

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Fakulta rybářství a ochrany vod
Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický

Bakalářská práce

Vliv hmyzích komponent v krmivu ryb na produkci, zdraví
a kvalitu ryb.

Autor: Markéta Hlávková

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Vladimír Žlábek, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: MSc. Giang Thai Pham

Studijní program a obor: Ekologie a ochrana prostředí, Ochrana vod

Forma studia: Prezenční

Ročník: 3

České Budějovice, 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že, v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění, souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě, FROV JU. Zveřejnění probíhá elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích

Podpis studenta

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Vladimíru Žlábkovi Ph.D. a konzultantovi MSc. Giang Thai Pham za metodické a odborné vedení mé práce. Děkuji Ing. Janu Turkovi Ph.D. za pomoc, vedení a cenné rady během průběhu experimentu. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a příteli, kteří mě během studia na Jihočeské univerzitě podporovali.

Markéta Hlávková

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Markéta HLÁVKOVÁ**
Osobní číslo: **V13B007P**
Studijní program: **B1601 Ekologie a ochrana prostředí**
Studijní obor: **Ochrana vod**
Název tématu: **Vliv hmyzích komponent v krmivu ryb na produkci, zdraví a kvalitu ryb**
Zadávající katedra: **Výzkumný ústav rybnářský a hydrobiologický**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

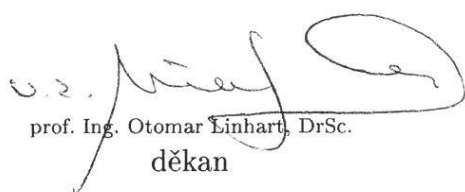
Současná vysoká poptávka a vysoké ceny živočišných bílkovin a tuků, spolu s rostoucí produkcí živočišné výroby (akvakultura, drůbež), přináší potřebu nahrazení limitovaných zdrojů živočišných surovin alternativními zdroji. Hlavním limitem dalšího růstu akvakultury je jednoznačně nalezení dlouhodobě udržitelných krmiv, které nebudou konkurovat lidské spotřebě. Jednou z takových alternativ je využití odpadů z potravinářství či zemědělství, buď přímo jako krmných ingrediencí či jako substrátu pro kultivaci krmných organismů (např. hmyzu, mikrobiálního proteinu a oleje apod.) (Turchini et al., 2010). Dostupné údaje naznačují, že hmyzí biomasa je kvalitativně srovnatelná s tradičními zdroji nejvyšší kvality (např. rybí moučky). Alternativním zdrojem živočišné biomasy může být několik druhů hmyzu. Obecně hmyzí biomasa obsahuje 30 % až 70 % bílkovin, je bohatá na vitamíny a minerály a obsahuje nenasycené mastné kyseliny. Hmyz představuje z hlediska potřeby vstupních surovin (energie, voda, krmivo) perspektivní alternativu pro produkci živočišných bílkovin, tuků a ostatních nutričních látek. Mimochodem, využití hmyzu pro pokrytí potřeby živočišných bílkovin vidí FAO jako nezbytné opatření pro pokrytí potřeby potravin pro lidskou populaci, která má v roce 2050 dosáhnout 9 miliard. Koncept chovu hmyzu pro produkci potravin a komponent krmiv je relativně nový.

V rámci bakalářské práce bude v první řadě vypracován přehled netradičních zdrojů, odpadů a vedlejších produktů pro výživu ryb a dalších vodních organismů. Bude vypracována rešerše využití odpadů pro produkci krmného hmyzu a jeho využití pro příkrmování ryb.

Dále bude vyhodnoceno vliv typu krmného odpadu na kvalitu hmyzu a vhodnost pro různé druhy pomocí laboratorního experimentu. V provedeném experimentu bude vyhodnocen vliv na produkční ukazatele, welfare, zdravotní stav a kvalitu ryb, využití živin a energie a ekonomiku. Cílem experimentu bude zjistit pozitivní efekt přídatku hmyzu (cvrčci, mouční červy, přirozený nálet) v dietě ryb, a to jak v živném stavu, tak přídatku v krmivu. Pozornost bude zaměřena jednak na ochotu přijímat živou potravu v různém stádiu vývoje, tak její vliv na růst, zdravotní a kondiční stav. Získané poznatky budou směřovat k vývoji nového alternativního krmiva. Vybrané krmivo bude testováno u vybraných ryb v akvariální místnosti nebo na žlabech experimentálního rybochovného zařízení. Cílem bakalářské práce bude sumarizovat dosud publikované informace a porovnat je s aktuálními výsledky získanými v experimentech FROV. Studentka bude využívat literárních zdrojů a prakticky se seznámí s prováděním experimentů.

Rozsah grafických prací: **3 - 6 tabulek, 3 - 6 grafů**
Rozsah pracovní zprávy: **25 - 40**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**
Seznam odborné literatury: **viz příloha**

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Žlábek, Ph.D.**
Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický
Konzultant bakalářské práce: **MSc. Giang Thai Pham**
Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický
Datum zadání bakalářské práce: **12. prosince 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce: **30. dubna 2016**


prof. Ing. Otomar Linhart, DrSc.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
FAKULTA RYBÁŘSTVÍ A OCHRANY VOD
Zápis 1728/II
389 25 Vodňany (2)


doc. Ing. Pavel Kozák, Ph.D.
ředitel

dne

Příloha zadání bakalářské práce

Seznam odborné literatury:

- Bednářová, M., Borkovcová, M., Komprda, T., 2014. Purine derivates content and amino acid profile in larval stages of three edible insects, *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94 (1), 71-76 s.
- Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C. C., Paoletti, M. G., Ricci, A., 2013. Edible insects in a food safety and nutritional perspective: a critical review, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12 (3), 296-313 s.
- Brinchmann, B. C., Bayat, M., Brøgger, T., Muttuvelu, D. V., Tjønneland, A., Sigsgaard, T., 2011. A possible role of chitin in the pathogenesis of asthma and allergy, *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 18 (1), 7-12 s.
- Bukkens, S. G. F., 2005. Insects in the human diet: nutritional aspects. In M. G. Paoletti, ed. *Ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development*, Science Publishers, 545-577 s.
- DeFoliart, G. R., 1992. Insects as human food: Gene DeFoliart discusses nutritional and economic aspects, *Crop Protection* 11 (5), 395-399 s.
- EFSA, 2012. Scientific opinion on bovine lactoferrin, *EFSA J* 10 (7),
- FAO, 2013. *Edible insects Future prospects for food and feed security*
- FAO, 1998. *Protein quality evaluation Food and nutrition paper*, 51
- Finke, M. D., 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores, *Zoo Biology* 21, 269-285 s.
- Finke, M. D., 2007. Estimate of chitin in raw whole insects, *Zoo Biology* 26, 105-115 s.
- Hall, G. M., 1992. *Fish processing technology, Fishery By-products*, 155-192 s.
- Oonincx, D. G. A. B., de Boer, I. J. M., 2012. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans: a life cycle assessment, *PLoS ONE* 7 (12)
- Oonincx, D. G. A. B., van der Poel, A. F. B., 2011. Effects of diet on the chemical composition of migratory locusts (*Locustamigratoria*), *Zoo Biology* 30, 9-16 s.
- Oonincx, D. G. A. B., van Itterbeeck, J., Heetkamp, M. J. W., van den Brand, H., van Loon, J., van Huis, A., 2010. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption, *PLoS One* 5 (12)
- Ramos-Elorduy, J., Pino, J. M., Prado, E. E., Perez, M. A., Otero, J. L., de Guevara, O. L., 1997. Nutritional value of edible insects from the state of Oaxaca, Mexico. *Journal of Food Composition and Analysis* 10, 142-157 s.
- Ramos-Elorduy, J., Pinto, M. J. M., 1990. Caloric content of some edible insects of Mexico, *Review of Society Qim. Mexico* 34, 56-68 s.
- Ramos-Elorduy, J., 1997. Insects: a sustainable source of food? *Ecology of Food and Nutrition* 36, 247-276 s.
- Ramos-Elorduy, J., Pino, J. M., González, O., 1981. Digestibilidad in vitro de algunos insectos comestibles de México, *Folia Entomol. Mex.* 49, 141-152 s.
- Sánchez-Muros, M.-J., Barroso, F. G., Manzano-Agugliaro, F., 2014. Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review, *Journal of Cleaner Production* 65, 16-27 s.
- Wang, D., Bai, Y.-Y., Li, J.-H., Zhang, C.-X., 2004. Nutritional value of the field cricket (*Gryllus testaceus walker*), *Insect Science* 11 (4), 275-283 s.
- a další literatura

1	ÚVOD	9
2	LITERÁRNÍ PŘEHLED ZDROJŮ KOMPONENT PRO RYBÍ KRMIVA	11
2.1	TRADIČNÍ ZDROJE	11
2.2	ALTERNATIVNÍ ZDROJE KRMIV	12
2.2.1	<i>Sójová moučka</i>	14
2.2.2	<i>Péřová moučka</i>	15
2.2.3	<i>Hmyz</i>	15
2.3	VÝŽIVOVÁ CHARAKTERISTIKA HMYZU	15
2.3.1	<i>Bílkoviny</i>	16
2.3.2	<i>Aminokyseliny</i>	17
2.3.3	<i>Tuky</i>	18
2.3.4	<i>Sacharidy</i>	19
2.3.5	<i>Vitamíny a minerální látky</i>	19
2.3.6	<i>Chitin</i>	20
2.4	POROVNÁNÍ HOVĚZÍHO MASA PROTI HMYZU	21
2.5	CHOV HMYZU NA SUBSTRÁTU	22
2.6	VHODNÉ HMYZÍ DRUHY	25
2.6.1	<i>Bráněnka (Hermetia illucens)</i>	25
2.6.2	<i>Mouchy (Musca domestica)</i>	26
2.6.3	<i>Termiti (Isoptera)</i>	27
2.6.4	<i>Bourec morušový (Bombyx mori)</i>	27
2.6.5	<i>Mouční červi - čeled' (Tenebrionidae)</i>	27
2.6.6	<i>Sarančata – čeled' (Acrididae)</i>	28
3	EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ POUŽITÍ HMYZU JAKO ALTERNATIVNÍHO KRMIVA PRO PSTRUHA DUHOVÉHO	30
3.1	MATERIÁLY A METODY	30
3.1.1	<i>Chemikálie</i>	30
3.1.2	<i>Pokusné ryby</i>	30
3.1.3	<i>Krmný hmyz</i>	30
3.1.4	<i>Nutriční parametry krmného hmyzu</i>	31
3.1.5	<i>Skupiny ryb podle použitého krmiva</i>	31
3.1.6	<i>Princip pokusu</i>	32
3.1.7	<i>Průběh senzorické analýzy</i>	33
3.1.8	<i>Statistické zpracování výsledků</i>	34
3.2	VÝSLEDKY	35
3.2.1	<i>Vliv 4. druhů krmiva na hmotnost a růst ryb</i>	35
3.2.2	<i>Hodnocení senzorických vlastností ryb v závislosti na druhu předkládaného krmiva</i>	37
3.2.2.1	Porovnání vlivu druhu předkládaných krmiv na vůni degustovaného masa	37
3.2.2.2	Porovnání vlivu druhu předkládaných krmiv na chuť degustovaného masa	39
3.2.2.3	Porovnání vlivu druhu předkládaných krmiv na pachut' degustovaného masa	40
3.2.2.4	Porovnání vlivu druhu předkládaných krmiv na konzistenci degustovaného masa	42
3.2.2.5	Celkové porovnání parametrů	43
3.3	DISKUZE.....	45
4	ZÁVĚR	49
5	PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY	52
6	INTERNETOVÉ ZDROJE	63
7	SEZNAM ZKRATEK	64
8	PŘÍLOHY	65
9	ABSTRAKT:	77

10 ABSTRACT: 78

1 Úvod

Spotřeba živočišné bílkoviny se rok od roku zvyšuje. Během let 2012 – 2050 se předpokládá zvýšení potřeby přibližně o 70 – 80 % (Oonincx a de Boer, 2012). V současné době je zřejmé, že stávající produkce hospodářských zvířat nebude schopna tento nárůst pokrýt.

Celosvětovým problémem je i spotřeba rybí moučky a oleje, které jsou hlavním komponentem většiny umělých krmiv pro hospodářská zvířata. Z tohoto pohledu je nejvíce ohrožen intenzivní chov ryb, neboť rybí moučka a rybí olej jsou základním zdrojem bílkovin a mastných kyselin pro potřebný růst a vývoj ryb. K tomuto problému se připojuje i rostoucí cena této suroviny (van Huis a kol., 2013). V současnosti probíhá intenzivní výzkum zaměřený na nahrazení rybí moučky rostlinnými bílkovinami (sojové boby, řepka, kukuřičný a pšeničný lepek, hrách či vlčí bob). Avšak jejich skutečná efektivita a přínos pro výživu ryb jsou stále předmětem dalších výzkumů. S rozvojem moderních akvakultur nadále roste potřeba kvalitního krmiva. Tyto aspekty nutí vědu zabývat se jinými alternativními zdroji krmiv jak pro ryby, tak i pro hospodářská zvířata. S tím souvisí i hledání dlouhodobě udržitelných krmiv, které budou ekonomicky a ekologicky vyvážené a nebudou konkurovat lidské spotřebě. Jedna z možností jak tyto problémy vyřešit je použití jedlého hmyzu (van Huis a kol., 2013). První výzkumy naznačují, že by hmyzí biomasa mohla být plnohodnotnou alternativou k rybí moučce a rybímu oleji.

Hmyz je důležitým zdrojem bílkovin, tuků, minerálů, vitamínů a vysoce hodnotných aminokyselin, které jsou svým obsahem srovnatelné s živočišnými produkty. Z ekologického hlediska má produkce hmyzu prokazatelně nižší produkci amoniaku, dusíkatých látek a skleníkových plynů. Navíc k jeho kultivaci není třeba velkých ploch (Oonincx a de Boer, 2012). Nespornou výhodou představuje také možnost kultivace hmyzu na odpadu z potravinářství či zemědělství, čímž se může značně snížit problém s nakládáním s organickým odpadem (Turchini a kol., 2010). Současné studie poukazují na skutečnost, že v roce 2050 lidská populace překročí počet 9 miliard a hmyz se stane s největší pravděpodobností významným zdrojem bílkovin (van Huis a kol., 2013).

Cílem této bakalářské práce je zpracovat literární přehled, který shrnuje dostupné literární zdroje a údaje o prozatímních výsledcích a možnostech použití různého druhu hmyzu jako alternativního krmiva pro ryby. V rámci experimentu byl porovnán vliv předkládaného hmyzu společně s komerčně vyráběným umělým krmivem pro ryby. Laboratorní experiment má za cíl ověřit předpokládaný pozitivní vliv přídavku živého hmyzu v krmné dávce na růst, zdravotní stav, kondici a zvýšenou kvalitu rybí svaloviny.

2 Literární přehled zdrojů komponent pro rybí krmiva

2.1 Tradiční zdroje

Mezi živočišné bílkoviny především řadíme hovězí, drůbeží a vepřové maso, které nejčastěji pochází z chovů (van Huis a kol., 2013). Ve skladbě živočišných tuků závisí na množství tuku obsaženého v krmné dávce a na zastoupení mastných kyselin (viz. přílohy Tab. 1.) (Jeroch a kol., 2006). Do živočišných tuků se zahrnují nenasycené kyseliny označované jako esenciální mastné kyseliny, které jsou pro život organismů životně důležité. Organismus si je nedokáže sám vytvořit, a proto musí být podávány v krmivu. Nedostatek esenciálních mastných kyselin způsobuje velké množství somatických problémů, mezi něž patří kožní změny, špatná reprodukční schopnost, snížení odolnosti proti nemocem a celková porucha růstu (Jeroch a kol., 2006). Dále se mezi krmiva živočišného původu dá zařadit i nekonvenční krmivo jako je krill. Krill představuje potenciálně největší dostupný zdroj bílkovin a tuků pro alternativní krmiva. Hlavním problémem této možnosti je rozptýlenost krillu. Vyskytuje se především v arktických a antarktických oblastech a jeho využití vyžaduje vysoké finanční a energetické výdaje (van Huis a kol., 2013).

V současnosti se stále pro ryby chované na farmách používá jako hlavní složka krmiv rybí moučka a rybí olej (Turchini a kol., 2010). Velká produkce rybí moučky je náročná na produkci a významnou roli v produkci hraje její stále rostoucí cena (van Huis a kol., 2013). Při použití rostlinných produktů (sojové boby, semena z řepky olejné, kukuřičný a pšeničný lepek, hrách, vlnička) byly získány zajímavé výsledky. Bylo zjištěno, že by jejich použití mohlo být alternativou rybí moučky. Stejně tak by tomu mohlo být u živočišných produktů, které obsahují masovou moučku, masokostní moučku, komponenty z peří a z krve (van Huis a kol., 2013).

Poptávka po živočišné bílkovině se neustále zvyšuje. Během let 2012 - 2050 se předpokládá zvýšení o 70 – 80 % (Steinfeld a kol., 2006; Pelletier a Tyedmers, 2010; Steinfeld, 2012). Naproti tomu stávající živočišná produkce má za následek hlavní environmentální degradaci. Novým vhodným zdrojem živočišné bílkoviny se začíná stávat jedlý hmyz, např. potměšník moučný (*Tenebrio molitor*) (Oonincx a de Boer, 2012), je ekologicky přijatelnější alternativou, oproti obvyklým hospodářským

zvířatům, včetně skotu (Meijer-Rochow, 1975; DeFoliart, 1997; Mercer, 1997; van Huis, 2003; RamosElorduy, 2005).

Z hlediska všech složek skleníkového efektu má produkce jednoho kilogramu jedlé bílkoviny z mléka, drůbeže, vepřového nebo hovězího masa mnohem vyšší výsledky, než u produkce hmyzu. Produkce hmyzu se jeví jako lepší a udržitelnější zdroj bílkovin (Oonincx a kol., 2010).

Pokud se budeme zabývat obsahem bílkovin v hmyzu, v tomto případě u potměníka moučného (*Tenebrio monitor*), musíme dělat rozdíly, jestli jde o množství čerstvého hmyzu, živého jedince nebo o množství jedlé bílkoviny uváděné např. v sušené formě. Zároveň záleží na průměrném procentuálním zastoupení surové bílkoviny v sušině (Oonincx a de Boer, 2012). Obsah bílkovin a možných jedlých částí u živočišné produkce se liší. Závisí na druhu hmyzu/zvířete, na geografické oblasti, ve které je umožněná produkce a na dalších faktorech, kam spadá strava (Oonincx a de Boer, 2012). S hledáním alternativní živočišné bílkoviny jsou spojené i ekologické problémy. Jde o tyto 3 indikátory: 1) globální oteplování, 2) spotřeba fosilních energií a 3) využívání půdy. S těmito procesy je spojena produkce oxidu uhličitého (CO₂), amoniaku (CH₄) a dusných emisí (N₂O) (IPCC, 2007). Dalšími důležitými faktory, které mají ekologický vliv na produkci živočišných bílkovin je rychlost produkce a efektivita využití krmiva (de Vries a de Boer, 2010). Z výzkumu pak vychází, že produkce potměníka moučného má nejmenší dopad na globální oteplování, využívání půdy a mohl by být považován za vhodnou alternativu oproti produktům z tradičních hospodářských zvířat (Oonincx a de Boer., 2012).

2.2 Alternativní zdroje krmiv

Alternativní zdroje zahrnují rostlinné i živočišné zdroje bílkovin. Mezi rostlinné zdroje řadíme sóju, ječmen, rýži, hrách, řepku, vlčí bob, pšeničný lepek a další různé zdroje. Zdroji mohou být i kvasnice a řasy, z kterých získáváme bioenergii (agresearchmag.ars.usda.gov, 2010).

Hmyz, jako alternativní zdroj živočišných bílkovin, se může chovat na hnoji, prasečí kejďe a kompostu, což jsou odpady z různých druhů průmyslů (van Huis a kol., 2013). Mezi hmyzí druhy, které jsou velmi efektivní při přeměně organického odpadu,

patří například bráněnka (*Hermetia illucens*), moucha domácí (*Musca domestica*) a potěmník moučný (*Tenebrio monitor*). Díky tomu tyto druhy na sebe strhují stále větší pozornost. Další možnou alternativou je zvyšující se farmový chov cvrčků (van Huis a kol., 2013). Jinými zdroji by mohly být odpady z bioenergie, z produkce bio-plastů, a také ze zbytků při zpracovávání ryb (nmfs.noaa.gov, 2015).

I krmiva u alternativních zdrojů se posuzují z různých hledisek. Podle toho, zda jsou krmiva bohatá na sacharidy, tuky, bílkoviny, minerální látky a vitamíny (Jeroch a kol., 2006). Určení obsahu jednotlivých složek krmiv je důležité pro různé vývojové fáze ryb. Od plůdku až po dospělce (Jirásek a kol., 2005).

Účelem hledání alternativních zdrojů je výběr jiné přísady v krmivech, která sníží množství rybí moučky a rybího tuku, který se používá v akvakultuře (nmfs.noaa.gov, 2015). Kromě možností náhrady rybí moučky (FM) a rybího oleje se zkoumá, jak chované ryby využívají různá krmiva, která se liší složením, dobou a četností podávání. Rozhodujícím aspektem je, v jakých vývojových etapách jsou tyto ryby krmeny (Jirásek a kol., 2005). Studie se zabývají dalšími strategiemi pro zlepšení účinnosti krmiva a jeho použití. Prozatím se pracuje na alternativních zdrojích a přísadách, které budou včetně nutričních hodnot pro ryby optimální (nmfs.noaa.gov, 2015).

Při výběru alternativních zdrojů záleží na druhu ryby, pro kterou jsou určeny (Jeroch a kol., 2006). Zdroje pro býložravé ryby mohou obsahovat rostlinné bílkoviny a oleje, minerální látky a vitamíny. Avšak i ryby, které se chovají na farmách a jsou dravé, mají v krmivu vysoké množství rostlinných látek. Využívání rybí moučky a oleje by se tímto způsobem mělo i nadále snižovat (nmfs.noaa.gov, 2015). Snižování rybí moučky a rybího oleje je dáno zvýšením poptávky po bílkovinách a tucích, které mají být ve stravě ryb, což je svázáno s odběrem ryb, jako zdravé potravy pro člověka. A protože se zásoba rybí moučky snižuje, zvyšuje se tlak na omezování této složky v krmivu a to je doprovázeno tlakem na její cenu. Díky tomuto koloběhu došlo k hledání náhrady za rybí moučku a rybí tuk pro udržení akvakultur (agresearchmag.ars.usda.gov, 2010). Ryby jsou velmi vybíravé v tom, jaká strava je jim podávána. Vyžadují hlavně vyšší hladiny bílkovin. Vyšší požadavky ale mají i na aminokyseliny, které podporují jejich rychlý růst (Jirásek a kol., 2005). Najít je v alternativních zdrojích tak, aby vyhovovaly, je složitější, než by se zdálo. Je znám i extrémní příklad, ke kterému patří

úhoři, kteří vyžadují jen potravu živočišního původu (FAO, 1980). Dravé ryby mají problém s využitím a strávením sacharidů, jako zdroje energie. Dokonce některé výzkumy ukazují, že začlenění některých druhů sacharidů do potravy může být škodlivé (Jirásek a kol., 2005). Pokud krmiva obsahují bílkoviny v rozmezí 15 – 50 %, jsou pak optimální pro růst jen u několika druhů ryb. Bílkoviny rostlinného původu postrádají několik klíčových aminokyselin. Jsou to lysin, methionin a tryptofan. To není u alternativních zdrojů jediný problém. Rybě se musí poskytnout vhodný zdroj všech látek, které musí být v rovnováze. Záleží na kompozici, chutnosti a stabilitě při skladování (FAO, 1980).

