

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zoologie a rybářství



Chov a využití chovaných žížal a jejich biochemické vlastnosti

Bakalářská práce

Autor práce: Kateřina Pokorná

Obor studia: Speciální chovy

Vedoucí práce: Mgr. Vladimír Vrabec, Ph.D.

© 2018 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Chov a využití chovaných žížal a jejich biochemické vlastnosti" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 18.4.2018

Chov a využití chovaných žížal a jejich biochemické vlastnosti

Souhrn:

Předkládaná bakalářská práce se zabývá chovem žížal a jejich využitím při vermikompostovacím procesu. Práce je koncipována jako přehled zpracovaný z literatury, k jehož sestavení bylo použito 64 citovaných zdrojů. V první části jsou uvedeny základní informace o výskytu žížal, které se liší dle jednotlivých čeledí a o historii jejich výzkumu. Žížaly patří mezi nejznámější živočichy, které můžeme v půdě najít. První, kdo vědecky objasnil užitečnost žížal v půdě, byl Charles Darwin. Žížaly se vyskytují na všech kontinentech, ale zástupci čeledi Lumbricidae se vyskytují pouze v Evropě.

Druhá část práce je věnována morfologii. Žížala má válcovitý tvar těla, které je článkované, což je charakteristické pro všechny druhy žížal. Pro většinu žížal je typické rozmnožování pomocí tzv. opasku. Jednotlivé druhy se od sebe liší délkou a zbarvením těla.

Třetí část popisuje anatomii a jednotlivé soustavy, do nichž patří trávicí, cévní, nervová, vylučovací a pohlavní soustava. Za zmínku stojí například způsob dýchání, který u žížal probíhá celým povrchem těla nebo fakt, že žížaly jsou hermafroditi s oddělenými pohlavními orgány obou pohlaví zastoupenými u jediného jedince.

Čtvrtá část se věnuje zvláštnostem životního cyklu žížal, na který má vliv mnoho faktorů, mezi něž patří mimo jiné i predátoři a také paraziti. Většina druhů si při rozmnožování vzájemně vyměňuje sperma. Po kopulaci žížaly produkují kokony, jejichž inkubační doba je ovlivněna daným druhem, vlhkostí a teplotou prostředí.

Předposlední část práce se zabývá nároky žížal na životní prostředí a jejich ekologickým tříděním do skupin epigeických, endogeických a anektických žížal. Zahrnuje životní strategii a důležité faktory jako je potrava, pH půdy, teplota a vlhkost.

Poslední část práce popisuje možnost využití některých druhů žížal při zpracovávání organického odpadu v procesu vermikompostování. Lze jej realizovat jak při použití dostupných a jednodušších technologií jako kompostování v domácím vermikompostéru, tak na průmyslové úrovni v ohraničených záhonech, případně na volné ploše. Pro účely vermikompostování je vhodné pečlivě vybírat druh žížaly vhodný pro specifické podmínky, které se liší mezi mírným pásem a tropy.

Klíčová slova: žížala, biochemie, chov, vermikompost, využití

Breeding and utilization of farmed earthworms and their biochemical properties

Summary:

Presented bachelor thesis deals with breeding of earthworms and their use in vermicomposting process. The thesis is conceived as an overview from literature, whose synthesis was based on 64 cited sources. In the first part are listed as basic information the occurrence of earthworms, which vary by family and the history of their research. The earthworms are among the most famous animals we can find ever in land. The first to scientifically clarify the usefulness of earthworms in soil, was Charles Darwin. The earthworms occur on all continents, but Lumbricidae are only found in Europe.

The second part is devoted to morphology. The earthworm has a cylindrical body shape which is articulated, and characteristic for all kinds of earthworms. For most earthworms, typical reproduction mode is the so-called belt reproduction. The different species differ in length and body color.

The third part describes anatomy and individual systems, including the digestive, vascular, nervous, excretory and sexual ones. It is worth mentioning, for example, the breathing pattern that occurs throughout the surface of the body or the fact that the earthworms are hermaphrodites with separate sex organs of both sexes represented by a single individual.

The fourth part focuses on the peculiarities of the life-cycle of earthworms, to which many factors influence, including predators and parasites. Most species reproduce sperm during reproduction. After copulation, the earthworms produce cocoons whose incubation time is influenced by the species, humidity and ambient temperature.

The penultimate section deals with the demands of earthworms on the environment and ecological sorting into groups epigeic, endogeic and anecic earthworms. It includes life strategies and important factors such as food, soil pH, temperature and humidity.

The last part of the thesis describes the possibility of using some types of earthworms in the processing of organic waste in the process of vermicomposting. It can be implemented using available and simpler technologies composting or in domestic vermicompost either in industrial level in bounded beds, or on the open area. For the purpose of vermicomposting, it is advisable to carefully select a species of earthworm suitable for specific conditions which differ between the temperate zone and the tropics.

Key words: earthworm, biochemistry, breeding, vermicompost, utilization

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíl práce	2
3. Literární rešerše.....	3
3.1 Výskyt a historie výzkumu žížal.....	3
3.2 Morfologie	4
3.3 Anatomie.....	8
3.4 Životní cyklus	12
3.4.1 Predátoři a choroby	14
3.5 Nároky na životní prostředí.....	15
3.5.1 Životní strategie	15
3.6 Vermikompostování.....	19
3.6.1 Proces vermikompostování.....	22
3.6.2 Malé vermikompostéry	23
3.6.3 Jednoduché technologické systémy vermikompostování	26
3.6.4 Druhy žížal vhodné pro vermikompostování.....	29
4. Závěr	36
Seznam použité literatury.....	37

1. Úvod

Cílem této práce bylo shromáždění informací z odborné literatury o vlastnostech žížal, jejich morfologii a anatomii. Dále o možnosti jejich využití při zpracování biologického odpadu pomocí jednodušších způsobů vermikompostování a to především formou domácích vermikompostérů, které jsou nenáročné na prostor nebo pomocí pásových hromad na volné ploše či za použití ohraničených záhonů. První studie a výzkumy, které se zabývaly vlastnostmi a využitím žížal pro vermikompostování byly provedeny v roce 1970 v Německu a Spojených státech amerických. K nejčastěji používaným druhům při vermikompostování organických materiálů patří *Eisenia fetida* a *Eisenia andrei*. Pro své vlastnosti jsou považovány za nejvhodnější druhy, vzhledem k jejich krátkému životnímu cyklu, rychlosti rozmnožování a dobré snášenlivosti velkého rozpětí teplot i vlhkosti.

Žížaly patří mezi nejznámější živočichy, které můžeme v půdě nalézt. Výrazně se podílejí na provzdušňování půdy nejen pomocí tvorby chodeb, ale především tvorbou výkalů, které obsahují rozložené organické zbytky, mikroorganismy a minerální částice a dále mají pozitivní vliv na vodní režim půdy. Svým počínáním zvyšují mikrobiální aktivitu v půdě a upravují její fyzikální a chemický stav snížením poměru uhlíku a dusíku. Rovněž se podílejí na přeměně dusíku na dusičnany, které jsou pro růst rostlin nezbytné. Zajímavostí je, že žížaly jsou hermafroditi. Mají jak samčí, tak samičí pohlavní orgány a význam pro jejich rozmnožování má tzv. opasek. Ten je tvořen žláznatými buňkami, vytvářejícími sliz, potřebný pro tvorbu kokonů, které zajišťují výživu embryí a jejich ochranu.

Tělo žížaly má tvar válce a je tvořeno články. Prvním článkem těla je tzv. peristomium, v jehož přední části se nachází čelní lalok. Jednotlivé druhy lze rozlišit podle způsobu oddělení čelního laloku od zadní části peristomia. Pro dýchání žížaly využívají celý povrch těla. Velmi nápadná je trávicí soustava žížal, což je trubice spojující ústní a řitní otvor. Tvoří ji hltan, jícn, žaludek a střevo, ve kterém se nalézá střevní řasa (typhlosolis), která zvětšuje povrch střeva pro vstřebávání látek a nejvyvinutější je u druhů požírajících více rozložený organický odpad. Cévní soustava je u žížal uzavřená a tvoří ji tři hlavní cévy. Uspořádání ganglií (nervových uzlin) v nervové soustavě připomíná tvar žebříku a je proto označována jako žebříčkovitá. Pro vylučování používají žížaly párové nefridie, které mají na každém článku těla. Žížaly jsou velice citlivé na vliv chemických látek, světla i na dotyk. Mezi podmínky, které výrazně ovlivňují život těchto tvorů, patří teplota, vlhkost, pH prostředí, jejich potrava, ale i predátoři, parazité či používání pesticidů.

2. Cíl práce

Cílem bakalářské práce je formou literárního přehledu shrnout poznatky o chovu, využití chovaných druhů žížal a jejich biologických a chemických vlastnostech.

Práce představuje formu literární rešerše, která na základě vědecké literatury a poznatků poskytne informace o chovu, vlastnostech a využití chovaných druhů žížal. Hlavními metodickými postupy tedy bylo vyhledání, excerpce, kompilace a komparace různých zdrojů a třídění informací do vhodné formy informativního přehledu.

3. Literární rešerše

3.1 Výskyt a historie výzkumu žížal

Již ve starověkém Egyptě byli lidé přesvědčeni o pozitivním vlivu žížal na úrodnost půdy. Řecký filozof Aristoteles označoval žížaly jako „střeva matky Země“. První člověk, který vědecky vysvětlil jejich úlohu ve vývoji půdy a tvorbě humusu byl Charles Darwin. Od těchto dob mnoho odborníků z celého světa získalo další záznamy o tom, jak pozitivně žížaly působí na půdní strukturu, koloběh živin, úrodu a kvalitu plodin (Pižl, 1996). Existuje více než 8300 druhů, ale u velké většiny z nich jsou známy pouze názvy a jejich vnější tělesná stavba, ale životní cykly a životní strategie zatím nejsou zcela jasné (Domínguez a Gómez-Brandón, 2012). Žížaly se systematicky řadí do kmene Annelida (kroužkovci), jehož druhy převážně suchozemských kroužkovců jsou řazeny do třídy máloštětinatci (Oligochaeta) (Kooch a Jalivand, 2008) a řádu žížaly (Opisthophora), který zahrnuje více jak dvacet čeledí. Žížaly jsou jedni z nejvýznamnějších zástupců živočichů, které v půdě nalezneme (Pižl, 2002).

Obývají všechny kontinenty, ale většina známých čeledí se vyskytuje zejména v subtropických a tropických oblastech, další pak obývají mírný pás mimoevropských kontinentů. Pro druhy patřící do čeledi Eudrilidae je místem výskytu západní Afrika, zatímco v Jihoafrické republice se vyskytuje čeleď Microchaetidae, v Austrálii a dalších částech východní Asie čeleď Megascolecidae a čeleď Glossoscolecidae převažuje ve střední a Jižní Americe. Nejvíce žížal v Evropě, západní Asii, Severní Americe a mnoha dalších částech světa patří do čeledi Lumbricidae (Domínguez a Edwards, 2011a). Střední Evropa je typická pouze výskytem této čeledi žížalovitých (Pižl, 2004). Téměř padesát druhů se vyskytuje na území ČR, ale pouze třetinu z nich nalezneme v agrosystémech. Informací o jejich přítomnosti v zemědělské půdě nebylo do nedávna mnoho. Až následně monitoringem, který byl prováděn od roku 1994 ÚKZÚZ v Brně, bylo zjištěno, že hustota populace žížal se v orné půdě pohybuje okolo několika desítek jedinců na 1m². Na místech s trvalým travnatým porostem může být jejich počet dokonce o několik řadů vyšší (Pižl, 1996).

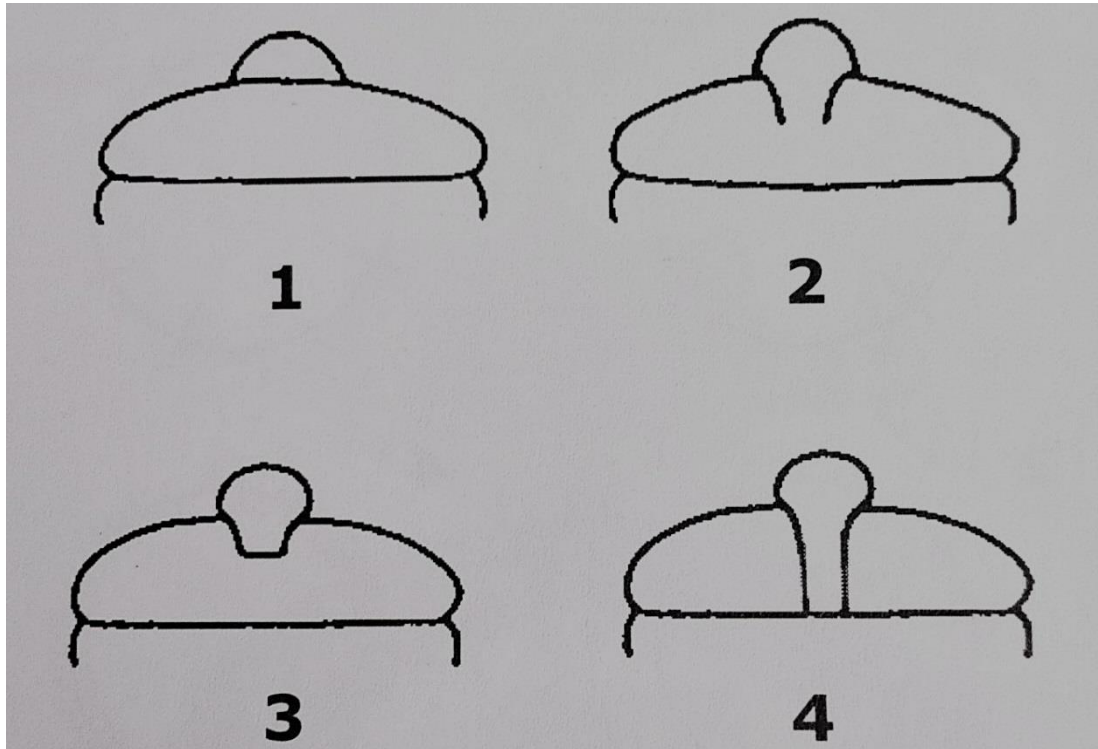
3.2 Morfologie

Tělo žížaly má válcovitý tvar. Jejich délka těla je velmi různorodá. Od nejmenších druhů majících 1 – 2 cm až po velké druhy, které mohou mít více než 1 m (Reynolds, 1977). Mezi největší druhy patří žížaly *Megascolides australis* (McCoy, 1878) vyskytující se v Austrálii a dorůstající délky až 1,5 m, šířky 2 – 3 cm a dosahující hmotnosti přibližně 450 g (Lee, 1985). V České republice je nejdelším druhem žížaly *Allolobophora hrabei* (Černosvitov, 1935) s délkou až 50 cm. Nalezneme ji na území jižní Moravy ve sprašových půdách. Svě jméno dostala po českém zoologovi, prof. Sergeji Hraběti (Pižl, 1996, 1992).

