. O₂/kg tuku. Tato hodnota odpovídala teorii, že PČ se snižuje s dobou skladování po dosažení maxima. Obdobnou tendenci měla analýza vzorku potemníka brazilského (*Zophobas morio*).

Tab. 5.14: Peroxidové číslo (PČ) pro sledované druhy hmyzu [mmol akt. O₂/kg tuku]

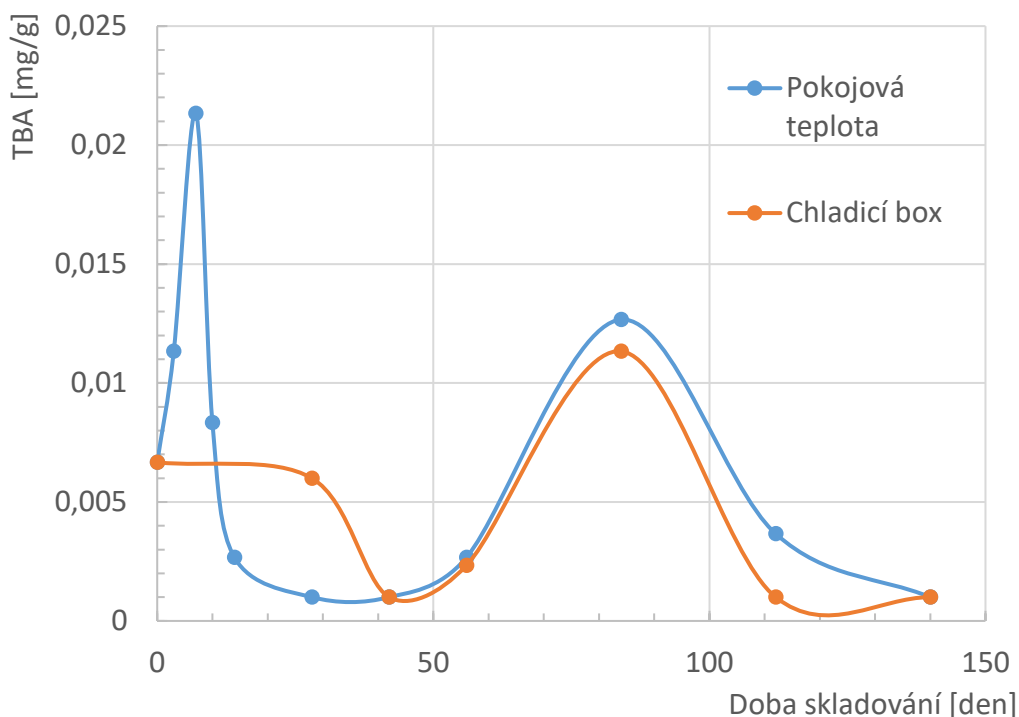
Druh	Datum usmrcení	Datum měření	Stáří vzorku [den]	m [g]	V ₁ [ml]	V ₀ [ml]	PČ [mmol akt. O ₂ /kg tuku]
<i>Zophobas morio</i>	15.12.2016	15.12.2016	0	1,7549	> 40,00	3,01	> 21,08
<i>Zophobas morio</i>	21.7.2016	12.12.2016	144	1,3761	7,55	3,01	3,30
<i>Tenebrio molitor</i>	15.12.2016	15.12.2016	0	1,2349	> 40,00	3,01	> 29,95
<i>Tenebrio molitor</i>	15.12.2016	21.12.2016	6	0,7481	37,15	3,01	45,64
<i>Tenebrio molitor</i>	21.7.2016	12.12.2016	144	0,6312	5,75	3,01	4,34

V případě druhu potemník brazilský (*Zophobas morio*) byla měřena celá larva a homogenizovaný vzorek. Dále byly vzorky uskladněny za pokojové teploty a v chladicím boxu. U obou vzorků celých larev shodně, jak u pokojové teploty, tak i u vzorků uskladněných v chladicím boxu, byla naměřena od 50 dne skladování vzrůstající tendence thiobarbiturového čísla, která dosáhla vrcholu kolem 80 dne skladování a následně klesala, jak ukazuje graf 5.7. Vypočtené hodnoty thiobarbiturového čísla se pohybovaly v rozmezí od 0,001 do 0,029 mg/g. Vzorky uskladněné při pokojové teplotě a v chladicím boxu vykazovaly statisticky významnou závislost na čase skladování ($p < 0,05$), ale rozdíl mezi oběma skladovacími místy byl vyhodnocen jako statisticky neprůkazný ($p > 0,05$).

Davídek et Velíšek (1992) uvedli hodnotu tiobarbiturového čísla na době skladování u komodit živočišného původu běžně vyšší (0,1 až 0,05 mg/g) než u vzorků naměřených v této práci. Důvodem je vysoká stabilita tuku u potemníka brazilského. Jak uvedla Marinovová (2015), na stanovení thiobarbiturového čísla u vzorků z jedlého hmyzu můžou

mít vliv externí vlivy, jako jsou například morfologie hmyzu (chitin v exoskeletu brání oxidaci), obsah antioxidantů a podobně.

Graf 5.7: Průběh thiobarbiturového čísla (TBA) [mg/g] u vzorku celých larev potemníka brazilského v závislosti na době a teplotě skladování.



Oxidační procesy probíhající v tucích se odráží také na profilu mastných kyselin, kdy na počátku skladování je ve vzorku nižší zastoupení nasycených mastných kyselin a vyšší zastoupení polyenových mastných kyselin. V průběhu skladování přechází mastné kyseliny s dlouhým řetězcem na kyseliny s kratším řetězcem a polyenové mastné kyseliny přechází na monoenoové mastné kyseliny a následně na nasycené mastné kyseliny (hydrogenace dvojných vazeb). Z tohoto důvodu vykazovaly vzorky potemníka brazilského (*Zophobas morio*) na konci skladovacího experimentu (skladování v chladicím boxu a u pokojové teploty) snížení celkového obsahu polyenových mastných kyselin a nárůst kratších nasycených řetězců, tab. 5.15 a tab. 5.16

Obsah linolové kyseliny byl naměřen v této práci 23,0 % na počátku skladování a na konci skladovacího experimentu 13,2 % při skladování v chladicím boxu a 9,9 % při skladování za pokojové teploty. Naopak v případě laurové kyseliny došlo k nejvýraznější změně původní hodnoty k hodnotě na konci skladování, kdy obsah této kyseliny stoupl z 0,06 % na začátku skladování po 7,69 % na konci skladování. Tato hodnota potvrdila

zvyšující se relativní obsah SFA v porovnání s klesajícím obsahem PUFA. Při uskladnění za pokojové teploty byl stanoven vyšší obsah SFA než při skladování v chladicím boxu. Z tohoto vyplývá, že u vyšších teplot docházelo k rychlejší degradaci PUFA na SFA.

Tab. 5.15: Profil mastných kyselin (SFA) v závislosti na teplotě skladování pro druh potměnk brazilský (*Zophobas morio*).

