

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta chemicko-technologická

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2024

Danila Skakun

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická

Nutriční složení jedlého hmyzu
Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Danila Skakun**
Osobní číslo: **C21099**
Studijní program: **B0531A130024 Hodnocení a analýza potravin**
Téma práce: **Nutriční složení jedlého hmyzu**
Téma práce anglicky: **Nutritional composition of edible insects**
Zadávací katedra: **Katedra analytické chemie**

Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární rešerši na téma nutriční složení jedlého hmyzu a potravin z hmyzu. Zaměřte se na rozdíly v nutričním složení různých druhů jedlého hmyzu a zjistěte, kterými analytickými metodami je možné nutriční složení jedlého hmyzu stanovit.
- V druhé části experimentálně stanovte základní nutriční parametry, jakými jsou obsah vody, bílkovin, sacharidů, tuků nebo složení mastných kyselin.
- Získané poznatky kriticky zhodnoťte a porovnejte s literaturou.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:
Podle pokynů vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Hájek, Ph.D.**
Katedra analytické chemie

Datum zadání bakalářské práce: **7. února 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2024**

prof. Ing. Petr Němec, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

doc. Ing. Petr Česla, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 20. února 2024

Prohlašuji:

Práci s názvem Nutriční složení hmyzu jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne

Danila Skakun v.r.

Poděkování

V této části bych rád poděkoval Ing. Tomáši Hájkovi Ph.D. za odborné vedení, projevenou trpělivost, cenné rady a věcné připomínky během zpracování této bakalářské práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině, přátelům a všem lidem, kteří mě pozitivně v životě ovlivnili. Bez Vás bych nikdy nebyl tam, kde právě jsem.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zaměřuje na nutriční složení hmyzu. Jsou analyzovány rozdíly v nutričním složení různých druhů hmyzu. V práci je uvedena platná legislativa a také jsou zmíněny rizika konzumace hmyzu. Dále jsou popsány způsoby analytického stanovení jednotlivých nutričních parametrů. V experimentální části byly stanoveny základní nutriční parametry, jakými jsou obsah tuků a mastných kyselin, obsah veškerých bílkovin a hodnoty sušiny. Dosažené výsledky byly porovnány mezi sebou a s literaturou.

KLÍČOVÁ SLOVA

Entomofagie, jedlý hmyz, potravinu, nutriční složení.

TITLE

Nutritional composition of edible insects

ANNOTATION

This bachelor thesis focuses on the nutritional composition of insects. Differences in the nutritional composition of various insect species are analyzed. The current legislation is presented and the risks of insect consumption are also mentioned. Methods for the analytical determination of individual nutritional parameters are also described. In the experimental part, basic nutritional parameters such as fat and fatty acid content, total protein content and dry matter values were determined. The achieved results were compared with each other and with relevant literature.

KEYWORDS

Entomophagy, edible insects, foodstuff, nutritional composition

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	10
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A ZNAČEK.....	12
ÚVOD.....	14
1 TEORETICKÁ ČÁST	15
1.1 Legislativa konzumace hmyzu.....	15
1.2 Rizika konzumace hmyzu.....	16
1.2.1 Mikrobiální rizika	16
1.2.2 Virová rizika	17
1.2.3 Mykologická rizika	17
1.2.4 Chemická rizika	18
1.2.5 Rizika alergií.....	18
1.3 Nutriční složení hmyzu.....	19
1.3.1 Bílkoviny	21
1.3.1.1 Možnosti využití bílkovin hmyzu.....	22
1.3.1.2 Možnosti stanovení bílkovin v hmyzu.....	22
1.3.1.3 Možnosti stanovení aminokyselin v hmyzu.....	24
1.3.2 Lipidy.....	25
1.3.2.1 Možnosti využití hmyzích lipidů	26
1.3.2.2 Možnosti extrakce tuků z hmyzu	27
1.3.2.3 Stanovení lipidů	29
1.3.3 Sacharidy	30
1.3.3.1 Metody stanovení chitinu.....	31
1.3.4 Minerální látky.....	33
1.3.4.1 Metody stanovení minerálních látek.....	35
1.3.1 Vitamíny	36
1.3.1.1 Metody stanovení vitaminů	37
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	38
2.1 Použitá zařízení a pomůcky	38
2.2 Použité chemikálie.....	38
2.3 Vzorky	38

2.4	Úprava vzorků.....	40
2.5	Stanovení sušiny	40
2.6	Extrakční stanovení obsahu tuku	40
2.7	Stanovení zastoupení mastných kyselin z extrahovaného tuku	42
2.8	Standardizace roztoků.....	44
2.8.1	Standardizace odměrného roztoku NaOH	44
2.8.2	Standardizace odměrného roztoku H ₂ SO ₄	45
2.9	Stanovení veškerých bílkovin Kjeldahlovou metodou	45
3	Výsledky a diskuze	48
3.1	Stanovení sušiny	48
3.2	Extrakční stanovení obsahu tuku	49
3.3	Stanovení zastoupení mastných kyselin z extrahovaného tuku	51
3.4	Stanovení hrubých bílkovin	55
4	Závěr	57
5	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	58
6	SEZNAM PŘÍLOH.....	64

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Sušený jedlý hmyz [8].....	15
Obrázek 2: Červec nopálový [18].....	19
Obrázek 3: Karmín (E120) [19].....	19
Obrázek 4: Faktory konverze dusíku na bílkoviny u larev hmyzu [32]	23
Obrázek 5: Struktura leucinu, izoleucinu a valinu [36]	24
Obrázek 6: Profil mastných kyselin (SFA, MUFA a PUFA) různých řádů hmyzu [37].....	26
Obrázek 7: Schéma znázorňující Soxhletovu extrakční techniku [32].....	28
Obrázek 8: Schematický přehled běžně používaných analytických metod pro stanovení celkového obsahu tuku a mastných kyselin v potravinách [42]	30
Obrázek 9: Struktura chitinu a chitosanu [46]	31
Obrázek 10: Struktura α -chitinu, β -chitinu a γ -chitinu [48]	32
Obrázek 11: Extraktor na stanovení tuku	41
Obrázek 12: GC-MS od firmy Agilent Technologies.....	43
Obrázek 13: Příklad na mineralizaci vzorků	46
Obrázek 14: Destilační aparatura pro destilaci amoniaku	47
Obrázek 15: Stanovený obsah tuků	49
Obrázek 16: Chromatogram GC-MS.....	51
Obrázek 17: Obsah majoritních mastných kyselin	52
Obrázek 18: Obsah minoritních mastných kyselin.....	53
Obrázek 19: Poměr nasycených, mono- a poly- nenasycených mastných kyselin.....	54
Obrázek 20: Stanovení hrubých bílkovin s různým přepočítávacím faktorem a porovnání s informací na obale	56

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Nutriční složení nejběžnějších řádů hmyzu (v sušině) [23]	20
Tabulka 2: Obsah prvků ve vzorcích jedlého hmyzu (v mg/100 g sušiny) [51].....	35
Tabulka 3: Vzorky jedlého hmyzu.....	39
Tabulka 4: Výživové údaje na 100 g uvedené na obalech vzorků.....	39
Tabulka 5: Podmínky GC-MS	43
Tabulka 6: Standardizace odměrného roztoku NaOH	44
Tabulka 7: Standardizace H ₂ SO ₄	45
Tabulka 8: Stanovení sušiny a obsahu vody	48
Tabulka 9: Extrakce tuku	49
Tabulka 10: Zastoupení MK v tuku z jedlého hmyzu	52
Tabulka 11: Srovnání zastoupení SFA, MUFA, PUFA s hodnotami v literatuře	54
Tabulka 12: Stanovení hrubých bílkovin.....	55
Tabulka 13: Extrakce tuku	65
Tabulka 14: Výsledky analýzy MK pro vzorek 1 – Potemník	66
Tabulka 15: Výsledky analýzy MK pro vzorek 2 – Potemník	66
Tabulka 16: Výsledky analýzy MK pro vzorek 3 – Cvrček	66
Tabulka 17: Výsledky analýzy MK pro vzorek 4 – Cvrček	67
Tabulka 18: Výsledky analýzy MK pro vzorek 5 – Kobyłka.....	67
Tabulka 19: Hrubé bílkoviny	68

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A ZNAČEK

EU	Evropská unie
FAO	Organizace pro výživu a zemědělství
EFSA.....	Evropský úřad pro bezpečnost potravin
AMK	Aminokyselina
KM.....	Kjeldahlova metoda
DM.....	Dumasova metoda
NIR.....	Blízká infračervená spektroskopie
MIR	Střední infračervená spektroskopie
HPLC	Vysokoúčinná kapalinová chromatografie
GC-MS.....	Plynová chromatografie s hmotnostní spektrometrií
UHPLC	Ultravysokoúčinná kapalinová chromatografie
LC	Kapalinová chromatografie
BCAA	Aminokyseliny s rozvětveným řetězcem
MK.....	Mastná kyselina
SFA	Nasycené mastné kyseliny
MUFA	Mononenasycené mastné kyseliny
PUFA	Polynenasycené mastné kyseliny
UAE	Ultrazvukem asistovaná extrakce
PLE	Extrakce tlakovou kapalinou
FAME	Methylestery mastných kyselin
GC-FID	Plynová chromatografie s plamenově ionizační detekcí
AAS	Atomová absorpční spektrometrie

AFSAtomová fluorescenční spektrometrie

ICP-AESAtomová emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem

ICP-MSHmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem

HR-CS GF-AASAtomová absorpční spektrometrie s vysokým rozlišením a kontinuálním zdrojem záření využívající grafitovou kyvetu

F-AASPlamenová atomová absorpční spektrometrie

F-AESPlamenová atomová emisní spektrometrie

ASE.....Akcelerovaná extrakce rozpouštědlem

DAD.....Detektor diodového pole

FLD.....Fluorescenční detektor

EDElektrochemický detektor

MS.....Hmotnostní spektrometr

ÚVOD

Konzumace hmyzu neboli entomofagie se staletí praktikuje po celém světě a v současné době je to často probírané téma. Nejméně 2 miliardy lidí konzumují hmyz a je známo přes 1900 druhů jedlého hmyzu. Nejčastěji se konzumuje hmyz z řádu brouků (Coleoptera) a motýlů (Lepidoptera). Hmyz je konzumován ve všech jeho životních stádiích: vajíčka, larvy, kukly nebo dospělci [1].

V mnoha tropických zemích je hmyz součástí lidské stravy. Vlády jednotlivých zemí však entomofagii často nepodporují a zaměřují se na západní stravovací návyky jako na standard, který je třeba dodržovat. V západních zemích je konzumace hmyzu vzácná nebo kulturně nevhodná, což má za následek, že se o ní zřídka mluví v rámci udržitelnosti a potravinové bezpečnosti. Rychle rostoucí světová populace a vyčerpávání zdrojů však vyžadují přehodnocení našich stravovacích návyků, zejména těch, které se týkají konzumace masa [2]. Vzhledem ke stále rostoucímu počtu obyvatel je výroba potravin hlavní prioritou. Organizace pro výživu a zemědělství (FAO) odhaduje, že do roku 2050 vzroste počet obyvatel o 30 % a s tím by se měla zvýšit produkce potravin o 70 % [3]. Současný model produkce potravin, zejména ve vyspělých zemích, do značné míry spoléhá na chov hospodářských zvířat, který je zdrojově a nutričně neefektivní. Ke snížení spotřeby masa a k podpoře zdravé a udržitelné stravy s vyváženým obsahem bílkovin jsou zapotřebí změny na straně spotřeby. Zavedení jedlého hmyzu do lidské stravy a krmiv pro zvířata by mohlo představovat slibnou možnost vzhledem k mnoha výhodám, které by mohly vést k větší udržitelnosti potravinového systému [4].

Hmyz produkuje velmi malé množství skleníkových plynů a k jeho chovu je zapotřebí menší množství vody a půdy. Některé druhy hmyzu mají schopnost žít se odpadem, a tím snižují množství nežádoucího organického a zemědělského odpadu. Chov hmyzu má potenciál vytvořit alternativní, levný, udržitelný a ekologicky šetrný zdroj bílkovin, který lze využít jako doplněk k živočišným bílkovinám. Zkoumá se možnost kultivace hmyzích buněk v suspenzi v bioreaktoru. Bioreaktor je uzavřený systém provozovaný za kontrolovaných podmínek a jeho výhodou je produkce hmyzího proteinu reprodukovatelné kvality pro masovou produkci [5].

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Legislativa konzumace hmyzu

Codex Alimentarius, který představuje mezinárodní směrnici pro bezpečnost potravin, nepovažuje hmyz jako potravinu. Codex Alimentarius označuje hmyz pouze jako "nečistotu". Předpisy se v jednotlivých zemích výrazně liší a většina západních zemí se hmyzem jako potravinou ani nezabývá. Tento nestandardizovaný právní status po celém světě představuje největší překážku pro průmysl jedlého hmyzu, protože zabraňuje nebo zpomaluje růst celosvětového trhu s jedlým hmyzem [6].

Nová potravina je definována jako potravina, která v Evropské unii (EU) nebyla ve větší míře konzumována před 15. květnem 1997, kdy vstoupilo v platnost první nařízení o nových potravinách. Novými potravinami mohou být nově vyvinuté potraviny, potraviny vyrobené pomocí nových technologií a výrobních postupů a potraviny, které jsou nebo byly tradičně konzumovány mimo EU. Nové potraviny musí být bezpečné pro spotřebitele a řádně označeny, aby neuváděly spotřebitele v omyl. Pokud má nová potravina nahradit jinou potravinu, nesmí se lišit tak, že by konzumace nové potraviny byla pro spotřebitele nutričně nevýhodná. Před uvedením na trh je nezbytné, aby byly nové potraviny schváleny na základě hodnocení v souladu s výše uvedenými zásadami [7].

Šest produktů z jedlého hmyzu je již povoleno jako nová potravina, včetně čtyř druhů hmyzu: cvrček domácí (*Acheta domestica*), larvy potemníka moučného (*Tenebrio molitor*), saranče stěhovavá (*Locusta migratoria*) a potemník stájový (*Alphitobius diaperinus*) [4]. Nejběžnější jedlý hmyz je zobrazen na Obrázku 1.



Obrázek 1: Sušený jedlý hmyz [8]

Podle nařízení Komise (EU) 2017/893 ze dne 24. května 2017, kterým se mění přílohy I a IV nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 999/2001 a přílohy X, XIV a XV nařízení Komise (EU) č. 142/2011, pokud jde o ustanovení o zpracovaných živočišných bílkovinách, splňují následující druhy hmyzu bezpečnostní podmínky pro produkci hmyzu pro krmné účely: bráněnka (*Hermetia illucens*), moucha domácí (*Musca domestica*), potěmník moučný (*Tenebrio molitor*), potěmník stájový (*Alphitobius diaperinus*), cvrček krátkokřídý (*Gryllus sigillatus*), cvrček domácí (*Acheta domestica*) a cvrček banánový (*Gryllus assimilis*). Tyto druhy byly v EU klasifikovány jako nové potraviny na základě posouzení rizik a vědeckého stanoviska Evropského úřadu pro bezpečnost potravin (EFSA) z 8. října 2015 [9].

Právo EU upravuje podmínky, za kterých mohou provozovatelé potravinářských a krmivářských podniků, jako jsou výrobci hmyzu, vyrábět a obchodovat se svými produkty v Evropské unii. Politici EU přijali začátkem druhého tisíciletí balíček legislativních textů, které definují obecné zásady a normy v oblasti bezpečnosti potravin a krmiv. Tyto legislativní texty jsou nejčastěji známy jako "obecné potravinové právo" (nařízení č. 178/2002) a "hygienický balíček" (nařízení č. 852/2004 o hygieně potravin a nařízení č. 183/2005, kterým se stanoví požadavky na hygienu krmiv). Výrobci hmyzu, stejně jako každý jiný provozovatel potravinářského nebo krmivářského podniku, jsou zodpovědní za zajištění bezpečnosti uváděných produktů na trh, musí registrovat svoji činnost u příslušných orgánů a stanovit hygienické normy, které se mají uplatňovat ve všech fázích výroby [10].

1.2 Rizika konzumace hmyzu

1.2.1 Mikrobiální rizika

Za potenciálně nebezpečnou mikrobiotu u hmyzu určeného k výživě je považována ta, která je s hmyzem neodmyslitelně spojena jako součástí jeho životního cyklu a ty, které se do něj dostávají během chovu a dalšího zpracování. Problémem může být trus, který zůstane v substrátu před sběrem hmyzu a který dokáže způsobit další kontaminaci [11].

Mikrobiální flóra hmyzu se skládá z bakterií několika rodů: *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Bacillus*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Micrococcus*, *Lactobacillus* a *Acinetobacter*. Potenciálním rizikem u jedlého hmyzu je přítomnost bakterií tvořících spory (*Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis* a *Bacillus megaterium*) izolovaných z larev moučných červů [11]. Hmyz je bohatý na živiny a obsahuje svou střevní mikroflóru, která je za určitých podmínek prostředím pro růst nežádoucích mikroorganismů. To činí hmyz náchylným

k mikrobiologickému nebezpečí, pokud se nedodrží správné tepelné ošetření nebo podmínky skladování. Proto je třeba jedlý hmyz opatrně zpracovávat a skladovat. Bakteriální druhy, jako jsou *Bacillus spp.*, jsou často zavlečeny z půdy a nejsou zcela inaktivovány navzdory použité tepelné úpravě. Mohly by tedy způsobit kažení nebo zdravotní rizika, pokud se vrátí příznivé podmínky pro jejich množení a růst [12]. Organizace pro výživu a zemědělství (FAO) uvádí, že patogenní bakterie hmyzu jsou považovány za neškodné pro zvířata a člověka, protože jejich hostitelé jsou fylogeneticky odlišní. Na druhou stranu je známo, že některé druhy jedlého hmyzu obsahují antibakteriální peptidy. Například nový peptid (Hf-1) z larev mouchy domácí (*Musca domestica*), který inhibuje kmeny potravinových patogenů, jako je např. *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *Shigella dysenteriae*, *Staphylococcus aureus* a *Bacillus subtilis*. Přítomnost Hf-1, který se rovněž nachází v pomerančové šťávě, naznačuje, že hmyz má potenciál jako konzervační látka pro potraviny [11].

1.2.2 Virová rizika

Hmyz, stejně jako všechny ostatní organismy, přechovává ve svém těle viry a může působit jako přenašeč virů (veterinárních i rostlinných) nebo jako vnímavý hostitel. Většina těchto virů je pro hmyz patogenní, způsobuje onemocnění a může vést k úhynu a kolapsu kolonií v komerčních chovech hmyzu. Tento fakt představuje velký problém pro producenty hmyzu, jelikož může způsobit ztráty v produkci. Většina virů je specifická na úrovni čeledí nebo druhů, a proto jsou patogenní pouze pro bezobratlé. Pro člověka a jiné obratlovce, jako jsou hospodářská zvířata a ptáci, patogenní nejsou [11]. Problémem pro člověka jsou viry obratlovců, které mohou přežívat v substrátech a být prostřednictvím substrátu zachyceny hmyzem produkovaným pro potraviny nebo krmiva, čímž vzniká riziko přenosu. Toto riziko lze zmírnit vhodným výběrem substrátu a účinným zpracováním [13].