Žížaly se odlišují navzájem i zbarvením. Barva žížal je ovlivněna množstvím pigmentu ve svalovině stěny těla a také výskytem hemoglobinu v krvi (Reynolds, 1977). Barevná škála může být od téměř bílé, přes červenou, růžovou nebo fialovou až po hnědé či zelené odstíny (Pižl, 1996, 2002). Barevně se dle daného druhu můžeme setkat se stejným zbarvením po celém těle, ale i s rozdíly ve zbarvení mezi svrchní a spodní stranou těla. U čeledi Lumbricidae je pigment neobvykle nerovnoměrně rozložen a tvoří na světlejším těle žížaly tmavé pásy. Proto je žížala hnojní – *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) označována jako Tiger worm (Edwards a Lofty, 1977). Pigmentace může sloužit jako ochrana proti predátorům (Satchell, 1967).

Stavba těla

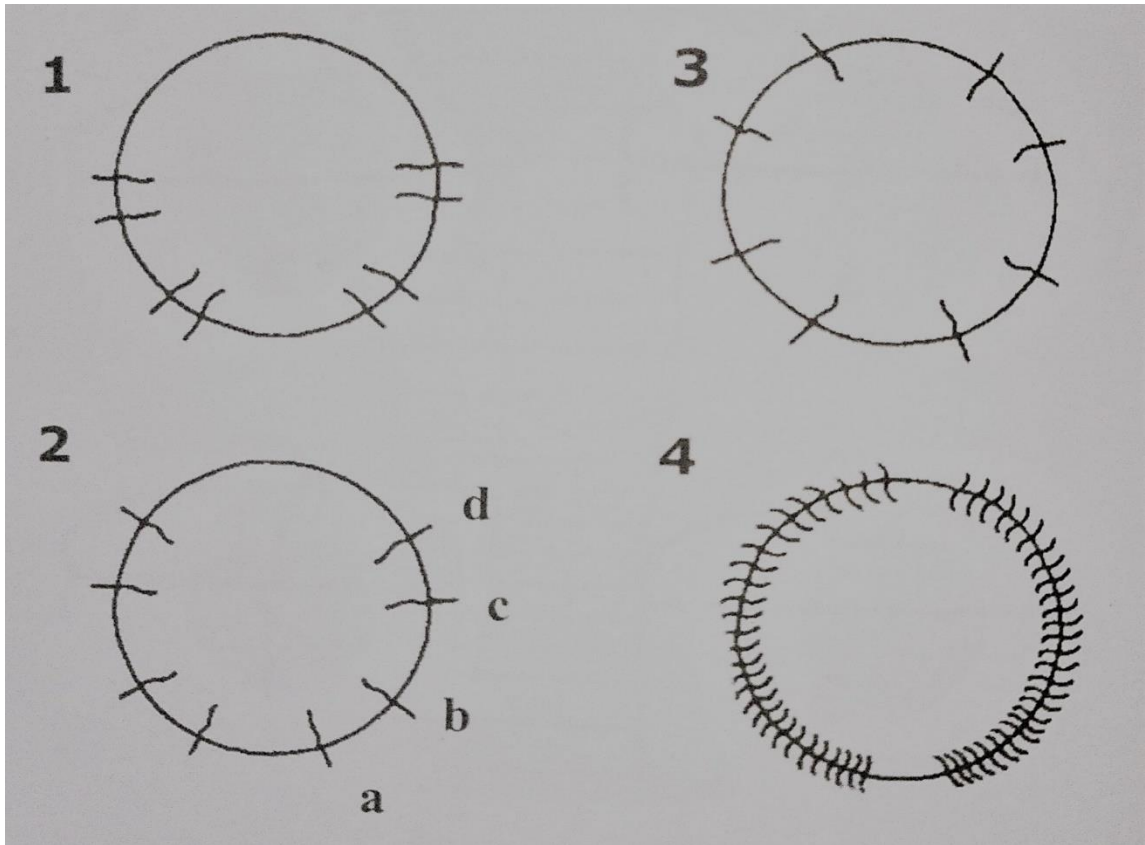
Typickým znakem žížaly je její článkované tělo (Gosh, 2018; Kooch a Jalilvand, 2008). Jednotlivé články od sebe oddělují mezičlánkové rýhy, a to převážně v přední části těla. Tyto rýhy jsou pouze povrchové a vnitřní stavbu těla nijak neovlivňují. První článek těla se nazývá peristomium (Reynolds, 1977) a obklopuje ústní otvor. Na horní straně se nalézá čelní lalok neboli prostomium (Edwards a Bohlen, 1996; Pižl, 2002, 2004). Dle způsobu jeho oddělení od zadní části peristomia (metastomium) se rozlišuje několik typů, pomocí kterých od sebe můžeme rozlišit jednotlivé druhy (Reynolds, 1977). (viz obr. č.1). U některých druhů může být dokonce nerozlišitelné (Edwards a Lofty, 1977). Za peristomiem se nachází další články, které jsou stejnocenné (homonomní). Dle počtu těchto článků lze rozlišit jednotlivé druhy žížal. Tělo ukončuje anální článek (periproktum), na němž se vyskytuje krátká svislá štěrbina – řitní otvor. Již při vylíhnutí z kokonu mají žížaly počet článků těla přesně stanoven. Při poškození či ztrátě koncové části těla, což není u žížal žádnou výjimkou, může pomocí regeneračních procesů dojít ke zvýšení počtu článků (Pižl, 2002).



Obrázek č. 1 (vpravo nahoře): Typy prostomia. 1-prolobické, 2-epilobické, 3-epilobické uzavřené, 4-tanylobické (Pižl, 2002)

Pro žízalu je typické, že každý tělní článek kromě peristomia a periprokta má na sobě štětiny, a to v přesném uspořádání (Kooch a Jalilvand, 2008; Laverack, 1963). Pro většinu žízal jsou typické čtyři páry štětín (Reynolds, 1977). To platí i pro všechny žízaly ČR z čeledi Lumbricidae (Pižl, 2002). Jednotlivé druhy lze od sebe rozeznat dle vzájemné polohy těchto štětín na obvodu těla (Reynolds, 1977), (Viz obr. č. 2). Pro některé žízaly z tropických oblastí je typický velký počet (40 – 200) esovitě prohnutých štětín uspořádaných příčně po celém obvodu článku (perichaetinní uspořádání) (Edwards a Bohlen, 1996). Pro konkrétní druhy i jedince stejného druhu je velikost štětín různorodá a stejně tak se liší jejich velikost na různých částech těla. Žízalám slouží hlavně k pohybu, ale mohou sloužit i k uchopení substrátu (Edwards a Lofty, 1977). Některé páry štětín na břišní straně těla mohou být pozměněny na tzv. genitální štětiny. Pro tyto štětiny je příznačná podélná rýha a háčkovité zakončení. Mohou se nacházet na žláznatých genitálních políčkách a při kopulaci podle všeho slouží k přidržení a dráždění partnera. Některé skupiny nadčeledi Megascolecoida mají tzv. peniální štětiny, které se u nich nacházejí blízko prostatických pórů. Jsou delší než ostatní štětiny a jejich rýhování je druhově specifické. Většina žízal má ve středu na svrchní straně těla otvůrky (dorzální póry). Ty představují spojení mezi povrchem těla a tělní dutinou (coelomem). Mají vlastní svalovinu – svěrače neboli sfinktery, díky kterým prochází

coelomová tekutina na povrch těla, čímž zvlhčuje a chrání kutikulu. Pokud dojde k napadení predátorem či chemickému podráždění, může se vylučovat ve větším množství. K vylučování odpadních látek může u většiny čeledí sloužit tzv. nefridiopóry – jsou umístěny na boku každého článku a jsou špatně viditelné (Pižl, 1996, 2002).

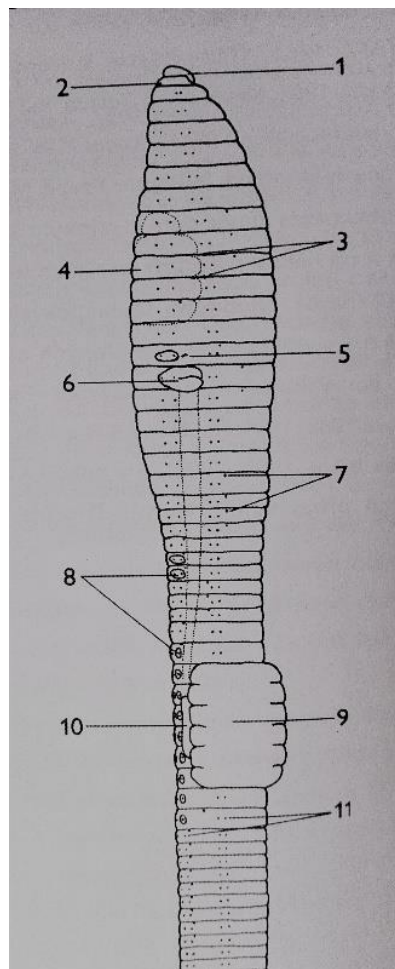


Obrázek č. 2 (dole): Různé rozložení štětín . 1-solně sblížené, 2-súabě sblížené, 3-oddálené (oddělené, 4-perichaetinní (Pižl, 2002)

Rozmnožování žízal

Žízaly patří mezi hermafrodity, což znamená, že u každého jedince nalezneme samčí i samičí pohlavní orgány. Vyústění obou těchto orgánů můžeme vidět na povrchu těla (Dominguez a Edwards, 2011a). Dospělci mají v přední části těla umístěn tzv. opasek (clitellum nebo cingulum viz obrázek č.3) (Kooch a Jalilvand, 2008). Jedná se o větší počet ztluštěných článků, které se nachází vedle sebe a mohou se jevit jako zjizvená tkáň (Reynolds, 1977). V opasku je pokožka protkaná hustou sítí žláznatých buněk, jež produkují slizovité sekrety. Ty napomáhají tvorbě kokonů, což jsou vaječné kapsule zajišťující ochranu a výživu embryí. Opasek bývá barevně odlišný od zbytku těla. Může být tmavší či světlejší nebo mít zcela jiné zbarvení. Některé vodní nebo polovodní druhy mají opasek nápadně viditelný až při

tvorbě kokonu, zatímco u čeledi Lumbricidae je nápadný během celého období páření (Edwards a Lofty, 1977). Umístění opasku na těle a počet článků, kterými je tvořen, je závislý na druhové příslušnosti. Může být sedlovitý (nejčastější u čeledi Lumbricidae), válcovitý nebo prstencovitý. Sedlovitý tvar má na okrajích vyvinuté žlaznaté útvary – pubertální valy (tuberculae pubertatis), které mohou v prouzcích pokrývat několik segmentů, ale i celý opasek. Občas je mohou přerušit mezičlánkové rýhy, někdy mohou vytvářet páry přísavek nebo oddělené bradavky (papily). Jejich umístění a tvar je taktéž druhovým znakem (Pižl, 1996). U partenogeneticky se rozmnožujících druhů, kdy se vajíčko vyvíjí bez oplodnění, nemusí být přítomny. Naopak nedospělí jedinci, ačkoliv nemají opasek, mohou mít valy vyvinuty. Přestože jsou schopni kopulace s dospělými jedinci, nedokáží vytvořit kokon (Pižl, 2002).



Obrázek č. 3 (vlevo nahoře): Přední část těla zížaly – boční pohled. 1-čelní lalok, 2-metastomium, 3-spermatékální póry, 4-žlaznaté pole, 5-samičí pohlavní pór, 6-samčí pohlavní pór obklopený žlaznatými dvorci, 7-nefridopóry, 8-genitální políčka, 9-opasek, 10-pubertální valy, 11-štetiny. Převzato z (Pižl, 2002)

3.3 Anatomie

Tělo žížaly

Tělo žížaly je tvořeno dvěma trubicemi, mezi kterými se nachází tělní dutina zaplněná tekutinou – coelom (Edwards a Bohlen, 1996). Coelomová tekutina prochází tělem mezi jednotlivými přepážkami skrz póry. Tělní dutinu rozdělují příčné přepážky (septa) na komůrky (Julka, 1993). Tělní stěnu tvoří vnější kutikula, žláznatá pokožka (epidermis), dvě vrstvy svaloviny, které od sebe odděluje síť nervových vláken, a peritoneální výstelka coelomové dutiny. Kutikulu tvoří kolagenní vlákna v několika vrstvách. Žížaly ji mají téměř na celém povrchu těla (tvoří tzv. vláknitý skelet), a přestože se zdá být tenká a průhledná, je překvapivě pevná. Jedna vrstva podpěrných válcovitých buněk tvoří pokožku (epidermis), některé z nich se však změnilly na smyslové (senzorické) orgány nebo jednobuněčné žlázy (Edwards a Bohlen, 1996; Edwards a Lofty, 1977). Pod pokožkou mají žížaly dvě vrstvy svaloviny. Ta je od pokožky oddělena pojivovou tkání. Na vnější straně je vrstva svaloviny tenká, na vnitřní silná. Protichůdná práce těchto vrstev svaloviny umožňuje pohyb žížal, a to smrštěním nebo natažením článků těla. Můžeme rozlišit několik typů svaloviny, dle umístění vláken na svazčitý, peříčkovitý či přechodný typ. I mezi přepážkami (septy), které oddělují jednotlivé články těla, se nacházejí svalová vlákna, krevní cévy a pojivová pletiva (Pižl, 2002). Komunikace coelomové tekutiny mezi jednotlivými články je zajištěna póry na přepážkách (Edwards a Lofty, 1977). Ty jsou opatřeny tzv. sfinktery, díky kterým se mohou póry zavřít. Jednotlivé přepážky mohou být různě silné v konkrétních částech těla. U druhů, které jsou více aktivní a tvoří v půdě chodby, mohou být přepážky v hlavové části těla výrazně tlustší. (Pižl, 1996, 2002).