Mastné kyseliny	10/2014	3/2015		3/2015	
	Počátek [%]	Chladicí box	Změna	Pokožová teplota	Změna
		[%]	[%]		[%]
SUFA					
C4:0	0,04	0,05	↑	0,01	↓
C6:0	0,01	0,09	↑	0,10	↑
C8:0	0,44	0,28	↓	0,09	↓
C10:0	0,06	2,11	↑	0,94	↑
C11:0	0,00	0,02	↑	0,01	↑
C12:0	0,06	7,69	↑	3,15	↑
C13:0	0,03	0,04	↑	0,03	↑
C14:0	1,25	9,27	↑	5,58	↑
C15:0	0,42	0,53	↑	0,56	↑
C16:0	31,78	27,65	↓	33,13	↑
C17:0	0,90	0,42	↓	0,46	↓
C18:0	8,02	6,35	↓	6,99	↓
C20:0	0,27	0,18	↓	0,15	↓
C21:0	0,04	0,01	↓	0,01	↓
C22:0	0,23	0,08	↓	0,05	↓
C24:0	0,01	0,06	↑	0,01	-
Suma	43,56	54,83	↑	51,27	↑

Pozn. Sloupec „Změna“ označuje směr změny k původní hodnotě na počátku skladování.

Dále byly analyzovány sušené a homogenizované vzorky pro cvrčka stepního (*Gryllus assimillis*), saranče stěhovavou (*Locusta migratoria*), potměníka moučného (*Tenebrio molitor*) a potměníka brazilského (*Zophobas morio*). Doba uskladnění těchto vzorků byla různá od 255 dní do 837 dní. U jednotlivých vzorků docházelo jen k mírnému nárůstu thiobarbiturového čísla. Nejvýraznější změna se projevila u saranče stěhovavé (*Locusta migratoria*), kde hodnota narostla na 0,016 mg/g. U vzorků cvrčka stepního (*Gryllus assimillis*) nedošlo k významné změně obdobně jako u vzorků potměníka moučného (*Tenebrio molitor*). Hodnoty ve většině měření nepřesáhly hranici detekce. U vzorků potměníka brazilského (*Zophobas morio*) hodnota thiobarbiturového čísla s dobou skladování

jen mírně narůstala. Po 837 dnech skladování při pokojové teplotě byla hodnota thiobarbiturového čísla 0,011 mg/g.

Tab. 5.16: Profil mastných kyselin (MUFA, PUFA) v závislosti na teplotě skladování pro druh potěmník brazilský (*Zophobas morio*).

	10/2014	3/2015		3/2015	
	Počátek [%]	Chladicí box [%]	Změna	Pokojová teplota Změna [%]	
Mastné kyseliny					
MUFA					
C14:1 (cis-9)	0,01	0,42	↑	0,25	↑
C16:1 (cis-9)	0,60	2,08	↑	3,39	↑
C17:1 (cis-10)	0,01	0,01	-	0,19	↑
C18:1 (trans-9)	0,02	0,01	↓	0,82	↑
C18:1 (cis-9)	31,89	27,00	↓	31,99	↑
C20:1 (cis-11)	0,10	0,33	↑	0,43	↑
C22:1 (cis-13)	0,01	0,08	↑	0,07	↑
C24:1 (cis-15)	0,01	0,06	↑	0,03	↑
Suma	32,65	29,99	↓	37,17	↑
PUFA					
C18:2 (trans-9,12)	0,01	0,02	↑	0,01	-
C18:2 (cis-9,12)	22,98	13,21	↓	9,91	↓
C18:3 (cis-6,9,12)	0,02	0,08	↑	0,10	↑
C18:3 (cis-9,12,15)	0,62	1,17	↑	0,63	↑
C20:2 (cis-11,14)	0,11	0,27	↑	0,21	↑
C20:3 (cis-8,11,14)	0,01	0,31	↑	0,25	↑
C20:3 (cis-11,14,17)	0,02	0,04	↑	0,03	↑
C20:4 (cis-5,8,11,14)	0,04	0,01	↓	0,31	↑
C20:5 (cis-5,8,11,14,17)	0,01	0,04	↑	0,04	↑
C22:6 (cis-4,7,10,13,16,19)	0,01	0,06	↑	0,20	↑
Suma	23,83	15,21	↓	11,69	↓

Pozn. Sloupec „Změna“ označuje směr změny k původní hodnotě na počátku skladování.

Z hlediska charakteristik materiálů sledovaných v této práci v souvislosti s dobou skladování je možné konstatovat, že doba skladování jedlého hmyzu může být delší než 6 měsíců. Tuto délku skladování potvrzuje i praxe. Např. farma Thailand Unique na svých výrobcích uvádí dobu trvanlivosti minimálně 6 měsíců a u některých produktů je doba trvanlivosti prodloužena na 12 měsíců (Marinová, 2015). S delší dobou skladování může docházet ke zhoršení organoleptických vlastností a také ke snížení obsahu nutričně cenných látek (Davídek et Velíšek, 1992).

Výsledky dále dokázaly, že na změny při skladování materiálu z jedlého hmyzu má vliv celé spektrum fyzikálních, chemických a mikrobiologických vlivů, které je nutné z bezpečnostního a zdravotního hlediska dále sledovat a analyzovat.

6 ZÁVĚR

Z důvodu neustále rostoucího zájmu o entomofágii v současnosti bylo cílem disertační práce analyzovat vybrané nutriční hodnoty u druhů jedlého hmyzu, u kterých se předpokládá jejich možná konzumace v budoucnosti. Na základě doporučení EFSA (2015) byly do práce zařazeny larvy potemníka moučného (*Tenebrio molitor*), larvy potemníka brazilského (*Zophobas morio*), larvy potemníka stájového (*Alphitobius diaperinus*) a nymfy cvrčka stepního (*Gryllus assimilis*). Dále proběhlo zjištění vlivu životních chovných podmínek na nutriční hodnoty. Dále byla zjištěna přijatelnost materiálů jedlého hmyzu jako potravinového nového typu a vybrané nutriční, toxikologické a mikrobiologické parametry dlouhodobě skladovaných materiálů z jedlého hmyzu pro zjištění optimální doby skladování.

Hypotéza H1: Při stanovení optimálních chovných podmínek, vývojových fází a optimálních krmných dávek je možné získat dobrou produkci hmyzu s optimálními nutričními vlastnostmi pro výživu lidí, případně i pro použití ve speciální výživě lidí.

Při stanovení optimálních chovných podmínek, vývojových fází a optimálních krmných dávek (hypotéza H1) vyplynulo, že univerzální doporučení pro všechny druhy hmyzu při optimalizaci jejich nutričních hodnot neexistují, protože každý jedlý druh obsahuje různé živiny.

- **dílčí cíl 1/1:** Stanovit optimální chovné podmínky pro vybrané druhy jedlého hmyzu pomocí analýzy základních nutričních hodnot.

Dílčí cíl byl splněn. Tento cíl byl řešen společně s dílčí částí 1/3. Ze získaných výsledků vyplynulo, že vhodnou kombinací chovné teploty a krmiva lze získat jedlý hmyz s různou nutriční hodnotou, který může být použit k docílení optimálních nutričních parametrů jak pro běžnou výživu lidí, ale i pro speciální výživu a doplňky stravy. I když univerzální pravidla pro optimalizaci nutričních hodnot jedlého hmyzu neexistují, byly u modelového druhu potemník moučný (*Tenebrio molitor*) stanoveny chovné podmínky, kterými lze dosáhnout optimalizace určitého nutričního parametru. V práci byl zjištěn průměrný nejvyšší obsah tuku při teplotě 20 °C. Naopak nejnižší obsah tuku byl zjištěn při teplotě 25 °C. U druhu potemník brazilský (*Zophobas morio*) a cvrček stepní (*Gryllus asimillis*) bylo provedeno porovnání mezi farmovým chovem v ČR a na ostrově Sumatra. Z analýz vyplynul rozdíl mezi nutričními hodnotami v závislosti na životních podmínkách.

