

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zoologie a rybářství



**Půdní fauna a její ovlivnění různými formami
zemědělského managementu**

Bakalářská práce

Autor práce: Michaela Mydlochová

Vedoucí práce: Ing. Jakub Hlava, Ph.D.

© 2016 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci Půdní fauna a její ovlivnění různými formami zemědělského managementu 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

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu bakalářské práce Ing. Jakobovi Hlavovi, Ph.D., za odbornou pomoc, čas a připomínky k této práci.

Půdní fauna a její ovlivnění různými formami zemědělského managementu

Souhrn

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou Půdní fauny a jejího ovlivnění různými formami zemědělského managementu. Cíl spočívá v poskytnutí podrobného a uceleného pohledu popisujícího půdní faunu ve vztahu k půdnímu prostředí. Objasňuje legislativu týkající se ochrany půdy a života v ní neodmyslitelně přítomného. Následně shrnuje poznatky o vlivu různých forem zemědělského hospodaření na půdní faunu.

První část práce se zabývá popisem vzniku, vývoje a významu půdy, na jejíž utváření a formování mají půdní organismy zásadní vliv. Dále přibližuje půdní život, jeho podmínky, vlastnosti, adaptace, interakce a především funkce. V práci je rozdělen na kategorie fytoedafonu a zooedafonu, zahrnujícího půdní živočichy od mikroskopických velikostí až po ty okem dobře viditelné. Zooedafon je v práci detailně zpracován a členěn dle velikosti na mikrofaunu, mesofaunu, makrofaunu a megafaunu. Vybrané skupiny půdních živočichů jsou popisovány především z hlediska morfologie, ekologie a funkce v půdě. Poslední kapitola této části je věnována legislativě na ochranu půdy.

Druhá část práce je vyhrazena rozdílně prováděnému managementu na zemědělsky obdělávaných plochách, především na polích a trvalých travních porostech. Hodnocen je vliv na půdní faunu z hlediska mechanického zpracování půdy, používání hnojiv a přípravků na ochranu rostlin, a zejména dvou protichůdných postupů - konvenčního a ekologického zemědělství. U luk a pastvin je navíc sledován vliv pastvy. Nejzávažnější důsledky jsou pozorovány ve vztahu k početnosti a diverzitě.

Ač jsou zásahy člověka do půdy nezbytné pro naši obživu, nemusí být však pro půdní faunu a tedy i zdravý vývoj půdy devastující. Je však třeba pečlivě plánovat všechny zásahy do půdy, hledat alternativní metody a především být schopni přijmout mnohé kompromisy. Je zapotřebí půdu více chránit a racionálně využívat, neboť pouze zdravá živá půda je schopná uživit rostliny, živočichy a především člověka.

Klíčová slova: půda, zooedafon, hnojení, pesticidy, pastva

Soil fauna and its influence by different types of agricultural management

Summary

This bachelor is focused on the topic of Soil fauna and its influence by different types of agricultural management. The aim of the thesis is to provide a detailed and comprehensive look at the soil fauna in relation to soil environment. The thesis analyses legislation related to the protection of soil and then summarizes existing findings of research into the influence of different kinds of agricultural activities on soil fauna.

The first part of the thesis describes the origin, development and importance of soil, on the formation of which soil organisms have a decisive influence. This section of the thesis further explains the life in soil, its conditions, characteristics, adaptation, interaction, and, mainly, its function. The thesis divides soil fauna into two categories: phytoedaphon and zooedaphon, which comprises soil animals ranging from the microscopic ones to the ones that can be seen by naked eye. Zooedaphon is treated in detail in the thesis, and it is divided according to its size into the categories of microfauna, mesofauna, macrofauna and megafauna. Selected groups of soil animals are described mainly in terms of morphology, ecology and their function in the soil. The last chapter of this part deals with legislation relevant to soil protection.

The second part of the thesis describes different ways of agricultural land management, namely the management of fields and permanent grasslands. The influence on soil fauna is assessed from the viewpoint of mechanical soil treatment, using of fertilizers and pesticides. Specifically, the thesis evaluates the influence of two opposing approaches: organic and conventional farming. The influence of grazing is taken into account in the case of meadows and pastures. The greatest influence is observed in relation to the abundance and diversity.