Trávicí soustava

Nejvíce nápadná struktura v těle žížal je nepochybně trávicí soustava. Tu tvoří trávicí trubice, která propojuje ústní otvor s řitním (Julka, 1993; Reynolds, 1977). Je tvořena svalnatým hltanem (pharynxem), ten je uložen v 1. – 4. článku těla. Dále jícnem (oesophagem), který leží v dalších 9 – 13 člancích (Pižl, 2002). Na něj mohou být napojeny tzv. kalciferní (Morrenovy) žlázy (Edwards a Bohlen, 1996). Funkce těchto žláz není dodnes zcela objasněna, ale pravděpodobně sehrávají svou úlohu v regulaci pH a osmotických poměrů tělních tekutin jako je regulace vody, vylučování nežádoucích látek a neutralizace přijaté potravy. Některé druhy žížal mohou mít vyvinuty oesophageální žaludky (Edwards a

Lofty, 1977), ale u žížal čeledi Lumbricidae je nahrazuje vole neboli žlaznatý žaludek a svalnatý žaludek. Na žaludek navazuje střevo. V jeho přední části často dochází k vychlípení a zvlnění vnitřní stěny – tzv. střevní řasa (typhlosolis), která zvětšením povrchu střeva slouží k lepšímu vstřebávání a přeměně látek získaných potravou (Pižl, 2002). Tuto střevní řasu mají nejvíce vyvinutou druhy, které se živí hodně rozloženým organickým odpadem. Naopak u druhů, které se živí málo rozloženým organickým odpadem, může být tato střevní řasa zakrnělá (Edwards a Bohlen, 1996; Julka, 1993). Zadní část střeva pokrývají chlorogenní buňky. Jejich význam bychom mohli přirovnat k funkci jater u vyspělejších živočichů, tedy syntéza a uchování energeticky bohatých látek a také hromadění látek odpadních. Nežádoucí látky, které byly vstřebány střevem, jsou zachytávány v tzv. chlorogostomatech. Ta v podobě hnědých či žlutých zrněk tvoří převážnou část obsahu chlorogenních buněk (Pižl, 2002).

Ve střevě různých druhů žížal se nachází mnoho důležitých enzymů. Mezi ně patří chitináza, proteáza, celuláza a mnoho dalších glukosidických enzymů. Tyto enzymy umožňují štěpení bakterií, prvoků, hub a částečně rozložených rostlinných materiálů. U většiny nebyly nalezeny enzymy, které jsou schopny štěpit lignin nebo jiné polyfenoly či humifikované látky. Některé druhy jako je *Eisenia fetida* se však mohou podílet na rozkladu ligninu a procesu humifikace, protože v jejich střevech byly nalezeny peroxidázy, které dokáží zničit aromatické vazby ligninu (Brown a kol., 2000).

Cévní soustava

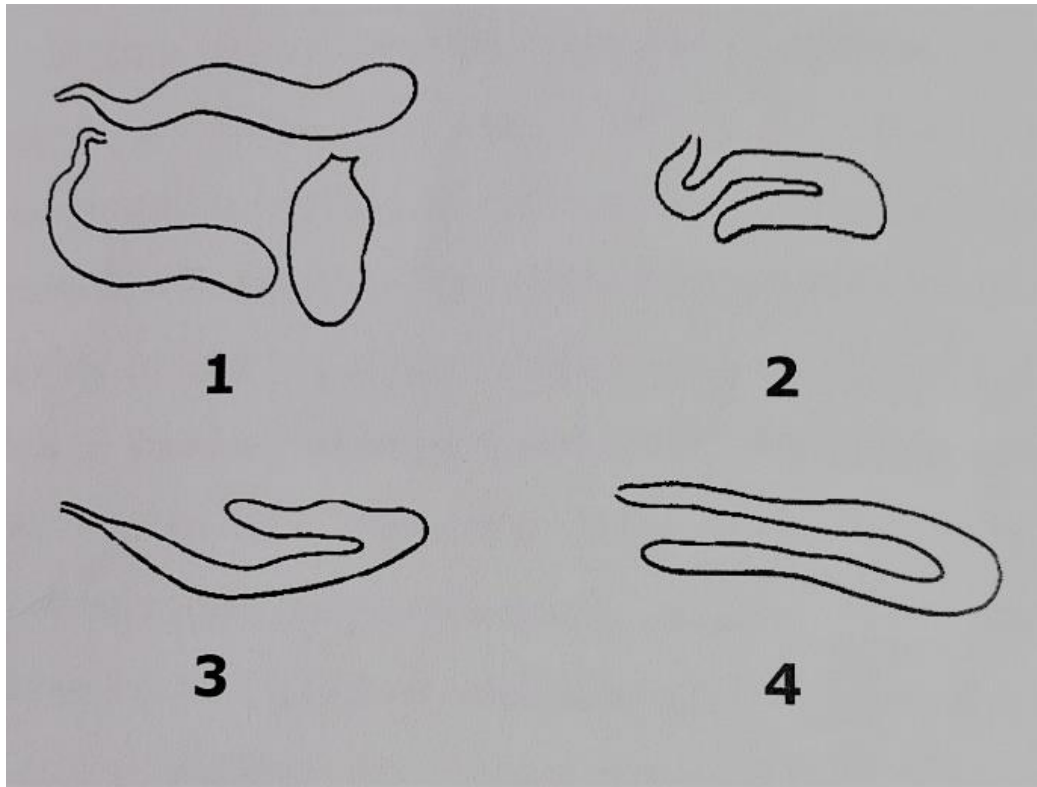
Další strukturu těla žížal představuje cévní soustava. Ta se rozprostírá téměř po celé délce těla a je u žížal uzavřená, což je oproti většině ostatních bezobratlých živočichů zvláštností. Tvoří ji tři hlavní cévy. Dorzální céva, která leží podélně na horní straně trávicí trubice (Reynolds, 1977). Dále ventrální céva, která se nachází pod střevem a postoesophageální céva jež prochází mezi tělní stěnou a nervovou páskou. Další cévy se nacházejí v oblasti jícnu. Jde o bočně (laterálně) položené circumoesophageální cévy, kterých je několik párů (2 – 5) a spojují ventrální cévu s cévou dorzální (Edwards a Lofty, 1977). Označují se jako laterální či podpurná srdce (Julka, 1993), jelikož jsou opatřené svalovinou. Další cévy – peri-intestinální, které se nalézají v oblasti střeva, spojují dorzální a subneurální cévu (Edwards a Bohlen, 1996; Pižl, 2002, 1996).

Nervová soustava

Nervovou soustavu žížal tvoří několik částí. První částí je hlavové (cerebrální) ganglium, které se nachází na horní části hltnu (Reynolds, 1977) ve 3. článku těla. Následují podjícnová (suboesophageální) ganglia ve 4. článku a břišní (ventrální) nervová páska. Ta je ve středu každého článku zesílena a probíhá pod trávicí trubicí. Tyto zesílené části se nazývají segmentální ganglia. Párová ganglia v každém článku těla jsou příčně i podélně propojena, kvůli tomu jejich uspořádání připomíná tvar žebříku, proto se označuje jako žebříčkovitá (Pižl, 1996, 2002). Žížaly velice citlivě reagují na chemické látky, na světlo a dotyk, aby se vyhnuly nepříznivým podmínkám (Edwards a Bohlen, 1996).

Vylučovací soustava

Pro vylučování žížalám slouží párové nefridie umístěné v téměř každém tělním článku (Reynolds, 1977). K vylučování dochází přes vnější otvory neboli nefridiopóry, což jsou velice malé otvory v tělní stěně. Ty se rozprostírají na obou bočních stranách těla v podélné řadě. Jejich otevření a uzavření mají na starost svaly svěrače (Edwards a Lofty, 1977). Výjimkou jsou první tři články těla a periproctum, kde se u žížal vylučovací orgány nenacházejí. Velké se označují jako meganefridie nebo také holonefridie (Edwards a Bohlen, 1996). Nefridie je složena z nálevky (nephrostoma), která je napojená na předchozí tělní článek a přechází v úzký nefridiální kanálek. Před vývodem z těla (nefridiopórem) se tento kanálek rozšiřuje a tvoří tzv. nefridiální měchýřek. Dle jeho orientace a tvaru od sebe můžeme rozeznat jednotlivé rody či druhy žížal (viz obr č.4), (Pižl, 1996, 2002). Vylučovací soustava u některých druhů nadčeledi Megascolecoida má však odlišnou stavbu, kdy se na jednom článku nachází větší počet mikronefridií (meronefridií) (Julka, 1993). 75-90 % tělesné hmotnosti žížal tvoří voda. K dýchání používají celý povrch těla a dusík je z jejich těla vylučován jako močovina nebo v amonné formě (např. *Lumbricus terrestris*). Denní množství vyprodukované moči tak může činit až 60% z celkové váhy (Pižl, 2002).



Obrázek č. 4: Typy nefridiálních měchýřků. 1-lalůčkovité a válečkovité, 2-esovité, 3-háčekovité, 4, tvaru U (Pižl, 2002)

Pohlavní soustava

Mezi samčí pohlavní orgány patří varlata (testes), velké chámové (spermální) vaky (vesiculae seminales) a chámovody. Nejčastěji mají žížaly dva páry varlat (Reynolds, 1977), ale některé druhy čeledi Lumbricidae a Ocnero-drilidae mohou mít pouze jeden pár. Varlata jsou uložena poblíž nervové pásky, připojena k přední přepážce uvnitř tělního článku a jsou uložena v desátém a jedenáctém tělním článku (typ holandrický). U některých exotických druhů však mohou být varlata uložena buď na desátém článku, kdy se jedná o proandrický typ nebo na jedenáctém článku, kdy jde o typ metandrický). Chámové vaky vznikají rozšířením přepážek (sept) a zajišťují uložení spermatu. Jedná se o párové orgány. Jejich počet se pohybuje v rozmezí od 2 – 4 párů a jsou po jednotlivých párech uloženy v devátém až dvanáctém článku těla. V jejich blízkosti můžeme nalézt chámové schránky (spermatéky) (Edwards a Bohlen, 1996), což jsou výdutě tělní stěny. Jejich úlohou je schraňování spermatu druhého jedince při páření (Reynolds, 1977). Žížaly v České republice mají nejčastěji dva páry, a to v desátém a jedenáctém článku těla. Některé druhy (např. z rodu *Octodrilus*) mohou mít párů více (5 – 7) nebo naopak dle Julky (2013) mohou být u některých druhů zcela zakrnělé. Spermatéky jsou tvaru kulovitých malých váčků, které mají krátké vývody nebo

mohou mít ledvinovitý tvar (Pižl, 2002). Na chámové vaky navazují párové chámovody (vasa deferentia), které jsou také párovým orgánem (Edwards a Lofty, 1977). Na začátku chámovodu je nálevka, která slouží ke sběru spermatu z varlat a následně pokračuje dále do dalších segmentů. U žížal s holandrického typu dochází ke spojení obou chámovodů v jeden, který následně ústí do pohlavních otvorů. Některé druhy (např. zástupci rodu *Aporrectodea*) mají chámovody přeměněny ve spleť orgán, jehož funkce není zcela známa. Žížaly ČR nemají vyvinuté přídavné samčí pohlavní žlázy, ale některé čeledi mohou mít vyvinuté prostatě podobné žlázy (čeleď *Glossoscolecidae*) nebo pravou prostatu (čeleď *Megascolecidae*), (Pižl, 2002).

Samičí pohlavní orgány tvoří pár vaječnicků (ovárií) (Edwards a Lofty, 1977), která leží blízko břišní nervové pásky u zadní stěny přepážky třináctého článku. Jejich tvar může být různorodý dle dané nadčeledi. U žížal České republiky je diskovitý. Vajíčka jsou z vaječnicků uvolněna do coelomové tekutiny a následně sbírána pomocí obrvených nálevek do párových vejcovodů (oviduktů), které ústí do samičích pohlavních pórů, které se nacházejí v následujícím článku těla (Julka, 1993; Pižl, 1996, 2002).

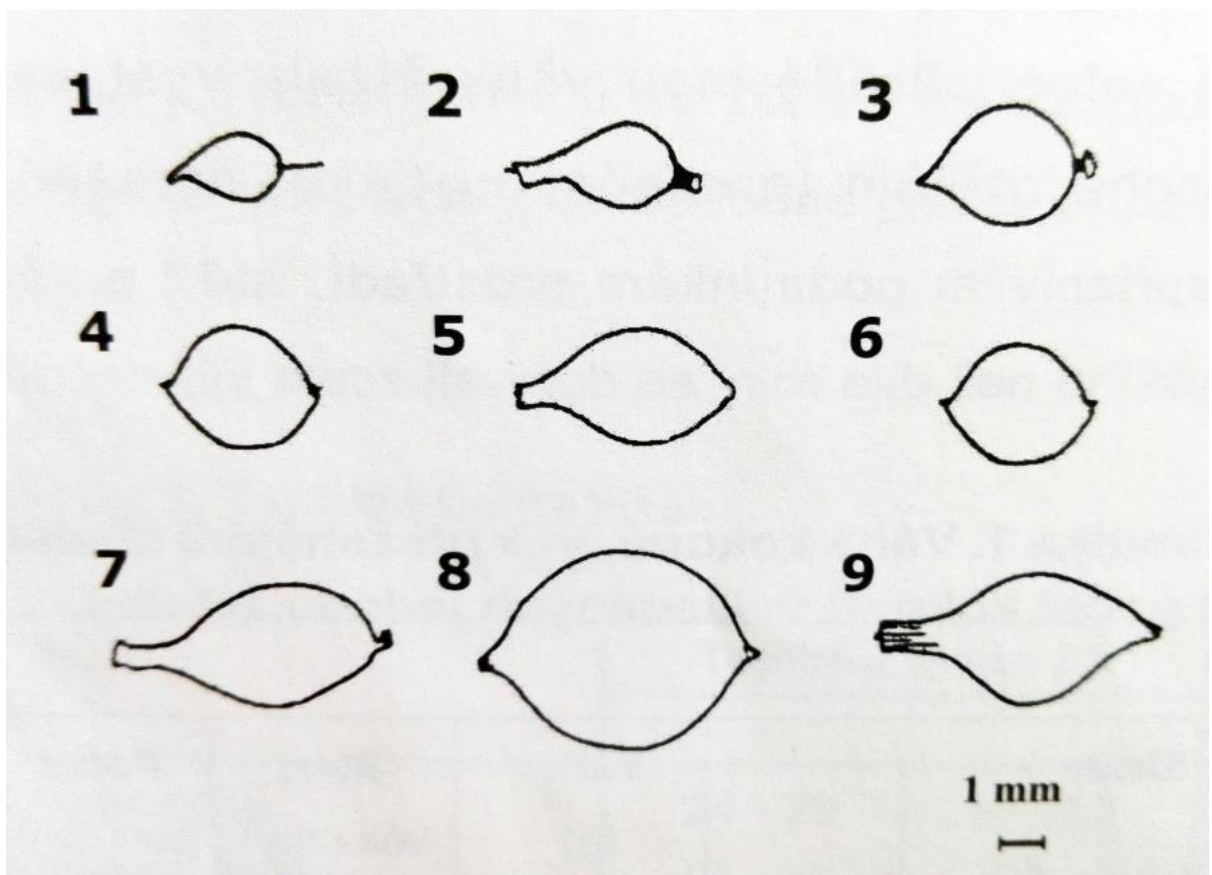
Dýchání

Žížaly nemají specializované dýchací orgány a kyslík a oxid uhličitý prochází přes tělní stěnu. K dýchání běžně žížaly využívají vzdušný kyslík, ale po určitou dobu mohou přežít i ve vodě, pokud je hodně okysličená (Reynolds, 1977; Julka, 1993). Dá se tedy říci, že dýchají celým povrchem těla, který je potřeba udržovat vlhký (Suthar, 2009). V tělní stěně se nachází síť drobných cév a rozpuštěný kyslík proniká skrz pokožku do těchto cév, kde přijme hemoglobin a je rozváděn po celém těle (Edwards a Bohlen, 1996). Žížaly jsou proto velmi citlivé na anaerobní podmínky. U druhu *Eisenia fetida* se uvádí, že se přesunuje z nenasyceného substrátu, ve kterém byl kyslík vyčerpán nebo v němž se nahromadil oxid uhličitý či sirovodík (Dominguez a Edwards, 2011a; Pommeresche a kol., 2010).

