



Fakulta rybnářství  
a ochrany vod  
Faculty of Fisheries  
and Protection  
of Waters

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice



Fakulta rybnářství  
a ochrany vod  
Faculty of Fisheries  
and Protection  
of Waters

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

---

## Vermikompostování kalů ze sladkovodních akvakulturních recirkulačních systémů a zhodnocení kvality finálních vermikompostů a biomasy žížal

---

A. Kouba, D. Hlaváč, I. Kuklina, J. Hamáčková,  
J. Másilko, J. Mráz, P. Kozák, A. Koubová, M. Buřič



ISBN 978-80-7514-131-6







Fakulta rybnářství  
a ochrany vod  
Faculty of Fisheries  
and Protection  
of Waters

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

## **Vermikompostování kalů ze sladkovodních akvakulturních recirkulačních systémů a zhodnocení kvality finálních vermikompostů a biomasy žížal**

---

A. Kouba, D. Hlaváč, I. Kuklina, J. Hamáčková, J. Másílko,  
J. Mráz, P. Kozák, A. Koubová, M. Buřič

**Vodňany**



EVROPSKÁ UNIE  
Evropský námořní a rybářský fond  
Operační program Rybářství

***Příprava a vydání publikace byly uskutečněny v rámci***

***Operačního programu Rybářství 2014–2020:***

*Projekt Technologie III, reg. č. CZ.10.5.109/5.2/4.0/19\_014/0000894  
byl spolufinancován Evropskou unií*

***Obsahová část publikace byla zpracována***

***za finanční podpory následujících projektů:***

*MZe – projekty NAZV QJ1510119 (40 %) a OP Rybářství  
CZ.1.25/3.1.00/11.00257 (40 %)*

*MŠMT – projekty CENAKVA CZ.1.05/2.1.00/01.0024 (10 %) a LO1205 v rámci  
programu NPU I. (10 %)*



č.183

ISBN 978-80-7514-131-6

<b>1.</b>	<b>ÚVOD DO PROBLEMATIKY</b>	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>CÍL</b>	<b>8</b>
<b>3.</b>	<b>MÍSTO OVĚŘENÍ TECHNOLOGIE</b>	<b>8</b>
<b>4.</b>	<b>POPIS TECHNOLOGIE A VÝSLEDKY</b>	<b>9</b>
<b>4.1.</b>	<b>Materiál a metodický postup</b>	<b>9</b>
4.1.1.	Zhodnocení vermikompostovatelnosti kalů z RAS a posouzení kvality získaných vermikompostů a biomasy žížal	9
4.1.2.	Akutní toxicita čerstvých kalů z RAS na násadu žížal	15
4.1.3.	Porovnání vermikompostování kalů z RAS aplikovaných do krmných vrstev a prolévání slámového lože	18
4.1.4.	Ověření vermikompostování kalů z RAS v praxi	21
<b>4.2.</b>	<b>Výsledky</b>	<b>22</b>
4.2.1.	Zhodnocení vermikompostovatelnosti kalů z RAS a posouzení kvality získaných vermikompostů a biomasy žížal	22
4.2.2.	Akutní toxicita čerstvých kalů z RAS na násadu žížal	37
4.2.3.	Porovnání vermikompostování kalů z RAS aplikovaných do krmných vrstev a prolévání slámového lože	40
4.2.4.	Ověření vermikompostování kalů z RAS v praxi	44
<b>5.</b>	<b>EKONOMICKÝ PŘÍNOS</b>	<b>47</b>
<b>6.</b>	<b>UPLATNĚNÍ TECHNOLOGIE V PRAXI</b>	<b>49</b>
<b>7.</b>	<b>SEZNAM LITERATURY</b>	<b>50</b>
<b>8.</b>	<b>PŘÍLOHY</b>	<b>55</b>



## 1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Rybolov (především mořský) a akvakultura ryb jsou důležitými zdroji obživy pro stovky milionů lidí po celém světě. Světová spotřeba ryb na obyvatele dosáhla v roce 2014 rekordního maxima 20 kg. Ryby představují přibližně 17 % spotřeby živočišných bílkovin a 6,7 % všech bílkovin spotřebovaných lidskou populací. V poslední době (od roku 2016) pochází více než polovina ryb pro lidskou spotřebu z akvakultury. Je nutné podotknout, že řada rybních druhů či jejich populací byla v minulých desetiletích přelovena a dnes jsou loveny jejich menší velikostní skupiny, popř. i druhy dříve považované za méně hodnotné. Celková produkce světového rybolovu tak stagnuje již od 80. let minulého století a vyhlídky do budoucnosti jsou spíše pesimistické. Výše zmiňovaný růst světové spotřeby ryb je tak do značné míry závislý na budování nových, intenzifikaci a diverzifikaci stávajících akvakulturních systémů, které zůstávají celosvětově jedním z nejrychleji se rozvíjejících odvětví výroby potravin (Pauly a kol., 2002; FAO, 2016).

Ruku v ruce s masivním rozvojem a intenzifikací akvakulturní produkce začalo být poukazováno na problematiku související s trvalou udržitelností takového počínání, včetně negativních vlivů na životní prostředí. Tímto byly charakteristické především různé typy průtočných a klecových odchovných systémů, které měly jen minimálně účinné či nezávadné čištění využití vody (Colt, 1991; Maillard a kol., 2005). Zvýšený tlak na parametry vypouštěných vod požadovaný vládními organizacemi spolu s omezeným počtem vhodných lokalit s dostatečně vydatným zdrojem kvalitní sladké vody pro konvenční produkční systémy vedl k rozvoji recirkulačních akvakulturních systémů (RAS), a to zejména v Evropě a Severní Americe (van Rijn, 1996; Blancheton a kol., 2007). Tyto systémy, i přes vyšší investiční náklady na stavbu, poskytují řadu významných výhod (Wik a kol., 2009) a v budoucnu lze očekávat jejich další rozvoj (Martins a kol., 2010; Buřič a kol., 2015).

Chov ryb je z principu vždy doprovázen produkcí určitého množství pevných odpadů suspendovaných ve vodě – především výkalů. V tomto smyslu mají RAS v porovnání s klecovými a průtočnými technologiemi výraznou výhodu, neboť množství odpadní vody z RAS je mnohem nižší, zatímco možnosti efektivního zachycení pevných odpadů v systému je podstatně vyšší (van Rijn, 1996). Adekvátní ošetření (vyčištění) takové vody před vypuštěním je tedy mnohem účinnější, jednodušší a levnější (Blancheton a kol., 2007). Navzdory zlepšující se stravitelnosti předkládaných komerčních krmiv rybám se přibližně 15 % stravy přeměňuje na výkaly (Reid a kol., 2009) a v průměru 3 až 5 % není rybami vůbec zkonsumováno (Cromeý a kol., 2002; Bureau a kol., 2003). V případě RAS se dodatečná biomasa mikrobiálních nárostů uvolňuje z různých povrchů

technologie, především však z biofiltrů (van Rijn, 1996). Všechny tyto zdroje jsou obzvláště bohaté na obsah živin a organických látek (Chen a kol., 1997).

Kaly původem z RAS lze využít různými způsoby. Patrně nejčastěji se jedná o jejich využití jakožto hnojiva v zemědělství. Při tomto způsobu využití by měly být takové kaly nejprve náležitě odvodněny a stabilizovány (Bergheim a kol., 1998). Alternativními způsoby pak jsou výroba bioplynu (del Campo a kol., 2010), kompostování (Cripps a Bergheim, 2000) a vermikompostování (Marsh a kol., 2005). Vermikompostování je komplexní biologický a ekologický proces akcelerované biooxidace a stabilizace organického materiálu, který na rozdíl od tradičního kompostování zahrnuje společné působení žížal a mikroorganismů bez termofilní fáze. Zatímco mikroorganismy jsou zodpovědné především za biochemický rozklad organické hmoty, žížaly jsou rozhodujícím faktorem rozkladného procesu, protože provzdušňují a fragmentují substrát, čímž významně zvyšují mikrobiální aktivitu (Domínguez a Edwards, 2004). Využitelnost této biotechnologie byla prokázána u velmi širokého spektra organických substrátů (Edwards, 2004; Edwards a kol., 2010).

## 2. CÍL

Využitelnost vermikompostování jakožto způsobu eliminace kalů z RAS byla prozatím konkrétněji popsána pouze kolektivem Dr. Marshové (2005). V jejich studii však bylo hodnoceno pouze přežití a růst nasazených žížal v různě bohatých směsích kalů z RAS a rozdrčeného kartonu, což je pro celkové zhodnocení technologické proveditelnosti vermikompostování kalů z RAS a především evaluaci další využitelnosti získaných produktů (vermikompostu a biomasy žížal) zcela nedostatečné.

Cílem této technologie, založené na sérii vlastních testů a kritického zhodnocení dostupné literatury, bylo poskytnout robustnější poznatky o vermikompostovatelnosti kalů z RAS a sumarizaci zjištěných technologických doporučení. Vedle vlastní možnosti zpracování zmiňovaných odpadních kalů tímto ekologicky šetrným způsobem je pak zhodnocena i další využitelnost získaných vermikompostů a biomasy žížal.

## 3. MÍSTO OVĚŘENÍ TECHNOLOGIE

Vývoj a testování této technologie bylo umožněno díky široce pojaté spolupráci a uskutečněno ve Výzkumném ústavu rybářském a hydrobiologickém, Fakulty rybářství a ochrany vod Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích společně s následujícími subjekty: Pstruhařství Mlýny, Žár, FISH Farm Bohemia, s.r.o., Rokytno a Anapartners, s.r.o., Praha.



## 4. POPIS TECHNOLOGIE A VÝSLEDKY

### 4.1. Materiál a metodický postup

#### 4.1.1. Zhodnocení vermikompostovatelnosti kalů z RAS a posouzení kvality získaných vermikompostů a biomasy žížal

##### Substráty a násada žížal

V tomto testu byly využity tři kaly získané z komerčního RAS společnosti Pstruhařství Mlýny, Žár, Česká republika. Místa odběru dvou kalů se nacházela v samotném RAS. Těmi byly odtokový kanál za odchovnými jednotkami (dále značený jako "O") a ponořený biofiltr ("B"). Třetí kal pocházel z přilehlého sedimentačního rybníka ("R"), který slouží k dočišťování odpadní vody. Detailní popis tohoto odchového systému lze dohledat v publikaci Buřiče a kol. (2016).

Kal O byl získán pomocí sítěného nářadí v místech jeho sedimentace v odtokovém kanálu. Kal B byl soustředován pomocí výkonných čerpadel při odkalování jednotlivých sekcí biofiltru, přičemž byl postupně zachycován na dvou sítích s velikostí ok 1 a 2 mm. V případě kalu R byla manuálně seškrábnuta horní vrstva sedimentu poblíž místa vtoku odpadní vody z RAS do sedimentačního rybníka. Získané kaly B a R byly dále prosety přes nerezové síto s velikostí ok 6,5 mm s cílem eliminovat přítomnost velkých částic. Těmi byly především elementy samotného biofiltru (RK BioElements, RK Plast A/S, Skive, Dánsko), jež mají pro představu výšku 1,5 cm a průměr 1,45 cm. Za účelem odstranění přebytečné vody byly všechny získané kaly nakonec ponechány po dobu dvou hodin na uheltonových sítích s velikostí ok 109  $\mu\text{m}$ . Kompozice takto získaných kalů je uvedena v Tabulce 1. Není-li dále specifikováno jinak, byly uváděné analýzy provedeny v akreditované laboratoři. V případě obsahu sušiny, pH, vápníku, hořčíku, fosforu, draslíku a sodíku byly analýzy provedeny podle standardizovaných metod Zbírala a Honsy (2010). Obsah organické hmoty, organického uhlíku a celkového dusíku odpovídal metodologii Zbírala a kol. (2011). Obsahy vybraných těžkých kovů, konkrétně arzenu, kadmia, chromu, mědi, olova, rtuti, niklu a zinku, byly měřeny v akreditované laboratoři Státního veterinárního ústavu v Praze dle postupů uváděných Zbíralem (2011).

Vhodnost biologického materiálu pro vermikompostování je často určována jeho vlhkostí a poměrem vybraných živin, nejčastěji C:N. Navzdory druhově specifickým rozdílům v požadavcích obvykle využívaných druhů žížal se tyto parametry pohybují okolo 80% vlhkosti a 25:1 u C:N poměru (Elvira a kol., 1996; 1998; Ndegwa a Thompson, 2000). Čerstvě získané kaly z RAS mají zpravidla velmi nízký obsah sušiny a značný podíl dusíku, který se může vyskytovat ve volné, tedy pro žížaly toxické formě (Tab. 1). S cílem dosáhnout v tomto ohledu

lepších podmínek pro vermikompostování se doporučuje ke kalům přidávat suchý (vodu absorbující) uhlíkatý materiál. V našem případě bylo využito pšeničné slámy, která byla pro urychlení procesu vermikompostování nejprve nadrcena v kládívkovém šrotovníku. Pšeničná sláma byla vybrána s ohledem na její širokou dostupnost a nízkou cenu. Jedná se o nejčastěji pěstovanou obilovinu v ČR s přibližně 50% zastoupením (MZe, 2011) a je jednou z nejběžnějších obilovin i v globálním měřítku (Ray a kol., 2013). Kompozice užitě pšeničné slámy je též uvedena v Tab. 1.

**Tab. 1.** Vybrané fyzikálně-chemické charakteristiky použitých akvakulturních kalů (získané z O – odtokového kanálu za odchovnými jednotkami, B – ponořeného biofiltru, R – sedimentačního rybníka) a drcené pšeničné slámy. V posledním sloupci jsou vybrané národní a mezinárodní mezní hodnoty vybraných těžkých kovů v kalu, popř. kompostu či vermikompostu pro případ jejich využití v zemědělství. Hodnoty jsou vyjádřené v sušině.

Parametr	Kal O	Kal B	Kal R	Sláma	Limitní hodnota
Sušina (%)	9,87	15,20	30,90	86,60	
pH (H <sub>2</sub> O)	5,41	5,70	6,31	6,35	
pH (CaCl <sub>2</sub> )	5,24	5,46	6,09	6,10	
Organické látky (g.kg <sup>-1</sup> )	547,0	358,0	179,0	932,0	
Organický uhlík (g.kg <sup>-1</sup> )	482,8	314,1	160,0	719,9	
Celkový dusík (g.kg <sup>-1</sup> )	28,6	22,5	11,7	9,9	
C:N poměr	16,9	14,0	13,7	72,7	
Vápník (g.kg <sup>-1</sup> )	82,0	103,0	114,0	3,8	
Hořčík (g.kg <sup>-1</sup> )	9,6	10,1	12,9	0,97	
Fosfor (g.kg <sup>-1</sup> )	14,1	11,2	11,1	1,4	
Draslík (g.kg <sup>-1</sup> )	31,4	4,2	4,9	12,3	
Sodík (g.kg <sup>-1</sup> )	1,4	0,1	0,9	0,07	
Arzén (mg.kg <sup>-1</sup> )	4,02	5,26	5,29	0,04	50/10 <sup>a</sup> , 20 <sup>b</sup> , 30 <sup>c</sup>
Kadmium (mg.kg <sup>-1</sup> )	0,63	0,46	0,42	0,08	13/2 <sup>a</sup> , 2 <sup>b</sup> , 5 <sup>c</sup> , 39 <sup>d</sup> , 40 <sup>e</sup>
Chrom (mg.kg <sup>-1</sup> )	17,0	99,5	98,7	0,8	1 000/100 <sup>a</sup> , 100 <sup>b</sup> , 200 <sup>c</sup> , 1 200 <sup>d</sup>
Měď (mg.kg <sup>-1</sup> )	14,3	22,3	12,8	3,3	1 200/100 <sup>a</sup> , 100 <sup>b</sup> , 500 <sup>c</sup> , 1 500 <sup>d</sup> , 1 750 <sup>e</sup>
Olovo (mg.kg <sup>-1</sup> )	6,0	6,7	8,8	0,2	500/100 <sup>a</sup> , 100 <sup>b</sup> , 200 <sup>c</sup> , 300 <sup>c</sup> , 1 200 <sup>e</sup>
Rtuť (mg.kg <sup>-1</sup> )	0,049	0,044	0,041	0,009	10/1 <sup>a</sup> , 1 <sup>b</sup> , 4 <sup>c</sup> , 17 <sup>d</sup> , 25 <sup>e</sup>
Nikl (mg.kg <sup>-1</sup> )	13,3	47,9	48,2	0,6	200/50 <sup>a</sup> , 50 <sup>b</sup> , 100 <sup>c</sup> , 420 <sup>d</sup> , 400 <sup>e</sup>
Zinek (mg.kg <sup>-1</sup> )	1 386,6	974,6	647,3	15,9	3 000/300 <sup>a</sup> , 300 <sup>b</sup> , 2 500 <sup>c</sup> , 2 800 <sup>d</sup> , 4 000 <sup>e</sup>

<sup>a</sup> Nejvyšší přípustné množství sledovaných látek v sušině u surovin využívaných pro kompostování / Nejvyšší přípustné množství pro kompost I. třídy dle ČSN 46 5735;

<sup>b</sup> Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb. (v případě, že je na vermikomposty nahlíženo jako na „substráty“), <sup>c</sup> Vyhláška Ministerstva životního prostředí České republiky č. 437/2016 Sb., <sup>d</sup> Brinton (2000), <sup>e</sup> EU (1986).

# VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL

Násada žížal při nákupu označená jako *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) byla získána od komerčního dodavatele. Tento druh a *Eisenia andrei* (Bouché, 1972) jsou úzce příbuzné epigeické žížaly často využívané při vermikompostování (Karaca, 2010). Tyto žížaly byly na základě lišící se pigmentace nejprve popsány jako odlišné morfotypy prvně jmenované (André, 1963) a později označeny za poddruhy (Bouché, 1972). V současné době jsou považovány za dva samostatné druhy (Domínguez a kol., 2005), avšak jejich jednoznačná druhová identifikace využívající tradiční přístupy je náročná kvůli značné variabilitě ve sledovaných morfologických a anatomických znacích. Na základě lišící se sekvence mitochondriálního genu COI mezi zmiňovanými druhy (Pérez-Losada a kol., 2005) byla vyvinuta metoda umožňující jejich jednoznačné rozlišení (Dvořák a kol., 2013). Aplikace tohoto přístupu na násadu pořízených žížal jednoznačně prokázala, že se v našem případě jedná o druh *E. andrei* (J. Dvořák, os. sděl.). Násada od identického dodavatele byla následně využita i při všech následujících, níže popisovaných testech. S ohledem na rychlejší růst, reprodukci (Reinecke a Viljoen, 1991; Elvira a kol., 1996; Domínguez a kol., 2005) a vyšší obranyschopnost vůči patogenním mikroorganismům (Dvořák a kol., 2013), jež se mohou v kalu z RAS vyskytovat, se tento druh žížaly jeví pro dané účely jako výhodnější.

## Testovaná ošetření a inkubátory

Testované směsi substrátů tvořené 5, 10, 20 a 30 % sušiny výše zmiňovaných kalů z RAS byly ručně smíchány s drcenou pšeničnou slámou. Dále uváděné kódy jednotlivých testovaných variant odrážejí zastoupení užitého kalu, např. B20 pro variantu obsahující 20 % kalu pocházejícího z biofiltru (B). Samotná pšeničná sláma sloužila jako kontrola. Každá varianta byla testována ve třech opakováních po 200 g sušiny s počáteční vlhkostí 75 % (tj. 800 g vlhké hmotnosti). Identická iniciální vlhkost testovaných směsí byla dosažena přidávkem příslušného množství destilované vody.

Substráty byly umístěny v experimentálních inkubátorech (Obr. 1), které byly vyrobeny z polypropylenového (PP) odpadní HT potrubí s vnitřním průměrem 12,5 cm a celkovou výškou 22,5 cm. Ve spodní části byl rozpůlenou přesuvkou fixován uhelon s velikostí ok 109  $\mu\text{m}$ . Toto síto zamezovalo úniku žížal a zajišťovalo případný odtok přebytečné vody. Částečná výměna vzduchu byla umožněna přes zátku umístěnou v horní části inkubátoru. V jejím středu byl vyvrtán otvor o průměru 2,2 cm, jenž byl rovněž překryt identickým uhelonem. Naplněné inkubátory byly postaveny na PP misky o průměru 17 cm, které zachycovaly případnou přebytečnou vodu.



**Obr. 1.** Rozložený (vlevo) a složený (vpravo) trubkový inkubátor využívaný během testování. Patrná je přítomnost uhelonu upevněného ve spodní části složeného inkubátoru (Foto: A. Kouba).

#### Nasazení žížal, teplotní a vlhkostní režim substrátů

Namíchané substráty byly kvůli obavám o přežití násady žížal ve variantách s vyšším obsahem kalů, a s tím souvisejícím vysokým koncentracím amoniaku, ponechány po dobu jednoho týdne v místnosti s průměrnou teplotou ( $\pm$  SD)  $14,4 \pm 0,3$  °C. Teplota samotných substrátů byla mírně vyšší ( $15,5 \pm 0,5$  °C). Teplota vzduchu v místnosti a substrátech byla zaznamenávána pomocí registračních teploměrů s hodinovým záznamem. Po týdenním předkompostování byly inkubátory jednotně osazeny velikostně vyrovnanými dospělci *E. andrei* v počtu 10 ks na inkubátor. Dospělé jedince bylo možné snadno určit na základě přítomnosti klitela – opasku (Obr. 2).

# VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL



**Obr. 2.** *Násadový materiál E. andrei – patrná je přítomnost opasku (klitela) charakteristického pro dospělé jedince (žluté šipky) (Foto: A. Kouba).*

Před započítáním testu byly všechny nasazované žížaly individuálně zváženy. Žížaly byly šetrně vyjmuty z původního substrátu a položeny na vlhký papír, čímž byly zbaveny většiny nečistot na svém povrchu. Zbytek ulpělých částic byl odstraněn ručně pomocí jemné entomologické pinzety. Vlastní vážení probíhalo na analytických vahách s přesností na 1 mg. Počáteční individuální hmotnost nasazených žížal byla mezi jednotlivými inkubátory identická (Anova,  $F_{38,351} = 0,030$ ,  $p = 1,0$ ) a v průměru činila  $399,3 \pm 88,7$  mg. Inkubátory byly poté umístěny po dobu jednoho týdne v místnosti s teplotou  $18,7 \pm 0,5$  °C, teplota vlastních substrátů byla vzhledem k již probíhajícím rozkladným procesům mírně vyšší ( $19,5 \pm 0,6$  °C). Nakonec byla teplota zvýšena a držena až do ukončení testu na  $27,0 \pm 1,5$  °C. Místnost s uloženými inkubátory byla zatemněná a uložení jednotlivých inkubátorů bylo v průběhu testu náhodné. Vlhkost substrátů byla v průběhu testu hodnocena subjektivně během jejich kontrol (termíny dále v textu). Za vyhovující byla vlhkost považována v případě, kdy se při stlačení vzorku substrátu mezi prsty objevilo několik kapek vody. V případě potřeby byl povrch substrátu zvlhčen vodou shromážděnou v příslušné PP misce pod inkubátorem. Při její nepřítomnosti byla za tímto účelem využita destilovaná voda, k čemuž však docházelo pouze výjimečně, neboť naprostá většina vody na vnitřních stěnách inkubátorů kondenzovala a celkový odpar byl tedy nízký.

