

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zoologie a rybářství



Diverzita žížal v různých biotopech

Bakalářská práce

Autor práce: Ifková Sandra

Vedoucí práce: Ing. Jakub Hlava, PhD.

© 2014 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Diverzita žížal v různých biotopech " 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 10.4.2014

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. J. Hlavovi, PhD. nejen za možnost psát tuto zajímavou práci, ale také za ochotu, trpělivost, vstřícnost a kvalitní vedení při psaní bakalářské práce a vyhledávání potřebných materiálů.

Také bych ráda poděkovala České zemědělské univerzitě v Praze za poskytnutí potřebných pomůcek pro provedení výzkumu.

Dále bych ráda poděkovala celé své rodině za trpělivost, ochotu a veškeré prostředky, které mi poskytla k realizaci výzkumu. Ale především bych ráda poděkovala svému devítiletému bratrovi a desetileté sestřenici za jejich pomoc a pozitivní nadšení při sběru žízal.

Diverzita žížal v různých biotopech

Souhrn

Tato bakalářská práce je zaměřena zejména na rozmanitost žížal na různých lokalitách s různým zatížením lidskou činností. Pro toto téma jsem si zvolila tři různá stanoviště v okolí obce Stříhov ve Středočeském kraji. První dvě lokality, louka a les, prozatím nepodléhají výrazné lidské činnosti, ale třetí lokalita, pole, je každý rok intenzivně obdělávána, hnojena a vystavována působení různých chemických přípravků.

Cílem práce proto bylo porovnat tato tři stanoviště a vyhodnotit diverzitu, zastoupení a početnost na každém z nich. Nejčastější metodou při výzkumu těchto parametrů je kombinace ručního rozboru a extrakce formaldehydem, ovšem zde byl formaldehyd nahrazen ekologičtější a šetrnější metodou, a to extrakcí hořčičným semínkem. Aby se zjištěné hodnoty daly dále v budoucnu porovnávat, jsou vyhodnocovány pomocí indexů diverzity.

Odebrané vzorky zahrnují 677 zástupců žížal, kteří byli zařazeni do 14 druhů. Z celkového počtu získaných žížal je 551 juvenilních jedinců a 126 dospělců. Celková biomasa žížal činí 79,022 gramů. Největší zastoupení představují druhy *L. rubellus*, *L. castareus* a *L. terrestris*. Naopak nejmenší zastoupení s počtem jednoho jedince má druh *Aporectodea longa*.

Ze zjištěných výsledků vyplývá, že druhové i početní složení společenstev žížal je závislé nejen na biotopu, ve kterém se vyskytují, ale také na okolních podmínkách, které mohou být přírodního nebo antropogenního (lidského) charakteru.

Pro lepší pochopení všech životních pochodů těla žížaly je součástí této práce také rešerše anatomie a morfologie těchto kroužkovců. Nechybí ale ani rozmnožování, vývoj a faktory jej ovlivňující, ekologie či vliv na kvalitu půd. V práci jsou také uvedeny a popsány nejčastěji se vyskytující žížaly v České republice.

Klíčová slova: žížaly; biodiverzita; bezobratlí; agrosystém

Earthworm diversity in various biotops

Summary

This bachelor thesis is focused on the diversity of earthworms in different locations with different loads of human activities. For this topic I have chosen three different sites around the Stříhov village in the Central Bohemia Region. The first two sites, meadow and forest, in the long term were not being burdened by significant human activity, the third location, field, is every year intensively cultivated, fertilized and exposed to different chemical inputs.

The objective of the thesis was to compare three sites and evaluate their diversity and abundance. The most common method for the research of these parameters is a combination of manual analysis and extraction of formaldehyde, however, there has been replaced by a favourable method of the mustard extraction. In order to give the values further in future comparisons, diversity indices were computed.

The samples include 677 individuals of earthworms, which were assigned to 14 species. Among the obtained data 615 juveniles and 126 adults were found. The total biomass of earthworms was 79.022 grams. The most abundant earthworm species were *L. rubellus*, *L. castareus* and *L. terrestris*. Conversely, the lowest number (one individual) showed *Aporectodea longa*.

The obtained results shows that species and the numerical strength of earthworm communities is dependent on the environment in which they occur, but also on the environmental conditions, which may be natural or anthropogenic (human) character.

For better understanding of the life processes of the body earthworms, theoretical part of this work contained the detailed anatomy and morphology together with development, and factors affecting it, ecology and impact on soil quality. The thesis also lists and describes the most commonly occurring worms in the Czech Republic.

Keywords: earthworms; biodiversity; invertebrates; agrosystem

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Cíl práce	8
3. Literární rešerše.....	9
3.1. Žížaly	9
3.1.1. Stavba těla.....	10
3.1.1.1. Morfologie	10
3.1.1.2. Anatomie.....	13
3.1.2. Životní cyklus	17
3.1.2.1. Rozmnožování a vývoj	17
3.1.2.2. Faktory ovlivňující vývoj.....	18
3.1.3. Ekologie	20
3.1.3.1. Diverzita žížal v různých biotopech ČR	20
3.1.3.2. Populace a společenstva	23
3.1.3.3. Predátoři	24
3.1.3.4. Parazité.....	24
3.2. Žížaly a půda.....	25
3.2.1. Prospěšnost žížal pro půdu	25
3.3. Metody sběru žížal a jejich konzervace	27
3.3.1. Mechanická metoda.....	28
3.3.2. Etologická metoda.....	28
3.3.3. Nepřímé metody	30
3.4. Metody hodnocení	30
4. Materiál a metody	31
4.1. Charakteristika lokality	31
4.2. Postup odebrání vzorků	32
5. Výsledky	33
6. Diskuse.....	36
7. Závěr	37
8. Seznam literatury	38

1. Úvod

Půdu každý z nás jistě dobře zná, všichni po ní každý den chodíme nebo ji aktivně využíváme, ale málokdo se pozastaví nad myšlenkou, že ji všichni velice potřebujeme. Půda je domovem mnoha rostlin, které více či méně potřebujeme k životu, vody, ale i spousty organismů, mezi něž patří i žížaly. Žížaly jsou zcela jistě těmi nejvýznamnějšími půdními živočichy. Jedná se o bezobratlé kroužkovce podílející se na řadě významných půdních procesů. Ačkoli se žížaly v našich podmínkách nedožívají vysokého věku, jsou nezbytnou součástí našeho ekosystému. Žížaly se nejčastěji dožívají asi jednoho až dvou let, ale i za tak krátkou dobu jsou schopny do našich půd vložit velkou část minerálních, ale i organických látek, které jsou velice důležité pro další mikrobiální činnost a růst rostlin. Tato práce se zabývá nejen anatomii a morfologií žížal, ale také životními pochody a významem žížal pro naše ekosystémy. V závěru bych ráda poukázala na druhovou rozmanitost ve Středočeském kraji, ve vesnici Stříhov, kde jsem prováděla sběr na různých lokalitách, a to na poli, v lese a na louce.

2. Cíl práce

Cílem práce je vlastním výzkumem srovnat populace žížal, které se vyskytují v různých biotopech (les – louka – agrosystém).

3. Literární rešerše

3.1. Žížaly

Zařazení do systému v rámci kmene kroužkvců (Pižl, 2002):

Kmen: Annelida

Třída: Oligochaeta

Nadřád: Megadrili

Řád: Opisthopora

Podřád: Lumbricina

Nadčeleď: Lumbricoidea

Čeleď: Lumbricidae

Žížaly patří zcela jistě k našim nejznámějším bezobratlým živočichům (Pižl, 2002) a ve světě je v současnosti popsáno více než 2500 druhů (Briones et al., 2009). Odhaduje se, že dalších nejméně 2000 je dosud nepopsáno. Přestože jsou žížaly rozšířené na všech kontinentech, většina čeledí obývá tropické či subtropické oblasti, případně mírné pásy mimoevropských kontinentů. Ve střední Evropě se vyskytují pouze zástupci čeledi žížalovitých – Lumbricidae s výjimkou vodního druhu *Criodrilus lacuum* (Pižl, 2002).

Význam žížal spočívá převážně v rozkladu primární organické hmoty a tvorbě humusu (Tomlin et al., 1995). Také se podílejí na přeměně složitých organických sloučenin do forem jednoduchých, které jsou přijatelnější pro rostliny. Mohou ovlivňovat půdní vlhkost, provzdušňování a rozměňňování půdy. Dále mohou být prospěšné i svými exkrementy, vlivem na půdní mikroorganismy nebo přenášením rostlinného materiálu (Vrba a Huleš, 2007).

Aktivita některých druhů žížal je závislá na okolních podmínkách prostředí nebo je řízena vnitřními biologickými hodinami. Žížaly ale mohou být aktivní po velkou část roku, zejména během jara, kdy se jejich aktivita zvyšuje. Různé druhy žížal se v nepříznivých podmínkách, jako je příliš velké teplo, sucho nebo mráz, chovají různě (Pommeresche a kol., 2010). Zimu přečkávají žížaly různým způsobem a můžeme je rozdělit do tří skupin. Žížaly z první skupiny s příchodem mrazů hynou a zimu přečkávají pouze jejich kokony, proto jsou nuceny dokončit celý svůj životní cyklus během několika měsíců.

Žížaly z druhé skupiny zimní období přežívají ve stádiu dočasného klidu, tzv. kviescenci. S poklesem teploty pod určitou hodnotu vytvářejí v půdě komůrky vystlané slizem, stočí se v nich do klubíčka a z těla vyloučí většinu vody. Fyziologické pochody se zpomalují a žížaly tráví ze svých tukových zásob. Pokud je zima příliš dlouhá a žížala už nemá tukové zásoby, může dokonce rozkládat a trávit i své krevní barvivo, hemoglobin. K aktivnímu životu se tyto žížaly vracejí s nástupem vyšších teplot v březnu či dubnu.

Třetí skupina zahrnuje pravé zimní spáče. Tyto žížaly zalézají na konec svých chodeb sahajících hluboko do půdy, kde se chovají podobně jako zástupci druhé skupiny. Nástup klidového stádia, tzv. diapauzy, u nich však není podmíněn poklesem teploty, ale závislý na změnách délky dne (Pižl, 2010)

Frouz a Poklopová (2011) uvádějí, že i Charles Darwin projevil zájem o žížaly a to v roce 1881 publikací jeho poslední odborné knihy *The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms with Observations on their Habits*. Za úspěchem stál Darwinův popis chování žížal. Ze způsobu, jakým žížaly uchopují přemísťované předměty, Darwin vyvodil, že žížaly projevují jisté prvky inteligence. Zkoumal předměty, které si žížaly natahaly do svých chodbiček. Darwinova práce přináší popisnou charakteristiku a morfologii žížal, zejména se věnuje promíchávání půdy žížalami a jeho vlivu na archeologii a na formování zemského povrchu. Darwin se zaměřil na úlohu žížal, zejména na jejich vliv na promíchávání a vertikální přesuny půdy a dále se věnoval i úloze bioturbace žížal v zahrabávání starověkých staveb. Na základě svých měření Darwin odhaduje, že kamenný blok o rozměrech 170 × 99 × 38 cm může být činností žížal zcela pohřben za 262 let.