3.4 Životní cyklus

Průběh rozmnožování u žížal čeledi *Lumbricidae* byl popsán v mnoha člancích i odborných publikacích. Žížaly patří mezi živočichy, kteří mají semikontinuální až kontinuální typ rozmnožování (Olive a Clark, 1978). To znamená, že jsou schopny

rozmnožování a produkce vajíček téměř celý rok a celý svůj život. Mají jak samčí, tak samičí reprodukční orgány a patří tak mezi hermafrodity. Většina druhů si při kopulaci dvou jedinců vyměňuje sperma (Julka, 1993). Žížaly schraňují sperma druhého jedince ve spermatékách a následně ho využijí k oplodnění vajíček. Další možný způsob oplodnění vajíček je možný výměnou spermatu. K tomu slouží přilnavé spermatofory, které umožňují přímé oplození vajíček při tvorbě kokonů. Pro některé druhy je produkce spermatoforů nutná (např. pro některé zástupce rodu *Dendrodrilus* a *Dendrobaena*), pro jiné nikoliv (např. někteří zástupci rodů *Aporrectodea*, *Lumbricus* nebo *Eisenia*), ale význam jejich tvorby není dodnes zcela objasněn (Pižl, 2002). Určité druhy žížal jako např. *Dendrobaena octaedra* (Savigny, 1826), *Eiseniella tetraedra* (Savigny, 1826) či *Dendrodrilus rubidus tenuis* (Eisen, 1874) a další se mohou rozmnožovat pomocí partenogeneze. Existují i druhy jako *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826) nebo *Aporrectodea rosea* (Savigny, 1826), u kterých může docházet jak ke klasickému oplození, tak k partenogenezi (Edwards a Bohlen, 1996). Pouze partenogenezí se rozmnožuje *Dendrodrilus rubidus tenuis* (Satchell, 1967).



Obrázek č. 5 : Velikost a tvar kokonů žížal. 1- *Eiseniella tetraedra*, 2- *Dendrodrilus rubidus*, 3- *Allobophora chlorotica*, 4- *Aporrectodea rosea*, 5- *Aporrectodea caliginosa*, 6- *Aporrectodea limicola*, 7- *Allobophora eiseni*, 8- *Lumbricus terrestris*, 9- *Eisenia fetida* (Pižl, 2002)

Vliv prostředí a ekologická neboli životní strategie druhu určuje, jak často dochází u žížal ke kladení kokonů. Žížaly tvoří nejvíce kokonů v jarním období a na začátku léta, nejméně pak v zimě, což platí pro žížaly střední Evropy. Po kopulaci každý z jedinců produkuje kokon, který může obsahovat 1 – 20 oplodněných vajíček. Jeden jedinec je schopný vyprodukovat 3 – 100 kokonů za rok, samozřejmě jejich produkce je ovlivněna mnohými faktory (Pommeresche a kol., 2010). Kokony tvarem můžeme přirovnat ke tvaru citrónu. Jsou druhově rozdílné a liší se zbarvením i tvarem a velikostně souvisí s rodiči (viz obr. č. 5). Obvykle jsou uloženy ve svrchních vrstvách půdy, ale pokud je počasí nepříznivé a jsou velká sucha, jsou ukládány do hlubších vrstev. Určité druhy umí vytvořit kokon jako ochranný obal, aby přežily nepříznivé podmínky, jako například sucho. Doba inkubace je závislá na druhu a ovlivňována vlhkostí a teplotou (Dominguez a Edwards, 2011a). Množství jedinců, kteří se vylíhnou z jednoho kokonu je také dané druhem a vlastnostmi prostředí. Velikost vylíhlých jedinců je určena velikostí kokonu, počtem jedinců v kokonu a pořadím při líhnutí. Po vylíhnutí mají obvykle jen pár milimetrů a jejich tělo nemá žádný pigment, ten získávají až během několika dní svého života (Pižl, 2002). Za předpokladu příznivých podmínek se jedinci stávají pohlavně zralými během několika týdnů po vylíhnutí (Dominguez a Edwards, 2011a). Doba života, dospívání a růst je také ovlivněna druhem a vlivem prostředí. Některé druhy žijí jen několik měsíců, jiné se mohou dožít i několika let (např. *Eisenia fetida* až 4,5 roku a *Aporrectodea longa* (Ude, 1885) dokonce více než 10 let). Celý jejich život ve volné přírodě je však ovlivněn mnoha faktory jako jsou parazité, nepříznivé podmínky nebo predátoři, a proto jsou jedinci starší než dva roky spíše výjimkou (Pižl, 2002).

3.4.1 Predátoři a choroby

Počet žížal je jak ve volné přírodě, tak v umělých kulturách značně snižován jejich nepřáteli. Ty najdeme mezi savci, ptáky i hmyzem (Dominguez a Edwards, 2011a; Reynolds, 1977). Řadí se do nich hlavně ptáci z čeledi krkavcovití, drozdi a raci (Zajonc, 1992). Dalším častým nepřítelem je krtek (Reynolds, 1977), který je loví v jejich přirozeném prostředí pod povrchem půdy, ale také rejsci jezevci a lišky. Dále pak ze zástupců hmyzu drabčící, střevlíci, jejich larvy (Zajonc, 1990), ale také stonožky a mravenci (Dominguez a Edwards, 2011a; Reynolds, 1977).

Žížaly mohou být napadeny také celou řadou bakterií nebo prvoků (Gosh, 2018). Některé mohou způsobit úhyn, pro jiné může být žížala pouze mezihostitelem (Reynolds,

1977) nebo daného jedince jejich přítomnost nijak výrazně neovlivňuje. Z jednobuněčných organismů byli v tělech žížal nalezeny především nálevníci, bičíkovci, a hlavně výtrusovci konkrétně z třídy hromadinky z rodu *Gregarina* (Dufour, 1828), které cizopasí v různých částech těla. Také můžeme nalézt tasemnice, hlístice a také vajíčka, larvy nebo kukly much (Dominguéz a Edwards, 2011a). Při nesprávném složení nebo kyselosti substrátu, špatné výživě či velkém množství nahromaděných výkalů se mohou na tělech žížal projevit chorobné změny. Na povrchu těla se mohou objevit opuchlá místa, kde následně dochází k odumírání tkáně. Dochází ke snížení pohyblivosti, zmenšení těla a ztrátě kulatého tvaru (Zajonc, 1992).

3.5 Nároky na životní prostředí

3.5.1 Životní strategie

Žížaly můžeme rozdělit do tří základních skupin, a to žížaly epigeické, endogeické a anektické (Bouché, 1972; Dominguéz a Edwards, 2011a Satchell, 1983).

1. Anektické (hlubinné) – sem patří druhy žijící ve stálých systémech chodeb, které jsou otevřené na povrch. Tam nalézají svou potravu v podobě odumřelého rostinného materiálu, který mohou stahovat do svých chodeb (Dominguez a Gómez-Brandon, 2012). Chodby, které tyto druhy vytvářejí, jsou největšími půdními póry. Často jsou svislé, hluboké i několik metrů a mají vliv na vodní režim půdy (Pižl, 1996).
2. Epigeické (povrchové) – neobývají minerální půdy, ale nalezneme je v půdách bohatých na rozkládající se organickou hmotu nebo v odpadní vrstvě. Pro využití v orných půdách nepatří tyto druhy k významným. Naopak při procesu vermikompostování, jsou díky svým vlastnostem hojně využívány (Chatelain a Mathieu, 2017).
3. Endogeické (podpovrchové) – sem patří skoro všechny druhy, které naopak nalezneme v orných půdách velice často. Vytváří téměř vodorovné chodby (Dominguéz a Gómez-Brandon, 2012), které jsou oproti druhům anektickým na povrch otevřené pouze někdy a tvoří půdní póry různých velikostí. Jejich potravou je silně rozložený organický materiál a mikroflóra, získávané požíráním půdy. Jsou velmi podstatné pro svou stálou produkci výkalů (Pižl, 1996).

Žížaly jsou velmi citlivé na podmínky prostředí a potřebují pro své přežití vhodnou teplotu, vlhkost, půdní vlastnosti a dostatek kvalitní potravy (Pižl, 2002). Použití pesticidů k hubení škůdců a parazitů, kteří napadají pěstované rostliny a kteří se vyskytují v půdě, výrazně ovlivňuje populace žížal a může zapříčinit jejich smrt. Pro zjištění dopadu používání pesticidů bylo provedeno několik studií. Bylo zjištěno, že menší dopad na zdraví žížal má Aldrin oproti Chlordanu, který je pro žížaly vysoce jedovatý (Reynolds, 1977). Mezi nejjedovatější pesticidy pro žížaly se řadí nematocidy (např. D-D a metylbromid). Používanou látkou pro hubení hmyzu, která způsobuje ochromení žížal a jejich následnou smrt je Karbaryl (Pižl, 1996).

Potrava

Hlavní složku potravy tvoří rostlinná (někdy i živočišná) organická hmota a mikroorganismy v půdě. Další složkou mohou být půdní živočichové. Dostatečné potravní zdroje jsou díky malé pohyblivosti žížal v místě výskytu nutností (Pommeresche a kol., 2010). Dle potravy, které dávají přednost, rozlišujeme dvě skupiny – geofágní a detritofágní. Detritofágní žížaly požírají rostlinné zbytky či výkaly savců v horních vrstvách a na povrchu půdy. Geofágní druhy žerou veliké množství půdy obsahující mikroflóru a organické zbytky, které následně tráví. Upřednostňují místa jako je například rhizosféra, kde je vyšší obsah organické hmoty. Různé druhy rostlin se pro detritofágní druhy žížal svou stravitelností liší. Zbytky jetele a vojtěšky jsou nejsnadněji stravitelné, naopak obtížně stravitelné je jehličí. U geofágních žížal ukázaly rozборы jejich trávicího traktu, že potrava se pro stejný druh může lišit místem výskytu (Pižl, 2002).

Velký význam v potravě mají mikroorganismy, zvláště pak mikroskopické houby a řasy a jak prokázaly studie, mohou žížaly žít i v prostředí, kde jsou mikroorganismy hlavním zdrojem potravy. Schopnost žížal trávit mikrofaunu i mezofaunu, především prvoky, chvostoskoky a hlístice, byla pokusy prokázána (Pižl, 2002).

Některé tropické druhy čeledi Megascolecidae nebo žížaly z rodu *Agastrodrilus* dokonce požírají jiné druhy žížal (Julka, 1993).

Množství potravy, kterou žížaly přijímají, závisí i na obsahu živin. Pokud je obsah živin v substrátu vysoký, přijímají ho v menším množství, než když je obsah živin nízký. Jako hlavní zdroj energie potřebují žížaly především celulózu. Bílkoviny získávají především

trávením prvků a bakterií, které se vyskytují v požíraném substrátu, ale nemohou se živit jednoduchými živinami bílkovinného charakteru jako je kasein, albumin, vaječný žloutek, bílek ani cukry (jako je čistá celulóza, sacharóza nebo škrob) nebo tuky (Zajonc, 1990).

Význam vlhkosti pro přežití žížal

Žížaly patří mezi vlhkomilné živočichy a vlhkost půdy je pro jejich přežití nezbytná, protože zajišťuje, aby tělo žížaly nevyschlo. Žížala je schopna i několik dní vydržet ve vodě při dostatku kyslíku. Ovlivňuje mimo jiné i množství substrátu, které jsou schopny žížaly pozřít a zpracovat a tím je ovlivněn i celkový proces vermikompostování (Zajonc 1990, 1992). Regulace vody je zajištěna mnoha mechanismy jako jsou například dorzální póry, výdej moči, vstřebávání vody, kutikula nebo kalciferní žlázy, ale tyto mechanismy samy o sobě nestačí k udržení dostatečné vlhkosti. Žížaly jsou naopak schopny snést velkou ztrátu vody (např. *Eisenia fetida* při pokusech v laboratoři přežila ztrátu až 74,7 % vody, což činilo 59 % její tělesné váhy). Snášenlivost nízké vlhkosti může být u jednotlivých druhů rozdílná. Ve vermikompostových systémech bylo zjištěno, že optimální vlhkost pro většinu druhů je mezi 50 – 90 %. Dle Srivastavy a kol. (2011) je za nejnižší vhodnou hodnotu považována 60 % vlhkost. Druhy *Eisenia fetida* a *Eisenia andrei* (Bouché, 1972) v organických odpadech při této vlhkosti dokáží přežít, ale vhodnější vlhkost pro jejich rychlejší vývoj je 80 – 90 % (Domínguez a Edwards 1997; Edwards, 1988).