U chovaných ryb vyvstávají otázky, zda u nich není větší problém nejen s obsahem rtuti, ale i dalších těžkých kovů. Obsah rtuti a dalších těžkých kovů v rybách je dán kvalitou prostředí, v němž žijí a složením předkládaného krmiva (van Huis a kol., 2013). Krmiva používaná pro akvakultury podléhají kontrolám. V každé zemi je ustanoven příslušný orgán, který je zodpovědný za kvalitu krmiva. Krmné složky jsou pravidelně sledovány, aby se zabránilo případné kontaminaci krmiva toxickými látkami a léčivy (nmfs.noaa.gov,2015).

2.2.1 Sójová moučka

Sója luštinatá (*Glycine max (L) Merrill*) patří mezi luštěniny (čeled' bobovitých-*Fabaceae* syn. Motýlokvěté-*Papilionaceae* nebo vikvovité-*Viciaceae*) (Hruška 1955; Lahola 1980; Špaldon 1986). Sójové boby jsou důležitým zdrojem bílkovin, a to je jedním z hlavních důvodů, proč je jejich pěstování rozšířeno po celém světě (Porter a Jones, 2003). Z důvodu vysokého obsahu bílkovin se sójová moučka běžně používá jako standardní přípravek do krmiv pro hospodářská zvířata (Rada, 2007). Složení a kvalita sójové moučky se může rok od roku měnit. Zásadním faktorem kvalitní sójové moučky je kvalita sójových bobů a v neposlední řadě také způsob zpracování (Porter a Jones, 2003). Sója obsahuje okolo 53 % bílkovin, 40 % sacharidů, 3,19 % tuku a 6,31 % popelovin. Vysoký obsah sacharidů má různorodé nutriční a fyziologické vlastnosti (Rada, 2007). Z hlediska zastoupení aminokyselin, je sója bohatým zdrojem valinu, izoleucinu, tyrosinu a alaninu. Porter a Jones (2003) uvádí, že zastoupení jednotlivých aminokyselin se může mezi jednotlivými roky měnit. Ke změnám může docházet i v obsahu železa a fosforu. Oproti tomu koncentrace minerálních látek, tj. hliníku, vápníku, mědi, draslíku, hořčíku, manganu a zinku,

jsou poměrně stálé. Už ve čtyřicátých letech 19. století bylo testováno použití sójové moučky jako krmné směsi pro pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*) a sivena amerického (*Salvelinus fontinalis*) bez významného negativního vlivu na růst a vývoj těchto ryb (Tunison a kol., 1941). V dnešní době může sójová moučka v krmivech nahrazovat 5 – 10 % rybí moučky v závislosti na její ceně (Hardy, 2003; Dersjant-Li, 2002).

2.2.2 Pěřová moučka

Drůbež a její vedlejší produkty, zahrnující pěřovou moučku, jsou primárně využívány v krmivech pro hospodářská zvířata. Vyrábí se pomocí hydrolyz (FAO, 1980). Podle složení se zdají být skvělými bílkovinnými a lipidovými zdroji. Obsahují 69 % hrubé bílkoviny, 10 – 21 % lipidů a asi 10 % popelovin. Pěřová moučka obsahuje 80 – 85 % bílkovin a navíc je relativně dobrým zdrojem sirných aminokyselin (FAO, 1980).

2.2.3 Hmyz

Další alternativou je výše zmíněný hmyz. Pokud jsou larvy hmyzu řádně kultivovány a formulovány, mohly by sloužit jako alternativní zdroj živin v krmivu v akvakulturách (van Huis a kol., 2013).

2.3 Výživová charakteristika hmyzu

Výživové hodnoty jedlého hmyzu jsou variabilní díky velkému množství hmyzích druhů. Hodnoty se liší v rámci stejné skupiny jedlých druhů hmyzu. Dále se odlišují v závislosti na metamorfóze určitého druhu hmyzu (van Huis a kol., 2013). To se týká převážně druhů s kompletní proměnou, tedy *Holometabola*. Výživové hodnoty se různí v závislosti na stravě hmyzu a habitatu hmyzu (van Huis a kol., 2013). Díky zmíněným faktorům budou výživové hodnoty předpřipraveného nebo částečně zpracovaného hmyzu rozdílné. Mezi metody zpracování patří sušení, vaření nebo smažení (Henry a kol., 2015). Data jsou většinou těžko srovnatelná kvůli rozdílům u různých druhů, ne-li jedinců (van Huis a kol., 2013).

Detailní nutriční analýza se provádí převážně jen u nejběžnějších druhů hmyzu používaných jako krmivo (Finke, 2012). Zkoumané druhy, larvy bráněnky, nymfy

švába turkistánského, červi, dospělé mouchy, se analyzovaly z hlediska obsahu bílkovin, tuků, popelovin, kyselých a neutrálních detergentních vláknin, minerálů, aminokyselin, mastných kyselin, vitamínů, vybraných karotenoidů a vlhkosti. Kyselá detergentní vláknina byla analyzována pro aminokyseliny a rovněž pro odhad obsahu chitinu (Finke, 2012). Středně velké částice chitinu mohou vyvolat alergický zánět, zatímco malé a velké chitinové částice můžou mít opačný následek, totiž snížení zánětlivé reakce (Brinchmann a kol., 2011). Nicméně odstranění chitinu zvyšuje kvalitu hmyzích bílkovin na úroveň srovnatelnou s produkty z obratlovců (Belluco a kol., 2013)

Podle Finke (2012) se energetický obsah pohyboval v rozmezí od minima $918 \text{ kcal} \times \text{kg}^{-1}$ u mouchy domácí (*Musca domestica*) až po $2\,977 \text{ kcal} \times \text{kg}^{-1}$ u druhu *Chilecomadia moorei* rodu motýli (*Lepidoptera*). Obsah chitinu se pak pohyboval v rozmezí od $6,7$ po $21,0 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$ (Finke, 2012).

Podle očekávání byly všechny čtyři druhy zmíněného druhu hmyzu dobrým zdrojem bílkovin a tuků. Měly také podobné hladiny vlákniny (měřené jako ADF a NDF). Jak se očekávalo, hmyz obsahoval malé množství sacharidů (Finke, 2012). Podrobnější obsah látek obsažených v hmyzu je uveden v příloze Tab. 2., Tab. 5., Tab. 6., Tab. 7.

2.3.1 **Bílkoviny**

Bílkoviny jsou hlavní organické látky tvořící rybí tkáň. Při procesu růstu ryb potřeba bílkovin roste (Lovell, 1989). Největší množství bílkovin je určeno larvám a plůdku, zejména u dravých ryb (NRC, 2011). Literatury uvádí, že průměrný obsah bílkovin v hmyzu se pohybuje mezi 50 a 82 % (sušiny) (Jirásek a kol., 2005; Rumpold a Schluter, 2013), v závislosti na druhu hmyzu nebo na způsobu zpracování hmyzu (Fasakin a kol., 2003; Banjo a kol., 2006). Nejdůležitější je obsah kvalitních bílkovin v rybí moučce (FM). Ten může dosáhnout až 73 %, zatímco sójová moučka obsahuje až 50 % bílkovin (Barroso a kol., 2014). Ryby se živí bílkovinami, aby získaly aminokyseliny, které jsou jejich součástí (Wilson, 2002). Právě ony jsou důležitými prvky v potravinách. Přispívají k fyzickým a senzorickým vlastnostem organismu (Jeroch a kol., 2006).

Nutriční hodnota bílkovin závisí na několika faktorech.

- 1) na obsahu bílkovin, který je velmi variabilní u všech druhů potravin
- 2) na kvalitě bílkovin, ta je závislá na druhu přítomných aminokyselin, zda jsou aminokyseliny esenciální nebo neesenciální
- 3) na stravitelnosti bílkovin, to souvisí se stravitelností aminokyselin v potravinách i živočiších (van Huis a kol., 2013).

2.3.2 Aminokyseliny

Kritérium pro definování kvality bílkovin je dáno složením přítomných aminokyselin a stravitelností bílkovinné potravy (Makkar a kol., 2014). Dvacet proteinogenních aminokyselin je klasifikováno buď jako esenciální tj. nezbytné, protože ryby je musí přijmout v potravě, nebo jako neesenciální, tj. nepostradatelné, ryby jsou schopné si tento druh aminokyselin vytvořit z jiných. Z toho je pro ryby esenciálních 10 aminokyselin (histidin, izoleucin, leucin, lysin, methionin + cystein, fenyloalanin + tyrosin, threonin, tryptofan, valin a arginin) (Hardy, 2002). Zbývající neesenciální aminokyseliny jsou postradatelné. Mezi ně se řadí alanin, glutamin, glycin, prolin, kyselina aspartová, asparagin, kyselina glutamová a serin (Guillaume a Mambrini, 2001). Lysin a thyrosin jsou striktně nezbytné esenciální aminokyseliny, neboť nejsou transaminovány a jejich deaminace je nevratná. Na rozdíl od toho se může zbývajících 7 nepostradatelných aminokyselin účastnit transaminační reakce. Zvláště je důležitá rovnováha mezi esenciálními (E) a neesenciálními (N) aminokyselinami, které jsou podstatné při posuzování správné kvality bílkovin (Makkar a kol., 2014). Podle kritéria FAO/WHO, by mělo $E/(E+N)$ dosáhnout přibližně 40 % s $E/N = 0.6$ (FAO, 1989). Stravovací kritéria FAO/WHO/EFSA uvádí, že každý dospělý jedinec musí spotřebovat za den 0,66 g / kg bílkovin tělesné hmotnosti (EFSA, 2012). V důsledku přítomnosti všech esenciálních aminokyselin, které jsou v doporučeném poměru, hmyz obsahuje vysoce kvalitní obsah bílkovin. Aminokyseliny, které se vyskytují u hmyzu (viz. přílohy Tab. 3.), mají vysokou kvalitu a jsou bohaté na esenciální aminokyseliny (viz. přílohy Tab. 7.). Vzhledem k tomu jsou rostlinné zdroje bílkovin obvykle nedostatkovým zbožím a patří mezi ně lysin, metionin a leucin (Hall, 1992), které jsou mnohem častěji limitujícími aminokyselinami. U většiny hmyzu bylo zjištěno, že se u nich vyskytují omezené stupně pro tryptofan a lysin (Bukkens, 2005). Musíme také vzít v úvahu, že jsou tu miliony druhů hmyzu

s různými stupni vývoje, které by mohly představovat různorodé profily aminokyselin. Dále se u hmyzu objevuje vyšší obsah methioninu, zatímco obsah sirných aminokyselin je nižší u larev bráněnek, potemníka moučného a cvrčků. Pro optimální růst u většiny hmyzu by bylo potřeba doplnit syntetický lysin, tryptofan, treonin a sirné aminokyseliny (Finke, 2012).

U hmyzu je vnější kostra primárně tvořena bílkovinou a chitinem, ačkoliv i některé jiné druhy jako jsou larvy bráněnky mají mineralizovanou vnější kostru. To vysvětluje neobvykle vysoký obsah minerálních látek u bráněnek. Další průzkumy zjistily u dospělců bráněnky nízký obsah vápníku v porovnání s vápníkem (0,03 %), který je obsažen v kuklách tohoto hmyzu (Finke, 2012). Analytické údaje naznačují, že pro hmyz jsou primárně limitující aminokyseliny obsahující síru. Když byl do stravy začleněn sušený hmyz jako primární zdroj bílkovin, bylo prokázáno, že limitujícím prvkem v aminokyselině je síra. Síra je limitující ve stravě pro savce, dále pro ptáky, plazy a v neposlední řadě také pro amonoteleické organismy, jako jsou ryby, které vylučují dusíkatý odpad, který pochází ze zmíněných aminokyselin katabolismu ve formě amoniaku. Pro ryby může být pak důležitý arginin (Finke, 2012).

2.3.3 Tuky

Jedlý hmyz je kromě bílkovin i významným zdrojem tuků (van Huis a kol., 2013). Tuky jsou primárním zdrojem energie. Sladkovodní ryby využívají tuky s nízkým bodem tání a vyšším obsahem nenasycených mastných kyselin. Oleje, které jsou obsaženy ve hmyzu, jsou bohaté na polynenasycené mastné kyseliny (viz přílohy Tab. 9.) a často obsahují důležité linolové a alfa-linolenové kyseliny. U jednotlivých druhů ryb jsou rozdíly v kvalitativní i kvantitativní potřebě esenciálních mastných kyselin (Jirásek a kol., 2005). Větší pozornost by se měla dávat možnému příjmu omega-3 a omega-6 mastných kyselin, které hrají důležitou roli u hmyzu ve vnitrozemských státech, kde je omezený přístup rybolovných zdrojů. Sladkovodní ryby obvykle ve složení jejich stravy vyžadují polynenasycené mastné kyseliny (FAs) (PUFA) (Tocher a kol., 2008; Tocher, 2010), zatímco mořské ryby zpravidla ve stravě vyžadují začlenění vysoce nenasycených mastných kyselin (FAs) (HUFA) (Rainuzzo a kol., 1997; Hasan, 2001; Sargent a kol., 2002, Tocher a kol., 2008; Tocher, 2010) (viz Tab. 9.). Složení mastných kyselin u ryb ve vnitrozemí závisí na rostlinách, kterými se hmyz živí (nifes.no, 2015). Avšak přítomnost nenasycených

mastných kyselin může vést k oxidaci hmyzu a v průběhu zpracování může dojít rychle ke žluknutí (van Huis a kol., 2013).

2.3.4 Sacharidy

Sacharidy nejsou pro ryby hlavní esenciální živinou. Proto jako svůj zdroj energie využívají bílkoviny a tuky. U jednotlivých druhů ryb jsou značné rozdíly ve schopnosti trávení škrobu (Jirásek a kol., 2005). Pstruh duhový (*Oncorhynchus mykiss*) dokáže trávit neupravený škrob méně jak z 50 %. Pro lepší trávení škrobu se dá použít hydrotermické úpravy, která zvyšuje stravitelnost škrobu. Doporučená dávka neupraveného škrobu, tedy sacharidů, je do 12 %. Pokud dojde k hydrotermické úpravě, může to být maximálně do 22 %. Sacharidy mají dále význam i při výrobě krmných směsí, protože zvyšují stabilitu granulovaných směsí ve vodě (Jirásek a kol., 2005).

2.3.5 Vitamíny a minerální látky

Jsou to důležité mikronutrienty, které jsou obsaženy v hmyzu (van Huis a kol., 2013). Stupeň metamorfózy a strava ovlivňující nutriční hodnotu vitamínů a minerálních látek u jedlého hmyzu se v literaturách liší. Avšak konzumace hmyzu vcelku, ne jen jeho částí, má lepší vliv na zkoumaný objekt, protože obsahují lepší zdroj minerálů i vitamínů (van Huis a kol., 2013).

Hmyz poskytuje několik vitamínů (Schabel, 2010). Většina z nich je pro ryby nepostradatelná (viz přílohy Tab. 8.). Patří sem vitamín B1 (tiamin), který je nezbytný pro metabolismus tuků. Pokud je ho nedostatek, dochází ke zpomalení růstu, snížení příjmu krmiva a poruchám nervového systému. Vitamín B2 (riboflavin) se podílí na oxidačně-redukčních reakcích tedy na metabolismu bílkovin a tuků (Jirásek a kol., 2005). Při nedostatku se zpožďuje růst ryb. Dále pak vitamín A (retinol), je nezbytný pro udržování epitelových tkání ve správném funkčním stavu, pro růst i reprodukci ryb (Jirásek a kol., 2005). Vitamín A a β -karoten byly zjištěny v některých druzích housenek. Hodnoty byly v rozmezí od 32 μ g do 48 μ g na 100 g a 6,8 μ g až 8,2 μ g na 100 g sušiny pro retinol a β -karoten, v daném pořadí. Hladiny těchto vitamínů byly menší než 20 μ g na 100 g a méně než 100 μ g na 100 g u žlutých larev potemníka moučného, potemníka brazilského a cvrčků (Finke, 2002; Bukkens, 2005; Ooninx a kol., 2010).

Minerální látky hrají důležitou roli v biologických procesech. Sladkovodní ryby potřebují stejné minerální látky jako ostatní teplokrevná zvířata. Některé z nich mohou ryby získávat absorpcí z vody přes žaberní epitel nebo kůži (Jirásek a kol., 2005). Minerály (draslík, vápník, železo, hořčík, zinek a selen) se vyskytují u hmyzu (DeFoliart, 1992; Finke, 2002; Banjo a kol., 2006; Schabel, 2010; Rumpold a Schlüter, 2013). Nicméně množství vápníku (Ca) a fosforu (P), jsou obvykle nižší než v rybí moučce, kromě obsahu vápníku (Ca) u bráněnek (Makkar a kol., 2014).

Většina jedlého hmyzu je výborným zdrojem železa (Fe). Hmyz má stejné, spíše vyšší obsahy železa než hovězí maso (Bukkens, 2005). To obsahuje $6 \text{ mg Fe} \times 100 \text{ g}^{-1}$ suché hmotnosti. Oproti tomu obsah u housenky, rodu martináčovitých, je $30 - 77 \text{ mg Fe} \times 100 \text{ g}^{-1}$ suché hmotnosti. Obsah železa u kobylek (*Locusta moratoria*) se pohybuje mezi $8 - 20 \text{ mg Fe} \times 100 \text{ g}^{-1}$ suché hmotnosti v závislosti na jejich stravě (Oonincx a kol., 2010; van Huis a kol., 2013). Jedním z velmi důležitých minerálů je zinek (Jeroch a kol., 2006). Bez něj dochází ke zpomalení růstu, opožděnému sexuálnímu zrání a zvýšené náchylnosti k infekcím v rámci imunitního systému. Je známo, že velké množství hmyzu je dobrým zdrojem zinku (van Huis a kol., 2013). Nicméně, vitaminové a minerální profily hmyzu závisí do značné míry na složení stravy hmyzu.

2.3.6 Chitin

Hmyz obsahuje i vlákninu. Nejběžnějším a nejdůležitějším typem vlákniny u hmyzu je chitin, který se nachází v exoskeletonu (Brinchmann a kol., 2011). Je to dlouhý polymer N-acetylglukosamin-, tedy derivát glukózy. Monogastriční zvířata, zahrnující také ryby, chitin špatně tráví (Rust, 2002). Po přidání hmyzu do stravy může docházet ke snížení růstu ryb a stravitelnosti bílkovin a lipidů (Lindsay a kol., 1984; Köprücü a Özdemir, 2005; Balogun, 2011; Longvah a kol., 2011, Alegbeleye a kol., 2012). Aby mohlo dojít k trávení chitinu, je potřeba činnosti třech enzymů – chitinázy (Brinchmann a kol., 2011; Kroeckel a kol., 2012), chitinbiasy a lysozomu. Všechny enzymy se vyskytují u masožravých i všežravých ryb (Lindsay a kol., 1984; Fines a Holt, 2010). Přítomnost těchto enzymů byla prokázána u sladkovodních (Lindsay a kol., 1984; Jeuniaux, 1993) i mořských ryb (Fänge a kol., 1979; Danulat a Kausch, 1984; Kono a kol., 1987; Clark a kol., 1988; Kurokawa a kol., 2004; Fines a Holt, 2010). Navzdory přítomnosti těchto enzymů v rybách, se obvykle

předpokládá, že ryby nemohou chitin strávit (Rust, 2002). Proto je vhodné, při používání krmiva obsahující hmyz, chitin odstranit (DeFoliart, 1992, Bellucco a kol., 2013; Sanchez-Muros a kol., 2014). Při použití chemických nebo enzymatických metod pro snížení nebo odstranění chitinu z krmiva (Shiau a Yu, 1999; Se-Kwon a Nirandžan, 2005; Lin a kol., 2012a; Lin a kol., 2012b), může dojít k výraznému navýšení nákladů na výrobu hmyzích krmiv (Henry a kol., 2015). Navíc, pro některé živočichy může být chitin alergický (van Huis a kol., 2013).

2.4 Porovnání hovězího masa proti hmyzu

Při zkoumání nutričních hodnot u několika druhů hmyzu, do kterých patří i potěmník moučný (*Tenebrio monitor*) se zjistilo, že by tento druh hmyzu mohl být slibnou možností pro masový chov v západních zemích, a to díky jeho výskytu v mírném podnebném pásu skrze jeho krátký životní cyklus (van Huis a kol., 2013).

- *Makronutrienty*: Obsah tuku je u hovězího masa vyšší než u larev potěmníka moučného. Obsah bílkovin je srovnatelný.
- *Aminokyseliny*: Hovězí maso má vyšší kyselinu glutamovou, lysin, methionin; ve srovnání s moučnými červy má hovězí maso nižší leucin, valin, izoleucin, tyrosin a alanin.
- *Mastné kyseliny*: Dospělci moučných červů obsahují z 80 % stejné mastné kyseliny jako hovězí maso.
- *Minerály*: Mouční červi obsahují srovnatelné hodnoty mědi, sodíku, draslíku, železa, zinku i selenu jako hovězí maso.
- *Vitamíny*: Mouční červi mají obecně vyšší množství vitamínů než hovězí maso. Výjimkou je vitamín B12 jehož obsah je vyšší v hovězím mase (van Huis a kol., 2013).

Výše uvedené porovnání hmyzu s hovězím masem poukazuje na možné zařazení hmyzu v krmivech ryb bez významného negativního vlivu na kondici a růst ryb.

Navíc, při produkci hmyzu nedochází k tak vysokému úniku amoniaku, dusíkatých látek a skleníkových plynů do ovzduší jako při živočišné produkci (viz. přílohy Obr. 1.) (Oonincx a de Boer, 2012). Dále pro chov hmyzu není potřeba velkých ploch. Je-li potřeba, může být hmyz chován na ekologických přitocích. Protože vyžaduje mnohem

méně vody než chov skotu, představuje nízké riziko přenosu původních infekcí (van Huis a kol., 2013).