3.1.1. Stavba těla

3.1.1.1. Morfologie

Žížaly jsou živočichové válcovitého tvaru, zadní část těla však mohou mít hranatou (čtvercovitou či oktogonální na průřezu) či dorsoventrálně zploštěnou (zejména u velkých, hluboké chodby vytvářejících druhů). Velikost žížal je široce proměnlivá (Sims and Gerard, 1999). Nejmenší žížaly jsou dlouhé asi 1-2 cm a široké 1-1,5 mm, největší žížaly dosahují délky přes jeden metr a šířky 2-4 cm. Velmi různorodé je i zbarvení žížal. Základní „masové“ zbarvení mnoha druhů je dáno přítomností hemoglobinu v krvi a jiná zbarvení závisejí na obsahu pigmentů ve svalovině tělní stěny (Pižl, 2002).

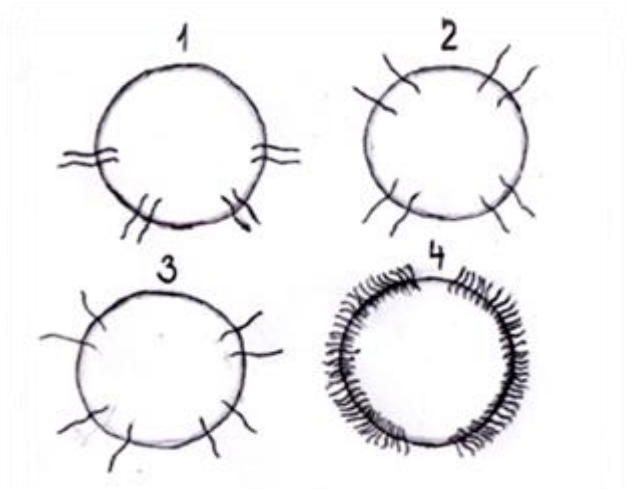
Tělo žížaly je studené, vlhké a trochu slizké (Pommeresche a kol., 2010), je členěno na články (segmenty), které jsou na povrchu odděleny mezičlánkovými rýhami odpovídajícími přepážkám uvnitř těla (Pižl, 2002). Počty segmentů jsou poměrně konstantní v rámci každého druhu (Sims and Gerard, 1999). Prvý tělní segment (peristomium) obklopuje ústní otvor a na svrchní straně nese čelní lalok (prostomium) (Pižl, 2002), jehož tvar a míra oddělení od prvního tělního článku se liší u různých druhů, je pohyblivý a napomáhá k uchopení potravy (Pommeresche a kol., 2010). Je situovaný do středu prstencovitého metastomia, tvořícího zadní část prvního segmentu. Dle stupně oddělení laloku od metastomia rozlišujeme několik typů prostomia:

- a) zygolobické prostomium – neoddělené protažení prvního článku
- b) prolobické prostomium – oddělené jednoduchou rýhou
- c) epilobické prostomium – s posteriorně orientovaným jazýčkovitým protažením
- d) tanylobické prostomium – zadní protažení sahá až k 1. intersegmentální rýze a kompletně rozděluje dorzální část peristomia.

Za prvním segmentem následuje řada stejně utvářených článků, jejichž počet je druhově specifický. Tělo je zakončeno análním segmentem (periproktem) s malým řitním otvorem. Konečný počet segmentů je vyvinutý již při vylíhnutí z kokonu. Zvýšení počtu segmentů je výsledkem regenerační náhrady poškozené či ztracené ocasní části těla (Pižl, 2002).

Na každém tělním článku, s výjimkou peristomia a periproktu, se nacházejí zatažitelné (retraktilní) štětiny (sety) (Pižl, 2002), které žížalám pomáhají při pohybu a hloubení chodeb. Tyto štětiny fungují jako drápky, jsou vybavené svalovinou, a žížala tak může regulovat jejich vysunutí. Štětiny jsou v jednom směru přichýlené k tělu a tím usnadňují žížale pohyb vpřed. Tímto současně znesnadňují její protisměrné vytažení z chodbičky, což má význam jako ochrana při útoku predátorů (Pommeresche a kol., 2010). Většina žížal má osm (čtyři páry) štětín umístěných ventrálně a lateroventrálně na každém článku (Sims and Gerard, 1999). Jedná se o tzv. lumbricidní uspořádání. Vzájemná poloha štětín na obvodu článku je druhově specifická. Podle vzdálenosti mezi štětínami rozeznáváme štětiny sblížené či silně sblížené, které vytvářejí zřetelné páry a dále rozeznáváme štětiny oddálené a parichaetinní (Obr. I.) (Pižl, 2002).

Obr. I. Různé rozložení štětín (Pižl, 2002).



1 – silně sblížené štětiny, 2 – slabě sblížené štětiny, 3 – oddálené štětiny, 4 – perichaetinní štětiny

Štětiny jsou zpravidla esovitě prohnuté se středovým ztloustnutím v místě svalových úponů. Velikost štětín je velice variabilní jak druhově, tak i podél těla každého jedince (Pižl, 2002). Některé ventrální páry štětín mohou být modifikovány na tzv. genitální štětiny, které leží na žláznatých genitálních políčkách. Tyto štětiny mají podélnou rýhu a jsou háčkovitě zakončeny. Jejich funkce pravděpodobně spočívá v dráždění a přidržování partnerského jedince během kopulace (Sims and Gerard, 1999).

U většiny žížal můžeme rozeznávat malé intersegmentálně položené dorsální póry, které se nachází ve středové linii svrchní části těla, a jejichž úkolem je spojit povrch těla s tělní dutinou (coelomem) (Pižl, 2002). Dorsální póry jsou vybaveny vlastní svalovinou (sfinktery). Sfinktery umožňují průchod coelomové tekutiny na povrch těla. Ta napomáhá zvlhčování a ochraně kutikuly. Coelomová tekutina může být velice intenzivně vylučována také jako reakce na chemické podráždění tělního povrchu, a u některých druhů i při napadení predátorem (Sims and Gerard, 1999).

Vyměšované odpadní látky odcházejí z těla stěží viditelnými bočně umístěnými póry, tzv. nefridiopóry, jejichž pár se nalézá na každém tělním článku kromě několika článků na přídí. Nefridiopóry zpravidla vytvářejí plynulou podélnou linii těsně nad ventrálním párem štětín, někdy však může být jejich rozložení nepravidelné (Pižl, 2002).

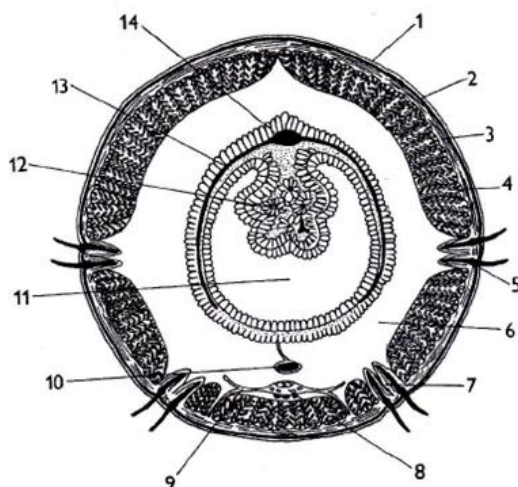
Žížaly jsou hermafroditi, tj. každý jedinec má jak samčí, tak i samičí rozmnožovací soustavu (Sims and Gerard, 1999). Mohou tedy vytvářet jak vajíčka, tak spermie, ale většinou se páří s jinými jedinci, s nimiž si spermie vyměňují (Pommeresche a kol.,

2010). Na povrchu těla pak lze pozorovat vyústění obou rozmnožovacích soustav. Obvykle můžeme rozeznat jeden pár samčích pohlavních pórů, které jsou často malé, ale u řady druhů jsou obklopeny dvorcí či žláznatými papilami, zasahujícími někdy i na sousední tělní články. Samčí póry jsou umístěny v rozmezí 13. – 15. článku. Samičí póry jsou vždy malé a leží v laterální oblasti 14. článku. V přední části těla téměř u většiny druhů se nalézají vyústění chámových schránek, tzv. spermatékální póry. U dospělých jedinců lze pozorovat ztlustění několika sousedních článků v přední části těla, tzv. opasek. Pokožka opasku je modifikována přítomností husté sítě velkých žláznatých buněk produkujících slizovité sekrety, které slouží k produkci kokonů. Kokon je vaječná kapsule zajišťující ochranu a výživu vyvíjejícím se embryím. Opasek může být sedlovitý, válcovitý nebo prstencovitý. Válcovitý a prstencovitý opasek pokrývají celý obvod článku, oproti tomu sedlovitý opasek je přerušen na spodní straně těla. Na okrajích sedlovitého opasku jsou zpravidla vyvinuty více či méně zřetelné žláznaté útvary – pubertální valy. Ty mohou v podobě proužků zaujímat několik opaskových segmentů, celý opasek, či mohou zasahovat na několik článků za opaskem. Někdy jsou přerušovány intersegmentálními rýhami nebo vytvářejí oddělená políčka či několik párů přísavek. Poloha i tvar pubertálních valů jsou druhově specifické. U druhů které se rozmnožují partenogeneticky, mohou pubertální valy zcela chybět. Pubertální valy se mohou vyvinout i u nedospělých jedinců, kteří nemají opasek. Tito jedinci mohou kopulovat a vyměňovat si sperma s dospělými partnery, ale nejsou schopni produkovat kokony (Pižl, 2002).

3.1.1.2. Anatomie

Těla žízal lze jednoduše popsat jako dvě soustředné trubice (tělní stěna a střevo). Trubice mezi sebou uzavírají druhotnou tělní dutinu – coelom, která je naplněna tekutinou. Tělní dutina je rozdělena příčnými přepážkami (septy) na řadu komůrek. Tělní stěna žízal je tvořena z vnější kutikuly, žláznaté pokožky (epidermis), dvou vrstev svaloviny, která je oddělena sítí nervových vláken a peritoneálními výstelky coelomové dutiny (Pižl, 2002).

Obr. II. Příčný řez zadní částí těla žížal (Pižl, 2002).



1 – kutikula, 2 – epidermis, 3 – okružní svalovina, 4 – podélná svalovina, 5 – štětiny, 6 – tělní dutina, 7 – štětinová svalovina, 8 – břišní nervová páska, 9 – segmentální nervy, 10 – ventrální céva, 11 – střevo, 12 – typhlosolis, 13 – peri-intestinální céva, 14 – dorsální céva

Kutikula je nebuněčná, složena z několika vrstev kolagenních vláken. Je slabá a průhledná, ale velice pevná. Pokrývá celý povrch těla s výjimkou míst, kde je proděravěna štětinami a žlázovými či jinými póry (Pižl, 2002).

Epidermis je tvořena (s výjimkou opasku) jednou vrstvou svísele protažených podpěrných buněk. Mnohé z těchto buněk mají charakter jednobuněčných žláz či smyslových buněk, které jsou spojeny pěti nervovými vlákny s nervovou šňůrou (Sims and Gerard, 1999).