- **dílčí cíl 1/2:** Stanovit nejvhodnější vývojové fáze k získání nejvhodnější kvantity nebo kvality nutričních složek pro vybrané druhy jedlého hmyzu.

Dílčí cíl byl splněn. Vliv vývojových fází na získání specifických nutričních hodnot byl zkoumán na modelovém druhu potěmník moučný. Výsledky nepotvrdily statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými vývojovými stádii, avšak jsou v souladu s ostatní odbornou literaturou, která uvádí velké variace u jednotlivých nutričních hodnot.

- **dílčí cíl 1/3:** Stanovit nejvhodnější složení krmné dávky pro získání nejvhodnější kvantity nebo kvality nutričních složek pro vybrané druhy jedlého hmyzu.

Dílčí cíl byl splněn. Pro získání nejvyššího obsahu tuku byla stanovena teplota 20 °C při krmení hmyzu pšeničnými otrubami. Naopak nejnižší obsah tuku byl stanoven při krmení čočkou při teplotě 15 °C nebo 25 °C, u které byl z výživového hlediska zjištěn nejvyšší obsah monoenoových mastných kyselin a dostatečný podíl polyenoových mastných kyselin.

Hypotéza H2: Senzorické vlastnosti vybraných druhů jedlého hmyzu budou přijatelné pro běžného konzumenta z České republiky.

- **dílčí cíl 2/1: Zjistit formou dotazníkového šetření senzorické vlastnosti vybraného druhu jedlého hmyzu a postoj laické veřejnosti k přijetí vybraného druhu hmyzu do potravinového koše.**

Dílčí cíl byl splněn. Byla zjištěna změna postoje veřejnosti ke konzumaci jedlého hmyzu. Dotazníková šetření u laické veřejnosti v ČR prokázalo ochotu degustovat vzorky jedlého hmyzu. Pozitivní je, že respondenti nevyloučili možnost vědomé konzumace jedlého hmyzu v budoucnosti. V případě vědomé viditelné konzumace potěmníka moučného a brazilského si respondenti asociovali jeho chuť se známými příchutěmi (slaná, sladká, oříšková, kuřecí), čímž se postoj k této komoditě dále zlepšil. Dalším dotazníkovým šetřením bylo prokázáno, že přijatelnost konzumace hmyzu se před a po degustaci u respondentů (u mužů i žen) zvýšila o více než 27 %. Průměrně by bylo ochotno konzumovat hmyz více než 60 % respondentů, což dokázalo postupné přijetí jedlého hmyzu jako součást potravinového koše. Respondenti také hodnotili hmyz jako cenný zdroj proteinů, možnou alternativní potravinu a zážitkovou záležitost. To ukazuje na vývoj postoje českého konzumenta, který je ochotný přijmout jedlý hmyz jako potravinu nového typu.

Hypotéza H3: Při stanovení optimální doby skladování je možné zajistit udržení dostatečných vlastností nutričních složek pro výživu zvířat a lidí po tuto dobu.

- **dílčí cíl 3/1: Stanovit optimální dobu skladování k udržení dostatečných nutričních hodnot materiálů z jedlého hmyzu a zhodnotit jeho hygienickou a toxikologickou kvalitu s ohledem na bezpečnost potravin.**

Dílčí cíl byl splněn. V této části práce byly hodnoceny mikrobiologické charakteristiky vybraných druhů hmyzu s různou dobou skladování. Pouze u vzorku potměníka stájového (*Alphitobius diaperinus*) byl překročen povolený limit. Z vlastních výsledků a literární rešerše vyplynulo, že pro dlouhodobé skladování je nejvýhodnější usmrcení hmyzu vroucí vodou, sušení při teplotě 103 °C po dobu 12 hodin a následné hermetické uzavření v obalech. Z hlediska bezpečnosti byl dále zkoumán obsah těžkých kovů v modelovém druhu potměník moučný (*Tenebrio molitor*), u kterého nebyl překročen povolený limit. Dále byl tuk vyextrahovaný z jedlého hmyzu podroben chemickým analýzám (měření peroxidového a thiobarbiturového čísla). Z hlediska charakteristik materiálů zkoumaných v souvislosti s dobou skladování lze potvrdit hypotézu, že při stanovení optimálních skladovacích podmínek je možné zajistit dobré nutriční vlastnosti po dobu minimálně 6 měsíců.

Význam práce spočívá v rozšíření možnosti uplatnění jedlého hmyzu do jídelníčku evropského konzumenta. Práce konkrétně přispěje novými výsledky, které využijí chovatelé pro získání hmyzu s nutričními hodnotami, které požaduje spotřebitel. Na nedostatek těchto informací upozorňuje ve svém dokumentu také EFSA (2015) Výsledky práce byly publikovány v časopise *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *Journal of the Society of Nutrition and Food Science*, *Potravinářstvo*, *Výživa a potraviny a Maso*. Práce tak rozšiřuje nejen současné poznatky o chovu jedlého hmyzu za účelem získání specifických nutričních hodnot, ale také přispěje i ke zvýšení informovanosti veřejnosti o problematice entomofágie.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Adams, M., Moss, M. O. 2002. Food microbiology. The royal society of chemistry. Cambrige. p. 479. ISBN 0-85404-611-9.
- Agerholm-Larsen, L., Raben, A., Haulrik, N., Hansen, AS., Manders, M., Astrup, A. 2000. Effect of 8 week intake of probiotic milk products on risk factors of cardiovascular dideases. *European Journal of Clinical Nutrition*. 54 (4). 288- 297.
- Akinnowo, O., Ketiku, A. O. 2000. Chemical composition and fatty acid profile of edible larva of *Cirina forda* (Westwood). *African Journal of Biomedical Research*. 3 (2). 93-96.
- Al-Hayani, A. A., Hamdy, R. M., Abd El-Aziz, G. S., Badawoud, M. H., Aldaqal, S., Bedir, Y. 2011. Shellac: A Non-Toxic Preservative for Human Embalming Techniques. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 10 (12). 1561- 1567.
- Attia, Y. A., Al-Harhi, M. A., Korish, M. A., Shiboob, M. M. 2017. Fatty acid and cholesterol profiles, hypocholesterolemic, atherogenic, and thrombogenic indices of broiler meat in the retail market. *Lipids in Health and Disease*. 16 (1), article number 40. 1-11.
- Ayieko, A. M. 2007. Nutritional value of selected species of reproductive Isoptera and Ephemeroptera within the ASAL of Lake Victoria basin. *Journal of Discovery and Innovation*. 19 (2). 126 -130.
- Baião, N. C., Lara, L. J. C. 2005. Oil and fat in broiler nutrition. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 7. 129-141.
- Barker, D., Fitzpatrick, M. P., Dierenfeld, E. S. 1998. Nutrient composition of selected whole invertebrates. *Zoo Biology*. 17 (2). 123- 134.
- Barroso, F. G., de Haro, C., Sánchez-Muros, M-J., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., Pérez Bañón, C. 2014. The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture*. 422 423. 193- 301.
- Bednářová, M., Borkovcová, M., Zorníková, G., Zeman, L. 2010. Insect as food in Czech republic. 674-682. In: Škarpa, P. (eds). 2010. Mendelnet 2010. Mendel University in Brno. Brno. p. 1016. ISBN: 978-80-7375-453-2.
- Bednářová, M., Borkovcová, M., Mlček, J., Rop, O., Zeman, L. 2013. Edible insects - species suitable for entomophagy under condition of Czech Republic. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 61 (3). 587- 593.