1.2.3 Mykologická rizika

Hmyz může být také přenašečem plísní a kvasinek, které jsou potenciálně nebezpečné pro lidi a zvířata. Nejčastějšími houbami nalezenými na hmyzu jsou druhy *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Cladosporium* a *Phycomycetes*. Druhy nebo kmeny *Aspergillus*, *Penicillium* a *Fusarium* jsou spojovány s produkcí mykotoxinů, které mohou nepříznivě působit na lidský organismus [11]. Obecně lze jakékoli riziko způsobené houbami související s chovem, zpracováním a skladováním hmyzu omezit hygienickými opatřeními v celém produkčním řetězci [13].

1.2.4 Chemická rizika

Existují především dva zdroje výskytu škodlivin v hmyzu, jako je produkce přirozených toxinů samotným hmyzem (v určité fázi jeho vývoje) a příjem kontaminantů prostřednictvím substrátu a půdy [11]. V substrátu mohou být běžné kontaminanty životního prostředí, např. těžké kovy, organochloridy, polybromované difenylethery, mykotoxiny a rostlinné toxiny. Hmyz může rovněž obsahovat zvýšené množství stopových prvků, např. selenu, které se mohou v hmyzu hromadit z krmného substrátu. Při chovu hmyzu se mohou používat i další chemické látky, např. biocidy k čištění zařízení a vybavení nebo veterinární léčiva k léčbě některých chorob [13]. Mezi chemická rizika související s hmyzem patří metabolické steroidy, které se vyskytují u brouků (čeleď Dytiscidae). Při časté konzumaci mohou způsobit zpomalení růstu, sníženou plodnost u žen, otoky, žloutenku a rakovinu jater [14].

1.2.5 Rizika alergií

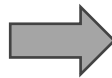
Stejně jako většina potravin obsahujících bílkoviny mohou i členovci vyvolávat IgE zprostředkované alergické reakce u některých lidí. Tyto alergeny mohou způsobit ekzém, dermatitidu, rýmu, konjunktivitidu, otok a bronchiální astma. Někteří lidé mají vrozenou alergickou přecitlivělost, ta se však může vyvinout i v důsledku dlouhodobé expozice [15]. V lékařské literatuře byly v souvislosti s konzumací hmyzu zaznamenány izolované alergické reakce, včetně anafylaktických reakcí. Podobné alergenní struktury byly identifikovány u členovců (Arthropoda), mezi které patří hmyz (Insecta, např. včely, brouci, sarančata a švábi), pavoukovci (Arachnida, např. roztoči) a korýši (Crustacea, např. krevety, krabi a humři). Také byly popsány podobné alergenní struktury u měkkýšů (Mollusca). Například tropomyosin může vyvolávat alergické reakce na korýše, roztoče a hmyz. Tento účinek byl potvrzen ve studii zkřížené reaktivity na larvách moučných červů u pacientů s inhalační a potravinovou alergií na roztoče a korýše. Jako zkříženě reaktivní proteiny byly identifikovány tropomyosin a argininkináza. Je tedy možné, že u lidí alergických na korýše a roztoče z domácího prachu se objeví také alergická reakce na potraviny obsahující bílkoviny z larev moučných červů [16].

Alergická reakce byla hlášena také po požití karmínu (E120), který se získává ze sušených těl samiček košenilového hmyzu červce nopálového (*Dactylopius coccus* var. *Costa*), který je zobrazený na Obrázku 2 [17]. Karmín (Obrázek 3) se používá jako potravinářské barvivo v mnoha různých výrobcích, jako jsou džusy, zmrzliny, jogurty, cukrovinky, a jako barvivo v kosmetických výrobcích, jako jsou oční stíny a rtěnky. Ze všech druhů hmyzu byla nejčastěji

popsána alergie na bource morušového a potravinářskou přísadu karmín, přitom se ale nejedná o nejčastěji konzumovaný hmyz [14].



Obrázek 2: Červec nopálový [18]



Obrázek 3: Karmín (E120) [19]

1.3 Nutriční složení hmyzu

Výživové hodnoty jedlého hmyzu jsou velmi proměnlivé, a to i kvůli velké rozmanitosti druhů. V rámci jedné skupiny jedlých druhů hmyzu se může nutriční složení lišit v závislosti na životním stadiu hmyzu a na jejich prostředí a stravě. Stejně jako u většiny potravin ovlivňují nutriční složení také způsoby přípravy a zpracování (např. sušení, vaření nebo smažení) použité před konzumací. V místech běžné konzumace však hmyz představuje pouze malou část jídelníčku. Například v některých afrických komunitách tvoří hmyz 5-10 % přijímaných bílkovin. Přesto je hmyz díky své nutriční hodnotě stále velmi významným zdrojem potravy pro lidskou populaci [20].

Konzumace hmyzu může zajistit dostatečný příjem energie a bílkovin v lidské stravě. Splňuje požadavky organismu na aminokyseliny (AMK). Hmyz má vysoký obsah mono- a polynenasycených mastných kyselin. Je také bohatým zdrojem stopových prvků, jako je měď, železo, hořčík, mangan, fosfor, selen a zinek. Hmyz obsahuje vitaminy, jako je riboflavin (B₂), kyselina pantothenová (B₅), biotin (B₇) a v některých případech i kyselinu listovou (B₉). Jedlý hmyz také obsahuje značné množství vlákniny. Nerozpustný chitin je nejběžnější formou vlákniny v těle hmyzu, která je obsažena především v jeho exoskeletu. Chitin je považován za nestravitelnou vlákninu, přestože enzym chitináza se nachází v lidských žaludečních šťávách. Bylo však zjištěno, že tento enzym může být neaktivní [21].

Obecně je jedlý hmyz považován za dobrý zdroj bílkovin, tuků, vitaminů a minerálních látek. Konzumace 100 g housenek, poskytuje 76 % doporučeného denního příjmu bílkovin a téměř 100 % doporučené denní dávky vitaminů pro člověka [22]. V Tabulce 1 je srovnání nutričních hodnot v sušině u vybraných řádů hmyzu. Největší množství bílkovin je přítomno u rovnokřídlých (61,3 g na 100 g), největší množství tuků je u brouků (33,4 g na 100 g), nejvíce vlákniny je u dvoukřídlých (13,6 g na 100 g) a největší energetická hodnota je u motýlů (508,9 g na 100 g).

Tabulka 1: Nutriční složení nejběžnějších řádů hmyzu (v sušině) [23]

Řád hmyzu	Bílkoviny (g/100 g)	Tuky (g/100 g)	Vláknina (g/100 g)	BNLV^a (g/100 g)	Popel (g/100 g)	Energetická hodnota (kcal/100 g)
Švábi (Blattodea)	57,3	29,9	5,3	4,5	2,9	ND ^b
Brouci (Coleoptera)	40,7	33,4	10,7	13,2	5,1	490,3
Dvoukřídlí (Diptera)	49,5	22,8	13,6	6,0	10,3	409,8
Polokřídlí (Hemiptera)	48,3	30,3	12,4	6,1	5,0	479,0
Blanokřídlí (Hymenoptera)	46,5	25,1	5,7	20,3	3,5	484,5
Termiti (Isoptera)	35,3	32,7	5,1	22,8	5,9	356,0
Motýli (Lepidoptera)	45,4	27,7	6,6	18,8	4,5	508,9
Vážky (Odonata)	55,3	19,8	11,8	4,6	8,5	431,3
Ravnokřídlí (Orthoptera)	61,3	13,4	9,6	13,0	3,9	426,3

^a... Bezdušičkaté látky výtažkové

^b... Data nejsou k dispozici

1.3.1 Bílkoviny

Bílkoviny jsou organické sloučeniny složené z aminokyselin. Jsou důležitými prvky z hlediska výživy, ale přispívají také k fyzikálním a senzorickým vlastnostem hmyzu. Výživová hodnota závisí na několika faktorech: na obsahu bílkovin, který se u všech potravin značně liší, na kvalitě bílkovin, která závisí na přítomnosti esenciálních a neesenciálních aminokyselin a jestli jejich kvalita odpovídá lidským potřebám, a na stravitelnosti aminokyselin obsažených v potravine. Aminokyseliny jsou stavební kameny potřebné pro biosyntézu všech bílkovin, které zajišťují správný růst, vývoj a fungování lidského organismu. Esenciální aminokyseliny jsou nenahraditelné. Lidské tělo nedokáže samo syntetizovat tyto aminokyseliny, a proto je musí získávat z potravy. Osm aminokyselin je klasifikováno jako esenciální: fenylalanin, valin, treonin, tryptofan, izoleucin, methionin, leucin a lysin [20].

Bílkoviny představují hlavní nutriční složku hmyzu. Z průměrných hodnot bílkovin ve hmyzích řádech se jejich množství v sušine pohybuje v rozmezí od 35,34 % (u řádu Isoptera) až do 61,32 % (u řádu Orthoptera). Nejvyšší množství bílkovin v sušine (77 %) se vyskytuje u *Melanoplus femurrubrum* a *Melanoplus mexicanus* z řádu Orthoptera [24]. Hmyzí bílkoviny obsahují esenciální aminokyseliny jako jsou lysin, metionin a leucin, které jsou v rostlinách, používané v chovu jako krmivo, omezeně zastoupené. Vysoký obsah bílkovin a profil aminokyselin je lepší než u sójové moučky, a podobá se i rybí moučce [4]. Jedlý hmyz také obsahuje vysoký obsah fenylalaninu a tyrosinu. Některé druhy hmyzu obsahují velké množství lysinu, tryptofanu a threoninu. V obilninách tyto látky nejsou hojně přítomny [21].

Rozdíly ve stravitelnosti *in vitro* lze přisoudit způsobu trávení, metodě použité k hodnocení stravitelnosti a druhu. Způsob zpracování, například vykuchání, vaření, pečení, smažení, sušení, autoklávování a fermentace můžou zvýšit i snížit stravitelnost bílkovin [25]. Navzdory těmto rozdílům však lze stravitelnost bílkovin hmyzu považovat za vysokou; u většiny druhů se pohybuje mezi 80 a 90 % a u larvy *Laniifera cyclades* z řádu Lepidoptera se dokonce uvádí 98,9% stravitelnost bílkovin [26]. Tyto hodnoty jsou v průměru jen o málo menší než hodnoty pro vaječnou bílkovinu (95 %) nebo hovězí maso (98 %) a jsou dokonce vyšší než v případě mnohých rostlinných bílkovin [21].

1.3.1.1 Možnosti využití bílkovin hmyzu

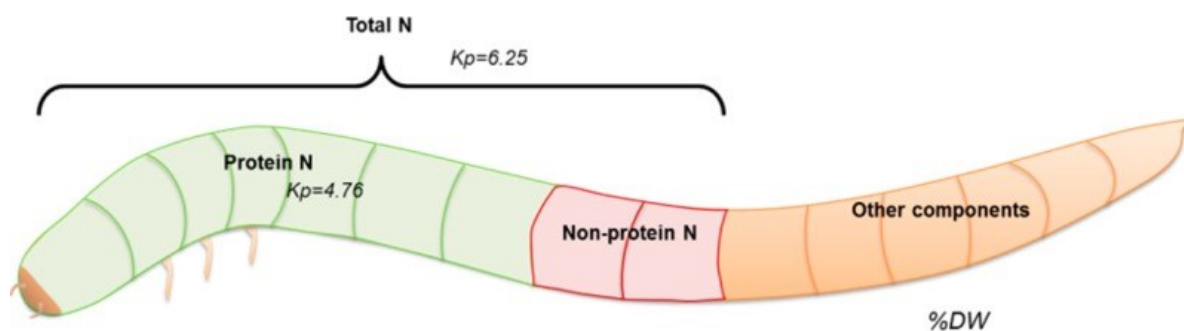
Hlavní technologicko-funkční vlastnosti, které je třeba u hmyzích proteinů zohlednit, jsou: schopnost zadržovat vodu a lipidy, schopnost zahušťovat, emulgovat, napěňovat, želírovat a strukturní schopnosti. Všechny tyto vlastnosti závisí na povaze výchozího materiálu (např. na druhu a stupni zralosti hmyzu) mohou však být také upraveny procesem extrakce a frakcionace, zejména zahříváním a následnou denaturací bílkovin. Pokud se podíváme na vlastnosti, které lze ovlivnit hydratací bílkovin (tj. schopnost zadržovat vodu a schopnost zahušťovat) tak tyto vlastnosti mohou být užitečné zejména pro zlepšení kvality masných a pekařských výrobků nebo dokonce pro úpravu sensorických vlastností zahuštěných nápojů, jako jsou nápoje pro sportovce bohaté na elektrolyty. Emulgační a pěnicí schopnosti, jsou vhodné zejména pro mléčné výrobky, dezerty a salátové dresinky, zatímco želírovací a strukturní schopnosti jsou důležité pro výrobky, jako jsou sýry a tofu. Přestože zvýšení koncentrace bílkovin je často žádoucím parametrem, hmyzí bílkoviny jsou často hnědé nebo tmavé. Změna barvy konečných výrobků způsobená přidávkem hmyzích bílkovin by mohla být velmi negativně vnímána zejména u mléčných výrobků. Avšak u mnoha pekařských výrobků nebo v případě použití jako náhražky masa, se tento problém nepředpokládá [27].

Hydrolyzáty jedlých hmyzích bílkovin se dají použít k výrobě bioaktivních peptidů nebo biopeptidů. Ty se účastní interakcí mezi peptidy a enzymy, které mění konformaci enzymů a inhibují jejich metabolickou aktivitu, což může mít potenciální účinky na snížení hypertenze, zánětu, diabetu 2. typu, mikrobiálních infekcí, poruch imunity a oxidačního stresu [28]. Tyto účinky mohou mít význam pro podporu zdraví lidí a zvířat a lze je také uplatnit při konzervaci potravin ke zvýšení jejich trvanlivosti [27]. Některé biopeptidy prokázaly antimikrobiální a antidiabetické vlastnosti tím, že inhibují alfa-glukosidázu a dipeptidylpeptidázu 4, čímž snižují hladinu glukózy v krvi. Též byla prokázána inhibice angiotenzin konvertujícího enzymu a antihypertenzní aktivita [28].

1.3.1.2 Možnosti stanovení bílkovin v hmyzu

Přestože je jedlý hmyz komerčně dostupný na evropském trhu, v současné době neexistují validované metody pro stanovení složení jedlého hmyzu [29]. Pro kvantitativní stanovení dusíku se používá Dumasova metoda (DM). Ta byla původně používaná ke stanovení molekulové hmotnosti neznámého plynu. DM se používá se jako alternativa klasické Kjeldahlovy metody (KM) pro analýzu obsahu bílkovin v potravinách. Tyto metody jsou založeny na velmi odlišných principech. DM spočívá ve spalování vzorku o známé hmotnosti

při vysoké teplotě za přítomnosti kyslíku. Vzniklé plyny se pak redukuje mědí a suší, přičemž se zachycuje CO₂, a nakonec se pomocí univerzálního detektoru kvantifikuje dusík. Naproti tomu při KM se vzorek rozkládá za mokra, aby se organický dusík přeměnil vroucí kyselinou sírovou na amoniakální dusík. Po přidání hydroxidu se uvolněný amoniak destiluje, jímá a titruje [30]. Obsah hrubých bílkovin je výsledkem stanoveného obsahu dusíku KM vynásobeného koeficientem 6,25, protože bílkoviny obsahují v průměru 16 % dusíku. Obsah dusíku vypočtený danou metodou však zahrnuje také četné nebílkovinné dusíkaté sloučeniny [29]. Hlavní zdroj těchto sloučenin je spojen s přítomností chitinu, který je v hmyzu hojně zastoupen, a to i v jeho larválním stadiu, a může představovat koncentraci dusíku kolem 6 % nebo 7 % hmotnosti. Vliv chitinu na koeficient dusíku je patrný na Obrázku 4. Stále neexistuje shoda v tom, jaký je správný poměr dusíku k bílkovinám, který se má použít při stanovení bílkovin pomocí Dumasovy nebo Kjeldahlovy metody. Nejběžnější poměr 6,25, však vede k nadhodnocení skutečného obsahu bílkovin přibližně o 20 %. Předpokládá se přesnější faktor 4,76 pro celé larvy a 5,60 pro dospělé, pokud se provádí stanovení v bílkovinných extraktech z hmyzu. Pro potměníka moučného, cvrčka domácího a saranče stěhovavé nabývají konverzní faktory poměru dusíku k bílkovinám, hodnot 5,41, 5,25 a 5,33 [31].



Obrázek 4: Faktory konverze dusíku na bílkoviny u larev hmyzu [32]

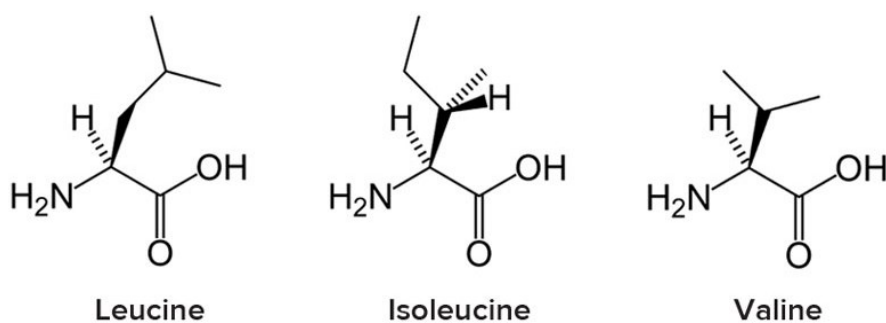
Vzhledem k tomu, že požadavky nařízení (EU) č.1169/2011 pro stanovení obsahu hrubých bílkovin Kjeldahlovou metodou s využitím faktoru 6,25 jsou povinné, nelze tyto přesnější faktory v současné době používat při oficiálním monitorování potravin [29].

Vibrační spektroskopické techniky (např. blízká infračervená (NIR), střední infračervená (MIR) a Ramanova spektroskopie) se běžně používají k určení pravosti, falšování nebo kontaminace potravin v potravinářském průmyslu, protože se jedná o neinvazivní, rychlé a levné analytické techniky. Toho se dá využít ke zjištění přítomnosti bílkovin hmyzu (např. cvrčka, larev černé mušky a moučného červa) v simulované komplexní směsi. Rozdíly ve kvalitě bílkovin a v jejich ceně se u různých druhů hmyzu výrazně liší, což může vést k falšování.

Metody NIR mohou rozlišit odchylky u stejného druhu hmyzu, ale z různých podniků, vykazující malé rozdíly ve složení, které mohou být způsobeny prostředím, krmivem, stářím a způsobem zpracování. NIR metody jsou poměrně levné a efektivní, což z nich činí výborný nástroj pro kontrolu kvality v potravinářském průmyslu. Využití NIR k monitorování kvality výrobků obsahujících hmyzí bílkoviny může zajistit druhovou autentičnost a kvalitu výrobků. Navíc tyto metody mohou prokázat falšování hmyzích prášků méně kvalitními výrobky [33].