Pod epidermis se nacházejí dvě vrstvy svaloviny, které jsou od ní odděleny vrstvou pojivových tkání. Vnější vrstva okružní svaloviny je tenká, zatímco vnitřní vrstva podélné svaloviny je velice silná. Obě vrstvy pracují antagonisticky. Vytvářejí tlak na coelomovou tekutinu a umožňují tak natažení či stažení tělních článků a tím pohyb žížal. Podle rozložení vláken rozlišujeme podélnou svalovinu peříčkovitého, svazečkovitého a přechodného typu (Pižl, 2002).

Septy jsou tvořeny dvěma vrstvami peritoneálních buněk. Mezi těmito buňkami je uzavřena vrstva obsahující svalová vlákna, pojivová pletiva a krevní cévy. Dále jsou septy perforovány malými póry, které umožňují komunikaci coelomové tekutiny mezi články. Tyto póry jsou vybaveny sfinktery, které slouží k jejich zavření. Septa jsou většinou

tenká, ale mohou být i ztluštěná, vybavená mohutnou svalovinou zejména v přední části těla těch druhů, které si aktivně razí chodby v půdě (Pižl, 2002).

Žížala dýchá celým povrchem těla. Výměně plynů napomáhá také sliz na povrchu těla. Žížaly jsou proto velmi citlivé na sucho. Těsně pod povrchem těla jsou uloženy cévy, což umožňuje rychlou výměnu plynů mezi vnějším prostředím a tělem žížaly (Pommeresche a kol., 2010).

Trávicí soustava je nejnápadnější strukturou tělní dutiny žížal. Tvoří jí rovná trávicí trubice spojující ústní a řitní otvor (Pižl, 2002). Tento zažívací trakt začíná ústním otvorem, pokračuje hltanem, jícnem, jehož část je přeměněna v tzv. žláznatý žaludek, svalnatým žaludkem, dlouhým střevem a končí řitním otvorem (Pommeresche a kol., 2010).

Hltan se nachází v prvních čtyřech článcích a je svalnatý. Dalších 9 – 13 článků zabírá jícnem, ke kterému mohou být připojeny různě vyvinuté kalciferní (Morrenovy) žlázy. Funkce těchto žláz není dosud uspokojivě objasněna, ale je zřejmé, že hrají významnou roli při regulaci osmotických poměrů a pH v tělních tekutinách, při neutralizaci pohlčené potravy, exkreci cizorodých látek a regulaci obsahu vody v těle žížal. U mnoha žížal jsou vyvinuty jícnové (oesophageální) žaludky, ale u našich druhů (Lumbricidae) chybí. Jsou funkčně nahrazeny modifikovanou přední částí střeva, tj. voletem (žláznatý žaludek), a hned za ním následujícím svalnatým žaludkem (Pižl, 2002). V něm dochází k míchání a drcení potravy za pomoci pozřených půdních částic a drobných zrněk písku (Pommeresche a kol., 2010). Vnitřní stěna předního střeva je často podélně vychlípena a složitě zvlněna, tvoří tzv. typhlosolis. Ta zvětšuje povrch střeva sloužící k asimilaci živin z potravy. Typhlosolis je nejvíce rozvinuta u žížal konzumujících silně rozložené organické složky půdy. U druhů, které se živí málo rozloženými rostlinnými zbytky sbíranými na půdním povrchu, může být typhlosolis nevyvinutá. Zadní část střevní trubice je pokryta chloragenními buňkami, jejichž funkce je do jisté míry shodná s funkcí jater u vyšších živočichů. Funkce těchto buněk spočívá zejména v syntéze a uchování energeticky bohatých látek a v akumulaci odpadních a cizorodých látek. Většinu obsahu chloragenních buněk tvoří žlutá nebo hnědá zrnka (chloragosomaty) v nichž jsou imobilizovány cizorodé látky (Pižl, 2002).

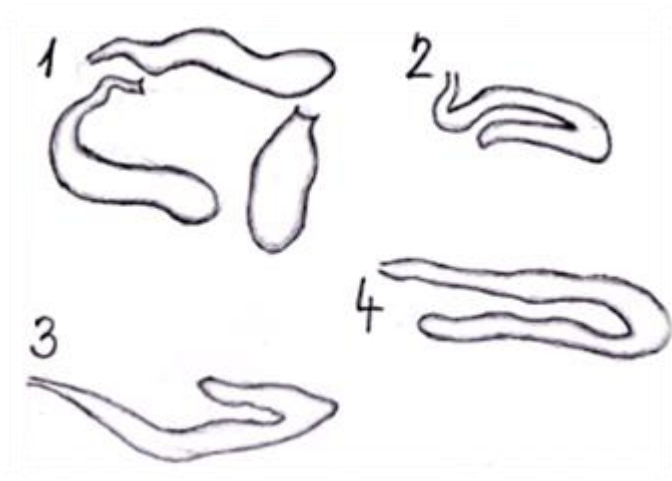
Žížaly mají uzavřenou cévní soustavu (Sims and Gerard, 1999). Je tvořena třemi hlavními cévami: jednou dorsální a dvěma ventrálními (Pižl, 2002).

V přední části těla žížaly lze nalézt dva až pět párů menších cév spojujících hřbetní (dorsální) a břišní (ventrální) cévu. „Tyto cévy jsou často vybavené svalovinou a označovány jako tzv. pomocná srdce“ (Pommeresche a kol., 2010). Dále se v tělní stěně nachází hustá síť somatických cév (Pižl, 2002).

Žížaly mají žebříčkovou nervovou soustavu se dvěma velkými propojenými mozkovými ganglii (obdoba mozku) v přední části těla (Pommeresche a kol., 2010). Ganglion leží na svrchní straně hltanu a pod jícnem. Dále se v těle žížal nachází břišní nervová páska probíhající pod trávicí trubicí a zesílená uprostřed každého článku (Pižl, 2002). U žížal také lze najít jednoduché smyslové buňky různého typu, které jsou rozloženy na povrchu těla a mohou vnímat světlo, chutě, pachy a vibrace (Pommeresche a kol., 2010).

Vylučovací soustava žížal je tvořena páry nefridií. Nalézají se v každém tělním článku s výjimkou prvních tří a periproktu. Na začátku každé nefridie se nachází nálevka, která je otevřená do předcházejícího tělního článku a vede do úzkého nefridiálního kanálku. Tento kanálek se před vyústěním z těla rozšiřuje a vytváří tzv. nefridiální měchýřek, jehož tvar a orientace vzhledem k tělním osám jsou významnými rozlišovacími znaky žížal na rodové a někdy i druhové úrovni. Rozlišujeme různé typy nefridiálních měchýřků (Obr. III):

Obr. III. Různé typy nefridiálních měchýřků (Pižl, 2002).



1 – lalůčkovité a válečkovité, 2 – esovité, 3 – háčkovité, 4 – tvaru U

Samčí pohlavní orgány žížal zahrnují dva páry varlat (testes), velké chámové vaky a párovité chámovody. Varlata se nacházejí v 10. – 11. tělním článku a jsou připojena k přední intersegmentální přepážce v blízkosti nervové pásky (Sims and Gerard, 1999). Velké chámové vaky jsou párové a jejich počet kolísá od dvou do čtyř párů uložených po jednom v 9. – 12. článku. Tyto vaky vznikají vydutím sept a slouží k uchování spermatu. Párovité chámovody začínají nálevkami sbírajícími sperma z testikulárních segmentů a procházejí směrem dozadu dalšími segmenty (Pižl, 2002).

Samičí pohlavní orgány jsou tvořeny párem vaječníků položených u zadní stěny 13. tělního článku v blízkosti ventrální nervové pásky (Sims and Gerard, 1999). Tvar vaječníků je různý, u našich žížal je diskovitý. Z vaječníků jsou vajíčka uvolňována do coelomové tekutiny, z níž jsou pak sbírána obrvenými nálevkami do krátkých párových vejcovodů vyústujících do samičích pohlavních pórů (Pižl, 2002).

Dále lze v těle žížal najít chámové schránky (spermatéky). Nacházejí se v blízkosti chámových vaků. Jedná se o prohlubně tělní stěny sloužící ke schraňování spermatu získaného od partnerského jedince při kopulaci. U našich žížal se nejčastěji vyskytují ve dvou párech. Někdy mohou být rudimentární či mohou chybět. Mají podobu malých kulovitých váčků s krátkými vývody, ale mohou být i ledvinovitého tvaru (Pižl, 2002).

3.1.2. Životní cyklus

3.1.2.1. Rozmnožování a vývoj

Žížaly patří k živočichům, kteří jsou schopni rozmnožovat se a produkovat vajíčka po většinu roku a po většinu svého dospělého života. Výměna spermatu probíhá při kopulaci dvou jedinců, přičemž sperma partnerského jedince je uchováno v chámových schránkách a později je využíváno pro oplodnění vajíček. Alternativním způsobem je výměna spermatu pomocí adhezivních spermatoforů. Tyto spermatofory jsou přichyceny na pokožku partnera a jsou využity k přímému oplození vajíček při tvorbě kokonů. Produkce spermatoforů je u některých druhů obligatorní (např. zástupci rodu *Dendrodrilus*), ale u některých druhů může být fakultativní, tj. jedinci též kopulují (např. žížaly z rodu *Lumbricus*). Některé druhy se mohou rozmnožovat i partenogeneticky (např. *Eisenia fetida*) (Pižl, 2002). Po uchování spermatu začnou žlázy v opasku produkovat váček se slizem, který má vyživovat a chránit vajíčka. Tento váček se poté postupně posouvá k hlavové části žížaly. Během jeho pohybu žížala vypustí do slizového váčku svá vajíčka a partnerovy spermie. Slizový váček nakonec sklouzne přes hlavovou část,

na obou stranách se uzavře, a vytvoří kokon ve tvaru citrónku (Pommeresche a kol., 2010). Frekvence kladení kokonů je ovlivněna řadou faktorů prostředí (Pižl, 2002). Nejvíce kokonů můžeme nalézt na jaře a na podzim v závislosti na druhu, množství živin a klimatu. Jeden jedinec může vyprodukovat 3 – 100 kokonů za rok. Produkce kokonů je závislá také na teplotě. Při teplotách nižších než 3°C žížala kokony neklade. Jeden kokon může obsahovat až 20 vajíček, ale jen málokdy se z jednoho kokonu vylíhnou více než jeden nebo dva jedinci. Doba od vykladení kokonu do vylíhnutí mladých žížal se pohybuje v rozpětí od tří týdnů do pěti měsíců v závislosti na druhu a klimatických poměrech. Žížaly se líhnou s plným počtem tělních článků, jejich velikost se ale pohybuje v rozmezí pouhých 0,5 až 1,5 cm. Líhnutí je nejrychlejší, pokud je půda vlhká a teplota se pohybuje kolem 15°C (Pommeresche a kol., 2010).