Pro žížaly v Evropě je za krajní mez přežití považován pokles vlhkosti půdy pod přibližně 20 %, ale v jižní Africe to může být 15 %. Na snížení vlhkosti mohou žížaly reagovat různými způsoby jako je tvorba kokonů, pozastavení vývoje (diapauza) nebo přemístění do vlhčích míst. Naopak snášenlivost vysoké vlhkosti je poměrně velká, ale také se u různých druhů liší. Některé nemají problém i několik měsíců přežít nebo se dokonce rozmnožit v chladných, dostatečně okysličených vodách. Přežití v kalužích nebo zaplavených půdách však ovlivňuje UV záření, obsah kyslíku a teplota (Pižl, 2002).

Teplotní podmínky pro výskyt žížal

Teplota potřebná pro správný vývoj se u jednotlivých druhů liší v závislosti na místě výskytu (geografické oblasti). Pro žížaly České republiky se ideální teplota pro vývoj pohybuje okolo 10 – 15 °C (Pižl, 2002). Pro druhy, které jsou využívány při vermikompostování je vhodná teplota pro jejich růst a rozmnožování okolo 15 – 25 °C a pro žížalu hnojní je ideální teplota mezi 20 – 25 °C (Domínguez, 2004). Tropické čeledi potřebují teplotu vyšší (např. pro *Amyntas hupeiensis* (Michaelson, 1895) je potřebná teplota okolo 20-30 °C). Širší rozpětí ideálních teplot (15 – 30 °C) mají druhy, které žijí v pouštích a polopouštích. Stejně jako u vlhkosti, je i pro teplotu jistá hraniční mez, která ovlivňuje jejich přežití (např. *Eisenia fetida* dokáže snést maximální teplotu cca 35 – 40 °C a minimální cca 0 °C). U většiny žížal bývá minimální teplota pro přežití okolo bodu mrazu, ale některé druhy jako je např. *Eisenia nordenskioldi* (Eisen, 1879), která obývá oblasti Sibíře, dokáže přežít i ve zmrzlé půdě po několik měsíců (Pižl, 2002). Při příliš vysokých teplotách mohou některé druhy hibernovat či se se přesouvat do hlubších vrstev půdy, aby se ochladily. Dokáží se přizpůsobit i nižším teplotám v období podzimu, ale nedokáží dlouhou dobu přežít, pokud jsou vystaveny silným mrazům (Domínguez, 2004). Žížaly mají omezenou schopnost ochladit své tělo pomocí vypařování vody z jeho povrchu, ale tento děj je možný pouze v dostatečně vlhkém prostředí (Pižl, 2002).

Vliv pH na žížaly

pH půdy může výrazně ovlivnit výskyt žížal na daném území. Většina žížal patřící mezi epigeické druhy poměrně dobře snáší různé hodnoty pH, a to v rozmezí 4.5 až 9 ale spíše upřednostňují neutrální půdy (Reynolds, 1977). Byly ale nalezeny a popsány i druhy, které dokážou žít i v silně kyselých (pH 3,5) nebo alkalických (pH vyšší než 8) půdách. V oblasti Krušných hor, kde bylo pH půdy 2,7, jelikož je velmi poškozena kyselými dešti, byl zjištěn výskyt druhu *Dendrodrilus rubidus*. Dle schopnosti snášet nízké hodnoty pH lze žížaly rozdělit na acidotolerantní, ubikvistické (mohou se vyskytovat kdekoliv a obývat nejrůznější prostředí) a acidointolerantní druhy (Pižl, 2002).

Žížaly také přebírají bohatý humus z povrchu půdy, čímž pomáhají při udržování pH půdy (Julka, 1993).

3.6 Vermikompostování

Jedná se o způsob kompostování pomocí žížal a jde o vhodnou metodu ke zlepšení vlastností digestátu (zbytkového materiálu) jako hnojiva. Žížaly jsou důležitou složkou půdní fauny a v zemědělských ekosystémech tak tvoří velkou část biomasy půdní makrofauny (Ojha a Devkota, 2014); Srivastava a kol. 2011). První studie a výzkumy o vlastnostech žížal a jejich využití pro vermikompostování byly provedeny v roce 1970 v Německu a Spojených státech amerických (Edwards a kol., 2010). V České republice našel tento způsob využití žížal své uplatnění v roce 1985 (Kalina, 2002). Zájem o tuto oblast se ale postupem času vytrácel, ale následně znovu vzrostl, a to zejména od roku 2004 (Abbasi a kol., 2015).

Výkaly žížal, které mají válcovitý tvar, vznikající požitím kompostovaného substrátu tvoří vermikompost. Mechanická činnost trávicího ústrojí zajišťuje zmenšení velikosti částic kompostu (Appelhof, 1997). Důležitý je zvýšený obsah mikroorganismů ve výkalech, který výrazně ovlivňuje přeměnu organických hmot v půdě (Zajonc, 1992). Ve srovnání s běžnou půdou je ve výkalech žížal větší obsah iontů H_2PO_4^- , Ca^{2+} , K^+ , NO_3^- , Mg^{2+} a zároveň mění poměry iontů v půdě (Pižl, 2015). Žížaly mají také velký vliv na přeměnu dusíku v půdě, a to jeho mineralizací (Ojha a Devkota, 2014), je tak přeměněn na formu dusičnanů, které jsou rostliny schopny přijímat (Hanč a Plíva, 2013a). Prostory mezi nahromaděnými výkaly zvyšují provzdušněnost kompostu. Zpracování biologického odpadu pomocí anaerobního trávení je rozšířené po celém světě. (Hanč a Vašák, 2015).

Proces vermikompostování zahrnuje bio-oxidaci a stabilizaci organického materiálu (Goméz-Brandón a kol., 2011; Edwards, 2011) působením žížal a mikroorganismů (Lores a kol., 2006; Lazcano a kol., 2008). Žížaly provzdušňují, promíchávají a rozdělují substrát a tím v něm zvyšují mikrobiální aktivitu (Dominguez a Edwards, 2011b; Ojha a Devkota, 2014) a upravují fyzikální a chemický stav půdy tím, že snižují poměr C:N (Lazcano a kol., 2008). Poměr C:N je ovlivněn použitým vstupním materiálem (Hanč a Vašák, 2015). Ndegva a Thompson (2000) se zabývali účinkem poměru C:N při vermikompostování čistírenských kalů a došli k závěru, že nejvhodnější počáteční poměr C:N pro krmení žížal je 25:1. Studií bylo prokázáno, že působením žížal v kravském hnoji a čistírenském kalu, byla značně snížena přítomnost hlístic a to o více než 50 %. Ve volné přírodě mohou snížit přítomnost hlístic v půdě až o 66 % a u rostlin až o 64 %. (Domínguez a kol., 2003). Žížaly mohou být též dobrými pomocníky při zjišťování kontaminace půdy těžkými kovy (Medina a kol., 2003).

Pod pojmem vermikompostování rozumíme kontrolovanou aerobní biologickou přeměnu organického odpadu na velice kvalitní organické hnojivo. Zahrnuje fáze rozkladné, přechodné a vytvrzovací. Při fázi rozkladu nebo také předkompostové fázi dochází k přeměně jednoduchých, snadno vstřebatelných látek, jako jsou bílkoviny, cukry tuky a celulóza. Pro tuto fázi je potřeba vysokých teplot (Hanč a Plíva, 2013a). Odhaduje se, že jeden milion žížal dokáže přeměnit přibližně 120 tun organických odpadů na vermikompost přibližně za jeden měsíc. Země jako USA, Spojené království a Japonsko si uvědomily důležité schopnosti žížal, a proto považují využití vermikultury za poměrně vážnou podporu v zemědělství (Julka, 1993). Růst žížal a jejich rozmnožování je ovlivňováno mnoha faktory: pH, přítomností nebezpečných látek, teplotou, poměrem uhlíku a dusíku a v neposlední řadě typem vermikompostovaného materiálu. Změnou podmínek prostředí může docházet ke stresu žížal a následně i k jejich smrti (Suthar, 2010).

Vermikompost, jinými názvy také biohumus nebo Naturhumus se řadí mezi nejkvalitnější organická hnojiva. V trávicí soustavě žížal probíhá úplná humifikace, pomocí které vznikají tzv. drobty obsahující formy humusu s vysokým podílem huminových kyselin. Už pětiprocentní obsah vermikompostu v používaném substrátu je na rostlinách znát. Jiné používané označení může být biohumus nebo Naturhumus (Duží, 1996). Tento způsob rozkladu, který odstraňuje nežádoucí organické materiály, se stává stále více populární. Pomocí vermikompostování jsou nebezpečné odpady přeměňovány na základní surovinu potřebnou k výrobě biohumusu (vermikompostu). Tento substrát je díky svým vynikajícím vlastnostem vhodný pro pěstování rostlin. Také je produkována biomasa žížal, která má mnoho možností využití (Zajonc, 1992). Daným procesem nevzniká žádný odpad zatěžující životní prostředí (Julka, 1993). Vermikompostování je hojně využíváno mezi zahrádkáři nebo malovýrobci, kteří získaný produkt mohou prodávat případným zájemcům nebo ho sami využijí pro vlastní rostlinné kultury. Mnoho států věnuje pozornost praktickému využití žížal při kompostování (Zajonc, 1992). V Kolumbii, kde se každoročně vyrábí více než jeden milion tun kávy, bylo vermikompostování pomocí druhu *Eisenia fetida* navrženo jako vhodná metoda pro přeměnu kávového odpadu v užitečné organické hnojivo. Po zpracování tohoto odpadu žížalami byl v konečném produktu zjištěn vyšší obsah dostupného fosforu, vápníku a hořčíku, ale nižší obsah draslíku (Orozco a kol, 1996).

Při porovnání klasického kompostu a vermikompostu studie prokázaly, že vermikompost je svými vlastnostmi a kvalitou lepší. Může být využit i pro odstraňování kalu z čistíren odpadních vod (Bajsa a kol., 2003). Obsahuje jak mnoho živin, tak vysoce kvalitní

humus, enzymy, růstové hormony a látky, které chrání rostliny před chorobami a škůdci. U produktů zvyšuje nutriční hodnotu a snižuje možnost proniknutí cizorodých látek do rostlin. Díky obsahu humusu lépe udržuje vlhkost a je více provzdušněný. Zemědělcům hnojení vermikompostem šetří peníze za pesticidy a průmyslová hnojiva (Sinha a kol., 2010). Půda, ve které se vyskytují žížaly, obsahuje oproti půdě bez nich pět krát více dusíku, sedmkrát více fosforu, jedenáctkrát více draslíku a dvakrát více hořčíku a vápníku (Julka, 1993). Od roku 1995 do roku 2007 zaznamenaly některé evropské země zvýšení míry kompostování o více než 50 % (Lim a kol., 2016).

Použití vermikompostování můžeme zařadit mezi nízkonákladové způsoby zpracování odpadů (Lim a kol. 2016), protože překopávání, fragmentace a provzdušňování je zajištěna převážně žížalami (Hand a kol., 1988)

Používání vermikompostu v rámci likvidace odpadu a ochrany životního prostředí zajišťuje následující změny:

- a) mění nepříznivé vlastnosti odpadů, které způsobují biologické a chemické znečištění životního prostředí
- b) snižuje objem a vlhkost odpadu
- c) zlepšuje složení substrátu a zajišťuje lepší manipulaci
- d) nevznikají žádné zbytky, které by znečišťovaly prostředí

Produkty, které vznikají vermikompostováním:

- a) vermikompost – využívá se pro výživu rostlin, hnojení nebo přípravu substrátů
- b) žížaly – které mohou být použity při dalším založení vermikompostu nebo k prodeji malo- i velkospotřebitelům
- c) žížaly – jako živá potrava pro terarijní či akvariální zvířata, exotické ptactvo či jako návnadu pro rybáře (Zajonc, 1990)
- d) moučka ze sušených žížal – která je bohatým zdrojem bílkovin (70%), které se často používají jako krmivo pro zvířata (Adhikari, 2012)

Živé žížaly obsahují velké množství bílkovin a využívají se i jako krmivo pro kuřata, prasata, králíky a také jako doplněk výživy pro okrasné ryby (Kostelecká a Paczka, 2006).

Stejně jako při běžném kompostování má i vermikompostování určité základní typy technologických systémů, které mají své technologické postupy.

- a) pro vermikompostování v domácnostech, kde je jsou kompostovány kuchyňské zbytky, se využívají malé domácí vermikompostéry různé konstrukce a typu (Appelhof, 1997).
- b) velkoprodukční vermikompostování se obvykle provádí pomocí jednoduchých postupů jako je vermikompostování plošné nebo vermikompostování v ohraničeném prostoru tzv. boxové vermikompostování. Mezi složitější technologické systémy můžeme zařadit vermireaktory s kontinuálním procesem nebo dvoudomové vermireaktory (Dominguez a Edwards, 2011b; Hanč a Plíva, 2013b).

Dostatečná půdní vlhkost a odpovídající organické zbytky jsou považovány za ideální pro růst žížalí kultury a zvyšování jejich počtu. Po dobu přibližně jednoho roku, pokud je kultura řádně udržována, může být jejich počet navýšen více než padesátkrát. Žížaly mohou být odebírány z dané kultury podle potřeby a mohou být zavedeny do požadovaných polí či zahrad nebo použity pro založení nového vermikompostu (Julka, 1993).

3.6.1 Proces vermikompostování

Proces vermikompostování zahrnuje dvě různé fáze spojené s aktivitou žížal:

- a) aktivní fáze – Během této fáze žížaly zpracovávají organický substrát, čímž upravují jeho mikrobiální složení a fyzický stav (Dominguez a Goméz-Brandón, 2012; Lazcano a kol., 2008; Lores a kol. 2006).
- b) fáze dozrávání – Dochází k přemístění žížal k čerstvějším vrstvám nezpracovaného a nestráveného substrátu, během něhož přebírají mikroorganismy úlohu rozkladu odpadu zpracovaného žížalami (Goméz-Brandón a kol., 2011; Lazcano a kol, 2008).