### Přežití, růst a reprodukce žížal

S cílem zhodnotit iniciální přežití nasazených žížal byla jejich přítomnost zhodnocena již po prvním týdnu vermikompostování. Následující kontroly substrátů probíhaly každý sudý týden, kdy byla vedle jejich přežití hodnocena i individuální hmotnost nasazených jedinců a reprodukce (počet přítomných kokonů a juvenilů). Kokony jsou charakteristické svou žlutou až světlehnědou barvou a mají tvar malého citrónu. Individuální hmotnost nasazených žížal byla sledována až do konce 16. týdne testu. Později již nebylo možné spolehlivě rozlišit původně nasazené žížaly a jejich potomstvo. Test byl ukončen na konci 18. týdne. Počet juvenilů na konci testu reprezentuje všechny volně žijící jedince, tj. převážně juvenil, ale také přeživší iniciálně nasazené dospělé a nízký počet jejich dospělých potomků (jejich přesné počty nejsou známy).

### Obsah těžkých kovů ve finálních vermikompostech a biomase žížal

Z testovaných substrátů byly ručně vybrány všechny přítomné žížaly (včetně kokonů). Vlastní finální vermikomposty byly analyzovány identickým způsobem jako vstupní kaly z RAS a sláma (viz Tab. 1). Separování juvenilní jedinci a dospělci byli ponecháni po dobu 24 hodin v plastových krabičkách (16 x 11,5 x 6 cm) obsahujících navlhčený filtrační papír při teplotě  $21,6 \pm 0,5$  °C. Tím byla umožněna jejich defekace předcházející analýzám na obsah vybraných těžkých kovů.

### Obsah těžkých kovů v krmivu a rybách na farmě

Vedle vstupních substrátů, finálních vermikompostů a biomasy žížal byl obsah vybraných těžkých kovů sledován i v nejčastěji používaných krmivech, které byly na farmě využívány především při odchovu dominantně produkované ryby – pstruha duhového *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). V případě krmiv se jednalo vždy o tři různé šarže Efico Enviro 920 3 mm a Orbit 929 4,5 mm, BioMar A/S, Dánsko. U ryb byl analyzován filet ze tří jedinců o kusové hmotnosti ryby cca 0,5 kg. Analýza zmiňovaných matic umožňuje komplexní pohled na dynamiku obsahů těžkých kovů v tomto typu odchovu, a především dovoluje zhodnocení hygienické kvality žížalí biomasy jakožto alternativního krmiva ryb (při porovnání s obsahy v komerčních směsích a přítomnosti v rybí svalovině, včetně příslušné legislativy).

### Statistická analýza

Míra přežití násadového materiálu byla vyjádřena jako procento přeživších jedinců v daném čase. Takto získané hodnoty byly před dalším statistickým hodnocením arc-sin-transformovány. Normalita a homoskedasticita jednotlivých sledovaných parametrů napříč skupinami byla hodnocena

# VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL

Kolmogorov-Smirnovovým, potažmo Cochranovým C testem. V případě splnění předpokladů pro použití parametrických testů byla pro porovnání sledovaných parametrů jednotlivých skupin využita jednocestná ANOVA, v případě signifikance následována Tukeyovým HSD *post-hoc* testem. Neparametrický Kruskal-Wallisův test následovaný vícenásobným porovnáním průměrného pořadí všech skupin byl aplikován pouze v případě počtů kokonů. Data byla analyzována za použití programu Statistica 12.0 (StatSoft, Inc.). Nulová hypotéza byla ve všech testech zamítnuta na hladině významnosti  $\alpha < 0,05$ . Všechna data jsou prezentována jako průměr  $\pm$  SD (není-li specifikováno jinak).

## 4.1.2. Akutní toxicita čerstvých kalů z RAS na násadu žížal

---

Technologicky nejjednodušší možností je, pokud i čerstvě získaný kal z RAS aplikovaný do/na suchý uhlíkatý substrát (např. drcenou slámu) je pro násadu žížal nasazených do vermikompostovacího procesu teplotně přijatelný (nepřehřívá se) a je netoxický (např. příliš vysoké koncentrace volného amoniaku). Tím se eliminují případné náklady spojené s procesem předkompostování (viz např. test 4.1.1. popsaný výše). Je však pravdou, že proces předkompostování je v praktických podmínkách obvykle realizovaný z důvodu průběhu termofilní fáze (substrát se z pohledu žížal přehřívá), jež se samovolně iniciuje především ve větších zakládkách. Čerstvé kaly z RAS je ale možné využít i pro dodatečné vlhčení již běžících, prosychajících vermikompostů. Kvalitativní parametry jednotlivých kalů v rámci daného RAS (Tab. 1) a především mezi různými odchovy (Tab. 2) se mohou výrazně lišit. Především před nasazením žížalí násady do čerstvě připraveného substrátu je tak vhodné zhodnotit jeho akutní toxicitu vůči násadě, jak uvádíme v této práci v rámci popsaného testu využívajícího čerstvé kaly z RAS.

V tomto testu byla zhodnocena akutní toxicita čerstvě získaných kalů z RAS pocházejících od tří subjektů: 1) Pstruhařství Mlýny, Žár, 2) FISH Farm Bohemia, s.r.o., Rokytno a 3) Anapartners, s.r.o., Praha. V případě prvně zmiňovaného byly zhodnoceny tři typy kalů pocházejících z různých technologických částí téhož RAS, u zbývajících se jednalo vždy o jeden směsný kal získaný z kalové jímky. Tyto kaly byly smíchány s drcenou pšeničnou slámou užitou ve výše popsaném testu (Tab. 1). Vybrané fyzikálně-chemické charakteristiky těchto kalů jsou sumarizovány v Tab. 2.

Zastoupení jednotlivých kalů získaných na Pstruhařství Mlýny, Žár, bylo následující: 20, 30, 40, 50, 60 a 70 % sušiny kalu z odtokového kanálu za odchovnými jednotkami, 10, 20, 30 a 45 % sušiny kalu z ponořeného biofiltru a 20, 30, 40, 50, 60 a 70 % sušiny kalu z přilehlého sedimentačního rybníka. U kalu z biofiltru nebylo možné kvůli nízkému obsahu sušiny vytvořit

variantu na kal bohatší. Čistě slámová varianta byla považována za kontrolní skupinu. Každá varianta byla smíchána tak, aby bylo finálně dosaženo množství 40 g sušiny. Při iniciační vlhkosti 75 % se jednalo o 160 g čerstvého substrátu. Požadovaná identická vlhkost byla dosažena přidávkem destilované vody. Každá připravená varianta substrátu byla rovnoměrně rozdělena do tří potravinářských PP vaniček (= opakování) o objemu 250 ml (Obr. 4) a přisazeno bylo po deseti dospělých *E. andrei* o průměrné kusové hmotnosti  $379,3 \pm 60,0$  mg (zástupný vzorek  $n = 30$ ). Vaničky byly uzavřeny víčky, která byla pro zajištění alespoň částečné výměny vzduchu opatřena 22 rovnoměrně rozloženými otvory vytvořenými ocelovým hrotem o průměru 1,1 mm, a drženy při pokojové teplotě. Přežití nasazených dospělých žíhal bylo vyhodnoceno po 48, 96 a 168 hodinách.

Zastoupení čerstvých kalů z RAS společností FISH Farm Bohemia, s.r.o., a Anapartners, s.r.o., bylo 5, 10, 15, 20 a 25, resp. 5, 10, 15, 20, 25, 30 a 35 % sušiny. Průměrná kusová hmotnost žíhalí násady byla  $315,1 \pm 68,7$ , resp.  $326,9 \pm 80,1$  mg (zástupné vzorky  $n = 60$ ). Každá varianta byla testována v šesti opakováních. Přežití nasazených dospělých žíhal bylo vyhodnoceno po 24, 48, 96 a 168 hodinách. V ostatních parametrech byly podmínky testu identické.

**Tab. 2.** Vybrané fyzikálně-chemické charakteristiky čerstvých akvakulturních kalů získaných z podniku Pstruhařství Mlýny, Žár (pocházející z O – odtokového kanálu za odchovnými jednotkami, B – ponořeného biofiltru a R – sedimentačního rybníka téhož RAS) a společností FISH Farm Bohemia, s.r.o., Rokytno a Anapartners, s.r.o., Praha. Hodnoty jsou vyjádřené v sušině.

Parametr	Pstruhařství Mlýny			FISH Farm Bohemia, s.r.o.	Anapartners, s.r.o.
	O	B	R		
Sušina (%)	31,9	14,0	31,5	8,89	9,30
pH (H <sub>2</sub> O)	6,30	5,90	6,94	5,47	5,50
pH (CaCl <sub>2</sub> )	6,12	5,62	6,57	5,33	5,39
Organické látky (g.kg <sup>-1</sup> )	162,0	259,0	102,0	832	866
Organický uhlík (g.kg <sup>-1</sup> )	134,0	242,2	92,9	665,6	692,8
Celkový dusík (g.kg <sup>-1</sup> )	7,0	21,6	7,4	59,2	100,8
C:N poměr	19,1	11,2	12,5	11,2	6,9
Vápník (g.kg <sup>-1</sup> )	35,9	58,4	21,5	23,8	40,4
Hořčík (g.kg <sup>-1</sup> )	8,9	11,1	6,4	2,6	2,2
Fosfor (g.kg <sup>-1</sup> )	8,8	12,4	7,0	17,3	24,8
Draslík (g.kg <sup>-1</sup> )	5,5	5,4	8,9	2,5	2,4
Sodík (g.kg <sup>-1</sup> )	0,85	1,3	1,0	4,3	3,2
Arzén (mg.kg <sup>-1</sup> )	10,2	17,7	17,1	-	-
Kadmium (mg.kg <sup>-1</sup> )	1,1	2,5	1,3	0,5	0,7
Chrom (mg.kg <sup>-1</sup> )	61,8	142,6	135,9	13,7	4,7



**VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH  
AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ  
KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL**

Parametr	Pstruhařství Mlýny			FISH Farm	Anapartners,
	O	B	R	Bohemia, s.r.o.	s.r.o.
Měď (mg.kg <sup>-1</sup> )	40,8	86,3	62,9	85,2	50,6
Olovo (mg.kg <sup>-1</sup> )	16,4	38,1	42,7	< 2,0	< 2,0
Rtuť (mg.kg <sup>-1</sup> )	0,07	0,19	0,14	0,08	0,06
Nikl (mg.kg <sup>-1</sup> )	45,2	65,3	70,1	59,6	3,2
Zinek (mg.kg <sup>-1</sup> )	2187	5112	3036	907	609



**Obř. 3.** Nahoře 250ml PP potravinářské krabičky použité v testu akutní toxicity čerstvých kalů z RAS na násadu žížal *E. andrei*, zde konkrétně tři opakovaní varianty s 50 % sušiny kalu z biofiltru. Dole série substrátů na počátku testu (Foto: A. Kouba).

### 4.1.3. Porovnání vermikompostování kalů z RAS aplikovaných do krmných vrstev a prolévání slámového lože

Venkovní uspořádání vermikompostovaných surovin do řádků nebo hromad na volném prostranství je klasickým a nejjednodušším typem vermikompostování. Tento způsob vermikompostování je technicky jednoduchý a nenáročný na investice. Hromady není potřeba překopávat či obracet, je pouze nezbytné sledovat vlhkost a zajistit v případě potřeby jejich zavlažení. Nejčastěji využívanou variantou vermikompostování na volném prostranství v jednorázově založených hromadách je postup s tzv. „přikrmováním žížal“. Při tomto postupu jsou zpracovávány suroviny dle potřeby přidávány na povrch hromady ve vrstvách. Žížaly se následně stěhují do vyšších vrstev za potravou a dochází ke konzumaci předloženého substrátu. Nevýhodou tohoto způsobu je vyšší množství prováděných pracovních operací (kontinuální přísun surovin). Vliv povětrnostních podmínek na vermikompostovací proces (větší ochlazování a osychání svrchní vrstvy hromady) není velký, ale přesto bývá vermikompostovací proces zpomalen a nezbytná doba pro odběr hotového vermikompostu se prodlužuje. V zimě zmrzne jen povrchová vrstva a žížaly uvnitř vermikompostu většinou normálně zpracovávají bioodpad a při vyšší teplotě se i množí (Hanč a Plíva, 2013).

Nevýhodou kalů pocházejících z RAS je obvykle jejich vysoký obsah vody. Schopnost dalších přidávaných substrátů držet vodu pak definuje úroveň, v jaké mohou být tyto kaly maximálně aplikovány. Možným řešením je kombinování kalů z RAS se suchým substrátem vázajícím vodu (např. drčenou slámou, podkapitola 4.1.1.). Jedním z důležitých parametrů sledovaných v průběhu vermikompostování je vlhkost substrátů. V případě zvýšeného prosychání je tedy nutná pravidelná závlaha. Tato skutečnost otevírá možnost vytvoření slámového lože (z důvodu jeho lepší aerace v nedrceném stavu), na něž jsou plošně vodnaté kaly z RAS aplikovány, čímž odpadá nutnost jednotlivé složky navzájem promíchat. Porovnání těchto dvou přístupů bylo provedeno v následujícím testu.

Pro tento test realizovaný na Pstruhařství Mlýny, Žár, bylo využito šesti kruhových nádrží o průměru 74 a užité výšce 55 cm (Obr. 4). Nádrže měly ve svém středu vystavenou trubku v dolní části opatřenou nerezovým sítem s velikostí ok 150  $\mu\text{m}$  pro zajištění odtoku případně přebytečné vody a zároveň zabránění úniku nasazených dospělých žížal. Užité plocha po odečtení středové trubky a mezikruží šesti vzorkovacích trubek (viz níže) byla cca 4 186  $\text{cm}^2$ . Šestnáctého května byly tyto kruhové nádrže naplněny buďto namíchanými **krmnými vrstvami (KV)** z nadrcené pšeničné slámy (Tab. 1) o iniciálním zastoupení 20 % sušiny směsných kalů z RAS, nebo v nich bylo

# VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL

vytvořeno **slámové lože (SL)** z celé ovesné slámy (v tu dobu v provozních podmínkách nejnáze dostupná, iniciační vlhkosti vytvořených substrátů 75 %). Při prvním plnění kruhových nádrží substráty bylo v případě varianty KV užito po 6 kg, a u varianty SL po 7,5 kg sušiny příslušné slámy. Po čtrnáctidenním předkompostování byli nasazeni dospělci žížal *E. andrei* v množství 200 ks na nádrž (iniciační hmotnost zástupného vzorku  $386,1 \pm 61,6$  mg,  $n = 37$ ). Ve variantě KV docházelo k pravidelnému přidávání nových substrátů (2 kg sušiny) o identické kompozici v době 4, 8 a 12 týdnů po nasazení, u varianty SL bylo přidáváno týdně 200 g sušiny kalu na povrch slámového lože. V obou variantách tedy bylo užito stejné množství sušiny kalů (2,4 kg) na nádrž. I v tomto případě bylo přidávání nové hmoty ukončeno 12. týden, přičemž celý test byl ukončen po 16 týdnech. V případě prosychání substrátů byla pro vlhčení využívána do věder odkapaná přebytečná voda z vermikompostu, v případě jejího výjimečného nedostatku byla využita voda z RAS. Všechny substráty byly zakryty černou netkanou textilí (pro zamezení nadměrného pronikání světla a tím i zatrávňování nejvýše položených vrstev substrátu pro žížaly) a celé nádrže pak plexisklem s cílem omezit výpar vody (Obr. 4). Dvě opakování obou varianty substrátů byla osazena registračními teploměry, pro účely prezentace dat byly z těchto záznamů vytvořeny průměrné hodnoty za každou variantu. Zároveň byla sledována i teplota okolního vzduchu.

Žížalí populace byly kontrolovány každé dva týdny od nasazení. Pro tento účel byly všechny kruhové nádrže rovnoměrně osazeny šesti svislými PP trubkami systému KG (Obr. 4) o vnitřním průměru 12,5 cm (plocha každé trubky tak byla cca 122,8 cm<sup>2</sup>, což představuje přibližně 2,93 % celkové užité plochy kruhové nádrže). V plášti každé trubky bylo vytvořeno 6 podélných otvorů, aby byla zajištěna volná prostupnost celého profilu substrátu pro žížaly (Obr. 4). Tyto vzorkovací trubky byly označeny písmeny A až F, přičemž pro účely kontroly (zhodnocení subpopulace žížal v substrátu jimi vymezeném) v daném termínu byly využity pouze tři z nich (např. A, C a E). Následující kontrola žížal pak byla založena na zhodnocení subpopulace žížal v trubkách B, D a F. V jednotlivých termínech tak byly kontrolovány substráty v trubkách, ve kterých nebyly žížaly po dobu 28 dnů rušeny. Při každé kontrole byl formou přebírání substrátu v trubkách zjištěn počet dospělců. Ti byli po odstranění nečistot z jejich povrchu individuálně zváženi na kapesních vahách. Zaznamenan byl rovněž počet kokonů a juvenilů. Na konci testu byly přebrány substráty ze všech trubek a v případě jednoho opakování obou variant (KV i SL) také ½ zbylého substrátu. Jednalo se o polovinu kruhové nádrže s umístěním trubek D až F a pozorované počty byly porovnány s predikcí získanou z průměru všech vzorkovacích trubek.



**Obr. 4.** Nahoře série kruhových nádrží umístěná na Pstruhařství Mlýny, Žár. Uprostřed vlevo varianta substrátu s **krmnými vrstvami (KV)** z drčené pšeničné slámy a RAS kalů. Uprostřed vpravo varianta využívající **slámové lože (SL)** před aplikací kalů. Dole vlevo nasazování žížal do varianty KV. Dole vpravo zakrytí substrátů černou netkanou textilií a plexisklem (varianta SL) (Foto: A. Kouba).

# VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL

## 4.1.4. Ověření vermikompostování kalů z RAS v praxi

---

Pro ověření vermikompostovatelnosti kalů z RAS v praxi blízkých podmínkách byla vytvořena dřevěná rámová konstrukce o rozměrech 191 x 205,5 cm (plocha 3 925 m<sup>2</sup>), jež byla vyložena silnostěnnou netkanou textilií zamezující přímému kontaktu vermikultury s okolním prostředím. Cílem bylo zamezit vniknutí predátorů žížal, jiných druhů žížal, potažmo významnějšímu úniku chovaných žížal. Nutno podotknout, že pomineme-li polní vermikompostování, jsou za tímto účelem často využívány vybetonované nebo vypanelované plochy, například nevyužívané silážní jámy a stáje. Výše popsaná rámová konstrukce byla 19. září naplněna 120 kg celé ovesné slámy a 120 kg čerstvého směsného kalu z RAS (Obr. 5). Jedná se o navážky v čerstvé hmotě. Při této příležitosti byly diagonálně do dvou protilehlých rohů a středu umístěny tři svislé trubky z odpadního systému KG s podélnými otvory po svém obvodu tak, aby byla zajištěna volná prostupnost substrátu pro žížaly (analogicky s testem popsaným v podkapitole 4.1.3.). Jejich vnitřní průměr byl 19 cm (plocha každé trubky je tak 0,0284 m<sup>2</sup>, což představuje 0,72 % plochy celého vermikompostu). Poté byla po dobu 96 dnů měřena mocnost substrátu (jeho postupné sléhání) a v hloubce cca 25 cm vpichovacím teploměrem také teplota (v 8:00 ráno). Po překonání termální fáze rozkladu (31. září, 13. den) bylo přistoupeno k plošnému vysazení 2 000 dospělců žížal *E. andrei*. Devátého října (52. den) bylo přidáno opět 120 kg celé ovesné slámy a 120 kg čerstvého směsného kalu a 23. října (66. den) byl zkontrolován stav žížalí násady pomocí přebrání substrátů ze vzorkovacích trubek. Dvacátého čtvrtého listopadu (98. den) bylo přidáno dalších 80 kg celé ovesné slámy a 60 kg čerstvého směsného kalu z RAS (jeho obsah sušiny byl oproti předchozím termínům vyšší). V průběhu zimního období byl tento krok ještě dvakrát zopakován. Na konci května následujícího roku byl zhodnocen stav populace žížal v kontrolních trubkách. Stanoven byl počet a hmotnost dospělců, počet kokonů a juvenilů. Dospělci a juvenilové byli poté ponecháni v plastových krabičkách s navlhčeným filtračním papírem při pokojové teplotě po dobu 24 hodin. Tím byla umožněna defekace většiny zažitiny, která posléze nevstoupila do analýzy obsahu tuku a kompozice mastných kyselin v žížalí biomase. Pro porovnání byly identické parametry zhodnoceny i v rybím krmivu a svalovině pstruha duhového. Postupováno bylo dle metodiky popsané v práci Mráze a Pickové (2009). Po odebrání byly vzorky zmrazeny a uchovávány při -80 °C. Před vlastní analýzou byly vzorky částečně rozmrazeny a homogenizovány stolním kutrem. Lipidy ze vzorků byly extrahovány hexan-isopropanolem (Hara a Radin, 1978). Mastné kyseliny byly metylovány (Appelqvist, 1968) a následně analyzovány plynovou chromatografií (Varian CP3800, Stockholm, Švédsko) vybavenou

plameno-ionizačním detektorem se split injektorem a osazenou (50 mm délka x 0,22 mm průměr x 0,25  $\mu\text{m}$  tloušťkou filmu BPX 70) kapilární kolonou (SGE, Austin, TX, USA) (Fredriksson Eriksson a Pickova, 2007). Mastné kyseliny byly identifikovány porovnáním retenčního času se standardem GLC-461 (Nu-Check Prep, Inc., Elysian, MN, USA).