Růst žížal a doba dospívání se u jednotlivých druhů liší. I doba života žížal značně kolísá (Pižl, 2002). A to vše v závislosti na vnějších podmínkách, jako např. vysychání nebo promrzání půdy, nevhodný způsob zpracování půdy, napadení predátory. Žížaly se proto v přírodě zřídka kdy dožívají více než dvou let (Pommeresche a kol., 2010).

3.1.2.2. Faktory ovlivňující vývoj

Potravní zdroje

Základním zdrojem potravy pro žížaly je organický materiál. Převážnou část potravy tak tvoří odumřelé zbytky rostlinného i živočišného původu, dále pak půdní mikroorganismy, hyfy mikroskopických hub, půdní řasy a méně významnou složku tvoří půdní živočichové (Pommeresche a kol., 2010).

Zde můžeme žížaly rozlišit do dvou skupin podle toho, jakou preferují potravu – žížaly geofágní a detritofágní.

Detritofágní druhy žížal – potravu nacházejí na půdním povrchu a v nejsvrchnějších horizontech půdy, živí se převážně rostlinnými zbytky nebo exkrementy savců. Stravitelnost rostlinné potravy se pro tyto žížaly významně liší. Např.: nejlépe stravitelnou potravou jsou zbytky vojtěšky a jetele nebo některých druhů trav, oproti tomu nejhůře stravitelnou potravou jsou jehlice jehličnanů.

Geofágní druhy žížal – vyhledávají místa s vyšším obsahem organické hmoty (rhizosféra) a živí se pohlčováním velkého množství půdy, v níž tráví obsažené organické zbytky a mikroflóru. Rozbory zaživačského traktu těchto žížal ukázaly, že stejné druhy se můžou živit různou potravou na různých lokalitách (Pižl, 2002).

Půdní vlhkost

Půdní vlhkost je důležitá zejména z hlediska prevence proti vyschnutí. Žížaly sice mají k dispozici různé fyziologické mechanismy regulující ztrátu vody, ty jsou relativně málo výkonné. Naproti tomu tolerance žížal ke ztrátě vody je dosti značná. Optimální vlhkostní podmínky představují 40 – 60 % maximální vodní kapacity půdy. Pro žížaly žijící v Evropě je limitující pokles půdní vlhkosti na cca 20% (Pižl, 2002). U žížal můžeme také pozorovat různé ekologické adaptace k poklesu vlhkosti. Patří mezi ně přechod do klidového stádia (Graefe, 1993), migrace na vlhčí místa a modifikace životního cyklu, např. kokonizace (jedinec přečkává suché období pouze ve stádiu kokonu) (Pižl, 2002).

K nadbytku vody v rizosféře jsou žížaly dobře přizpůsobeny a jen několik střeoevropských druhů preferuje velmi vlhké půdy (např. *Eiseniella tetraedra*) (Luthart et al., 2006). Některé žížaly jsou dokonce schopny přežít nebo se i pářit v chladné a dostatečně okysličené vodě i několik měsíců. Ovšem to, jak dlouho budou schopné takto přežít, závisí na teplotě, obsahu kyslíku a UV záření (Pižl, 2002).

Pokud je půda pouze krátkodobě zaplavená (< 10 dnů) nedochází k výraznému snížení abundance (Schütz et al., 2008), rozhodujícím faktorem je však obsah kyslíku v půdě (Losos a kol., 1984).

Teplota

Pro většinu našich žížal je optimální rozpětí teploty 10 – 15 °C. Přičemž nejvyšší teplotní limit se pohybuje v rozsahu 24 – 29 °C a nejnižší limit v rozsahu 1 – 1,6°C. Epigeické druhy mohou snášet i teploty vyšší a to 15 – 20 °C. Samozřejmě u teploty hraje velkou roli zeměpisná poloha. Žížaly mají schopnost ochlazovat se evaporací vody z tělního povrchu. Tato schopnost je však možná pouze tehdy, nalézají-li se žížala ve vlhkém prostředí, kde nemůže dojít k jejímu vyschnutí (Pižl, 2002).

Půdní reakce

Pro většinu druhů je optimální pH v rozmezí 6 – 7, i když mnoho druhů je k pH půdy velmi tolerantní. Pižl (2002) dělí podle tolerance k nízkým hodnotám půdní reakce žížaly na acidotolerantní (tolerující pH 3,7 – 4,7), ubikvisty (tolerující pH 4,7 - >7), acidointolerantní (nevyskytující se v půdách s nízkým pH).

Textura půdy

Půdní textura je další z důležitých faktorů pro život žížal (Guild, 1948). Žížaly preferují lehčí hlinité až hlinitopísčité půdy (Pižl, 2002; Hendrix et al., 1992). Nejvíce jich ale najdeme v půdách humózních. Většinou se jedná o nezamokřené, lehčí, na humus bohaté hlinité až jílovité půdy (Pommeresche a kol., 2010). Ovšem pokud je půda silně jílovitá, nevytváří příliš vhodné životní podmínky pro žížaly zejména z důvodu výskytu anaerobních podmínek po deštích a záplavách (Edwards and Bohlen, 1996). Velké množství žížal nenajdeme ani v půdách šterkových nebo v rozvolněných písčitých půdách z důvodu rizika adheze a následného vyschnutí (Hendrix, 1992; Pižl, 2002).

K méně významným faktorům prostředí můžeme zařadit také světlo. Většina žížal je fotofóbních a světlu se vyhýbá. Organismus žížal není přizpůsoben škodlivým účinkům ultrafialového záření a všechna vývojová stádia zůstávají v půdě. Na povrch půdy vystupují jen výjimečně po intenzivních deštích, kdy trpí nedostatkem vzduchu (Guild, 1948). UV záření může způsobit i smrt žížaly, nejvíce citlivé jsou druhy žijící pod povrchem půdy, které nemají ochranné pigmenty (Pommeresche a kol., 2010).

3.1.3. Ekologie

3.1.3.1. Diverzita žížal v různých biotopech ČR

Diverzita neboli ekologická rozmanitost. O ekologické rozmanitosti lze uvažovat jako o: alfa-, beta-, a gama-diverzitě.

Alfa-diverzita – rozmanitost druhů na určitém stanovišti

Beta-diverzita – rychlost a rozsah změn rozmanitosti od jednoho stanoviště k druhému

Gama-diverzita – rozmanitost druhů určité zeměpisné oblasti v závislosti na alfa - a beta - diverzitě (Spellerberg, 1995).

Počet druhů tvořící komunitu je jednoduchou mírou rozmanitosti a základem pro posouzení nika-dělení a sdílení zdrojů mezi jednotlivými druhy (Lee, 1985).

Na základě vzájemných vztahů mezi morfologickými, demografickými, etologickými a environmentálními charakteristikami jsou žížaly z čeledi Lumbricidae rozdělovány do tří základních ekologických skupin na epigeické (r – strategové), endogeické (K – strategové) a anektické (přechodná forma mezi r a K – strategý) (Pižl, 2002). Mezi morfologické charakteristiky lze řadit velikost, pigmentaci nebo vývoj svaloviny, mezi demografické se řadí produkce kokonů nebo délka života, mezi behaviorální (etologické)

se řadí tvar chodeb, reakce na vysušení nebo mobilita a mezi environmentální se řadí typ potravy, predační tlaky nebo reakce na změnu prostředí (Lee, 1959, Bouché 1972, 1977).

- Epigeické žížaly -
1. Straminikolní druhy - žijící v opadu
 2. Subkortikolní druhy – žijící pod kůrou padlých dřevin
 3. Fleofilní druhy – žijící nad povrchem půdy
 4. Detritifágní druhy – žijící v hnoji a rostlinných zbytcích
 5. Koprofágní druhy – živící se exkrementy savců
 6. Amfibické druhy – žijící v zamokřené půdě a pod vodní hladinou
- Endogeické žížaly -
1. Epiendogeické druhy – žijící ve svrchních vrstvách minerální půdy
 2. Saprhorizofágní druhy – živící se kořeny rostlin
 3. Hypoendogeické druhy – vytvářející horizontální chodby v hlubších minerálních horizontech (Pižl, 2002).

U ostatních čeledí se žížaly člení na druhy hrabankové, které žijí ve svrchní, organické vrstvě půdy, dále na druhy půdní, obývající svrchní vrstvy minerální půdy a na druhy hlubinné, které se vyskytují ve spodních minerálních horizontech (Pižl, 2002).

V současnosti je v České republice potvrzen výskyt 62 druhů žížal. Některé z nich patří k vzácným nebo velmi vzácným a proto se vyskytují pouze lokálně. U nás se běžně vyskytují následující druhy:

Žížala obecná (*Lumbricus terrestris*) – jedná se o velkou a silnou žížalu (Pommeresche a kol., 2010). Délka těla je 90 – 300 mm, šířka 7 – 10 mm a počet segmentů 108 – 180. Tělo je za opaskem a na zádi výrazně zploštělé. Má hnědofialovou až červenofialovou barvu a zadní část těla je žlutavá. Svalovina je podélná peříčkovitého typu. Samčí pohlavní ústrojí se nachází v polovině 15. článku a samičí v 3/5 14. článku. Opasek je sedlovitý a pubertální valy mají tvar oválných proužků. Kokony žížaly obecné jsou oválné, neprůhledné, na povrchu drsné, zbarvené do hněda s nazelenalým nádechem (Pižl, 2002). Jako potravu vyhledává rostlinné zbytky, které sbírá na povrchu půdy. Vytváří rozsáhlý systém vertikálních chodeb zpevněných částí vlastních exkrementů. Tuto žížalu můžeme nalézt hlavně na loukách, pastvinách a v sadech (Pommeresche a kol., 2010). Může ale obývat i orné půdy a listnaté lesy (Pižl, 2002).

Žížala polní (*Aporrectodea caliginosa*) – tato žížala má délku těla 40 – 180 mm, šířku 3,5 – 7 mm a počet segmentů 120 – 246. Její zbarvení je šedobílé, ovšem někdy může být na přídí hnědočervené. Svalovina je podélná peříčkovitého typu. Samčí pohlavní vývody se nachází na 15. článku a samičí v 1/2 14. článku. Opasek je sedlovitý a pubertální valy jsou brýlového tvaru (Pižl, 2002). Potravou žížaly polní jsou drobné částičky rozložených rostlinných zbytků obsažených v půdě. Vytváří horizontálně orientované chodby. Většinu svého života tráví v horní vrstvě půdy v hloubce asi 25 cm. Na povrch půdy vylézá jen výjimečně (Pommeresche a kol., 2010). Nejčastěji se vyskytuje na polích, kde vyhledává neutrální půdy. Hojně se vyskytuje i ve vlhčích jílovitých a hlinitých půdách, na loukách, v mokřadech a v listnatých lesích (Pižl, 2002). V polích může její zastoupení dosahovat od 50 do 100% (Pommeresche a kol., 2010).