1.3.1.3 Možnosti stanovení aminokyselin v hmyzu

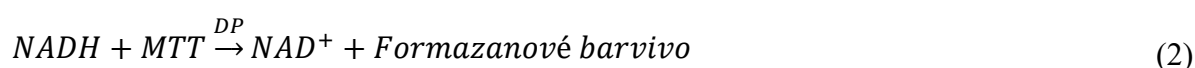
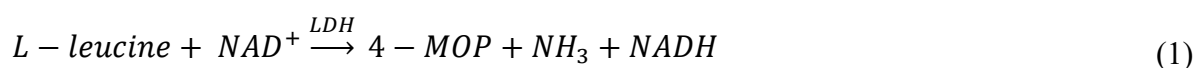
Analýza aminokyselin (AMK) v potravinách se skládá z několika dílčích procesů: uvolnění vázaných AMK z bílkovinné struktury, separace jednotlivých AMK a jejich kvantifikace pomocí kalibračních standardů. Pro optimální vyloučení různých AMK jsou nutné různé podmínky hydrolyzy a existují různé druhy potravinových matic. Standardní podmínky hydrolyzy však nejsou vhodné pro extrakci všech AMK, protože některé AMK jsou za těchto podmínek nestabilní, např. sírné aminokyseliny (cystein a methionin) a tryptofan. Pro tyto výjimky byly zavedeny různé podmínky hydrolyzy. Zavedené analytické techniky vysokoúčinné kapalinové chromatografie (HPLC) (iontová výměna nebo reverzní fáze) a plynové chromatografie s hmotnostní spektrometrií (GC-MS) byly doplněny řadou nových metod. Mezi ně patří kapilární elektroforéza s hmotnostní spektrometrií, ultravysokoúčinná kapalinová chromatografie (UHPLC) s hmotnostní spektrometrií a LC s jinými detektory [34].



Obrázek 5: Struktura leucinu, izoleucinu a valinu [36]

Aminokyseliny s rozvětveným řetězcem (BCAA), znázorněny na Obrázku 5, jsou esenciální živiny zahrnující leucin, izoleucin a valin. Metody detekce BCAA lze rozdělit na chemické a biologické metody. Chemické metody zahrnují kapalinovou chromatografii, fluorescenční metody a elektroforézu, při nichž lze dosáhnout přesné a citlivé detekce. Analytické a biologické metody detekují BCAA na základě jejich účinku na živá zvířata nebo rostliny či tkáně. V poslední době byly vyvinuty biosenzorické metody, které zahrnují kombinaci biologických

rozpoznávacích prvků a snímače. Tyto metody poskytují dobrou selektivitu, vysokou přesnost, nízké limity detekce a reprodukovatelnost. Běžně však vyžadují složité přístroje s kvalifikovaným personálem a pracné postupy. Slibnou alternativou z hlediska jednoduchosti, rychlosti a nízké spotřeby činidel jsou analytická zařízení na bázi biosenzorů z papírových proužků napuštěných reagenty na enzymovou reakci. Enzymová reakce popsaná v rovnicích (1 a 2) poskytuje formazanové barvivo, jehož intenzita se dá zaznamenat chytrým telefonem [35].



Kolorimetrické reakce na papíře však poskytují nízkou intenzitu barvy. Tento problém se dá vyřešit úpravou papíru pomocí nanočástic stříbra [35].

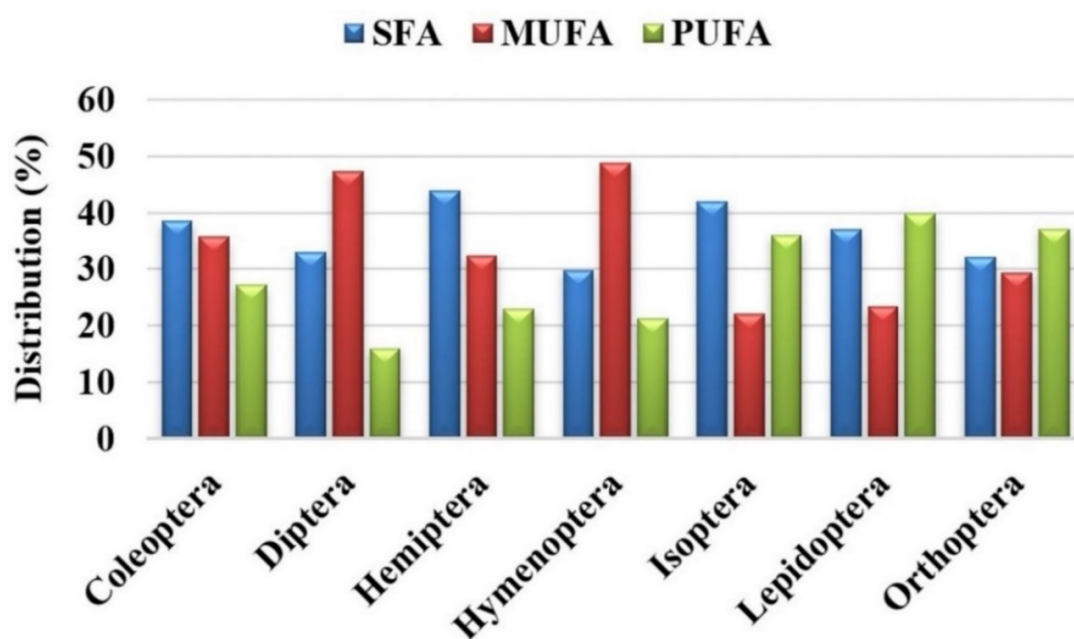
1.3.2 Lipidy

Z hlediska nutričního složení hmyzu představují lipidy druhou největší složku hned za bílkovinami. Lipidy jsou zdrojem energie a jsou důležitou součástí stravy [37]. Obsah lipidů v hmyzu se pohybuje od 10 do 50 % v sušině [27]. Profil mastných kyselin závisí na krmivu, životním stádiu a druhu, hmyz, který má kompletní vývojový cyklus, má obvykle ve své larvální fázi vyšší obsah lipidů a nižší obsah bílkovin než ve fázi dospělce. Samice obvykle obsahují více lipidů než samci, zásoba lipidů se nejspíše využívá pro tvorbu vajíček [37].

Hmyzí lipidy se skládají převážně z triacylglycerolů. Mezi další typy lipidů přítomné v menším množství patří cholesterol, částečné glyceridy, volné mastné kyseliny, fosfolipidy a estery vosků. Hlavními typy lipidů při extrakci z hmyzu jsou triacylglyceroly, které odrážejí původní složení lipidů v hmyzu. Přítomnost dalších minoritních látek v lipidech značně závisí na procesu extrakce [27].

Hmyzí lipidy obsahují značné množství esenciálních mastných kyselin, zejména nenasycených mastných kyselin důležitých pro zdraví. Z mastných kyselin (MK), které jsou považovány za zdravé, lze nalézt např. kyselinu olejovou, linolovou, linolenovou a palmitovou. Obecně je v hmyzu vyšší obsah nenasycených než nasycených mastných kyselin (SFA). Nenasycené mastné kyseliny, mononenasycené (MUFA) a polynenasycené mastné kyseliny (PUFA), přítomné například v rostlinných olejích, ořechách a mořských plodech, jsou pro lidskou spotřebu vhodnější než nasycené mastné kyseliny. Esenciální mastné kyseliny si člověk nedokáže syntetizovat sám a musí se získávat ze stravy. Pouze α -linolenová a linolová kyselina

se řadí mezi esenciální. Lipidy se dále dělí na omega-3 a omega-6 mastné kyseliny. Do skupiny omega-3 patří kyseliny α -linolenová, eikosapentaenová a dokosahexaenová a do skupiny omega-6 patří kyseliny γ -linolenová, linolová, arachidonová a konjugovaná linolenová. Konzumace omega-3 a omega-6 mastných kyselin je kromě mnoha zdraví prospěšných účinků spojena se snížením zánětů a srdečních onemocnění. Z technologického hlediska jsou lipidy zodpovědné za fyzikální, chemické a sensorické vlastnosti potravin [37]. Profil mastných kyselin v jednotlivých řádech hmyzu je zobrazen v Obrázku 6. Řády s nejvyšším zastoupením PUFA jsou motýli (Lepidoptera) rovnokřídlí (Orthoptera) a termiti (Isoptera). Největší množství MUFA je u blanokřídlých a největší množství SFA je u polokřídlých.



Obrázek 6: Profil mastných kyselin (SFA, MUFA a PUFA) různých řádů hmyzu [37]

1.3.2.1 Možnosti využití hmyzích lipidů

Díky své tekuté povaze jsou oleje z hmyzu ideální pro použití v majonéze, v zálivkách z octu a oleje (vinaigrettech), jako oleje na smažení a jako potravinářská maziva. Tuk získaný z larev bráněnky (*Hermetia illucens*) je ideální pro pekařství, výrobu pomazánek a cukrářství, protože se tam vyžaduje určitý podíl pevného tuku. Pro vyhodnocení jejich možného využití jako potravinářské složky jsou však nutné další chemické a fyzikální analýzy. Například krystalizace, analýza textury a obsahu pevného tuku při různých teplotách jsou nutné pro zhodnocení použití tuku v pomazánkách, v cukrovinkách nebo jako složky v pečivu. Reologické vlastnosti pomáhají určit roztíratelnost, snadnost krájení a odolnost v margarínech. Analýza těkavých látek a sensorické hodnocení jsou potřebné k posouzení chuti, pocitu

v ústech a vůně. Podrobné stanovení profilu triacylglycerolů a analýza tepelného chování jsou nutné k posouzení možností frakcionace hmyzího tuku nebo oleje. Profilování minoritních sloučenin, jako jsou fosfolipidy a steroly, pomáhá plně posoudit jeho nutriční hodnotu [27].

Hmyzí oleje mají potenciál pro využití ve farmaceutickém průmyslu díky nízkému bodu tání (okolo $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$), specifické hmotnosti ($<0,89$) a indexu lomu ($<1,3$) [27].

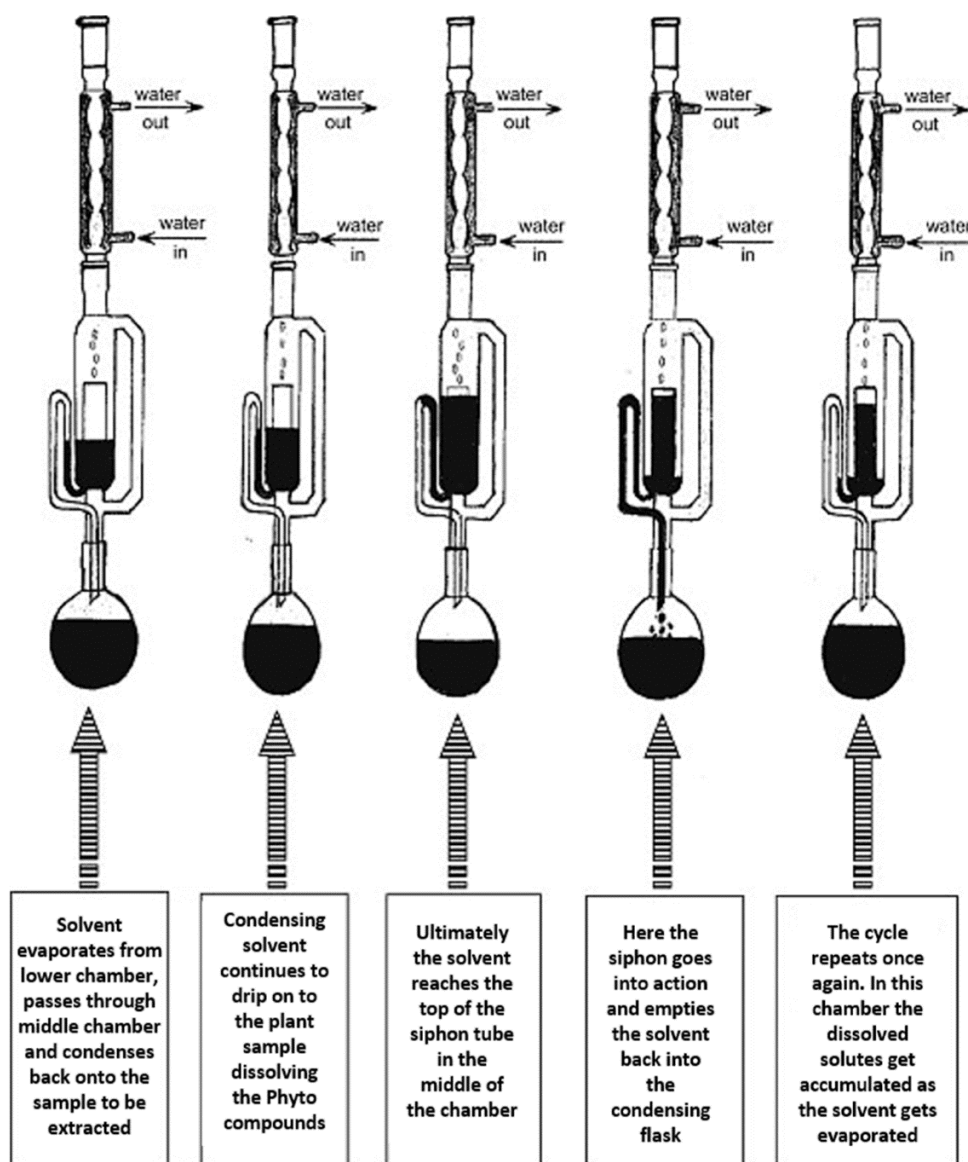
Zařazení hmyzí moučky do krmiv pro hospodářská zvířata by mohlo přispět ke zlepšení kvality drůbežního masa zvýšením koncentrace esenciálních mastných kyselin v mase. Jedlý hmyz by proto mohl být považován za vhodný alternativní zdroj PUFA využívaných ve výživě zvířat. Olej získaný z hmyzu by mohl být přímo doplňován do krmiv hospodářských zvířat, aby dodával PUFA, které nejsou dostupné v olejových složkách rostlinného původu, jako je plnotučná sója a slunečnicový olej. Vysoká akumulace tuků v mase však vede k oxidaci lipidů, což má za následek nežádoucí chuť a barvu a zkrácení doby trvanlivosti, proto je třeba při zařazování složek bohatých na tuky, jako je jedlý hmyz, do krmiv pro zvířata zajistit rovnovážné množství lipidů [38].

Kromě klasického použití hmyzích lipidů jako potravinářských přísad se tyto lipidy také používají při přípravě některých výrobků pro osobní hygienu. Nejhojněji zastoupenými mastnými kyselinami zjištěnými u *Hermetia illucens* jsou kyselina laurová, myristová, palmitová a olejová, složení těchto mastných kyselin je příznivé pro výrobu mýdel, zatímco jejich deriváty se používají pro výrobu detergentů a šamponů [39].

1.3.2.2 Možnosti extrakce tuků z hmyzu

Soxhletova extrakce je jednou z nejčastěji používaných metod extrakce lipidů. Používá organická rozpouštědla, jako je hexan, diethylether, petrolether, aceton a ethanol. Jedná se o specifickou extrakční metodu, která se obvykle provádí v Soxhletově přístroji po dobu několika hodin. Zbytek rozpouštědla se vypouští kohoutem nebo se odpařuje buď pod proudem dusíku při teplotě $45\text{ až }60\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu 1,5 až 3 h (v závislosti na rozpouštědle), nebo pomocí rotační vakuové odparky [32]. Podrobná extrakce dle Soxhleta je znázorněna na Obrázku 7.

Superkritická extrakce tuků oxidem uhličitým je vhodnou alternativou ke konvenčním metodám extrakce pomocí rozpouštědel. Tato metoda přináší několik výhod. Extrakce je bezpečnější, z důvodu použití neorganických rozpouštědel. Díky menší provozní teplotě (nižší než $60\text{ }^{\circ}\text{C}$) je získaný tuk vysoké kvality a zároveň je extrakce selektivní [32].



Obrázek 7: Schéma znázorňující Soxhletovu extrakční techniku [32]

Principem vodní extrakce je smíchání zmraženého vzorku hmyzu s demineralizovanou vodou. Následuje rozmixování a sonikace. Vzniklá suspenze se proseje sítí s rozměrem ok 350 μm . Suspenze se následně centrifuguje za vzniku lipidové frakce, supernatantu a sedimentu. Následně se provádí centrifugace samotné lipidové frakce [40]. Při použití vodní extrakce se extrahují pouze triacylglyceroly. Naproti tomu při použití organických rozpouštědel se extrahují fosfolipidy, částečné acylglyceroly a triacylglyceroly. Mono- a diacylglyceroly, volné mastné kyseliny a fosfolipidy jsou v jedlých olejích a tucích nežádoucí. K odstranění těchto nežádoucích sloučenin se tuky a oleje rafinují, což zvyšuje jejich cenu. Vodní extrakce hmyzích

lipidů poskytuje vysokou kvalitu oleje. Výťažnost je ovšem nižší než při použití organických rozpouštědel nebo superkritické extrakce oxidem uhličitým, při níž se extrahuje více než 95 % lipidů. Postup extrakce nemá zásadní vliv na složení mastných kyselin ve výtažku, ale silně ovlivňuje výtěžek extrakce lipidů a druhy extrahovaných lipidů. Postup extrakce by měl být pečlivě vybrán dle požadovaného použití a nákladů. Další slibnou metodou extrakce hmyzích lipidů s průmyslovým potenciálem je extruze a vytlačení, což je metoda běžně používaná při extrakci oleje ze semen [27].

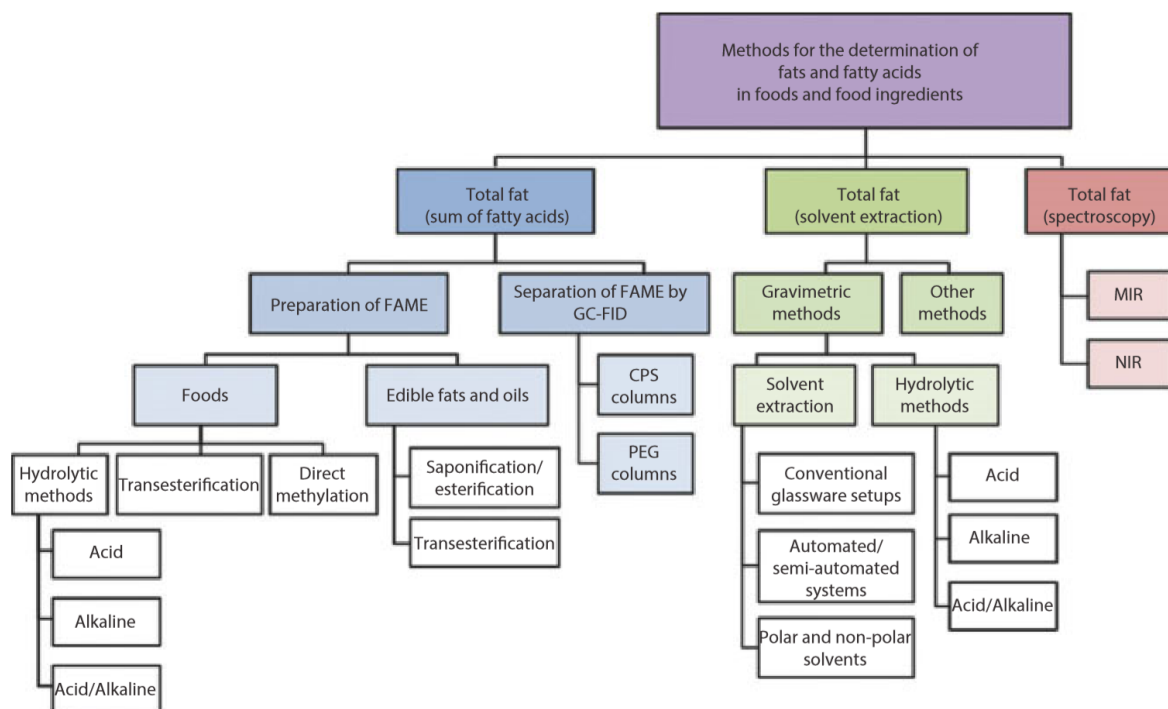
Konvenční techniky pro extrakci tuků mohou být nevýhodné vzhledem k časové náročnosti, požadavkům na vysokou čistotu rozpouštědla, nízké selektivitě a účinnosti extrakce. V současné době lze tyto nevýhody vyřešit alternativními novými technikami, jako je ultrazvukem asistovaná extrakce (UAE), extrakce tlakovou kapalinou (PLE), extrakce mikrovlnami nebo superkritická fluidní extrakce. Tyto metody využívají ethanol nebo směs ethanolu s vodou jako rozpouštědlo [41].