2.5 Chov hmyzu na substrátu

Do roku 2050 se očekává, že vzroste spotřeba živočišných produktů až o 60 – 70%. Tento nárůst spotřeby bude vyžadovat obrovské zdroje. Díky omezené dostupnosti přírodních zdrojů, probíhajícími klimatickými změnami a dalšími ovlivněními bude docházet ke stále náročnějšímu nedostatku krmiva. Náklady jsou již nyní u běžných krmných zdrojů, jako je sójová a rybí moučka, velmi vysoké. V budoucnu se jejich dostupnost omezí (Makkar a kol., 2014).

V současné době dochází k mnohem větší produkci odpadů než dříve (Cameron a kol., 2005). Odpadky i zbytky potravin jsou hlavním zdrojem znečištění ve městech po celém světě (Hall, 1992). Jsou omezené možnosti, jak odpad likvidovat. Nejčastějším způsobem likvidace jsou skládky (Cameron a kol., 2005). Skládky mají omezenou kapacitu. Musí se zavírat a tím se snižuje prostor pro budoucí odpad. Na skládkách se tvoří různé nepříjemné pachy, plyny a i průsaková voda. To může přilákat různé škůdce (Cameron a kol., 2005). Pokud by se začaly používat udržitelné metody pro recyklaci odpadů, mohlo by dojít ke snížení zátěže na skládkách (James 1935, květen 1961). Dobrým řešením je minimalizace potravinářského odpadu. Mezi další správná řešení, jak se zbavit odpadu, by podle výzkumů mohla spadat i recyklace pomocí mikroorganismů (Lee a kol., 2007) či hmyzu (Newton a kol., 2005a; Diener a kol., 2009). Tento proces recyklace je nesmírně důležitý pro udržitelnost životního prostředí (Khoo a kol., 2010). Takto využívaný odpad by mohl vést k výrobě hodnotných materiálů, do kterých řadíme kompost i krmiva (James 1935, květen 1961).

Pro průmyslovou masovou výrobu hmyzu, automatizační techniky i bezpečnostní postupy se musí s cílem vyvinout a zajistit ekonomický proces pro výrobu bezpečných potravin a krmiv získaných z hmyzu. Navíc je potřeba zvýšit přijatelnost spotřebitelů (Lewin 1943; Wansink 2002; van Huis, 2013).

Pro maximální výnos bílkovin a masa musí být zvolen vhodný druh hmyzu a musí se vzít v úvahu přijetí hmyzu i spotřebitelem, ať už jde o lidi nebo zvířata. Kandidáti na chov hmyzu jsou pak vybíráni na základě velikosti, sociálního chování, bezpečnosti,

rizika vzniku nemocí, reprodukčního potenciálu a potenciálu přežití, podle obsahu nutričních hodnot a jejich výhod a samozřejmě je zvážen i jejich potenciál pro skladování a prodejnost (Schabel, 2010). V případě optimalizace chovu hmyzu, je potřeba zaměřit výběr na další faktory jako je produkce vajíček, vysoká líhivost, krátké trvání larválního stádia, vysoká hmotnost larvy nebo kulky, vysoká produktivita, vysoký potenciál denního růstu biomasy, nízké náklady na krmivo, vysoká obranyschopnost proti nemocem, schopnost chovu ve vysokých hustotách a schopnost produkce kvalitních bílkoviny. Mezi další fyzikální faktory, které podmiňují ekonomiku chovu, se řadí teplo, světlo, vlhkost, větrání, prostor pro kladení vajec, potrava a dostupnost vody, složení a kvalita potravin (Peters a Barbosa, 1977; Scriber a Slánský, 1981; Singh, 1982; Sharaby a kol., 2010; Tchuinkam a kol., 2011; Vantomme a kol., 2012). Pro chov alternativního druhu krmiva i potravin se jako nejvhodnější druh hmyzu jeví chov *Orthoptera* zahrnující kobylky, sarančata a cvrčky (Halдар, Das a Gupta, 1999).

Zavedením nové povrchové dekontaminační techniky pro odchov hmyzu a vajíček v kontejnerech lze docílit snížení nákladů. Vývojem monitorovacích zařízení by bylo možné sledovat jedince nemocné i potencionálně infikované. Vývojem speciálních strojních zařízení by bylo možné odstraňovat mrtvé jedince, odstraňovat křídla a nohy. Vývojem technologií umožňujících separaci bílkovin či odstranění chininu metodami, které jsou již známé při zpracování krunýřů humrů a krevet (Jabbour a Hognason, 2011), to vše má na antimikrobiální a antienzymatické dopady (Knorr a kol., 2011).

Hmyz, který splňuje požadavky pro automatizované chovy, zahrnuje bráněnku (*Hermetia illucens*) z rodu *Diptera*. Larvy bráněnek jsou schopny snížit různé druhy organického odpadu, kam zahrnujeme standardní krmiva pro drůbež, prasečí játra, prasečí kejdu, drůbeží kejdu, kuchyňský odpad, ovoce a zelenina a zbytky z rybích zpracoven (Kim a kol. 2008; Nguyen a kol, 2015). Bráněnky najdeme v uzavřených zařízeních pro zvířata, kde se kumuluje právě hnůj (Tingle a kol., 1975). Protože se dospělci ničím neživí, larvy musí během larválního vývoje nashromáždit tolik tuku, bílkovin a dalších prospěšných látek, aby mohl dospělec přežít. Kromě toho, bráněnky se používají ke snížení odpadu hnojiv od slepičích nosnic, a to o více než 50 %. Protože se ve stejné době dají použít jako krmivo, snižují se náklady pro kontrolu letu a odstraňování hnoje (Sheppard a kol., 1994). Proces doprovází

i vysoké snížení obsahu dusíku (N) a fosforu (P) v kejďě (Newton a kol., 2005b). Bráněnky byly úspěšně odchovány na prasečím a kravském hnoji, i na odpadu z ryb. I další druhy organického odpadu jsou využitelné pro chov bráněnek, například rostlinný odpad. (Newton a kol., 2005a; Newton a kol., 2005b; St-Hilaire a kol., 2007a; St-Hilaire a kol., 2007b; Sealey a kol., 2011).

Koncentrace živin, jež jsou obsažené v kejďě, se následně používají na výrobu hodnotnější biomasy, tj. krmiva pro zvířata. Při odchovu larev bráněnek na kejďě se snižuje zbytkový objem hnoje včetně obsažených koncentrací živin. To má za následek snížení potenciálního znečištění o 50 – 60 %. Další výhodou chovu hmyzu na kejďě je provzdušňování a sušení půdy, jež snižuje zápach (Landi, 1960; Natori, 1995; Sherman a kol., 2000).

Na rozdíl od mnoha dalších druhů škůdců, které spotřebovávají odpad, larvy bráněnek nepřenášejí žádné bakterie a nemoci. Dokonce jsou schopny inaktivovat *Escherichia coli* a *Salmonella* (Erickson a kol., 2004). Jak již bylo zmíněno, dospělci této mouchy nevyžadují výživu (Tomberlin a kol., 2002). Navíc dospělci nejsou považováni za škůdce, jelikož se nevyskytují v domovech, a protože jejich životní cyklus trvá krátkou dobu (Tomberlin a kol., 2002). Larvy bráněnek, jež jsou neaktivní a jsou ve vývojové mezifázi mezi larvou a kuklou jsou používány jako krmivo s přidanou hodnotou, protože obsahují 45,2 % hrubé bílkoviny a 31,4 % tuku. Bráněnka v tomto stádiu jako krmivo může mít odhadovanou hodnotu \$ 330 za tunu tohoto hmyzu (Hale 1973; Newton a kol., 2005a). Studie ukázaly, že mezifáze vývojového stádia mezi larvou a kuklou bráněnky, jsou přijatelné jako náhrada krmiv pro zvířata, například pro prasata, drůbež a ryby (Newton a kol., 1977; Bondari a Sheppard 1981). Zralé larvy mohou být produkovány za účelem využití jako krmivo pro další hospodářská zvířata.

System, nazývaný *Hermetia*, který vyvinul Sheppard a kol. (1994) dokáže pomocí larev bráněnek převést drůbeží hnůj na krmivo obsahující 42 % bílkovin, 35 % tuku a 8 % sušiny v krmné dávce. Stejný systém jsou schopny realizovat i mouchy domácí (Sheppard 1983; Calvert 1979; El Boushy, 1991; Hwangbo a kol., 2009). Jsou schopné snížit objem hnoje o 50 % (Sheppard, 1983), což zahrnuje snížení celkové koncentrace dusíku o 24 % u zbytku hnoje (Sheppard a kol., 1998).

2.6 Vhodné hmyzí druhy

Mezi nejčastější a nejslibnější druhy pro průmyslovou výrobu krmiv patří druh z rodu bráněnkovití (*Stratiomyidae*), larvy mouchy domácí (*Musca domestica*), housenky bource morušového (*Bombyx mori*) a mouční červi (*Tenebrio molitor*). Druhy sarančat z čeledi sarančovití (*Acrididae*) a termiti (*Isoptera*) nejsou tak vhodnými kandidáty pro zmíněnou průmyslovou výrobu díky problematickému a obtížnému odchovu těchto druhů (Hackstein a Stumm, 1994). Larvy hmyzu jsou obvykle velmi důležitou součástí potravy ryb. Je dokázáno, že hmyz může nahradit dokonce 100 % rybí bílkoviny, konkrétně v potravě lososa, aniž by později byla ovlivněna a ohrožena chuť jejich masa nebo samotný růst ryb (Lock a kol., 2015).

2.6.1 Bráněnka (*Hermetia illucens*)

Je to druh mouchy (*Diptera*) z čeledi bráněnkovití (*Stratiomyidae*). Pochází z tropických, subtropických a teplých mírných pásem Ameriky. Vývoj mezinárodní přepravy měl v roce 1940 za následek rozšíření hmyzu do dalších oblastí světa (Leclercq, 1997). Nyní je bráněnka rozšířená v tropických a teplých mírných oblastech okolo 45° 40° N (Diener a kol., 2011). Dospělý jedinec je černý, vypadá jako vos a je 15 – 20 mm dlouhý (Hardouin a Mahoux, 2003). Larvy mohou dosáhnout délky až 27 mm, jejich šířka činí 6 mm. V posledním stádiu mohou mít larvy až 220 mg. Mají matně bělavou barvu (Díclaro a Kaufman, 2009). Larvy obsahují v kutikule významné množství vápníku (Finke, 2007). Na konci stadia larvy dojde k vyprázdnění zažívacího traktu, larva se přestane krmit a pohybovat (Hardouin a Mahoux, 2003). V tomto stadiu vývoje migrují se snahou najít suché a chráněné místo k zakuklení (Diener a kol., 2011). Doba fáze kukly trvá přibližně 14 dní, tento čas však může být velmi variabilní. Kukla takto dokáže vydržet až 5 měsíců (Hardouin a Mahoux, 2003). Larvy se ve vysokém počtu vyskytují na organickém odpadu, jako jsou fazole, zelenina, odpad z lihovarů a na odpadcích z rybích zpracoven. Zejména je nacházíme na chlévské mrvě, dokonce i na lidských výkalech (Hardouin a Mahoux, 2003; Diener a kol., 2011; van Huis a kol., 2013). V hojném počtu se nacházejí a přirozeně vyskytují kolem hnoje vyprodukovaného všemi zvířaty. Díky tomuto výskytu se nazývají latrinními larvami (Newton a kol., 2005b). Používají se k řešení ekologických problémů spojených s hnojem a jiným organickým odpadem za účelem snížení jeho množství, vyřešení obsahu vlhkosti a nepříjemných pachů. Ve chvíli výskytu na organickém materiálu mají

pro ryby, prasata a další zvířata vysokou hodnotu jako možné krmivo (van Huis a kol., 2013). Takovéto využití by se mělo brát vážně, a to nejen kvůli jejich schopnosti rozkládat a ničit nezbytné látky z organického materiálu včetně jeho zápachu. V sušeném stavu obsahují 42 % bílkovin a 35 % tuku (na bázi sušiny). Živé mají 44 % suché hmoty a jejich skladování je snadné i po dlouhou dobu. Zařazení bráněnky v potravě by mělo mít pozitivní vliv na růst ryb (Widjastuti a kol., 2014). Larvy mohou nahradit až 25 % rybí moučky a 38 % rybího tuku. Výhodou bráněnky je nemožnost přenášet nebezpečná onemocnění (van Huis a kol., 2013). Dospělí jedinci se už nekrmí a spoléhají na tuky uložené ve stádiu larvy (Diclaro a Kaufman, 2009).

Hmyz může být chován pro ryby na odpadu ze zpracoven ryb. Tím je myšleno, že larvy hmyzu mohou být chovány mezi organickými odpadními produkty. Nevýhodou je nutnost chovat tento druh hmyzu v teplém podnebí. Pokud ho začneme chovat v mírném pásu, chov bude energeticky a finančně náročný (van Huis a kol., 2013).

2.6.2 Mouchy (*Musca domestica*)

Moucha domácí (*Musca domestica*) je nejčastější druh mouchy (*Diptera*). Patří mezi celosvětové škůdce a hlavní přenašeče onemocnění, protože larvy i dospělé mouchy se krmí na hnoji i na organicky rozpadajícím se odpadu. Schopnost mouchy domácí žít se na široké škále odpadů by mohlo být užitečné a proměnit hnůj na cennou biomasu, která bude bohatá na vysoký obsah bílkovin a tuků (Calvert, 1979; Miller a Shaw, 1969).

Mouchy jsou zdrojem živočišných bílkovin. Sušina v jejich těle tvoří 30 % celkové hmotnosti larev, z toho je 54 % hrubá bílkovina. Kukly mouchy dobytčí (*Musca autumnalis*) obsahují významné množství vápníku v kutikule (Finke, 2007). V nabídce jsou čerství jedinci k okamžitému použití nebo jako suchý produkt určený pro intenzivní chov (van Huis a kol., 2013). Vystává obava, zda je bezpečné tento druh hmyzu používat díky možnosti přenosu onemocnění. Byly učiněny závěry, že při sušení na konečnou vlhkost 4 – 5 % by mělo být riziko minimalizováno (van Huis a kol., 2013).

2.6.3 Termiti (*Isoptera*)

Odchov termitů je vysoce obtížný proces a s ohledem na vysokou hladinu produkovaného metanu se chov nedoporučuje (van Huis a kol., 2013).

2.6.4 Bourec morušový (*Bombyx mori*)

V rozvojových zemích je těžké kvůli vysokým nákladům používat rybí moučku jako doplňkový materiál do krmiv. Ukázalo se, že přidání kukel bource morušového (*Bombyx mori*) nemělo významný negativní vliv na tělesnou kondici a hmotnost ryb. Navíc kukly bource morušového jsou v rozvojových zemích méně nákladné na produkci, než rybí moučka (van Huis a kol., 2013). Housenky tohoto druhu nočního motýla jsou chované pro výrobu hedvábí. Kulky bource morušového jsou součástí lidské stravy dlouhou dobu. V asijských zemích jsou považovány za pochoutku. Jedná se o oblasti produkující hedvábí např. oblasti Číny (Luo, 1997), Japonska (Mitsubishi, 1997), Thajska (Yhoung-Aare a kol., 1997) a Indie (Longvah a kol., 2011).

Vzhledem k vysokému obsahu bílkovin bylo zjištěno, že potrava z kukel bource morušového je vhodná jako krmivo pro hospodářská zvířata, zejména pro monogastrické druhy (drůbež, prasata a ryby), (Trivedy a kol., 2008).

2.6.5 Mouční červi - čeled' (*Tenebrionidae*)

Mouční červi jsou larvy dvou druhů potěmníků z čeledi *Tenebrionidae*. Do této skupiny patří moučný červ žlutého zbarvení nazývaný potěmník moučný (*Tenebrio molitor*) a další druh, jež je menší, méně častý, s tmavým zbarvením nazývaný potěmník tmavý (*Tenebrio obscurus*). Mouční červi jsou původem z Evropy. Distribucí se rozšířil po celém světě. Potěmník moučný je škůdcem obilí, mouky a škodí i v obchodech s potravinami. Výskyt a dopady co by škůdce, nejsou tak časté a málo důležité, protože se vyskytuje v poměrně malých populacích (Ramos-Elorduy a kol., 2002).

Tento druh hmyzu se snadno chová a je ceněn pro profily bílkovin následně obsažených v krmivech. Z těchto důvodů se vyrábějí průmyslově pro domácí zvířata a zvířata v zoologických zahradách, včetně ptáků, plazů, malých savců, obojživelníků a ryb. Ryby jsou obvykle krmeny živými larvami. K dostání jsou mouční červi

i v konzervách, sušení anebo v práškové formě (Aguilar-Miranda a kol, 2002; Hardouin a Mahoux, 2003; Veldkamp a kol., 2012).

Životní cyklus potemníka moučného trvá různě dlouhou dobu, od 280 až do 630 dnů. Larvy se líhnou po 10 - 12 dnech při teplotě 18 – 20 °C. Zralým dospělcem se obvykle stává po 3 - 4 měsících (při pokojové teplotě). Stupeň larvy může trvat až 18 měsíců. Průběh vývoje je ovlivněn vnějšími faktory. Zralá larva je světle žluto-hnědé barvy, je 20 – 32 mm dlouhá a váží 130 – 160 mg. Dospělý jedinec potemníka moučného žije po dobu dvou až tří měsíců. Životní cyklus u potemníka tmavého je kratší, převážná část je v larválním stádiu (Hill, 2002; Hardouin a Mahoux, 2003).

Mouční červi jsou všežraví. Jsou schopni konzumovat všechny druhy rostlinných materiálů, jakož i živočišných produktů, jako je maso a peří (Ramos-Elorduy a kol., 2002). Obvykle jsou krmeni obilnými otrubami nebo moukou (pšenice, oves, kukuřice) doplněnými proteinovými zdroji, např. sójovou moukou, sušeným odstředěným mlékem nebo kvasinkami. Další možností je krmení čerstvým ovocem a zeleninou (mrkev, brambory, salát), které poskytují vlhkost (Aguilar-Miranda a kol., 2002; Hardouin a Mahoux, 2003). Strava by měla být rovnovážná, aby obsahovaly přibližně 20 % bílkovin v sušině (Ramos-Elorduy a kol., 2002).

Mouční červi mají schopnost recyklovat rostlinné odpadní materiály o nízké kvalitě na kvalitní směsi, které jsou bohaté na energii, bílkoviny a tuky, v relativně krátkém čase (Hornung, 1991; van Huis a kol., 2013).

2.6.6 **Sarančata – čeled' (*Acrididae*)**

Saranče stěhovavé (*Locusta moratoria*), kobylky (*Ensifera*), cvrčci (*Grylloidea*) a další jsou hmyzem řádu rovnokřídlých (*Orthoptera*). Všechny druhy jsou jedlé a více než 80 druhů kobylek, sarančat a cvrčků se spotřebuje na výrobu potravin na celém světě (DeFoliart, 1992; Ramos-Elorduy, 1997; van Huis a kol., 2013). Rovnokřídlí jsou velmi bohatí na bílkoviny, jejichž obsah se pohybuje v rozmezí 50 – 60 %. Obsah sušiny činí 23 – 35 % a množství tuku u těchto živočichů dosahuje poměrně nízkých hodnot (Makkar a kol., 2014). Saranče se nepoužívá jen jako krmná složka pro drůbež a prasata. Naopak nové studie se snaží nahradit alespoň část rybí moučky sarančaty

a dalšími kobyčkami. Bylo zjištěno, že částečná náhrada je vhodné řešení. *Schistocerca gregaria* dokáže nahradit až 50 % bílkovin rybí moučky. Byla použita u mladých jedinců Keříčkovce červenolemého (*Clarias gariepinus*). Její náhrada činila až 25 % z doporučených bílkovin a neměla významný vliv na snížení růstu jedinců (Balogun, 2011).

Potíže by mohly nastat s kutikulou hmyzu. Ta se skládá z chitinu, který je složen z kutikulárních bílkovin, lipidů a dalších sloučenin (Finke, 2007; Brinchman a kol., 2011). Nadbytek chitinu mohl u jedinců Keříčkovce červenolemého přispět ke snížení výkonnosti a také efektivnosti krmiva, když bylo zvýšeno množství *Schistocerca gregaria* v krmivu (Balogun, 2011). Oproti tomu, moučka vyráběná z druhu saranče stěhovavé nahrazuje rybí moučku až o 25 % v potravě plůdku tlamouna nilského (*Nile tilapia*). Tato náhrada nemá žádný nepříznivý vliv ani na stravitelnost živin, na růstovou výkonnost, ani na hematologické parametry (Abanikanda, 2012; Emehinaiye, 2012).

Krmné zkoušky u některých druhů ryb zjistily, že výživa, ve které bylo 25 % až 50 % rybí moučky nahrazeno komponenty z kobylek, přinesla stejně dobré výsledky jako výživa, která obsahovala 100 % rybí moučky (Halder, 2012). To naznačuje, že by i kobyčky mohly být úspěšnou náhradou ve stravě ryb (van Huis a kol., 2013).

Na základě provedené rešerše předpokládám že, 25 – 50 % nahrazení KD (krmné dávky) rybí moučky vybranými druhy hmyzu, u pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*) jako dravého druhu, v určitém množství, povede ke zvýšení efektivity umělého krmiva bez negativního vlivu na růst, hmotnost a kvalitu ryb. Správnost této hypotézy bude ověřena v experimentu popsaném v další kapitole.

3 Experimentální ověření použití hmyzu jako alternativního krmiva pro pstruha duhového

Akvarijní experiment probíhal v době od 16. 10. do 15. 12. 2015 v laboratoři Fakulty rybářství a ochrany vod ve Vodňanech. V rámci pilotní studie byl proveden krmný pokus, zaměřený na experimentální ověření možnosti využití hmyzu jako alternativního krmiva v intenzivním chovu pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*).

3.1 Materiály a metody

3.1.1 Chemikálie

- 2-phenoxyethanol – $0,3 \text{ ml} \times \text{l}^{-1}$ – použit pro uspání a zklidnění ryb
- Hypermangan – $0,5 \text{ g} \times \text{l}^{-1}$ – použit po dobu 2 minut pro dezinfekci po anestezii ryb

3.1.2 Pokusné ryby

Pokus byl proveden na pstruhu duhovém (*Oncorhynchus mykiss*). Ryby měly na začátku experimentu průměrnou hmotnost 256 - 277 g. Chov probíhal v akváriích o objemu 300 litrů. Akvária byla napouštěna vodou z vodovodu, filtrovanou přes filtrační jednotku s aktivním uhlím.