Žížala růžová (*Aporrectodea rosea*) – malá žížala o délce těla 25 – 150 mm, šířce 2 – 6 mm a počtem segmentů 120 – 165. Zbarvení je růžové s růžovo-oranžovým opaskem. Svalovina podélná peříčkovitého typu. Samčí pohlavní orgány se nacházejí v polovině 15. článku a samičí v 1/2 14. článku. Sedlovitý typ opasku s válečkovitými, často do oblouku vychlípenými pubertálními valy. Tato žížala vytváří hladké a lesklé kokony, které jsou světle žluté s tmavším zbarvením na pólech. Často vytváří horizontální chodbičky a velice pozitivně ovlivňuje fyzikální a chemické parametry půdy (Pižl, 1992). Druh obývající listnaté i smíšené lesy, lužní lesy, louky a pole (Pižl, 2002). Polní společenstva obývá tato žížala z 10 – 50 % (Pommeresche a kol., 2010).

Žížala červená (*Lumbricus rubellus*) – délka těla této žížaly se pohybuje v rozmezí 60 – 150 mm, šířka 4 – 6 mm a počet segmentů je 81 – 154. Tělo má za opaskem zploštělé a je zbarveno do červenofialové barvy. Svalovina je podélná peříčkovitého typu. Samčí pohlavní orgány jsou malé a nachází se v polovině 15. článku a samičí se nachází v 1/2 14. článku. Žížala červená má sedlovitý opasek a pubertální valy ve formě proužků. Kokony této žížaly jsou oválné, neprůhledné, špinavě olivově hnědé, s matným povrchem (Pižl, 2002). Nejčastější potravou žížaly červené jsou odumřelé rostlinné zbytky či trus býložravců, ale také drobné organické částice v půdě. Vytváří mělké chodbičky, ve tvaru písmene U (Pommeresche a kol., 2010). Vyskytuje se nejčastěji v opadu a ve svrchních vrstvách minerálních půd. Často jí lze najít i pod kameny, padlými větvemi či kmeny stromů, ale i pod exkrementy skotu na pastvinách (Pižl, 2002). V polních společenstvech je zastoupena z 5 – 10 % (Pommeresche a kol., 2010).

Žížala dlouhá (*Aporrectodea longa*) – jedná se o žížalu, která má délku těla v rozmezí 90 – 180 mm, šířku 4,5 – 9 mm a počet segmentů 146 – 220. Tělo je zbarveno šedočerně až hnědočerně a v zadní části je zploštělé. Svalovina je podélná peříčkovitého typu. Samčí pohlavní orgány ústí v 1/2 15. článku a samičí dobře viditelné pohlavní orgány ústí v 1/2 14. článku. Opasek je sedlovitý a pubertální valy válcovité. Kokony mají hladký povrch a jsou světle žluté s tmavším zbarvením na pólech (Pižl, 2002). Potravou jí jsou organické zbytky na povrchu půdy, ale může pohlcovat a trávit i drobné rostlinné částičky obsažené v minerálních vrstvách půdy. Žížala dlouhá si buduje hluboké chodbičky, převážně vertikálně orientované (Pommeresche a kol., 2010). Vyskytuje se v orných půdách, lučních ekosystémech, listnatých lesích, v mokřadech a preferuje vápnité půdy (Pižl, 2002).

Žížala hnojní (*Eisenia fetida*) – délka těla této žížaly je od 50 – 150 mm, šířka 2 – 5 mm a počet segmentů 80 – 120. V zadní části je tělo zploštělé. Zbarvení je tzv. tygrovitě nebo zebrovitě, což znamená, že uprostřed každého článku je výrazný příčný růžovofialový pruh. Spodní strana těla je žlutavá a opasek může být oranžový či šedý. Svalovina podélná peříčkovitého typu. Samčí pohlavní orgány lze nalézt v polovině 15. článku, ale někdy mohou mírně přecházet na sousední články. Samicí pohlavní orgány jsou dobře viditelné v 1/2 14. článku. Žížala hnojní má sedlovitý opasek a oválné pubertální valy. Kokony této žížaly jsou zelenožluté, neprůhledné, hladké a kulaté až mírně protažené. Přírodním biotopem pro tuto žížalu jsou silně zamokřené půdy v listnatých i jehličnatých lesích (Pižl, 2002), ale i břehy potoků nebo prameniště. Potravou jí je velké množství organických zbytků. Pro své rychlé rozmnožování a růst je často využívána pro produkci biomasy, vermikompostu či hnojiv (Pommeresche a kol., 2010).

3.1.3.2. Populace a společenstva

Hojnost žížalovitých v severním mírném pásu dosahuje hodnot 30 – 400 jedinců/m² a biomasa 2 – 50 g/m². Evropské druhy žížal mohou na pastvinách a v sadech dosáhnout hojnosti až 2000 jedinců/m² a biomasy až 350 g/m², a to jak v přirozených, tak i v člověkem vytvořených či ovlivněných ekosystémech (Pižl, 2002).

U populací či společenstev žížal je rozdílná věková struktura. Liší se zejména v závislosti na druhu nebo druhovém složení, typu ekosystému a podmínkách prostředí. Mortalita nejmladších juvenilních stádií je velmi vysoká (viz Tab. 1).

Tab. 1. – Úmrtnost u *Lumbricus terrestris*:

VĚK JEDINCE	MORTALITA [%]
Do 120 dnů	20
Do 400 dnů	40
Do 600 – 800 dnů	50 - 60

(Zdroj: Pižl, 2002)

V Evropě kolísají počty druhů ve společenstvech žížal od 2 do 16. Nejvíce chudá společenstva lze nalézt v jehličnatých lesích, rašeliništích a v orných půdách. Naopak bohatá společenstva se nacházejí v lužních lesích, eutrofních prameništích a na zachovalých loukách (Pižl, 2002).

V České republice se na většině polí vyskytují druhy jako *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea rosea* a *Lumbricus rubellus*. Na loukách a v sadech lze najít druhy stejné jako na polích, ale také se zde vyskytují *Dendrobaena octaedra* a *Lumbricus terrestris*. Ve smrkových porostech se nalézají asociace druhů *Dendrobaena octaedra*, *Lumbricus rubellus* a *Dendrodrilus rubidus* (Pižl, 2002).

Za jeden z klíčových faktorů, který může omezovat populace žížal v mnoha ekosystémech je obsah dusíku (Hendrix et al., 1992). Také poměr C:N má významný vliv na osídlení stanovišť žížalami (Wittich, 1963; Schauermaun, 1985, 1990; Geissen et al., 1997). Spolu se zvyšujícím se poměrem C:N roste i podíl mikrobiální biomasy, čímž je pozitivně ovlivněna početnost žížal (Lee, 1985).

3.1.3.3. Predátoři

Žížaly jsou významným zdrojem potravy pro mnoho živočichů (Pižl, 2002). Výskyt, abundanci a reprodukci žížal významně ovlivňují přirození nepřátelé (Granval and Aliaga, 1988). Hlavními predátory žížal jsou zejména obratlovci (obojživelníci, plazy, ptáci a savci), ale také řada bezobratlých. Z bezobratlých jsou to kromě hmyzu (mravenci, krtonožky) i suchozemské ploštěnky, měkkýši, pijavky a stonožky. Významný vliv predace na populace žížal byl studován především u ptáků a savců (Pižl, 2002; Kula a Švarc, 2011).

3.1.3.4. Parazité

Žížalovití mohou být hostiteli různých druhů parazitů. Mohou být i přechodnými hostiteli pro hlístice čeledi Rhabditidae, kteří žijí v nefridiích a pohlavních vývodech.

Dále mohou být mezihostiteli pro prvoky (*Histomonas*), tasemnice (*Taenia cuneata*) a hlístovky (*Capillaria*) a také mohou být konečnými hostiteli pro prvoky (*Monocystidae*), hlístice (*Porrocaecum*), roztoče (*Uropoda agitans*) a řadu larev dvoukřídlých (např. rod *Onesia*) (Pižl, 2002).

3.2. Žížaly a půda

3.2.1. Prospěšnost žížal pro půdu

„Půda je místem s obrovskou rozmanitostí organismů. Půdní organismy disponují nepřehlednou paletou tvarů, velikostí a životních strategií; od bakterií velkých tisícinu milimetru až po žížaly dlouhé i desítky centimetrů“ (Frouz, 2010).

V současné době jsou žížaly označovány jako „ekosystémoví inženýři“, a to zejména z důvodu své aktivity v prostředí. Touto aktivitou mohou ovlivňovat různé fyzikální vlastnosti půdy (viz. Tab. 2) (Pižl, 2002).

Pommeresche a kol. (2010) uvádí, že v České republice na jednom metru čtverečním zemědělsky obdělávané půdy lze nalézt až 300 jedinců žížal, což představuje tři miliony žížal na hektar. Hmotnost žížal přepočtená na biomasu v tomto případě představuje 50 – 100 g/m², což je 500 – 1000 kg/ha.

Na jednom hektaru může trávicím ústrojím žížal projít až 250 t půdy za rok. Podílejí se také na rozkladu rostlinných zbytků a stájového hnoje čímž zpřístupňují živiny pro rostliny a ostatní půdní organismy. V trávicím traktu žížal dochází k promíchávání organické a anorganické hmoty, což napomáhá k tomu, aby některé živiny byly dostupnější pro další organismy a jiné živiny byly vázány do stabilnějších humusových forem ve výkalech žížal (Pommeresche a kol., 2010).

Půda je ovlivňována především exkrementy žížal, ve kterých jsou minerální částice důkladně promíchány s rozloženými organickými zbytky a mikroflórou (Pižl, 2002) a jsou důležité jako stavební materiál pro půdní agregáty. Tato vlastnost přispívá hlavně k dobré půdní struktuře a pak následně k dostatečnému obsahu vody, vzduchu a živin v půdě (Pommeresche a kol., 2010). Každoročně je na půdním povrchu ukládáno 40 – 50 tun výkalů na hektar. Jsou známy i vyšší hodnoty, kterých lze dosáhnout jen v příznivých klimatických podmínkách (až 800 t/ha za rok). Také tvorba chodeb významně ovlivňuje půdu, dochází k provzdušňování, ke zlepšení fyzikálních vlastností (Stockdill and Cosens, 1967) a k vytváření vhodných podmínek pro růst kořenů a biologickou aktivitu organismů

(Pommeresche a kol., 2010). Důležitá je zejména tvorba makropórů o velikosti 1 – 10 mm, které ovlivňují infiltraci vody (Zachmann et al., 1987; Shipitalo et al., 2000)

Tab. 2. Vybrané fyzikální prameny půd ovlivněných žížalami (podle Stockdill and Cosens, 1967).

	PŮDA	
	Bez žížal	S žížalami
Vodní kapacita (%)	41	52
Objemová hmotnost (g.ml ⁻¹)	0,68	0,86
Dostupná vlhkost (mm)	18	31
Infiltrabilita (mm.ha ⁻¹)	14	26

(Zdroj: Pižl, 2002)

Lee (1985) uvádí, že v důsledku žížalí činnosti může dojít ke změnám struktury půdy, jako např. dochází ke zvýšení pórovitosti, snížení sypané hmotnosti, změnám ve velikosti pórů a zvýšení stability vodních půdních agregátů. Vzduch a voda se mohou více a volně pohybovat v chodbách žížal a tím může být usnadněna prostupnost kořenů rostlin.