Oproti běžnému kompostování nezahrnuje vermikompostování fázi, kdy dochází k rozkladu materiálu za vysokých teplot, protože teplota vyšší než 35°C je pro přežití žížal nepřijatelná. Pokud se teplota vyšplhá nad tuto hodnotu, zapříčiní smrt žížal (Plíva a kol., 2016).

Jelikož žížaly nejsou schopny fázi tepelného rozkladu přežít, může být tato fáze provedena následujícím postupem: odpadní materiál, který chceme použít pro vermikompostování se nejprve bez přítomnosti žížal nechá projít touto fází rozkladu za vysokých teplot, kdy mohou teploty vystoupat až na 70 °C. Vzniklý materiál můžeme označit za předkompostovaný a následně do něj vložit násadu žížal, aby byl zahájen proces samotného vermikompostování (Borkovcová a Žáková, 2015). V některých případech je potřeba, aby byl materiál předkompostován, protože může obsahovat látky, například některé kyselé směsi, které mohou být pro žížaly jedovaté. Spojení klasického kompostování s vermikompostováním je považováno za způsob, jak dosáhnout ustálení substrátu. Klasické kompostování zbaví odpad choroboplodných zárodků a odstraní jedovaté látky a následné vermikompostování zmenší velikost částic a zvýší dostupnost živin (Lazcano a kol., 2008).

3.6.2 Malé vermikompostéry

Tato metoda kompostování v malých vermikompostérech je často využívána zejména v bytech či kancelářích. Jde o kompostování v zakryté nádobě s malou produkcí vermikompostu, a proto jsou tyto kompostéry označovány jako domácí. Materiálů používaných pro jejich výrobu si můžeme zvolit několik. Dle množství bioodpadu, který chceme vermikompostovat, volíme velikost plochy dna pro vybranou nádobu. Na množství jeden kilogram bioodpadu za týden je potřebná plocha přibližně 0,2 m². Vermikompostéry se skládají z několika oddělených pater, kde v jednotlivých patrech dochází ke zpracování bioodpadů z domácnosti (Hanč a Plíva, 2013b). Pro tyto tzv. domácí vermikompostéry (viz. obr. č. 6) můžeme najít spoustu možných míst k jejich umístění. Může to být kuchyň, kancelář, garáž, dílna, balkón chodba nebo třída ve škole. Přestože je možné mít vermikompostér téměř kdekoliv, aby vermikompostování mohlo správně probíhat, musíme zajistit vhodnou teplotu kolem 20°C a správnou vlhkost substrátu. V létě není dobré ho vystavovat přímému slunečnímu záření, aby nedocházelo k jeho přehřátí z důvodu odpaření vody (Plíva a kol., 2016). V zimě naopak nemůžeme vermikompostér nechat venku bez tepelné izolace. Aby se předešlo mrazům, mohou být menší vermikompostéry v zimních měsících umístěny ve vnitřních prostorech například ve sklepech. Tím je zajištěn celoroční provoz vermikompostéru a systém tak může být zdrojem k doplňování substrátu v zahradách, záhonech, truhlíkách nebo květináčích i v zimním období (Reynolds, 1977).

Žížaly ke svému životu potřebují dostatek vzduchu, proto je nutné při výběru nádoby dbát na to, aby byla dostatečně prostorná, avšak ne příliš hluboká. Julka, (1993) uvádí, že velikost použité nádoby se může lišit dle potřeby. Dle Hanče a Plívy (2013b) postačí rozměry (d x š x h) - (40 x 40 x 15) cm. Reynolds (1977) považuje za vhodnou speciálně navrženou dřevěnou krabici o rozměrech 50 cm na délku, 35 cm na šířku s hloubkou 15 – 20 cm. Pro výrobu domácího vermikompostéru mohou být použity různé materiály jako je plast, hliník i dřevo (Kostelecká a Paczka, 2006).



Obr. č. 6: domácí vermikompostér převzato z (Hanč a Plíva, 2013)

Lehkost materiálu umožňuje lepší možnost přemístění vermikompostéru v případě potřeby (Adhikari, 2012; Julka, 1993). Provzdušnění, možnost pohybu žížal mezi jednotlivými patry vermikompostéru a odvedení přebytečné tekutiny zajistíme tak, že na dnech jednotlivých nádob vytvoříme malé otvory (Adhikari, 2012; Reynolds, 1977).

Jako podestýlka pro založení vermikompostovacího procesu v malém vermikompostéru jsou nejběžněji využívána tráva, listí, seno, sláma, roztrhaný a navlhčený papír, rašelina nebo hobliny (Hanč a Plíva, 2013b; Kalina, 2002; Reynolds, 1977).

Adhikari (2012) uvádí, že jako možnou podestýlku lze použít kokosové vlákno ve vrstvě pěti centimetrů a na něj rozložit vrstvu kompostovaného materiálu s násadou žížal vysokou přibližně tři centimetry. Jejich počet volíme dle velikosti nádoby. Kompostovací materiál by měl být denně postupně přidáván v dalších vrstvách. Horní část vermikompostéru by měla být vždy zakryta víkem nebo postačí i kus pytloviny, aby se uvnitř udržovalo tlumené světlo. (Adhikari, 2012).

Jsou skutečnosti, na které je třeba při zakládání kultury pamatovat a to, že podávaný organický materiál by měl obsahovat dostatek organické hmoty, ale neměl by být příliš mokrá. Dále by nemělo docházet k přehřátí vermikompostérů a v neposlední řadě bychom neměli vermikompost vystavovat přímému světlu (Reynolds, 1977). Pokud jako podestýlku použijeme nesprávný materiál, může to zapříčinit, že vermikompostování nebude probíhat správně. Přidávané organické zbytky, které do vermikompostu vkládáme, obsahují vodu, která následně může způsobit snížení počtu žížal ve vermikompostéru a výrazně zpomalit průběh vermikompostování. Je tedy nezbytností zajistit, přiměřenou vlhkost a provzdušnění lůžka (Hanč a Plíva, 2013a).

Důležitou úlohu při průběhu vermikompostování hraje sběr hotového vermikompostu, který je potřeba oddělit od zbytků ještě nezpracovaného jídla. Když je první patro vermikompostéru plné, přichystá se pro žížaly nová podestýlka do druhého patra. Žížaly se přesunou do vyššího patra za čerstvou potravou, kde je následně zahájeno další vermikompostování. První patro se ponechá ladem dva až tři měsíce, za které se materiál přemění na zralý vermikompost. V nejnižším patře se nachází zásobník na vodu, kam je odváděna přebytečná vlhkost z vermikompostu a zachytává se tam tzv. žížalí čaj. Žížalí čaj je velmi kvalitní hnojivo v kapalném stavu. Před použitím pro pokojové i zahradní rostliny se doporučuje smíchat ho s vodou stejného množství. Zásobník by měl být pravidelně čištěn a pokud se stane, že do něj propadají žížaly, je vhodné do něj dát menší množství kokosového vlákna nebo papíru, aby se mohly dostat zpět. V případě potřeby je několik možných způsobů, jak oddělit žížaly od vermikompostu. První možností je dát bioodpad k jedné straně vermikompostéru, kam se žížaly postupně přesunou. Jako druhou možnost lze použít například mouku, kterou posypeme vrchní vrstvu vermikompos. Žížaly ji mají velmi rády a přesunou se tak do svrchní vrstvy, kterou pak lze i s žížalami odebrat. Posledním způsobem je použití světla, které žížaly nemají rády. Z hromady s vermikompostem je oddělena menší část, která je rozhrnuta do tenké vrstvy. Žížaly se tak ocitnou na světle a přesunou se z menší

hromady do větší. Postup je opakován, až se podaří žížaly od vermikompostu oddělit. Tento třetí způsob by měl být neúčinnější metodou pro oddělení žížal (Brkovcová a Žáková, 2015).

3.6.3 Jednoduché technologické systémy vermikompostování

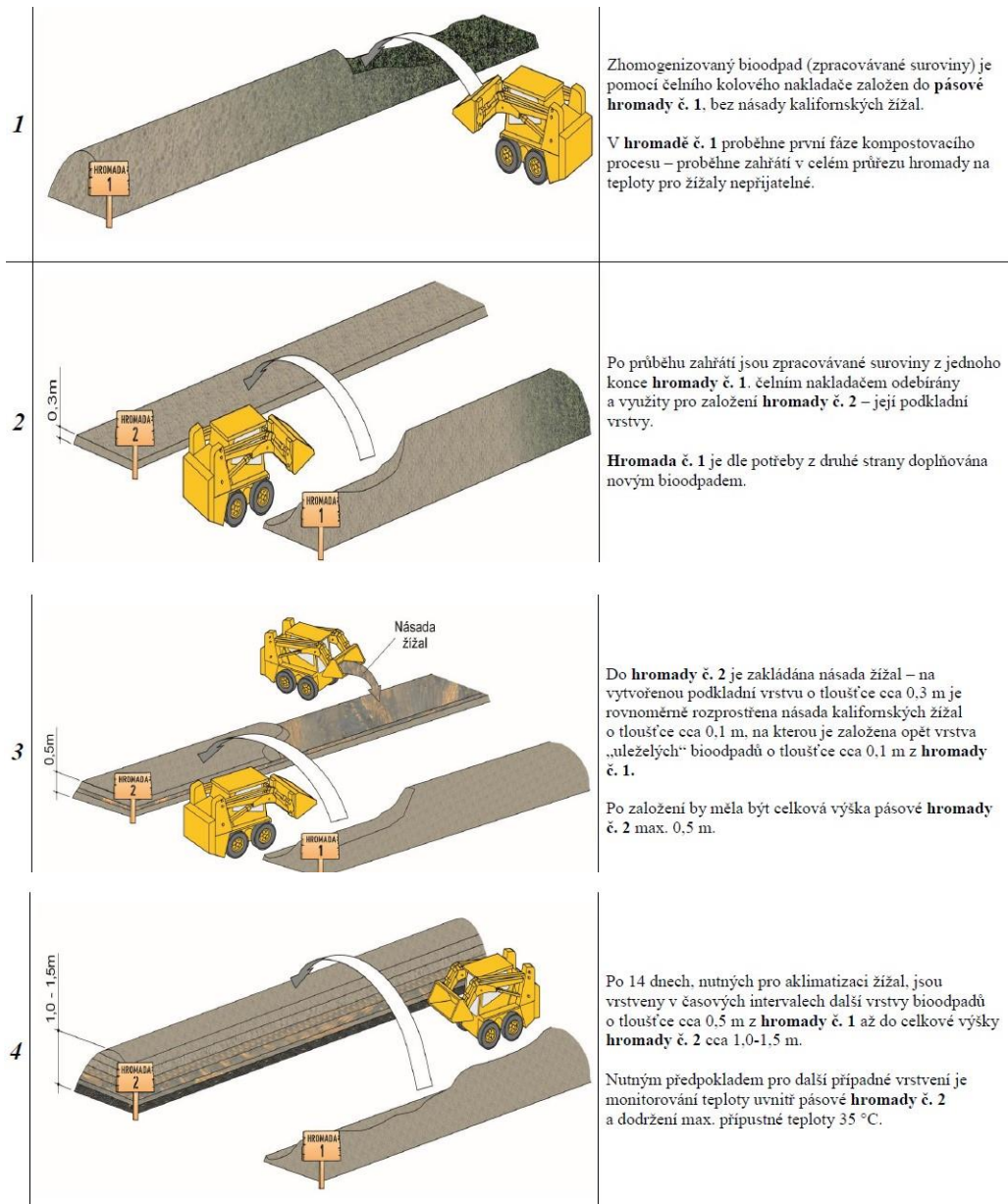
Tyto systémy zahrnují zejména vermikompostování v pásových hromadách na volné ploše v pásových či plošných hromadách nebo vermikompostování v ohraničeném prostoru tzv. boxové vermikompostování. Boxové vermikompostování není s ohledem na prostor nijak náročné, ale často je potřeba manipulační techniky. Udržení vhodné vlhkosti a vytváření vrstev ze surovin, které jsou pro vermikompost využity je však vcelku problematické (Plíva a kol., 2016).

Vermikompostování v pásových hromadách na volné ploše

Patří mezi nejjednodušší a často využívané způsoby vermikompostování. Jedná se o uspořádání zpracovávaného materiálu na volném prostranství do hromad nebo řádků (viz. obr. č. 7). Vermikompostování tímto způsobem není náročné ani na investici ani na technologický postup. Obracení ani překopávání hromad není potřeba, ale zato je nezbytné sledovat jejich vlhkost a v případě potřeby je zavlažovat. Vhodný počet žížal na jeden m² plochy je přibližně padesát tisíc (Hanč a Plíva, 2003; Plíva a kol., 2016)

Mezi nejčastěji využívanou metodu při vermikompostování na volné ploše v hromadách je postup s tzv. příkrmováním žížal, kdy je na svrchní vrstvu přidán biologický odpad ke zpracování. Přidáváme-li bioodpad jednou týdně, vrstva přidaného materiálu má deset centimetrů, pokud jednou za dva týdny, tak je vrstva dvacet až třicet centimetrů vysoká a jestliže jednou za tři týdny, tak ve vrstvě třicet až padesát centimetrů. Dochází k přesunu žížal do vrchních vrstev a k zahájení zpracování. Mezi nevýhody této metody patří nutné pracovní operace, kdy je neustále potřeba dodávat bioodpad. Sherman (2002) uvádí, že není vhodné mít od sebe jednotlivé hromady příliš vzdáleny, aby se žížaly bezpečně dostaly do druhé hromady, pokud se rozhodnou přesouvat. Povětrnostní podmínky průběh vermikompostování nijak značně neovlivňují. Jendou z nejvíce náročných operací této metody je oddělení žížal od hotového vermikompostu (Plíva a kol., 2016). První možnost je přikrmit žížaly nasypáním čerstvého bioodpadu na vrch hromady a po určité době svrchní vrstvu oddělit pomocí čelního nakladače a použít pro založení nové hromady (Sherman, 2002). Druhou možností je založení (těsně vedle zpracované hromady) nové hromady

z čerstvých surovin, kam si žížaly sami přelezou. Bohužel při použití obou těchto možností dochází k jisté ztrátě žížal (Hanč a Plíva, 2003).