3.1.3 Krmný hmyz

Jako krmný hmyz byl zvolen cvrček domácí (*Acheta domestica*) (viz. přílohy, Obr. 2.) a larvy potemníka peruánského (*Zophobas morio*) (viz. přílohy, Obr. 3.), odebíraného od místního producenta Vladimíra Šefla z Bušanovic, který je zároveň chovatelem ryb. Hmyz byl zkrmován v živém stavu.

3.1.4 Nutriční parametry krmného hmyzu

Tab. 4.: Rozbor vzorků hmyzu odebraný dne 26. 2. 2015, rozbor provedla laboratoř ALS.

Parametr	LOQ (mez stanovitelnosti)	jednotka	NM (nejistota měření)	cvrčci	červi
Bílkoviny	0,3	g/100 g	± 5,0 %	21,7	19
celkové sacharidy	0,3	g/100 g	± 7,0 %	4,1	4,7
popel při 550 °C	0,06	g/100 g	± 3,0 %	1,9	1,8
sušina při 105 °C	0,1	g/100 g	± 1,0 %	32,2	43,8
Tuk	50	g/100 g	± 5,0 %	4,6	18,3
energetická hodnota (kJ/100g)	0,1	kJ/100 g	± 7,0 %	606	1080
Vlhkost	12	g/100 g	± 1,0 %	67,8	56,2
energetická hodnota (kcal/100g)	10	kcal/100 g	± 7,0 %	145	258
energie z tuku (kJ/100g)	2	kJ/100 g	± 7,0 %	169	676
energie z tuku (kcal/100g)	0,1	kcal/100 g	± 7,0 %	40	162

Podrobný rozbor vzorků hmyzu odebraný dne 26. 2. 2015, který byl proveden ve Vodňanech, je uveden v Tab. 5.(viz přílohy).

3.1.5 Skupiny ryb podle použitého krmiva

Ryby byly rozděleny do 5 skupin s různým složením krmné dávky:

K: kontrolní skupina, krmená pouze komerčním peletovaným krmivem.

C: skupina s náhradou 25% energie krmné dávky (KD) cvrčky

L: skupina s náhradou 25% energie (KD) larvami potemníka

LC: skupina s náhradou 12,5% energie (KD) cvrčky a 12,5% energie (KD) larvami potemníka

H: skupina s náhradou 50% energie (KD) cvrčky a 50% energie (KD) larvami potemníka

3.1.6 Princip pokusu

Každá krmná varianta byla chována ve 3 opakováních (akváriích) po 10 kusech ryb (viz Obr. 4.). Jen ve skupině krmené výhradně hmyzem bylo použito pouze jedno akvárium s 8 rybami. Voda v akváriích byla měněna jedenkrát denně. Každé akvárium bylo opatřeno třemi vzduchovacími kameny (viz. přílohy obr. 5.), napojenými na centrální rozvod vzduchu z kompresoru.

Ryby byly dovezeny 16. 10. 2015 od chovatele Vladimíra Šefla z Bušanovic. Dovezení jedinci byli v průběhu dosavadního chovu v recirkulačním systému krmení pouze komerčním krmivem (Biomar EFICO Enviro, 4,5 mm) a neměli předchozí zkušenost s příjmem hmyzu. Totožné krmivo bylo použito pro experiment. Ryby byly ponechány 4 dny bez krmení pro lepší adaptaci na nové prostředí a následné snazší převedení na příjem předkládaného hmyzu.

Denní krmná dávka (DKD) byla zvolena 1,5 % hmotnosti obsádky. Podíl hmyzu v KD pro skupiny C, L, LC a H byl stanoven na základě předem provedených analýz krmného hmyzu od stejného producenta. Jako základ byl brán obsah hrubé energie pelet, udávaný výrobcem. Krmná dávka byla počítána pro každý den s přihlédnutím k předpokládanému zvyšování hmotnosti obsádky. Hmyz byl dovážen jednou týdně. Larvy potměníka byly uchovávány v otrubách a příkrmovány nakrájenými jablky, cvrčci byli uchovávaní v boxech dodaných producentem a v chladničce v inaktivním stavu.

Krmení ve všech akváriích bylo zahájeno 20. 10. 2015. Předem navážené krmivo bylo předkládáno ručně v několika (3 - 4) dávkách denně. Rybám ze skupin příkrmovaných hmyzem (C, L, LC, H) byl předkládán pouze hmyz ($\frac{1}{4}$ KD), aby získaly návyk na jeho příjem. Kontrolní skupině byla předkládána rovněž pouze $\frac{1}{4}$ KD pelet. Od 27. 10., kdy již ryby ve všech akváriích aktivně přijímaly předkládanou potravu, bylo zahájeno krmení plnou KD (1,5 % hmotnosti obsádky). Skupinám příkrmovaných hmyzem byla v první týdně zkrmována část KD tvořená hmyzem. Po jeho zkonsumování byla předkládána část tvořená komerčními peletami. Vzhledem ke změně potravní preference chovaných ryb bylo pořadí předkládaných složek KD obráceno. Po třech týdnech odchovu (11. 11. 2015) bylo provedeno přelovení a zvážení obsádky všech nádrží.

Přelovení ryb bylo zahájeno vypuštěním vody z akvárií až po hladinu 100 litrů. U ryb byla z důvodu snazší manipulace provedena anestezie pomocí 2-phenoxyethanolu v množství 0,4 ml na litr. Při manipulaci s rybami z akvárií do vodní lázně a zpět byl použit keser. Ryby setrvaly ve vodní lázni obsahující 2-phenoxyethanolem do fáze zklidnění, což se projevilo pokládáním se na bok. Následně bylo provedeno měření hmotnosti a délky ryb, pomocí váhy Kern EMB 1200-1 a posuvného plastového měřítka. Po ukončení manipulace s rybami byla provedena preventivní koupel v roztoku hypermanganu, který měl fialovo-růžové zbarvení. Ve vodní lázni s hypermanganem byly ryby cca 5 - 10 minut než bylo zřetelné jejich opětovné navrácení se do vertikální polohy a pomalé rozplavání se. Odtud byli jedinci přendáni pomocí keseru do kádě s čistou vodou, která byla neustále provzdušňována. Po jejich úplném aklimatizování na čistou okysličenou vodu byly vráceny zpět do akvárií, která byla během převažování a přeměřování ryb úplně vypuštěna, vydezinfikována a dokonalým oplachem zbavena čisticích prostředků. Akvária byla napuštěna odstátou vodou do původního objemu 300 litrů. Z preventivních důvodů a pro optimalizaci iontové bilance použité vody byla přidána kuchyňská sůl o hmotnosti $30 \text{ g} \times 100 \text{ l}^{-1}$.

Vzhledem k velikosti ryb byla denní krmná dávka (DKD) pro další průběh experimentu snížena na 1 % hmotnosti obsádky. Druhé kontrolní měření bylo provedeno 4. 12.2015. Na konci experimentu, 15. 12., byly zváženy obsádky všech nádrží. Z každé skupiny bylo náhodně vybráno 10 ks ryb, ze skupiny H všech 8 ks ryb. Vybraní jedinci byli zabiti, individuálně změřeni, zváženi a použiti k odběru vzorků pro následující analýzy. Z každé ryby byl odebrán vzorek jater pro analýzu mastných kyselin a stanovení jaterních enzymů (CYP1A, EROD), vzorky svaloviny (filet z kůží) pro analýzu mastných kyselin, senzorickou analýzu a analýzu textury svaloviny.

3.1.7 Průběh senzorické analýzy

Vzorky byly připraveny v každé skupině. Celkem bylo připraveno 100 vzorků po 50g (tzn. 5 skupin, po 10 kusech ve dvou opakováních). Testu se zúčastnila porota složená z 11 školených členů z Fakulty rybářství a ochrany vod Vodňany. Degustační vzorky se skládaly z 6 malých kusů masa, každý z jiného jedince z příslušné skupiny (ISO 6658, 2005). Vzorky byly odebrány z odpovídajících částí těla ryb a byly po celou dobu zpracování uloženy na ledu. Vzorky byly vařené odděleně v 0,15 litrových skleněných nádobách, označených číselným kódem pro identifikaci. Vzorky se vařily

po dobu 15 minut při teplotě 150 °C v elektrické troubě. Pro splnění požadavků normy ISO 6658 (2005) a ISO 8589 (2007) nebyla přidána žádná sůl, olej nebo jiné koření. Vzorby byly hodnoceny v místnosti, která byla vybavená jednotlivými kabinkami, které oddělovaly účastníky degustace (ISO 8589, 2007). Každému účastníkovi byla poskytnuta čistá voda, neslazený destilát a chléb k následné neutralizaci chuti. Byl použit hédonický spotřebitelský test (Martinsdóttir a kol., 2009), upravený v souladu s Křížem, Buňkou a Hrabětem (2007). V této metodě byli účastníci požádáni, aby ohodnotili intenzitu vůně, chuti, pachuti a konzistenci a označili hodnocení degustačních vzorků přiřazením bodu od 0 - 100 mm na nestrukturované úsečce (0 mm = velmi dobrá kvalita, 100 mm = velmi špatná kvalita).

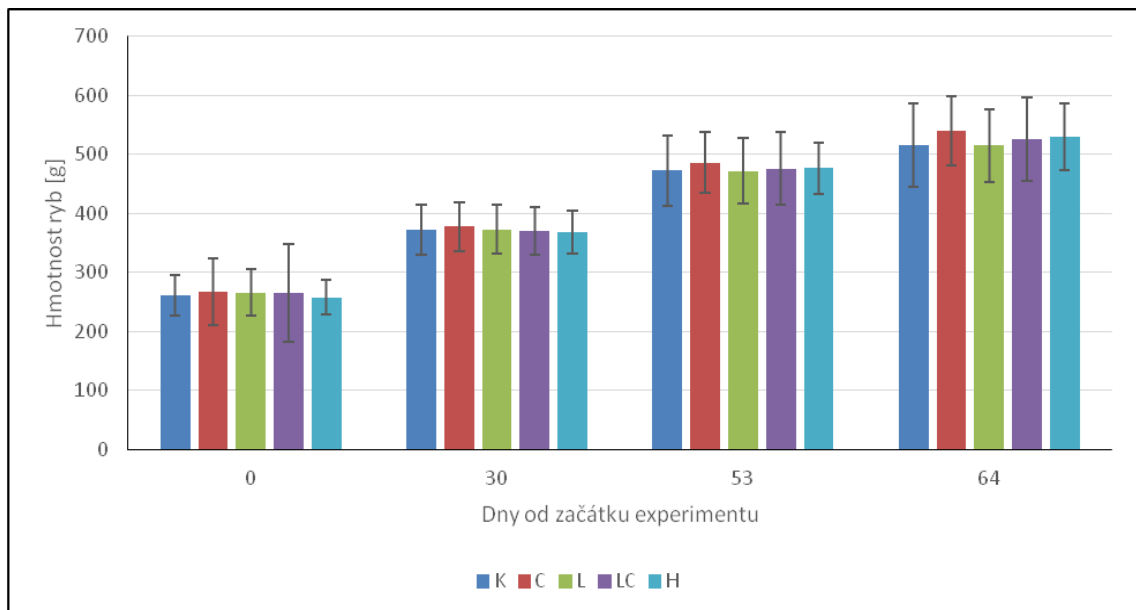
3.1.8 Statistické zpracování výsledků

Statistická analýza byla provedena za pomoci softwaru Statistica 12.0 Windows (StatSoft, Česká republika) a v MS Excel. Všechna získaná data byla nejprve testována na homogenitu rozptylů (Levenův test). V případě, že byla splněna podmínka homogenity, bylo přikročeno k analýze dvojího třídění (ANOVA) pro porovnání rozdílných veličin mezi senzorickými parametry (vůně, chuť, pachut', konzistence) a typu předkládaného krmiva. Pokud byl zjištěn rozdíl při hladině významnosti ($P < 0,05$), bylo dále pokračováno přes Post-hoc Fisherovův test (LSD test) pro určení rozdílů mezi experimentálními skupinami. V případě nesplnění kritérií pro použití testu ANOVA, bylo přikročeno k neparametrickému testu (Kruskal- Wallis).

3.2 Výsledky

3.2.1 Vliv 4. druhů krmiva na hmotnost a růst ryb

Po prvním týdnu krmení plnou KD se hmyz stal preferovanou složkou potravy ve všech nádržích, kde byl zkrmován zároveň s peletovaným krmivem (skupiny C, L, a LC). Mezi jednotlivými skupinami ryb nebyl v průběhu experimentu zaznamenán statisticky významný rozdíl v růstu (viz. přílohy Graf. 2) a hmotnosti (Graf 1), včetně skupiny krmené výhradně hmyzem (H).



K - kontrolní skupina, peletové krmivo; počet kusů ryb (n= 30).

C - náhrada 25% energie krmné dávky – cvrček; počet kusů ryb (n) = 30.

L - náhrada 25% energie krmné dávky – larva potemníka; počet kusů ryb (n) = 30.

LC - náhrada 12,5% energie krmné dávky cvrček a 12,5% energie krmné dávky larva potemníka; počet kusů ryb (n) = 30.

H - náhrada 50% energie krmné dávky cvrček a 50% energie krmné dávky larvy potemníka; počet kusů ryb (n) = 8.

Graf. 1: Průměrná hmotnost pstruhů duhových (*Oncorhynchus mykiss*) v průběhu krmného experimentu (průměr ± SD).

U ryb použitých pro odběr vzorků byl zjištěn statisticky významný rozdíl v hepatosomatickém indexu (HSI) mezi skupinami C a H (Tab. 3). Zároveň nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi hmotnostmi, koeficientem kondice a viscerosomatickém indexu (VSI) mezi žádnými skupinami (Tab. 3).

Tab. 3.: Porovnání celkové hmotnosti, koeficientu kondice (CF), hepatosomatického indexu (HSI), viscerosomatického indexu (VSI), ryb (průměr ± směrodatná odchylka).

Skupina*	Počet ryb	Hmotnost (g)	CF	HSI (%)	VSI (%)
K	10	509,7 ± 76,1	1,79 ± 0,16	1,32 ± 0,20ab	12,76 ± 1,05
C	10	540,6 ± 66,2	1,84 ± 0,10	1,14 ± 0,09a	12,78 ± 0,70
L	10	505,0 ± 55,3	1,87 ± 0,11	1,21 ± 0,12ab	12,92 ± 1,26
LC	10	534,4 ± 55,3	1,84 ± 0,11	1,22 ± 0,13ab	12,75 ± 0,66
H	8	530,7 ± 56,9	1,95 ± 0,15	1,35 ± 0,15b	13,96 ± 2,35

CF = hmotnost ryby (g) × (délka těla, cm)⁻³ × 100

HSI = (hmotnost jater / hmotnost ryby) × 100

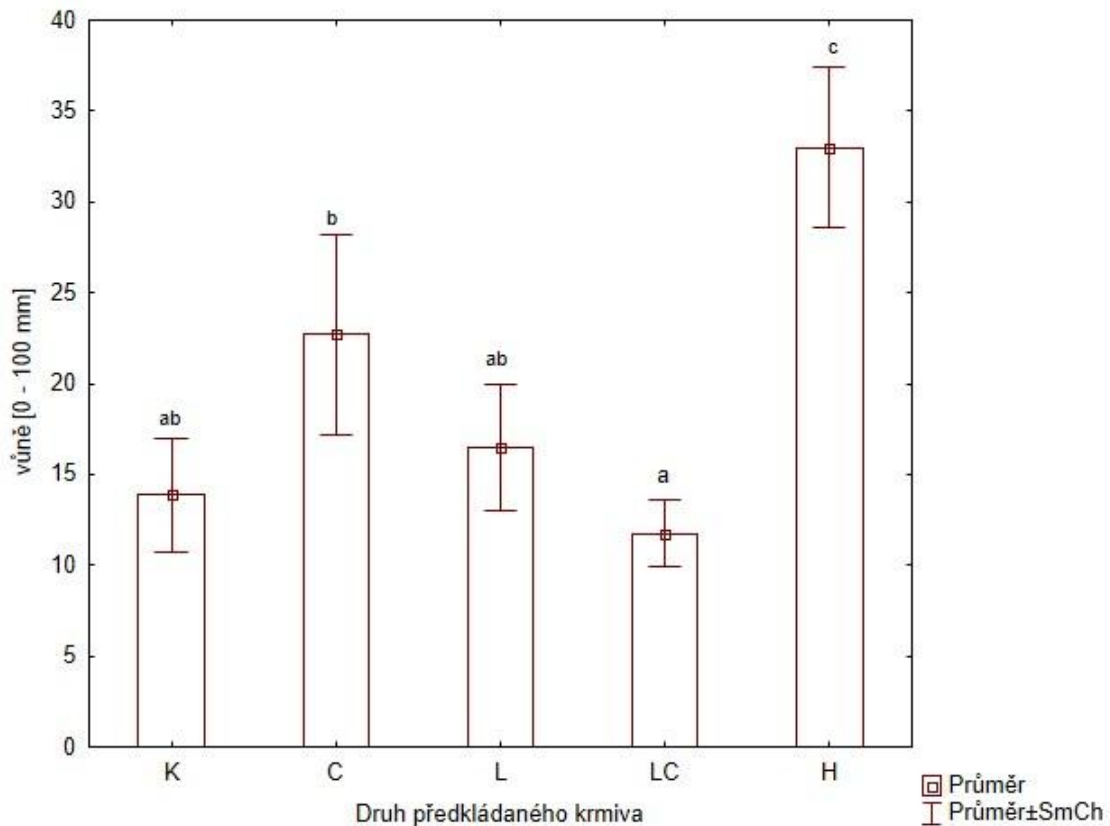
VSI = (hmotnost vnitřností, g / hmotnost ryby, g) × 100

* pro popis skupin viz gaf.1

V rámci hodnocení textury svaloviny byla zaznamenána vyšší výška filetu a nižší pevnost svaloviny u skupiny C oproti ostatním skupinám. Intenzita zbarvení svaloviny byla nejvyšší u kontrolní skupiny, nejnižší u skupiny H, krmené pouze hmyzem.

3.2.2 Hodnocení senzoričských vlastností ryb v závislosti na druhu předkládaného krmiva

3.2.2.1 Porovnání vlivu druhu předkládaných krmiv na vůni degustovaného masa



K - kontrolní skupina, peletované krmivo; počet kusů ryb (n) = 30.

C - náhrada 25% energie krmné dávky – cvrček; počet kusů ryb (n) = 30.

L - náhrada 25% energie krmné dávky – larva potemníka; počet kusů ryb (n) = 30.

LC - náhrada 12,5% energie krmné dávky cvrček a 12,5% energie krmné dávky larva potemníka; počet kusů ryb (n) = 30.

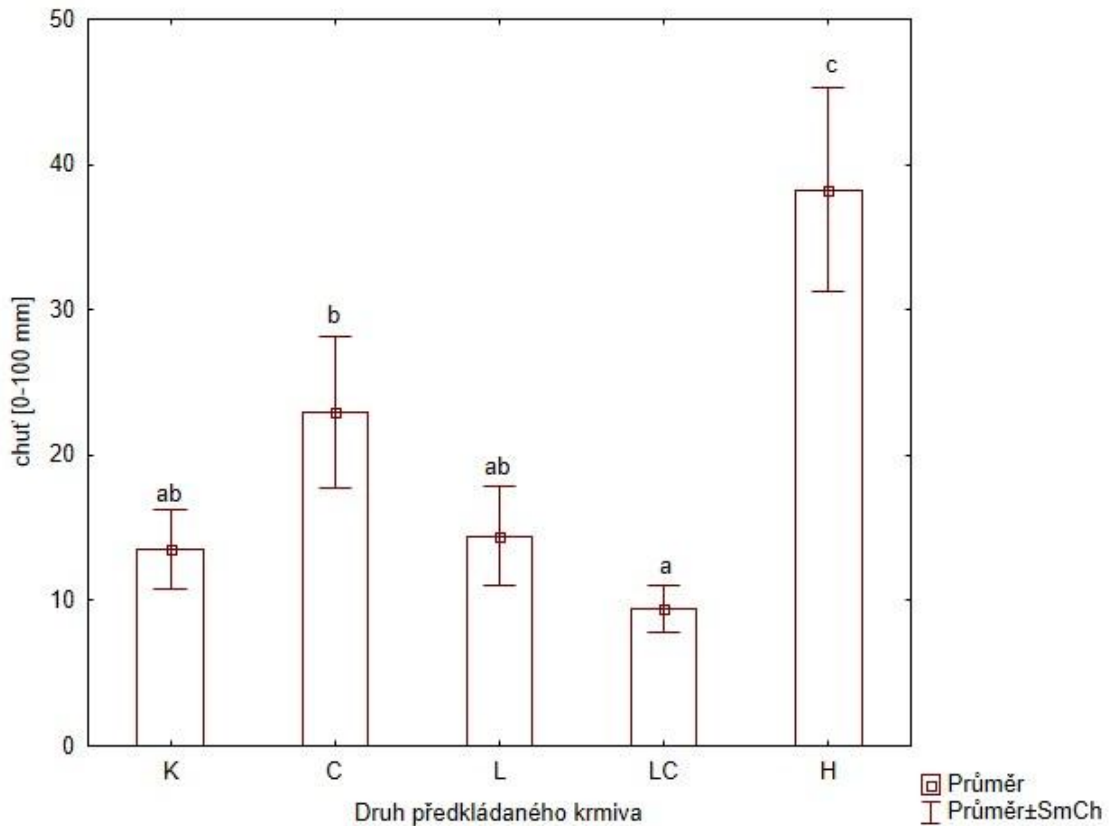
H - náhrada 50% energie krmné dávky cvrček a 50% energie krmné dávky larvy potemníka; počet kusů ryb (n) = 8.

Graf 3.: Porovnání průměrné hodnoty vůně rybiho masa v závislosti na druhu předkládaného krmiva. Experiment hodnotilo 10 členů z hodnotící komise. Naměřené hodnoty vůně jsou zaznamenány na úsečce o velikosti 0 – 100 mm, přičemž 0 = nejlepší, 100 = nejhorší (viz přílohy Protokol 1).

Graf 3. porovnává vliv druhu předkládaného krmiva na vůni degustovaného masa. Ze zjištěných hodnot je zřejmý rozdíl mezi vlivem jednotlivých druhů krmiv. Skupina ryb krmená pouze hmyzem (H) vykazovala statisticky prokazatelně ($p < 0,05$) horší vůni oproti skupinám K, C, L a LC. Mezi kontrolou a skupinami krmenými kombinací komerčního krmiva a hmyzu nebyl ve vůni zjištěn rozdíl. U skupiny krmené kombinací komerčního peletovaného krmiva s přídatkem živého cvrčka a larev potemníka,

byla zjištěna staticky významně lepší vůně oproti skupinám krmených pouze hmyzem a kombinací s cvrčkem nebo kombinací s larvami potemníka.

3.2.2.2 Porovnání vlivu druhu předkládaných krmiv na chuť degustovaného masa



K - kontrolní skupina, peletované krmivo; počet kusů ryb (n) = 30.