1.3.2.3 Stanovení lipidů

V současné době je k dispozici celá řada analytických technik pro analýzu celkového obsahu tuku a mastných kyselin v potravinách a složkách potravin. Postup stanovení lipidů je zobrazen na schématu v Obrázku 8. Zavedené analytické metody pro stanovení celkového obsahu tuku zahrnují gravimetrické stanovení lipidů extrahovaných rozpouštědlem a výpočet celkového obsahu tuku na základě obsahu jednotlivých mastných kyselin ve vzorku [42].

Gravimetrické metody umožňují hrubý odhad celkového obsahu tuku na základě hmotnosti lipidů extrahovaných ze vzorku. Tyto metody mají sklon podhodnocovat kalorický obsah celkového tuku tím, že do gravimetrického stanovení je zahrnuta hmotnost složek, které nejsou mastnými kyselinami, konkrétně vitaminů rozpustných v tucích, nezmýdelnitelného materiálu a některých netukových makromolekul, které jsou rovněž extrahovány [42].

Stanovení celkového tuku součtem jednotlivých mastných kyselin umožňuje přesnou kvantifikaci nutričního obsahu celkového tuku ve vzorku. Při tomto postupu se mastné kyseliny derivatizují na methylestery mastných kyselin (FAME) a kvantifikují se pomocí plynové chromatografie s plamenově ionizační detekcí (GC-FID) [42].



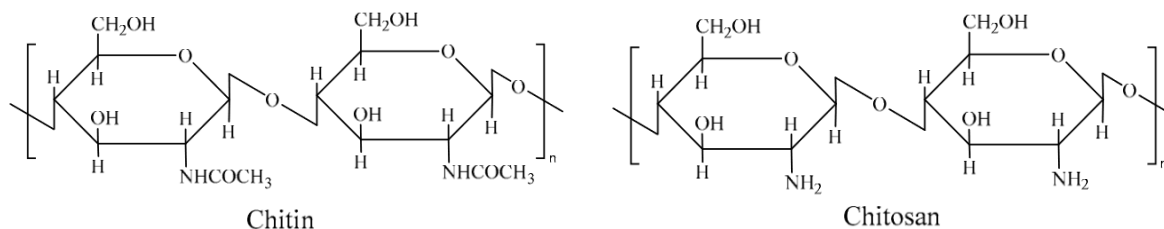
Obrázek 8: Schematický přehled běžně používaných analytických metod pro stanovení celkového obsahu tuku a mastných kyselin v potravinách [42]

Gravimetrické nebo spektroskopické metody jsou vhodné pro běžnou analýzu při stanovení celkového obsahu tuku. V situacích, kdy je vyžadován celkový profil mastných kyselin, je však i nadále vhodnou analytickou metodou analýza pomocí GC-FID [42].

1.3.3 Sacharidy

Sacharidy se u hmyzu vyskytují především ve dvou formách: chitin a glykogen. Chitin je primární složkou exoskeletu, zatímco glykogen je zdrojem energie uloženým v buňkách a svalových tkáních. Průměrný obsah sacharidů v jedlém hmyzu se pohybuje od 6,71 % (kněžice) do 15,98 % (cikáda). Chitin se vyznačuje antioxidační, protinádorovou a antimikrobiální aktivitou [43]. Složení a množství chitinu se u hmyzu liší v závislosti na druhu a vývojovém stadiu. Například u moučného červa se průměrný obsah chitinu pohybuje v rozmezí 1,2 až 10 % [44].

Z chemického hlediska je chitin polysacharid se vzorcem $(C_8H_{13}O_5N)_n$ tvořený opakujícími se N-acetyl-D-glukosaminovými zbytky spojenými β -(1-4) glykosidickými vazbami (Obrázek 9). Stupeň polymerace chitinu dosahuje až několika tisíc, což odpovídá molární hmotnosti až milion Daltonů. Chitin je tvrdý, nepružný a hydrofobní biopolymer, který je nerozpustný ve vodě a ve většině organických rozpouštědel [45].



Obrázek 9: Struktura chitinu a chitosanu [46]

Přestože obsah sacharidů v hmyzu je nízký, polysacharidy z hmyzu jsou biologicky aktivní. Například polysacharidy z kukel bource morušového mají imunomodulační vlastnosti a chitin lze použít k výrobě bioaktivního chitosanu, který je dobrým zdrojem antioxidantů. Struktura chitinu a chitosanu je zobrazena v Obrázku 9. Chitosan izolovaný z larev mouchy domácí (*Musca domestica*) má účinnou redukční schopnost, silnou chelatační schopnost k železnatým iontům a jeho schopnost zachytávat volné radikály DPPH je dokonce silnější než u kyseliny askorbové [46].

Chitin a chitosan mají dobré biologické vlastnosti, jako je snadná rozložitelnost, biokompatibilita, zdravotní nezávadnost a netoxičnost. Protože se jedná o univerzální biopolymery, zkoumá se jejich možné využití v různých průmyslových oblastech. Chitin a chitosan mají antimikrobiální, emulgační, zahušťovací a stabilizační vlastnosti. Vykazují také významnou bioaktivitu v oblasti medicíny, včetně podpory hojení ran, posílení imunitního systému a mají hemostatické, hypolipidemické a antimikrobiální účinky [47].

Chitin a jeho deriváty, mají pozitivní vliv na zdraví trávicího traktu, neboť podporují růst prospěšných probiotických organismů a potlačují růst patogenů. Díky svému antioxidačnímu účinku mohou být chitosanové povlaky také dobrou volbou pro výrobce masných výrobků [45].

1.3.3.1 Metody stanovení chitinu

Chitin je hlavní složkou kutikuly hmyzu, která je vždy kovalentně vázána na pyrokatecholové sloučeniny a proteiny podobné sklerostinu. Chitin se dělí na tři typy podle různé orientace jeho mikrofibril: α -chitin (antiparalelní řetězce), β -chitin (paralelní řetězce) a γ -chitin (kombinace paralelních a antiparalelních řetězců) jejich struktura je znázorněna v Obrázku 10 [47].

vzorků obsahujících jak hmyzí, tak rostlinný materiál je jejich použití problematické. Pro zvýšení specifičnosti těchto metod se analýza doplňuje stanovením dusíku z AMK a popela. Do první skupiny můžeme také zařadit metody založené na schopnosti chitinu reagovat s organickými nebo anorganickými látkami za vzniku barevných komplexů, např. test chitosan-jód a chlor-jodid zinečnatý test [45].

Druhá skupina metod pro stanovení chitinu využívá kvantifikaci chitinových složek (glukosaminu, N-acetylglukosaminu a kyseliny octové) získaných kyselou hydrolyzou chitinu obsaženého ve vzorku. Velkou výhodou těchto metod je jejich vysoká specifičnost, která umožňuje analýzu vzorků obsahujících složky živočišného i rostlinného původu. Nevýhodou je nutnost přístrojového vybavení a případná derivatizace glukosaminu [45].

Identifikace chitinu se dá provést pomocí spektroskopických (NEXAFS, FTIR, Raman, NMR, kolorimetrie), chromatografických (TLC, GC, HPLC), elektroforetických (HPCE) a difrakčních metod. Biochemické a imunochemické metody (ELISA, imunobarvení) se využívají především ve zdravotnictví [49].

1.3.4 Minerální látky

Minerální látky jsou jednou ze základních skupin živin nezbytných pro lidský organismus, slouží k tvorbě tkání a udržování normálních fyziologických funkcí. Protože si minerální látky tělo nedokáže samo syntetizovat, je jejich denní příjem nezbytný pro podporu různých fyziologických a biochemických procesů. Minerální látky se obecně dělí na makroprvky, které jsou potřebné ve velkém množství (Ca, Mg, K, Na), a stopové prvky (Fe, Cu, Zn, Mn), které jsou potřebné v menším množství. Z hlediska potravin se minerální látky dělí na esenciální (Ca, Mg, Fe, Zn, K) a nebezpečné (Hg, Pb, Cd) [50].

Složení minerálních látek v hmyzu je ovlivněno mnoha faktory, jako je období sběru, zeměpisná poloha, životní podmínky a složení krmiva. Během zpracování může docházet k interakcím mezi minerálními látkami a dalšími látkami (např. chitinem, bílkovinami a fytochemickými látkami), což může snížit biologickou dostupnost některých minerálních látek [51].

Zvláštní pozornost by měla být věnována prvkům s vysokým nutričním významem, jako jsou Fe, Zn a Ca. U hmyzu se Fe vyskytuje převážně v nehemové formě (ferritin, holoferritin a cytochromy); pouze některé druhy obsahují hemoglobin a žádný druh neobsahuje myoglobin.

Dostupnost Fe z hmyzu je dokonce výrazně vyšší než z hovězí svíčkové. Kobylinky, cvrčci a mouční červi mají také výrazně vyšší množství využitelného Ca, Cu, Mg, Mn a Zn než hovězí maso. Nedostatek Zn se v lidské populaci vyskytuje na celém světě, přičemž nejvíce ohroženy jsou těhotné ženy a děti do 5 let. Cvrččí prášek může výrazně podpořit dostatečný přísun Zn ve stravě, obsahuje totiž mnohem více Zn než obiloviny [51]. S výjimkou larev mouchy domácí (*Musca domestica*) má veškerý hmyz nízký obsah vápníku a tento obsah nesplňuje doporučenou denní dávku pro dospělé osoby [24]. Pro účinnou absorpci Ca v těle je také důležitý poměr Ca a P, který by měl být 1,4:1 až 1,9:1. Naměřený obsah P u cvrčka domácího a saranče pouštní je čtyřikrát vyšší než příslušný obsah Ca. U potemníka brazilského je pětikrát vyšší a u moučných červů je až jedenáctkrát vyšší. Vzhledem k nízkému poměru vápníku a fosforu u hmyzu, lze uvažovat, že vápník z hmyzu je hůře vstřebatelný [51].

Rizikem může být přítomnost těžkých kovů vzhledem k jejich schopnosti hromadit se v tkáních. U některých druhů jedlého hmyzu byly zjištěny zvýšené hladiny Cd, Cu, Mn, Ni, Pb a Zn. Maximální povolené obsahy Cd a Pb v hmyzu nebyly oficiálně stanoveny, nicméně nejvyšší dostupné hodnoty 0,014 respektive 0,019 mg/100 g jsou hluboko pod limity navrhovanými pro korýše, kteří jsou anatomicky podobní hmyzu (0,05 mg/100 g) [51]. V Tabulce 2 jsou uvedeny hodnoty vybraných prvků v hmyzu. Z daných hodnot je patrné vysoké množství draslíku a fosforu v daném hmyzu. Larvy moučného červa mají nejvyšší obsah hořčíku.

Tabulka 2: Obsah prvků ve vzorcích jedlého hmyzu (v mg/100 g sušiny) [51]

Prvek	Cvrčcí prášek (z <i>Acheta domesticus</i>)	Cvrček domácí (<i>Acheta domesticus</i>)	Moučný červ (<i>Tenebrio molitor</i>)	Saranče pouštní (<i>Schistocerca gregaria</i>)	Potemník brazilský (<i>Zophobas morio</i>)
K	287–1245	1075–1154	994–1187	651–1131	627–817
P	989–1233	741–896	798–1054	569–894	410–658
Na	157–418	331–413	159–208	151–216	85–111
Ca	176–254	176–265	66–142	169–190	80–98
Mg	68,2–120,4	84–125	263–335	69–164	95–127
Zn	25,4–26,3	16–16,9	11,2–14,1	12,6–17,2	7,9–9,1
Fe	5,6–6,4	4,2–5,1	4,5–5	3,6–5	2,9–4,5
Mn	4,2–5,8	2,5–2,8	0,5–0,9	0,2–0,6	0,5–0,8
Cu	2,1–2,4	1,8–2,9	2,1–2,4	3,5–7,8	1,2–1,5
Ni	0,019–0,064	0,05–0,061	0,046–0,077	0,026–0,103	0,028–0,151
Cr	0,01–0,039	0,013–0,018	0,008–0,023	0,017–0,045	0,012–0,021
Cd	0,002–0,01	0,004–0,006	0,008–0,014	0,003–0,008	0,002–0,003
Co	0,001–0,009	0,001–0,015	0,002–0,008	0,005–0,009	<0,001
Pb	0,006–0,019	0,01–0,014	0,004–0,01	0,01–0,015	0,002–0,004

1.3.4.1 Metody stanovení minerálních látek

Příprava vzorku je pro prvkovou analýzu velmi důležitá, neboť má zásadní vliv na výsledky. Při analýze je nejprve potřeba odstranit organické látky a poté následuje samotné stanovení prvků. K rozložení organických látek se nejčastěji využívá zpopelnění a rozkladu mokrou cestou. Metoda zpopelnění využívá vysoké teploty (450 až 550 °C) k přeměně organických látek na H₂O a CO₂. Vzniklý popel se nejčastěji rozpouští v kyselině dusičné. Tento způsob rozkladu má několik omezení. Prvky jako jsou Se, As, Sb nebo Cd mohou být převedeny na těkavé formy, čímž může dojít k určitým ztrátám. Rozklad na mokré cestě pomocí kyselin nebo jejich směsí se obvykle provádí ve skleněných zkumavkách, otevřených nádobách s ohřevem nebo v uzavřených nádobách s tepelným nebo mikrovlnným ohřevem. Tyto metody jsou časově a energeticky náročné, i tak jsou stále nejčastěji používané při přípravě vzorků potravin pro

prvkovou analýzu. Nejúčinnější techniky pro stanovení prvků jsou založeny na atomové spektrometrii, jako je atomová absorpční spektrometrie (AAS), atomová fluorescenční spektrometrie (AFS), atomová emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-AES) a hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS) [52].

Atomová absorpční spektrometrie s vysokým rozlišením a kontinuálním zdrojem záření využívající grafitovou kyvetu (HR-CS GF-AAS) se dá použít ke stanovení Cd, Co, Cr, Fe, Ni, P a Pb. Metoda plamenové atomové absorpční spektrometrie (F-AAS) se může použít ke stanovení Ca, Cu, Mn, Mg a Zn. Ke stanovení K a Na se nejčastěji využívá metoda plamenové atomové emisní spektrometrie (F-AES) [51].

1.3.1 Vitamíny

Vitamíny patří mezi základní živiny v těle, a plní důležitou roli v lidském těle. Podílejí se na mnoha fyziologických funkcích, jako jsou procesy normálního metabolismu a regulace buněk, jsou nezbytné pro růst a vývoj a jejich nedostatek i nadbytek může ohrozit zdraví. Vitamíny lze rozdělit na vitamíny rozpustné v tucích a vitamíny rozpustné ve vodě. Do první skupiny patří vitamíny skupiny A, D, E a K, zatímco do druhé skupiny patří vitamíny skupiny B a C [53].

Vitamíny dosud nalezené v hmyzu jsou: retinol (A), ergokalciferol (D₂), cholekalciferol (D₃), kyselina askorbová (C), tokoferol (E), fylochinon (K), thiamin (B₁), riboflavin (B₂), niacin (B₃), kyselina pantothenová (B₅), pyridoxin (B₆), D-biotin (B₇), kyselina listová (B₉), a kobalamin (B₁₂) [46]. Obsah thiaminu se pohybuje v rozmezí od 0,1 do 4 mg na 100 g sušiny. Riboflavin je v jedlém hmyzu zastoupen v množství od 0,11 do 8,9 mg na 100 g. Kobalamin je ve větším množství přítomen v larvách potemníka moučného (0,47 µg na 100 g) a v cvrčku domácím (5,4 µg na 100 g u dospělců, 8,7 µg na 100 g u nymf). Mnoho dalších druhů hmyzu však obsahuje pouze zanedbatelné množství kobalaminu. Několik druhů larev motýlů (Lepidoptera) a jeden druh termitů (*Nasutitermes corniger*) obsahují značné množství retinolu, celkově však hmyz neobsahuje větší množství tohoto vitamínu. Obsah tokoferolu je u většiny druhů hmyzu poměrně nízký (6-16 mg/kg sušiny), s výjimkou octomilky obecné (*Drosophila melanogaster*) a *Microcentrum rhombifolium* (112 a 110 mg/kg sušiny). Obecně lze říct, že hmyz je bohatý na riboflavin, kyselinu pantotenovou a biotin, avšak není dobrým zdrojem retinolu, kyseliny askorbové, tokoferolu, niacinu a ve většině případů také thiaminu [21].

1.3.1.1 Metody stanovení vitaminů

Vitaminy jsou velmi nestabilní a rychle se rozkládají vlivem tepla, kyslíku, světla, vlhkosti a hodnoty pH. Analýza vitaminů je obtížná kvůli jejich nestabilitě, nízké koncentraci analytu, matrici potravin a interakcím s jinými složkami potravin [54].

Vitaminy rozpustné v tucích se ze vzorku extrahují alkalickým zmýdelněním a následnou extrakcí kapalina-kapalina pomocí organických rozpouštědel. Zmýdelňování se provádí v alkalickém prostředí při laboratorní nebo zvýšené teplotě s antioxidanty v inertní atmosféře. Horké zmýdelnění lze použít pro extrakci vitaminů skupin A, D a E. Tato metoda se však nepovažuje za vhodnou pro vitamin K. Ten se v alkalických podmínkách za vysoké teploty rychle rozkládá, a proto se používá studené zmýdelnění, při němž se rozklad provádí delší dobu ve tmě. Nevýhodou těchto technik je, že dochází k degradaci vitaminů, mají nízkou výtěžnost, vyžadují velké množství rozpouštědel a jsou časově náročné. Ke zvýšení výtěžnosti, snížení množství vzorku a doby extrakce se může použít extrakce tlakovou kapalinou (PLE) nebo akcelerovaná extrakce rozpouštědlem (ASE). Tyto metody extrakce využívají rozpouštědlo s vyšší teplotou a tlakem [54].