**Obr. 5.** *Ověřovací vermikompost založený na Pstruhařství Mlýny, Žár. Diagonálně jsou umístěny vzorkovací trubky pro průběžné vyhodnocování rozvoje žížalí populace (Foto: A. Kouba).*

## 4.2. VÝSLEDKY

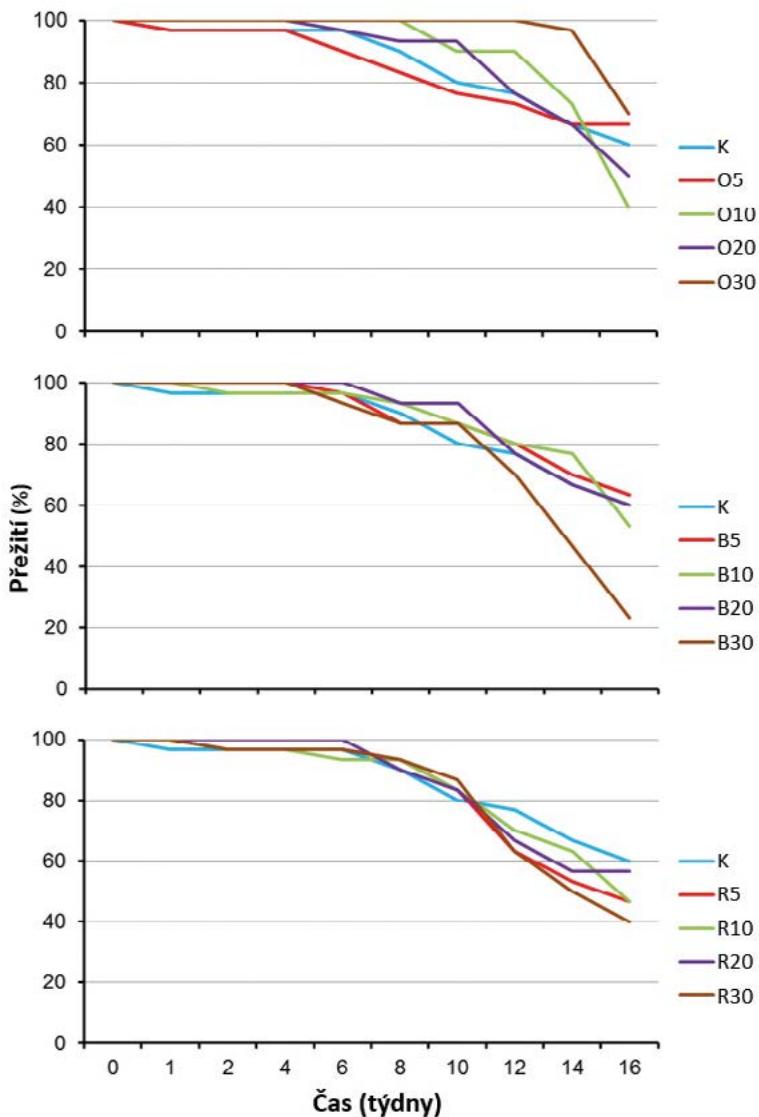
### 4.2.1. Zhodnocení vermikopostovatelnosti kalů z RAS a posouzení kvality získaných vermikompostů a biomasy žížal

Vysoké iniciální přežívání žížalí násady je primárním indikátorem přijatelnosti poskytnutých substrátů pro násadu žížal a nezbytným předpokladem jejich reprodukce, jež jsou pro zdárný průběh procesu vermikompostování klíčové. Až do šestého týdne bylo přežití násady napříč testovanými substráty vyšší než 90 % (Obr. 6). Statisticky významné rozdíly byly pozorovány pouze mezi ošetřením O30 s nulovou mortalitou násady a skupinami B30 a R5-10 ve 12. týdnu. Konečné hodnoty přežití násady v 16. týdnu se obvykle pohybovaly

## VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL

v rozmezí od 40 do 70 % (Příloha 1). Vzhledem k absenci iniciální mortality i v substrátech s nejvyšším zastoupením kalů z RAS (Obr. 6) nebylo jejich týdenní předkompostování pravděpodobně nutné. Uvažovat lze i o zvýšení podílu aplikovaných kalů, to však nezřídka naráží na technologické možnosti farem produkovat více odvodněné kaly. V případě vysazení násady žížal do nevhodných životních podmínek (substrátů) může dojít k jejich úhynu, jak bývá dokumentováno např. v případě čerstvého hnoje či kejdy. Masivní úhyny žížalí násady často souvisejí s limitujícími faktory, jako jsou např. nevhodné pH, vysoké koncentrace amoniaku, vysoká vlhkost (tj. nízká aerace substrátu), vysoké teploty nebo velké množství anorganických solí (Gunadi a Edwards, 2003; Edwards, 2004; Yadav a kol., 2010). Námi pozorované iniciální hodnoty přežití násady žížal nejsou snadno porovnatelné s výsledky Marshové a kol. (2005), neboť jejich studie vychází z násady již adaptované na kaly z RAS (adaptované po nespécifikovanou dobu, přinejmenším v případě jejich druhého experimentu). V jejich případě byly kaly navíc před použitím zmrazeny, což může ovlivnit jejich akutní toxicitu vůči žížalám).

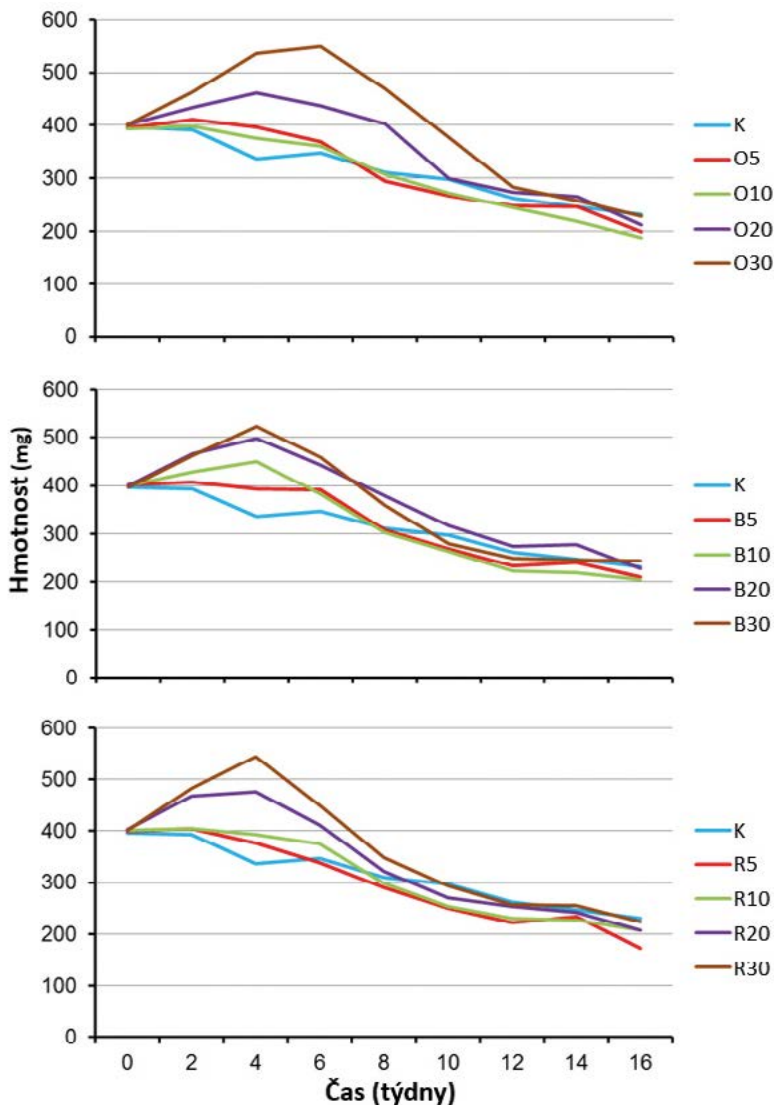
Průměrná individuální hmotnost žížal v kontrolní skupině po nasazení klesala (Obr. 7), což není při bližším zhodnocení překvapivé. Násadové žížaly pocházely z živinově a potravně velmi bohatého prostředí (od dlouhodobě zavedeného chovatele) a v testu byly nasazeny do relativně chudého substrátu. Totéž lze v podstatě říci i o skupinách s obsahem 5 a 10% kalů z RAS, kde hmotnost zůstala přinejmenším do prvního převážení (druhý týden vermikompostování) konstantní a pouze v některých případech mírně vzrostla. V bohatších substrátech (20 a 30% zastoupení kalů) však byl pozorován nárůst průměrné individuální hmotnosti. Po čtyřech týdnech vermikompostování však došlo k poklesu hmotnosti dospělců napříč skupinami (Obr. 7), což lze přisuzovat mj. významnému rozvoji reprodukce a související energeticky náročné produkci kokonů (viz níže). Při porovnání s kontrolní skupinou byla individuální hmotnost nasazených žížal v alespoň jednom substrátu s přidaným kalem vyšší v období mezi druhým a desátým týdnem vermikompostování. Skupina O30 dosahovala průkazně vyšších hodnot než B30 a R30 mezi šestým a desátým týdnem. Finální individuální hmotnosti nasazených žížal byly napříč testovanými skupinami podobné (Příloha 2).



**Obr. 6.** Přežití násadového materiálu žižal (dospělců *E. andrei*) v kontrolním substrátu z drcené pšeničné slámy (K) a ve variantách s kaly z RAS získanými z O – odtokového kanálu za odchovnými jednotkami, B – ponořeného biofiltru a R – sedimentačního rybníka s iniciálním zastoupením 5, 10, 20 a 30 % v sušině. Data jsou prezentována jako průměry.



# VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL

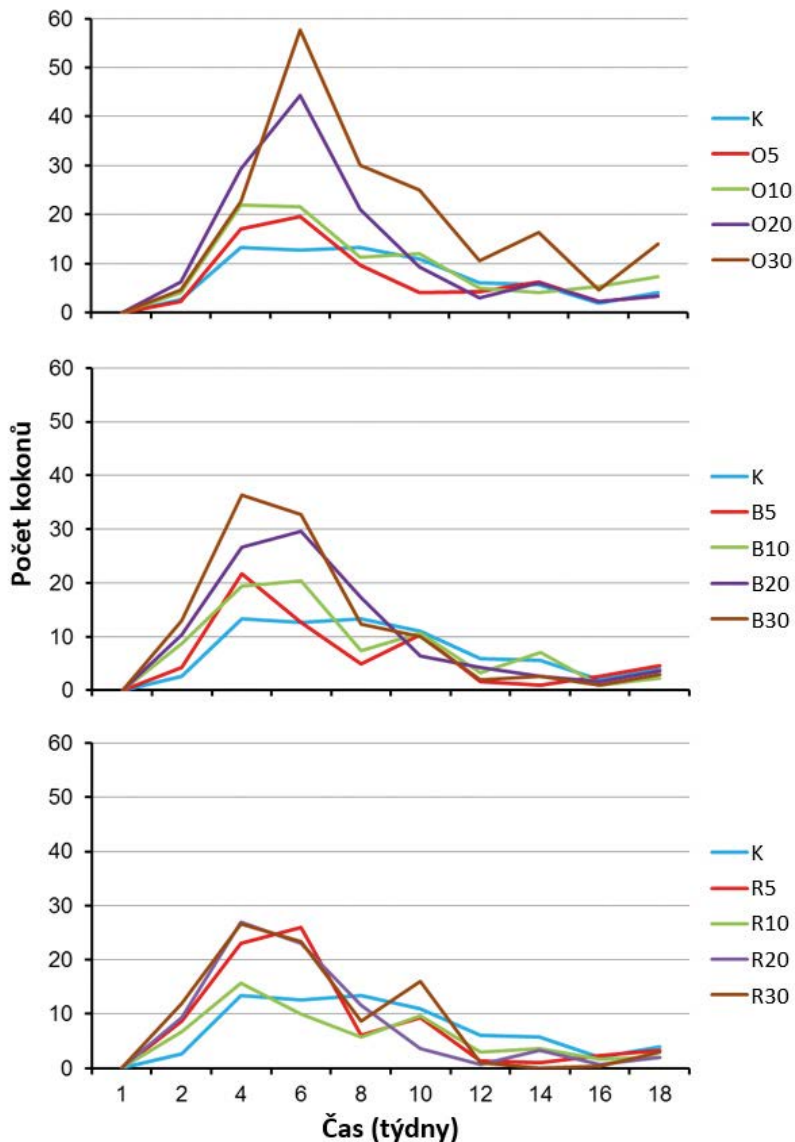


**Obr. 7.** Individuální hmotnost násadového materiálu žížal (dospělců *E. andrei*) v kontrolním substrátu z drcené pšeničné slámy (K) a ve variantách s kaly z RAS získanými z O – odtokového kanálu za odchovnými jednotkami, B – ponořeného biofiltru a R – sedimentačního rybníka s iniciálním zastoupením 5, 10, 20 a 30% v sušině. Data jsou prezentována jako průměry.

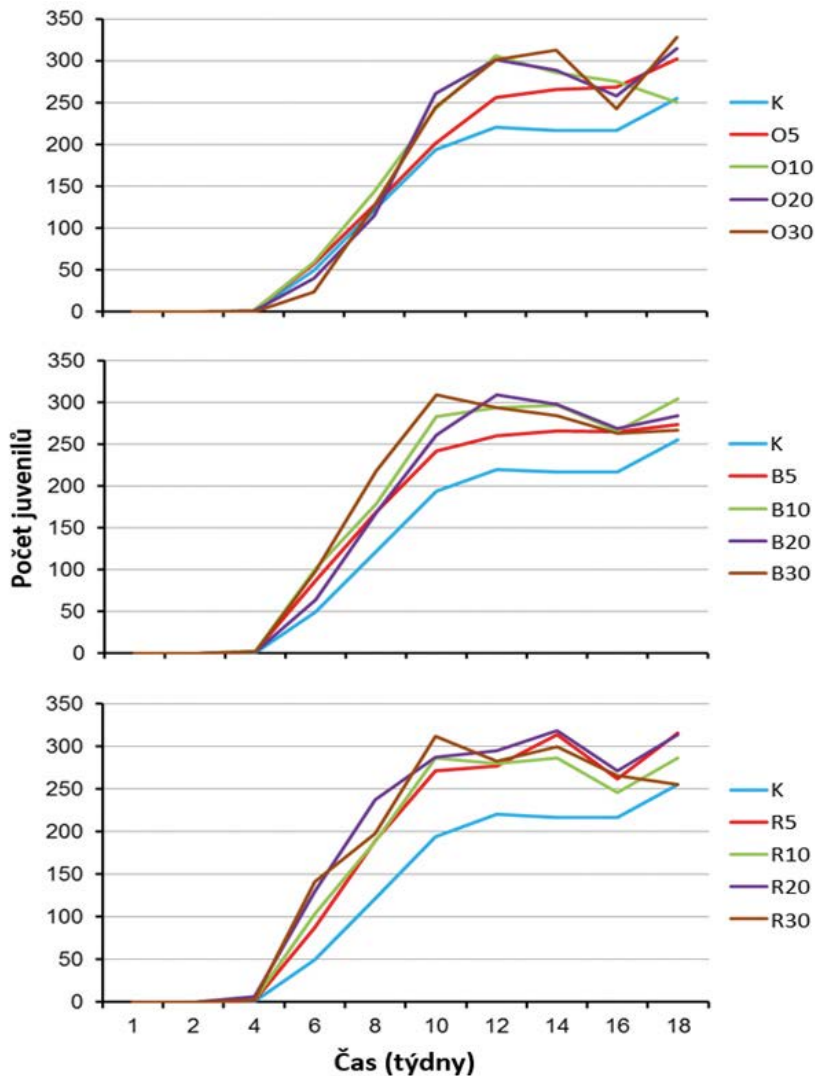
Počty kokonů, jež byly poprvé zaznamenány při kontrole ve druhém týdnu vermikompostování, významně vzrostly mezi čtvrtým a šestým týdnem testu. Tento trend byl jasně patrný při porovnání substrátů obsahujících kaly z RAS a kontrolní skupinou. Substráty s kaly z odtokového kanálu za odchovnými jednotkami a biofiltru dosahovaly vyšších počtů nakladených kokonů, než ty s kalem z rybníka (Obr. 8). Později začaly počty přítomných kokonů klesat a dosahovaly napříč testovanými skupinami podobných hodnot. Po dvanáctém týdnu vermikompostování byly v inkubátorech nacházeny již jen jednotlivé kokony (Příloha 3). Juvenilové byly poprvé pozorovány ve čtvrtém týdnu. Poté následoval rychlý nárůst jejich početnosti s maximem v období desátého a dvanáctého týdne, kdy v průměru bylo nezřídka nalezeno více než 300 juvenilů na inkubátor (Obr. 9). Později byly jejich počty relativně stálé v substrátech s přidavkem kalů z RAS, v kontrole však měla jejich početnost sestupnou tendenci (Příloha 4). Nárůst počtu juvenilů mezi 16. a 18. týdnem lze částečně vysvětlit započtením původně nasazených dospělců, jejich poslední známé průměrné počty (v 16. týdnu pokusu) se pohybovaly na úrovni cca dvou až sedmi jedinců na inkubátor (Příloha 1). Podstatně významnější roli ale patrně sehrála pečlivost, se kterou byly separovány vermikomposty a žížaly při ukončení testu. Obě matrice totiž byly následně analyzovány viz níže.

Získané poznatky o přežití a individuálním růstu násadového materiálu žížal a jejich reprodukci potvrzují vhodnost kalů z RAS pro vermikompostování. Především reprodukční ukazatele (počty kokonů a juvenilů) dokládají pozitivní vliv živinové bohatosti (z testovaných typů byl v tomto ohledu rybníční kal nejméně vhodný) a iniciálního zastoupení kalů v testovaných substrátech. Pokles individuální hmotnosti nasazených žížal a produkce kokonů je typický pro uzavřené chovatelské podmínky, jež na rozdíl od semi-kontinuálních a kontinuálních systémů odchovu nedovolují progresivní rozvoj populace žížal (Gunadi a Edwards, 2003). Tato skutečnost souvisí s nosnou kapacitou daného prostředí a projevují se v něm jak vyčerpání potřebných zdrojů, tak kumulace metabolitů přítomných organismů. Je očekávatelné, že významnějším poklesem populace žížal jsou negativně ovlivněny především ty varianty, které v počátečních fázích testu podpořily větší rozvoj násady ve smyslu početnosti i celkové biomasy. V případě individuální hmotnosti nasazených žížal pak jistě hraje důležitou roli i nástup reprodukce související především s energeticky náročnou produkcí kokonů (Kaplan a kol., 1980; Hartenstein a Amico, 1983; Elvira a kol., 1997).

# VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL



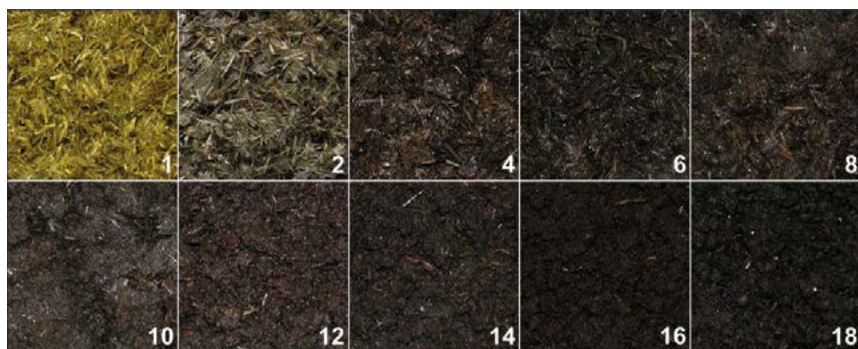
**Obr. 8.** Počet kokonů žížaly *E. andrei* v kontrolním substrátu z drcené pšeničné slámy (K) a ve variantách s kaly z RAS získanými z O – odtokového kanálu za odchovnými jednotkami, B – ponořeného biofiltru a R – sedimentačního rybníka s iniciálním zastoupením 5, 10, 20 a 30 % v sušině. Data jsou prezentována jako průměry.



**Obr. 9.** Počet juvenilů žížaly *E. andrei* v kontrolním substrátu z drcené pšeničné slámy (K) a ve variantách s kaľy z RAS získanými z O – odtokového kanálu za odchovnými jednotkami, B – ponořeného biofiltru a R – sedimentačního rybníka s iniciálním zastoupením 5, 10, 20 a 30 % v sušině. Data jsou prezentována jako průměry.

# VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL

Vizuální změny substrátu s kalem z RAS v průběhu vermikompostování jsou patrné na Obr. 10. Tabulka 3 shrnuje vybrané fyzikálně-chemické parametry finálních vermikompostů. Ačkoliv byla vlhkost finálních vermikompostů subjektivně identická, byl obsah sušiny ve vermikompostech s vyšším podílem kalů z RAS zvýšený. To bylo patrné především v případě vermikompostů vzniklých ze substrátů s kalem ze sedimentačního rybníka. Již proběhlá částečná mineralizace tohoto kalu společně s přítomností anorganických částic (písku) způsobují, že schopnost tohoto typu substrátu vázat vodu je nižší. Významnou změnou charakteristickou pro proces vermikompostování i kompostování je rozklad části přítomné organické hmoty nezřídka doprovázená posunem pH substrátu z kyselé do neutrální oblasti (Albanell a kol., 1988; Insam a kol., 2010). Nejsnáze jsou tyto změny patrné na porovnání vstupní drcené slámy a finálního kontrolního vermikompostu (Tab. 1 a 3). Odbourání části organické hmoty však nutně vede ke zakoncentrování přítomných živin, ale také těžkých kovů – viz níže. Poměry živin C:N byly ve finálních vermikompostech poměrně široké (15,8 až 27,3; Tab. 3) a lze je vysvětlit pouze jediným přídatkem omezeného množství kalů z RAS. Poměr C:N je tradičně využíván jako jeden z indikátorů zralosti vermikompostů i kompostů a měl by dosahovat hodnot méně než 20, lépe 15 (Morais a Queda, 2003). V případě provozního vermikompostování, které má často semi-kontinuální nebo kontinuální charakter, lze tedy doporučit zvýšení a/nebo opakované přidání kalů z RAS do vermikompostovaného materiálu.