C - náhrada 25% energie krmné dávky – cvrček; počet kusů ryb (n) = 30.

L - náhrada 25% energie krmné dávky – larva potemníka; počet kusů ryb (n) = 30.

LC – náhrada 12,5% energie krmné dávky cvrček a 12,5% energie krmné dávky larva potemníka; počet kusů ryb (n) = 30.

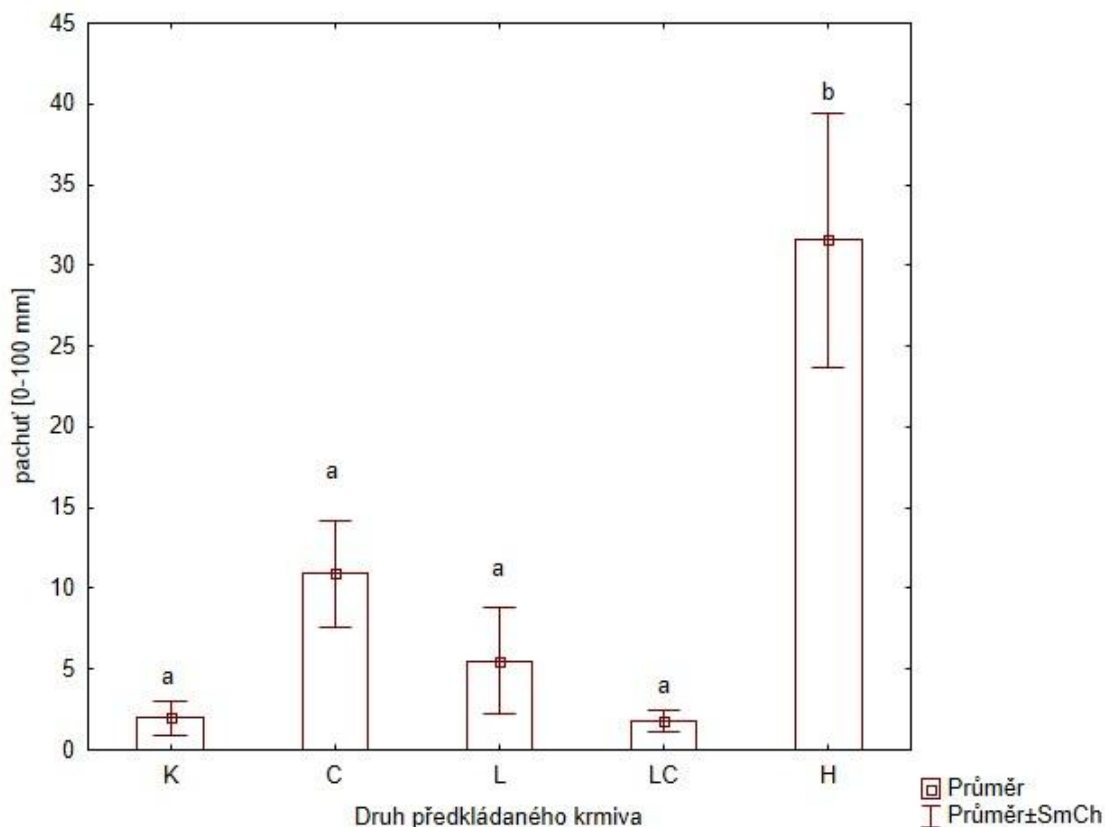
H - náhrada 50% energie krmné dávky cvrček a 50% energie krmné dávky larvy potemníka; počet kusů ryb (n) = 8.

Graf 4.: Porovnání průměrné hodnoty chuti masa v závislosti na druhu předkládaného krmiva.

Experiment hodnotilo 10 členů z hodnotící komise. Naměřené hodnoty chuti jsou zaznamenány na úsečce o velikosti 0 – 100 mm, přičemž 0 = nejlepší, 100= nejhorší (viz přílohy Protokol 1).

Graf 4. porovnává vliv druhu předkládaného krmiva na chuť degustovaného masa. Ze zjištěných hodnot je zřejmý rozdíl mezi vlivem jednotlivých druhů krmiv. Skupina ryb krmená pouze hmyzem (H) vykazovala statisticky prokazatelně ($p < 0,05$) horší chuť oproti skupinám K, C, L a LC. Mezi kontrolou a skupinami krmenými kombinací komerčního krmiva a hmyzu nebyl v chuti zjištěn rozdíl. U skupiny krmené kombinací komerčního peletovaného krmiva s přídatkem živého cvrčka a larev potemníka, byla zjištěna staticky významně lepší vůně oproti skupinám krmených pouze hmyzem a kombinací s cvrčkem nebo kombinací s larvami potemníka.

3.2.2.3 Porovnání vlivu druhu předkládaných krmiv na pachut' degustovaného masa



K - kontrolní skupina, peletované krmivo; počet kusů ryb (n) = 30.

C - náhrada 25% energie krmné dávky – cvrček; počet kusů ryb (n) = 30.

L - náhrada 25% energie krmné dávky – larva potemníka; počet kusů ryb (n) = 30.

LC - náhrada 12,5% energie krmné dávky cvrček a 12,5% energie krmné dávky larva potemníka; počet kusů ryb (n) = 30.

H - náhrada 50% energie krmné dávky cvrček a 50% energie krmné dávky larvy potemníka; počet kusů ryb (n) = 8.

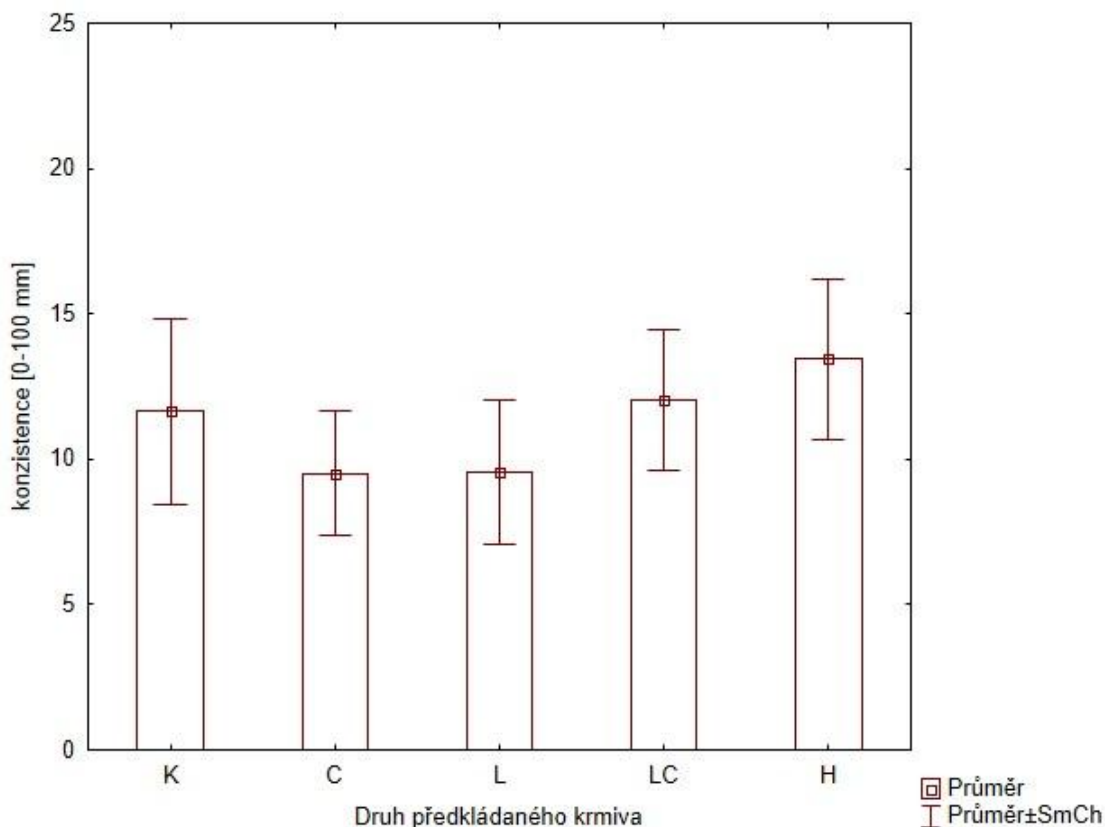
Graf 5: Porovnání průměrné hodnoty pachuti masa v závislosti na druhu předkládaného krmiva.

Experiment hodnotilo 10 členů z hodnotící komise. Naměřené hodnoty pachuti jsou zaznamenány na úsečce o velikosti 0 – 100 mm, přičemž 0 = nejlepší, 100= nejhorší (viz přílohy Protokol 1).

Graf 5. porovnává vliv druhu předkládaného krmiva na pachut' degustovaného masa. Ze zjištěných hodnot je zřejmý rozdíl mezi vlivem jednotlivých druhů krmiv. Skupina ryb krmená pouze hmyzem (H) vykazovala statisticky prokazatelně ($p < 0,05$) horší pachut' oproti skupinám K, C, L a LC. Mezi kontrolou a skupinami krmenými kombinací komerčního krmiva a hmyzu nebyl v pachuti zjištěn významný rozdíl. U skupiny krmené kombinací komerčního peletovaného krmiva s přidavkem živého

cvrčka a larev potemníka, byla zjištěna statisticky lepší nevýrazná pachůť oproti skupinám krmených pouze hmyzem a kombinací se cvrčkem nebo larvami potemníka.

3.2.2.4 Porovnání vlivu druhu předkládaných krmiv na konzistenci degustovaného masa



K - kontrolní skupina, peletované krmivo; počet kusů ryb (n) = 30.

C - náhrada 25% energie krmné dávky – cvrček; počet kusů ryb (n) = 30.

L - náhrada 25% energie krmné dávky – larva potemníka; počet kusů ryb (n) = 30.

LC - náhrada 12,5% energie krmné dávky cvrček a 12,5% energie krmné dávky larva potemníka; počet kusů ryb (n) = 30.

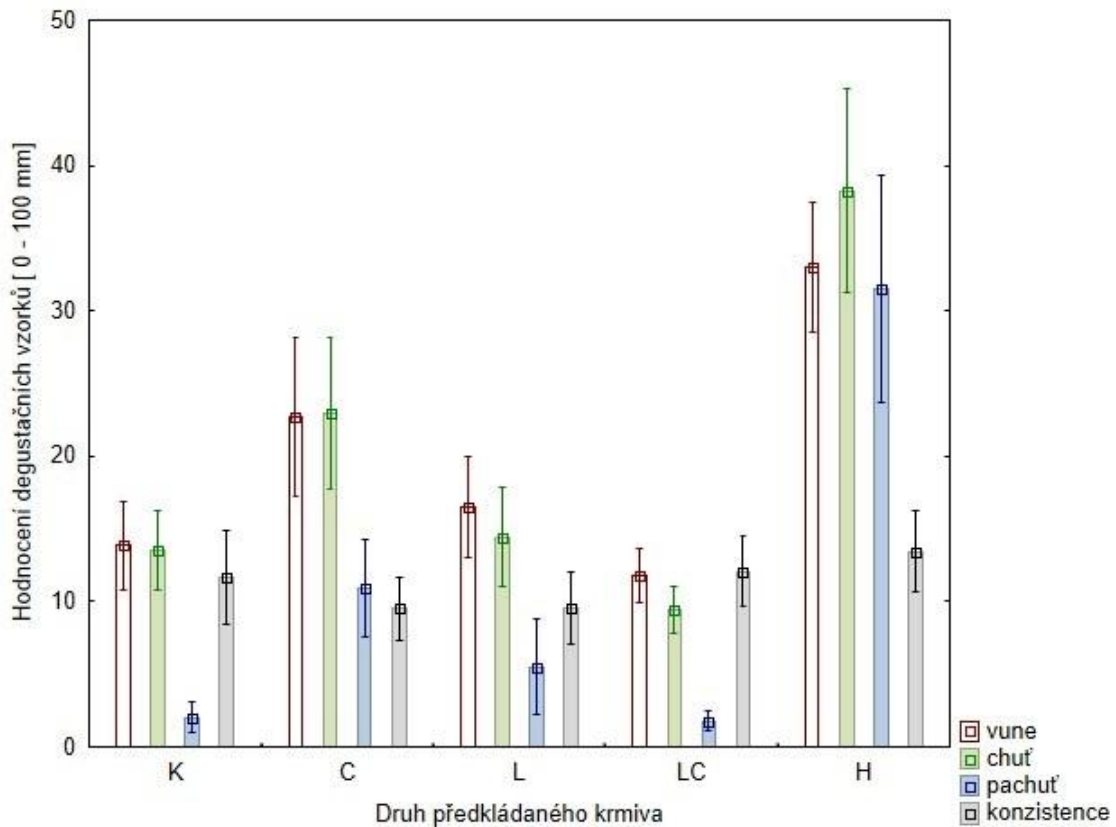
H - náhrada 50% energie krmné dávky cvrček a 50% energie krmné dávky larvy potemníka; počet kusů ryb (n) = 8.

Graf 6.: Porovnání průměrné hodnoty konzistence degustovaného masa v závislosti na druhu předkládaného krmiva. Experiment hodnotilo 10 členů z hodnotící komise. Naměřené hodnoty pachuti jsou zaznamenány na úsečce o velikosti 0 – 100 mm, přičemž 0 = nejlepší, 100= nejhorší (viz přílohy Protokol 1).

Graf 6. porovnává vliv druhu předkládaného krmiva na konzistenci degustovaného masa. Ze zjištěných hodnot není zřejmý rozdíl mezi vlivem jednotlivých druhů krmiv. Mezi kontrolou a skupinami krmenými kombinací komerčního krmiva a hmyzu (K, C, L a LC) nebo skupinou obsahující jen hmyz (H) nebyl v konzistenci zjištěn statisticky významný rozdíl.

3.2.2.5 Celkové porovnání parametrů

Porovnání sensorických vlastností bylo provedeno pomocí 4. parametrů zahrnujících vůni, chuť, pachů a konzistenci u studovaného rybího masa (viz Graf. 7.).



K - kontrolní skupina, peletované krmivo; počet kusů ryb (n) = 30.

C - náhrada 25% energie krmné dávky – cvrček; počet kusů ryb (n) = 30.

L - náhrada 25% energie krmné dávky – larva potemníka; počet kusů ryb (n) = 30.

LC - náhrada 12,5% energie krmné dávky cvrček a 12,5% energie krmné dávky larva potemníka; počet kusů ryb (n) = 30.

H - náhrada 50% energie krmné dávky cvrček a 50% energie krmné dávky larvy potemníka; počet kusů ryb (n) = 8

Graf 7.: Porovnání průměrných hodnot vůně, chuti, pachuti a konzistence degustačních vzorků u odchovaných pstruhů duhových (*Oncorhynchus mykiss*) (průměr ± SD) v závislosti na druhu krmiva. Experiment hodnotilo 10 členů z hodnotící komise. Naměřené hodnoty pachuti jsou zaznamenány na úsečce o velikosti 0 – 100 mm, přičemž 0 = nejlepší, 100 = nejhorší (viz přílohy Protokol 1).

Graf 7. porovnává vliv druhu předkládaného krmiva na celkové hodnocení sensorických vlastností degustovaného rybího masa. Ze zjištěných hodnot je zřejmý rozdíl mezi vlivem jednotlivých druhů krmiv. Skupina ryb krmená pouze hmyzem (H) vykazovala statisticky prokazatelně ($p < 0,05$) horší celkové zastoupení 3 parametrů, tj. vůně, chuti a pachuti, oproti skupinám K, C, L a LC. Podobné výsledky jako skupina

(H) vykazovala i skupina ryb krmená kombinací komerčního peletovaného krmiva s kombinací s cvrčkem, která vykazovala statisticky prokazatelně ($p < 0,05$) horší celkové zastoupení 2 parametrů, tj. vůně a chuti oproti skupině LC. U skupiny LC, krmené kombinací komerčního peletovaného krmiva s přidavkem živého cvrčka a larev potemníka, bylo zjištěno statisticky významně lepší celkové zastoupení parametrů vůně, chuti a pachuti oproti skupinám krmených pouze hmyzem a kombinací s cvrčkem nebo s larvami potemníka. Mezi kontrolou a skupinami krmenými kombinací komerčního krmiva a hmyzu nebyl v celkovém hodnocení sensorických parametrů vůně, chuti, pachuti a konzistence zjištěn statisticky významný rozdíl.

3.3 Diskuze

Hmyz se jeví jako plnohodnotný zdroj bílkovin a tuků a může být považován za vhodnou alternativu k rybí moučce, která je základním komponentem všech uměle vyráběných krmiv pro ryby. V současné době je zaznamenán vzrůst zájmu o výzkumy zaměřené na využitelnost různého druhu hmyzu v intenzivních chovech ryb (Bondari a Sheppard, 1987; St.Hilaire, 2007a; Oonincx a de Boer, 2012; Sealey a kol., 2011; Finke, 2012).

První část této experimentální studie byla zaměřena na sledování růstu pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*), za použití cvrčka domácího (*Acheta domesticus*) a larev potemníka peruánského (*Zophobas morio*), které v předem stanovených procentech nahrazovaly část krmné dávky, skládající se z komerčně vyráběného krmiva. Během experimentu byla u pstruhů duhových zjištěna preference mezi předkládaným krmivem a peletovými krmnými směsmi. Po 63 dnech od počátku pokusu, nebyl zaznamenán významný rozdíl v růstu, mezi jednotlivými skupinami ryb. V tomto ohledu se naše výsledky shodují s prací, kterou popsal Makkar a kol. (2014). Jeho pokus byl rovněž proveden na skupinách pstruha duhového, kterým bylo v krmivu předkládáno různé procentuální zastoupení larev potemníka moučného (*Tenebrio molitor*). Stejně jako v našem případě, dospěl Makkar a kol. (2014) k závěru, že mouční červi mohou být začleněni do krmných směsí a jsou schopni nahradit rybí moučku o více než 50 %, bez negativního ovlivnění růstu. Shodný růst s kontrolní skupinou ryb popsal i Ng a kol. (2001). V jeho studii byl pozorován růst a kondice sumečka afrického (*Clarias gariepinus*), kterému byly rovněž předkládány larvy tohoto hmyzu. Nahrazení krmné dávky bylo pro jednotlivé skupiny sumečků provedeno postupně od 0 – 100 %. Skupina, u které bylo nahrazeno 40 % krmné dávky, vykazovala shodnou rychlost růstu oproti kontrolní skupině, která byla krmena pouze umělým krmivem. Neměnná rychlost růstu byla zaznamenána i ve skupině, u které došlo k náhradě 80 % krmné dávky moučnými červy. Sumečci, kterým bylo nahrazeno 100 % krmné dávky, vykazovali snížené růstové schopnosti oproti kontrolní skupině. Tentýž autor uvedl, že larvy potemníka jsou pro sumečka afrického velmi dobře stravitelné. Výsledky tohoto autora se neshodují s výsledky Piccola a kol.(2014), který předkládal larvy potemníka mořanu zlatému (*Sparus aurata*). Ve výsledcích své studie uvedl, že tyto larvy mohou být zastoupeny v krmivu jen z 25 %. Tuto hodnotu

označil jako hraniční a to z důvodu vyváženosti růstu a následné kvality rybího masa. Obdobný výsledek byl popsán i na mořčáku evropském (*Dicentrarchus labrax*). Studie prováděná Piccolem a kol. (2014) se shoduje s výsledky, které jsme zaznamenali také v předkládané studii se pstruhem duhovým. Výsledky uvedené Piccolem a kol. (2014) se shodují s Gasckem a kol. (2014), který uvádí, že při 50 % náhradě krmné dávky pro mořana evropského a zlatého dochází ke zpomalení růstu, ale spotřeba krmiva, poměr bílkovin a kvalita svaloviny není nijak ovlivněna.

Viscerosomatický index (VSI) označuje procentuální podíl vnitřností k celkové hmotnosti ryby. Tento druh indexu je ovlivněn velikostí vnitřních orgánů, naplněním trávicího traktu, obsahem vnitřního tuku, stupněm vývoje gonád a velikostí ryby (Vlasák, 2015). V této studii vykazoval pstruh duhový, krmený hmyzem, rozmezí indexu mezi 12,75 - 13,96. Mezi jednotlivými skupinami krmiv nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly. Hmyz v krmivu ryb neměl vliv na hodnotu indexu VSI. V tomto ohledu se výsledky této práce shodují s tvrzením Vlasáka (2015), který uvedl, že v závislosti na studovaných rybách kolísá hodnota indexu mezi 10,09 – 21,63.

Hepatosomatický index (HSI) vyjadřuje poměr hmotnosti jater k celkové hmotnosti ryby. Zde platí, že čím je hodnota indexu vyšší, tím je vyšší hmotnost jater. Ta se zvyšuje díky ukládání tuku. Vysoké procento uloženého tuku v játrech poukazuje na zhoršení zdravotního stavu ryby. Ve výsledcích této práce byla u pstruhů duhových zjištěna hodnota HSI indexu mezi 1,14 – 1,35. Tato hodnota indexu se významně statisticky lišila mezi skupinami krmiv C a H. Z tohoto výsledku lze usoudit, že zkrmovaný hmyz má vliv na hodnoty HSI indexu. Tyto výsledky se shodují se studií Vlasáka (2015), který uvedl, že u různých druhů ryb se hodnoty HSI pohybují v rozmezí 1,00-1,56. Touto hodnotou prokázal významný vliv použitého krmiva na HSI index u testovaných ryb. Domnívám se, že vysoké hodnoty HSI jsou do značné míry ovlivněné druhem krmiva, které je vysoce bohaté na obsah tuku.

Senzorické posouzení masa je v současné době nejdůležitější metodou, která hodnotí čerstvost ryb. Senzorické nebo také organoleptické hodnocení je definováno jako vědní disciplína, která využívá lidské smysly pro měření, analýzu a interpretaci charakteru potravin (Zajíc a kol., 2014). Smyslové posouzení vyjadřuje úroveň možné vůně, chuti, pachuti, konzistence masa a dalších vlastností, které mohou

být pomocí organoleptických smyslů pozorovatelné. Nevýhodou takovéto metody je ve většině případů subjektivní hodnocení (Merten, 2012).