K samotnému stanovení vitaminů rozpustných v tucích se hodí všechny metody LC, jako je HPLC a UHPLC. Různé typy kolon (normální fáze, reverzní fáze a reverzní fáze v nevodném prostředí) poskytují širokou škálu použití. Techniky LC využívají různé typy detektorů. Pro lipofilní vitaminy se nejčastěji používají detektory ultrafialového nebo viditelného světla (UV/Vis) a diodového pole (DAD). Dále to jsou fluorescenční (FLD) a elektrochemické (ED) detektory. Ke stanovení vitaminů rozpustných ve vodě se nejčastěji používají DAD, FLD a UV detektory. Obě skupiny vitaminů se dají detekovat pomocí hmotnostního spektrometru (MS), který je schopen identifikovat velmi nízké hladiny daných vitaminů [54].

K izolaci vitamínu C ze vzorku se používá extrakce kyselinou, nebo metoda PLE. K extrakci vitaminů skupiny B se používá kombinace srážení bílkovin, kyselá hydrolyza, enzymatické úpravy a extrakce na pevné fázi [54].

Vitamin C se stanovuje buď titrací, nebo pomocí HPLC a UHPLC. K detekci se využívají detektory DAD a MS. Dalšími metodami stanovení jsou kapilární elektroforéza a polarografie. Ke stanovení vitaminů skupiny B se používají mikrobiologické testy, které jsou však časově náročné. V poslední době je nejpoužívanější metoda HPLC ve spojení s UV, FLD, DAD a ED detektory [54].

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1 Použitá zařízení a pomůcky

- Ke stanovení obsahu sušiny byl použit analyzátor vlhkosti DLB 160-3A od firmy Kern & Sohn GmbH (Balingen-Frommern, Německo). Vzorky byly váženy pomocí analytické váhy ABJ 320-4NM od firmy Kern & Sohn GmbH (Balingen-Frommern, Německo).
- K extrakci tuku byl použit systém na Soxhletovu extrakci R 104 S od firmy behr Labor-Technik GmbH (Düsseldorf, Německo). K sušení byla použita pec AX120 od firmy Carbolite Gero Ltd. (Hope, Spojené království).
- Ke stanovení mastných kyselin byl použit plynový chromatograf 7890A s hmotnostním detektorem 5977A od firmy Agilent (Santa Clara, USA). Byla použita kolona TRACE™ TR-FAME (60 m × 0,25 mm × 0,25 μm) od firmy Thermo Scientific (Waltham, USA). Byl také použit termoblok Dry Block Heater 1 od firmy IKA (Staufen, Německo).
- K rozkladu vzorku Kjeldahlovou metodou byl použit ohřívač Turbotherm TT440 od firmy C. Gerhardt GmbH & Co. KG (Königswinter, Německo).
- Běžné laboratorní vybavení.

2.2 Použité chemikálie

K extrakčnímu stanovení tuku byl použit diethylether. Na stanovení celkových bílkovin byl použit: hydroxid sodný (30 % a 0,1 M roztok), kyselina sírová (96 % a 0,05 M roztok), selenový katalyzátor, pevný dihydrát kyseliny šťavelové, indikátor Tashiro a fenolftalein. K rozboru mastných kyselin byl použit: methanolát sodný (95 %), chlorid sodný (p.a.) a n-hexan. Mobilní fázi v GC-MS bylo helium čistoty 4.6.

2.3 Vzorky

Vzorky sušeného jedlého hmyzu byly zakoupeny prostřednictvím e-shopů jednotlivých výrobců. V Tabulce 3 jsou uvedeny názvy výrobků, druh hmyzu, výrobce a země původu jednotlivých vzorků. Všechny vzorky jsou původem z České republiky. Vzorky byly vybírány tak, aby byly zastoupeny druhy jedlého hmyzu, které jsou běžně k sehnání v České republice. Dalším kritériem při výběru byla co nejmenší přítomnost příchutí, které by mohly ovlivnit výsledky měření. V Tabulce 4 jsou nutriční hodnoty, udávané na obalu. Z tabulky je patrné, že složení hmyzu se u těchto výrobců liší. Přesné složení vzorků je uvedeno v Příloze A.

Tabulka 3: Vzorky jedlého hmyzu

Vzorek	Název výrobku	Druh hmyzu	Výrobce
1 – Potemník	Křupaví červíci sůl	Potemník moučný (<i>Tenebrio molitor</i>)	WormUP s.r.o., Žamberecká 483, 51754 Vamberk
2 – Potemník	Sušení červíci na vaření natural	Potemník moučný (<i>Tenebrio molitor</i>)	Grig Distribuce s.r.o., Svatopluka Čecha 2672/100, Brno, 612 00
3 – Cvrček	Lahodní cvrčci natural	Cvrček domácí (<i>Acheta domestica</i>)	WormUP s.r.o., Žamberecká 483, 51754 Vamberk
4 – Cvrček	Cvrččí mouka	Cvrček domácí (<i>Acheta domestica</i>)	Grig Distribuce s.r.o., Svatopluka Čecha 2672/100, Brno, 612 00
5 – Kobyłka	Sušené kobylinky s příchutí sůl	Saranče stěhovavá (<i>Locusta migratoria</i>)	Grig Distribuce s.r.o., Svatopluka Čecha 2672/100, Brno, 612 00

Tabulka 4: Výživové údaje na 100 g uvedené na obalech vzorků

	Nutriční hodnoty na 100g	Energetická hodnota (kcal)	Bílkoviny (g)	Sacharidy (g)	z toho cukry (g)	Tuky (g)	z toho nasycené MK (g)	Vláknina (g)	Sůl (g)
1 – Potemník	509	58	3,5	0	29	7	-	2,2	
2 – Potemník	508	58	2,28	0,81	18,5	6,35	12,9	0,01	
3 – Cvrček	473	65	7,8	0	22	9,4	-	1,1	
4 – Cvrček	454	56	9,5	3,6	21,9	8,47	5,51	3,4	
5 – Kobyłka	373	54	0,5	0,09	29	7,7	10,3	3,2	

2.4 Úprava vzorků

Každý vzorek, kromě vzorku 4, byl před analýzou v třecí misce tloučkem rozmělněn na prášek a homogenizován. Po rozmělnění byly všechny vzorky vysušeny v analyzátoru vlhkosti DLB 160-3A. Vysušený prášek byl následně uchováván v kádinkách v exsikátoru.

2.5 Stanovení sušiny

Ke stanovení sušiny byl použit analyzátor vlhkosti DLB 160-3A. Po zapnutí přístroje bylo na hliníkovou misku naváženo kolem 3 až 4 gramů homogenizovaného vzorku, který byl následně rovnoměrně rozprostřen po celé ploše misky. Po zaklopení krytu byl přístroj zapnut. Sušení probíhalo při 105 °C do konstantní hmotnosti.

2.6 Extrakční stanovení obsahu tuku

Na extrakční stanovení tuku z jedlého hmyzu byla použita Soxhletova metoda, jejíž princip byl popsán v kapitole 1.3.2.2. Stanovení bylo provedeno dle návodů z předmětu Laboratoř analýzy potravin [55].

Suché a prázdné destilační baňky s varnými kuličkami byly zváženy na analytických vahách s přesností na čtyři desetinná místa. Destilační baňky byly umístěny do topných hnízd extrakčního systému. Vysušený a rozmělněný vzorek jedlého hmyzu byl navážen na analytických vahách s přesností na čtyři desetinná místa. Navážka byla v rozmezí od 2 do 6 g vzorku. Jednotlivé vzorky byly následně kvantitativně převedeny do extrakčních patron a překryty kouskem vaty. Patrony byly vloženy do Soxhletových extraktorů. Horní části jednotlivých extraktorů byl dovnitř nalit diethylether. Množství diethyletheru odpovídalo 1,5násobku objemu střední části extraktoru. Po promazání zábrusů Ramsayovým tukem byly extraktory nasazeny na destilační baňky. Celé zařízení je zobrazeno na Obrázku 11.



Obrázek 11: Extraktor na stanovení tuku

Po připojení chladicí vody do zpětných chladičů byla zapnuta varná hnízda. Nejprve se rozpouštědlo přivedlo k varu při 100 % výkonu topné desky, následně byl výkon snížen na 40 %. Extrakce probíhala tři hodiny. Po ukončení extrakce bylo rozpouštědlo postupně vypouštěno kohoutem do zásobní láhve. Destilační baňky s tukem byly umístěny na 20 minut do sušárny vyhřáté na 105 °C. Po vychlazení v exsikátoru byly baňky zvaženy na analytických vahách. Na základě navážky a rozdílu hmotnosti prázdné baňky a baňky s tukem bylo vypočítáno procentuální zastoupení tuku ve vysušeném vzorku. Extrakční stanovení bylo pro všechny vzorky, kromě vzorku 1 – Potemník a vzorku 5 – Kobyłka, opakováno dvakrát, kvůli úspoře času, vzorků a rozpouštědla a také protože množství vyextrahovaného tuku se u vzorků 2 až 4 po druhém stanovení shodovalo. Obecný výpočet obsahu tuku v % je znázorněn v rovnici (3):

$$\% \text{ tuku} = \frac{\text{Vyvážka tuku [g]}}{\text{Navážka [g]}} \cdot 100 \quad (3)$$

Ukázkový výpočet pro vzorek 1:

$$\% \text{ tuku} = \frac{1,5731 \text{ g}}{5,2828 \text{ g}} \cdot 100 = 29,78 \% \quad (4)$$

2.7 Stanovení zastoupení mastných kyselin z extrahovaného tuku

Byl použit postup z bakalářské práce Bc. Simony Peškové [56]. Na přípravu 25 ml methanolického roztoku methanolátu sodného o koncentraci 0,25 mol/l bylo naváženo 0,3376 g methanolátu sodného. Navážka byla kvantitativně převedena do odměrné baňky, která byla doplněna po rysku methanolem a následně promíchána. Vyextrahovaný tuk ze vzorků (viz. kapitola 2.6) ve varných baňkách byl zahřát ve vodní lázni, aby došlo k rozpuštění veškerého tuku. Po rozpuštění byly vzorky tuku naváženy do vialek na analytických vahách s přesností na 4 desetinná místa. Naváženo byla vždy cca 25 mg vzorku. Do vialky bylo následně přidáno 1,5 ml roztoku methanolátu sodného. Po uzavření byly vialky umístěny do termobloku vytemperovaného na 60 °C po dobu 20 minut. Každých 5 minut byly vialky protřepány. Po vychladnutí byl do vialek pipetován 1 ml nasyceného roztoku chloridu sodného a 2 ml hexanu. Po protřepání a centrifugaci došlo k oddělení dvou fází a horní hexanová vrstva byla odebrána pro GC-MS analýzu do menších, 1,5 ml vialek, které byly vloženy do autosampleru, který je spolu s chromatografem zobrazen na Obrázku 12. Podmínky GC-MS analýzy jsou popsány v Tabulce 5. Výsledky měření byly vyhodnoceny pomocí programu Agilent MassHunter Workstation Software, NIST Mass Spectrometry Data Center a následně zpracovány v programech Excel a Word verze Microsoft 365.

Tabulka 5: Podmínky GC-MS

Kolona	Kolona: TRACE™ TR-FAME (60 m × 0,25 mm × 0,5 μm) (Thermo Scientific, Waltham, USA)
Mobilní fáze a průtok	Helium, 1 ml/min
Objem nástřiku a splitovací poměr	0,5 μl, 50
Teplota nástřiku	250 °C
Teplotní program	70 °C 3,5min, gradient 10 °C/min na 160 °C, 160 °C 5 min, gradient 5 °C/min na 200 °C, 1 min, gradient 2 °C/min na 240 °C, 5 min
Teplota MSD Transfer line	300 °C
Podmínky MS s EI ionizací	Ionizace: pozitivní elektronová ionizace, 70 eV Teplota MS zdroje: 230 °C Teplota MS kvadrupólu: 150 °C Skenovací rozsah 40–400 m/z Izolační šířka: 0,1 m/z Rychlost skenování: 7 skenů/min Solvent delay: 7 min

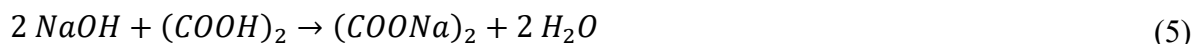


Obrázek 12: GC-MS od firmy Agilent Technologies

2.8 Standardizace roztoků

2.8.1 Standardizace odměrného roztoku NaOH

Ke standardizaci roztoku NaOH o přibližné koncentraci 0,1 mol/l byla použita kyselina šťavelová a indikátor fenolftalein. Princip standardizace je uveden v rovnicích (5–7).



$$m_{(\text{COOH})_2} = \frac{(c \cdot V)_{\text{NaOH}} \cdot M_{(\text{COOH})_2}}{2} \quad (6)$$

$$c_{\text{NaOH}} = \frac{2 \cdot \left(\frac{m}{M}\right)_{(\text{COOH})_2}}{V_{\text{NaOH}}} \quad (7)$$

S přesností na čtyři desetinná místa byla navážena vypočtená navážka kyseliny šťavelové z rovnice (6), která byla kvantitativně převedena do titrační baňky. Následně byla navážka rozpuštěna v přiměřeném množství destilované vody. Dále byly přidány dvě kapky indikátoru fenolftalein a roztok byl titrován odměrným roztokem NaOH do slabě růžového zbarvení. Hodnoty navážek a výsledných koncentrací byly vypočítány z rovnic (8 a 9) a jsou spolu s objemy uvedeny v Tabulce 6.

Tabulka 6: Standardizace odměrného roztoku NaOH

Měření	Hmotnost $(\text{COOH})_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ [g]	Objem NaOH [ml]	Koncentrace NaOH [mol/l]
1.	0,0658	10,5	0,09942
2.	0,0630	10,1	0,09896
3.	0,0657	10,55	0,09879

Výpočet navážky kyseliny šťavelové:

$$m_{(\text{COOH})_2} = \frac{(c \cdot V)_{\text{NaOH}} \cdot M_{(\text{COOH})_2}}{2} = \frac{0,1 \frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot 0,01 \text{ l} \cdot 126,066 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{2}$$
$$m_{(\text{COOH})_2} = \mathbf{0,06303 \text{ g}} \quad (8)$$

Výpočet koncentrace:

$$c_{\text{NaOH}} = \frac{2 \cdot \left(\frac{m}{M}\right)_{(\text{COOH})_2}}{V_{\text{NaOH}}} = \frac{2 \cdot \frac{0,0658 \text{ g}}{126,066 \text{ g/mol}}}{0,0105 \text{ l}} = \mathbf{0,09942 \text{ mol/l}} \quad (9)$$

Průměrná koncentrace:

$$c_{\text{NaOH}} = \mathbf{0,09906 \text{ mol/l}} \quad (10)$$

2.8.2 Standardizace odměrného roztoku H₂SO₄

Ke standardizaci H₂SO₄ byl použit standardizovaný roztok NaOH o koncentraci 0,09906 mol/l a indikátor fenolftalein. Princip standardizace je uveden v rovnicích (11 a 12).



$$c_{H_2SO_4} = \frac{(c \cdot V)_{NaOH}}{2 \cdot V_{H_2SO_4}} \quad (12)$$

Do titrační baňky bylo pipetováno 10 ml odměrného roztoku H₂SO₄ o přibližné koncentraci 0,05 mol/l. Vzorek byl zředěn přiměřeným množstvím destilované vody. Po přidání dvou kapek indikátoru Tashiro byl vzorek titrován odměrným roztokem NaOH o koncentraci 0,09906 mol/l do prvního zeleného zbarvení. Hodnoty objemů NaOH a výsledné koncentrace H₂SO₄, spočítané z rovnice (13), jsou uvedeny v Tabulce 7.

Tabulka 7: Standardizace H₂SO₄

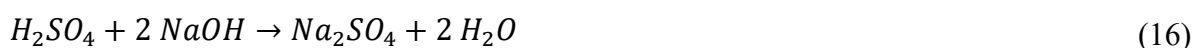
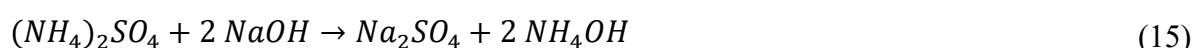
Měření	Objem H ₂ SO ₄ [ml]	Objem NaOH [ml]	Koncentrace H ₂ SO ₄ [mol/l]
1.	10	11,1	0,05498
2.	10	11,1	0,05498
3.	10	11,1	0,05498

Výpočet koncentrace:

$$c_{H_2SO_4} = \frac{(c \cdot V)_{NaOH}}{2 \cdot V_{H_2SO_4}} = \frac{0,09906 \text{ mol/l} \cdot 0,0111 \text{ l}}{2 \cdot 0,01 \text{ l}} = \mathbf{0,05498 \text{ mol/l}} \quad (13)$$

2.9 Stanovení veškerých bílkovin Kjeldahlovou metodou

Princip Kjeldahlovy metody je popsán v kapitole 1.3.1.2 a v rovnicích (14–16). Při mineralizaci vzorku vzniká síran amonný. Ten se v alkalickém prostředí změní na amoniak, který se destiluje do předlohy se standardizovanou kyselinou sírovou. Její přebytek se stanovuje alkalimetry.



Stanovení bylo provedeno dle návodů z předmětu Laboratoř analýzy potravin [55]. Na stanovení veškerých bílkovin bylo na analytických vahách s přesností na čtyři desetinná místa naváženo kolem 0,5 g sušeného vzorku hmyzu. Jednotlivé navážky byly kvantitativně převedeny do mineralizačních zkumavek. Do všech zkumavek bylo následně přidáno 3 g selenového katalyzátoru, varné kuličky a 25 ml kyseliny sírové (96 %). Stojan se zkumavkami byl vložen do topného hnízda. Stojan byl následně přiklopen boxem s odsávacím zařízením, které vedlo přes dvě promývačky. Celé zařízení je zobrazeno na Obrázku 13.



Obrázek 13: Příklad na mineralizaci vzorků

V jedné promývačce byl hydroxid sodný a ve druhé byl hydrogenuhličitan sodný. Po zapnutí vodní vývěvy na odsávání bylo zapnuto topné hnízdo. Topné hnízdo pracovalo při 70 % výkonu po dobu 100 minut do vyjasnění a vzniku slabě modrého zbarvení. Po mineralizaci a ochlazení byly vzorky kvantitativně převedeny do 100 ml odměrných baněk. Vzorky v odměrných baňkách byly doplněny po rysku destilovanou vodou a promíchány.

Byla sestavena aparatura na destilaci amoniaku, která je zobrazena na Obrázku 14.