Populace žížal mají vliv i na půdní erozi (viz. Tab. 3). Vysoký podíl srážkové vody je na základě těchto parametrů přiváděn přímo ke kořenům rostlin a následně se zvyšuje odolnost půdy k erozi. Ovšem pokud je vlhké období a přicházejí časté přivalové deště, mohou žížaly erozi půdy i zvyšovat, vlivem odplavení čerstvých povrchových exkrementů (Pižl, 2002).

Tab. 3. Vztah mezi populacemi žížal a půdní erozí (podle Hopp, 1973).

POPULACE ŽÍŽAL JEDINCŮ.M ²	ROČNÍ POVRCHOVÁ EROZE T.HA ⁻¹	ROČNÍ ODTOK MM
0	75	45
23	13	10
76	0	7
200	0	5

(Zdroj: Pižl, 2002)

Dalším významným aspektem pro kvalitu půd je kooperace mezi mikroorganismy a žížalami, která zajišťuje výměnu živin mezi půdou a rostlinami. Téměř polovina půdních mikroorganismů poutajících vzdušný dusík se nachází ve stěnách žížalích

chodeb. Mikroorganismy se v chodbách vyskytují díky vyššímu podílu vody, vzduchu, obsahu dusíkatých látek z výkalů, cukrů a dalších látek pocházejících ze slizu, které využívají jako zdroj energie (Pommeresche a kol., 2010).

„Pokud vytváříme dobré podmínky pro žížaly, vytváříme také dobré podmínky pro pěstované rostliny“ (Pommeresche a kol., 2010).

Chodby žížal jsou zásadním faktorem pro tvorbu kořenového systému. Pižl (2002) uvádí, že v utužených jílovitých půdách rostlo v chodbách žížal 40 – 60 % všech kořenů. Pokud se v půdách vyskytují velké populace žížal, vytvářejí rostliny mnohem bohatší kořenový systém a k rostlinám se dostane mnohem větší množství vody a živin. Rostliny jsou poté mnohem odolnější ke stresovým situacím a lépe odolávají škůdcům.

Žížaly mohou také napomáhat i při vývoji a vzcházení mladých rostlin, kdy zamezují vytváření krust na povrchu půdy. Při vysoké aktivitě žížal dochází také k redukci počtu fytoparazitických hád'átek, přezimujících housenek škůdců a zimních forem fytopatogenních mikromycetů (Pižl, 2002).

3.3. Metody sběru žížal a jejich konzervace

Žížaly jsou standardní laboratorní organismy pro ekotoxikologické testování, je možné je snadno kultivovat a jsou velmi citlivé na přírodní a syntetické toxiny (Kula a Larink, 1997). Společenstva žížal je možné studovat řadou metod, kde především záleží na účelu prováděného výzkumu (Pižl, 2002).

Individuální sběr je prováděn v případě, jestliže je potřeba získat pouze kvalitativní údaje o fauně žížal žijících na určitém území nebo je sběr prováděn za účelem laboratorních experimentů nebo pro chovy či sbírky. Žížaly jsou vyhledávány v co nejširší škále mikroprostředí na daném stanovišti - v půdě, opadance, pod padlými kmeny a větvemi stromů, pod kůrou odumřelých dřevin, pod mechovými nárosty, v bahně či na dně tekoucích i stojatých vod (Pižl, 2002).

Kvantitativní sběr dat je prováděn za účelem získání informací o velikosti a struktuře populací či společenstev žížal nebo jejich aktivitě. Tento sběr lze rozdělit do tří základních metod. Na metody mechanické, etologické a nepřímé (Pižl, 2002).

3.3.1. Mechanická metoda

Tato metoda využívá rozdílů ve fyzikálních vlastnostech těla žížal a půdy, popřípadě jiného prostředí, ve kterém žížaly žijí. Zde se dají rozlišit dvě mechanické metody (Pižl, 2002).

Ruční rozbor

Jedná se o rozbor půdy či jiného materiálu. Tento rozbor probíhá v laboratoři a žížaly jsou ze vzorku vybírány. Výhodou této metody je získání kokonů a žížal v neaktivním klidovém stádiu. Oproti tomu nevýhodou je velká pracnost, časová náročnost a možnost přehlédnutí juvenilních žížal (Pižl, 2002). Ruční třídění je účinná metoda pro endogeické žížaly, které si vytváří převážně horizontální chodby (Springett, 1981; Callaham and Hendrix, 1997). Může být účinná, pokud se provádí pouze pro malé velikosti vzorků. Fyzicky ničí půdu, a není tedy přijatelná na mnoha místech s dlouhodobou integritou (Gunn, 1992).

Prosívání za mokra

Tato metoda spočívá v promývání vzorku přes sadu sít s postupně se snižující velikostí ok. Výhodou prosívání za mokra je získání kokonů, klidových stádií a juvenilních jedinců. Nevýhodou je opět časová náročnost, pracnost a riziko mechanického poškození žížal (Pižl, 2002).

3.3.2. Etologická metoda

Metoda využívá reakce žížal na podráždění nebo na zhoršení podmínek prostředí. Patří sem formalínové extrakce, extrakce elektrickým proudem, tepelná extrakce, extrakce roztokem hořčice, extrakce saponáty a extrakce manganistanem draselným (Pižl, 2002).

Formalínová extrakce

Jedná se o aplikaci slabého roztoku formaldehydu na vymezenou oblast půdního povrchu (Pižl, 2002). Vzhledem ke své vysoké účinnosti, se stal standardem pro sběr žížal (Baker, 1985; Callaham a Hendrix, 1997). Používá se roztok o koncentraci 0,2 – 0,5 %. Na metr čtvereční plochy je potřeba přibližně 5 – 20 litrů roztoku, v závislosti na typu, textuře, teplotě a vlhkosti půdy. Výhodou této metody je malá pracnost. Nevýhodou je

náročnost na transport velkých objemů extrakčního roztoku, různá efektivita pro různé druhy a věková stádia žížal, závislost na klimatických a půdních podmínkách, a možnost extrakce pouze aktivních žížal (Pižl, 2002). Formaldehyd je považován za karcinogen (IARC, 2004) a má průkazné negativní dopady na rostliny (Raw, 1959, Gunn, 1992; Eichinger et al., 2007) a půdní mikroorganismy (Eichinger et al., 2007), proto jeho používání vyžaduje velkou pozornost. Formaldehyd se nesmí použít v ekologicky obhospodařovaných polích, chráněných územích nebo při riziku kontaminace podzemních vod (Zhang and Talalay, 1994).

Extrakce elektrickým proudem

Tato extrakce je pro vědecké účely prováděna pomocí tzv. oktetové metody. Poté, co je vymezena kruhová plocha, je po jejím obvodu do půdy vpraveno osm elektrod vytvářejících v půdě relativně homogenní elektrické pole (Pižl, 2002). Ve sloupci půdy vzniká napětí, které pravděpodobně žížaly dráždí a žene je ven z jejich chodeb na povrch (Eichinger et al., 2007). Výhodou oktetové metody je malé narušení prostředí, nízká pracnost a časová náročnost. Nicméně tato metoda není často používána, protože zařízení je poměrně drahé. (Eichinger et al., 2007). Další nevýhodou je závislost efektivity na druhu a věkovém stádiu žížal, závislost na klimatických a půdních podmínkách, nelze také získat kokony a klidová stádia (Pižl, 2002).

Tepelná extrakce žížal

Jedná se o málo pracnou metodu, která se využívá hlavně pro získání půdní mezofauny a roupic. Tato metoda je založena na použití extrakčních aparátů, které způsobují postupné zvyšování teploty a vysychání půdního vzorku umístěného na sítu v uzavřeném prostoru přístroje. Pod sítí je umístěna nádoba s vodou či fixačním roztokem, do které jsou zachytávány unikající živočichové. Pokud je zajištěna dostatečná vlhkost v extrakčních jednotkách, je možné tuto metodu použít i na žížaly. Lze použít např. Kempsonův aparát. Výhodou je získání malých juvenilních jedinců, nevýhodou je extrakce pouze aktivně žijících žížal vyskytujících se ve svrchních vrstvách půdy, narušení stanoviště a finanční náročnost (Pižl, 2002).

3.3.3. Nepřímé metody

Využívány především k odhadu velikosti populací žížal.

Metoda „mark and recapture“ – vybraní jedinci žížal se označí potravinářským barvivem či radioaktivními izotopy a jsou vypuštěni, pak následuje odchyt všech žížal (Pižl, 2002).

Někdy lze využít i kvantifikaci povrchových exkrementů či chodeb, ale vzájemný vztah mezi jejich počty a počty jedinců žížal byl však prokázán jen v případě několika druhů (Pižl, 2002).

Konzervace

Nejlépe se dokladový materiál konzervuje v 7 – 11 % roztoku formaldehydu. Ovšem při nižších koncentracích může docházet k maceraci. Lze použít také 70 % etanol, u kterého ale může docházet k odbarvení, ztvrdnutí a smrštění žížal v důsledku odvodnění. Pokud je materiál použit pro dlouhodobé sbírky, může být odpařování roztoku redukováno přidáním malého množství glycerolu (Pižl, 2002).

3.4. Metody hodnocení

Index druhové pestrosti

Neboli druhová bohatost se dá vyjádřit jako počet druhů ve vzorku, na stanovišti nebo nejlépe na jednotce plochy. Některé jednoduché indexy druhové bohatosti jsou založeny na celkovém počtu druhů a celkovém počtu jedinců ve vzorku či na stanovišti (Spellerberg, 1995).

Patří sem např.: Manhinickův index $D = S/\sqrt{N}$

 Margalefův index $D = S-1/\log N$

D – index

S – počet druhů

N – celkový počet jedinců

Tyto indexy mohou vyjádřit i velikost populace. Ovšem někdy mohou být zavádějící v tom, že neberou v potaz početnost druhů (Spellerberg, 1995).

Index druhové diverzity

Může být založen buď na počtu přítomných druhů bez jakéhokoli vztahu k jejich početnosti, nebo na počtu druhů a jejich početnosti na stanovišti nebo ve společnosti. Z indexu diverzity běžně vycházejí i fytoecologické studie a dlouhodobé monitorování, kde je na místo početnosti druhů použito jejich procentuální pokryvnosti (Spellerberg, 1995).

Indexy diverzity:

$$\text{Simpsonův index} \quad D = 1/\sum P_i^2$$

D – index diverzity

P_i – relativní početnost i-tého druhu (Spellerberg, 1995).

$$\text{Shannon-Wienerův index} \quad D = -\sum P_i (\log_c P_i)$$

D – index diverzity

P_i – relativní početnost i-tého druhu ve vzorku (Spellerberg, 1995).