Pro senzoričné hodnocení této studie byli pstruzi duhová tepelně upraveni a jednotlivé vzorky byly předkládány 10 proškoleným hodnotitelům. Naměřené hodnoty vůně, chuti, pachuti a konzistence byly zaznamenány na neparametrické úsečce o velikosti 0 - 100mm (0 = nejlepší, 100 = nejhorší). Ve výsledcích naší studie bylo zjištěno, že průměrná hodnota vůně masa, je ovlivněna druhem předkládaného krmiva pstruhům duhovým (viz. Graf. 3). Skupina H, ryby krmené výhradně hmyzem, vykazovala na konci pokusu statisticky nejhorší prokazatelné výsledky ve vůni oproti ostatním skupinám (K, C, L, LC). Tento výsledek mohl být zapříčiněn samotným složením hmyzu tj. poměrem mastných kyselin, bílkovin, nízkým procentem sacharidu nebo vysokým procentem chitinu. V tomto ohledu bude potřeba provést dodatečné experimenty, které by potvrdily nebo vyvrátily tuto teorii. Nejlepší výsledky vykazovalo krmivo skupiny LC, tedy krmná dávka s náhradou 12,5 % energie krmné dávky cvrčkem domácím, 12,5 % larev potemníka peruánského a zbytkem komerčně vyráběného peletovaného krmiva Tuto teorii doplňuje Turchini a kol. (2003), který tvrdí, že za změnu chuti a vůně může především kvalita předkládaného krmiva, která zapříčiňuje změnu koncentrace mastných kyselin v rybím mase. Největší rozdíly byly pozorovány v chuti rybí svaloviny. Rozdíly byly zjištěny u všech skupin testovaných ryb. Jako nejhorší možný druh krmiva, který má vliv na chuť rybího masa, se opět prokázala, skupina H. Nejlepší možností se v ohledu na chuť projevila skupina krmiva LC následovaná skupinou K obsahující komerční peletované krmivo a skupinou L obsahující 25 % energie krmné dávky larvy potemníka peruánského. Vliv na chuť může mít potenciální obsah mikroprvků a aktivních enzymů v živém hmyzu. Chitin navíc může mít pozitivní vliv na trávení ryb. K podobným výsledkům senzoričné analýzy se dopracovala i Folwarczna (2014). Studie se týkala porovnání senzoričných vlastností u pstruha duhového, a sivena amerického (*Salvenilus fontinalis*) po použití různých druhů peletovaných krmiv. U obou ryb dospěla k závěru, že hlavním aspektem pro chuť a texturu rybího masa je vysoký obsah bílkovin v použitém krmivu.

Statisticky významné rozdíly byly zaznamenány i u stanovení pachuti. Jako nejhorší byla vyhodnocena skupina H, krmená pouze hmyzem. Pachut' může být způsobena rozdílným zastoupením aminokyselin oproti běžnému peletovanému krmivu.

V tomto ohledu nebyly nalezeny relevantní zdroje pro diskusi, které by se týkaly této problematiky. Podobné rozdíly v pachuti u svaloviny pstruha duhového zaznamenal i Zajíc (2012), kde byla pachut' způsobena přidavkem řepkového oleje do uměle vyráběné krmné směsi. Výsledky týkající se konzistence rybího masa v naší studii jsou statisticky neprůkazné. Z grafu 6 je zřejmé, že druh předkládaného krmiva nemá významný vliv na konzistenci masa pstruhů duhových

Zajímavé shrnutí přináší celkové porovnání všech zmíněných parametrů – vůni, chuti, pachuti a konzistence. Z Grafu 7 je zřejmé, že druh předkládaného krmiva, má vliv na tyto čtyři parametry u masa pstruhů duhových. Můžeme konstatovat, že skupina krmiva H v porovnání vůně, chuti a pachuti dosahuje nejhorších výsledků oproti ostatním skupinám. Dále z grafu 7 při sensorickém posouzení vyplývá, že skupiny krmiv C a H, které ve vysokém poměru obsahují cvrčka, vykazovaly negativní výsledky. Příčinou může být obsah chitinu v kutikule u tohoto druhu hmyzu, jenž je složen z různého poměru bílkovin, lipidů a dalších sloučenin. V celkovém srovnání všech 4 parametrů a všech 3 druhů předkládaného krmiva vychází jako nejlepší varianta skupina LC, jejíž hodnoty jsou v porovnání s ostatními nejnižší. Skupina LC, vykazuje nejlepší vůni, chuť a nevykazuje pachut' rybího masa. Porovnáním vlivu předkládaného krmiva na růst a hmotnost ryb společně se sensorickou analýzou lze vyhodnotit, že i když se ryby neliší ve své hmotnosti a růstu, dochází k významným změnám organoleptických vlastností těchto ryb. Ryby krmené jen skupinou H, hmyzem, vykazovaly pomalý, ale setrvalý růst a v porovnání organoleptických vlastností tyto ryby nesplňují požadované hodnoty. Z námi provedeného výzkumu vyplývá, že nejvhodnější možností alternativního krmiva je skupina LC. Skupina LC nejlépe vyhověla požadavkům na růst, hmotnost i organoleptické vlastnosti u pozorovaných ryb.

4 Závěr

V intenzivní akvakultuře se během následujících let předpokládají významné změny v používání různých druhů krmiv z důvodu nedostatku tradičně používaných surovin. Do této doby se používala krmiva s přídavkem rybí moučky z tzv. „nekomerčních“ druhů mořských ryb. Využívání alternativních zdrojů krmiv, ať už rostlinného původu, které částečně splňují nahrazení rybí moučky v krmivu ryb, nebo živočišného původu, by mělo mít pozitivní vliv na růst a zdraví ryb. Možnosti využívání alternativních krmiv, nejen pro hospodářská zvířata, ale i ryby, bude v průběhu dalších let nutno experimentálně ověřit z pohledu udržení kvality rybích produktů a welfare ryb. Z dosavadních poznatků a dostupných literárních zdrojů vyplývá, že zařazení hmyzu do krmiva ryb je možné, aniž by tato změna měla významný vliv na růst, hmotnost a zdraví ryb.

Na základě dosažených výsledků testu se pstruhem duhovým (*Oncorhynchus mykiss*) krmeným různými skupinami předkládaných krmiv a obsahujících rozdílné druhy hmyzu bylo zjištěno, že 25 % hmyzu v krmivu nemá významný vliv na růst a hmotnost ryb v porovnání s kontrolní skupinou, kde byla krmná dávka složena pouze z peletovaného krmiva.

U skupin ryb, které byly krmeny krmnou dávkou obsahující 100 % peletované krmivo, nebo kombinaci peletovaného krmiva (75 %) a cvrčků (25 %), nebo 25 % larev potemníka, anebo kombinaci peletovaného krmiva (75 %) s 12,5 % krmné dávky cvrčků a 12,5 % krmné dávky larvy potemníka, byly zaznamenány srovnatelné přírůstky i přes odlišné procentuelní a druhové zastoupení hmyzu v krmné dávce.

U skupiny ryb krmených krmnou dávkou obsahující výhradně hmyz ve složení z 50 % cvrčků a z 50 % larvy potemníka došlo k pomalejšímu růstu v průběhu celého experimentu. Bohužel tato skupina ryb byla pouze v jednom opakování v porovnání s ostatními skupinami a tím byla snížena statistická věrohodnost provedeného měření.

Na základě hodnocení sensorických vlastností u jednotlivých vzorků svaloviny pstruha duhového bylo odvozeno několik významných závěrů. Ve skupině krmiv obsahující jako krmnou složku z 50 % cvrčky a z 50 % larvy potemníka došlo k nejvýraznějším změnám v parametrech chuti a pachuti rybího masa oproti kontrolní

skupině, obsahující ze 100 % peletované krmivo, stejně tak oproti skupině obsahující z 25 % larvy potemníka i skupině, obsahující z 12,5 % cvrčky a z 12,5 % larvy potemníka, které dosahovaly přibližně stejných hodnot. Ve skupině krmiv, obsahující z 25 % cvrčky a skupině krmiv obsahující z 50 % cvrčky a z 50 % larvy potemníka, kde byl v obou skupinách ve vysokém procentu zastoupen cvrček, bylo dosaženo při sensorickém hodnocení negativního výsledku oproti kontrolní skupině obsahující ze 100 % peletované krmivo, též oproti skupině obsahující z 25 % larvy potemníka a skupině obsahující z 12,5 % cvrčky a z 12,5 % larvy potemníka. Na tomto negativním výsledku může mít podíl obsah aminokyselin např. lysinu, tryptofanu, treoninu a sirných aminokyselin a tuků, jež jsou obsaženy ve zmíněných druzích hmyzu v závislosti na jejich stupni vývoje. Pstruzi krmení peletami částečně nahrazenými 12,5 % energické krmné dávky cvrčkem domácím (*Acheta domestica*) a 12,5 % larvami potemníka brazilského (*Zophobas morio*), měli při hodnocení všech tří parametrů (vůně, chuti a pachuti) proti ostatním skupinám předkládaného krmiva nejlepší výsledky. V případě hodnocení konzistence rybiho masa byly zjištěny vyrovnané výsledky u všech skupin předkládaného krmiva.

Hodnocení výše uvedených parametrů sensorické analýzy se lišilo z důvodu rozdílné citlivosti smyslů u každého posuzovatele. V průběhu sensorické analýzy docházelo mezi jednotlivými posuzovateli k výrazným rozdílům, tudíž bylo ovlivněno konečné hodnocení vzorků. Navzdory této skutečnosti bylo statistické porovnání vzorků proveditelné.

Při srovnání výsledků z obou částí této práce, bylo zjištěno, že skupiny, krmené hmyzem nebo kombinací komerčního peletovaného krmiva s kombinací s přídatkem živého cvrčka nebo larev potemníka, neměly negativní vliv na kondici, hmotnost a růst ryb. Tento stabilní trend už nebyl zaznamenán z hlediska sensorické analýzy u všech skupin krmiv. Nejvhodnějším alternativním krmivem se na základě experimentálních výsledků jeví krmivo složené z kombinace komerčního peletovaného krmiva s přídatkem živého cvrčka a larev potemníka, u kterého nebyl zaznamenán negativní vliv ani v růstu a hmotnosti ryb, ani v celkové sensorické analýze. Byl učiněn závěr, že obsah hmyzu v krmných směsích v přesně definovaném množství je pro ryby vhodným alternativním krmivem.

Vyhodnocením všech laboratorních výsledků bylo zjištěno, že je možné v krmné dávce nahradit peletované krmivo z 25 % energie krmné dávky larvami potemníka nebo kombinací 12,5 % energie krmné dávky cvrčků domácích a 12,5 % energie krmné dávky larev potemníka peruánského bez následného negativního sensorického hodnocení. Hmyz obsažený v krmné dávce ryb neměl negativní vliv na kvalitu a chuť rybího masa.

Na základě provedené rešerše a výzkumu se domnívám, že do budoucna hmyz nalezneme v akvakulturách širší využití a je možné jej začlenit do krmných dávek. Výsledky provedené pilotní studie přinášejí základní informace o využitelnosti vybraných druhů hmyzu při výživě tržního pstruha duhového. Z výsledků je patrné, že testovaný hmyz může být z výživového hlediska plnohodnotnou náhradou komerčního krmiva, přičemž je nutné zohlednit vliv na sensorické vlastnosti vyprodukovaných ryb. Studie neřeší aplikační otázky zahrnující především rentabilitu použití hmyzích komponent. Za současných podmínek chovu hmyzu a tržní ceně krmného hmyzu se použití hmyzu v krmné dávce jeví jako nerentabilní. Pro rutinní použití hmyzu ve výživě ryb bude zapotřebí vyvinout systémy chovu hmyzu produkující hmyzí biomasu s nízkými náklady, v optimální kvalitě a za použití dlouhodobě udržitelných zdrojů substrátu nebo při využití odpadů zemědělské výroby. V současné době je možno doporučit přídavek živého hmyzu ke komerčně vyráběným krmivům pro pstruha duhového jako „probiotikum“, kdy přídavek živého hmyzu může pozitivně ovlivňovat zdraví, kondici a trávení ryb především vnosem aktivních enzymů, mikroelementů a vlákniny. Při současných cenách krmného hmyzu se nedá hovořit o rentabilní alternativě rybí moučky.

5 Přehled použité literatury

- Abanikannda, M. F., 2012. Nutrient digestibility and haematology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed with varying levels of locust (*Locusta migratoria*) meal. In: Bachelor of Aquaculture and Fisheries Management. Federal University of Agriculture, Abeokuta, Ogun State.
- Aguilar-Miranda, E. D., López, M. G., Escamilla-Santana, C., Barba de la Rosa, A. P., 2002. Characteristics of maize flour tortilla supplemented with ground *Tenebrio molitor* larvae. Journal of Agricultural and food chemistry, 50(1): 192–195.
- Alegbeleye, W. O., Obasa, S. O., Olude, O. O., Otubu, K., Jimoh, W., 2012. Preliminary evaluation of the nutritive value of the variegated grasshopper (*Zonocerus variegatus* L.) for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell. 1822) fingerlings. Aquaculture Research, 43(3): 412–420.
- Balogun, B. I., 2011. Growth performance and feed utilization of *Clarias gariepinus* (Teugels) fed different dietary levels of soaked *Bauhinia monandra* (Linn.) seed meal and sun-dried locust meal (*Schistocerca gregaria*), pp. 1–88. PhD Thesis.
- Banjo, A. D., Lawal, O. A., Songonuga, E. A., 2006. The nutritional value of fourteen species of edible insects in southwestern Nigeria. African Journal of Biotechnology, 5(3): 298–301.
- Barroso, F. G., de Haro, C., Sánchez-Muros, M. J., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., Pérez-Bañón, C., 2014. The potential of various insect species for use as food for fish. Aquaculture, 422: 193–201.
- Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C. C., Paoletti, M.G., Ricci, A., 2013. Edible insects in a food safety and nutritional perspective: a critical review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 12(3): 296–313.
- Bondari, K., Sheppard, D. C., 1981. Soldier fly larvae as feed in commercial fish production. Aquaculture, 24: 103–109.
- Brinchmann, B. C., Bayat, M., Brogger, T., Muttuvelu, D. V., Tjonneland, A., Sigsgaard, T., 2011. A possible role of chitin in the pathogenesis of asthma and allergy. Annals of Agricultural and Environmental Medicine, 18(1): 7–12.
- Bukkens, S. G. F., Paoletti, M. G., 2005. Insects in the human diet: nutritional aspects. Ecological implications of minilivestock: Potential of insects, rodents, frogs and snails. New Hampshire, Science Publishers, pp. 545–577.
- Calvert, C. C., 1979. Use of animal excreta for microbial and insect protein synthesis. Journal of Animal Science, 48: 178–192.
- Cameron, M., Marshall, J., Wang, J., Elliot, A., 2005. Solid waste in Canada. Human Activity and the Environment. Statistics, Canada. Annual Statistics, Catalogue No. 16-201-XIE, pp. 1–105.

- Clark, J., Quayle, K. A., MacDonald, N. L., Stark, J. R., 1988. Metabolism in marine flatfish. Chitinolytic activities in Dover Sole, *Solea solea* (L.). Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry, 90(2): 379–384.
- Chow, K. W., (Ed.), 1980. Fish Feed Technology: Lectures presented at the FAO/UNDP Training Course in Fish Feed Technology Held at the College of Fisheries, University of Washington, Seattle, Washington, 9 Oct. - 15 Dec. 1978. FAO, 1980. Aquaculture Development and Coordination Programme. ISBN 92-5-100901-5.
- Danulat, E., Kausch, H., 1984. Chitinase activity in the digestive tract of the cod *Gadus morhua* (L.). Journal of fish biology, 24(2): 125–133.
- De Vries, M., de Boer, I. J. M., 2010. Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. Livestock science, 128(1): 1–11.
- DeFoliart, G. R., 1992. Insects as human food: Gene DeFoliart discusses some nutritional and economic aspects. Crop protection, 11(5): 395–399.
- DeFoliart, G. R., 1997. An overview of the role of edible insects in preserving biodiversity. Ecology of Food and Nutrition, 36(2-4): 109–132.
- Dersjant-Li, Y., 2002. The use of soy protein in aquafeeds. In: Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortés, M. G., Simoes, N. (Eds.). Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 3 al 6 de Septiembre del 2002, pp. 541–558. Cancún, Quintana Roo, México.
- Diclaro, J. W., Kaufman, P. E., 2009. Black soldier fly *Hermetia illucens* Linnaeus (*Insecta: Diptera: Stratiomyidae*). University of Florida IFAS Extension: 1–4.
- Diener, S., Zurbrügg, C., Gutiérrez, F. R., Nguyen, D. H., Morel, A., Koottatep, T., Tockner, K., 2011. Black soldier fly larvae for organic waste treatment – prospects and constraints. In: Proceedings of the Waste Safe – 2nd International Conference on Solid Waste Management in the Developing Countries. Khulna, Bangladesh, pp. 52–59.
- Diener, S., Zurbrügg, C., Tockner, K., 2009. Conversion of organic material by black soldier flies larvae - Establishing optimal feeding rates. Waste Management and Research, 27: 603–610.
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2012. Scientific Opinion on bovine lactoferrin. EFSA Journal, 10(7): 2811. pp. 1–14. doi:10.2903/j.efsa.2012.2811.
- El Boushy, A. R., 1991. House-fly pupae as poultry manure converters for animal feed: A review. Bioresource Technology, 38(1): 45–49.
- Emehinaiye, P.A., 2012. Growth performance of *Oreochromis niloticus* fingerlings fed with varying levels of migratory locust (*Locusta migratoria*) meal. In: Bachelor of Aquaculture and Fisheries Management. Federal University of Agriculture, Abeokuta.

- Erickson, C. M., Islam, M., Sheppard, C., Liao, J., Doyle, M. P., 2004. Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica serovar enteritidis* in chicken manure by larvae of the black soldier fly. *Journal of Food Protection*, 67(4): 685–690.
- Fänge, R., Lundblad, G., Lind, J., Slettengren, K., 1979. Chitinolytic enzymes in the digestive system of marine fishes. *Marine Biology*, 53(4): 317–321.
- Fasakin, E. A., Balogun, A. M., Ajayi, O. O., 2003. Evaluation of full-fat and defatted maggot meals in the feeding of clariid catfish *Clarias gariepinus* fingerlings. *Aquaculture Research*, 34(9): 733–738.
- Fines, B. C., Holt, G. J., 2010. Chitinase and apparent digestibility of chitin in the digestive tract of juvenile cobia, *Rachycentron canadum*. *Aquaculture*, 303(1): 34–39.
- Finke, M. D., 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology*, 21(3): 269–285.
- Finke, M. D., 2007. Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biology*, 26(2): 105–115.
- Finke, M. D., 2012. Complete nutrient content of four species of feeder insects. *Zoo Biology*, 00: 1–15.
- Folwarczna, N., 2014. Sledování senzoričké jakosti vybraných komodit. Diplomová práce (in MS), Mendelova univerzita v Brně, Brno, pp. 1–113.
- Gasco, L., Gai, F., Piccolo, G., Rotolo, L., Lussiana, C., Molla, P., Chatzifotis, S., 2014. Substitution of fish meal by *Tenebrio molitor* meal in the diet of *Dicentrarchus labrax* juveniles. In: Vantomme, P., Munke, C., van Huis, A. (Eds.), 1st International Conference“ Insects to Feed the World”. Wageningen University, Ede-Wageningen, The Netherlands, pp. 1–70.
- Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P., Métailler, R., 2001. Nutrition and feeding of fish and crustaceans. Springer - Praxis Publishing Ltd., Chichester, UK. Chapter No. 6, pp. 81–91, ISBN 1-85233-241-7.
- Hackstein, J. H., Stumm, C. K., 1994. Methane production in terrestrial arthropods. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91(12): 5441–5445.
- Haldar, P., Das, A., Gupta, R. K., 1999. A laboratory based study on farming of an Indian grasshopper *Oxya fuscovittata* (Marschall) (*Orthoptera: Acrididae*). *Journal of Orthoptera Research*, 8: 93–97.
- Haldar, P., 2012. Evaluation of nutritional value of short-horn grasshoppers (*acridids*) and their farm-based mass production as a possible alternative protein source for human and livestock. Paper presented at the Expert Consultation Meeting on Assessing the Potential of Insects as Food and Feed in assuring Food Security. January, Rome, FAO. pp. 23–26.
- Hale, O. M., 1973. Dried *Hermetia illucens* larvae (*Diptera: Stratiomyidae*) as feed additive for poultry. *Georgia Entomological Society, Journal of Entomological Science*, 8: 16–20.
- Hall, G. M. 1992. Fish processing technology. *Fishery By-products*, 155–192.

- Hall, K. D., Guo, J., Dore, M., Chow, C. C., 2009. The progressive increase of food waste in America and its environmental impact. PLoS ONE 4(11), e7940.
- Hardouin, J., Mahoux, G., 2003. Zootechnie d'insectes – Elevage et utilisation au bénéfice de l'homme et de certains animaux. In: Bureau pour l'Echange et la Distribution de l'Information sur le Mini-élevage (BEDIM), pp. 1–164.
- Hardy, R. W., 2003. Use of soybean meals in diets of salmon and trout. Technical factsheet written in conjunction with United Soybean Board and American Soybean Association. pp. 1–16.
- Hardy, R. W., 2002. Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. In: Webster, C. D., Lim, C. (Eds.), 2002. Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture. CAB International, pp. 184–203., ISBN 0-85199-519-5.
- Hasan, M. R., 2001. Nutrition and feeding for sustainable aquaculture development in the third millennium. In: Subasinghe, R. P., Bueno, P., Phillips, M. J., Hough, C., McGladdery, S. E., Arthur, J. R. (Eds.), Aquaculture in the Third Millennium. NACA, Bangkok/FAO, Rome/Bangkok, Thailand, pp. 193–219.
- Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., Fountoulaki, E., 2015. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. Animal Feed Science and Technology, 203: 1–22.
- Hill, D. S., 2002. Pests of stored foodstuffs and their control. Kluwer Academic Publishers, pp. 1–476.
- Hornung, B., 1991. The importance of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*, L. 1758) as carriers of zearalenone when fed to insectivorous birds and other pet animals. In: Die Bedeutung der Larven des Mehlkäfers (*Tenebrio molitor*, L. 1758) als Übertrager von Zearalenon in der Fütterung von insektivoren Vögeln und anderen Heimtieren, pp. 1–81.
- Hruška, J., 1955. Luskoviny. SZN, Praha.
- Hwangbo, J., Hong, E. C., Jang, A., Kang, H. K., Oh, J. S., Kim, B.W., Park, B. S., 2009. Utilization of house fly-maggots, a feed supplement in the production of broiler chickens. Journal of Environmental Biology, 30: 609–614.
- IPCC., 2007. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: IPCC. pp. 1–18.
- Jabbour, T., Hognason, G., 2011. Method for shucking lobster, crab or shrimp. Patent No. 7,871,314. US 2011/0070353 A1.
- James, M. T., 1935. The genus *Hermetia* in the United States (*Diptera: Stratiomyidae*). Bull. Bull. Brooklyn Entomol. Soc., 30(4): 165–170.