Obrázek 14: Destilační aparatura pro destilaci amoniaku

Do destilační baňky s varnými kamínky bylo pipetováno 10 ml vzorku. Nádoba nad destilační baňkou byla po značku naplněna 30 % roztokem NaOH. Do titrační baňky bylo pipetováno 10 ml H_2SO_4 o koncentraci 0,05498 mol/l. Následně byla přidána destilovaná voda a dvě kapky indikátoru Tashiro. Po zapnutí kahanu byl do destilační baňky pootevřením závitu přikapáván NaOH, tím došlo k uvolnění amoniaku, který se destiloval a jímal do titrační baňky s H_2SO_4 . Proces uvolňování amoniaku trval cca 8 minut. Po destilaci byl konec aparatury opláchnut destilovanou vodou do titrační baňky. Přebytek H_2SO_4 byl titrován odměrným roztokem NaOH o koncentraci 0,09906 mol/l do zelené barvy. Titrační stanovení bylo pro každý vzorek opakováno dvakrát. Výpočet hrubých bílkovin je popsán v rovnici (17), kde $F_{zř.}$ je zředovací faktor a $F_{konv.}$ je konverzní faktor.

$$x = \frac{M_N \cdot 2 \cdot \left((c_{H_2SO_4} \cdot V_{H_2SO_4}) - \left(\frac{1}{2} \cdot c_{NaOH} \cdot V_{NaOH} \right) \right) \cdot F_{zř.} \cdot F_{konv.}}{m_{vzorku}} \quad (17)$$

Ukázkový výpočet pro vzorek 1:

$$x = \frac{14 \frac{g}{mol} \cdot 2 \cdot \left(\left(0,05498 \frac{mol}{l} \cdot 0,01 l \right) - \left(\frac{1}{2} \cdot 0,09906 \frac{mol}{l} \cdot 0,0076 l \right) \right) \cdot \frac{100}{10} \cdot 6,25}{0,5175 g} \quad (18)$$

$$x = \mathbf{58,63 \%}$$

3 Výsledky a diskuze

Cílem experimentální práce bylo stanovit a porovnat obsah vody, obsah tuku, obsah hrubých bílkovin ve vzorcích jedlého hmyzu. Dále bylo zjištěno zastoupení mastných kyselin v jednotlivých vzorcích vyextrahovaného tuku. K analýzám bylo pořízeno pět vzorků od dvou výrobců prostřednictvím e-shopů daných firem. Celkově byly analyzovány tři druhy hmyzu (potemník moučný, cvrček domácí a saranče stěhovavá). Názvy, druh a výrobci analyzovaných vzorků jsou uvedeny v Tabulce 3. Nutriční hodnoty, uvedené na obalu, jsou uvedeny v Tabulce 4. Složení vzorků je uvedeno v Příloze A. Čtyři vzorky byly bez přidaného oleje, jenom vzorek 5 – Kobylka měl uvedeno na obale, že obsahuje 7 % slunečnicového oleje. Vzorky 1 – Potemník a 5 – Kobylka byly s přidanou solí.

3.1 Stanovení sušiny

Ke stanovení sušiny byl využit analyzátor vlhkosti DLB 160-3A od firmy Kern. Principem je zaznamenání rozdílu hmotnosti čerstvého a vysušeného vzorku. Postup měření je uveden v kapitole 2.5. Každý vzorek byl změřen čtyřikrát a byla vypočítána směrodatná odchylka a z ní interval spolehlivosti (Tabulka 8). Sušení probíhalo při 105 °C do konstantní hmotnosti.

Tabulka 8: Stanovení sušiny a obsahu vody, \pm interval spolehlivosti, $n = 4$

	Sušina [%]					Voda [%]
	1	2	3	4	Průměr	
1 – Potemník	95,32	95,34	95,35	95,22	95,31 \pm 0,07	4,69 \pm 0,07
2 – Potemník	95,01	94,82	94,93	94,98	94,94 \pm 0,18	3,47 \pm 0,18
3 – Cvrček	96,38	96,43	96,69	96,64	96,54 \pm 0,10	5,07 \pm 0,10
4 – Cvrček	93,22	93,20	93,37	93,32	93,28 \pm 0,10	6,72 \pm 0,10
5 – Kobylka	95,50	95,36	95,37	95,36	95,40 \pm 0,08	4,60 \pm 0,08

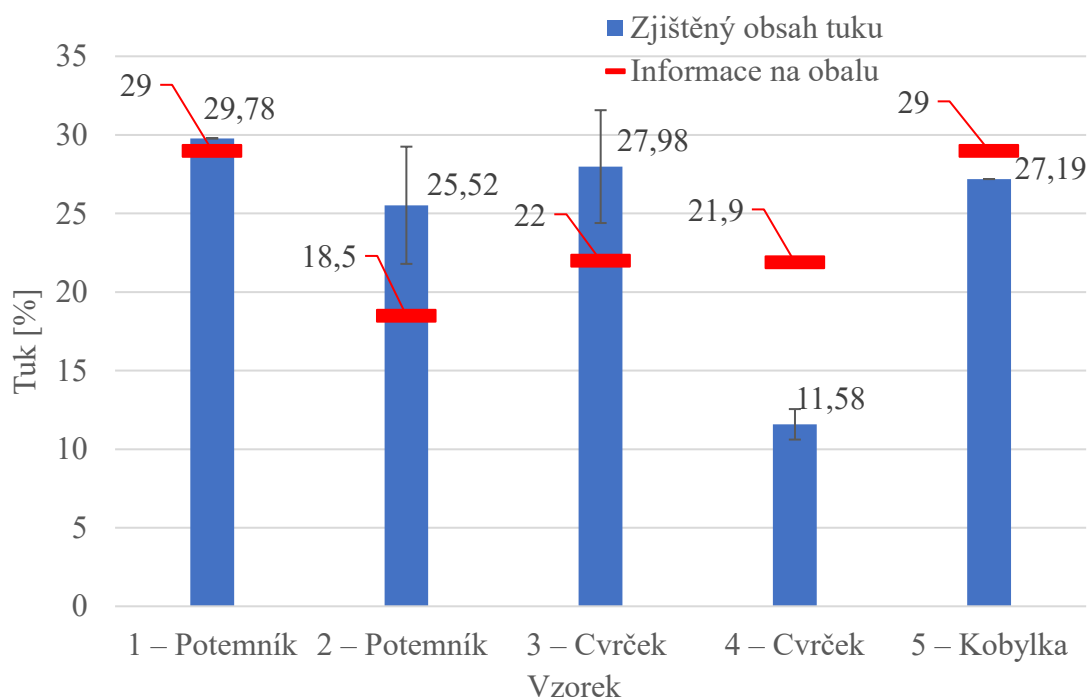
Z Tabulky 8 je patrné, že vzorky měly minimální množství přítomné vody (od 3,47 do 6,72 %), jelikož se jedlý hmyz prodává v sušené formě. Nejvíce vody (6,72 %) bylo nalezeno ve vzorku 4 – Cvrček, zatímco nejmenší (3,47 %) u vzorku 2 – Potemník.

3.2 Extrakční stanovení obsahu tuku

Obsah tuku byl stanoven extrakčně dle Soxhleta. Principem této metody je opakovaná extrakce tuku ze vzorku nepolárním rozpouštědlem, v tomto případě diethyletherem. Podrobné schéma extrakce je zobrazeno v Obrázku 7. Pracovní postup je uveden v kapitole 2.6. V Tabulce 9 jsou uvedeny vypočtená množství tuku a jejich interval spolehlivosti a hodnoty z obalu. Navážky vzorků a vyvážky tuků jsou uvedeny v Příloze B. Porovnání stanovených a deklarovaných hodnot je zobrazeno na Obrázku 15. Všechny hodnoty jsou vyjádřeny v sušině. Pro vzorky 2 – Potemník, 3 – Cvrček a 4 – Cvrček byly provedeny dvě extrakce. U ostatních vzorků bylo provedeno pouze jedno stanovení, kvůli úspoře času, vzorků a rozpouštědla.

Tabulka 9: Stanovení tuku spolu s intervalem spolehlivosti, \pm interval spolehlivosti, $n = 2$

Vzorek	Tuk [%]	Hodnota z obalu [%]
1 – Potemník	29,78	29,0
2 – Potemník	25,52 \pm 3,73	18,5
3 – Cvrček	27,98 \pm 3,59	22,0
4 – Cvrček	11,58 \pm 0,97	21,9
5 – Kobyłka	27,19	29,0



Obrázek 15: Stanovený obsah tuků

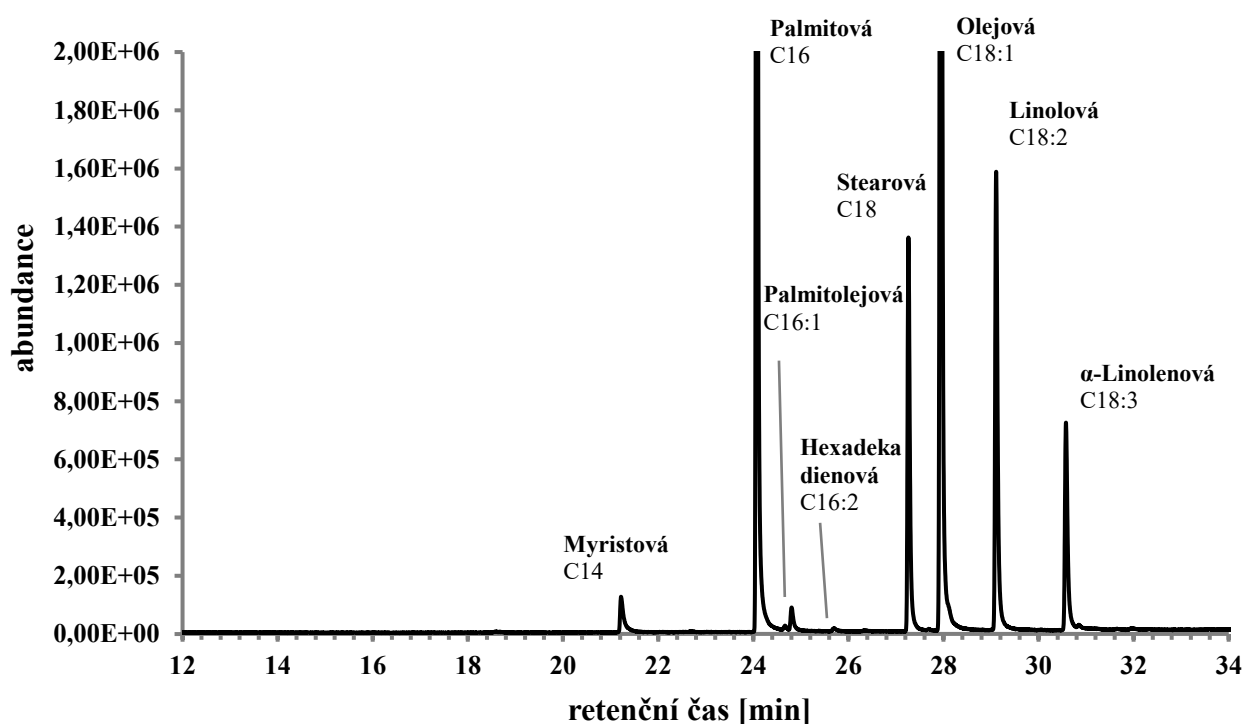
Z výsledků uvedených v Tabulce 9 a na Obrázku 15 vyplývá, že obsah tuku se u stejných druhů hmyzu poměrně lišil. U vzorků potemníka byl pozorován rozdíl kolem čtyř procentních bodů, zatímco u vzorků cvrčků byl pozorován mnohem větší rozdíl kolem 16 procentních bodů. Vzorky 1, 2, 3 a 5 měly podobné množství extrahovaného tuku v rozmezí od 25,52 % do 29,78 %.

V literatuře se množství tuku v sušině larev potemníka moučného uvádí v rozmezí od 31,10 % do 43,08 % [24]. Zjištěná množství (29,78 % a 25,52 %) u vzorků potemníka jsou menší, než udává literatura. Množství tuku v sušině dospělců cvrčka domácího se pohybuje v rozmezí od 18,55 % do 22,80 % [24]. Zjištěné hodnoty (27,98 % a 11,58 %) u vzorků cvrčků nesedí v rozmezí, nalezené v literatuře. Množství tuku v sušině dospělců saranče stěhovavé se pohybuje v rozmezí od 34,8 % do 40,4 % [57] a zjištěná hodnota 27,19 % je tedy menší.

Pokud porovnáme stanovený obsah tuku s údaji uvedené na obale výrobcem, tak se u většiny vzorků podstatně liší. Největší shoda s deklarovanými hodnotami byla pozorována u vzorku 1 – Potemník a u vzorku 5 – Kobyłka s rozdílem do dvou procentních bodů. U vzorku 2 – Potemník bylo o 7 procentních bodů větší množství tuku, než je uvedeno na obale, zatímco u vzorku 3 – Cvrček to bylo 6 méně. Největším překvapením byl vzorek 4 – Cvrček, kde bylo množství extrahovaného tuku skoro dvojnásobně menší, než je deklarováno výrobcem.

3.3 Stanovení zastoupení mastných kyselin z extrahovaného tuku

Analýza mastných kyselin (MK) ve vzorcích byla provedena pomocí GC-MS. Nejprve je nutné převést MK na methylestery, což bylo provedeno pomocí methanolátu sodného, čímž dochází ke snížení bodu varu. Jednotlivé mastné kyseliny byly rozděleny v chromatografické koloně na základě velikosti molekul a počtu a poloze dvojných vazeb, které způsobily rozdílný retenční čas derivátů mastných kyselin. Chromatogram vzorku 5 – Kobyłka je ukázán na Obrázku 16.



Obrázek 16: Chromatogram GC-MS vzorku 5 – Kobyłka

Přesný postup přípravy vzorku a podmínek stanovení je uveden v kapitole 2.7. Výsledky měření jsou uvedeny v Tabulkách 14–18 v Příloze C. V Tabulce 10 jsou popsány všechny nalezené mastné kyseliny a jejich procentuální zastoupení. Byly pozorovány výrazné rozdíly u stejných druhů hmyzu od různých výrobců. Obecný výpočet procentuálního množství mastných kyselin je znázorněn v rovnici (19), kde a_i je plocha píku methylesteru mastné kyseliny, $\sum a_i$ je soumou ploch všech nalezených píků MK.

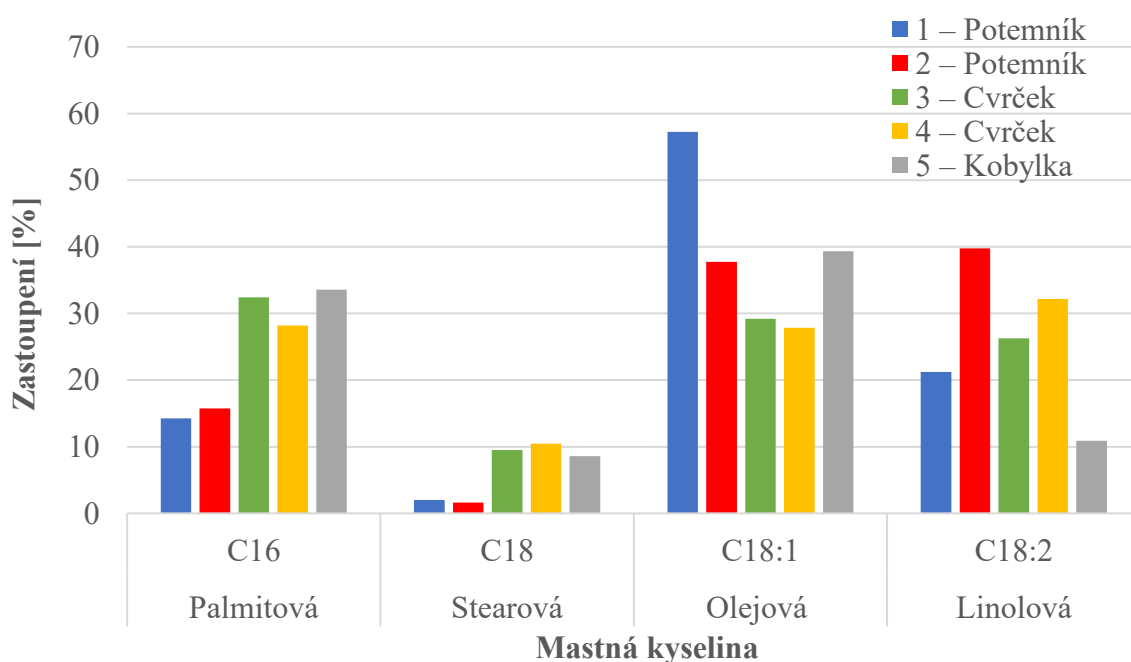
$$x_i = \frac{a_i}{\sum a_i} \cdot 100 \quad (19)$$

Tabulka 10: Procentuální zastoupení MK v tuku z jedlého hmyzu

Mastná kyselina [%]	Vzorek				
	1 – Potemník	2 – Potemník	3 – Cvrček	4 – Cvrček	5 – Kobyłka
Myristová (C14)	2,88	2,16	0,42	0,21	1,28
Palmitová (C16)	14,24	15,75	32,43	28,16	33,57
Palmitoolejová (C16:1 Δ^9)	2,11	1,71	0,30	0,27	0,22
Hexadekadienová (C16:2 $\Delta^{9,12}$)	- ^a	- ^a	0,61	0,32	0,87
Stearová (C18)	1,99	1,64	9,50	10,48	8,58
Olejová (C18:1 Δ^9)	57,22	37,73	29,19	27,84	39,31
Linolová (C18:2 $\Delta^{9,12}$)	21,23	39,77	26,28	32,19	10,90
α -Linolenová (C18:3 $\Delta^{9,12,15}$)	0,32	1,23	1,27	0,53	5,27
SFA [%]	19,12	19,55	42,35	38,85	43,43
MUFA [%]	59,33	39,44	29,49	28,11	39,53
PUFA [%]	21,55	41,01	28,16	33,04	17,04

^a...nedekováno

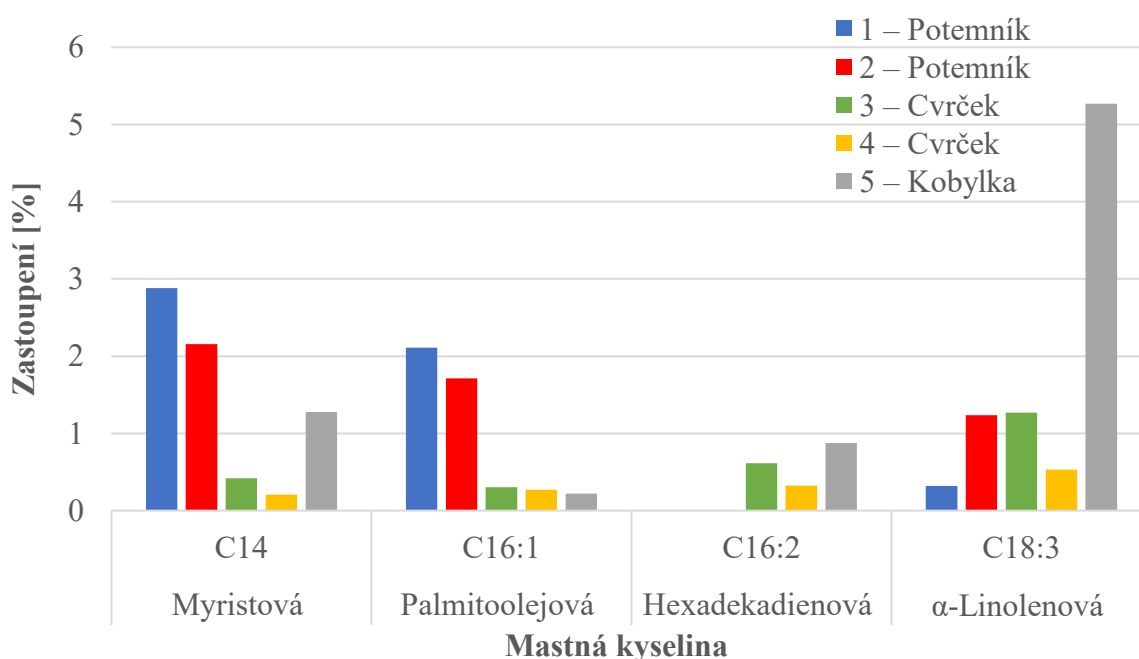
Nalezené mastné kyseliny byly rozděleny do dvou skupin: majoritní, kterých bylo ve vzorcích nalezeno více jak 10 % a minoritní, jejichž obsah byl pod 10 %. Pro lepší interpretaci je každá skupina graficky zobrazena zvlášť, a to na Obrázcích 17 a 18.