**Obr. 10.** Průběh vizuálních změn substrátu (na příkladu substrátu O10) v průběhu vermikompostování. Čísla odkazují na počet týdnů testu (Foto: A. Kouba).

Nízké obsahy celkového dusíku ve finálních vermikompostech (Tab. 3) lze dobře vysvětlit jeho únikem ve formě plynu ( $\text{NH}_3$ ). Tento proces je u čerstvých kalů bohatých na dusík dobře známý a dochází k němu především v iniciálních fázích vermikompostování a kompostování. V našem případě k tomuto

pravděpodobně přispěla i pravidelná manipulace se substráty při kontrolách žížalí násady, která vedla k jejich provzdušňování. Střevo žížal je navíc specifickým prostředím s anaerobními podmínkami způsobujícím transformaci dusíkatých sloučenin do jejich dalších plynných forem ( $N_2O$ ,  $N_2$ ) (Horn a kol., 2003, 2006). Významné je zajištění i začlenění v substrátu přítomného dusíku do biomasy žížal v průběhu vermikompostování, čímž se žížaly stávají vhodným krmivem pro různé druhy živočichů včetně ryb. Naříklad Zhenjun a kol. (1997) a Medina a kol. (2003) uvádějí obsah proteinu v žížalí moučce *E. fetida* na úrovni 54,6 až 75,8%. Edwards (1985) pak zmiňuje obsah proteinu v rozmezí 60 až 70% sušiny. S ohledem na úroveň zastoupení dusíku v bílkovinách (Mariotti a kol., 2008) jsou tyto hodnoty vysoko nad obsahem celkového dusíku v iniciálních substrátech (Tab. 1). Podobnou situaci lze očekávat i v případě dalších prvků, jako jsou fosfor, vápník a hořčík. Tyto prvky však v rámci našeho testu nebyly v biomase žížal stanoveny (důraz byl kladen na jejich hygienickou kvalitu, tj. obsahy vybraných těžkých kovů viz níže). Pro porovnání a zhodnocení nutriční kvality biomasy žížal jsou však dostupné údaje z publikací, které pro žížalí biomasu uvádí rozmezí 9,4 do 275  $g \cdot kg^{-1}$  v sušině pro fosfor a 5,3–15,5  $g \cdot kg^{-1}$  pro vápník (Mekada a kol., 1979; Zhenjun a kol., 1997; Moreki a Tiroesele, 2012). Známé rozmezí hodnot pro hořčík je pak od 1,9 do 2,9  $g \cdot kg^{-1}$  (Fosgate a Babb, 1972; Hartenstein a kol., 1980).

**VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH  
AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ  
KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL**

**Tab. 3.** Vybrané fyzikálně-chemické charakteristiky finálního kontrolního vermikompostu (K) a ve variantách s kaly z RAS získanými z O – odtokového kádlu za odchovnými jednotkami, B – ponořeného biofiltru a R – sedimentačního rybníka s iniciálním zastoupením 5, 10, 20 a 30 % v sušině. Data jsou prezentována jako průměr ± SD. Hodnoty s lišícími se malými písmeny v příslušných řádcích jsou statisticky průkazně rozdílné v rámci konkrétních kalů, tj. mezi substráty s různým zastoupením téhož kalu. Hodnoty s lišícími se velkými písmeny v příslušných řádcích jsou statisticky průkazně rozdílné mezi kaly s jejich identickým zastoupením napříč substráty. Hvězdičky značí skupiny odlišné od kontroly (jednocestná ANOVA, Tukeyův HSD test pro stejné n, n = 3, p < 0,05).

Parametr	K	O5	O10	O20	O30	B5	B10	B20	B30	R5	R10	R20	R30
Sušina (%)	13,6±0,1	14,2±0,5 <sup>d</sup>	16,7±1,2 <sup>ab</sup>	17,2±0,4 <sup>ab</sup>	19,9±0,2 <sup>ab</sup>	14,9±0,3 <sup>ab</sup>	16,2±0,6 <sup>ca</sup>	17,8±0,3 <sup>ab</sup>	20,1±1,6 <sup>ab</sup>	15,8±0,5 <sup>ca</sup>	18,6±1,1 <sup>cd</sup>	22,8±0,9 <sup>ab</sup>	26,0±1,0 <sup>ab</sup>
pH (H <sub>2</sub> O)	7,5±0,1	7,5±0,1 <sup>ab</sup>	6,0±0,4 <sup>ab</sup>	6,9±0,8 <sup>ab</sup>	6,5±0,3 <sup>ab</sup>	7,5±0,1 <sup>ab</sup>	7,2±0,2 <sup>ab</sup>	7,1±0,1 <sup>ab</sup>	6,9±0,3 <sup>ab</sup>	7,6±0,0 <sup>ab</sup>	7,2±0,3 <sup>ab</sup>	7,2±0,3 <sup>ab</sup>	7,5±0,1 <sup>ab</sup>
pH (CaCl <sub>2</sub> )	7,3±0,1	7,3±0,1 <sup>ab</sup>	5,9±0,4 <sup>ab</sup>	6,7±0,7 <sup>ab</sup>	6,3±0,3 <sup>ab</sup>	7,3±0,1 <sup>ab</sup>	7,1±0,2 <sup>ab</sup>	6,9±0,1 <sup>ab</sup>	6,7±0,3 <sup>ab</sup>	7,4±0,0 <sup>ab</sup>	7,0±0,3 <sup>ab</sup>	7,0±0,3 <sup>ab</sup>	7,2±0,1 <sup>ab</sup>
Organické látky (g.kg <sup>-1</sup> )	80,5±0,4	77,2±0,6 <sup>ca</sup>	75,3±2,9 <sup>ab</sup>	61,9±4,2 <sup>ab</sup>	50,8±7,5 <sup>ab</sup>	73,2±2,5 <sup>ab</sup>	67,5±4,9 <sup>ab</sup>	59,4±5,1 <sup>bc</sup>	52,4±2,6 <sup>ca</sup>	66,1±6,1 <sup>ab</sup>	55,8±8,1 <sup>ab</sup>	44,1±4,3 <sup>bc</sup>	37,6±0,5 <sup>bc</sup>
Organický uhlík (g.kg <sup>-1</sup> )	63,0±1,6	60,6±2,0 <sup>ca</sup>	57,0±1,1 <sup>ab</sup>	46,8±1,0 <sup>ab</sup>	40,4±1,5 <sup>ca</sup>	58,9±0,7 <sup>ab</sup>	55,0±0,3 <sup>ab</sup>	47,5±2,0 <sup>bc</sup>	35,9±2,2 <sup>ca</sup>	53,9±0,8 <sup>ab</sup>	42,9±1,5 <sup>bc</sup>	32,3±3,4 <sup>cd</sup>	25,3±2,0 <sup>bc</sup>
Celkový dusík (g.kg <sup>-1</sup> )	2,3±0,1	2,2±0,2 <sup>ab</sup>	2,5±0,1 <sup>ab</sup>	2,6±0,4 <sup>ab</sup>	2,7±0,7 <sup>ab</sup>	2,2±0,1 <sup>ab</sup>	2,2±0,0 <sup>ab</sup>	2,1±0,1 <sup>ab</sup>	1,7±0,1 <sup>bc</sup>	2,0±0,1 <sup>ab</sup>	1,8±0,0 <sup>bc</sup>	1,5±0,1 <sup>bc</sup>	1,2±0,1 <sup>cd</sup>
C/N poměr	27,2±1,4	27,1±1,4 <sup>ab</sup>	22,7±1,1 <sup>ab</sup>	18,2±2,9 <sup>ab</sup>	15,8±3,6 <sup>ab</sup>	26,7±1,1 <sup>ab</sup>	25,2±0,6 <sup>ab</sup>	22,9±1,5 <sup>ab</sup>	20,7±2,4 <sup>ab</sup>	27,3±1,2 <sup>ab</sup>	24,0±1,2 <sup>ab</sup>	21,5±2,7 <sup>ab</sup>	20,8±3,0 <sup>ab</sup>
Hořčík (g.kg <sup>-1</sup> )	0,3±0,0	0,4±0,0 <sup>ab</sup>	0,4±0,1 <sup>ab</sup>	0,6±0,1 <sup>ab</sup>	0,9±0,1 <sup>ab</sup>	0,4±0,1 <sup>ca</sup>	0,5±0,1 <sup>ca</sup>	0,6±0,1 <sup>ca</sup>	0,7±0,1 <sup>ca</sup>	0,4±0,1 <sup>ca</sup>	0,5±0,1 <sup>ca</sup>	0,6±0,3 <sup>ca</sup>	0,7±0,3 <sup>ca</sup>
Vápník (g.kg <sup>-1</sup> )	1,4±0,1	2,3±0,1 <sup>cb</sup>	3,2±0,4 <sup>bc</sup>	5,2±0,1 <sup>ab</sup>	8,0±1,8 <sup>ab</sup>	2,5±0,0 <sup>bc</sup>	3,5±0,1 <sup>cb</sup>	6,0±0,2 <sup>ca</sup>	7,4±0,6 <sup>ca</sup>	3,0±0,1 <sup>ca</sup>	4,6±0,2 <sup>ca</sup>	6,2±0,6 <sup>ca</sup>	7,9±0,2 <sup>ca</sup>
Fosfor (g.kg <sup>-1</sup> )	0,5±0,0	0,6±0,0 <sup>ab</sup>	0,8±0,0 <sup>ab</sup>	1,1±0,0 <sup>ab</sup>	1,6±0,3 <sup>ab</sup>	0,6±0,0 <sup>ca</sup>	0,7±0,0 <sup>ca</sup>	0,9±0,0 <sup>ca</sup>	1,0±0,0 <sup>ab</sup>	0,6±0,0 <sup>ca</sup>	0,7±0,0 <sup>ca</sup>	0,8±0,0 <sup>ca</sup>	0,9±0,0 <sup>ca</sup>
Draslík (g.kg <sup>-1</sup> )	4,1±0,2	3,5±0,2 <sup>ab</sup>	3,1±0,1 <sup>ab</sup>	2,6±0,0 <sup>ab</sup>	2,7±0,6 <sup>ab</sup>	3,5±0,1 <sup>ab</sup>	3,3±0,1 <sup>ab</sup>	2,7±0,0 <sup>ab</sup>	2,2±0,1 <sup>ca</sup>	3,4±0,1 <sup>ab</sup>	2,9±0,2 <sup>ab</sup>	2,3±0,2 <sup>cd</sup>	1,8±0,0 <sup>cd</sup>

Obsah vybraných těžkých kovů ve finálních vermikompostech (Tab. 4) odráží složení a zastoupení jednotlivých vstupních substrátů (Tab. 1). Vzhledem k rozkladu části přítomné organické hmoty během procesu vermikompostování jsou absolutní hodnoty těchto kovů zvýšené, což je nejspíše patrné při porovnání vstupní drcené slámy a finálního kontrolního vermikompostu (Tab. 1 a 4). V závislosti na vlastnostech a vzájemných vztazích jednotlivých kovů však bylo jejich zastoupení ve finálních vermikompostech různou měrou ovlivněno i přítomností žížal. Olovo a nikl se v žížalách vyskytovaly pouze v omezeném množství, přičemž absolutní hodnoty v příslušných vermikompostech byly často více než desetinásobné. Přítomnost chromu v žížalách byla vždy pod detekčním limitem (Tab. 4 a 5). Zastoupení jednotlivých těžkých kovů v předkládaných krmivech bylo vždy nižší, než tomu bylo u testovaných kalů. Při odchovu živočichů v RAS je předkládané krmivo velmi pravděpodobně dominantním zdrojem těžkých kovů, které se, nejsou-li asimilovány chovanými živočichy, ve vlastním RAS kumulují (Tab. 1 a 6). Navzdory jejich přítomnosti v předkládaných dietách se kadmium, chrom, nikl a olovo neakumulují ve svalovině ryb (Tab. 6). Vyšší hodnoty lze nicméně očekávat v játrech/hepatopankreatu (Kalay a kol., 1999; Kouba a kol., 2010). Podobný vztah byl pozorovaný ve vztahu testovaných vermikompostů (Tab. 4) a biomasy získaných žížal (Tab. 5). Ve finálních vermikompostech dosahovala koncentrace mědi podobných hodnot napříč testovanými variantami substrátů, přičemž v biomase žížal byla dvou až trojnásobně nižší (Tab. 4 a 5). Žížaly jsou tedy zjevně schopné efektivně regulovat přítomnost mědi ve svých tkáních (Li a kol., 2010). Podobný vztah je patrný i při porovnání předkládaného krmiva a svaloviny ryb (Tab. 6), což lze opět do jisté míry vysvětlit přirozeně vyšším zastoupením tohoto kovu v játrech/hepatopankreatu (Fallah a kol., 2011). V porovnání s příslušnými vermikomposty vzrostl obsah rtuti v žížalách dva až pětkrát (Tab. 4 a 5). Tento trend je ve shodě s hodnocením vztahu obsahů rtuti v předkládaném krmivu a rybí svalovině (Tab. 6). Zjevná akumulace kovu z vermikompostu do žížal byla patrná v případě arzénu (Tab. 4 a 5). Vstupní kal z RAS (Tab. 1) a finální vermikomposty (Tab. 4) byly charakteristické značným zastoupením zinku. Kaly z RAS jsou známé svým typicky vysokým obsahem zinku (Bergheim a kol., 1998; Naylor a kol., 1999). Navzdory tomu jsou žížaly schopné obsah tohoto kovu ve svých tkáních efektivně regulovat (Tab. 4 a 5). Totéž platí o rybách, porovnáme-li jejich hodnoty s obsahem tohoto kovu v předkládaném krmivu (Tab. 6). Schopnost regulace tohoto kovu organismy je tedy značná (Kouba a kol., 2010; He a kol., 2016). Navzdory výrazně nižšímu zastoupení kadmia ve vstupní slámě (v porovnání s kaly z RAS; Tab. 1) dosahovaly žížaly z kontrolní skupiny nejvyšších hodnot tohoto kovu (Tab. 5). To naznačuje ochranný účinek výše zmiňovaného zinku před akumulací kadmia v tkáních živočichů z důvodu jejich fyzikální a chemické podobnosti. Tento princip působení je platný nejen pro zde testované ryby a žížaly, ale obecně i ostatní organismy (Flick a kol., 1971; Das a kol., 1997).



VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH  
AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ  
KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL

**Tab. 4.** Obsah vybraných těžkých kovů ve finálním kontrolním vermikompostu (K) a ve variantách s kaly z RAS získanými z O – odtokového kanálu za odchovnými jednotkami, B – ponořeného biofiltru a R – sedimentačního rybníka s iniciálním zastoupením 5, 10, 20 a 30% v sušině. Data jsou prezentována jako průměr ± SD a vyjádřena v mg.kg<sup>-1</sup> sušiny. Hodnoty s lišícími se malými písmeny v příslušných řádcích jsou statisticky průkazně rozdílné v rámci konkrétních kalů, tj. mezi substráty s různými zastoupením téhož kalu. Hodnoty s lišícími se velkými písmeny v příslušných řádcích jsou statisticky průkazně rozdílné mezi kaly s jejich identickým zastoupením napříč substráty. Hvězdičky značí skupiny odlišné od kontroly (jednocestná ANOVA, Tukeyův HSD test pro stejné n, n = 3, p < 0,05).

Parametr	K	O5	O10	O20	O30	B5	B10	B20	B30	R5	R10	R20	R30
Arzén	<0,05	1,0±0,3 <sup>CB</sup>	1,3±0,1 <sup>BCA</sup>	2,7±0,8 <sup>BAK</sup>	3,4±0,2 <sup>AJ</sup>	0,9±0,1 <sup>BB</sup>	2,4±0,9 <sup>BAK</sup>	2,8±0,3 <sup>AJ</sup>	3,7±0,5 <sup>AJ</sup>	2,0±0,5 <sup>BA</sup>	2,4±0,1 <sup>BAK</sup>	3,8±0,5 <sup>AJ</sup>	3,7±0,6 <sup>AJ</sup>
Kadmium	0,3±0,0	0,4±0,0 <sup>BA</sup>	0,5±0,0 <sup>BA</sup>	0,6±0,2 <sup>BAK</sup>	0,7±0,1 <sup>AJ</sup>	0,3±0,0 <sup>BB</sup>	0,4±0,0 <sup>BA</sup>	0,4±0,1 <sup>BA</sup>	0,5±0,0 <sup>ABP</sup>	0,3±0,0 <sup>BB</sup>	0,4±0,0 <sup>BA</sup>	0,4±0,0 <sup>BA</sup>	0,4±0,1 <sup>AB</sup>
Chrom	1,4±0,3	2,4±0,3 <sup>A</sup>	7,3±5,3 <sup>A</sup>	5,9±1,0 <sup>A</sup>	10,1±1,3 <sup>BB</sup>	3,3±1,6 <sup>BA</sup>	3,3±0,3 <sup>BA</sup>	5,3±0,2 <sup>BA</sup>	7,5±0,4 <sup>BB</sup>	6,0±1,8 <sup>A</sup>	7,2±0,9 <sup>A</sup>	12,4±4,4 <sup>AJ</sup>	13,3±1,5 <sup>AJ</sup>
Měď	13,1±1,1	12,6±1,2 <sup>A</sup>	14,7±2,7 <sup>A</sup>	16,6±5,4 <sup>A</sup>	18,9±4,3 <sup>A</sup>	12,6±1,7 <sup>A</sup>	13,5±1,4 <sup>A</sup>	13,3±2,7 <sup>A</sup>	15,1±0,5 <sup>A</sup>	11,2±1,1 <sup>A</sup>	13,3±1,1 <sup>A</sup>	12,8±0,2 <sup>A</sup>	12,9±0,6 <sup>A</sup>
Olovo	0,9±0,2	1,5±0,2 <sup>BA</sup>	2,6±0,3 <sup>BA</sup>	5,2±1,5 <sup>AJ</sup>	5,6±1,2 <sup>AJ</sup>	1,6±0,2 <sup>CA</sup>	3,1±0,5 <sup>BA</sup>	3,7±0,5 <sup>BA</sup>	5,3±0,4 <sup>BA</sup>	2,0±0,2 <sup>BA</sup>	3,5±0,2 <sup>BA</sup>	5,4±0,2 <sup>BA</sup>	6,2±1,1 <sup>BA</sup>
Rtuť	0,03±0,0	0,03±0,0 <sup>A</sup>	0,03±0,0 <sup>A</sup>	0,03±0,0 <sup>A</sup>	0,04±0,0 <sup>A</sup>	0,03±0,0 <sup>A</sup>	0,04±0,0 <sup>A</sup>	0,03±0,0 <sup>A</sup>	0,03±0,0 <sup>AB</sup>	0,03±0,0 <sup>A</sup>	0,03±0,0 <sup>A</sup>	0,03±0,0 <sup>A</sup>	0,03±0,0 <sup>B</sup>
Nikl	1,9±0,4	2,9±0,5 <sup>4A</sup>	6,6±2,6 <sup>A</sup>	6,2±1,7 <sup>A</sup>	9,2±4,0 <sup>A</sup>	3,1±1,0 <sup>BA</sup>	4,1±0,8 <sup>BA</sup>	5,3±0,7 <sup>BA</sup>	7,8±0,8 <sup>A</sup>	3,5±0,4 <sup>BA</sup>	5,9±0,2 <sup>BA</sup>	8,4±1,5 <sup>AJ</sup>	8,5±0,5 <sup>AJ</sup>
Zinek	99±17	335±18 <sup>CA</sup>	505±37 <sup>BCA</sup>	901±24 <sup>3BA</sup>	1076±91 <sup>A</sup>	220±11 <sup>CB</sup>	422±5 <sup>3CA</sup>	595±11 <sup>4AB</sup>	841±25 <sup>AB</sup>	175±7 <sup>CB</sup>	289±17 <sup>BB</sup>	396±21 <sup>AB</sup>	455±40 <sup>BC</sup>

**Tab. 5.** Obsah vybraných těžkých kovů v biomase žížal *E. andrei* pocházejících z finálního kontrolního vermikompostu (K) a ve variantách s kaly z RAS získanými z O – odtokového kanálu za odchovnými jednotkami, B – ponořeného biofiltru a R – sedimentačního rybníka s iniciálním zastoupením 5, 10, 20 a 30 % v sušině. Data jsou prezentována jako průměr ± SD a vyjádřena v mg.kg<sup>-1</sup> sušiny. Hodnoty s lišícími se malými písmeny v příslušných řádcích jsou statisticky průkazně rozdílné v rámci konkrétních kalů, tj. mezi substráty s různým zastoupením téhož kalu. Hodnoty s lišícími se velkými písmeny v příslušných řádcích jsou statisticky průkazně rozdílné mezi kaly z jejich identickým zastoupením napříč substráty. Hvězdičky značí skupiny odlišné od kontroly (jednocestná ANOVA, Tukeyův HSD test pro stejné n, n = 3, p < 0,05).