Obr. č. 7: Vermikompostování v pásové hromadě na volné ploše převzato z (Hanč a Plíva, 2013)

Vermikompostování v ohraničených záhonech

Při tomto způsobu probíhá vermikompostování v ohraničených záhonech, které mají na šířku okolo dvou metrů. Často jsou opatřeny přístřeškem (viz. obr. č.9), ale mohou být i bez něj (viz.obr.č.8). Dle Adhikariho (2012) jsou zastřešené záhony částečně chráněny před povětrnostními podmínkami a proces vermikompostu tak může být prodloužen i během chladnějšího období roku. Pokud jsou venkovní teploty vyšší, je nutné zastřešené záhony vlhčit, což může být jistá nevýhoda zastřešení. Nezasřešené záhony je vhodné mít na ploše s mírným sklonem dva až tři stupně, aby při vlhčení záhonů docházelo k odvodu přebytečné vody. Záhony by mely být nejlépe umístěny na tvrdém podkladu či zpevněné ploše. Jelikož jsou záhony na volném prostranství, je potřeba žížaly chránit před možnými nepřáteli a jako vhodná ochrana může být použita geotextílie, koberec nebo rohož, kterou se záhon zakryje. Jako ochrana před mrazem v zimních měsících slouží větší vrstva slámy, listí či větší vrstva krmiva (Plíva, 2016).



Obr. č. 8: Vermikompostování v ohraničeném záhonu bez přístřešku (Plíva a kol., 2016)



Obrázek č.9: Vermikompostování v ohraničeném s přístřeškem (Plíva a kol., 2016)

3.6.4 Druhy žížal vhodné pro vermikompostování

Epigeické druhy žížal jsou díky svým přirozeným schopnostem jako je vysoká míra spotřeby přijímané potravy, příjem a trávení organických látek, dobrá snášenlivost vůči vlivem životního prostředí i manipulaci, vysoká rozmnožovací schopnost a krátký životní cyklus, vhodné pro využití ve vermikompostu a vermikultivaci. Je pouze málo druhů žížal, které vykazují všechny tyto vlastnosti a hodně využíváno bývá pouze pět druhů. Mezi ně patří ve velké míře *Eisenia fetida* (Savigny, 1826), *Eisenia andrei* (Bouché, 1972), *Dendrobaena veneta* (Rosa, 1886) a v menší míře pak *Perionyx excavatus* (Perrier, 1872) a (Dominguéz a Edwards, 2011a).

Eisenia fetida (Savigny 1826) a *Eisenia andrei* (Bouché 1972)

Oba druhy těchto žížal patří do čeledi Lumbricidae a jsou nejčastěji využívanými druhy k výrobě vermikompostu, biomasy i hnojiv (Pommeresche a kol., 2010). Hlavním důvodem je, že jsou všudypřítomné a vyskytují se ve velké míře po celém světě. Dále pak to,

že přirozeně obývají organické substráty, mají krátký životní cyklus, dobře snášejí široké rozpětí vlhkosti a teplot a díky jejich ekologické pružnosti a odolnosti s nimi lze snadno manipulovat. Vzhledem k jejich vysoké reprodukční rychlosti, nízkým nárokům na krmění a snadnému chovu v zajetí tvoří žížaly mimořádně zajímavý zdroj bílkovin (Salazar a Rojas, 1992). Oba druhy jsou si kromě odlišností ve zbarvení velice podobné stavbou těla i svými nároky. Jejich životní cykly ani rozmnožovací schopnosti se nijak výrazně neliší, i když druhu *Eisenia andrei* je tvorba kokonů a růst o něco vyšší. Délka jejich životních cyklů se pohybuje od 45 do 51 dní. Pohlavní zralosti mláďata dosahují okolo 21. - 30. dne. K páření dochází pod povrchem půdy nebo pod povrchem odpadového materiálu. Produkce kokonů začíná přibližně 48 hodin po páření (Dominguez a Edwards, 2011a).

I přestože existuje více druhů, které mohou být při vermikompostování využity, tak vzhledem k uvedeným skutečnostem jsou pro své vlastnosti nejvíce používány právě tyto dva druhy (Elvira a kol., 1996).

Problémy s jejich taxonomickým zařazením byly dlouho nevyřešeny a dodnes jsou oba tyto druhy v mnoha současných literaturách bez rozdílu označovány jako *Eisenia fetida* nebo *Eisenia foetida* a není tak často zcela jasné, na který z těchto dvou druhů je odkazováno. Je však potvrzeno, že se jedná o dva různé druhy, které se liší způsobem rozmnožování i historickým vývojem (Dominguez a Edwards, 2011a).

Že je rozmnožování vázáno k danému druhu potvrdila studie, která byla provedena u obou těchto druhů. Prokázala životaschopnost potomstva, které vzniklo mezidruhovým křížením a množením jedinců stejného druhu (Domínguez a kol., 2005, Domínguez a Pérez-Losada, 2010). Odlišný historický vývoj druhů prokázala studie sekvencí mitochondrií (COI) a jaderné DNA (28S) (Pérez-Losada a kol., 2005). Na základě těchto důkazů je pro vermikultivaci a vermikompostování více doporučován druh *Eisenia andrei*, protože její růst a rozmnožování je vyšší. Obvykle však tyto druhy žijí na stejných územích či ve stejných vermikompostech ve smíšených koloniích a proto může docházet ke křížení. Existence postkopulačních, nikoliv však předkopulačních izolací u smíšených společenstev má nepříznivý vliv na početnost populace, jelikož se snižuje zdraví jedinců. Jejich křížením nevznikají rozmnožování schopní plodní jedinci. Z hlediska použití je dobré tyto druhy chovat odděleně (Domínguez a kol., 2005).

Eisenia fetida neboli žížala hnojní (viz obr. č. 10) je pro své zbarvení označována též jako Tiger worm (Dominguez a Edwards, 2011a). Tomuto druhu se dobře daří při teplotě 18 – 25 °C, která je pro jiné druhy moc vysoká. (Zajonc, 1992). Zajímavostí byla studie z oblasti polárního kruhu, kde byl tento druh nalezen, přestože je jeho výskyt spojen spíše s teplými oblastmi (Reynolds, 1977). Snášenlivost vůči vyšší teplotě má za následek i vyšší spotřebu potravy, což zajistí, že rychleji zpracuje kompostovaný materiál. Také se díky tomu rychleji rozmnožuje. Do každého kokonu klade několik vajíček, ze kterých se následně vylíhnou mláďata, která rychle dospívají. Přestože zvládá snášet velké rozdíly vlhkosti, tak nejvíce jim vyhovuje vlhkost okolo 85 %. Dospělci mohou dorůstat délky 40 – 120 mm s průměrem těla okolo 2 - 4 mm. Jejich váha se pohybuje mezi 0,4 – 1,2g. Čerstvě vylíhlá mláďata jsou nitkovitá s délkou přibližně 12 – 20 mm. Nemají zatím pigmentované tělo, a tak skrz průsvitnou stěnu těla mají viditelné vnitřní orgány. Dospělí jedinci mohou být hnědorudí až rudofialoví. Pigment tvoří proužky na středu každého tělního článku, části mezi články mají světlejší, často nažloutlé. Pruhování je hodně výrazné mezi koncem těla a opaskem. V přední části těla jsou jednobarevné. Na břišní straně pruhování chybí a barva je světlá. Opasek je zbarvením kalně bílý až žlutobílý a začíná na 24. – 27. tělním článku a končí na 31. – 33. článku těla. Při podráždění z póru na hřbetu vylučuje páchnoucí kapalinu nažloutlé barvy (Zajonc, 1990).



Obrázek. Č 10: *Eisenia fetida* – převato z (Dominguez a Gómez-Brandón, 2012)

Eisenia andrei neboli žížala kalifornská (viz obr. č.11) byla popsána Bouchém roku 1972 s názvem *Eisenia fetida andrei*, ale v roce 1982 byla uznána jako samostatný druh *Eisenia andrei*. Od žížaly hnojní se liší svým zbarvením, které je u kalifornské žížaly jednobarevné, a to tmavě či světle rudé barvy. Při podráždění také z hřbetních pórů vylučuje tekutinu, ale na rozdíl od *Eisenia fetida* tato tekutina nepáchne a je bezbarvá. Původní rozšíření tohoto druhu bylo v Itálii, Francii a také v jižní a střední Evropě. V laboratorním chovu těchto žížal bylo zjištěno, že na jednotku hmotnosti těla vydává více oxidu uhličitého oproti žížale hnojní, což dokazuje rychlejší metabolismus, a tak i větší spotřebu potravy. Jejich kokony jsou těžší a počet mláďat v nich je větší (Zajonc, 1992). Oproti žížale hnojní se může dožít až šestnácti let. Zpracovává organický odpad mnohem rychleji než žížala hnojní a je tedy vhodná pro použití jak v domácích vermikompostérech, tak i na zpevněné ploše, kde jsou zajištěny vhodné podmínky i dostatek potravy, a tak nemá potřebu odlézat do volné přírody, kde nejsou podmínky tak příznivé jako v uměle vytvořeném prostředí (Borkovcová a Žáková, 2015).



Obrázek. č. 11: *Eisenia andrei* – převato z (Dominguez a Gómez-Brandón, 2012)

Dendrodrilus rubidus (Savigny 1826)

Tato žížala patří do čeledi Lubricidae patří mezi žížaly holandského typu. Jedná se o epigeický druh vyskytující se v různých typech organických půd jako je hnilé dřevo a sláma, rašelina, komposty, hnůj nebo i v blízkosti kanalizačních nádrží (Domínguez, 2004). Jedinci tohoto druhu dávají přednost půdám s vysokým obsahem organických látek (Elvira a kol., 1996). Druh byl nalezen na mnoha místech včetně zahrad, obdělávaných polích, rašelině, kompostu, na březích tekoucích vod, ale také ve sklenících, botanických zahradách nebo ve faremních chovech. Žije v horních vrstvách půdy, ale byli viděni i jedinci, kteří v noci po deštích lezli po povrchu půdy. Pokusy potvrdily, že žížala *Dendrodrilus rubidus* (viz obr. č. 12) je schopna přežít i dlouhodobější ponoření do vody. Ve vlhkém období byly nalezeny pod kůrou starých stromů, spadaného listí, mechem či rozkládajícím se dřevem (Reynolds, 1977). Tento druh není při vermikompostování používán tak často jako *Eisenia fetida* nebo *Eisenia andrei*. Jeho vývoj po dobu pohlavní dospělosti se pohybuje okolo padesáti jedna dní. Počet kokonů, který vyprodukuje je přibližně 0,2 – 0,4 kokonů za jeden den. Úspěšnost vylíhnutých jedinců je 85 %, průměrná doba od produkce kokonů po jejich vylíhnutí je dvacet dva dní, a z každého kokonu se v průměru vylíhne jedno až tři mláďata. U tohoto druhu je možné i rozmnožování pomocí partenogeneze či samooplození (Domínguez, 2004; Elvira a kol., 1996).



Obrázek č. 12: *Dendrodrilus rubidus* (Pižl, 2002)

Dendrobaena veneta (Rosa, 1886)

Druh *Dendrobaena veneta* (viz. obr.č. 13) pocházející ze severní polokoule je také možné využít při vermikompostování. Je velmi oblíbená a často využívaná v rybářském průmyslu jako návnada. Využívá se pro lov téměř všech kaprovitých ryb. Dospělý jedinec může dorůst velikosti až 12 cm s hmotností přibližně 2 g. V porovnání s žížalou hnojní je víc tlustá, kratší, není tak mrštná, nemá tolik výrazný opasek a její kůže je tužší. Na rozdíl od jiných druhů dobře snáší poměrně široké rozpětí vlhkosti (Borkovcová a Žáková, 2015). Dokáže snést teplotu mezi 15 až 25°C, její životní cyklus bývá okolo sta až stopadesáti dní a pohlavní dospělosti dosahuje v šedesátém pátém dni. Vajíčka produkuje v menším množství než *Eisenia fetida* nebo *Eisenia andrei* a doba jejich inkubace trvá přibližně 42 dní (Domínguez, 2004). Životní cyklus druhu *Dendrobaena veneta* je obvykle dokončen v rozmezí sta až sto padesáti dnů, kdy okolo 65. dne je již pohlavně dospělá. (Borkovcová a Žáková, 2015).

Studie prokázaly, že přestože tento druh roste velmi rychle, tak není příliš plodný. Při teplotě 10 – 15° C, která je pro tento druh běžná, má poměrně dlouhý životní cyklus. Je ovlivňován podmínkami, ve kterých je chován. Mezi nejdůležitější patří kvalita substrátu, kterým se živí. Bylo prokázáno, že při použití papírenského kalu jako podkladu byla rychlost vývoje tvorba kokonů při teplotách 15 – 25° C přibližně dvakrát vyšší, než při použití koňského hnoje (Fayolle a kol., 1997). Při teplotě 25°C vykazoval druh dobrý růst, ale jeho produkce kokonů a jejich následné líhnutí bylo v závislosti na této teplotě nižší. Díky těmto poznatkům je tento druh považován za méně vhodný pro použití při vermikompostování než například *Eisenia fetida* (Viljoen a kol, 1991).



Obrázek 13: *Dendrobaena veneta* převzato z: www.acheta.cz

Perionyx excavatus (Perrier, 1872)

Patří mezi tropické druhy a byl vyšlechtěn ve Vietnamu počátkem devadesátých let. Zastával důležitou roli při zpracování organických odpadů a byl využíván jako velmi výživné krmivo pro zvířata. Studie prokázaly, že nejlepším substrátem pro jejich rychlý růst byl, mezi několika použitými, kravský hnůj. Ve srovnání s ostatními použitými substráty vykazoval vermikompost vynikající výsledek s velkým zvýšením celkového obsahu fosforu (0,3 – 0,6%), celkového draslíku (0,09 – 0,23%), vápníku (0,51 – 0,79%) a poklesu amoniaku a amonných iontů (Ton a kol, 2009). *Perionyx excavatus* (viz obr. č. 14) je běžný druh asijského kontinentu. Dobře snáší vysoké teploty, ale jeho hlavním nedostatkem je špatná snášenlivost teplot nízkých. V tropických oblastech je však pro vermikompostování vhodným druhem a je běžně využíván v Indii, na Filipínách i v Austrálii (Domínguez a Edwards, 2011a).