Obrázek 17: Obsah majoritních mastných kyselin

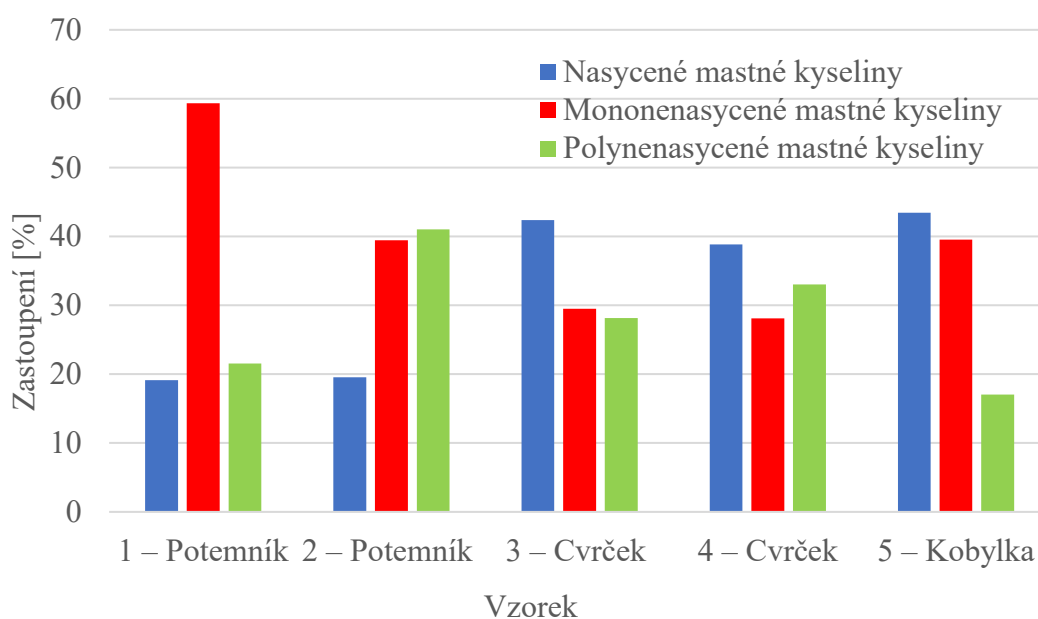
Nejvíce zastoupené jsou kyseliny olejová, linolová, palmitová a stearová (Obrázek 17). Nejvíce kyseliny olejové (57,22 %) bylo ve vzorku 1 – Potemník, zatímco nejméně (27,84 %) ve vzorku 4 – Cvrček. Nejvíce esenciální kyseliny linolové (39,77 %) bylo ve vzorku 2 – Potemník, zatímco nejméně (10,90 %) ji bylo ve vzorku 5 – Kobyłka.

Esenciální kyselina α -linolenová nebyla ve větší míře zastoupena v testovaných vzorcích hmyzu. Jedinou výjimkou byl vzorek 5 – Kobyłka, kde bylo přítomno 5,27 % této kyseliny (Obrázek 18). Zvýšené množství kyseliny α -linolenové mohlo být velice pravděpodobně způsobeno přidaným slunečnicovým olejem. U vzorků potemníka moučného bylo pozorováno několikanásobně větší množství kyseliny myristové a palmitoolejové oproti ostatním vzorkům. Zastoupení kyseliny palmitové však bylo menší než u ostatních vzorků. Kyselina hexadekadienová nebyla u potemníka moučného nalezena.



Obrázek 18: Obsah minoritních mastných kyselin

Dále jsem se zaměřil na skupiny mastných kyselin, a to na nasycené (SFA), mononenasyčené (MUFA) a polynenasycené (PUFA). Mezi SFA byly zařazeny kyseliny myristová, palmitová a stearová, mezi MUFA kyselina palmitoolejová a olejová, a mezi PUFA kyselina hexadekadienová, linolová a α -linolenová. Srovnání SFA, MUFA a PUFA v jednotlivých vzorcích je zobrazeno na Obrázku 19 a číselně uvedeno v Tabulce 10.



Obrázek 19: Poměr nasyčených, mono- a poly- nenasycených mastných kyselin

Z výsledků vyplývá, že zastoupení mastných kyselin se u stejných druhů hmyzu může poměrně lišit. To je zobrazeno na Obrázku 19, kde jsou vidět rozdíly v zastoupení SFA, MUFA a PUFA. U vzorků potemníka moučného je podobné zastoupení SFA. Vzorek 1 má skoro o 20 procentních bodů větší množství MUFA než vzorek 2, zatímco u PUFA je to přesně naopak. Vzorky cvrčků mají velmi podobné zastoupení SFA, MUFA a PUFA. Vzorek 4 má však trochu menší obsah SFA a trochu větší obsah PUFA než vzorek 3. Vzorek 5 obsahuje v porovnání s ostatními vzorky nejvíce SFA a nejméně PUFA.

Tabulka 11: Srovnání zastoupení SFA, MUFA, PUFA s hodnotami v literatuře

Vzorek	SFA [%]	MUFA [%]	PUFA [%]
1 – Potemník	19,12	59,33	21,55
2 – Potemník	19,55	39,44	41,01
Potemník ^a	25,35–30,12	43,27–66,77	3,11–31,73
3 – Cvrček	42,35	29,49	28,16
4 – Cvrček	38,85	28,11	33,04
Cvrček ^a	32,20–32,80	21,72–33,50	33,90–42,64
5 – Kobyłka	43,43	39,53	17,04
Kobyłka ^a	46,70–56,85	46,70–56,85	17,45–25,20

^a...údaje z literatury [38]

V Tabulce 11 je uvedeno zastoupení SFA, MUFA a PUFA ve stanovených vzorcích a pro porovnání jsou také uvedeny hodnoty zjištěné z literatury [38]. Z těchto hodnot je patrné, že se zjištěné zastoupení nasycených, mononenasycených a polynenasycených u většiny vzorků liší. U MUFA se do rozmezí vešly pouze vzorky 1,3 a 4. U PUFA leží v rozmezí pouze vzorek 1.

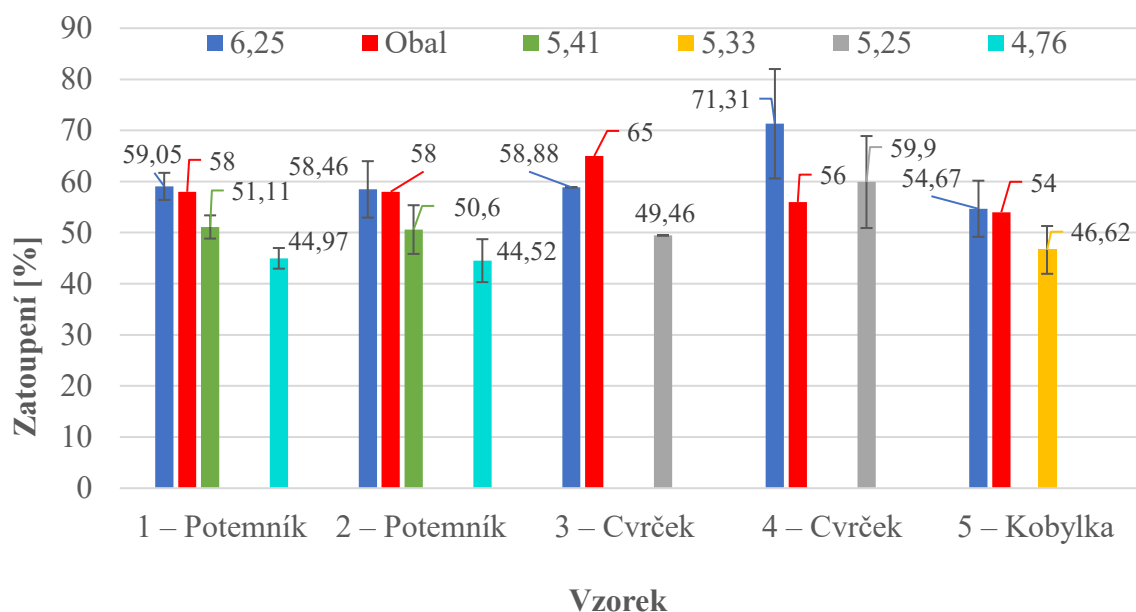
3.4 Stanovení hrubých bílkovin

Obsah hrubých bílkovin byl stanoven Kjeldahlovou metodou. Princip a postup jsou uvedeny v kapitole 2.9. U všech vzorků byly na stanovení hrubých bílkovin provedeny dvě titrace.

Obecný výpočet hrubých bílkovin je popsán v rovnici (11), kde $F_{zř.}$ je zředovací faktor a $F_{konv.}$ je konverzní faktor. Konverzní faktor je u každého druhu hmyzu jiný. U všech vzorků byl k výpočtu obsahu hrubých bílkovin využit standardní faktor 6,25, který je daný platnou legislativou. K tomu byl u potemníka moučného použit faktor 4,76 a 5,41, u cvrčka domácího byl použit faktor 5,25 a u saranče stěhovavé byl použit faktor 5,33. Příčina použití různých konverzních faktorů je kvůli zastoupení látek s nebílkovinným dusíkem, viz. kapitola 1.3.1.2. Navážky, spotřeby hydroxidu sodného a vypočtené hodnoty bílkovin jsou uvedeny v Příloze D. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 12. Všechny hodnoty jsou vyjádřeny v sušině vzorku.

Tabulka 12: Stanovení hrubých bílkovin

Vzorek	Bílkoviny [%]					
	Faktor 6,25	Faktor 5,41	Faktor 5,33	Faktor 5,25	Faktor 4,76	Obal
1 – Potemník	59,05 ± 2,65	51,11 ± 2,27	-	-	44,97 ± 2,02	58
2 – Potemník	58,46 ± 5,52	50,60 ± 4,77	-	-	44,52 ± 4,20	58
3 – Cvrček	58,88 ± 0,00	-	-	49,46 ± 0,00	-	65
4 – Cvrček	71,31 ± 10,70	-	-	59,90 ± 9,00	-	56
5 – Kobylka	54,67 ± 5,49	-	46,62 ± 4,67	-	-	54



Obrázek 20: Stanovení hrubých bílkovin s různým přepočítávacím faktorem a porovnání s informací na obale

Z Tabulky 12 a Obrázku 20 je patrné, že každý analyzovaný vzorek hmyzu měl při použití faktoru 6,25 přes 50 % bílkovin v sušině. Přesnější konverzní faktory daného druhu však vždy snižovali množství hrubých bílkovin, kvůli látkám s nebílkovinným dusíkem, převážně chitinu. Nejméně hrubých bílkovin (54,67 %) bylo stanoveno u vzorku 5 – Kobyłka. U vzorku 4 – Cvrček bylo nejvíce hrubých bílkovin (71,31 %), tento výsledek je logický, jelikož u stejného vzorku bylo přibližně dvakrát méně tuku než u ostatních vzorků. Vzorky potemníka měli velmi shodné množství hrubých bílkovin. U vzorků cvrčků byl pozorován rozdíl kolem 13 procentních bodů hrubých bílkovin.

V literatuře je u potemníka udáváno rozmezí 51,5 % až 65,6 % hrubých bílkovin [31]. U cvrčka domácího je množství hrubých bílkovin v rozmezí 64,4 % až 73,1 % [31]. U saranče stěhovavé je množství hrubých bílkovin v rozmezí 50,79 % až 58,5 % [31]. Všechny hodnoty jsou udány v sušině, s použitím Kjeldahlovy metody s faktorem 6,25. Množství stanovených hrubých bílkovin se u všech vzorků, kromě vzorku 3 – Cvrček, shoduje s literaturou. Vzorek 3 – Cvrček měl o 6 procentních bodů menší hodnotu než dolní hranice v literatuře.

Zjištěné obsahy hrubých bílkovin při použití faktoru 6,25 většinou poměrně přesně odpovídají hodnotám, které byly uvedeny na obalech vzorků. Největší rozdíl byl pozorován u vzorku 4 – Cvrček, kde byl stanovený obsah bílkovin o 15 procentních bodů procent vyšší, než bylo deklarováno na obalu. Menší obsah bílkovin byl také pozorován u vzorku 3 – Cvrček, kde byl rozdíl 6 procentních bodů oproti uvedeným hodnotám.

4 Závěr

V teoretické části se bakalářská práce věnuje jedlému hmyzu, a to z hlediska aktuálně platné legislativy, bezpečnosti konzumace hmyzu a nutričních hodnot. Také jsou popsány možnosti využití hmyzu a metody stanovení nutričních hodnot. V experimentální části bylo cílem stanovit obsah tuku a profil mastných kyselin, hodnotu sušiny a množství bílkovin v zakoupených vzorcích hmyzu. Zjištěné hodnoty byly porovnány mezi sebou, s literaturou a s hodnotami, uvedenými na obalu.

Ke stanovení sušiny byl použit analyzátor vlhkosti. Hodnoty sušiny se pohybovaly v rozmezí od 93,28 % do 96,54 %. Vzorky jsou prodávány v sušené formě, a proto jsou hodnoty sušiny vysoké.

Ke stanovení celkového tuku byla využita extrakční metoda dle Soxhleta. U tří z pěti vzorků bylo stanoveno větší množství tuku, než bylo deklarováno výrobcem, zatímco u dvou vzorků to bylo naopak. Nejméně tuku (11,58 %) bylo v cvrččí mouce od výrobce Grig, zatímco největší množství (29,78 %) tuku bylo u potemníka moučného od výrobce WormUP. Též byly pozorovány rozdíly v množství tuku u stejného druhu hmyzu, ale od různých výrobců.

Ve vyextrahovaném tuku byl metodou GC-MS byl zjištěn profil mastných kyselin. Nejvíce zastoupené mastnými kyselinami byla kyselina olejová, linolová a palmitová. Největší množství (kolem 80 %) zdraví prospěných mono- a poly- nenasycených mastných kyselin je pozorováno u potemníka moučného, zatímco cvrčci a kobyly mají více nasycených mastných kyselin (kolem 40 %). Také bylo zjištěno poměrně velké množství esenciální kyseliny linolové (od 10,90 % do 39,77 %). Množství esenciální kyseliny α -linolenové bylo naopak poměrně malé (od 0,32 % do 5,27 %).

Stanovení hrubých bílkovin bylo provedenou Kjeldahlovou metodou. Množství stanovených bílkovin se u všech vzorků, kromě cvrččí mouky, kde bylo o 15 % více bílkovin, docela přesně shodovalo s deklaroványmi hodnotami. Při použití přesnějších konverzních faktorů však množství bílkovin klesá. Z pohledu výrobce je zákonem daný konverzní faktor 6,25, který vede k nadhodnocení množství bílkovin, lepší, kvůli reklamním účelům.

Jedlý hmyz je bohatým zdrojem bílkovin a tuků. Jeho konzumace však není v západních zemích rozšířená a momentálně je spíš považován za kuriozitu. Myslím si, že jedlý hmyz má potenciál se stát důležitou součástí lidské stravy buď přímo, nebo nepřímo ve formě krmiva pro hospodářská zvířata.

5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BORGES, Sandra, Pedro SOUSA a Manuela PINTADO. Insects as Food Sources. *Sustainable Food Science - A Comprehensive Approach*. Elsevier, 2023, 123-132. DOI: 10.1016/B978-0-12-823960-5.00011-1
- [2] VAN HUIS, Arnold. Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. *Annual Review of Entomology*. 2013, **58**(1), 563-583. DOI: 10.1146/annurev-ento-120811-153704
- [3] PÉREZ-SANTAESCOLASTICA, Cristina, Paulo Eduardo Sichetti MUNEKATA, Mirian PATEIRO, Rubén DOMÍNGUEZ, Jane M. MISIHAIABGWI a José Manuel LORENZO. Modern Food Production: Fundamentals, Sustainability, and the Role of Technological Advances. In: *Sustainable Production Technology in Food*. Elsevier, 2021, 1-22. DOI: 10.1016/B978-0-12-821233-2.00003-4
- [4] VALE-HAGAN, Whitney, Somya SINGHAL, Ilaria GRIGOLETTO, Carlotta TOTARO-FILA, Katerina THEODORIDOU a Anastasios KOIDIS. Edible insects in mixed-sourced protein meals for animal feed and food: An EU focus. *Food and Humanity*. 2023, **1**, 1180-1187. DOI: 10.1016/j.foohum.2023.09.011
- [5] BESSA, Leah Wilson, Elsje PIETERSE, Gunnar SIGGE a Louw Christiaan HOFFMAN. Insects as human food; from farm to fork. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2020, **100**(14), 5017-5022. DOI: 10.1002/jsfa.8860
- [6] BAIANO, Antonietta. Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. *Trends in Food Science & Technology*. 2020, **100**, 35-50. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.03.040
- [7] AUTOR, Nenalezený. Novel Food. *Food Safety* [online]. [cit. 2024-04-17]. Dostupné z: https://food.ec.europa.eu/safety/novel-food_en
- [8] AUTOR, Nenalezený. Edible Insects For Sale Since 2003. *Trusted Manufacturer* [online]. [cit. 2024-04-19]. Dostupné z: <https://www.thailandunique.com/edible-insects-bugs>
- [9] ŻUK-GOŁASZEWSKA, Krystyna, Remigiusz GAŁĘCKI, Kazimierz OBREMSKI, Sergiy SMETANA, Szczepan FIGIEL a Janusz GOŁASZEWSKI. Edible Insect Farming in the Context of the EU Regulations and Marketing—An Overview. *Insects*. 2022, **13**(5), 446. DOI: 10.3390/insects13050446
- [10] *International Platform of Insects for Food and Feed, Brussels* [online]. [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://ipiff.org/insects-eu-legislation-general/>