Parametr	K	O5	O10	O20	O30	B5	B10	B20	B30	R5	R10	R20	R30
Arzen	2,5±0,5	2,3±0,4 <sup>ab</sup>	2,7±1,5 <sup>ab</sup>	8,5±0,9 <sup>ab</sup>	14,9±1,8 <sup>bc</sup>	3,4±1,7 <sup>ab</sup>	7,0±0,9 <sup>abc</sup>	13,4±0,8 <sup>bb</sup>	22,7±2,6 <sup>bc</sup>	8,7±0,5 <sup>a</sup>	12,4±3,8 <sup>a</sup>	40,3±6,4 <sup>bc</sup>	60,3±8,9 <sup>bc</sup>
Kadmium	2,7±0,8	0,8±0,1 <sup>bc</sup>	0,4±0,2 <sup>abc</sup>	0,2±0,1 <sup>bc</sup>	0,2±0,1 <sup>bc</sup>	0,9±0,0 <sup>abc</sup>	0,6±0,1 <sup>bc</sup>	0,3±0,1 <sup>bc</sup>	0,2±0,0 <sup>bc</sup>	1,1±0,1 <sup>bc</sup>	0,7±0,1 <sup>bc</sup>	0,3±0,1 <sup>bc</sup>	0,2±0,1 <sup>bc</sup>
Chrom	<0,05	<0,05 <sup>a</sup>	<0,05 <sup>a</sup>	<0,05 <sup>a</sup>	<0,05 <sup>a</sup>	<0,05 <sup>a</sup>	<0,05 <sup>a</sup>	<0,05 <sup>a</sup>	<0,05 <sup>a</sup>	<0,05 <sup>a</sup>	<0,05 <sup>a</sup>	<0,05 <sup>a</sup>	<0,05 <sup>a</sup>
Měď	5,6±0,5	4,6±0,4 <sup>ab</sup>	3,5±2,0 <sup>a</sup>	5,6±0,6 <sup>a</sup>	7,0±1,0 <sup>a</sup>	5,5±1,1 <sup>abc</sup>	6,2±0,7 <sup>a</sup>	6,2±1,3 <sup>a</sup>	5,4±0,1 <sup>a</sup>	7,2±0,5 <sup>a</sup>	5,9±0,3 <sup>a</sup>	6,9±0,4 <sup>a</sup>	6,1±1,3 <sup>a</sup>
Olovo	0,17±0,1	0,15±0,2 <sup>ab</sup>	0,12±0,0 <sup>ab</sup>	0,16±0,1 <sup>a</sup>	0,20±0,1 <sup>a</sup>	0,16±0,0 <sup>ab</sup>	0,13±0,0 <sup>ab</sup>	0,17±0,0 <sup>ab</sup>	0,20±0,1 <sup>ab</sup>	0,21±0,1 <sup>ab</sup>	0,18±0,0 <sup>a</sup>	0,19±0,0 <sup>ab</sup>	0,26±0,1 <sup>ab</sup>
Rtuť	0,14±0,0 <sup>a</sup>	0,10±0,0 <sup>ab</sup>	0,16±0,0 <sup>a</sup>	0,17±0,1 <sup>ab</sup>	0,17±0,0 <sup>a</sup>	0,14±0,0 <sup>ab</sup>	0,15±0,0 <sup>ab</sup>	0,12±0,0 <sup>ab</sup>	0,12±0,0 <sup>ab</sup>	0,14±0,0 <sup>ab</sup>	0,16±0,0 <sup>ab</sup>	0,16±0,0 <sup>ab</sup>	0,16±0,0 <sup>ab</sup>
Nikl	<0,05	0,3±0,0 <sup>ab</sup>	0,4±0,2 <sup>a</sup>	0,7±0,3 <sup>ab</sup>	0,7±0,1 <sup>ab</sup>	0,4±0,1 <sup>ab</sup>	0,6±0,2 <sup>ab</sup>	0,7±0,2 <sup>ab</sup>	0,8±0,1 <sup>ab</sup>	0,4±0,1 <sup>ab</sup>	0,6±0,2 <sup>ab</sup>	0,5±0,2 <sup>ab</sup>	0,7±0,3 <sup>ab</sup>
Zinek	110±7	100±11 <sup>ab</sup>	80±44 <sup>a</sup>	130±13 <sup>a</sup>	135±8 <sup>a</sup>	122±10 <sup>ab</sup>	117±10 <sup>ab</sup>	121±10 <sup>a</sup>	111±6 <sup>a</sup>	138±9 <sup>ab</sup>	119±6 <sup>a</sup>	126±13 <sup>a</sup>	123±19 <sup>a</sup>

# VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL

**Tab. 6.** Obsah vybraných těžkých kovů v krmivech nejvíce používaných v RAS systému, za kterého pocházely testované kaly – Efico Enviro 920 (3 mm) a Orbit 929 (4,5 mm) od firmy BioMar A/S, Dánsko, a ve svalovině dominantně chované ryby (pstruha duhového *Oncorhynchus mykiss*) v tržní velikosti ( $n = 3$  ve všech případech). Data jsou prezentována jako průměr  $\pm$  SD a vyjádřena v  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  sušiny.

Parametr	Efico Enviro 920	Orbit 929	Pstruh duhový
Arzen	1,6 $\pm$ 0,3	2,1 $\pm$ 0,3	2,7 $\pm$ 0,2
Kadmium	0,25 $\pm$ 0,02	0,15 $\pm$ 0,01	<0,02
Chrom	0,25 $\pm$ 0,01	0,25 $\pm$ 0,06	<0,05
Měď	5,3 $\pm$ 0,2	4,9 $\pm$ 0,4	0,8 $\pm$ 0,1
Olovo	0,05	<0,05	<0,02
Rtuť	0,02 $\pm$ 0,0	0,02 $\pm$ 0,0	0,06 $\pm$ 0,0
Nikl	0,70 $\pm$ 0,06	0,55 $\pm$ 0,02	<0,05
Zinek	148 $\pm$ 9	137 $\pm$ 8	13 $\pm$ 1

Pro komplexní zhodnocení vhodnosti vermikompostování kalů z RAS je nezbytné posoudit následnou využitelnost získaných konečných produktů celého procesu, jimiž jsou vermikompost a biomasa žížal. Jejich následná využitelnost je do značné míry dána obsahy potencionálně problematických látek, jimiž jsou v rámci různých legislativních opatření nejčastěji maximálně přípustné koncentrace vybraných těžkých kovů. Obsahy sledovaných těžkých kovů ve vstupních kalcích (Tab. 1) i finálních vermikompostech (Tab. 4) v tomto ohledu až na výjimky splňovaly národní (vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb.; vyhláška Ministerstva životního prostředí České republiky č. 437/2016 Sb.), evropské (EU, 1986) i americké standardy (Brinton, 2000) pro jejich využití v zemědělství (obvykle jako hnojivo). Za určitých okolností může být problematický vysoký obsah zinku, a to jak ve vstupních kalcích (Tab. 2), tak finálních vermikompostech (Tab. 4), pokud jsou tyto hodnoceny podle nejpřísnějších standardů (Bergheim a kol., 1998; Tab. 1). V těchto případech je do procesu vermikompostování nutný přídavek příslušného množství jiných, na zinek chudých substrátů. Zinek vstupuje do RAS ve značném množství prostřednictvím předkládaného krmiva. V krmivu se zinek vyskytuje přirozeně, ale je do něj i dodatečně přidáván. Jelikož se pouze v omezené míře inkorporuje do tkání chovaných živočichů (Tab. 6), dochází k jeho koncentrování v odchovném systému. Především jeho dodatečné přidávání do krmiva je diskutabilní, soudě podle nutričních požadavků pstruha duhového (v RAS často dominantně chovaného druhu ryby), jež jsou v rozmezí od 15 do 30  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Ogino a Yang, 1978). To odpovídá nárokům i jiných druhů ryb a korýšů chovaných v podmínkách intenzivní akvakultury (National Research Davis a Gatlin III, 1996; National Research Council, 2011). Tento kov je tedy v komerčně dostupných směsích pravděpodobně značně nadužívaný

(viz Tab. 6). V souhrnu lze tedy říci, že kaly z RAS a především vermikomposty jsou bezpečně využitelné při hnojení a remediaci zemědělské půdy. Pozitivních výsledků bylo dosaženo i při jejich využití pro hnojení rybníků (Chakrabarty a kol., 2009b; Kaur a Ansal, 2010).

Žížaly z vermikompostů užívaných ke hnojení rybníků se stávají potravou chovaných organismů, obvykle ryb. Biomasa živých žížal byla odzkoušena jako vhodné krmivo pro řadu hospodářsky významných zvířat, například pro kuřata a prasata. Ve formě žížalí moučky jsou pak vhodným přídavkem do krmiv ještě širšího spektra živočichů (Edwards, 1985). Vermikompostování a akvakultura jsou integrálními součástmi organického a přírodě blízkého hospodaření v řadě rozvíjejících se regionů, například v Indii (Chakrabarty a kol., 2009a,b). Využití žížal původem z vermikompostování pro odkrm ryb se jeví obzvláště smysluplné v méně rozvinutých regionech světa, kde je špatná dostupnost vysoce kvalitních krmných směsí pro ryby, popř. je jejich cena neakceptovatelně vysoká. Zároveň se jedná o krok, kterým lze alespoň částečně snížit spotřebu komodit, jako jsou rybí moučka a rybí olej, jejichž dostupnost je v kontextu potřeb neustále rostoucí akvakultury a přelovení moří trvale neudržitelná. Celkovou ekonomiku hospodaření podniku lze díky odchovaným žížalám vylepšit při jejich zužitkování jako krmiva pro domácí mazlíčky, návnady a nástrahy pro rybáře nebo násadového materiálu do domácích a zahradních vermikompostů.

Využití v testu získaných žížal ke krmným účelům bylo shledáno jako bezpečné – s výjimkou arzenu (viz níže), žížaly obsahovaly bezpečné koncentrace v krmivech sledovaných těžkých kovů (Tab. 5). Při porovnání s komerčně dostupnými krmivy (Tab. 6) obsahovaly žížaly podobné zastoupení mědi, niklu a zinku; koncentrace chromu byla pod mezí detekce. Pozorované koncentrace byly pod evropskými limity pro olovo ( $11,4 \text{ mg.kg}^{-1}$  sušiny) a rtuť ( $0,57 \text{ mg.kg}^{-1}$  sušiny). Limit pro kadmium ( $2,3 \text{ mg.kg}^{-1}$  sušiny) byl překročený pouze v kontrolní skupině (EU, 2002, 2003, 2012), což potvrzuje ochranný účinek zinku (viz diskuze výše) přítomného v původních kalech (Tab. 1) a finálních vermikompostech (Tab. 4). Žížaly pocházející ze dvou testovaných ošetření (R20 a R30) nespĺňovaly evropský limit pro přítomnost arzenu ( $11,4 \text{ mg.kg}^{-1}$  sušiny; EU, 2012).

Vysoce účinné krmné směsi pro ryby jsou obvykle založené na jistém podílu surovin pocházejících z mořského prostředí (typicky rybí moučka a rybí olej), jež jsou přirozeně bohatým zdrojem arzenu. Naprostá většina celkového arzenu se zde však nachází v jeho organických formách, které jsou v porovnání s formami anorganickými významně méně toxické. Ve zmiňovaných surovinách se dle Slotha a kol. (2005) v průměru vyskytuje jen 1,2 % celkového arzenu v toxikologicky relevantních anorganických formách. Tito autoři rovněž poukazují na minimální

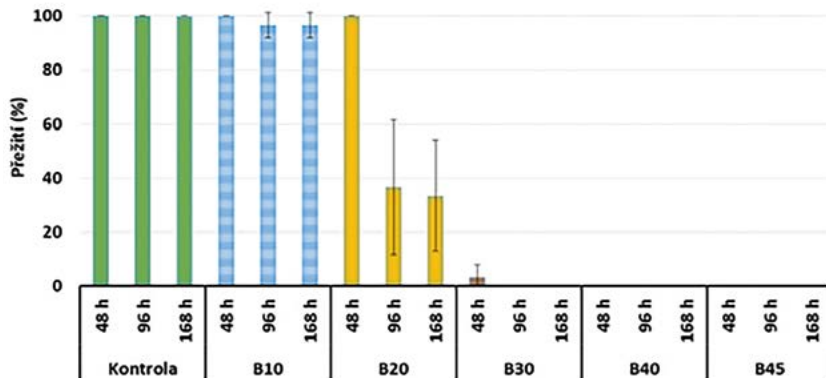
# VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL

biotransformaci těchto forem arzenu během výroby krmiv a jeho trávení u ryb. Pokud připustíme, že obdobné procesy probíhají i během vermikompostování a biosyntézy u žížal, měly by být i tyto z krmivářského pohledu bezpečné. Pro potvrzení tohoto předpokladu je však nutný další výzkum.

## 4.2.2. Akutní toxicita čerstvých kalů z RAS na násadu žížal

---

V případě testu akutní toxicity čerstvých kalů z RAS společnosti Pstruhařství Mlýny na násadu žížal nebyly v kontrolní skupině zaznamenány žádné kusové ztráty (Obr. 11). Přežití žížal ve variantách s kaly z odtokového kanálu za odchovnými jednotkami a kalu z rybníka bylo rovněž vždy absolutní (data nezobrazena). Tato skutečnost naznačuje, že žížaly jsou schopné tolerovat poměrně vysoké dávky těchto typů kalů. Limitních hodnot však bylo dosaženo ve variantách s kaly z biofiltru. Po 48 hodinách byl pozorován totální úhyn ve variantách B40 a B45 a po 96 hodinách i ve variantě B30. Po uplynutí této doby již zůstal stav ve zbývajících skupinách víceméně nezměněn (Obr. 12). Mortalita žížal přitom nebyla v předchozím testu u varianty B30 pozorována. Částečným vysvětlením může být jednak týdenní předkompostování, které nebylo u hodnocení akutní toxicity čerstvých kalů realizováno, resp. odlišné složení vstupních kalů. Čerstvý kal měl totiž nižší poměr C/N (z pohledu uvolňování amoniaku byl tudíž toxičtější) a obecně vyšší koncentrace vybraných těžkých kovů, především zinku (Tab. 1 a 2).



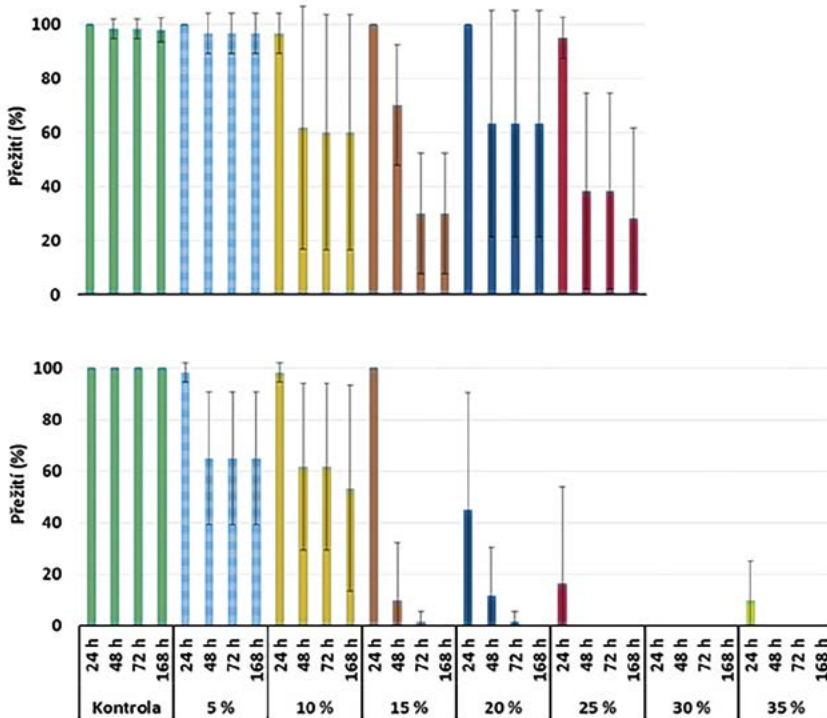
**Obr. 11.** Přežití nasazených dospělců *E. andrei* v kontrolním substrátu z drcené pšeničné slámy a ve variantách se zastoupením čerstvého kalu z biofiltru RAS společnosti Pstruhařství Mlýny, Žár po 48, 96 a 168 hodinách. Zastoupení tohoto kalu bylo 10, 20, 30, 40 a 45 % v sušíně. Přežití žížal ve variantách s kalu z odtokového kanálu za odchovnými jednotkami a z rybníka (oba zastoupeny 20, 30, 40, 50, 60 a 70 % sušiny) bylo stejné jako v případě kontroly během celého testu vždy absolutní (nezobrazeno). Hodnoty jsou prezentovány jako průměr  $\pm$  SD,  $n = 3$ .

V průběhu testu akutní toxicity čerstvého kalu z RAS společnosti FISH Farm Bohemia, s.r.o., byly zaznamenány minimální kusové ztráty v kontrolní skupině. Po 24 hodinách byly ztráty minimální i napříč variantami obohacenými čerstvým kalu z RAS. Úroveň mortality rostla s úrovní zastoupení kalu a po 48 hodinách byla víceméně stabilizovaná (Obr. 12). Porovnatelné trendy byly patrné i v případě čerstvého kalu z RAS společnosti Anapartners, s.r.o., který však byl napříč testovanými kalu zjevně nejvíce toxický vůči násadě žížal. Kalu obou společností se v porovnání s kalu ze Pstruhařství Mlýny vyznačovaly vysokým zastoupením organických látek, a především v případě společnosti Anapartners, s.r.o., vysokým zastoupením celkového dusíku (nejnižší pozorovaný C:N poměr; Tab. 1 a 2), jehož amoniakální forma byla pro žížaly patrně nejvíce limitující. Tuto skutečnost je však nutné hodnotit také v tom ohledu, že takovýto substrát bude po překonání iniciální kritické fáze živinově nejvýhodnější pro rozvoj žížalí populace a povede k nutričně bohatým vermikompostům, což je výhodné při jejich uplatnění v zemědělství.

V souhrnu lze konstatovat, že se kvalitativní parametry čerstvých kalu z různých technologických součástí daného RAS a především mezi jednotlivými farmami velmi liší (Tab. 1 a 2), což do značné míry ovlivňuje jejich přijatelnost pro násadu žížal (Obr. 11 a 12). Úroveň jejich zastoupení tudíž nelze především při vyšších úrovních zastoupení paušalizovat a před nasazením většího množství

# VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL

násady by měla být provedena alespoň krátkodobá zkouška snášenlivosti. Tato zkouška spočívá v umístění malé skupiny žížal do perforované krabice nebo klece, ze které nemohou žížaly uniknout a jež obsahuje substrát určený k vermikompostování. Nejlepší vypovídající schopnosti je dosaženo, pokud je tato uložena přímo do hromady určené k vermikompostování. Vhodnost substrátu je potvrzena úspěšným přežíváním násady v horizontu alespoň několika dnů. Poněkud jiná situace nastává ve chvíli, kdy jsou typicky vodnaté kaly z RAS využívány k dodatečnému vlhčení hromad, jež již procházejí procesem vermikompostování. V těchto případech je vhodné provést zkoušku snášenlivosti navlhčením pouze části hromady. Pokud v místě zásahu nejsou v následujících dnech pozorovány negativní dopady tohoto kroku na žížalí násadu, může být přikročeno k plošnému ošetření.

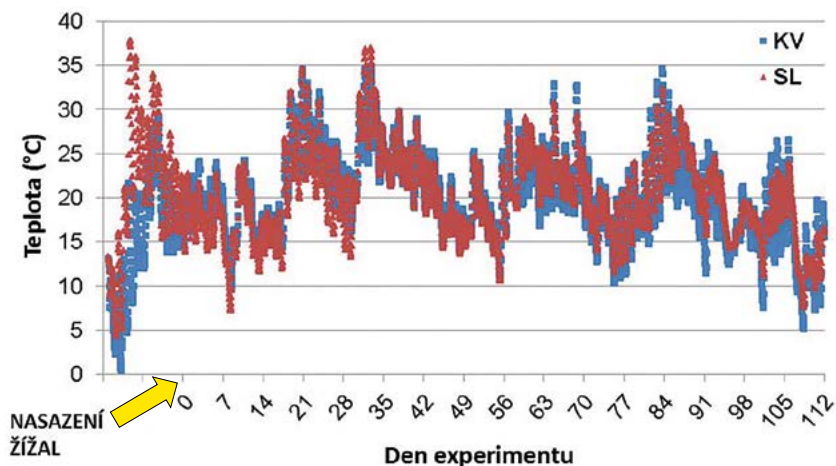


**Ob. 12.** Přežití nasazených dospělců *E. andrei* v kontrolním substrátu z drcené pšeničné slámy a ve variantách se zastoupením čerstvých kalů z RAS společností FISH Farm Bohemia, s.r.o., (nahore) a Anapartners, s.r.o., (dole) po 24, 48, 96 a 168 hodinách. Zastoupení těchto kalů bylo 5, 10, 15, 20 a 25, resp. 5, 10, 15, 20, 25, 30 a 35 % sušiny. Hodnoty jsou prezentovány jako průměr  $\pm$  SD,  $n = 3$ .

#### 4.2.3. Porovnání vermikompostování kalů z RAS aplikovaných do krmných vrstev a prolévání slámového lože

Ačkoliv byly substráty tohoto testu připraveny v polovině května, byly v tomto období na místě realizace pozorovány přízemní mrazíky s minimální teplotou vzduchu  $-2,5\text{ °C}$  (data neprezentována). Teplota substrátů však během předkompostování pod bod mrazu neklesla. Snad až na období těsně před nasazením žížal, kdy byla u varianty SL výrazně větší mocnost substrátu, se teploty mezi zvolenými variantami výrazně nelišily (Obr. 13).

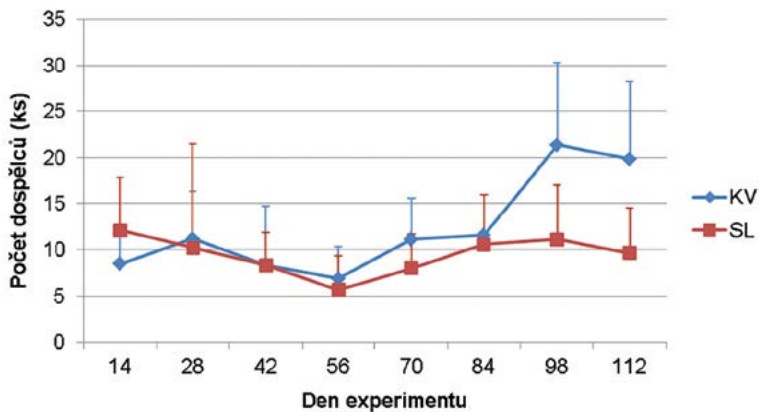
Počet průměrně nalezených dospělců v kontrolních trubkách mezi 14. a 56. dnem testu byl mezi oběma variantami velmi podobný a pohyboval se v poměrně úzkém rozmezí od  $5,7 \pm 3,7$  do  $11,2 \pm 5,2$  ks (Obr. 14). Od 70. dne již začaly počty pozorovaných dospělců vzrůstat, což naznačuje dospívání prvních juvenilů vlastního potomstva. Od 80. dne byl pozorován nárůst jejich počtu ve variantě KV, což dobře reflektuje atraktivnost předkládaných krmných vrstev, které žížaly s úspěchem využívaly (viz reprodukce dále). U varianty SL totiž došlo ke značnému poklesu mocnosti substrátu a tento již přestal přinejmenším prostorově žížalám dostačovat. Při ukončení testu totiž byla mocnost substrátu ve skupině SL cca poloviční, přičemž již od 98. dne byla pozorována zvýšená snaha žížal tento substrát opustit (výrazně vyšší výskyt žížalích exkrementů při horním okraji kruhových nádrží).



**Obr. 13.** Průběh teplot v testu porovnávajícím využitelnost krmných vrstev (KV) s kalem z RAS a slámovým ložem (SL) s kaly aplikovanými na jeho povrch. Teploty se vyznačovaly obdobným průběhem i při lišících se mocnostech substrátu.