Obrázek č. 14: *Perionyx excavatus* – převato z (Dominguez a Gómez-Brandón, 2012)

4. Závěr

Předložená práce poskytuje informace o žížalách, jejich morfologii, anatomii, vhodných životních podmínkách a možnosti jejich využití při vermikompostování. Metoda zpracování biologického odpadu pomocí žížal je čím dál více využívána nejen v zemědělství. Tento ekologicky udržitelný postup považuji za technologii budoucnosti. Jednou z výhod způsobu zpracování organických zbytků žížalami je, že ho lze využít i v domácích podmínkách, použitím domácích vermikompostérů, které nejsou náročné na prostor. Nejvhodnějšími a nejčastěji využívanými druhy žížal pro vermikompostování jsou *Eisenia fetida* a *Eisenia andrei*. Oba druhy dobře snáší široké rozpětí teplot i vlhkosti, mají krátký životní cyklus a rychle se rozmnožují.

Žížaly jsou velice důležitými živočichy, které můžeme v půdě nalézt. Podílejí se na jejím provzdušňování pomocí tvorby chodeb a jejím zúrodnování produkcí výkalů. Výkaly žížal tvoří právě vermikompost, který je považován za jedno z nejkvalitnějších organických hnojiv. Žížaly zvyšují mikrobiální aktivitu v půdě tím, že ji provzdušňují pomocí tvorby chodeb, promíchávají a přeměňují její fyzikální a chemické vlastnosti snížením poměru C:N. Dle místa výskytu v půdě můžeme žížaly rozdělit do tří skupin a to žížaly anektické (hlubinné), endogeické (podpovrchové) a epigeické (povrchové).

Žížaly patří mezi hermafrodity, tedy u každého jedince nalezneme samičí i samčí pohlavní orgány. Mají článkované tělo ve tvaru válce. První část těla tvoří peristomium s čelním lalokem, jehož způsob oddělení od peristomia rozlišuje jednotlivé druhy. V jejich těle nalezneme nápadnou trávicí soustavu, tvořenou trubicí, která propojuje ústní a řitní otvor. Je rozdělena na několik částí: hltan, jícen, žaludek a střevo, v němž mají žížaly střevní řasu (typhlosolis), která slouží k lepšímu vstřebávání živin, protože zvětšuje jeho povrch. Tato řasa je nejvíce vyvinuta u druhů, živících se organickým odpadem, který je ve vyšším stádiu rozkladu. Dýchají celým povrchem těla a mají žebříčkovitou nervovou soustavu. Velký vliv na jejich přežití mají podmínky prostředí, ve kterém se vyskytují. Patří mezi ně především teplota, pH půdy, vlhkost, potrava a také parazité, predátoři a používání pesticidů.

Vermikompostování patří mezi nejlevnější a praktické způsoby, jak odstraňovat hromadící se organický odpad a má tak velký význam pro ochranu životního prostředí. Je však třeba vybírat druh žížaly vhodný pro specifické podmínky, které se liší mezi mírným pásem a tropy.

Seznam použité literatury

- Abbasi, S. A., Nayeem-Shah, M., Abbasi, T. 2015. Vermicomposting of phytomass: limitations of the past approaches and the emerging directions. *Journal of cleaner production*. 93(1). 103-114.
- Adhikari, S. 2012. Vermicompost, the story of organic gold: A review. *Agricultural Sciences*. 3 (7). 905-917.
- Appelhof, M., 1997. *Worms Eat My Garbage*. Flower Press. Portage. p. 162.
- Bajsa, O., Nair, J., Mathew, K. Ho, G. E. 2003. Vermiculture as a tool for Domestic Wastewater management. *Water Science and Technology*. 48 (11-12). 125-32.
- Borkovcová, M., Žáková, M. 2015. *Biologie pro odpadové hospodářství*. Mendelova univerzita v Brně. Brno. s. 96.
- Bouché, M., B. 1972. *Lombriens de France. Écologie et systématique*. INRA. Paris. p. 671.
- Brown, G. G., Barois, I., Lavelle, P. 2000. *European Journal of Soil Biology*. 36 (3-4). 177–198.
- Domínguez, J. 2004. State of the art and new perspectives in vermicomposting research. In: Edwards, C. A. (Ed.), *Earthworm Ecology*, second ed. CRC Press, Boca Raton, p. 401–425.
- Domínguez, J., and Edwards, C. A. 1997. Effects of stocking rate and moisture content on the growth and maturation of *Eisenia andrei* (Oligochaeta) in pig manure. *Soil Biol. Biochem*. 29 (3-4). 743–746.
- Domínguez, J., Edwards, C. A. 2011a. Biology and ecology of earthworm species used for vermicomposting. In: Edwards C. A., Arancon, N. and Sherman (ed.) *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management*. CRP Press, p.27–40.
- Domínguez, J., Edwards, C. A. 2011b. Relationships between composting and vermicomposting. In: Edwards C. A., Arancon, N. and Sherman (ed.) *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management*. CRP Press. Boca Raton. p.11–25.

- Domínguez, J., Ferreiro, A., and Velando, A. 2005. Are *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) and *Eisenia andrei* Bouché, 1972 (Oligochaeta, Lumbricidae) different biological species?. *Pedobiologia*. 49 (1). 81–87.
- Domínguez, J., Gómez-Brandón, M. 2012. Vermicomposting: Composting with earthworms to recycle organic waste. In: *Management of Organic Waste*. InTech. p. 29–48.
- Domínguez, J., Parmelee, R. W., Edwards, C. A. 2003. Interactions between *Eisenia andrei* (Oligochaeta) and nematode populations during vermicomposting. *Pedobiologia*. 47 (1). 53–60.
- Domínguez, J., Pérez-Losada, M. 2010. *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) y *Eisenia andrei* Bouché, 1972 son dos especies diferentes de Lombrices de tierra. *Acta Zoológica Mexicana*. Número Especial. 26 (2). 321-331.
- Duží, L. 1996. To je ale humus!. *Úroda*. 44 (10). 8–9.
- Edwards, C. A. 1988. Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms. In: *Earthworms in Waste and Environmental Management*, ed. C. A. Edwards and E. F. Neuhauser, 21–31.
- Edwards, C. A., Bohlen, P. J. 1996. *Biology and ecology of earthworms*, 3rd ed. Chapman and Hall. London. p. 426.
- Edwards, C. A., Clive, A., Norman, Q., Arancon, N. Q., Sherman, R. L. 2010: *Vermiculture technology: earthworms, organic wastes, and environmental management*. CRC press. Boca Ration. p. 601.
- Edwards, C. A., Lofty, J., R., 1977. *Biology of earthworms*. Chapman and Hall. London. p. 334.
- Edwards, C. A. 2011. Medium- and high-technology vermicomposting systems. In: Edwards C. A., Arancon, N. and Sherman (ed.) *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management*. CRC Press. Boca Ration. p. 91-102.
- Elvira, C., Dominguéz, J., Mato, S. 1996. The growth and reproduction of *Lumbricus rubellus* and *Dendrobaena rubida* in cow manure. Mixed cultures with *Eisenia andrei*. *Applied Soil Ekology*. 5 (1). 97-103.

- Fayolle, J., Michaud, H., Cluzeau, D., Stawiecki, J. 1997. Influence of temperature and food source on the life cycle of the earthworm *Dendrobaena veneta* (Oligochaeta). *Soil Biology and Biochemistry*. 29 (3-4). 747-750.
- Gómez-Brandón, M., Aira, M., Lores, M., Domínguez, J. 2011. Changes in Microbial Community Structure and Function During Vermicomposting of Pig Slurry. *Bioresource Technology*, 102 (5). 4171-4178.
- Gosh, S. 2018. Environmental pollutants, pathogens and immune system in earthworms. *Environmental Science and Pollution Research*. 25 (7). 6196–6208
- Hanč, A., Plíva, P. 2013b. Vermikompostování bioodpadů (certifikovaná metoda). Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. s. 35.
- Hanč, A., Plíva, P. 2013a. Vermicomposting technology as a tool for nutrient recovery from kitchen bio-waste. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 15 (1). p. 431-439.
- Hanč, A., Vašák, F. 2015. Processing separated digestate by vermicomposting technology using earthworms of the genus *Eisenia*. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 12 (4). 1183–1190.
- Hand, P., Hayes, W. A., Frankland, J. C., Satchell, J. E. 1988. The vermicomposting of cow slurry. *Pedobiologia*, 31 (3). 199-209.
- Chatelain, M., Mathieu, J. 2017. How good are epigeic earthworms at dispersing? An investigation to compare epigeic to endogeic and anecic groups. *Soil Biology & Biochemistry*. 111. 115-123.
- Julka, M. 1993. Earthworm resources and vermiculture. *Zoological Survey of India*. Calcutta. p. 128.
- Kalina, M. 2002. Kompostování a péče o půdu. Grada. Praha. s. 116.
- Kooch, Y., Jalilvand, H. 2008. Earthworms as Ecosystems Engineers the Most Important Detritivores in Forest Soils. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 11 (6). 819-825.
- Kostelecká, J., Paczka, G. 2006. Possible use of earthworm *Eisenia fetida* (Sav.) biomass for breeding aquarium fish. *European Journal of Soil Biology*. 41 (1). 231-233.
- Laverack, M., S. 1963. The physiology of earthworms. Pregamon press. New York. p. 206.

- Lazcano, C., Gómez-Brandón, M., Domínguez, J. 2008. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere*. 72 (7). 1013-1019.
- Lee, K.E., 1985. *Earthworms: Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use*. Academic Press, Sydney. p. 411.
- Lim, S. L., Lee, L. H., Wu, T. Y. 2016. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *Journal of Cleaner Production*. 111 (A). 262 – 278.
- Lores, M., Gómez-Brandón, M., Pérez-Díaz, D., Domínguez, J. 2006: Using FAME profiles for the characterization of animal wastes and vermicomposts. *Soil Biology and Biochemistry*, 38 (9). 2993–2996.
- Medina, A. L., Cova, J. A., Vielma, R. A., Pujic, P., Carlos, M.P., Torres, J V. 2003. *Food and Agricultural Immunology*. 15(3–4). 255-263.
- Ndegva, P. M., Thompson S. A. 2000. Effects of C-to-N ratio on vermicomposting of biosolids. *Bioresource Technology*. 75 (1). 7–12
- Ojha, R. B., Devkota, D. 2014. Earthworms: 'Soil and Ecosystem Engineers' – a Review. *World Journal of Agricultural Research*, 2 (6). 257-260.
- Olive, P. J. W., Clark, R. B. 1978. Physiology of reproduction In: Mill, P. J (ed) *Physiology of Annelids*. Academic Press, London, p. 271–368.
- Orozco, F. H., Cegarra, J., Trujillo, L. M., Roig, A. 1996. Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia fetida*: Effects on C and N contents and the availability of nutrients. *Biology and Fertility of Soils*. 22 (1–2). 162-166.
- Pérez-Losada, M., Eiroa, J., Mato, S., and 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 genes. *Pedobiologia*. 49 (1). 317–324.
- Pižl, V. 1996. Žížaly – významná složka agroekosystémů. *Úroda*. 44 (10). 12–13.
- Pižl, V. 2002. Žížaly České republiky. Přírodovědný klub v Uherském Hradišti. Supplementum 9. s. 154.

- Pižl, V. 2004. Žížaly. *Zahrádkář*. 46(2). 48–49.
- Pižl, V. 2015. Co víme o endemické žížale *Allolobophora hrabei*. *Živa*. 5(1). 236-239.
- Plíva, P., Altmann, V., Hanč, A., Hejtáková, K., Roy, A., Souček, J., Valentová, L. 2016. Kompostování a kompostárny. Profi press s.r.o. Praha. s. 149.
- Pommeresche, R., Hansen, S., Loes, A.K., Sveistrup, T. 2010. Žížaly a jejich význam pro zlepšování kvality půd. Bioinstitut. Olomouc. s. 23.
- Reynolds, J., W. 1977. The earthworms (Lumbricidae and Sparganophilidae) of Ontario. Royal Ontario Museum. Toronto. p. 162.
- Salazar, E., Rojas, C. 1992. Conferencias curso fundamental de lombricultura. Aspectos generales-Teoría. Asociación Colombiana de Lombricultores, Asolombriz. Grupo CorpoAndes Mérida. p. 88.
- Satchell, J. E. 1967. Lumbricidae. In: Soil Biology (eds. A. Burgess and F. Raw) Academic Press. London and New York. p. 259–322.
- Satchell, J., E. 1983. Earthworm ecology from Darwin to vermiculture, Chapman and Hall, London. p. 495.
- Sherman, R. 2002. Vermicomposting system overview. *Biocycle*. 43 (12). 53–56.
- Sinha, N. K., Agarwal, S., Chauhan, K., Valani, D. 2010. The wonders of earthworms & its vermicompost in farm production: Charles Darwin's 'friends of farmers', with potential to replace destructive chemical fertilizers. *Agricultural Sciences*, 1 (2). 76–94.
- Srivastava P.K., Singh P. C., Gupta M., Sinha A., Vaish A., Shukla A., Singh N., Tewari S. K. 2011. Influence of earthworm culture on fertilization potential and biological activities of vermicomposts prepared from different plant wastes. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 174 (3). 420–429.
- Suthar, S. 2009. Vermicomposting of vegetable-market solid waste using *Eisenia fetida*: impact of bulking material on earthworm growth and decomposition rate. *Ecological Engineers*. 35(5). 914-920.
- Suthar, S. 2010. Recycling of agro-industrial sludge through vermitechnology. *Ecological Engineering*. 36 (8). 1028–1036.

Ton, V. D., Hanh, H. Q., Linh, N. D., Duy, N. V. 2009. Use of redworms (*Perionyx excavatus*) to manage agricultural wastes and supply valuable feed for poultry. *Livestock Research for Rural Development*. 21(11). 192.

Viljoen, S. A., Reinecke, A. J., and Hartman, L. 1991. Life-cycle of the European compost worm *Dendrobaena veneta* (Oligochaeta). *South African Journal of Zoology*. 26 (1). 43–48.

Zajonc, I. 1990. Biologické princípy využitia dážďoviek pre výrobu vermikompostu a produkciu bielkovinovej biomasy z odpadov poľnohospodárskej výroby: Realizační výstup státného úkolu R 06- 529-012/03-05 „Využitie trusu králikov pre produkcie dážďoviek. Ústav vedeckotechnických informácií pro zemědělství. Praha. s. 22.

Zajonc, I. 1992. Chov žížal a výroba vermikompostu, Animapress, s. 59.

Internetové zdroje:

Švingr, V. Žížala *Dendrobaena veneta* 15ks v plastu [online]. Acheta farm. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: < <https://www.acheta.cz/zizala-dendrobaena-veneta-15ks-v-plastu-id1421.html> >.