- [11] OKYERE, Abenaa A. Food Safety Management of Insect-Based Foods. In: *Food Safety Management*. 2nd ed. Elsevier, 2023, 223-233. DOI: 10.1016/B978-0-12-820013-1.00036-X
- [12] KLUNDER, H.C., J. WOLKERS-ROOIJACKERS, J.M. KORPELA a M.J.R. NOUT. Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food Control*. 2012, **26**(2), 628-631. DOI: 10.1016/j.foodcont.2012.02.013
- [13] Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*. 2015, **13**(10), 20-22. DOI: 10.2903/j.efsa.2015.4257
- [14] BELLUCO, Simone, Carmen LOSASSO, Michela MAGGIOLETTI, Cristiana C. ALONZI, Maurizio G. PAOLETTI a Antonia RICCI. Edible Insects in a Food Safety and Nutritional Perspective: A Critical Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2013, **12**(3), 296-313. DOI: 10.1111/1541-4337.12014
- [15] MÉZES, M. Food safety aspect of insects: A review. *Acta Alimentaria*. 2018, **47**(4), 513-522. DOI: 10.1556/066.2018.47.4.15
- [16] SCHLÜTER, Oliver, Birgit RUMPOLD, Thomas HOLZHAUSER, et al. Safety aspects of the production of foods and food ingredients from insects. *Molecular Nutrition & Food Research*. 2017, **61**(6), 1600520. DOI: 10.1002/mnfr.201600520
- [17] DE GIER, Steffie a Kitty VERHOECKX. Insect (food) allergy and allergens. *Molecular Immunology*. 2018, **100**, 82-106. DOI:10.1016/j.molimm.2018.03.015
- [18] LONGO, Santi a Giuseppe MAZZA. Dactylopius coccus. *Monaco Nature Encyclopedia* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.monaconatureencyclopedia.com/dactylopius-coccus/?lang=en>
- [19] AUTOR, Nenalezený. Natural Ingredients: Carmine. *Color Maker* [online]. 2016 [cit. 2024-04-19]. Dostupné z: https://www.colormaker.com/natural-ingredients_carmine
- [20] HUIS, Arnold van. *Edible Insects : Future Prospects for Food and Feed Security* [online]. 171. Rome: FAO Forestry Paper, 2013 [cit. 2024-03-17]. ISBN 978-92-5-107595-1. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/239687589_EDIBLE_INSECTS_future_prospects_fo_food_and_feed_security
- [21] KOUŘIMSKÁ, Lenka a Anna ADÁMKOVÁ. Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal*. 2016, **4**, 22-26. DOI: 10.1016/j.nfs.2016.07.001
- [22] JANTZEN DA SILVA LUCAS, Andressa, Lauren MENEGON DE OLIVEIRA, Meritaine DA ROCHA a Carlos PRENTICE. Edible insects: An alternative of nutritional, functional and bioactive compounds. *Food Chemistry*. 2020, **311**, 126022. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.126022

- [23] LIANG, Zijian, Yijin ZHU, William LEONARD a Zhongxiang FANG. Recent advances in edible insect processing technologies. *Food Research International*. 2024, **182**, 114137. DOI: 10.1016/j.foodres.2024.114137
- [24] RUMPOLD, Birgit A. a Oliver K. SCHLÜTER. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research*. 2013, **57**(5), 802-823. DOI: 10.1002/mnfr.201200735
- [25] MATIZA RUZENGWE, Faith, Shingai P. NYARUGWE, Faith A. MANDITSERA, et al. Contribution of edible insects to improved food and nutrition security: A review. *International Journal of Food Science & Technology*. 2022, **57**(10), 6257-6269. DOI: 10.1111/ijfs.15570
- [26] RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, María, Fernando G. BARROSO, Dmitri FABRIKOV a María José SÁNCHEZ-MUROS. In Vitro Crude Protein Digestibility of Insects: A Review. *Insects*. 2022, **13**(8), 682. DOI: 10.3390/insects13080682
- [27] SOSA, Daylan Amelia Tzompa a Vincenzo FOGLIANO. Potential of Insect-Derived Ingredients for Food Applications. In: *Insect Physiology and Ecology*. InTech, 2017, 215-232. DOI: 10.5772/67318
- [28] SÁNCHEZ-ESTRADA, María de la Luz, Humberto AGUIRRE-BECERRA a Ana Angélica FEREGRINO-PÉREZ. Bioactive compounds and biological activity in edible insects: A review. *Heliyon*. 2024, **10**(2), E24045. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e24045
- [29] SCHIEL, Laura, Christine WIND, Stephanie KRUEGER, Peggy G. BRAUN a Martin KOETHE. Applicability of analytical methods for determining the composition of edible insects in German Food Control. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2022, **112**, 104676. DOI: 10.1016/j.jfca.2022.104676
- [30] SERRANO, S., F. RINCÓN a J. GARCÍA-OLMO. Cereal protein analysis via Dumas method: Standardization of a micro-method using the EuroVector Elemental Analyser. *Journal of Cereal Science*. 2013, **58**(1), 31-36. DOI: 10.1016/j.jcs.2013.04.006
- [31] GARCÍA-VAQUERO, Marco a Carlos ÁLVAREZ GARCÍA. Nutritional value of insects and derived ingredients. *Insects as Food and Food Ingredients*. Elsevier, 2024, 31-45. DOI: 10.1016/B978-0-323-95594-2.00009-4
- [32] EL HAJJ, Rachelle, Houcine MHEMDI, Colette BESOMBES, Karim ALLAF, Victor LEFRANÇOIS a Eugène VOROBIEV. Edible Insects' Transformation for Feed and Food Uses: An Overview of Current Insights and Future Developments in the Field. *Processes*. 2022, **10**(5), 970. DOI: 10.3390/pr10050970
- [33] NI, Dongdong, Joost L.D. NELIS, Amanda L. DAWSON, Nicholas BOURNE, Pablo JULIANO, Michelle L. COLGRAVE, Angéla JUHÁSZ a Utpal BOSE. Application of near-infrared spectroscopy and chemometrics for the rapid detection of insect protein

- adulteration from a simulated matrix. *Food Control*. 2024, **159**, 110268. DOI: 10.1016/j.foodcont.2023.110268
- [34] E. OTTER, Don. Standardised methods for amino acid analysis of food. *British Journal of Nutrition*. 2012, **108**(S2), 230-237. DOI: 10.1017/S0007114512002486
- [35] TEEPOO, Siriwan, Tadcha SANNOK, Supattra ARSAWISSET a Sompong SANSENYA. A portable device as a paper test strip platform with smartphone application for detection of branched-chain amino acids in edible insects. *Food Chemistry*. 2023, **405**, 134560. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.134560
- [36] CLARK, Shannon. What You Need to Know About BCAA. *AskTheTrainer.com* [online]. 2019 [cit. 2024-04-19]. Dostupné z: <https://www.askthetrainer.com/what-you-need-to-know-about-bcaa/>
- [37] AGUILAR, Jessika Gonçalves dos Santos. An overview of lipids from insects. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2021, **33**, 101967. DOI: 10.1016/j.bcab.2021.101967
- [38] KOLOBE, Sekobane Daniel, Tlou Grace MANYELO, Emmanuel MALEMATJA, Nthabiseng Amenda SEBOLA a Monnye MABELEBELE. Fats and major fatty acids present in edible insects utilised as food and livestock feed. *Veterinary and Animal Science*. 2023, **22**, 100312. DOI: 10.1016/j.vas.2023.100312
- [39] FRANCO, Antonio, Rosanna SALVIA, Carmen SCIEUZO, Eric SCHMITT, Antonella RUSSO a Patrizia FALABELLA. Lipids from Insects in Cosmetics and for Personal Care Products. *Insects*. 2022, **13**(1), 41. DOI: 10.3390/insects13010041
- [40] TZOMPA-SOSA, Daylan A., Liya YI, Hein J.F. VAN VALENBERG, Martinus A.J.S. VAN BOEKEL a Catriona M.M. LAKEMOND. Insect lipid profile: aqueous versus organic solvent-based extraction methods. *Food Research International*. 2014, **62**, 1087-1094. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.05.052
- [41] OTERO, Paz, Alba GUTIERREZ-DOCIO, Joaquin NAVARRO DEL HIERRO, Guillermo REGLERO a Diana MARTIN. Extracts from the edible insects *Acheta domesticus* and *Tenebrio molitor* with improved fatty acid profile due to ultrasound assisted or pressurized liquid extraction. *Food Chemistry*. 2020, **314**, 126200. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.126200
- [42] SRIGLEY, Cynthia T. a Magdi M. MOSSOBA. Current Analytical Techniques for Food Lipids. In: CIRILLO, Umile, ed. *Food Safety: Innovative Analytical Tools for Safety Assessment*. Wiley-Scrivener, 2016, 33-64. ISBN 978-1-119-16055-7. DOI: 10.1002/9781119160588.ch3
- [43] OJHA, Shikha, Alaa El-Din BEKHIT, Tilman GRUNE a Oliver K SCHLÜTER. Bioavailability of nutrients from edible insects. *Current Opinion in Food Science*. 2021, **41**, 240-248. DOI: 10.1016/j.cofs.2021.08.003

- [44] ADÁMKOVÁ, Anna, Jiří MLČEK, Lenka KOUŘIMSKÁ, Marie BORKOVCOVÁ, Tomáš BUŠINA, Martin ADÁMEK, Martina BEDNÁŘOVÁ a Jan KRAJSA. Nutritional Potential of Selected Insect Species Reared on the Island of Sumatra. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017, **14**(5), 521. DOI: 10.3390/ijerph14050521
- [45] KVASNIČKA, František, Lenka KOUŘIMSKÁ, Roman BLEHA, Petra ŠKVOROVÁ, Martin KULMA a Aleš RAJCHL. Electrophoretic determination of chitin in insects. *Journal of Chromatography A*. 2023, **1695**(463952), 463952. DOI: 10.1016/j.chroma.2023.463952
- [46] ZHOU, Yaxi, Diandian WANG, Shiqi ZHOU, Hao DUAN, Jinhong GUO a Wenjie YAN. Nutritional Composition, Health Benefits, and Application Value of Edible Insects: A Review. *Foods*. 2022, **11**(24), 3961. DOI: 10.3390/foods11243961
- [47] LIU, Shaofang, Jie SUN, Lina YU, et al. Extraction and Characterization of Chitin from the Beetle *Holotrichia parallela* Motschulsky. *Molecules*. 2012, **17**(4), 4604-4611. DOI: 10.3390/molecules17044604
- [48] YANG, Xuefei, Jie LIU, Ying PEI, Xuejing ZHENG a Keyong TANG. Recent Progress in Preparation and Application of Nano-Chitin Materials. *Energy & Environmental Materials*. 2020, **3**(4), 492-515. DOI: 10.1002/eem2.12079
- [49] TSURKAN, Mikhail V., Alona VORONKINA, Yuliya KHRUNYK, Marcin WYSOKOWSKI, Iaroslav PETRENKO a Hermann EHRLICH. Progress in chitin analytics. *Carbohydrate Polymers*. 2021, **252**, 117204. DOI: 10.1016/j.carbpol.2020.117204
- [50] LU, Ming-Xing, Chen-Xu ZHU, Sergiy SMETANA, Ming ZHAO, Hai-Bo ZHANG, Fang ZHANG a Yu-Zhou DU. Minerals in edible insects: review of content and potential for sustainable sourcing. *Food Science and Human Wellness*. 2024, **13**(1), 65-74. DOI: 10.26599/FSHW.2022.9250005
- [51] KOSEČKOVÁ, Pavlína, Ondřej ZVĚŘINA, Marie PĚCHOVÁ, Martina KRULÍKOVÁ, Eva DUBORSKÁ a Marie BORKOVCOVÁ. Mineral profile of cricket powders, some edible insect species and their implication for gastronomy. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2022, **107**, 104340. DOI: 10.1016/j.jfca.2021.104340
- [52] IBOURKI, Mohamed, Otmane HALLOUCH, Krishna DEVKOTA, Dominique GUILLAUME, Abdelaziz HIRICH a Said GHARBY. Elemental analysis in food: An overview. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2023, **120**, 105330. DOI: 10.1016/j.jfca.2023.105330
- [53] ZHANG, Yuan, Wei-e ZHOU, Jia-qing YAN, et al. A Review of the Extraction and Determination Methods of Thirteen Essential Vitamins to the Human Body: An Update from 2010. *Molecules*. 2018, **23**(6), 1484. DOI: 10.3390/molecules23061484

- [54] MD NOH, Mohd Fairulnizal, Rathi Devi-Nair GUNASEGAVAN, Norhayati MUSTAFA KHALID, Vimala BALASUBRAMANIAM, Suraiami MUSTAR a Aswir ABD RASHED. Recent Techniques in Nutrient Analysis for Food Composition Database. *Molecules*. 2020, **25**(19), 4567. DOI: 10.3390/molecules25194567
- [55] ADAM, Martin. *Návody předmětu Laboratoř analýzy potravin*. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, 2020.
- [56] PEŠKOVÁ, Simona. *Tuk a mastné kyseliny v čokoládě* [online]. Pardubice, 2021 [cit. 2024-06-07]. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/78337/PeskovaS_Tuk_mastne_TH_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. Fakulta chemicko-technologická. Vedoucí práce Ing. Tomáš Hájek, Ph.D.
- [57] TURCK, Dominique, Jacqueline CASTENMILLER, Stefaan DE HENAUW, et al. Safety of frozen and dried formulations from migratory locust (*Locusta migratoria*) as a Novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*. 2021, **19**(7). DOI: 10.2903/j.efsa.2021.6667

6 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Složení vzorků jedlého hmyzu	65
Příloha B: Extrakce tuku	65
Příloha C: Výsledky analýzy MK pomocí GC-MS	66
Příloha D: Stanovení bílkovin.....	68

Příloha A: Složení vzorků jedlého hmyzu

Vzorek 1 – Potemník: Křupaví červíci sůl WormUP

Složení: Larvy potemníka moučného (98 %), sůl (2 %).

Vzorek 2 – Potemník: Sušení červíci na vaření natural Grig

Složení: Sušené larvy potemníka moučného (100 %)

Vzorek 3 – Cvrček: Lahodní cvrčci natural WormUP

Složení: Sušení cvrčci domácí (100 %)

Vzorek 4 – Cvrček: Cvrččí mouka Grig

Složení: Cvrččí prášek (100 %)

Vzorek 5 – Kobyłka: Sušené kobylinky s příchutí sůl Grig

Složení: Sušené saranče stěhovavé (90 %), slunečnicový olej, sůl.

Příloha B: Extrakce tuku

Tabulka 13: Extrakce tuku

Vzorek	1 – Potemník	2 – Potemník		3 – Cvrček		4 – Cvrček		5 – Kobyłka
Navážka vzorku [g]	5,2828	5,8707	5,1576	5,3632	3,0612	5,0326	2,7844	4,4207
Vyvážka tuku [g]	1,5731	1,4634	1,3466	1,5311	0,8391	0,575	0,3267	1,2019
Množství tuku [%]	29,78	24,93	26,11	28,55	27,41	11,43	11,73	27,19
Průměr [%]	29,78	25,52		27,98		11,58		27,19

Příloha C: Výsledky analýzy MK pomocí GC-MS

Tabulka 14: Výsledky analýzy MK pro vzorek 1 – Potemník

Ester kyseliny		Pík	RT [min]	Plocha	%
Myristová	C14	1	21,198	2 047 190	2,88
Palmitová	C16	2	24,072	10 117 058	14,24
Palmitoolejová	C16:1	3	24,793	1 498 846	2,11
Hexadekadienová	C16:2	4	24,814	- ^a	- ^a
Stearová	C18	5	27,273	1 416 315	1,99
Olejová	C18:1	6	27,960	40 654 103	57,22
Linolová	C18:2	7	29,110	15 084 362	21,23
α -Linolenová	C18:3	8	30,609	227 027	0,32

^a...nedeikováno

Tabulka 15: Výsledky analýzy MK pro vzorek 2 – Potemník

Ester kyseliny		Pík	RT [min]	Plocha	%
Myristová	C14	1	21,198	1432059	2,16
Palmitová	C16	2	24,072	10465112	15,75
Palmitoolejová	C16:1	3	24,793	1137764	1,71
Hexadekadienová	C16:2	4	24,814	- ^a	- ^a
Stearová	C18	5	27,273	1091505	1,64
Olejová	C18:1	6	27,960	25069056	37,73
Linolová	C18:2	7	29,110	26427952	39,77
α -Linolenová	C18:3	8	30,609	820219	1,23

^a...nedeikováno

Tabulka 16: Výsledky analýzy MK pro vzorek 3 – Cvrček

Ester kyseliny		Pík	RT [min]	Plocha	%
Myristová	C14	1	21,198	175 706	0,42
Palmitová	C16	2	24,072	13 651 855	32,43
Palmitoolejová	C16:1	3	24,793	127 311	0,30
Hexadekadienová	C16:2	4	24,814	257 908	0,61
Stearová	C18	5	27,273	3 998 045	9,50
Olejová	C18:1	6	27,960	12 288 029	29,19
Linolová	C18:2	7	29,110	11 060 328	26,28
α -Linolenová	C18:3	8	30,609	534 336	1,27

Tabulka 17: Výsledky analýzy MK pro vzorek 4 – Cvrček

Ester kyseliny		Pík	RT [min]	Plocha	%
Myristová	C14	1	21,198	80 679	0,21
Palmitová	C16	2	24,072	10 903 144	28,16
Palmitoolejová	C16:1	3	24,793	104 756	0,27
Hexadekadienová	C16:2	4	24,814	124 748	0,32
Stearová	C18	5	27,273	4 056 071	10,48
Olejová	C18:1	6	27,960	10 776 119	27,84
Linolová	C18:2	7	29,110	12 460 913	32,19
α -Linolenová	C18:3	8	30,609	205 355	0,53

Tabulka 18: Výsledky analýzy MK pro vzorek 5 – Kobyłka

Ester kyseliny		Pík	RT [min]	Plocha	%
Myristová	C14	1	21,198	708 876	1,28
Palmitová	C16	2	24,072	18 650 630	33,57
Palmitoolejová	C16:1	3	24,793	123 359	0,22
Hexadekadienová	C16:2	4	24,814	485 792	0,87
Stearová	C18	5	27,273	4 766 885	8,58
Olejová	C18:1	6	27,960	21 836 039	39,31
Linolová	C18:2	7	29,110	6 054 868	10,90
α -Linolenová	C18:3	8	30,609	2 927 277	5,27

Příloha D: Stanovení bílkovin

Tabulka 19: Hrubé bílkoviny

Vzorek	1 – Potemník		2 – Potemník		3 – Cvrček		4 – Cvrček		5 – Kobylka	
Navážka [g]	0,5175		0,4968		0,5006		0,5106		0,4995	
V NaOH [ml]	7,6	7,55	7,8	7,7	7,7	7,7	6,8	7	8	7,9
Bílkoviny [%] (faktor 6,25)	58,63	59,47	57,58	59,33	58,88	58,88	73	69,61	53,8	55,54
Směrodatná odchylka [%]	0,5940		1,2374		0		2,3971		1,2304	
Průměr F6,25 [%]	59,05 ± 2,65		58,46 ± 5,52		58,88 ± 0		71,31 ± 10,70		54,67 ± 5,49	
Hodnoty z obalu [%]	58		58		65		56		54	
Bílkoviny [%] (faktor 5,41)	50,75	51,47	51,35	49,84						
Směrodatná odchylka [%]	0,5091		1,0677		-		-		-	
Průměr F5,41 [%]	51,11 ± 2,27		50,60 ± 4,77							
Bílkoviny [%] (faktor 5,33)									47,36	45,88
Směrodatná odchylka [%]	-		-		-		-		1,0465	
Průměr F5,33 [%]									46,62 ± 4,67	
Bílkoviny [%] (faktor 5,25)					49,46	49,46	58,47	61,32		
Směrodatná odchylka [%]	-		-		0		2,0153		-	
Průměr F5,25 [%]					49,46 ± 0		59,90 ± 9			
Bílkoviny [%] (faktor 4,76)	44,65	45,29	43,85	45,18						
Směrodatná odchylka [%]	0,4525		0,9405		-		-		-	
Průměr F4,76 [%]	44,97 ± 2,02		44,52 ± 4,20							