- Bednářová, M., Borkovcová, M., Komprda, T. 2014. Purine derivate content and amino acid profile in larval stages of three edible insects. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 94. 71 -76.
- Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C. C., Paoletti, M. G., Ricci, A. 2013. Edible Insects in a Food Safety and Nutritional Perspicite: A critical Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 12. 296 -313.
- Bernard, J. B., Allen, M. E., Ullrey, D. E. 1997. Feeding captive insectivorous animals: Nutritional aspects of insects as food. 3. 1 7. In: *Nutrition Advisory Group Handbook, Fact Sheet*.
- Bhattacharyya, S. K., Chakraborty, S., Sharma, G., Kumawat, P., Dasgupta, S., Bandyopadhyay, S., Mukhopadhyay, R., Bandyopadhyay, A. 2012. Shellac as a Multifunctional Additive (MFA) in a Typical Truck Tyre Sidewall Compound. *Progress in Rubber Plastics and Recycling Technology*. 28 (4). 173-188.
- Bosch, G., Zhang, S., Oonincx, D. G. A. B., Hendriks, W. H. 2014. Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods. *Journal of Nutritional Science*. 3 (29). 1-4.
- Borkovcová, M., Bednářová, M., Fišer, V., Ocknecht, P. 2009. *Kuchyně hmyzem zpestřená 1*. Lynx. Brno. 135 s. ISBN 978-80-86787-37-4.
- van Broekhoven, S., Oonincx, D. G. A. B., van Huis, A., van Loon, J. J. A. 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.
- van Broekhoven, S., Bastiaan-Net, S., de Jong, N. W., Wichers, H. J. 2015. Influence of processing and in vitro digestion on the allergic cross-reactivity of three mealworm species. *Food Chemistry*. 196. 1075- 1083.
- Buchtová, H. 2014. *Výukové texty do praktických cvičení z předmětu Technologie a hygiena ryb a ostatních vodních živočichů a výrobků z nich, mražení a mrazírenských výrobků*. Veterinární a farmaceutická univerzita. Brno. 93 s. ISBN 978 80 7305 708 4.
- Bukkens, G. F. 2005. Insects in the human diet: Nutritional aspects. 545–577. In: Paoletti, M. G. (ed.) *Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails*. Science Publishers Enfield, NH, USA. p. 662. ISBN 9781578083398.
- Burton, O. T., Zacccone, P. 2007. The potential role of chitin in allergic reactions. *Trends in imunology*. 28. 419 -422.

- Camacho, A., Torres, A., Capote, J., Mata, J., Viera, J., Bermejo, L. A., Argüello, A. 2017. Meat quality of lambs (hair and wool) slaughtered at different live weights. *Journal of Applied Animal Research*. 45 (1). 400 -408.
- Caparros Megido, R., Sablon, L., Geuens, M., Brostaux, Y., Alabi, T., Blecker, C., Drugmand, D., Haubruge, É., Francis, F. 2014. Edible insects acceptance by Belgian consumers: promising attitude for entomophagy development. *Journal of Sensory Studies*. 29. 14 -20.
- Cerritos, R. 2009. Insects as food: an ecological, social and economical approach. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*. 4. 1-10.
- Collavo, A., Glew, R. H., Huang, Y. S., Chuang, L. T., Bosse, R., Paoletti, M. G. 2005. House cricket small-scale farming. 519 544. In: M. G. Paoletti, (ed). *Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails*. Science Publishers Enfield, NH, USA. p. 662. ISBN 9781578083398.
- Comby, B. 1990. *Délicieux insectes. Les protéines du futur*. Editions Jouvence. Geneve, Switzerland. p.105–119. ISBN: 2-914190-11-5.
- Chae, J., Kurokawa, K., So, Y., Hwang, H. O., Kim, M., Park, J., Jo, Y., Lee, Y. S., Lee, B. L. 2012. Purification and characterization of tenecin 4, a new anti-Gram-negative bacterial peptide, from the beetle *Tenebrio molitor*. *Developmental & Comparative Immunology*. 36. p. 540–546.
- Čapek, T., Janotová, L., Svobodová, H., Šuleková, P., Koblíha, J., Königová, J., Novotná, A., Cichovský, K. 2008. *Řešení aktuálních otázek v souvislosti se zajištěním jakosti a bezpečnosti potravin*. UniConsulting, s. r. o. Praha. 133 s.
- ČSN 56 9609. *Pravidla správné hygienické a výrobní praxe – Mikrobiologická pravidla pro potraviny. Princip stanovení a aplikace*. 2008. Český normalizační institut. Praha. 40 s.
- ČSN ISO 3960 (58 8765). *Živočišné a rostlinné tuky a oleje - Stanovení peroxidového čísla - Jodometrické (vizuální) stanovení koncového bodu*. 2010. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ). Praha. 20 s.
- Davídek, J. 1977. *Laboratorní příručka analýzy potravin*. SNTL. Praha. 255-256 s.
- Davídek, J., Janíček, G., Pokorný, J. 1983. *Chemie potravin*. Státní nakladatelství technické literatury. Praha. 629 s. ISBN 04-815-83.
- Davídek, J., Velíšek, J. 1992. *Analýza potravin*. VŠCHT. Praha. 122 s. ISBN: 80-7080-163-8.
- Defoliart, G. R. 1992. Insects as human food. *Crop Protection*. 11. 395 – 399.

- Devkota, B., Schmidt, G. H. 2000. Accumulation of heavy metals in food plants and grasshoppers from the Taigetos Mountains, Greece. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 78. 85–91.
- Diener, S., Zurbrugg, C., Tockner, K. 2009. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: Establishing optimal feeding rates. *Waste Management and Research*. 27. 603-610.
- Dostálová, J., Dlouhý, P., Tláškal, P. 2012. Výživová doporučení pro obyvatelstvo České republiky. [online]. Společnost pro výživu. 16. 4. 2012 [cit. 2016-10-18]. Dostupné z <<http://www.vyzivaspol.cz/vyzivova-doporuceni-pro-obyvatelstvo-ceske-republiky/>>.
- Dostálová, J., 9. 4. 2017, osobní sdělení.
- Dubjel, O., 2009. Komparace jakostních markerů konvenčního a BIO hovězího masa. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Zlín. s. 77.
- Duclohier, H. 2010. Antimicrobial peptides and peptaibols, substitutes for conventional antibiotics. *Current pharmaceutical desig.* 6. 3212-3223.
- EFSA, 2015. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed, *EFSA Journal*. 13. 4257.
- Ewing, B., Reed, A., Galli, A., Kitzes, J., Wackernagel, M. 2010. Calculation Methodology for the National Footprint Accounts. Global Footprint Network. Oakland.
- Finke, M. D. 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology*. 21 (3). 269-285.
- Finke, M. D. 2004. Nutrient content of insects. In: *Encyclopedia of Entomology*. Springer. USA. p. 1563-1575. ISBN- 978-0-306-48380-6.
- Finke, M. D. 2007. Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biol*. 26. 105–115.
- Finke, M. D. 2015. Complete nutrient content of four species of commercially available feeder insects fed enhanced diets during growth. *ZOO Biology*. 34 (6). 554-564.
- Fontaneto, D., Tommaseo-Ponzetta, M., Galli, C., Risé, P., Glew, R. H., Paoletti, M. G. 2011. Differences in fatty acid composition between aquatic and terrestrial insects used as food in human nutrition. *Ecology of Food and Nutrition*. 50. 351–367.
- Frkal, J. 2001. Entomofágie – využití hmyzu v potravě člověka [online]. 3. 11. 2002. [cit. 2016-3-16]. Dostupné z: <<http://www.sweb.cz/entomofagie/>>.
- Gaylor, M. O., Harvey, E., Hale, R. C. 2012. House crickets can accumulate polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) directly from polyurethane foam common in consumer products. *Chemosphere*. 86. 500–505.