4. Materiál a metody

4.1. Charakteristika lokality

Výzkum byl prováděn v okolí vesnice Stříhov, která je součástí vesnice Sloveč a nachází se v okrese Nymburk ve Středočeském kraji. Leží asi tři celé čtyři desetiny kilometru na východ od obce Sloveč. Nad vesnicí leží malá louka označovaná jako „Vráťova louka“. Tato louka je pravidelně každé léto sečena pro soukromé účely místního obyvatele. Intenzita seči závisí na klimatických podmínkách. Hned vedle louky se nachází les. Na druhém konci vesnice je rozlehlé zemědělsky využívané pole patřící Zemědělské společnosti Sloveč a.s. se sídlem v Městci Králové. Na všech těchto uvedených lokalitách proběhly odběry pro zjištění diverzity žížal.

Oblast se nachází v teplé klimatické oblasti. Prochází zde významné migrační území a dálkový migrační koridor. Lesy jsou zde převážně listnatého charakteru, ovšem najdou se zde v menším měřítku i lesy smíšené a jehličnaté. Potenciální přirozenou vegetací jsou zde černýšové dubohabřiny. Na celém území převažují kambizemě, ale vyskytují se zde i černozemě. Půdní typ kambizem se vyskytuje na všech lokalitách, kde byl prováděn výzkum (www.geoportal.gov.cz).

Pole se nachází v průměrné nadmořské výšce 248 m.n.m. a jeho výměra je 12,83 hektarů. Dostupná vodní kapacita je 0,098 cm³ vody na cm³ půdy. V roce 2013 zde byl proveden rozbor obsahu živin. Bylo zjištěno, že se jedná o půdu s neutrálním pH, dobrým obsahem fosforu a hořčíku, vysokým obsahem vápníku a velmi vysokým obsahem draslíku.

Zrnitostní složení půdy představuje písek (58%), jíl (28%) a prach (14%). Od roku 2008 do roku 2013 se zde vystřídaly tyto plodiny: ozimí ječmen, ozimá pšenice, bob na zrno, ozimí ječmen a kukuřice.

Nežli proběhlo samotné setí plodin, byla půda vždy podmíněna (radličkové a diskové nářadí), prokypřena (radličkové nářadí), ošetřena herbicidy proti různým plevelům a vyhnojena nejčastěji dusíkatými minerálními hnojivy. Ovšem v posledních dvou letech bylo použito i organických hnojiv, a to melasové výpalky a v posledním roce hnůj.

V průběhu růstu byly plodiny chráněny různými herbicidy, insekticidy a fungicidy. Dále byly používány i regulátory růstu a vývoje nebo desikant v případě Bobu na zrno. Hnojeny byly především minerálními dusíkatými jednosložkovými nebo vícesložkovými hnojivy.

Rostliny byly chráněny fungicidy proti padlí, rzi a ramulariové skvrnitosti ječmene, insekticidy proti mšici, krytonoscům, žlabatkám a kohoutkům a herbicidy proti dvouděložným plevelům, chundelce metlici, vytrvalým plevelům, svízeli a pýru.

Ve čtvrtém roce v zimě bohužel došlo k silnému poškození mrazem, kdy vymrzlo 50 – 80 % rostlin. Porost byl proto doséván ječmenem jarním.

Veškeré přípravky aplikované na pozemek od roku 2008 – 2013 jsou přijatelné pro půdní organismy nebo nevyžadovaly klasifikaci (Zemědělská společnost Sloveč a.s., www.srs.cz)

4.2. Postup odebrání vzorků

Pro stanovení diverzity žížal byla použita kombinace mechanické a etologické metody. Na každé z lokalit byly vymezeny vyšetřovací čtverce v blízkosti odběrových míst pro půdní mesofaunu, a to tak, že na jednom stanovišti byly vyšetřovány dva čtverce. Každý ze čtverců zaujímal plochu 0,5 m² a byly od sebe vzdáleny 5 – 10 metrů.

Po přípravě pomůcek a vymezení čtverce na vhodném místě následoval samotný sběr. Nejprve bylo zapotřebí očistit povrch půdy od vegetace a jiných předmětů jako jsou kameny nebo větve, aby bylo možné důkladně prohlédnout povrch půdy. Pokud byl povrch čištěn od hrabanky, listí nebo mechu bylo nutné materiál důkladně prohledat, zda se v něm nenacházejí

žížaly. Po důkladném prohledání povrchu a odchyzení žížal mohla následovat extrakce mletým hořčičným semínkem (*Sinapis alba*). Na jednom čtverci byly prováděny tři aplikace. První dvě aplikace (2x 10 litrů) roztoky byly s koncentrací 60 gramů hořčičného semínka na 20 litrů vody, třetí (1x 10 litrů) s koncentrací 120 gramů hořčičného semínka na 20 litrů vody. Aplikace probíhala kropením povrchu půdy v intervalech 10 minut a mezi těmito intervaly byl prováděn sběr. Po poslední aplikaci byl odebrán blok půdy v centru čtverce k ručnímu vyšetření. Blok půdy měl rozměry 31,5 × 31,5 cm s hloubkou 20 cm.

Veškeré žížaly byly sbírány do předem označených kelímků se 70 % etanolem. V laboratoři byly poté přendány do 5 % formaldehydu, aby nedošlo ke ztrátě barvy, ztvrdnutí nebo smrštění jedince. Ve formaldehydu byly vzorky uloženy po dobu nejméně dvou týdnů, později byly převedeny zpět do alkoholu. Při determinaci se tak omezí styk pracovníka s formaldehydem, který je v seznamu potenciálně karcinogenních látek.

5. Výsledky

Uvedené tabulky znázorňují rozmanitost žížal na různých lokalitách, a to na louce, v lese a na poli (Tab. 4., 5., 6.). Je zde zachycena rozmanitost druhů, jejich početnost v lokalitě, početnost vývojových stádií a celková biomasa. Pro porovnání těchto lokalit jsou níže (Tab. 7.) uvedeny celkové výsledky všech uvedených parametrů. Veškeré výsledky jsou vyhodnocovány pomocí indexů diverzity (Tab. 8).

Tab. 4. Druhová početnost, biomasa a počet vývojových stádií na louce.

Druh	Počet jedinců celkem	Juvenilové	Adulti	Hmotnost celkem (g)
<i>Aporrectodea spec.</i>	19	19	0	0,326
<i>Aporrectodea rosea</i>	35	12	23	6,041
<i>Aporrectodea caliginosa</i>	4	3	1	0,73
<i>Aporrectodea longa</i>	1	0	1	0,63
<i>Octolasion lacteum</i>	2	0	2	0,65
<i>Lumbricus sp.</i>	242	242	0	16,285
<i>Lumbricus rubellus</i>	133	106	27	26,106
<i>Lumbricus castareus</i>	126	117	9	11,85
<i>Lumbricus terrestris</i>	6	5	1	4,19

Tab. 5. Druhá početnost, biomasa a počet vývojových stádií v lese.

Druh	Počet jedinců celkem	Juvenilové	Adulti	Hmotnost celkem (g)
<i>Dendrobaena octaedra</i>	23	6	17	2,93
<i>Dendrodrilus rubidus</i>	39	11	28	3,031
<i>Dendrobaena illyrica</i>	12	6	6	1,05
<i>Dendrobaena sp.</i>	4	4	0	0,013

Tab. 6. Druhá početnost, biomasa a počet vývojových stádií na poli.

Druh	Počet jedinců celkem	Juvenilové	Adulti	Hmotnost celkem (g)
<i>Aporectodea caliginosa</i>	21	15	6	3,84
<i>Aporectodea sp.</i>	3	3	0	0,1
<i>Allolobophora chlorotica</i>	7	2	5	1,25

Tab. 7. Porovnání výsledků různých lokalit (louka, les, pole)

Lokalita	Počet druhů	Počet jedinců celkem	Juvenilové celkem	Adulti celkem	Celková biomasa (g)
Louka	9	568	504	64	66,808
Les	4	78	27	51	7,024
Pole	3	31	20	11	5,19

Tab. 8. Výsledky indexů diverzity:

Index	Louka	Les	Pole
Menhinick $D = S/\sqrt{N}$	0,38	0,45	0,54
Margalef $D = S-1/\log N$	2,9	1,59	1,34
Simpson $D = 1/\sum P_i^2$	0,711	0,645	0,497
Shannon – Wiener $D = -\sum P_i (\log_{10} P_i)$	1,437	1,147	0,826

Indexy diverzity jsou nejvyšší pro louku, což poukazuje na největší druhovou rozmanitost na této lokalitě.

6. Diskuse

Jak již bylo uvedeno, první lokalitou, na které byl prováděn výzkum, byla louka, která se nachází v těsné blízkosti lesa. Na louce byla zjištěna největší rozmanitost druhů (9) s největším počtem jedinců (568). Zejména v nižších polohách a lužních stanovištích mají okraje lesa pozitivní vliv na populace žížal (Pižl and Zeithaml, 2005). Obecně lze konstatovat, že s přirozenými změnami ekosystémů směrem ke klimaxovému stádiu lesa postupně narůstá podíl epigeických druhů žížal a v průběhu těchto změn se hustota žížal zvyšuje až do fáze louky a částečně poklesne ve stádiu lesa (Pižl, 1992).

Druhou lokalitou byl listnatý les, kde byla zjištěna nižší rozmanitost druhů (4) i počet jedinců (78) nežli na louce. Hojnost a biomasa žížal dosahuje v přirozených i člověkem vytvořených či ovlivněných lesních ekosystémech severního mírného pásma hodnot 30 – 400 ks.m⁻² a 2 – 50 g.m⁻² (Pižl, 2002), v rámci tohoto rozpětí se lesní porosty vyznačují nižší hustotou i biomasou (Tajovský a Pižl, 2003).

Třetí lokalitou bylo pole. Druhy na této lokalitě byly nalezeny tři s počtem jedinců 31. Takto nízká druhová rozmanitost mohla být způsobena častým používáním chemických látek na ochranu rostlin nebo častou aplikací minerálních hnojiv. Používání pesticidů, hnojiv a jiných znečišťujících chemických látek má na rozmanitost druhů negativní vliv, jelikož některé druhy se vyznačují úzkou ekologickou tolerancí, a proto jsou často nahrazovány druhy se snadnější adaptací v narušených lokalitách (Pop and Pop, 2006). Je známo, že byl založen pokus, kdy byl více než 80 let sledován vliv různých minerálních hnojiv na půdní vlastnosti. Na celé ploše, kde byl trvalý travní porost, i po čtyřech letech nebylo nacházeno tolik žížal ve srovnání s pozemky, kde se dříve aplikoval kompostovaný kravský hnůj. Negativní vliv může mít i utužování nebo intenzivní obdělávání půdy, a to zejména v ničení chodeb, kokonů, vystavení žížal slunečnímu záření, suchu nebo predátorům. Ovšem kultivační stroje, které půdu neobracejí, ale pouze ji kypří, žížalám tolik neškodí (Pommersche a kol., 2010). Zásadní vliv na rozptyl žížal může mít také pasivní transport člověkem (Lee, 1985). Invaze žížal do nových stanovišť je tak více či méně náhodná a izolovanější místa se mohou vyznačovat jen malou druhovou bohatostí (Räty a Huhta, 2004). Tyto invaze ovšem mohou mít negativní vliv ve zvýšení mezidruhové konkurence (Curry, 1998) a spolu s vnitrodruhovou konkurencí mohou mít vliv na fungování půdních ekosystémů (Uvarov, 2009).