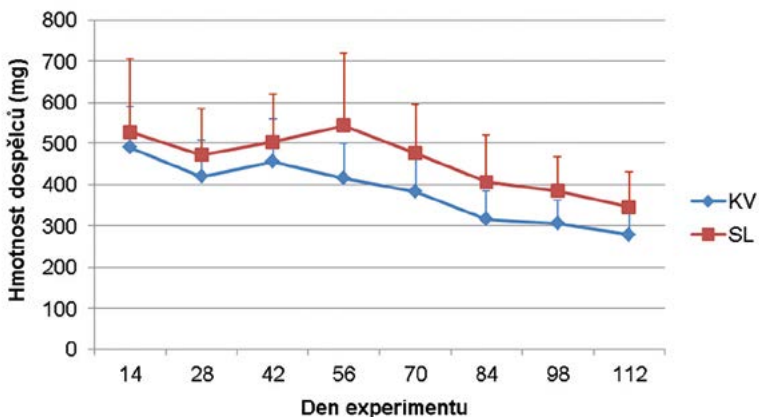


# VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL



**Obr. 14.** Počet dospělců *E. andrei* v substrátech z kontrolních trubek ve variantě s krmnými vrstvami (KV) a ve skupině se slámovým ložem (SL). Data jsou prezentována jako průměr + SD.

Z hlediska hmotnosti však byly dospělci ve skupině SL podstatně větší (Obr. 15). V obou skupinách však byl pozorován pozvolný pokles průměrné hmotnosti. Tento fenomén byl již podrobně popsán v podkapitole 4.2.1. V případě zde popisovaného testu však ještě musíme přihlídnout ke skutečnosti, že tento pokles je patrně ovlivněn také výskytem právě dospívajícího potomstva, jehož hmotnost je na počátku reprodukce přirozeně nižší.



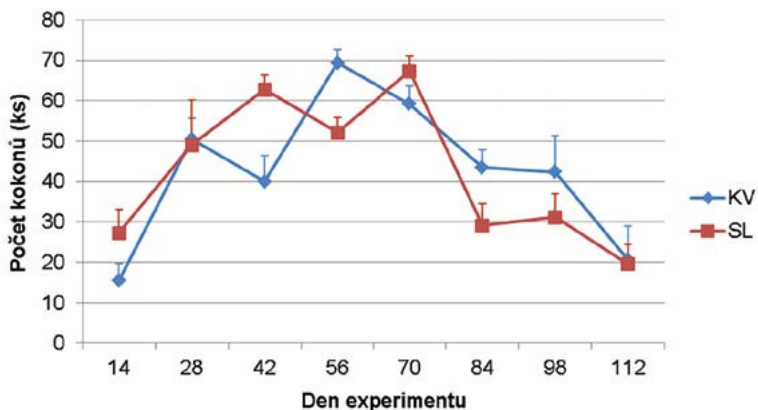
**Obr. 15.** Individuální hmotnost dospělců *E. andrei* v substrátech z kontrolních trubek ve variantě s krmnými vrstvami (KV) a ve skupině se slámovým ložem (SL). Data jsou prezentována jako průměr + SD.

Produkce kokonů vrcholila mezi 42. a 70. dnem (Obr. 16), kdy bylo v každé vzorkovací trubce pozorováno mezi 50 až 70 kokony. Zde pouze připomínáme, že každý kokon obsahuje přinejmenším 2 až 3 juvenilů. Pokles produkce kokonů v následujícím časovém období můžeme odůvodnit celou řadou již zmíněných skutečností.

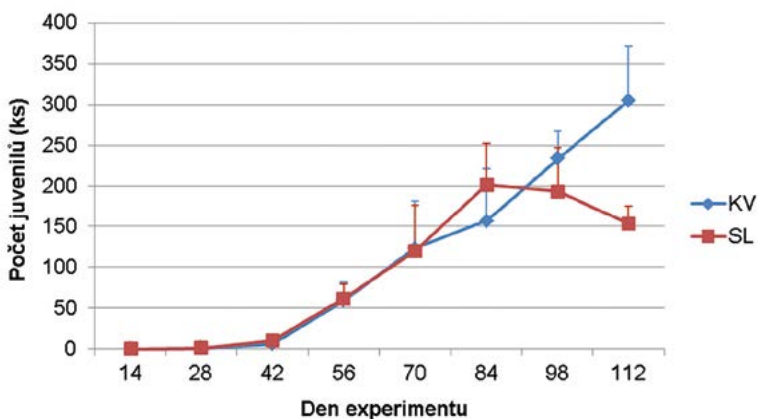
Poměrně pozoruhodný byl prakticky lineární nárůst počtu juvenilů v obou typech substrátů (Obr. 17). Ten však v případě skupiny SL kulminoval okolo 84. dne při průměrném počtu cca 200 ks juvenilů na vzorkovací trubku. Nejpravděpodobnějším vysvětlením je omezená dostupnost potravy a s ní související prostorová limitace pro populaci žížal. V případě substrátu KV zabezpečovaly přidávané krmné vrstvy vhodnější podmínky a průměrný počet juvenilů tak mohl přesáhnout hranici 300 ks na vzorkovací trubku (Obr. 17).

Pro zhodnocení toho, zda lze vzorkovací trubky alespoň rámcově považovat za dostatečné indikátory rozvoje žížalích populací v pokusu jsme na konci testu přebírali substrát z jednoho opakování pro každou variantu (KV i SL) v rozsahu ½ kruhové nádrže a pozorované počty jsme porovnali s predikcí získanou z průměru všech vzorkovacích trubek na konci testu. Ve variantě KV bylo na konci testu ve vzorkovacích trubkách pozorováno průměrně 19,8 dospělců, 20,6 kokonů a 304,3 juvenilů. V celé kruhové nádrži by se při rovnoměrném rozmístění žížal mělo nacházet 675 dospělců, 702 kokonů a 10 376 juvenilů (v polovině substrátu by pak bylo 338 dospělců, 351, kokonů a 5 188 juvenilů. Pozorované počty byly 229 dospělců, 367 kokonů a 3 303 juvenilů. Ve variantě SL bylo na konci ve vzorkovacích trubkách pozorováno průměrně 9,6 dospělců, 19,6 kokonů a 153,7 juvenilů. V celé kruhové nádrži by se při rovnoměrném rozmístění žížal mělo jednat o 327 dospělců, 668 kokonů a 5 241 juvenilů (v polovině substrátu by pak bylo 164 dospělců, 334, kokonů a 2 620 juvenilů). Pozorované počty přitom byly 141 dospělců, 309 kokonů a 2 278 juvenilů. Vzorkovací trubky tedy poměrně dobře korelovaly se situací v samotných substrátech. Uvedené četnosti dobře poukazují na vysoký reprodukční potenciál *E. andrei* po 16 týdnech testu (nasazeno bylo 200 ks dospělců na kruhovou nádrž). Závěrem lze konstatovat, že jak předkládání krmných vrstev, tak aplikace kalů na slámové lože jsou pro kultivaci žížal (a tedy i vermikompostování RAS kalů) možné metody.

# VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL



**Obr. 16.** Počet kokonů *E. andrei* v substrátech z kontrolních trubek ve variantě s krmnými vrstvami (KV) a ve skupině se slámovým ložem (SL). Data jsou prezentována jako průměr + SD.



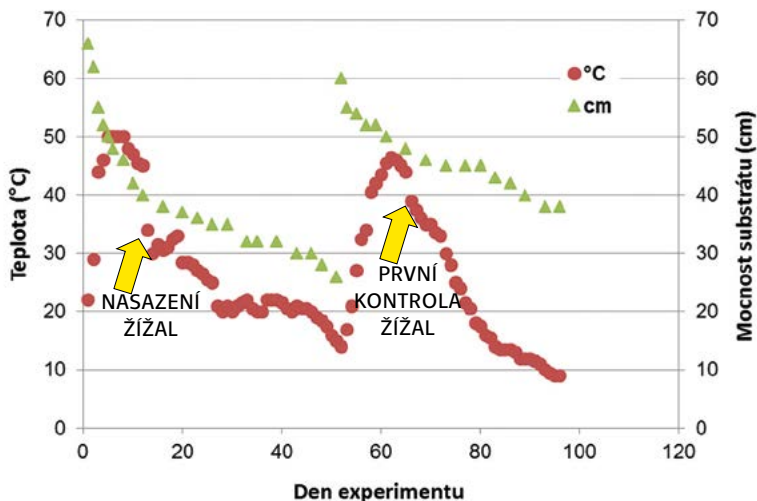
**Obr. 17.** Počet juvenilů *E. andrei* v substrátech z kontrolních trubek ve variantě s krmnými vrstvami (KV) a ve skupině se slámovým ložem (SL). Data jsou prezentována jako průměr + SD.

#### 4.2.4. Ověření vermikompostování kalů z RAS v praxi

---

Po založení kompostu došlo k významnému zvýšení teploty, které gradovalo mezi 5. a 8. dnem (Obr. 18). V tomto období pravděpodobně překračovaly teploty v jádru kompostu teplotu 50 °C, přesné hodnoty však nejsou kvůli typu použitého teploměru známy. Třináctý den byly po poklesu teploty na 34 °C nasazeny žížaly s tím, že mocnost substrátu i jeho teplota nadále povolna klesaly. Po přidání nového substrátu (52. den) teplota opět vzrostla s maximem ve dni 62 (46,5 °C). Krátce na to (66. den) byla provedena první kontrola žížal ve vzorkovacích trubkách. Při této příležitosti byly zjištěny dvě zásadní skutečnosti: 1) násada žížal se ve vermikompostu uchytila a 2) i navzdory prodělaným vysokým teplotám vykazovala vysokou aktivitu. Zde je nutno podotknout, že teploty blížící se 50 °C jsou již vysoko nad druhovým optimumem a tolerancí. Žížaly byly v této době pozorovány pouze v níže položené chladnější vrstvě substrátu, který byl již částečně rozložený, a jeho mocnost byla cca 20 cm, což reprezentuje přibližně 40 % aktuální mocnosti celého vermikompostu. Vycházíme-li z úvahy, že každá vzorkovací trubka je 0,72 % plochy vermikompostu, měla by za předpokladu 100% přežití a rovnoměrné distribuce žížal obsahovat 14,4 ks iniciální násady žížal. V substrátech z rohových trubek bylo pozorováno po 8 dospělých, v případě středového substrátu to ale bylo podstatně více (41 ks). V rohových trubkách bylo navíc nalezeno 8, resp. 15 juvenilů a 11, resp. 15 kokonů, což potvrzuje úspěšnou reprodukci. Jejich absence ve středu substrátu patrně souvisí s limitními (příliš vysokými) teplotními podmínkami pro tato životní stadia. V průběhu zimy již nebyly teplota a mocnost substrátu soustavně monitorovány, po přidavku nového substrátu však bylo možné pozorovat nástup zvýšených teplot během dvou týdnů od aplikace. Rámcově sledovaná teplota tak fluktovala v rozmezí 10 až 30 °C. Při kontrole přezimování a stavu populace žížal v květnu následujícího roku bylo v trubkách v průměru pozorováno 114 kokonů, 977 juvenilů a 405 dospělců. I přes nepříznivé klimatické podmínky zimního období (vermikompost byl založen cca v 620 m n. m.) se populace žížal několikanásobně zvětšila. Je očekávatelné, že výrazně lepších výsledků by bylo dosaženo při hodnocení vermikompostování v průběhu vegetační sezóny.

# VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL



**Obr. 18.** Průběh teplot a mocnosti substrátu během prvních 96 dnů testu na ověření vermikompostování kalů z RAS v praxi. Naznačeno je nasazení žížal a jejich kontrola.

V biomase žížal byl stanoven obsah tuku a kompozice mastných kyselin a tyto hodnoty byly porovnány s hodnotami v použitém krmivu a svalovině dominantně chovaného druhu ryby, pstruha duhovém (Tab. 7). Pozorované zastoupení tuku se nacházelo v obecně dokumentovaném rozmezí 6 až 11 % (Edwards, 1985; Zhenjun a kol, 1997; Medina a kol, 2003). Z nutričního hlediska je kompozice mastných kyselin v biomase žížal velmi příznivá. Má vysoký obsah polynenasycených mastných kyselin (PUFA), nízký obsah nasycených mastných kyselin (SFA) a příznivý poměr n-3/n-6. Biomasa žížal je v porovnání s kompozicí krmiva a svaloviny pstruha duhového v hlavních skupinách mastných kyselin poměrně blízká a zrcadlí tak do velké míry složení používaného krmiva. Naopak v některých jednotlivých mastných kyselinách (např. 12:0; 18:1n-7; 20:4n-6; 20:5n-3) se biomasa žížal významně liší od kompozice krmiva a svaloviny ryb. To naznačuje, že je kompozice mastných kyselin v biomase žížal ovlivněna nejen použitým krmivem, ale také biomasou mikrobiálních společenstev žijících ve vermikompostech a vlastním metabolismem žížal. Pokud by byla tato biomasa žížal použita pro výrobu žížalí moučky, měla by z hlediska výživy ryb velmi příznivé složení. Kromě již zmíněného vysokého obsahu PUFA a vyváženého poměru n-3/n-6 obsahuje vysoké množství kyseliny eikosapentaenové (EPA; 20:5n-3) a kyseliny arachidonové (AA; 20:4n-6), které jsou metabolicky velmi důležité, především jako prekurzory tzv. eikosanoidů. Arachidonová kyselina je velmi důležitá ve výživě generačních a raných stadií sladkovodních ryb. Nicméně

ve většině běžně používaných komerčních krmiv je obsažena ve výrazně nižších koncentracích, než jsou nutriční požadavky zmíněných ryb. Z tohoto pohledu by se mohla biomasa žížal produkovaných v akvakulturních vermikompostech stát zajímavou krmnou ingrediencí pro výrobu krmiv pro generační ryby a raná stadia některých sladkovodních ryb.

**Tab. 7.** Obsah tuku (v % sušiny) a kompozice mastných kyselin v biomase žížal ( $n = 3$ ), v krmivu pro lososovité ryby od firmy BioMar A/S, Dánsko používané v RAS systému ( $n = 1$ ) a ve svalovině dominantně chované ryby (pstruha duhového *Oncorhynchus mykiss*) v tržní velikosti ( $n = 8$ ). Kompozice mastných kyselin je udána v %. Data jsou prezentována jako průměr  $\pm$  SD.

Parametr	Biomasa žížal	Krmivo	Svalovina pstruha duhového
<b>Obsah tuku</b>	9,7 $\pm$ 0,5	27,6	34,1 $\pm$ 3,88
<b>12:0</b>	9,27 $\pm$ 1,68		
<b>12:1</b>	2,02 $\pm$ 0,17		
<b>14:0</b>	2,44 $\pm$ 0,18	5,08	3,75 $\pm$ 0,11
<b>14:1</b>	3,73 $\pm$ 0,26		
<b>15:0</b>		0,37	
<b>16:0</b>	4,87 $\pm$ 0,09	14,12	12,99 $\pm$ 0,39
<b>16:1</b>	3,22 $\pm$ 1,83	5,08	5,39 $\pm$ 0,36
<b>17:1</b>		0,58	0,06 $\pm$ 0,15
<b>18:0</b>	8,09 $\pm$ 0,48	2,89	2,54 $\pm$ 0,14
<b>18:1n-9</b>	3,72 $\pm$ 0,12	24,72	28,43 $\pm$ 0,3
<b>18:1n-7</b>	9,19 $\pm$ 0,24	2,69	3,22 $\pm$ 0,19
<b>18:2n-6</b>	9,02 $\pm$ 0,15	16,51	16,3 $\pm$ 0,5
<b>18:3n-3</b>	0,72 $\pm$ 0,16	4,62	6,16 $\pm$ 0,54
<b>20:0</b>		0,34	
<b>20:1n-9</b>	5,46 $\pm$ 0,37	1,81	1,36 $\pm$ 0,05
<b>20:2n-6</b>	2,04 $\pm$ 0,05	3,98	3,43 $\pm$ 0,14
<b>20:3n-6</b>	0,95 $\pm$ 0,05		0,72 $\pm$ 0,26
<b>20:4n-6</b>	13,86 $\pm$ 0,11	0,53	0,82 $\pm$ 0,05
<b>20:3n-3</b>		4,19	1,97 $\pm$ 0,12
<b>22:0</b>		0,35	0,23 $\pm$ 0,02
<b>20:5n-3</b>	19,11 $\pm$ 0,68	6,06	4,13 $\pm$ 0,17
<b>24:0</b>	0,84 $\pm$ 0,09		
<b>22:5n-3</b>	1,16 $\pm$ 0,02	0,8	1,27 $\pm$ 0,12
<b>22:6n-3</b>	0,29 $\pm$ 0,02	5,28	7,21 $\pm$ 0,54
<b>SFA</b>	25,51 $\pm$ 1,39	23,15	19,5 $\pm$ 0,53
<b>MUFA</b>	27,34 $\pm$ 2,17	34,87	38,47 $\pm$ 0,81
<b>PUFA</b>	47,15 $\pm$ 0,78	41,98	42,02 $\pm$ 0,67
<b>n-3</b>	21,29 $\pm$ 0,84	20,96	20,75 $\pm$ 0,82
<b>n-6</b>	25,87 $\pm$ 0,06	21,02	21,28 $\pm$ 0,34
<b>n-3/n-6</b>	0,82 $\pm$ 0,03	0,99	0,98 $\pm$ 0,05

SFA, nasycené mastné kyseliny; MUFA, mononenasycené mastné kyseliny; PUFA, polynenasycené mastné kyseliny.

## 5. EKONOMICKÝ PŘÍNOS

Celosvětový rozvoj RAS vede k produkci velkého množství odpadu bohatého na živiny – kalů. Kompostování a vermikompostování těchto biologicky rozložitelných odpadů se dá realizovat jednoduše s využitím vhodného plniva (např. levné a dostupné slámy). To může být po namíchání či po pokropení kaly jednoduše realizováno v pásových hromadách na volné ploše nebo prostorách tomu přizpůsobených. Mezi investiční náklady spojené s vermikompostováním kalů z RAS můžeme zahrnout jednorázové náklady na technologické či strojní vybavení (čerpadla pro čerpání kalu, nádrže pro sedimentaci, upravená plocha či prostor pro kompostování, manipulační technika apod.). Dalším nákladem je jednorázové pořízení iniciální násady žížal, jejíž cena je pro zpracování běžně očekávatelných objemů biologicky rozložitelných odpadů na farmách využívajících RAS v našich podmínkách v řádu několika tisíc korun. Násada žížal se ve vhodných podmínkách sama rychle množí a následně se proto využívá vlastní odchovaný materiál pro nová lože vermikompostu. Provozní náklady pak znamenají zejména náklady spojené s přečerpáváním kalů (el. energie) před a po sedimentaci, jejich míchání s plnivem, popř. vlhčení prosychajících hromad. Pro tyto účely je nutno počítat s náklady na pracovníky v rozsahu několika hodin týdně. Následným benefitem je snížení nákladů na odvoz kalů (na vlastní či dohodnuté zemědělské pozemky, ČOV). Posledně jmenovaný způsob je obvykle zpoplatněn. Kvůli vysokému podílu organické hmoty a živin je však kaly z RAS vhodné vermikompostovat, což je krok vedoucí k získání vysoce ceněných vermikompostů a v případě separace od substrátů i biomasy žížal. Obě tyto komodity lze z řady důvodů následně realizovat na trhu.

Dle nám známých předpokladů je možné dopočítat teoretický ekonomický přínos testované technologie i případnou ekonomickou návratnost investice. Shrnutí těchto propočtů uvádí Tab. 8. V tabulce není uvedena pořizovací cena vybavení pro započítání vermikompostování, ale vzhledem k jednoduchosti procesu je předpokládá částka v rozmezí 100 až 200 tis. Kč dle velikosti dané farmy. Pro kalkulaci materiálu je pak uvedena cena obvykle zjistitelná na internetu. Pro kalkulaci ceny výsledných produktů byla použita cena vermikompostu a žížal obvyklá z nabídek na internetu snižená na polovinu (obchodní marže). Z tabulky vyplývá, že návratnost investice není dlouhá. Navíc i při velmi nízké míře rizika poskytuje solidní ekonomický přínos. Reálná rentabilita v konkrétních podmínkách však ještě není v tomto ohledu otestována. Dá se ale očekávat, že by byla rentabilní jak u menších, tak i větších farem. V případě větších farem, při produkci biologicky rozložitelného materiálu více než 150 tun za rok, je pak nutné připočítat náklady na zbudování vodohospodářsky zabezpečené plochy vyspádované do záchytné jímky. V podmínkách ČR ale těchto hodnot nebude pravděpodobně s ohledem na velikost zde budovaných farem dosahováno.

**Tab. 8.** Teoretický ekonomický přínos testované technologie při dvou typech odpadového hospodářství (TOH), odvozem nevyužitých kalů (O) a vermikompostování (V), při různé velikosti (produkci) rybí farmy využívající RAS. Uveden je kvalifikovaný odhad hmotnosti sušiny vyprodukovaného kalu (VK), management VK (náklady na čerpání a zahuštění – el. energie apod.) náklady na odvoz VK, hmotnost a cena plniva pro vermikompostování (PPV) kalů, v tomto případě slámy, celková hmotnost kompostované hmoty (KH); hmotnost zvodnělého kalu s 20 % sušiny + hmotnost PPV, hmotnost (cca 70 % celkové hmotnosti KH) a cena vyprodukovaného vermikompostu (VV), cena vyprodukovaných žízal očistěná o náklady na separaci z vermikompostů (efektivním způsobem je například předložení atraktivního krmiva (např. krmná mouka, šrot) do tenké vrstvy, ke které se žížaly následně ochotně stáhnou) a distribuci (VŽ) (při ceně 0,2 Kč.ks<sup>-1</sup>) a ekonomický výsledek vermikompostování kalů. Hodnoty jsou vztaženy k jednomu hospodářskému roku.