- Gerber, P. J. 2013. Tackling climate change through livestock a global assessment of emissions and mitigation opportunities. FAO. Rome. ISBN 978-925-1079-218.
- Ghosh, S., Lee, S. M., Jung, Ch., Meyer-Rochow, V. B. 2017. Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 20. 686-694.
- Giaccone, V. 2005. Hygiene and health features of “minilivestock”. 579–598. In: Paoletti, M. G. (ed.) *Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails*. Science Publishers Enfield, NH, USA. p. 662. ISBN 9781578083398.
- Godfray, H.C.J., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Nisbett, N., Pretty, J., Robinson, S., Toulmin, C., Whiteley, R. 2010. The future of the global food system. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 365 (1554). 2769-2777.
- Goodman, W. G. 1989. Chitin. A Magic Bullet? *The Food Insects Newsletter*. II (3), 6- 7.
- Grabowski, N. T., Nowak B., Klein G. 2008. Proximate chemical composition of long-horned and short-horned grasshoppers (*Acheta domesticus*, *Schistocerca gregaria* and *Phymateus saxosus*) available commercially in Germany. *Archiv für Lebensmittelhygiene*. 59 (6). 204-208.
- Grabowski, N. T., Klein, G. 2017. Microbiology of processed edible insect products – Results of a preliminary survey. *International Journal of Food Microbiology*. 243. 103–107.
- Hanboonsong, Y. 2010. Edible insects and associated food habits in Thailand. In: *Forest insects as food: humans bite back*. p. 173.
- Hanboonsog, Y., Durst, P. 2014. Edible insects in Lao PDR: building on tradition to enhance food security. FAO. p. 55. ISBN 978-92-5-108307-9.
- Handley, M. A., Hall, C., Sanford, E., Diaz, E., Gonzalez-Mendez, E., Drace, K., Wilson, R., Villalobos, M., Croughan, M. 2007. Globalization, binational communities, and imported food risks: results of an outbreak investigation of lead poisoning in Monterey County, California. *American journal of public health*. 97 (5). 900–906.
- Horniaková, E., Bíro, D., Pajtáš, M., Gálik, B., Šimko, M., Juráček M., Rolinec M. 2010. *Základy výživy*. Slovenská poľnohospodárska univerzita. Nitra. 137 s. ISBN-978-80-552-0446-8.
- Hůrka, K. 2005. *Brouci České a Slovenské republiky*. Klabourek. Zlín. 390 s. ISBN 8086447111.

- Hyun, S. H., Kwon, K. H., Park, K. H., Jeong, H. C., Kwon, O., Tindwa, H., Han, Y. S. 2012. Evaluation of nutritional status of an edible grasshopper, *Oxya Chinensis Formosana*. *Entomological Research*. 42 (5). 284 - 290.
- 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 UN, Forestry Department. Rome. p. 201.
- Ikekawa, N., Morisaki, M., Fujimoto, Y. 1993. Sterol metabolism in insects: Dealkylation of phytosterol to cholesterol. *Accounts of Chemical Research*. 26 (4). 139-146.
- Ikekawa, N., Fujimoto, Y., Ishiguro, M. 2013. Reminiscences of research on the chemistry and biology of natural sterols in insects, plants and humans. *Proceedings of the Japan Academy, Series B – Physical and Biological Sciences*. 89 (8), 349-369.
- Informační centrum bezpečnosti potravin, 2008. Ekonomický význam hmyzích opylovačů [online] Informační centrum bezpečnosti potravin Ministerstva zemědělství. 7.12.2008. [cit 2016-08-19]. Dostupné na: <<http://www.bezpecnostpotravin.cz/ekonomicky-vyznam-hmyzich-opylovacu.aspx>>.
- ISO 1442:1997. Meat and meat products -- Determination of moisture content (Reference method). International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland. p. 4.
- ISO 1871:2009. Food and feed products -- General guidelines for the determination of nitrogen by the Kjeldahl method. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland. p. 7.
- ISO 12966-2:2011. Animal and vegetable fats and oils -- Gas chromatography of fatty acid methyl esters. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland. p. 15.
- ISO 12966-4:2015. Animal and vegetable fats and oils -- Gas chromatography of fatty acid methyl esters -- Part 4: Determination by capillary gas chromatography. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland. p. 21.
- Jiráček, R., Zeman, M. 2007. Vliv omega-3 a omega-6 nenasycených mastných kyselin na psychické poruchy. *Česká a slovenská psychiatrie*. 103. 420–426.
- Joob, B., Wiwanitkit, V. 2017. Atherogenic index of plasma for the assessment of cardiovascular risk factors. *Annals of African Medicine*. 16 (3), 148-
- Kacaniova, M., Vukovic, N., Chlebo, R., Hascik, P., Rovna, K., Cubon, J., Dzugan, M., Pasternakiewicz, A. 2012. The antimicrobial activity of honey, bee pollen loads and beeswax from Slovakia. *Archives of Biological Sciences*. 64 (3). 927-934.

- Kampmeier, G. E., Irwin, B. E. 2009. Commercialization of insects and their products. p. 220-227. In: Resh, V. H., Cardé, R. T. (ed). Encyclopedia of insects. Academic Press. Burlington. p. 1266.
- Kinyuru, J. N., Kenji, G. M., Njoroge, S. M., Ayieko, M. 2013. Effect of processing methods on the in vitro protein digestibility and vitamin content of edible winged termite (*Macrotermes subhylanus*) and grasshopper (*Ruspolia differens*). Food Bioprocess Tech. 3. 778–782.
- Klunder, H. C., Wolkers-Rooijackers, J., Korpela, J. M., Nout, M. J. R. 2012. Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. Food Control. 26. 628–631.
- Kodřík, D. 2004. Fyziologie hmyzu. Učební texty. Entomologický ústav Akademie věd České republiky a Biologická fakulta, Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích. České Budějovice. 220 s.
- Kodřík, D., 31. 3. 2017, osobní sdělení
- Kodytek, J. 2008. Možnosti využití některých druhů bezobratlých v entomofágii bez narušení stability populací. Diplomová práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Agronomická fakulta. Brno. 55 s.
- Köster, M. A., Prescott, J. & Köster, E. P. 2004. Incidental learning and memory for three basic tastes in food. Chemical Senses. 29. 441-453.
- Kotrbová, V. 2017. Senzorická analýza vybraných druhů jedlého hmyzu. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Agronomická fakulta. Praha. 77 s.
- Kouřil, P. 2016. Produkce skleníkových plynů u vybraných druhů jedlého hmyzu. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Agronomická fakulta. Brno. 59 s.
- Leclercq, J. 1948. Sur les besoins en stéroïdes des larves de *Tenebrio molitor* L. Biochimica et Biophysica Acta. 2. 614-617.
- Lesnik, J.J. 2014. Termites in the hominin diet: A meta-analysis of termite genera, species and castes as a dietary supplement for South African robust australopithecines. Journal of Human Evolution. 71. 94–104.
- Li, Q., Zheng, L., Cai, H., Garza, E., Yu, Z., Zhou, S. 2011a. From organic waste to biodiesel: Black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible. Fuel. 90. 1545-1548.
- Li, Q., Zheng L., Qiu, N., Cai, H., Tomberlin, J. K., Yu, Z. 2011b. Bioconversion of dairy manure by black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) for biodiesel and sugar production. Waste Management. 31 (6). 1316-1320.