7. Závěr

Cílem této rešeršní práce bylo zhodnotit rozmanitost žížal na různých lokalitách, které jsou více či méně ovlivněny lidskou činností. Práce je zaměřena na ekosystém louky, lesa a zemědělsky obdělávané půdy v okolí obce Stříhov. První dvě uvedené lokality zatím nepodléhají výrazné lidské činnosti, a proto zde byla poměrně vysoká rozmanitost druhů, ale i jedinců (např. louka – 9 druhů a 568 jedinců). Každá z lokalit se vyznačuje různým zastoupením žížal. Na louce se nejhojněji vyskytovali juvenilní jedinci patřící do rodu *Lumbricus sp.* (242) a druh *Lumbricus rubellus* s celkovým počtem jedinců 133 a z toho 27 dospělci. V lesním ekosystému se nejvyšší početností vyznačuje druh *Dendrodrilus rubidus* (39 a z toho 28 dospělci). A zemědělsky obdělávaná půda je zastoupena druhem *Aporectodea caliginosa*, a to celkovým počtem 21 jedinců.

Zjištěné výsledky jsou úměrné k lidské činnosti a odpovídají i podmínkám daného prostředí.

8. Seznam literatury

- Baker, G. H. 1985. Formalin expulsion of earthworms (Lumbricidae) from irish peat soils. *Soil Biol. Biochem*, 17: 113–114.
- Bouché, M. B. 1972. *Lombriciens de France*. INRA Publ.72-2. INRA, Paris.
- Bouché, M. B. 1977. Stratégies lombriciennes. In: Lohm, U. and T. Persson (eds.). *Soil organisms as components of ecosystems*. *Ecological Bulletin (Stockholm)*, 25: 122 – 132.
- Briones, M. J. I., Morán, P., Posada, D. 2009. Are the sexual, somatic and genetic characters enough to solve nomenclatural problems in lumbricid taxonomy?. *Soil Biology and Biochemistry*, 41: 2257 – 2271.
- Callaham Jr., M. A., Hendrix, P. F. 1997. Relative abundance and seasonal activity of earthworms (Lumbricidae and Megascolecidae) as determined by hand-sorting and formalin extraction in forest soils on the southern Appalachian Piedmont. *Soil Biol. Biochem*, 29: 317–321.
- Curry, J. P. 1998. Factors affecting earthworm abundance in soils. In: Edwards, C. A., (ed.). *Earthworm Ecology*. St. Lucie Press, Boca Raton. p. 37 – 64.
- Edwards, C. A., Bohlen, P. J. 1996. *Biology and Ecology of Earthworms*, Chapman and Hall. London. p. 283.
- Eichinger, E., Bruckner, A., Stemmer, M. 2007. Earthworm expulsion by formalin has severe and lasting side effects on soil biota and plants. *Ecotoxicol. Environ. Saf*, 67: 260–266.
- Frouz, J. 2010. Půda – živý systém. *Vesmír* 89 (7). 490 – 492.
- Frouz, J., Poklopová, L. 2011. Darwin a žížaly. *Vesmír* 90 (1), 48 – 49.

Geissen, V., Illmann J., Brümmer G. W. 1997. Auswirkungen von Kalkungs-, Düngungs- und faunistischen Wiederbesiedlungsmassnahmen auf die Lumbricidenfauna von Waldböden. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, 27: 419 – 426.

Graefe, U. 1993. Die Gliederung von Zersetzergesellschaften für die standortsökologische Ansprache. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 47: 863 – 869.

Granval, P. H., Aliaga, R. 1988. Analyse critique des connaissances sur les prédateurs des lombriciens. *Gibier et Faune sauvage*, 5: 71 – 94.

Guild, W. J. 1948. Studies on the relationship between earthworms and soil fertility. III. The effect of soil type on the structure of earthworm populations. *Annals of Applied Biology*, 35: 181 – 192.

Gunn, A. 1992. The use of mustard to estimate earthworm populations. *Pedobiologia*, 36: 65–67.

Hendrix, P. F., Mueller, B. R., Bruce, R. R., Langdale, G. W., Parmelee, R. W. 1992. Abundance and distribution of earthworms in relation to land space factors on the Georgia Piedmont, U.S.A. *Soil Biology and Biochemistry*, 24: 1357 – 1361.

Hopp, H. 1973. What every gardener should know about earthworms. Garden Way Publ., Vermont.

IARC (International Agency for Research on Cancer). 2004. Formaldehyde. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans 88. [/http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol88/volume88.pdfS](http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol88/volume88.pdfS).

Kula, H., Larink, O. 1997. Development and standardisation of test methods for the prediction of sublethal effects of chemicals on earthworms. *Soil Biol. Biochem*, 29: 635–639.

Kula, E., Švarc, P. 2011. Žížaly (Lumbricidae) lesních ekosystémů narušených imisemi a ovlivněných rekompenzačním vápněním v Krušných horách. Mendelova univerzita v Brně, 99 s. ISBN: 978-80-7375-482-2.

Lee, K. E. 1959. The earthworm fauna of New Zealand. Wellington: Government Printer. 130 s.

Lee, K. E. 1985. Earthworms, their ecology and relationships with soils and land use. Academic Press, Sydney.

Losos, B., Maget J., Ryšavý J. 1984. Ekologie živočichů. SPN Praha.

Luthardt, V., Brauner, O., Dreger, F., Friedrich, S., Garbe, H., Hirsch, A. K., Kabus, T., Krüger, G., Mauersberger, H., Meisel, J., Schmidt, D., Täuscher, L., Vahrson, W. G., Witt, B., Zeidler, M. 2006. Methodenkatalog zum Monitoring – Programm der Ökosystemaren Umweltbeobachtung in den Biosphärenreservaten Brandenburgs. 4. akt. Ausgabe, unveröff., im Auftrag des Landesumweltamt Branderburg, FH – Eberswalde, Teil A 177 S. + Anhang; Teil B 134 S. + Anhang.

Pižl, V. 1992. Succession of earthworm populations in abandoned fields. *Soil Biology and Biochemistry*, 24: 1623 – 1628.

Pižl, V. 2002. Žížaly České republiky. Sborník přírodovědeckého klubu v Uherském Hradišti, 154 s.

Pižl, V. Co dělají žížaly v zimě? [online]. 6. prosince 2010. [cit. 2011-03-13]. Dostupné z <http://www.prakticky-zivot.cz>.

Pižl, V., Zeithaml, J. 2005. Earthworms in an arable field-forest ecotone. In: Tajovský, K., Schlaghamerský, J., Pižl, V. (eds.). *Contributions to Soil Zoology in Central Europe I*. ISB AS CR, České Budějovice, p. 113 – 117.

Pommeresche, R., Sissel, H., Loes, A.K. 2010. Žížaly a jejich význam pro zlepšování kvality půdy. Bioinstitut, Olomouc, 24 s. ISBN: 978-80-87371-02-2.

Pop, V. V., Pop, A. A. 2006. Lumbricid earthworm invasion in the Carpathian Mountains and some other sites in Romania. *Biological Invasions*, 8: 1219 – 1222.

Räty, M., Huhta, V. 2004. Earthworm communities in birch stands with different origin in central Finland. *Pedobiologia*, 48: 321 – 328.

Raw, F. 1959. Estimating earthworm populations by using formalin. *Nature*, London 184: 1661–1662.

Shipitalo, M. J., Dick, W. A., Edwards, W. M. 2000. Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. *Soil and Tillage Research*, 53: 167 – 183.

Schauermann, J. 1985. Zur Reaktion von Bodentieren nach Düngung von Hainsimsen – Buchenwäldern und Siebenstern – Fichtenforsten im Solling. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 40: 1159 – 1161.

Schauermann, J. 1990. Experimentelle Manipulation der Bodenfauna von Fichtenforstpflanzungen. *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B*, 17: 87 – 93.

Schütz, K., Nagel, P., Dill, A., Scheu, S. 2008. Structure and functioning of earthworm communities in woodland flooding systems used for drinking water production. *Agriculture, ecosystems and environment*, 39: 342 – 351.

Sims, R. W., Gerard, B. M. 1999. Earthworms. In: Bernes, R. S. K., Crothers, J. H. (eds.): *Synopses of the British fauna (New series)*. The Linnean Society of London and The Estuarine and Coastal Sciences Association by Field Studies Council Shrewsbury, 168 s.

Spellerberg, I. F. 1995. Monitorování ekologických změn. Český ústav ochrany přírody, Výzkumné a monitorovací pracoviště Brno. p. 187. ISBN: 80-901855-2-5.

- Springett, J. A. 1981. A new method for extracting earthworms from soil cores, with a comparison of four commonly used methods for estimating earthworm population. *Pedobiologia*, 21: 217–222.
- Stockdill S. N. J., Cossens G. G. 1967. The role of earthworms in pasture production and moisture conservation. *Proc. N. Z. Ekol. Soc*, 13: 68 – 83.
- Tomlin, A. D., Shipitalo, M. J., Edwards, W. M., Protz, R. 1995. Earthworms and their influence on soil structure and infiltration. Lewis Publisher, Boca Raton, FL, 159 – 183.
- Tajovský, K., Pižl, V. 2003. Soil macrofauna in mountain spruce forest of the Šumava Mts. as affected by selective tree cutting. In: Karas, J. (ed.), *Sborník Konference Vliv hospodářských zásahů a spontánní dynamiky porostů na stav lesních ekosystémů*. Kostelec nad Černými lesy, 20. – 21.11.2003, ČZU Praha, 9 pp.
- Uvarov, A. V. 2009. Inter – and intraspecific interactions in lumbricid earthworms: Their role for earthworm performance and ekosystém functioning. *Pedobiologia*, 53: 1 – 27.
- Vrba, V., Huleš, L. 2007. Humus – půda – rostlina (10) Způsoby aplikace kapalných humusových preparátů v polních podmínkách. Dostupné z <http://www.biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-10-zpusoby-aplikace-kapalnych-humusovych-preparatu-v-polnich-podminkach>, 11.9.2010.
- Wittich, W. 1963. Bedeutung einer leistungsfähigen Regenwurmfauna unter Nadelwald für Streuzersetzung. Humusbildung und allgemeine Bodendynamik. 60 s.
- Zachmann, J. E., Linden, D. R., Clapp, C. E. 1987. Macroporous infiltration and redistribution as affected by earthworms, tillage and residue. *Soil Science Societi of America Journal*, 51: 1580 – 1586.
- Zhang, Y., Talalay, P. 1994. Anticarcinogenic activities of organic isothiocyanates: chemistry and mechanisms. *Cancer Res*, 54: 1976–1981.

Internetové a jiné zdroje:

www.geoportal.gov.cz

www.srs.cz

Zemědělská společnost Sloveč a.s.