- Jeroch, H., Čermák, B., Kroupová, V., 2006. Základy výživy a krmení hospodářských zvířat. Vyd.1. Jihočeská univerzita České Budějovice, Zemědělská fakulta: DTP České Budějovice, pp. 1–290, ISBN 80-7040-873-1.
- Jeuniaux, C., 1993. Chitinolytic systems in the digestive tract of vertebrates: a review. In: Muzzarelli, R.A.A. (Ed.), Chitin Enzymology. *European Chitin Society*, Ancona, Italy, pp. 233–244.
- Jirásek, J., Mareš, J., Zeman, L., 2005. Potřeba živin a tabulky výživné hodnoty krmiv pro ryby. 2. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, pp. 8–18, ISBN 80-7157-646-8.
- Khoo, H. H., Lim, T. Z., Tan, R. B., 2010. Food waste conversion options in Singapore: environmental impacts based on an LCA perspective. *Science of the total environment*, 408(6): 1367–1373.
- Kim, J. G., Choi, Y. C., Choi, J. Y., Kim, W. T., Jeong, G. S., Park, K. H., Hwang, S. J., 2008. Ecology of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera; *Stratiomyidae*) in Korea. *Korean journal of applied entomology*, 47(4): 337–343.
- Knorr, D., Froehling, A., Jaeger, H., Reineke, K., Schlueter, O., Schoessler, K., 2011. Emerging technologies in food processing. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2: 203–235.
- Kono, M., Matsui, T., Shimizu, C., 1987. Effect of chitin, chitosan and cellulose as diet supplements on the growth of cultured fish. *Nippon Suisan Gakk.*, 53: 125–129.
- Köprücü, K., Özdemir, Y., 2005. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 250(1): 308–316.
- Kroeckel, S., Harjes, A. G. E., Roth, I., Katz, H., Wuertz, S., Susenbeth, A., Schulz, C., 2012. When a turbot catches a fly: Evaluation of a pre-pupae meal of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute– Growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, 364: 345–352.
- Kurokawa, T., Uji, S., Suzuki, T., 2004. Molecular cloning of multiple chitinase genes in Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 138(3): 255–264.
- Lahola, J., 1980. Luskoviny - pěstování a využití. SZN, Praha., ISBN 80-209-0127-2.
- Landi, S., 1960. Bacteriostatic effect of hemolymph of larvae of various botflies. *Canadian Journal of Microbiology*, 6(1): 115–119.
- Leclercq, M., 1997. A propos de *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) (Soldier fly) (Diptera *Stratiomyidae: Hermetiinae*). *Bulletin et Annales de la Societe Royale Belge d'Entomologie*, 133: 275–282.
- Lee, S. H., Choi, K. I., Osako, M., Dong, J. I., 2007. Evaluation of environmental burdens caused by changes of food waste management systems in Seoul. *Science of the Total Environment*, 387(1): 42–53.

- Lewin, K., 1943. Forces behind food habits and methods of change. The problem of changing food habits: Bulletin of the National Research Council, Washington, D.C. National Research Council and National Academy of Sciences. No. 108, pp. 35–65.
- Lin, S., Mao, S., Guan, Y., Lin, X., Luo, L., 2012a. Dietary administration of chitoooligosaccharides to enhance growth, innate immune response and disease resistance of *Trachinotus ovatus*. *Fish and shellfish immunology*, 32: 909–913.
- Lin, S., Mao, S., Guan, Y., Luo, L., Pan, Y., 2012b. Effects of dietary chitosan oligosaccharides and *Bacillus coagulans* on the growth, innate immunity and resistance of koi (*Cyprinus carpio koi*). *Aquaculture*, 342: 36–41.
- Lindsay, G. J. H., Walton, M. J., Adron, J. W., Fletcher, T. C., Cho, C. Y., Cowey, C. B., 1984. The growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) given diets containing chitin and its relationship to chitinolytic enzymes and chitin digestibility. *Aquaculture*, 38: 315–334.
- Lock, E. R., Arsiwalla, T., Waagbø, R., 2015. Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt. *Aquaculture Nutrition*. 1–12. doi: 10.1111/anu.12343.
- Longvah, T., Mangthya, K., Ramulu, P., 2011. Nutrient composition and protein quality evaluation of eri silkworm (*Samia ricinii*) prepupae and pupae. *Food chemistry*, 128(2): 400–403.
- Lovell, T., 1989. *Nutrition and Feeding of Fish*. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 1–260.
- Luo, Z.-Y., 1997. Insects as food in China. *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2-4): 201–207.
- Makkar, H. P. S., Gilles, T., Heuzé, V., Ankers, P., 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197: 1–33.
- Mercer, C. W. L., 1997. Sustainable production of insects for food and income by New Guinea villagers. *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2-4): 151–157.
- Merten, M., 2012: *Zpracování ryb*. Informatorium, Praha, pp. 1–294.
- Meyer-Rochow, V. B., 1975. Can insects help to ease the problem of world food shortage. *Search*, 6(7): 261–262.
- Miller, B. F., Shaw, J. H., 1969. Digestion of poultry manure by *Diptera*. (abstract) *Poult. Sci.*, 48: 1844–1845.
- Mitsuhashi, J., 1997. Insects as traditional foods in Japan. *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2-4): 187–199.
- Natori, S., 1995. Antimicrobial proteins of insects and their clinical application. *Nippon Rinsho*, 5: 1297-1304.
- Newton, G. L., Booram, C.V., Barker, R.W., Hale, O. M., 1977. Dried *Hermetia illucens* larvae meal as a supplement for swine. *Journal of Animal Science*, 44(3): 395–400.
- Newton, G. L., Sheppard, D. C., Watson, D. W., Burtle, G. J., Dove, C. R., Tomberlin, J. K., Thelen, E. E., 2005a. The black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a manure

- management/resource recovery tool. In Symposium on the state of the science of Animal Manure and Waste Management, San Antonio, TX, USA, pp. 5–7.
- Newton, L., Sheppard, C., Watson, D. W., Burtle, G., Dove, R., 2005b. Using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure. North Carolina, North Carolina State University. pp. 1-17.
- Ng, W.-K., Liew, F.-L., Ang, L.-P., Wong, K.-W., 2001. Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquac. Res.*, 32: 273–280.
- Nguyen, T. T. X., Tomberlin, J. K., van Laerhoven, S., 2015. Ability of black soldier fly (*Diptera: Stratiomyidae*) larvae to recycle food waste. *Environmental entomology*, 44(2): 406–410.
- NRC, 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. The National Academies Press, Washington, DC, USA. pp. 1–392. ISBN: 978-0-309-16338-5.
- Ooninx, D. G. A. B., De Boer, I. J., 2012. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans—a life cycle assessment. *PloS ONE*, 7(12): e51145. doi:10.1371/journal.pone.0051145.
- Ooninx, D. G. A. B., van Itterbeeck, J., Heetkamp, M. J. W., van den Brand, H., van Loon, J. J. A., van Huis, A., 2010. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PloS ONE*, 5(12): e14445.
- Pellier, N., Tyedmers, P., 2010. Forecasting potential global environmental costs of livestock production 2000-2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(43): 18371–18374.
- Peters, M. T., Barbosa, P., 1977. Influence of population density on size, fecundity, and developmental rate of insects in culture. *Annual Review of Entomology*, 22(1): 431–450.
- Piccolo, G., Marono, S., Gasco, L., Iannaccone, F., Bovera, F., Nizza, A., 2014. Use of *Tenebrio molitor* larvae meal in diets for gilthead sea bream *Sparus aurata* juveniles. In: Abstract Book Conference Insects to Feed The World, The Netherlands, 14–17th May, pp. 1–76.
- Porter, M. A., Jones, A. M., 2003. Variability in soy flour composition. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80(6), 557–562.
- Rada, V., 2007. Nutriční vlastnosti sójových sacharidů ve vztahu k nepřežvýkavcům. Výzkumný ústav živočišné výroby, v. v. i., Praha, pp. 1–25.
- Rainuzzo, J. R., Reitan, K. I., Olsen, Y., 1997. The significance of lipids at early stages of marine fish: a review. *Aquaculture*, 155(1): 103–115.
- Ramos-Elorduy, J., 1997. Insects: a sustainable source of food. *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2-4): 247–276.

- Ramos-Elorduy, J., 2005. Insects: a hopeful food source. Ecological Implications of minilivestock. Potential of insects, rodents, and frogs (Ed: MG Paoletti) Science Publishers, Inc. Enfield, New Hampshire, USA, Chapter No. 14, pp. 263–291, ISBN 1-57808-339-7.
- Ramos-Elorduy, J., González, E. A., Hernández, A. R., Pino, J. M., 2002. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. Journal of economic entomology, 95(1): 214–220.
- Rumpold, B. A., Schlüter, O. K., 2013. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 17: 1–11.
- Rust, M. B., 2002. Nutritional physiology. In: Halver, J. E., Hardy, R. W. (Eds.), Fish Nutrition. The Academic Press, New York, USA, pp. 368–452. ISBN 0-12-319652-3.
- Sánchez-Muros, M. J., Barroso, F. G., Manzano-Agugliaro, F., 2014. Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. Journal of Cleaner Production, 65(0): 16–27. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.068>.
- Sargent, J. R., Tocher, D. R., Bell, J. G., 2002. The lipids. In: Halver, J. E., Hardy, R. W. (Eds.), Fish Nutrition. The Academic Press, New York, USA, pp. 181–257. ISBN: 0-12-319652-3.
- Scriber, J. M., Slansky Jr, F., 1981. The nutritional ecology of immature insects. Annual Review of Entomology, 26(1): 183–211.
- Schabel, H. G., 2010. Forest insects as food: A global review. In: Durst, P. B., Johnson, D. V., Leslie, R. N., Shono, K., (Eds.), Forest insects as food: Humans bite back. RAP publication. Bangkok, Thailand: FAO, pp. 37–64. ISBN 978-92-5-106488-7.
- Sealey, W. M., Gaylord, T. G., Barrows, F. T., Tomberlin, J. K., McGuire, M. A., Ross, C., St-Hilaire, S., 2011. Sensory analysis of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed enriched black soldier fly prepupae, *Hermetia illucens*. Journal of the World Aquaculture Society, 42(1): 34–45.
- Se-Kwon, K., Niranjana, R., 2005. Enzymatic production and biological activities of chitosan oligosaccharides (COS): a review. Carbohydrate Polymers. 62: 357–368.
- Sharaby, A., Montaser, S. A., Mahmoud, Y. A., Ibrahim, S. A., 2010. The possibility of rearing the grasshopper *Heteracris littoralis* (R.) on semi synthetic diet. Journal of Agriculture and Food Technology, 1(1): 1–7.
- Sheppard, C., 1983. House fly and lesser house fly control utilizing the black soldier fly in manure management systems for caged laying hens. Environmental Entomology, 12(5): 1439–1442.
- Sheppard, D. C., Newton, G. L., Thompson, S. A., Savage, S., 1994. A value added manure management system using the black soldier fly. Bioresource Technology, 50(3): 275–279.
- Sheppard, D. C., Newton, G. L., Thompson, S., Davis, J., Gascho, G., Bramwell, K., 1998. Using soldier flies as a manure management tool for volume reduction, house fly control and

- reduction, house fly control and feedstuff production. (pp. 51–52). In: Sustainable Agriculture Research and Education, Southern Region, 1998 Annual Report.
- Sherman, R. A., Hall, M. J. R., Thomas, S., 2000. Medicinal maggots: An ancient remedy for some contemporary afflictions. *Annual Review of Entomology*, 45(1): 55–81.
- Shiau, S. Y., Yu, Y. P., 1999. Dietary supplementation of chitin and chitosan depresses growth in tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. *Aquaculture*, 179(1): 439–446.
- Singh, P., 1982. The rearing of beneficial insects. *New Zealand Entomologist*, 7(3): 304–310.
- Špaldon, P., 1986. Rostlinná výroba. SZN, Praha, pp. 337–343.
- Steinfeld, H., 2012. Sustainability issues in livestock production. Exploratory Workshop Sustainable Protein Supply. Amsterdam, pp. 1–126.
- Steinfeld, H., Gerber P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C., 2006. Livestock's Long Shadow. Environmental issues and options. FAO, pp. 1–319. ISBN 978-92-5-105571-7.
- St-Hilaire, S., Cranfill, K., McGuire, M. A., Mosley, E. E., Tomberlin, J. K., Newton, L., Sealey, W., Sheppard, C., Irving, S., 2007a. Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38(2): 309–313.
- St-Hilaire, S., Sheppard, C., Tomberlin, J. K., Irving, S., Newton, L., McGuire, M. A., Mosley, E. E., Hardy, R. W., Sealey, W., 2007b. Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38(1): 59–67.
- Tchuinkam, T., Mpoame, M., Make-Mveinnya, B., Simard, F., Lélé-Defo, E., Zébazé-Togouet, S., Tateng-Ngouateu, A., Awono-Ambéné, H.-P., Antonio-Nkondjio, C., Njiné, T., Fontenille, D., 2011. Optimization of breeding output for larval stage of *Anopheles gambiae* (*Diptera: Culicidae*): Prospects for the creation and maintenance of laboratory colony from wild isolates. *Bulletin of Entomological Research*, 101(3): 259–269.
- Tingle, F. C., Mitchell, E. R., Copeland, W. W., 1975. The soldier fly, *Hermetia illucens* in poultry houses in North Central Florida. *Journal of Georgia Entomological Society*, 10: 179–183.
- Tocher, D. R., 2010. Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. *Aquaculture Research*, 41(5): 717–732.
- Tocher, D. R., Bendiksen, E. Å., Campbell, P. J., Bell, J. G., 2008. The role of phospholipids in nutrition and metabolism of teleost fish. *Aquaculture*, 280(1): 21–34.
- Tunison, A. V., Phillips, A. M., Brockway, D. R., 1941. The Nutrition of Trout. *Fisheries Research Bulletin*, 1(10): 3-20.
- Turchini, G. M., Mentati, T., Caprino, F., Panseri, S., Moretti, V. M., Valfrè, F., 2003. Effects of dietary lipid sources on flavour volatile compounds of brown trout (*Salmo trutta L.*) fillet. *Journal of Applied Ichthyology*, 20: 71–75.

- Turchini, G. M., Ng, W.-K., Tocher, D. R. (Eds.), 2010. Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds. CRC Press, pp. 1–523. ISBN 978-1-4398-0863-4.
- Tomberlin, J. K., Sheppard, D. C., Joyce, J. A., 2002. Selected life-history traits of black soldier flies (*Diptera: Stratiomyidae*) reared on three artificial diets. *Annals of the Entomological Society of America*, 95(3): 379–386.
- Trivedy, K., Kumar, S.N., Mondal, M., Kumar Bhat, C.A., 2008. Protein banding pattern and major amino acid component in de-oiled pupal powder of silkworm, *Bombyx mori* Linn. *Journal of Entomology*. 5, 10–16.
- Van Huis, A., 2003. Insects as food in sub-Saharan Africa: Insect Science and its Application. *Journal of Tropical Insect Science*, 23(3): 163–185.
- Van Huis, A., 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58: 563–583.
- Van Huis, A., van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., Vantomme, P., 2013. Edible insects: future prospects for food and feed security. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO 2013, 171: pp. 1–187. ISBN 9251075956.
- Vantomme, P., Mertens, E., van Huis, A., Klunder, H. C., 2012. Summary report of the technical consultation meeting "Assessing the potential of insects as food and feed in assuring food security. In: Food and Agriculture Organization, (Ed.), pp. 1–38.
- Veldkamp, T. G., van Duinkerken, G., van Huis, A., Lakemond, C. M. M., Ottevanger, E., Bosch, G., van Boekel, M. A. J. S., 2012. Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets – a feasibility study. In: Wageningen Livestock Research, Report No. 638, pp. 1–48. ISSN 1570 – 8616.
- Vlasák, J., 2015. Vliv podmínek na nutriční hodnotu lososovitých ryb z intenzivních systémů chovu. Diplomová práce (in MS), Mendelova univerzita v Brně, Brno, pp. 1–67.
- Wansink, B., 2002. Changing eating habits on the home front: Lost lessons from World War II research. *Journal of Public Policy and Marketing*, 21(1): 90–99.
- Widjastuti, T., Wiradimadja, R., Rusmana, D., 2014. The effect of substitution of fish meal by black soldier fly (*Hermetia illucens*) maggot meal in the diet on production performance of quail (*Coturnixcoturnix japonica*). *Scientific Papers: Series D, Animal Science-The International Session of Scientific Communications of the Faculty of Animal Science*, 57: 125-129.
- Wilson, R. P., 2002. In: Halver, J. E., Hardy, R. W. (Eds.), *Fish Nutrition*. The Academic Press, New York, USA, pp. 143–180. ISBN 0-12-319652-3.
- Yhoun-Aree, J., Puwastien, P., Attig, G. A., 1997. Edible insects in Thailand: An unconventional protein source? *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2-4): 133–149.
- Zajíc T., 2012. Praktické ověření technologie „finishing feeding“ v produkci sivena amerického v podmínkách ČR [online]. *Technická zpráva pilotního projektu* [cit. 2016 03-31].

Zajíc T., Levý, E., Mráz, J., 2014. Kvalitativní parametry rybího masa. pp. 33-90. In: Sampels S., Levý, E., Mráz, J., Vejsada, P., Zajíc, T., 2014. Kvalita a gastronomie ryb a rybích výrobků. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice, pp. 1–247.

6 Internetové zdroje

Agresearchmag.ars.usda.gov [online]. 10.2010n. 1. [cit. 2015-09-27]. Dostupné z:

<https://agresearchmag.ars.usda.gov/2010/oct/feeds/>

Nmfs.noaa.gov [online]. [cit.2015-09-27]. Dostupné z:

http://www.nmfs.noaa.gov/aquaculture/faqs/faq_feeds.html

Slovník-cizich-slov.abz.cz [online]. [cit. 2015-09-27]. Dostupné z: [http://slovník-cizich-](http://slovník-cizich-slov.abz.cz/web.php/slovo/biomasa)

[slov.abz.cz/web.php/slovo/biomasa](http://slovník-cizich-slov.abz.cz/web.php/slovo/biomasa)

Harinder, P. S., Makkar, FAO, ROME,. Feedipedia.org [online]. 2014 [cit. 2015-09-27].

Dostupné z: <http://www.feedipedia.org/content/insect-meals-animal-feed>

Heuzé V., Tran G., 2015. Locust meal, locusts, grasshoppers and crickets. Feedipedia, a

programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. Feedipedia.org [online]. 2015 [cit. 2015-09-

27]. Dostupné na: <http://www.feedipedia.org/node/198.>,

7 Seznam zkratek

- DKD – denní krmná dávka
- KD – krmná dávka
- HSI – hepatosomatický index
- VSI – viscerosomatický index
- FM – fish meal – rybí moučka
- DM – dry matter – sušina
- EAA – essential amino acid – esenciální aminokyseliny
- Lys-lysin
- Met – methionin
- FA – fatty acids – mastné kyseliny
- HUFA – highly unsaturated fatty acids – vysoce nenasycené mastné kyseliny
- PUFA – polyunsaturated fatty acids – polynenasycené mastné kyseliny
- ADF – acid detergent fibre
- NCR – National Research Council
- E – esenciální
- N – neesenciální
- Ca – vápník
- P – fosfor
- Fe – železo
- Např. – například
- Tj. – to jest
- k. – kyselina
- GHG – greenhouse gas – skleníkové plyny
- NH₃ - amoniak

8 Přílohy

Tab. 1.: Obsah základních nutričních složek u zvířat a rostlin ($\text{g} \times \text{kg}^{-1}$ sušiny; převzato z Jeroch a kol., 2006).

Produkt	Sacharidy	Tuky	Bílkoviny	Popeloviny
prase (110 kg LM)	15	650	280	55
brojler (1,7 kg LM)	20	290	580	110
Mléko	365	305	275	55
vejce (bez skořápky)	20	435	500	45
pšenice	830	20	130	20
hrách	700	15	251	34
sójový extrahovaný šrot	408	15	510	67
cukrovka	730	60	135	75
vojtěška (začátek květu)	630	30	195	145

Tab. 2.: Hlavní chemické složky v jídle z hmyzu vs. rybí moučka a sójová moučka (převzato z feedipendia.org, 2014).

Základní složky % v sušině	Larvy bráněnky	Moučka z larev mouchy domácí	Moučný červ	Moučka ze sarančat	Cvrček domácí	Kobylka (Anabrus simplex)	Moučka z housesek bource morušového	Moučka z housesek bource morušového (odtučněný)	Rybí moučka	Sójová moučka
Hrubý protein	42.1 (56.9)	50.4 (62.1)	52.8 (82.6)	57.3 (62.6)	63.3 (76.5)	59.8 (69.0)	60.7 (81.7)	75.6	70.6	51.8
Tuky	26.0	18.9	36.1	8.5	17.3	13.3	25.7	4.7	9.9	2.0
Vápník	7.56	0.47	0.27	0.13	1.1	0.20	0.38	0.40	4.34	0.39
Fosfor	0.90	1.60	0.78	0.11	0.79	1.4	0.60	0.87	2.79	0.69
Podíl - Ca:P	8.4	0.29	0.35	1.18	1.28	0.19	0.63	0.46	1.56	0.57

Tab. 3: Složení aminokyselin ($\text{g} \times 16 \text{ g}^{-1}$ dusíku) v jídle hmyzu oproti FAO. Odkaz na potravní hodnoty bílkovin a požadavky sojové a rybí moučky (převzato z feedipendia.org, 2014).

Aminokyseliny	Larvy bráněnky	Moučka z larev mouchy domácí	Moučný červ	Moučka ze sarančat	Cvrček domácí	Kobylka (Anabrus simplex)	Moučka z housenek bource morušového	Moučka z housenek bource morušového (odtučněný)	Rybí moučka	Sójová moučka
Esenciální										
Methionin	2.1	2.2	1.5	2.3	1.4	1.4	3.5	3.0	2.7	1.32
Cystein	0.1	0.7	0.8	1.1	0.8	0.1	1.0	0.8	0.8	1.38
Valin	8.2	4.0	6.0	4.0	5.1	6.0	5.5	4.9	4.9	4.50
Izoleucin	5.1	3.2	4.6	4.0	4.4	4.8	5.1	3.9	4.2	4.16
Leucine	7.9	5.4	8.6	5.8	9.8	8.0	7.5	5.8	7.2	7.58
Fenylalanin	5.2	4.6	4.0	3.4	3.0	2.5	5.2	4.4	3.9	5.16
Tyrosin	6.9	4.7	7.4	3.3	5.2	5.2	5.9	5.5	3.1	3.35
Histidin	3.0	2.4	3.4	3.0	2.3	3.0	2.6	2.6	2.4	3.6
Lysin	6.6	6.1	5.4	4.7	5.4	5.9	7.0	6.1	7.5	6.18
Threonin	3.7	3.5	4.0	3.5	3.6	4.2	5.1	4.8	4.1	3.78
Tryptofan	0.5	1.5	0.6	0.8	0.6	0.6	0.9	1.4	1.0	1.36
Neesenciální										
Serin	3.1	3.6	7.0	5.0	4.6	4.9	5.0	4.5	3.9	5.18
Arginin	5.6	4.6	4.8	5.6	6.1	5.3	5.6	5.1	6.2	7.64
Kyselina	10.9	11.7	11.3	15.4	10.4	11.7	13.9	8.3	12.6	19.92
Kyselina	11.0	7.5	7.5	9.4	7.7	8.8	10.4	7.8	9.1	14.14
Prolin	6.6	3.3	6.8	2.9	5.6	6.2	5.2	-	4.2	5.99
Glycin	5.7	4.2	4.9	4.8	5.2	5.9	4.8	3.7	6.4	4.52
Alanin	7.7	5.8	7.3	4.6	8.8	9.5	5.8	4.4	6.3	4.54

Tab. 4.: Rozbor vzorků hmyzu, odběr 26. 2. 2015, převzato z laboratoř FROV.