- Li, L. Y., Zhao, Z. R., Liu, H. 2013. Feasibility of feeding yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) in bioregenerative life support systems as a source of animal protein for humans. *Acta Astronautica*. 92. 103-109.
- Liu, Q. L., Tomberlin, J. K., Brady, J. A., Sanford, M. R., Yu, Z. N. 2008. Black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae reduce *Escherichia coli* in dairy manure. *Environmental Entomology*. 37. 1525-1530.
- Liu, S., Sun, J., Yu, L., Zhang, C., Bi, J., Zhu, F., Qu, M., Jiang, C., Yang, Q. 2012. Extraction and characterization of chitin from the beetle *Holotrichia parallela motschulsky*. *Molecules*. 17 (4). 4604-4611.
- Liu, W., Hussain, S., Wu, L., Qin, Z., Li, X., Lu, J., Khan, F., Cao, W., Geng, M. 2016. Greenhouse gas emissions, soil quality, and crop productivity from a mono-rice cultivation system as influenced by fallow season straw management. *Environmental Science and Pollution Research*. 23 (1). 315-328.
- Looy, H., Dunkel, F. V., Wood, J. R. 2014. How then shall we eat? Insect-eating attitudes and sustainable foodways. *Agriculture and Human Values*. 31. 131-141.
- Maček, J., Toth, Z., Hamadová, Z. 2011. *Základy teorie správnej výživy*. In: Keresteš, J. *Zdravie a výživa ľudí*. CAD PRESS, Bratislava. 77 - 112 s. ISBN 978-80-88969-57-0
- Marconi, S., Manzi, P., Pizzoferrato, L., Buscardo, E., Cerda, H., Hernandez, L. D., Paoletti, M.G. 2002. Nutritional evaluation of terrestrial invertebrates as traditional food in Amazonia. *Biotropica*. 34. 273–280.
- Marinová, N. 2015. Změny nutriční a senzorycké jakosti jedlého hmyzu v závislosti na způsobu jeho skladování. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Agronomická fakulta. Praha. 62 s.
- Mariod, A. A., Abdel-wahab, S. I., Ain, N. M. 2011. Proximate amino acid, fatty acid and mineral composition of two Sudanese edible pentatomid insects. *International Journal of Tropical Insect Science*. 31 (3). 145-153.
- Marono, S., Piccolo, G., Loponte, R., Di Meo, C., Attia, Y. A., Nizza, A., Bovera, F. 2015. In vitro crude protein digestibility of *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens* insect meals and its correlation with chemical composition traits. *Italian Journal of Animal Science*. 14 (3889). 338-343.
- Meyer-Rochow, V. B. 2009. Food taboos: Their origins and purposes. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. 5. 1–10.

- Mich B. 2007. Využití konceptu ekologické stopy ve výuce na základní škole. Diplomová práce. Masarykova univerzita v Brně. Pedagogická fakulta. Brno. 117s.
- Miglietta, P. P., De Leo, F., Ruberti, M., Massari, S. 2015. Mealworms for Food: A Water Footprint Perspective. *Water*. 7. 6190 - 6203 s.
- Mitsubishi, J. 1997. Insects as traditional foods in Japan. *Ecology of Food and Nutrition*. 36. 187–199.
- Mitsubishi, J. 2010. The future use of insects as human food. 115–122. In: Durst, P. B., Johnson D.V., Leslie R.N., Shono K. (eds.). 2010. *Proceedings of the forest insects as food: humans bite back*. RAP Publication. Bangkok, Thailand.
- Mlcek, J., Rop, O., Borkovcova, M., Bednarova, M. 2014a. 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.
- Mlcek, J., Borkovcova, M., Bednarova, M. 2014b. Biologically active substances of edible insects and their use in agriculture, veterinary and human medicine-a review. *Journal of Central European Agriculture*. 15 (4). 225-237.
- Mojet, J., Köster, E. P. 2005. Sensory memory and food texture. *Food Quality and Preference*. 16. 251-266.
- Mourek, J. 2011. Developmentally Dependent and Different Roles of Fatty Acids OMEGA-6 and OMEGA-3. *Prague Medical Report*. 112 (2). 81–92.
- Myers, H. M., Tomberlin, J. K., Lambert, B. D., Kattes, D. 2008. Development of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae fed dairy manure. *Environmental Entomology*. 37. 11-15.
- Nierostková, I. 2015. Nutriční hodnota jedlého hmyzu. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Agronomická fakulta. Praha. 49 s.
- Nonaka, K. 2009. Feasting on insects. *Journal of the Entomological Research Society*. 39. 304–312.
- Nowak, V., Persijn, D., Rittenschober, D., Charrondiere, U. R. 2016. Review of food composition data for edible insects. *Food chemistry*. 193. 39-46.
- Ondráček, J. 1992. Chov hmyzu – zdroj živočišných krmiv. BIOINFO. České Budějovice.
- Ondráčková, L. 1920. Nejnovější ilustrovaná kuchařská kniha. Občanská tiskárna. Brno. 468 s.
- Ondráčková, L. 1937. Nejnovější ilustrovaná kuchařská kniha obsahující 3705 vyzkoušených a osvědčených předpisů, jakož i mnohé praktické pokyny pro hospodyně: příručka

- pro kuchařské a hospodyňské školy s českou řečí vyučovací. Občanská tiskárna. Brno, 560 s.
- Oonincx, D.G.A. B., van Itterbeeck, J., Heetkamp, M. J.W., van den Brand, H., van Loon, J.J.A., van Huis, A. 2010. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. PLoS ONE. 5. e14445.
- Oonincx, D.G.A.B., van der Poel, A. F. B. 2011. Effects of diet on the chemical composition of migratory locusts (*Locusta migratoria*). Zoo Biology. 30. 9–16.
- Oonincx, D.G.A.B., Dierenfeld, E.S. 2012. An investigation into the chemical composition of alternative invertebrate prey. Zoo Biology. 31. 40-54.
- Oonincx, D.G.A.B., van Broekhoven, S., van Huis, A., van Loon J.J.A. 2015. Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food By-Products. PLoS ONE. 10 (12). 1-20.
- Opio, C., Gerber, P., Mottet, A., Falcucci, A., Tempio, G., MacLeod, M., Vellinga, T., Henderson, B., Steinfeld, H. 2013. Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains – A global life cycle assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Pánek, J., Pokorný, J., Dostálová, J. 2002. Základy výživy a výživová politika. Vysoká škola chemicko-technologická. Praha. 219 s. ISBN: 80-7080-468-8.
- Paul, A., Frederich, M., Uyttenbroeck, R., Hatt, S., Malik, P., Lebecque, S., Hamaidia, M., Miazek, K., Goffin, D., Willems, L., Deleu, M., Fauconnier, M.L., Richel, A., De Pauw, E., Blecker, C., Monty, A., Francis, F., Haubruge, E., Danthine, S. 2016. Grasshoppers as a food source? A review. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement. 20 (1). 337-352.
- Pimentel, D. 2004. Livestock production and energy use. p. 671–676. In: Matsumura, R. (ed.). Encyclopedia of Energy. Elsevier. San Diego, USA.
- Pipek, P., Dobiáš, J., Míková, K., Votavová, L., Čurda, D. 1991. Návod pro laboratorní cvičení z technologie neúdržných potravin. VŠCHT. Praha. 156 s. ISBN 80-7080-104-2.
- Pipek, P. 1995. Technologie masa I. VŠCHT. Praha. 334 s. ISBN 80-7080-174-3.
- Pipek, P. 1998. Technologie masa II. Karmelitánské nakladatelství. Praha. 360 s. ISBN 80-7192-283-8.