TOH	Produkce ryb (t)	Hmotnost sušiny VK (t)	Management VK (tis. Kč)	Odvoz VK (tis. Kč)	Hmotnost PPV (t)	Cena PPV (tis. Kč)	Celková hmotnost KH (t)	Hmotnost VV (t)	Cena VV (tis. Kč)	Cena VŽ (tis. Kč)	Ekonomický výsledek (tis. Kč)
O	50	3	0	10	0	0	0	0	0	0	- 10
O	100	6	0	20	0	0	0	0	0	0	-20
V	50	3	14	0	3	3,75	18,0	12,6	63	14,4	59,7
V	100	6	28	0	6	7,5	36,0	25,2	126	28,8	119,3
V	200	12	56	0	12	15,0	72,0	50,4	252	57,6	238,6



## 6. UPLATNĚNÍ TECHNOLOGIE V PRAXI

Cílem této technologie založené na sérii vlastních testů a kritického zhodnocení dostupné literatury včetně příslušné legislativy bylo poskytnout ucelený náhled na vermikompostovatelnost kalů z RAS a sumarizaci zjištěných technologických doporučení. Vedle vlastní možnosti zpracování zmiňovaných odpadních kalů tímto ekologicky šetrným způsobem je pak kriticky zhodnocena i další využitelnost získaných vermikompostů a biomasy žížal. Vývoj a testování probíhaly v synergii výzkumné organizace a tří podnikatelských subjektů zaměřených na oblast produkce ryb v RAS. Ze získaných poznatků usuzujeme, že se jedná o technologii vhodnou pro široké spektrum potenciačních zájemců v tomto oboru.

**Zjištěné závěry určující vhodnost tohoto způsobu hospodaření s odpadními kaly z RAS lze shrnout do následujících bodů:**

- Substráty s kaly z RAS poskytují vhodné podmínky pro rozvoj žížalí populace – zabezpečují dobré přežití a růst násady, rychlou a intenzivní reprodukci (produkce kokonů a juvenilů).
- Kaly z RAS i finální vermikomposty jsou bezpečné. Obsah sledovaných těžkých kovů je pod limitem z pohledu jejich dalšího využití v zemědělství – zpravidla pro účely hnojení. V určitých případech je jediným problematickým kovem zinek, jenž je v krmných směsích pro ryby pravděpodobně nadužívám, žížaly i ryby jsou schopné jeho obsah ve svých tělech účinně regulovat.
- Není překvapivé, že vermikompost je oproti kalům vysoce ceněný, ale totéž platí i při porovnání s komposty. Obsahuje totiž nejen živiny, ale i velice kvalitní organické látky (např. huminové kyseliny), růstové hormony rostlin (auxiny, gibereliny a cytokininy) a v neposlední řadě také enzymy, které se dostávají do výměšků žížal z jejich trávicího traktu. Složení vermikompostu se pozitivně odráží v agrochemických a biologických vlastnostech hnojené půdy a následně na růstu výnosů a kvalitě produkce. Rostliny jsou odolnější proti chorobám a škůdcům, což umožňuje omezení zásahů pesticidy. Vermikompost umožňuje rostlinám lépe využívat minerální látky v půdě již obsažené.
- Biomasa žížal je vysoce bohatým zdrojem bílkovin a může být využita jako alternativní krmivo, a to buď v živém stavu nebo ve formě moučky, jak bylo prokázáno u řady druhů ryb i dalších hospodářských zvířat (prasat, kuřat). Příznivé je i zastoupení tuku v biomase žížal, příznivá je především kompozice přítomných mastných kyselin. Využití žížal jako alternativního krmiva (např. pro ryby) je smysluplné především v rozvíjejících se regionech

světa, kde je dostupnost kvalitních krmných směsí nízká, popř. je jejich cena neúnosně vysoká. Částečně se může jednat i o krok snížit poptávku po komoditách, jako je rybí moučka a rybí olej, jejichž získávání z dnes již přelovených moří mj. pro akvakulturní účely je trvale neudržitelné.

- V našich podmínkách se jako ekonomicky zajímavá jeví především nabídka živých žížal sportovním rybářům (jako návnada nebo nástraha), chovatelům některých domácích mazlíčků pro zpestření jejich diety nebo jako násada pro domácí a zahradní vermikomposty.
- Žížaly byly shledány jako bezpečné pro krmné účely. Výjimečně byl ze sledovaných těžkých kovů nadlimitní pouze arzen. Je však velmi pravděpodobné, že se zde dominantně (stejně jako v krmivu pro ryby, samotných rybách, kalech z RAS a vermikompostech) vyskytuje v organických formách, které jsou oproti anorganickým výrazně méně toxické.
- Jednou z kritických fází procesu vermikompostování je nasazení žížal – zde jsou důležité především dva faktory – teplota a toxicita čerstvých kalů z RAS. Ty jsou dány iniciálním zahřátím organické hmoty typickým pro proces kompostování a vysokými koncentracemi volného amoniaku v kalech. Z toho důvodu je vždy vhodné nejprve provést zkoušku snášenlivosti, neboť kvalita kalů z RAS je velmi proměnlivá.
- S ohledem na rozvoj populace žížal je vhodnější předkládat nové substráty („krmivo“) ve vrstvách. Proces míchání plniva (např. slámy) a kalů je ale náročný a zdoluhavý. Z toho důvodu lze realizovat i aplikaci kalů na slámové lože, jež byla shledána jako přijatelná.
- V porovnání s klasickým kompostováním pomocí překopávače je proces vermikompostování zdoluhavý (cca trojnásobně). Překopávač ale v tomto případě není nutný. Překopávání, fragmentaci substrátu a aeraci zabezpečují z větší míry žížaly. Z výše uvedených aspektů tedy vyplývá, že vermikompostování kalů z RAS je jednoduchá, levná a přírodě blízká technologie.

## 7. SEZNAM LITERATURY

- Albanell, E., Plaixats, J., Cabrero, T., 1988. Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia fetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes. *Biology and Fertility of Soils* 6: 266–269.
- André, F., 1963. Contribution à l'analyse expérimentale de la reproduction des lombriciens, Éditions du Bulletin Biologique de la France et de la Belgique, 101 pp.
- Appelqvist, L.A., 1968. Rapid methods of lipid extraction and fatty acid methyl ester preparation for seed and leaf tissue with special remarks on preventing accumulation of lipid contaminants. *Arkiv för kemi, Royal Swedish Academy of Science* 28: 551–570.
- Bergheim, A., Cripps, S.J., Liltved, H., 1998. A system for the treatment of sludge from land-based fish-farms. *Aquatic Living Resources* 11: 279–287.

# VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL

- Blancheton, J.-P., Piedrahita, R., Eding, E., Lemarie, G., Bergheim, A., Fivelstad, S., Roque D'Orbcastel, E., 2007. Intensification of landbased aquaculture production in single pass and reuse systems. In: Bergheim, A. (Ed.), *Aquacultural Engineering and Environment*, Research Signpost, pp. 21–47.
- Bouché, M.B., 1972. *Lombriciens de France: Écologie et systématique*. I.N.R.A. Publ. Annales de Zoologie Ecologie Animale 72: 671 pp.
- Brinton, W.F., 2000. *Compost quality standards and guidelines*. Woods End Research Laboratory, Inc., 42 pp.
- Bureau, D.P., Gunther, S.J., Cho, C.Y., 2003. Chemical composition and preliminary theoretical estimates of waste outputs of rainbow trout reared in commercial cage culture operations in Ontario. *North American Journal of Aquaculture* 65: 33–38.
- Buřič, M., Bláhovec, J., Kouřil, J., 2015. Back to the roots: The integration of a constructed wetland into a recirculating hatchery-a case study. *PLoS One* 10: e0123577.
- Buřič, M., Bláhovec, J., Kouřil, J., 2016. Feasibility of open recirculating system in temperate climate – a case study. *Aquaculture Research* 47: 1156–1167.
- Colt, J., 1991. *Aquacultural production systems*. Journal of Animal Science 69: 4183–4192.
- National Research Council, 2011. *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. National Academies Press, Washington, D.C., USA, 392 pp.
- Cripps, S.J., Bergheim, A., 2000. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. *Aquacultural Engineering* 22: 33–56.
- Crome, C.J., Nickell, T.D., Black, K.D., 2002. DEPOMOD – modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. *Aquaculture* 214: 211–239.
- ČSN 46 5735, *Průmyslové komposty*. Schválena 12. 4. 1991. Vydavatelství norem, Praha, 31 s.
- Das, P., Samantaray, S., Rout, G., 1997. Studies on cadmium toxicity in plants: A review. *Environmental Pollution* 98: 29–36.
- Davis, D.A., Gatlin III, D.M., 1996. Dietary mineral requirements of fish and marine crustaceans. *Reviews in Fisheries Science* 4: 75–99.
- del Campo, L.M., Ibarra, P., Gutiérrez, X., Takle, H., 2010. Utilization of sludge from recirculation aquaculture. *Nofima AS 9/2010*, 63 pp.
- Domínguez, J., Edwards, C., 2004. Vermicomposting organic wastes: A review. In: Hanna, S., Mikhail, W. (Eds), *Soil Zoology For Sustainable Development in the 21<sup>st</sup> Century*. Geocities, Cairo, Egypt, pp. 369–395.
- Domínguez, J., Velando, A., Ferreira, A., 2005. Are *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) and *Eisenia andrei* (Oligochaeta, Lumbricidae) different biological species? *Pedobiologia* 49: 81–87.
- Dvořák, J., Mančíková, V., Pižl, V., Elhottová, D., Šilerová, M., Roubalová, R., Škanta, F., Procházková, P., Bilej, M., 2013. Microbial environment affects innate immunity in two closely related earthworm species *Eisenia andrei* and *Eisenia fetida*. *PLoS One* 8: e79257.
- Edwards, C., 1985. Production of feed protein from animal waste by earthworms. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 310: 299–307.
- Edwards, C.A., 2004. *Earthworm Ecology*. CRC Press, London, UK, 448 pp.
- Edwards, C.A., Arancon, N.Q., Sherman, R., 2010. *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management*. CRC Press, London, UK, 623 pp.
- Elvira, C., Domínguez, J., Mato, S., 1997. The growth and reproduction of *Lumbricus rubellus* and *Dendrobaena rubida* in cow manure mixed cultures with *Eisenia andrei*. *Applied Soil Ecology* 5: 97–103.
- Elvira, C., Goicoechea, M., Sampedro, L., Mato, S., Nogales, R., 1996. Bioconversion of solid paper-pulp mill sludge by earthworms. *Bioresource Technology* 57: 173–177.

- Elvira, C., Sampedro, L., Benitez, E., Nogales, R., 1998. Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*: A pilot-scale study. *Bioresource Technology* 63: 205–211.
- EU, 1986. Směrnice Rady 86/278/EHS ze dne 12. června 1986 o ochraně životního prostředí a zejména půdy při používání kalů z čistíren odpadních vod v zemědělství.
- EU, 2002. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/32/ES ze dne 7. května 2002 o nežádoucích látkách v krmivech.
- EU, 2003. Směrnice Komise 2003/100/ES ze dne 31. října 2003, kterou se mění příloha I směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/32/ES o nežádoucích látkách v krmivech.
- EU, 2012. Nařízení Komise (EU) č. 744/2012 ze dne 16. srpna 2012, kterým se mění přílohy I a II směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/32/ES, pokud jde o maximální obsahy arsenu, fluoru, olova, rtuti, endosulfanu, dioxinů, *Ambrosia* spp., diclazurilu a lasalocidu sodného A a o akční prahy pro dioxiny.
- Fallah, A.A., Saei-Dehkordi, S.S., Nematollahi, A., Jafari, T., 2011. Comparative study of heavy metal and trace element accumulation in edible tissues of farmed and wild rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) using ICP-OES technique. *Microchemical Journal* 98: 275–279.
- FAO, 2016. The State of World Fisheries and Aquaculture 2016.
- Flick, D., Kraybill, H., Dlmittroff, J., 1971. Toxic effects of cadmium: A review. *Environmental Research* 4: 71–85.
- Fredriksson Eriksson, S., Pickova, J., 2007. Fatty acids and tocopherol levels in *M. Longissimus dorsi* of beef cattle in Sweden – A comparison between seasonal diets. *Meat Science* 76: 746–754.
- Fosgate, O.T., Babb, M.R., 1972. Biodegradation of animal waste by *Lumbricus terrestris*. *Journal of Dairy Science* 55: 870–872.
- Gunadi, B., Edwards, C.A., 2003. The effects of multiple applications of different organic wastes on the growth, fecundity and survival of *Eisenia fetida* (Savigny) (Lumbricidae). *Pedobiologia* 47: 321–329.
- Hanč, A., Plíva, P., 2013. Vermikompostování bioodpadů. Česká zemědělská univerzita v Praze, 38 s.
- Hara, A., Radin, N.S., 1978. Lipid extraction of tissues with a low toxicity solvent. *Analytical Biochemistry* 90: 420–426.
- Hartenstein, R., Amico, L., 1983. Production and carrying capacity for the earthworm *Lumbricus terrestris* in culture. *Soil Biology and Biochemistry* 15: 51–54.
- Hartenstein, R., Leaf, A.L., Neuhauser, E.F., Bickelhaupt, D.H., 1980. Composition of the earthworm *Eisenia foetida* (Savigny) and assimilation of 15 elements from sludge during growth. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology* 66: 187–192.
- He, X., Zhang, Y., Shen, M., Zeng, G., Zhou, M., Li, M., 2016. Effect of vermicomposting on concentration and speciation of heavy metals in sewage sludge with additive materials. *Bioresource Technology* 218: 867–873.
- Horn, M.A., Schramm, A., Drake, H.L., 2003. The earthworm gut: An ideal habitat for ingested N<sub>2</sub>O – producing microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology* 69: 1662–1669.
- Horn, M.A., Mertel, R., Gehre, M., Kästner, M., Drake, H.L., 2006. *In vivo* emission of dinitrogen by earthworms via denitrifying bacteria in the gut. *Applied and Environmental Microbiology* 72: 1013–1018.
- Chakrabarty, D., Das, S., Das, M., 2009a. Relative efficiency of vermicompost as direct application manure in pisciculture. *Paddy and Water Environment* 7: 27–32.

# VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL

- Chakrabarty, D., Das, S.K., Das, K., Biswas, P., Karmegam, N., 2009b. Application of vermitechnology in aquaculture. *Dynamic Soil, Dynamic Plant* 3: 41–44.
- Chen, S., Coffin, D.E., Malone, R.F., 1997. Sludge production and management for recirculating aquacultural systems. *Journal of the World Aquaculture Society* 28: 303–315.
- Insam, H., Franke-Whittle, I., Goberna, M., 2010. *Microbes at work: From Wastes to Resources*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 338 pp.
- Kalay, M., Ay, Ö., Canli, M., 1999. Heavy metal concentrations in fish tissues from the Northeast Mediterranean Sea. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 63: 673–681.
- Kaplan, D., Hartenstein, R., Neuhauser, E., 1980. Coprophagic relations among the earthworms *Eisenia foetida*, *Eudrilus eugeniae* and *Amyntas* spp. *Pedobiologia* 20: 74–84.
- Karaca, A., 2010. *Biology of Earthworms*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Německo, 224 pp.
- Kaur, V.I., Ansal, M.D., 2010. Efficacy of vermicompost as fish pond manure – Effect on water quality and growth of *Cyprinus carpio* (Linn.). *Bioresource Technology* 101: 6215–6218.
- Kouba, A., Buřič, M., Kozák, P., 2010. Bioaccumulation and effects of heavy metals in crayfish: A review. *Water Air and Soil Pollution* 211: 5–16.
- Li, L., Xu, Z., Wu, J., Tian, G., 2010. Bioaccumulation of heavy metals in the earthworm *Eisenia fetida* in relation to bioavailable metal concentrations in pig manure. *Bioresource Technology* 101: 3430–3436.
- Maillard, V.M., Boardman, G.D., Nyland, J.E., Kuhn, D.D., 2005. Water quality and sludge characterization at raceway-system trout farms. *Aquacultural Engineering* 33: 271–284.
- Mariotti, F., Tomé, D., Mirand, P.P., 2008. Converting nitrogen into protein-beyond 6.25 and Jones' factors. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 48: 177–184.
- Marsh, L., Subler, S., Mishra, S., Marini, M., 2005. Suitability of aquaculture effluent solids mixed with cardboard as a feedstock for vermicomposting. *Bioresource Technology* 96: 413–418.
- Martins, C., Eding, E.H., Verdegem, M.C., Heinsbroek, L.T., Schneider, O., Blancheton, J.-P., d'Orbcastel, E.R., Verreth, J., 2010. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering* 43: 83–93.
- Medina, A., Cova, J., Vielma, R., Pujic, P., Carlos, M., Torres, J.V., 2003. Immunological and chemical analysis of proteins from *Eisenia foetida* earthworm. *Food and Agricultural Immunology* 15: 255–263.
- Mekada, H., Hayashi, N., Yokota, H.-o., Okumura, J.-i. 1979. Performance of growing and laying chickens fed diets containing earthworms (*Eisenia foetida*). *Japanese Poultry Science* 16: 293–297.
- Mráz, J., Pickova, J., 2009. Differences between lipid content and composition of different parts of filets from crossbred farmed carp (*Cyprinus carpio*). *Fish Physiology and Biochemistry* 35: 615–623.
- MZe, 2011. *Situační a výhledová zpráva obiloviny*. Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha, 90 s.
- Morais, F., Queda, C., 2003. Study of storage influence on evolution of stability and maturity properties of MSW composts. *Advances for a sustainable Society Part II: Proceedings of the fourth International Conference of ORBIT association on Biological Processing of Organics*. Perth, Australia.
- Moreki, B., Tiroesele, B., 2012. Termites and earthworms as potential alternative sources of protein for poultry. *International Journal for Agro Veterinary and Medical Sciences* 6: 368–376.

- Naylor, S.J., Moccia, R.D., Durant, G.M., 1999. The chemical composition of settleable solid fish waste (manure) from commercial rainbow trout farms in Ontario, Canada. *North American Journal of Aquaculture* 61: 21–26.
- Ndegwa, P.M., Thompson, S., 2000. Effects of C-to-N ratio on vermicomposting of biosolids. *Bioresource Technology* 75: 7–12.
- Ogino, C., Yang, Y.G., 1978. Requirement of rainbow trout for dietary zinc. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 44: 1015–1018.
- Pauly, D., Christensen, V., Guénette, S., Pitcher, T.J., Sumaila, U.R., Walters, C.J., Watson, R., Zeller, D., 2002. Towards sustainability in world fisheries. *Nature* 418: 689–695.
- Pérez-Losada, M., Eiroa, J., Mato, S., Domínguez, J., 2005. Phylogenetic species delimitation of the earthworms *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) and *Eisenia andrei* Bouché, 1972 (*Oligochaeta*, *Lumbricidae*) based on mitochondrial and nuclear DNA sequences. *Pedobiologia* 49: 317–324.
- Ray, D.K., Mueller, N.D., West, P.C., Foley, J.A., 2013. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PLoS One* 8: e66428.
- Reid, G., Liutkus, M., Robinson, S., Chopin, T., Blair, T., Lander, T., Mullen, J., Page, F., Moccia, R., 2009. A review of the biophysical properties of salmonid faeces: Implications for aquaculture waste dispersal models and integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Research* 40: 257–273.
- Reinecke, A., Viljoen, S., 1991. A comparison of the biology of *Eisenia fetida* and *Eisenia andrei* (*Oligochaeta*). *Biology and Fertility of Soils* 11: 295–300.
- Sloth, J.J., Julshamn, K., Lundebye, A.-K., 2005. Total arsenic and inorganic arsenic content in Norwegian fish feed products. *Aquaculture Nutrition* 11: 61–66.
- Tomsovy žížaly, 2008. [www.hnojnizizaly.cz/](http://www.hnojnizizaly.cz/) (navštíveno 7. 8. 2017).
- van Rijn, J., 1996. The potential for integrated biological treatment systems in recirculating fish culture – A review. *Aquaculture* 139: 181–201.
- Vyhláška Ministerstva zemědělství České republiky č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva.
- Vyhláška Ministerstva životního prostředí České republiky č. 437/2016 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady a změně vyhlášky č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady.
- Wik, T.E., Lindén, B.T., Wramner, P.I., 2009. Integrated dynamic aquaculture and wastewater treatment modelling for recirculating aquaculture systems. *Aquaculture* 287: 361–370.
- Yadav, K.D., Tare, V., Ahammed, M.M., 2010. Vermicomposting of source-separated human faeces for nutrient recycling. *Waste Management* 30: 50–56.
- Zbírál, J., 2011. *Analýza půd II jednotné pracovní postupy*, 3. ed., Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno.
- Zbírál, J., Honsa, I., 2010. *Analýza půd I jednotné pracovní postupy*, 3. ed., Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno.
- Zbírál, J., Malý, S., Váňa, M., 2011. *Analýza půd III jednotné pracovní postupy*, 3. ed., Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno.
- Zhenjun, S., Xianchun, L., Lihui, S., Chunyang, S., 1997. Earthworm as a potential protein resource. *Ecology of Food and Nutrition* 36: 221–236.

VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH  
AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ  
KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL

**8. PŘÍLOHY**

**Příloha 1.** Přežití násadového materiálu žížal (dospělců *E. andrei*) v kontrolním substrátu z drčené pšeničné slámy (K) a ve variantách s kaly z RAS získanými z O – odtokového kanálu za odchovnými jednotkami, B – ponořené biofiltru a R – sedimentačního rybníka s iniciálním zastoupením 5, 10, 20 a 30 % v sušíně. Data jsou prezentována jako průměr ± SD. Hodnoty s lišícími se písmeny v příslušných řádcích jsou statisticky průkazně rozdílné (arkisínová transformace procent přežití, jednocestná ANOVA, Tukeyův HSD test pro stejné n, n = 3, p < 0,05).