Vzorek	červ 1	červ 2	červ 3	cvrček 1	cvrček 2	cvrček 3	ø červ	sd	ø cvrček	sd
Obsah tuku	21,38	16,21	17,04	7,34	6,98	5,72	18,21	2,27	6,68	0,70
C14:0	1,14	1,07	0,98	0,92	0,87	0,80	1,06	0,06	0,86	0,05
C14:1	0,00	0,00	0,00	0,06	0,06	0,05	0,00	0,00	0,06	0,01
C16:0	32,08	34,64	30,35	25,75	24,97	24,21	32,36	1,76	24,98	0,63
C16:1	1,01	0,68	0,71	1,24	1,19	1,09	0,80	0,15	1,17	0,06
C18:0	6,50	8,09	8,01	7,12	7,45	7,93	7,53	0,73	7,50	0,33
C18:1n-9	36,92	28,79	35,96	21,53	21,73	21,27	33,89	3,63	21,51	0,19
C18:1n-7	0,37	0,29	0,26	0,71	0,70	0,68	0,31	0,04	0,70	0,01
C18:2n-6	20,19	24,96	22,44	39,01	39,45	40,30	22,53	1,95	39,59	0,53
C18:3n-3	0,82	1,10	0,84	1,33	1,29	1,29	0,92	0,13	1,31	0,02
C20:0	0,14	0,18	0,18	0,37	0,38	0,38	0,17	0,02	0,38	0,00
C20:1n-9	0,22	0,13	0,12	0,47	0,44	0,41	0,16	0,04	0,44	0,03
C20:2n-6	0,06	0,06	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07	0,01	0,08	0,00
C20:4n-6	0,06	0,00	0,00	0,22	0,26	0,34	0,02	0,03	0,27	0,05
C20:3n-3	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
C22:0	0,07	0,00	0,07	0,10	0,10	0,15	0,05	0,03	0,11	0,02
C22:1	0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01
C20:5n-3	0,15	0,00	0,00	0,76	0,76	0,77	0,05	0,07	0,76	0,01
C24:0	0,04	0,00	0,00	0,04	0,00	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02
C22:5 n-3	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,02	0,00	0,00	0,03	0,01
C22:6n-3	0,16	0,00	0,00	0,23	0,19	0,21	0,05	0,08	0,21	0,02
SFA	39,98	43,98	39,59	34,29	33,77	33,50	41,18	1,98	33,85	0,33
MUFA	38,57	29,90	37,05	24,02	24,14	23,50	35,17	3,78	23,89	0,28
PUFA	21,46	26,13	23,36	41,68	42,09	43,01	23,65	1,92	42,26	0,55
n-3	1,15	1,10	0,84	2,33	2,26	2,28	1,03	0,13	2,29	0,03
n-6	20,31	25,03	22,51	39,31	39,79	40,71	22,62	1,93	39,94	0,58
n-3/n-6	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,05	0,01	0,06	0,00
n-6/n-3	17,65	22,82	26,69	16,85	17,61	17,87	22,39	3,71	17,44	0,43

Vysvětlení zkratk v tabulce: C14:0 – kyselina (dále jako k.) krstová; C14:1 – k. myristolejová; C16:0 – k. palmitová; C16:1 – k. palmitolejová; C18:0 – k. stearová; C18:1n-9 – k. olejová; C18:2n-6 – k. linolová; C18:3n-3 – k. alfa-linolenová (ALA); C20:0 – k. arachová; C20:1n-9 – k. eikosanová; C20:2n-6 – k. eikosadienová; C20:3n-3 – k. eikosatrienová; C22:0 – k. dokosanová; C22:1 – k. dokosenou; C20:5n-3 – k. eikosapentaenová; C24:0 – k. lignocerová; C22:5n-3 – k. dokosapentaenová; C22:6n-3 – k. dokosahexaenová; SFA – nasycené mastné kyseliny; MUFA – mononenasyčené mastné kyseliny; PUFA – polynenasycené mastné kyseliny; n-3 – omega-3 mastné kyseliny; n-6 – omega-6 mastné kyseliny; n-3/n-6 – poměr omega-3 mastných ku omega-6 mastným kyselinám; n-6/n-3 - poměr omega-6 mastných ku omega-3 mastným kyselinám; červ 1 – 3 – zastoupení jednotlivých kyselin v testovaných vzorcích hmyzu; cvrček 1-3 – zastoupení jednotlivých kyselin v testovaných vzorcích hmyzu ; sd – směrodatná odchylka; ø červ – průměrná hodnota testovaných kyselin ze vzorků červ1-3; ø cvrček - průměrná hodnota testovaných kyselin ze vzorků cvrček 1-3.

Tab. 5.: V tabulce je zobrazena průměrná hmotnost a analýza vybraných druhů hmyzu (převzato z Finke, 2012).

	Bráněnka (larva)	Chilecomadia moorei (larva nadčeledi Drvopleňovití)	Šváb turkeštánský (nymfa)	Moucha domácí (dospělec)
Hmotnost (mg/hmyz)	82	392	153	8
Množství vody (g/kg)	612	602	691	748
Hrubý protein (g/kg)	175	155	190	197
Hrubý tuk (g/kg)	140	294	100	19
NFE (g/kg)*	8	-72	-15	-10
Neutrální detergentní vláknina (g/kg)	38	26	28	36
Kyselá detergentní vláknina (g/kg)	30	14	22	29
Metabolizovaná energie (kcal/kg)	1,994	2,977	1,602	918
Metabolizovaná energie (kcal/hmyz)	163	1,166	244	7
Popelovina (g/kg)	35	8	12	17

*NFE – koncentrace volného dusíku.

Tab. 6.: Obsah minerálních látek ve vybraných druzích hmyzu (převzato z Finke, 2012).

Minerální látky	Bráněnka (larva)	Chilecomadia moorei (larva nadčeledi Drvopleňovití)	Šváb turkeštánský (nymfa)	Moucha domácí (dospělec)
Vápník (mg/kg)	9,340	125 ^b	385 ^b	765 ^a
Fosfor (mg/kg)	3,560	2,250	1,760	3,720
Hořčík (mg/kg)	1,740	278 ^a	250	806
Sodík (mg/kg)	887	<198 ^b	744	1,350
Draslík (mg/kg)	4,530	2,590 ^a	2,240	0,03
Chlóríd (mg/kg)	1,160	1,160	1,600	1,760
Železo (mg/kg)	66,6	14,0 ^a	14,8	125,0
Zinek (mg/kg)	56,2	35,7	32,7	85,8
Měď (mg/kg)	4,03	2,95 ^a	7,93	12,9
Mangan (mg/kg)	61,8	0,71 ^b	2,64	26,6
Jód (mg/kg)	0,26	<0,1 ^b	0,30	<0,1 ^b
Selen (mg/kg)	0,32	<0,03 ^b	0,30	0,15

^aHodnota je 50-100% z požadavku NCR pro růst krys.

^bHodnota je <50% z požadavku NCR pro růst krys.

Tab. 7.: Obsah aminokyselin u vybraných druhů hmyzu (převzato z Finke, 2012).

Aminokyseliny	Bráněnka (larva)	Chilecomadia moorei (larva nadčeledi Drvopleňovití)	Šváb turkeštánský (nymfa)	Moucha domácí (dospělec)
Alanin (g/kg)	12,2	8,67	16,7	11,7
Arginin (g/kg)	12,3	11,7	14,0	12,1
Kyselina aspartová (g/kg)	16,5	12,9	15,1	16,3
Cystein (g/kg)	1,02	0,87	1,44	1,40
Glycin (g/kg)	9,14	6,53	12,4	8,43
Kyselina glutamová (g/kg)	19,7	16,4	22,6	21,1
Histidin (g/kg)	5,94	4,08	5,49	5,71
Izoleucin (g/kg)	7,62	6,51	7,73	8,14
Leucin (g/kg)	12,1	10,1	12,0	12,4
Lysin (g/kg)	11,9	8,72	12,8	12,6
Methionin (g/kg)	3,37	2,49	3,35	5,84
Fenylalanin (g/kg)	7,56	5,47	7,67	7,91
Prolin (g/kg)	10,2	9,52	10,6	8,36
Serin (g/kg)	7,02	7,88	8,38	6,97
Threonin (g/kg)	6,82	5,74	7,89	7,54
Tryptofan (g/kg)	3,00	1,56	1,66	2,40
Tyrosin (g/kg)	12,1	7,95	14,3	9,26
Valin (g/kg)	12,9	9,71	12,3	11,0
Taurin (g/kg)	<0,1	0,39	<0,1	1,59
Methionin+cystein (g/kg)	4,39	3,35 ^a	4,79	7,24
Fenylalanin + tyrosin (g/kg)	19,66	13,42	21,97	17,17
Získaná bílkovina (%)	98,0	93,5	98,1	86,7

^aHodnota je 50-100% z požadavku NCR pro růst krysy.

Tab. 8.: Obsah vitamínů, cholinu a karnitinu u vybraných druhů hmyzu (převzato z Finke, 2012).

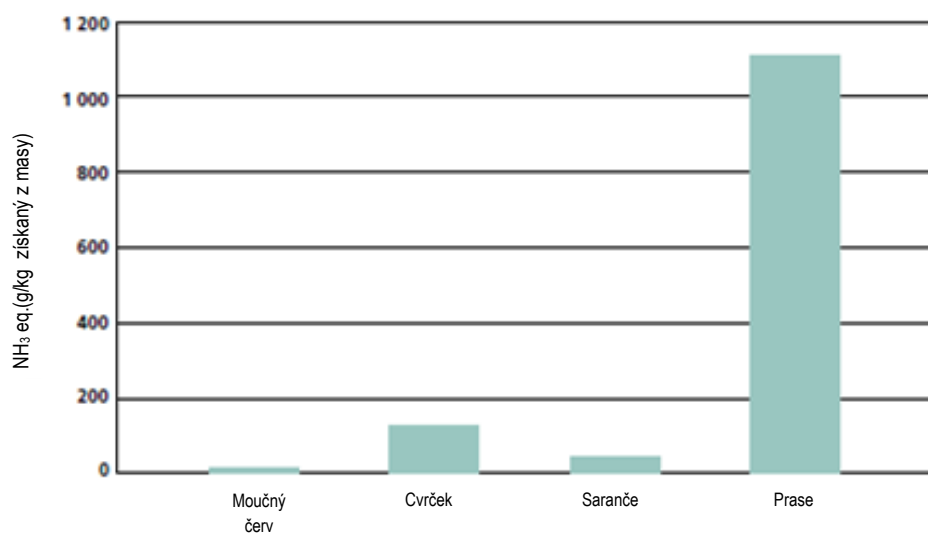
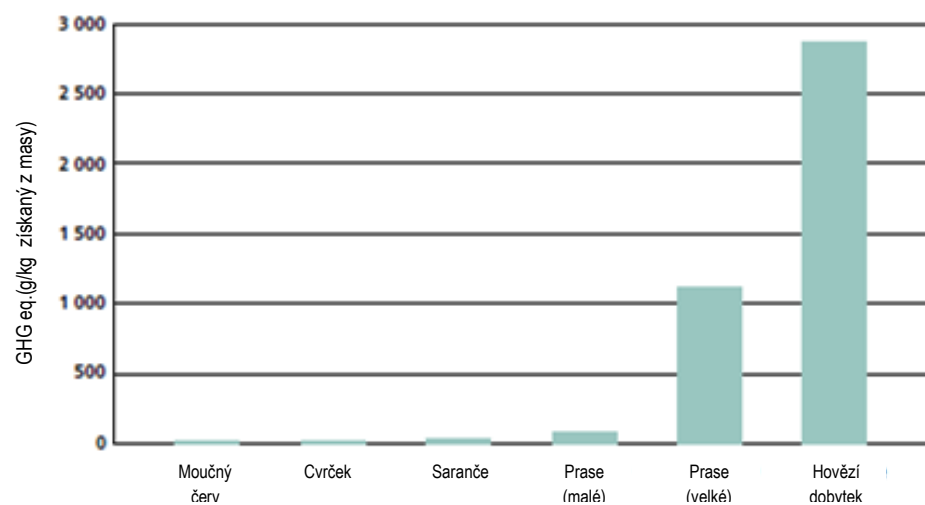
Vitamíny	Bráněnka (larva)	Chilecomadia moorei (larva nadčeledi Drvopeňovítí)	Šváb turkeštánský (nymfa)	Moucha domácí (dospělec)
Vitamin A (μg retinol/kg)	<300 ^b	<300 ^b	<300 ^b	<300 ^b
Vitamin D2 (IU /kg)	<80	<80	<80	<80
Vitamin D3 (IU/kg)	100 ^b	159 ^b	193 ^b	<20 ^b
Vitamin E (mg α -topofenol/kg)	6,2 ^a	13,0 ^a	<3,3 ^b	29,7
Vitamin C (mg/kg)	<10,0	23,0	<10,0	<10,0
Thiamin (mg/kg)	7,7	<0,01 ^b	0,9 ^a	11,3
Riboflavin (mg/kg)	16,2	64,5	15,6	77,2
Kyselina pantotenová (mg/kg)	38,5	26,5	37,0	45,3
Niacin (mg/kg)	71,0	33,6	43,8	90,5
Pyridoxin (mg/kg)	6,01	3,29	3,10	1,72 ^a
Kyselina listová (mg/kg)	2,70	0,83	1,11	1,82
Biton (mg/kg)	0,35	0,46	0,37	0,68
Vitamin B12 (μg /kg)	55,8	5,1 ^b	237	6,0 ^a
Cholin (mg/kg)	1,100	625	808	567
Karnitin (mg/kg)	83,8	33,6	354,0	161,0

^aHodnota je 50-100% z požadavku NCR pro růst krysy.

^bHodnota je <50% z požadavku NCR pro růst krysy.

Tab. 9.: Obsah mastných kyselin u vybraných druhů hmyzu (převzato z Finke, 2012).

Mastné kyseliny	Bráněnka (larva)	Chilecomadia moorei (larva nadčeledi Drvopleňovití)	Šváb turkeštánský (nymfa)	Moucha domácí (dospělec)
Kaprinová 10:0 (g/kg)	0,69	<0,10	<0,20	<0,01
Laurová 12:0 (g/kg)	51,2	0,93	<0,20	0,02
Myristová 14:0 (g/kg)	12,0	0,95	0,48	0,32
Myristolejová 14:1 (g/kg)	0,50	0,20	<0,20	0,02
Pentadekanová 15:0 (g/kg)	0,12	<0,10	<0,20	0,17
Palmitová 16:0 (g/kg)	16,1	69,3	17,4	3,72
Palmitolejová 16:1 (g/kg)	4,96	14,7	1,21	1,96
Heptadekanová 17:0 (g/kg)	0,20	<0,10	<0,20	0,10
Heptadekenová 17:1(g/kg)	<0,08	<0,10	<0,20	<0,01
Stearová 18:0 (g/kg)	2,45	2,19	4,22	0,40
Olejová 18:1 (g/kg)	15,6	149,0	40,9	2,89
Linolová 8:2 (g/kg)	16,9	6,99	21,6	4,15
Linolenová 18:3 (g/kg)	0,65	0,45	0,71	0,45
Arachová 20:0 (g/kg)	0,16	0,24	<0,20	0,04
Ikosenová 20:1 (g/kg)	<0,08	0,19	0,25	0,01
Eikosadienová 20:2 (g/kg)	<0,01	<0,10	0,66	0,02
Arachidonová 20:4 (g/kg)	<0,08	<0,10	0,35	0,04
Dokosanová 22:0 (g/kg)	0,09	<0,10	<0,20	0,03
Získaný tuk (%)	96,1	83,3	93,0	83,5



Obr. 1.: Produkce skleníkových plynů a amoniaku na kg hmotnosti přírůstku 3druhů hmyzu, prasat a hovězího dobytka (FAO, 2013).



Obr. 2.: Druh alternativního krmiva – cvrček domácí (*Acheta domestica*).



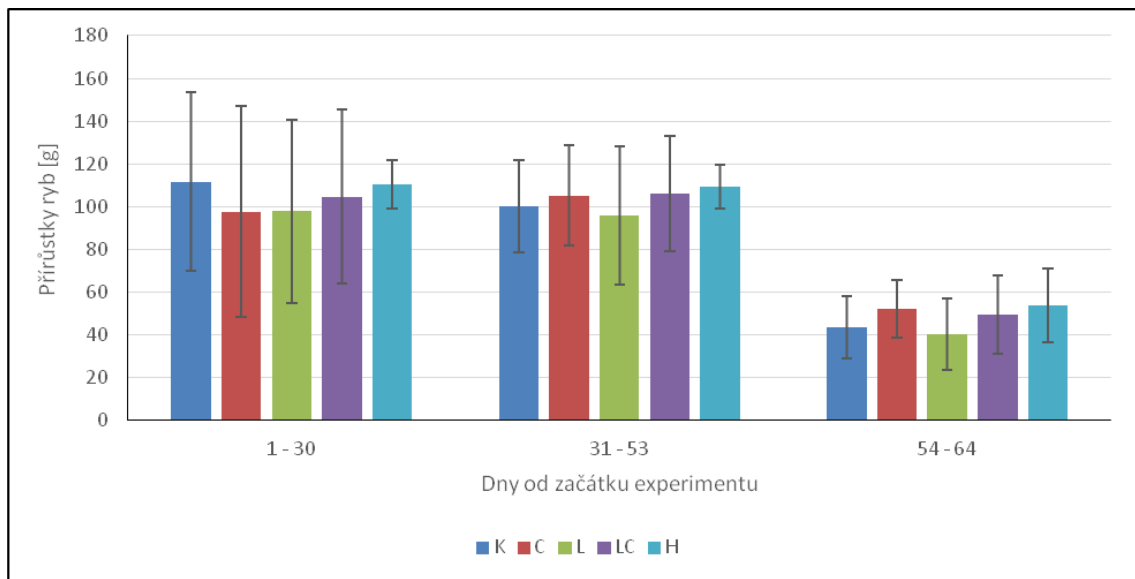
Obr. 3.: Druh alternativního krmiva – potměník peruánský (*Zophobas morio*).



Obr. 4.: Skupiny ryb podle použitého krmiva ve 3 opakováních.



Obr. 5. Akvárium s 10 kusy ryb podle druhu předkládaného krmiva.



Graf. 2.: Přírůstek hmotnosti pstruhů duhových (*Oncorhynchus mykiss*) v průběhu krmného experimentu (průměr ± SD).

Sensorická analýza – pstruh duhový

(Vlevo – nejlepší, Vpravo - nejhorší)

Jméno a příjmení:

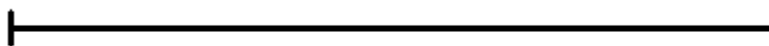
Datum:

Číslo vzorku:

Vůně



Chuť



Pachut'



Konzistence



Protokol. 1.: Protokol o průběhu sensorické analýzy pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*).

9 Abstrakt:

Vliv hmyzích komponent v krmivu ryb na produkci, zdraví a kvalitu ryb.

První část této práce je věnována zpracování literárních zdrojů a údajů o možnostech použití různých druhů hmyzu jako alternativního krmiva podávaného rybám. Druhá část práce je věnována samotnému experimentu. Pstruh duhový (*Oncorhynchus mykiss*) byl chován v akvarijní místnosti Fakulty rybářství a ochrany vod JU ve Vodňanech. Experiment byl proveden ve třech opakováních, ve 300 litrových akváriích, po 8 -10 kusech ryb v každém akváriu. Během experimentu byly ryby rozděleny do skupin podle typu použitého krmiva. Kontrolní skupina byla krmena komerčním peletovým krmivem a další 4skupiny krmiv obsahovaly v určitém procentuálním zastoupení energie krmné dávky hmyzu, jímž byl cvrček domácí (*Acheta domestica*) a larvy potemníka peruánského (*Zophobas morio*). Ryby byly sledovány po dobu 2 měsíců a během této doby byla třikrát zaznamenána jejich váha a míra. Po dokončení experimentu byla provedena senzorická analýza masa, ve které byly hodnoceny rozdíly mezi vůní, chutí, pachutí a konzistencí rybiho masa v závislosti na předkládaném krmivu. Výsledky sledování váhy a přírůstku ryb ukazují, že předkládané krmivo nemá významný vliv na tyto ukazatele. Naproti tomu senzorická analýza prokázala rozdíly mezi sledovanými parametry. Jako nevhodné alternativní krmivo se ukázalo krmivo obsahující pouze hmyz. Jednoznačným závěrem je, že hmyz lze použít jako alternativní krmivo pro ryby chované v akvakulturách, nicméně je více než vhodné ho kombinovat s komerčními krmivy.

Klíčová slova: alternativní krmiva, hmyz, růst, hmotnost, pstruh duhový, *Oncorhynchus mykiss*, senzorická analýza

10 Abstract:

Influence of insect's components in fish feed on production, health and quality of fish.

The first part of my work is devoted to review of alternative components in feeds for fish with special focus on insect. The second part of my work is based on the feeding experiment. Rainbow trouts (*Oncorhynchus mykiss*) were bred in the aquaria at the Faculty of Fisheries and Protection of Water JU in Vodňany. Experiment was performed in three replications, in 300 litre aquaria with 8 - 10 fish per aquarium. Fish were divided into 5 groups according to the type of feed used. Control group was fed the commercial granule feed and the other four groups were served insect in certain percentage. It was a cricket (*Acheta domesticus*) and the maggots of giant mealworm beetle (*Zophobas morio*). Weight and length of fish was registered three times during 2 months of experiment. The sensory analysis of fish meat was done for evaluation of aroma, taste, after taste and consistence of fish muscle. The results show that diet containing insect did not significantly influence weight and growth. In the contrast, sensory analysis proved the difference in analysed parameters. The feed containing only insect was identified as an inappropriate alternative feed. In conclusion, the insect can be used as the alternative feed for fish in the aquaculture. Nevertheless, it is recommended to combine the insect with commercial feeds.

Key words: alternative feeds, insect, growth, weight, rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, sensory analysis