- Poma, G., Cuykx, M., Amato, E., Calaprice, Ch., Focant, J. F., Covaci, A. 2017. Evaluation of hazardous chemicals in edible insects and insect-based food intended for human consumption. *Food and Chemical Toxicology*. 100. 70-79.
- Poustková, I., Babička, L., Kouřimská, L., Siegrová, G., Staruch, L. 2010. Quality of hemp seed oil depending on its obtaining. *Potravinářstvo*. 4 (3). 53 – 57.
- Premalatha, M., Abbasi, T., Abbasi, T., Abbasi, S. A. 2011. Energy-efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: The use of edible insects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15 (9). 4357 - 4360.
- Raksakantong, P., Meeso, N., Kubola, J., Siriamornpun, S. 2010. Fatty acids and proximate composition of eight Thai edible terri-colous insects. *Food Research International*. 43. 350–355.
- Ramos-Elorduy, J. 1996. Insect Consumption as a Mean of National Identity. p. 9–12. In: Jain, S. J. *Ethnobiology in Human Welfare*. Deep Publications. New Delhi, India.
- Ramos-Elorduy, J., Pino, J. M., Prado, E. E., Perez, M. A., Otero, J. L., de Guevara, O. L. 1997. Nutritional value of edible insects from the state of Oaxaca, Mexico. *Journal of Food Composition and Analysis*. 10. 142–157.
- Ramos-Elorduy, J. 1998. *Creepy Crawly Cuisine: The Gourmet Guide to Edible Insects*. Park Street Press. South Paris. p. 160.
- Ramos-Elorduy, J. 2006. Threatened edible insects in Hidalgo, Mexico and some measures to preserve them. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. 2 (1). 1-10.
- Ravzanaadii, N., Kim, S. H., Choi, W. H., Hong, S. J., Kim, N. J. 2012. Nutritional Value of Mealworm, *Tenebrio molitor* as Food Source. *International Journal of Industrial Entomology*. 25 (1). 93-98.
- Reese, W. E. 1992. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environment and Urbanisation*. 4 (2). 121–130.
- Rumpold, B. A., Schlüter, O. K. 2013. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research*. 57 (5). 802-823.
- Sabolová, M., Adámková, A., Kouřimská, L., Chrpová, D., Pánek, J. 2016. Minor lipophilic compounds in edible insects. *Potravinářstvo*. 10 (1). 400 – 406.
- Saláková, A., Bořilová, G. 2014. *Technologie a hygiena potravin živočišného původu – návody na cvičení*. Veterinární a farmaceutická univerzita. Brno. 51 s.
- Sánchez-Muros, M. J., de Haro, C., Sanz, A., Trenzado, C. E., Villareces, S., Barroso, F. G. 2016. Nutritional evaluation of *Tenebrio molitor* meal as fishmeal substitute for tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet. *Aquaculture Nutrition*. 22 (5). 943–955.

- Ssepuuya, G., Mukisa, I. M., Nakimbugwe, D. 2017. Nutritional composition, quality, and shelf stability of processed *Ruspolia nitidula* (edible grasshoppers). *Food Science & Nutrition*. 5 (1). 103–112 s.
- Schouteten, J. J., De Steur, H., De Pelsmaeker, S., Lagast, S., Juvinal, J. G., De Bourdeaudhuij, I., Verbeke, W., Gellynck, X. 2016. Emotional and sensory profiling of insect-, plant- and meat-based burgers under blind, expected and informed conditions. *Food Quality and Preference*. 52. 27 - 31.
- Sim, A. S., Solonikias, C., Naidoo, D., Wilcken, D. E. 2003. Improved method for plasma malondialdehyde measurement by high performance liquid chromatography using methyl malondialdehyde as an internal standard Chromatography. *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*. 785. 337 – 344.
- Simopoulos, A. 2002. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 56 (8). 365–379.
- Smil, V. 2002. Worldwide transformation of diets, burdens of meat production and opportunities for novel food proteins. *Enzyme and Microbial Technology*. 30. 305–311.
- Smith, L. W., Pratt, J. J., Nii, I., Umina, A. P. 1971. Baking and taste properties of bread made from hard wheat flour infested with species of *Tribolium*, *Tenebrio*, *Trogoderma* and *Oryzaephilus*. *Journal of Stored Products Research*. 6. 307-316.
- Sogbesan, A., Ugwumba, A. 2008. Nutritional evaluation of termite (*Macrotermes subhyalinus*) meal as animal protein supplements in the diets of *Heterobranchus longifilis*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. (8). 149–157.
- Soxhlet, F. 1879. Die gewichtsanalytische Bestimmung des Milchfettes. *Dingler's Polytechnisches Journal*. 232. 461-465.
- Sponheimer, M., De Ruiter, D., Lee-Thorp, J., Späth, A. 2005. Sr/Ca and early hominin diets revisited: New data from modern and fossil tooth enamel. *Journal of Human Evolution*. 48. 147–156.
- Stajić, S., Živković, D., Perunović, M., Šobajić, S., Vranić, D. 2011. Cholesterol content and atherogenicity of fermented sausages made of pork meat from various breeds. *Procedia Food Science*. 1. 568 - 575.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales M., Mauricio, M., de Haan, C. 2006. *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. p. 390. ISBN 92-510-5571-8.

- Steinhauser, L. 1995. Hygiena a technologie masa. LAST. Brno. ISBN 80-900260-4-4.
- Stoops, J., Crauwels, S., Waud, M., Claes, J. 2016. Microbial community assessment of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) and grasshoppers (*Locusta migratoria migratorioides*) sold for human consumption, *Food Microbiology*. 122 – 127.
- Suchánková, J. 2016. Mikrobiální kvalita vybraných druhů jedlého hmyzu. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická. Zlín. 90 s.
- Svoboda, J. A., Feldlaufer, M. F. 1991. Neutral sterol-metabolism in insects. *Lipids*. 26 (8). 614-618.
- Svoboda, J. A., Lusby, W. R. 1994. Variability of sterol utilization in stored-products insects. *Experientia*. 50 (1). 72-74.
- Tančinová, D., Maková, J., Felšociová, S., Kačániová, M., Kmeť, V. 2008. Mikrobiológia potravín. Slovenská poľnohospodárska univerzita. Nitra. 144 s.
- Tong, L., Yu, X., Lui, H. 2011. Insect food for astronauts: gas exchange in silkworms fed on mulberry and lettuce and the nutritional value of these insects for human consumption during deep space flights. *Bulletin of Entomological Research*. (101). 613–622.
- Tzompa-Sosa, D. A., Yi, L. Y., van Valenberg, H. J. F., van Boekel, M. A. J., Lakemond, C. M. M. 2014. Insect lipid profile: aqueous versus organic solvent-based extraction methods. *Food Research International*. 62. 1087–1094.
- Vandeweyer, D., Lievens, B., Van-Campenhout, L. 2015. Microbial quality of edible insects reared on industrial scale in Belgium and the Netherlands. Conference Paper. *Innovations in Food Packaging, Shelf Life & Food Safety*. München.
- Vantomme, P., Mertens, E., van Huis, A., Klunder, H. 2012. Assessing the Potential of Insects as Food and Feed in assuring Food Security, Summary report. Rome, Italy: FAO UN, 27 s.
- Veldkamp, T., van Duinkerken, V., van Huis, A., Lakemond, C. M. M., Ottevanger, E., van Boekel, M. A. J. S. 2012. Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets. A feasibility study. Wageningen UR Livestock Research. Report 638. Wageningen. p. 48.
- Velíšek, J. 2002. Chemie potravín. OSSIS. Tábor. 303 s. ISBN 80-86659-01-1.
- Velíšek, J., Hajšlová, J. 2009. Chemie potravín 1. OSSIS. Tábor. 602 s. ISBN 978-80-86659-15-2.
- Velíšek, J. 2014. The Chemistry of Food. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester, UK. p. 348 ISBN 978-1-118-38381-0.