Týden	K	O5	O10	O20	O30	B5	B10	B20	B30	R5	R10	R20	R30
0	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>
1	96,7±4,7 <sup>a</sup>	96,7±4,7 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>
2	96,7±4,7 <sup>a</sup>	96,7±4,7 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	96,7±4,7 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	96,7±4,7 <sup>a</sup>	96,7±4,7 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	96,7±4,7 <sup>a</sup>
4	96,7±4,7 <sup>a</sup>	96,7±4,7 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	96,7±4,7 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	96,7±4,7 <sup>a</sup>	96,7±4,7 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	96,7±4,7 <sup>a</sup>
6	96,7±4,7 <sup>a</sup>	90,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	96,7±4,7 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	96,7±4,7 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	93,3±4,7 <sup>a</sup>	96,7±4,7 <sup>a</sup>	93,3±4,7 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	96,7±4,7 <sup>a</sup>
8	90,0±8,2 <sup>a</sup>	83,3±4,7 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	93,3±9,4 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	86,6±9,4 <sup>a</sup>	93,3±4,7 <sup>a</sup>	93,3±9,4 <sup>a</sup>	86,7±12,5 <sup>a</sup>	93,3±4,7 <sup>a</sup>	93,3±4,7 <sup>a</sup>	90,0±8,2 <sup>a</sup>	93,3±4,7 <sup>a</sup>
10	80,0±8,2 <sup>a</sup>	76,7±4,7 <sup>a</sup>	90,0±14,1 <sup>a</sup>	93,3±9,4 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	86,6±9,4 <sup>a</sup>	86,6±12,5 <sup>a</sup>	93,3±9,4 <sup>a</sup>	86,7±12,5 <sup>a</sup>	83,3±9,4 <sup>a</sup>	83,3±12,5 <sup>a</sup>	83,3±12,5 <sup>a</sup>	86,7±4,7 <sup>a</sup>
12	76,7±4,7 <sup>ab</sup>	73,3±4,7 <sup>ab</sup>	90,0±14,1 <sup>ab</sup>	76,7±9,4 <sup>ab</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	80,0±16,3 <sup>ab</sup>	80,0±14,1 <sup>ab</sup>	76,7±17,0 <sup>ab</sup>	70,0±21,6 <sup>b</sup>	63,3±4,7 <sup>a</sup>	70,0±0,0 <sup>b</sup>	66,7±12,5 <sup>b</sup>	63,3±4,7 <sup>a</sup>
14	66,7±12,5 <sup>a</sup>	66,7±12,5 <sup>a</sup>	73,3±12,5 <sup>a</sup>	66,7±4,7 <sup>a</sup>	96,7±4,7 <sup>a</sup>	70,0±14,1 <sup>a</sup>	76,7±17,0 <sup>a</sup>	66,7±12,5 <sup>a</sup>	46,7±12,5 <sup>a</sup>	53,3±17,0 <sup>a</sup>	63,3±9,4 <sup>a</sup>	56,7±4,7 <sup>a</sup>	50,0±8,2 <sup>a</sup>
16	60,0±14,1 <sup>a</sup>	66,7±12,5 <sup>a</sup>	40,0±8,2 <sup>a</sup>	50,0±16,3 <sup>a</sup>	70,0±24,5 <sup>a</sup>	63,3±18,9 <sup>a</sup>	53,3±18,9 <sup>a</sup>	60,0±8,2 <sup>a</sup>	23,3±12,5 <sup>a</sup>	46,7±12,5 <sup>a</sup>	46,7±12,5 <sup>a</sup>	56,7±4,7 <sup>a</sup>	40,0±16,3 <sup>a</sup>

**Příloha 2.** Individuální hmotnost (mg) násadového materiálu žíhal (dospělci *E. andrei*) v kontrolním substrátu z drčené pšeničné slámy (K) a ve variantách s kaly z RAS získanými z O – odtokového kanálu za odchovnými jednotkami, B – ponorového biofiltru a R – sedimentačního rybníka s iniciálním zastoupením 5, 10, 20 a 30 % v susině. Data jsou prezentována jako průměr ± SD. Hodnoty s lišicemi se malými písmeny v příslušných řádcích jsou statisticky průkazně rozdílné v rámci konkrétních kalů, tj. mezi substráty s různým zastoupením téhož kalu. Hodnoty s lišicemi se velkými písmeny v příslušných řádcích jsou statisticky průkazně rozdílné mezi kaly s jejich identickým zastoupením napříč substráty. Hvězdičky značí skupiny odlišné od kontroly (jednocestná ANOVA, Tukeyův HSD test pro nestejně  $n$ ,  $p < 0,05$ ).

Týden	K	O5	O10	O20	O30	B5	B10	B20	B30	R5	R10	R20	R30
0	396,8±83,0	394,5±73,3 <sup>ab</sup>	393,3±92,2 <sup>ab</sup>	400,8±86,3 <sup>ab</sup>	401,3±80,4 <sup>ab</sup>	401,5±85,9 <sup>ab</sup>	400,9±98,1 <sup>ab</sup>	399,9±91,5 <sup>ab</sup>	396,6±85,1 <sup>ab</sup>	399,6±90,6 <sup>ab</sup>	401,8±91,6 <sup>ab</sup>	403,5±96,0 <sup>ab</sup>	401,0±95,4 <sup>ab</sup>
2	392,5±66,2	411,2±64,4 <sup>ab</sup>	398,0±73,8 <sup>ab</sup>	433,2±76,2 <sup>ab</sup>	463,4±102,0 <sup>ab</sup>	407,4±93,1 <sup>ab</sup>	428,5±76,1 <sup>ab</sup>	466,6±92,3 <sup>ab</sup>	462,0±75,9 <sup>ab</sup>	405,1±86,8 <sup>ab</sup>	404,7±84,3 <sup>ab</sup>	468,0±101,7 <sup>ab</sup>	482,9±93,6 <sup>ab</sup>
4	336,9±66,4	396,4±73,7 <sup>ab</sup>	375,2±82,6 <sup>ab</sup>	462,0±88,4 <sup>ab</sup>	536,0±115,4 <sup>ab</sup>	392,5±70,2 <sup>ab</sup>	450,2±75,0 <sup>ab</sup>	498,7±101,5 <sup>ab</sup>	523,7±102,9 <sup>ab</sup>	376,1±71,2 <sup>ab</sup>	394,0±73,4 <sup>ab</sup>	477,1±93,5 <sup>ab</sup>	544,9±83,4 <sup>ab</sup>
6	347,4±80,5	368,3±71,5 <sup>ab</sup>	361,3±79,6 <sup>ab</sup>	437,5±93,1 <sup>ab</sup>	549,5±125,7 <sup>ab</sup>	391,4±76,8 <sup>ab</sup>	382,1±65,7 <sup>ab</sup>	442,6±101,8 <sup>ab</sup>	459,2±115,8 <sup>ab</sup>	338,1±59,9 <sup>ab</sup>	375,1±76,5 <sup>ab</sup>	411,2±83,0 <sup>ab</sup>	450,0±84,5 <sup>ab</sup>
8	310,3±66,9	293,9±47,8 <sup>ab</sup>	307,5±80,4 <sup>ab</sup>	403,7±85,3 <sup>ab</sup>	469,2±104,5 <sup>ab</sup>	307,9±69,1 <sup>ab</sup>	302,7±55,1 <sup>ab</sup>	378,5±114,7 <sup>ab</sup>	358,5±74,2 <sup>ab</sup>	290,2±55,6 <sup>ab</sup>	298,3±70,2 <sup>ab</sup>	322,3±59,6 <sup>ab</sup>	349,1±76,0 <sup>ab</sup>
10	297,5±70,2	267,7±64,9 <sup>ab</sup>	271,8±59,3 <sup>ab</sup>	299,7±86,7 <sup>ab</sup>	377,6±101,0 <sup>ab</sup>	269,0±62,5 <sup>ab</sup>	263,6±64,8 <sup>ab</sup>	315,7±86,6 <sup>ab</sup>	278,4±79,4 <sup>ab</sup>	250,0±48,0 <sup>ab</sup>	254,0±66,6 <sup>ab</sup>	270,4±69,3 <sup>ab</sup>	293,5±64,0 <sup>ab</sup>
12	261,5±67,7	247,7±71,5 <sup>ab</sup>	243,9±53,9 <sup>ab</sup>	274,0±69,2 <sup>ab</sup>	283,5±76,5 <sup>ab</sup>	232,4±64,6 <sup>ab</sup>	221,7±44,9 <sup>ab</sup>	272,9±63,0 <sup>ab</sup>	248,5±65,9 <sup>ab</sup>	222,7±47,0 <sup>ab</sup>	230,0±60,6 <sup>ab</sup>	254,2±49,4 <sup>ab</sup>	256,7±57,1 <sup>ab</sup>
14	246,7±75,3	246,5±66,9 <sup>ab</sup>	219,2±61,8 <sup>ab</sup>	265,2±73,4 <sup>ab</sup>	257,3±75,4 <sup>ab</sup>	240,1±54,0 <sup>ab</sup>	218,6±47,0 <sup>ab</sup>	277,1±57,7 <sup>ab</sup>	244,4±72,0 <sup>ab</sup>	233,4±41,0 <sup>ab</sup>	226,7±65,5 <sup>ab</sup>	242,7±50,4 <sup>ab</sup>	255,9±60,7 <sup>ab</sup>
16	231,2±60,4	198,9±69,2 <sup>ab</sup>	188,4±41,7 <sup>ab</sup>	212,7±68,9 <sup>ab</sup>	228,9±58,2 <sup>ab</sup>	208,8±52,2 <sup>ab</sup>	204,6±36,3 <sup>ab</sup>	226,8±58,2 <sup>ab</sup>	243,3±74,6 <sup>ab</sup>	171,5±52,2 <sup>ab</sup>	207,5±58,4 <sup>ab</sup>	207,1±57,2 <sup>ab</sup>	223,4±47,7 <sup>ab</sup>



VERMIKOMPOSTOVÁNÍ KALŮ ZE SLADKOVODNÍCH  
AKVAKULTURNÍCH RECIRKULAČNÍCH SYSTÉMŮ A ZHODNOCENÍ  
KVALITY FINÁLNÍCH VERMIKOMPOSTŮ A BIOMASY ŽÍŽAL

**Příloha 3.** Počet kokonů žížal *E. andrei* v kontrolním substrátu z drčené pšeničné slámy (K) a ve variantách s kaly z RAS získanými z O – odtokového kádlu za odchovnými jednotkami, B – ponořeného biofiltru a R – sedimentačního rybníka s iniciálním zastoupením 5, 10, 20 a 30 % v sušině. Data jsou prezentována jako průměr ± SD. Hodnoty s lišícími se písmeny v příslušných řádcích jsou statisticky průkazně rozdílné (Kruskal-Wallisův test, Vícečíslovné porovnání průměrného pořadí všech skupin, n = 3, p < 0,05).

Týden	K	O5	O10	O20	O30	B5	B10	B20	B30	R5	R10	R20	R30
1	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>
2	2,7±2,4 <sup>a</sup>	2,3±1,9 <sup>a</sup>	4,0±2,2 <sup>a</sup>	6,3±3,4 <sup>a</sup>	4,7±1,7 <sup>a</sup>	4,3±0,5 <sup>a</sup>	8,7±3,1 <sup>a</sup>	10,3±1,7 <sup>a</sup>	13,0±2,2 <sup>a</sup>	8,7±2,1 <sup>ab</sup>	6,7±0,5 <sup>a</sup>	9,3±1,7 <sup>a</sup>	12,0±4,2 <sup>a</sup>
4	13,3±6,5 <sup>a</sup>	17,0±1,4 <sup>a</sup>	22,0±8,6 <sup>a</sup>	29,3±0,9 <sup>a</sup>	22,7±10,2 <sup>a</sup>	21,7±2,9 <sup>a</sup>	19,33,3 <sup>a</sup>	26,7±3,8 <sup>a</sup>	36,3±8,2 <sup>a</sup>	23,0±3,6 <sup>a</sup>	15,7±5,0 <sup>a</sup>	27,0±1,4 <sup>a</sup>	26,7±2,9 <sup>a</sup>
6	12,7±5,9 <sup>ab</sup>	19,7±4,8 <sup>ab</sup>	21,7±10,8 <sup>ab</sup>	44,3±7,6 <sup>ab</sup>	57,7±14,3 <sup>b</sup>	12,7±2,5 <sup>ab</sup>	20,3±4,0 <sup>ab</sup>	29,7±1,9 <sup>ab</sup>	32,7±12,1 <sup>ab</sup>	26,0±10,7 <sup>ab</sup>	10,0±0,8 <sup>b</sup>	23,0±6,5 <sup>ab</sup>	23,3±7,8 <sup>ab</sup>
8	13,3±6,1 <sup>a</sup>	9,7±4,6 <sup>a</sup>	11,3±7,1 <sup>a</sup>	21,0±1,4 <sup>a</sup>	30,0±9,2 <sup>a</sup>	5,0±2,2 <sup>a</sup>	7,3±3,4 <sup>a</sup>	17,3±13,0 <sup>a</sup>	12,3±4,9 <sup>a</sup>	6,0±2,9 <sup>a</sup>	5,7±2,9 <sup>a</sup>	11,7±3,3 <sup>a</sup>	8,7±0,5 <sup>a</sup>
10	11,0±5,9 <sup>a</sup>	4,0±1,4 <sup>a</sup>	12,0±8,6 <sup>a</sup>	9,3±2,6 <sup>a</sup>	25,0±13,7 <sup>a</sup>	10,3±6,8 <sup>a</sup>	10,7±9,0 <sup>a</sup>	6,3±3,4 <sup>a</sup>	10,0±3,6 <sup>a</sup>	9,3±5,6 <sup>a</sup>	9,7±2,1 <sup>a</sup>	3,7±1,2 <sup>a</sup>	16,0±5,1 <sup>a</sup>
12	6,0±2,8 <sup>a</sup>	4,3±1,7 <sup>a</sup>	5,0±2,2 <sup>a</sup>	3,0±2,8 <sup>a</sup>	10,7±5,8 <sup>a</sup>	1,7±1,2 <sup>a</sup>	3,3±3,4 <sup>a</sup>	4,3±2,4 <sup>a</sup>	2,0±0,8 <sup>a</sup>	1,3±0,5 <sup>a</sup>	3,0±1,6 <sup>a</sup>	0,7±0,9 <sup>a</sup>	1,0±0,8 <sup>a</sup>
14	5,7±2,9 <sup>a</sup>	6,3±2,5 <sup>a</sup>	4,0±1,4 <sup>a</sup>	6,0±3,6 <sup>a</sup>	16,3±7,3 <sup>a</sup>	1,0±0,8 <sup>a</sup>	7,0±4,3 <sup>a</sup>	2,7±2,5 <sup>a</sup>	2,7±0,9 <sup>a</sup>	1,0±1,4 <sup>a</sup>	3,7±1,2 <sup>a</sup>	3,3±3,4 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>
16	2,0±0,8 <sup>a</sup>	2,3±0,5 <sup>a</sup>	5,3±0,9 <sup>a</sup>	2,3±2,1 <sup>a</sup>	4,7±5,9 <sup>a</sup>	2,7±0,5 <sup>a</sup>	1,0±0,8 <sup>a</sup>	1,7±2,4 <sup>a</sup>	1,0±0,8 <sup>a</sup>	2,3±1,2 <sup>a</sup>	1,7±1,2 <sup>a</sup>	0,7±0,5 <sup>a</sup>	0,3±0,5 <sup>a</sup>
18	4,0±0,8 <sup>a</sup>	3,3±1,2 <sup>a</sup>	7,3±0,9 <sup>a</sup>	3,3±1,7 <sup>a</sup>	14,0±5,1 <sup>a</sup>	4,7±1,9 <sup>a</sup>	2,3±1,9 <sup>a</sup>	3,7±3,1 <sup>a</sup>	3,0±2,2 <sup>a</sup>	3,3±2,1 <sup>a</sup>	2,0±0,8 <sup>a</sup>	2,0±2,2 <sup>a</sup>	3,0±1,4 <sup>a</sup>

**Příloha 4.** Počet juvenilů žížal *E. andrei* v kontrolním substrátu z drčené pšeničné slámy (K) a ve variantách s kaly z RAS získanými z O – odtokového kanálu za odchovnými jednotkami, B – ponořeného biofiltru a R – sedimentačního rybníka s iniciačním zastoupením 5, 10, 20 a 30 % v sušině. Data jsou prezentována jako průměr ± SD. Hodnoty s íšicímí se písmeny v příslušných řádcích jsou statisticky průkazně rozdílné (Kolmogorovův-Smirnovův test, Cochranův test, jednocestná ANOVA, Tukeyův HSD test pro stejné n, n = 3, p < 0,05).

Týden	K	O5	O10	O20	O30	B5	B10	B20	B30	R5	R10	R20	R30
1	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>
2	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>
4	0,7±0,5 <sup>a</sup>	1,7±1,7 <sup>a</sup>	1,3±0,5 <sup>a</sup>	1,0±0,8 <sup>a</sup>	0,0±0,0 <sup>a</sup>	2,7±3,8 <sup>a</sup>	2,3±1,2 <sup>a</sup>	2,0±1,6 <sup>a</sup>	1,7±1,7 <sup>a</sup>	2,0±1,4 <sup>a</sup>	2,3±1,2 <sup>a</sup>	6,0±3,6 <sup>a</sup>	2,7±1,2 <sup>a</sup>
6	50,0±25,2 <sup>b</sup>	57,0±23,8 <sup>ab</sup>	59,7±13,9 <sup>ab</sup>	40,0±19,4 <sup>c</sup>	23,3±14,8 <sup>c</sup>	87,0±1,6 <sup>ab</sup>	101,3±26,3 <sup>ab</sup>	64,0±36,0 <sup>ab</sup>	99,0±28,7 <sup>ab</sup>	87,0±31,8 <sup>ab</sup>	103,3±18,9 <sup>ab</sup>	130,0±8,5 <sup>ab</sup>	141,0±38,1 <sup>b</sup>
8	121,3±13,2 <sup>b</sup>	127,0±23,2 <sup>b</sup>	143,7±22,9 <sup>ab</sup>	115,3±34,1 <sup>b</sup>	126,0±60,2 <sup>b</sup>	168,7±10,0 <sup>ab</sup>	178,7±94,4 <sup>ab</sup>	167,3±40,7 <sup>ab</sup>	217,7±32,8 <sup>ab</sup>	189,7±18,0 <sup>ab</sup>	188,0±21,4 <sup>ab</sup>	237,0±36,4 <sup>a</sup>	198,0±10,8 <sup>ab</sup>
10	193,7±34,3 <sup>c</sup>	201,7±25,4 <sup>c</sup>	243,0±18,7 <sup>a</sup>	260,7±30,6 <sup>a</sup>	244,3±27,2 <sup>a</sup>	242,0±14,7 <sup>a</sup>	282,7±13,4 <sup>a</sup>	261,0±38,3 <sup>a</sup>	309,0±18,5 <sup>a</sup>	271,3±35,0 <sup>a</sup>	286,3±51,7 <sup>a</sup>	287,3±38,8 <sup>a</sup>	311,3±55,2 <sup>a</sup>
12	220,0±32,3 <sup>c</sup>	255,7±50,3 <sup>c</sup>	306,0±54,6 <sup>c</sup>	300,7±7,0 <sup>c</sup>	301,0±29,7 <sup>c</sup>	260,0±12,2 <sup>c</sup>	294,0±30,6 <sup>c</sup>	309,0±22,9 <sup>c</sup>	293,7±30,1 <sup>c</sup>	276,7±18,4 <sup>c</sup>	279,3±14,5 <sup>c</sup>	294,7±68,2 <sup>c</sup>	283,0±49,6 <sup>c</sup>
14	217,0±9,3 <sup>b</sup>	266,0±16,8 <sup>ab</sup>	286,0±26,3 <sup>ab</sup>	288,3±8,7 <sup>ab</sup>	312,7±48,3 <sup>a</sup>	265,7±16,8 <sup>ab</sup>	296,0±19,3 <sup>ab</sup>	297,7±5,2 <sup>a</sup>	284,0±19,9 <sup>ab</sup>	313,7±17,2 <sup>a</sup>	286,3±10,3 <sup>ab</sup>	318,0±35,4 <sup>a</sup>	299,3±12,7 <sup>a</sup>
16	216,3±3,1 <sup>a</sup>	268,0±31,5 <sup>a</sup>	275,3±41,6 <sup>a</sup>	258,3±71,2 <sup>a</sup>	243,0±32,9 <sup>a</sup>	265,0±5,7 <sup>a</sup>	265,7±5,6 <sup>a</sup>	269,0±12,6 <sup>a</sup>	262,7±24,1 <sup>a</sup>	262,0±16,4 <sup>a</sup>	245,3±24,5 <sup>a</sup>	271,7±40,4 <sup>a</sup>	266,0±13,9 <sup>a</sup>
18	255,3±31,4 <sup>a</sup>	302,3±27,3 <sup>a</sup>	250,3±9,2 <sup>a</sup>	314,7±56,0 <sup>a</sup>	328,0±60,6 <sup>a</sup>	273,0±31,3 <sup>a</sup>	303,7±11,8 <sup>a</sup>	284,0±22,2 <sup>a</sup>	266,3±6,9 <sup>a</sup>	315,3±34,7 <sup>a</sup>	286,7±18,9 <sup>a</sup>	313,7±19,6 <sup>a</sup>	255,0±17,2 <sup>a</sup>

**Odborný externí oponent**

Ing. Tomáš Zajíc, Ph.D.  
Rybářství Chlumeck nad Cidlinou  
Boženy Němcové 711/IV, 503 51 Chlumeck nad Cidlinou

**Odborný interní oponent**

Ing. Radek Gebauer, Ph.D.  
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, Jihočeské  
výzkumné centrum akvakultury a biodiverzity hydrocenóz, Ústav akvakultury a ochrany  
vod, Na Sádkách 1780, 370 05 České Budějovice, www.frov.jcu.cz

**Ověření a uplatnění technologie 2017**

FISH FARM Bohemia s.r.o, Rokytno 202, 533 04 Sezemice

**Adresa autorského kolektivu**

Ing. Antonín Kouba, Ph.D., M.Sc. Iryna Kuklina, Ph.D., Ing. Jitka Hamáčková,  
prof. Ing. Pavel Kozák, Ph.D., RNDr. Anna Koubová, Ph.D., doc. Ing. Miloš Buřič, Ph.D.  
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, Jihočeské  
výzkumné centrum akvakultury a biodiverzity hydrocenóz, Výzkumný ústav rybářský  
a hydrobiologický, Zátíší 728/II, 389 25 Vodňany, www.frov.jcu.cz

Ing. David Hlaváč, Ph.D., Ing. Jan Másílko, Ph.D., doc. Ing. Jan Mráz, Ph.D.  
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, Jihočeské  
výzkumné centrum akvakultury a biodiverzity hydrocenóz, Ústav akvakultury a ochrany  
vod, Na Sádkách 1780, 370 05 České Budějovice, www.frov.jcu.cz

V edici Metodik (Technologická řada) vydala Jihočeská univerzita v Českých  
Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, Vodňany, www.frov.jcu.cz  
odborný editor: Ing. Petr Císař, Ph.D.; redakce: Zuzana Dvořáková  
náklad: 200 ks, 1. vydání, vytištěno v roce 2021, grafický design a technická realizace:  
Jesenické nakladatelství Jena Šumperk