- Verhoeckx, K. C. M., van Broekhoven, S., den Hartog-Jager, C. F., Gaspari, M., de Jong, G. A. H., Wichers, H. J., van Hoffen, E., Houben, G. F., Knulst, A. C. 2014. House dust mite (Der p 10) and crustacean allergic patients may react to food containing Yellow mealworm proteins. *Food and Chemical Toxicology*. 65. 364–373.
- Veselý, V. 1985. *Včelařství*. Státní Zemědělské Nakladatelství. Praha. 365 s.
- Wackernagel, M. 1994. *Ecological Footprint and Appropriated Carrying Capacity: A Tool for Planning Toward Sustainability*. PhD thesis. The University of British Columbia. Vancouver, Kanada.
- Wang, D., Bai, Y., Li, J., Zhang, Ch. 2004. Nutritional value of the field cricket (*Gryllus testaceus* Walker). *Insect science*. 11 (4). 275–283.
- Wang, H. C., Liao, H. Y., Chen, H. L. 2012. *Tenebrio* small-scale ecological farming feasibility study. *Advanced Materials Research*. 356-360. 267-270.
- WHO. 2004. *A strategy to prevent chronic disease in Europe. A focus on public health action. The Cindi vision*. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Xiaoming, C., Ying, F., Hong, Z. 2008. Review of the nutritive value of edible insects. *Edible insects and other invertebrates in Australia: future prospects*. 85–92. In: *Proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*. Bangkok.
- Yen, A. L. 2009. Edible insects: Traditional knowledge or western phobia? *Journal of the Entomological Research Society*. 39. 289–298.
- Yeomans, M. R., Chambers, L., Blumenthal, H., Blake, A. 2008. The role of expectancy in sensory and hedonic evaluation: The case of smoked salmon ice-cream. *Food quality and preference*. 19. 565-573.
- Yi, L., Lakemond, C. M. M., Sagis, L. M. C., Eisner-Schadler, V., van Huis, A., van Boekel, M. A. J. S. 2013. Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chemistry*. 141 (4). 3341-3348.
- Zheng, L., Li, Q., Zhang, J., Yu, Z. 2012. Double the biodiesel yield: Rearing black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, on solid residual fraction of restaurant waste after grease extraction for biodiesel production. *Renewable Energy*. 41. 75-79.
- Zhuang, P., Zou, H., Shu, W. 2009. Biotransfer of heavy metals along a soil-plant-insect-chicken food chain: field study. *Journal of Environmental Sciences*. 21. 849–853.
- Zielińska, E., Baraniak, B., Karaś, M., Rybczyńska, K., Jakubczyk, A. 2015. Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. *Food Research International*. 77 (3). 460-466.

Žák, A., Macášek, J., Slabý, A., Staňková, B., Tvrzická, E., Vařeka, T., Vecka, M., Vitek, L.,
Zeman, M. 2011. Ateroskleróza. Nové pohledy. Grada Publishing a.s. Praha. 192 s.
ISBN: 8024730529

PŘÍLOHY

Příloha 1 - Dotazník na degustaci potemníka moučného (*Tenebrio molitor*) a potemníka brazilského (*Zophobas morio*) připravovaných na tyčinkách z listového těsta

Prosím o vyplnění krátkého dotazníku z důvodu vědeckého šetření

Máte zkušenost se senzoricou analýzou

- Mám
- Nemám

Chuť (zaškrtněte)

- Chuť
 - sladká, téměř oříšková
 - slaná
 - kyselá
 - hořká
 - celozrnné pečivo
 - tlustý bůček i s kůží
 - ryby
 - houby
 - jablka
 - piniová semínka
 - syrová kukuřice
 - smažené brambory
 - kaviár
 - sled'
 - jiná

Prosím, uveďte jakou

.....

Příloha 2 - Dotazník na degustaci potemníka moučného (*Tenebrio molitor*) a potemníka brazilského (*Zophobas morio*) připravovaných na tyčinkách z listového těsta

Prosím o vyplnění krátkého dotazníku z důvodu vědeckého šetření

Máte zkušenost se senzoricou analýzou

- Mám
- Nemám

Máte nějaké znalosti (nebo slyšeli jste) o entomofagii?

- Ano
- Ne

Pokud ano, zdá se vám být nutričně hodnotná?

- Ano
- Ne

Chuť (zaškrtněte)

- Chuť
 - sladká, téměř oříšková
 - slaná
 - kyselá
 - hořká
 - celozrnné pečivo
 - tlustý bůček i s kůží
 - ryby
 - houby
 - jablka
 - piniiová semínka
 - syrová kukuřice
 - smažené brambory
 - kaviár
 - sled'
 - jiná

Prosím, uveďte jakou

.....

Příloha 3 - Dotazník na degustaci energetických tyčinek

Prosím o vyplnění krátkého dotazníku z důvodu vědeckého šetření

Prosím ochutnejte předložené vzorky

1, ohodnoťte chuť vzorku A a vzorku B známkou od 1 (nejlepší – výborná chuť) do 5 (nejhorší – nepříjemná chuť)

Vzorek A 1 2 3 4 5 Vzorek B 1 2 3 4 5

2, Jaká je podle Vás chuť vzorků (sladká, slaná, kyselá, hořká, ...)

Vzorek A

Vzorek B

Stručná informace o respondentovi: Věk:

Pohlaví: Muž Žena

Děkuji za vyplnění krátkého dotazníku

Příloha 4 - Dotazník na degustaci cvrčka domácího (*Acheta domestica*)

Prosím o vyplnění krátkého dotazníku z důvodu vědeckého šetření
Odpovědi prosím vždy zakroužkujte

1. Část

- Pohlaví: muž žena
- Věková kategorie: 0-12 3-17 18-25 26-45 >45
- Slyšel/a jste někdy o entomofáгии (pořádání hmyzu)? ano ne
- Zajímá Váš konzumace hmyzu? ano ne
- Máte negativní pocity vůči pořádání hmyzu? ano ne
- Jste alergický/á na chitin? ano ne

2. Část

Nyní obdržíte vzorek jedlého hmyzu

Prohlédněte si prosím předložený vzorek a bez jeho očichání, či ochutnání
zaznamenejte Vaše hodnocení příjemnosti/přijatelnosti svisle značkou na úsečce.

Vzhled: _____

odporný

vynikající

3. Část

Ochutnejte prosím předložený vzorek

Ochutnejte prosím předložený vzorek a zaznamenejte Vaše hodnocení
příjemnosti/přijatelnosti svisle značkou na úsečce

Celková příjemnost vzorku: _____

odporná

vynikající

- Byl/a byste ochoten/na jíst hmyz i v budoucnu? ano ne
- Uvařil/a byste si hmyz doma? ano ne
- Pokud ano, jak byste hmyz kulinárně připravili?

.....