Although human interference with soil is necessary for people, it can be devastating for soil fauna and, therefore, for healthy soil development. It is thus necessary to plan carefully all such interference, search for alternative methods and, in the first place, to make numerous compromises. We need to protect soil and use it rationally, as only healthy soil can nurture plants, animals and, consequently, people.

Key words: soil, zooedaphon, fertilizing, pesticides, grazing

Obsah

1 Úvod.....	8
2 Cíl práce	9
3 Literární rešerše.....	10
3.1 Půda jako životní prostředí.....	10
3.1.1 Vznik a vývoj půdy	10
3.1.2 Složení půd	11
3.1.3 Struktura půd	12
3.1.4 Funkce půd	12
3.2 Edafon.....	13
3.2.1 Fytoedafon	15
3.2.2 Zooedafon.....	17
3.2.2.1 Klasifikace zooedafonu	18
3.2.2.2 Adaptace zooedafonu na život v půdě.....	19
3.2.2.3 Mikrofauna	21
3.2.2.4 Mesofauna	24
3.2.2.5 Makrofauna.....	27
3.2.2.6 Megafauna	32
3.2.3 Legislativa týkající se ochrany půdy.....	36
3.3 Vliv rozdílného zemědělského managementu na půdní faunu	37
3.3.1 Vývoj zemědělství.....	37
3.3.2 Konvenční versus ekologické zemědělství.....	38
3.3.3 Vliv zpracování půdy na půdní faunu	38
3.3.4 Používání hnojiv	39
3.3.5 Používání pesticidů	39
3.3.6 Vliv zemědělského managementu kulturní stepi na vybrané skupiny zooedafonu	40
3.3.6.1 Vliv zemědělského managementu na půdní roztoče – pancířníky (Oribatida)	40
3.3.6.2 Vliv zemědělského managementu na chvostoskoky (Collembola).....	41
3.3.6.3 Vliv zemědělského managementu na suchozemské stejnonožce (Oniscidea)	41
3.3.6.4 Vliv zemědělského managementu na měkkýše (Mollusca).....	42
3.3.6.5 Vliv zemědělského managementu na pavoukovce (Arachnida)	42
3.3.6.6 Vliv zemědělského managementu na stonožkovce (Myriapoda).....	42
3.3.6.7 Vliv zemědělského managementu na brouky (Coleoptera)	42
3.3.6.8 Vliv zemědělského managementu na mravence (Formicidae)	43
3.3.6.9 Vliv zemědělského managementu na žížaly (Opisthopora).....	43

3.3.7	Vliv různých způsobů managementu trvalých travních porostů na půdní faunu.....	45
4	Závěr	47
5	Seznam použité literatury	48
5.1	Elektronické zdroje	56
6	Seznam příloh	57

1 Úvod

Půda představuje základ života nejen člověka, ale veškerých živočišných a rostlinných společenstev na planetě Zemi. Po dlouhou dobu na ni bylo nahlíženo pouze jako na mrtvý substrát a podle toho se s ní také nakládalo. Zejména předposlední generace lidské společnosti pozapomněla, o co tisíciletí bojovala, ochraňovala a zúrodňovala. Až v poslední generaci se objevují stále častější tendence tento téměř neobnovitelný a lehce zranitelný zdroj chránit.

Půdu spoluvytváří a zúrodňuje půdní mikroflóra a fauna. Bez tohoto života by půda nebyla schopná plnit ani základní funkce ekosystému. Za zoedafon jsou označováni živočichové od mikroskopických prvoků, přes menší živočichy, jako jsou chvostoskoci a mnohonožky, až po žížaly, krtky a další obratlovce.

Všichni tito živočichové jsou určitým stupněm vázáni na půdu. Někteří v ní žijí a rozmnožují se, jiní hledají potravu, další úkryt, ale především se pozitivně podílí na rozkladu rostlinných i živočišných zbytků a přetváření půdy. Fyzikálně nepříznivému prostředí se však museli adaptovat, někteří nepatrně jiný poměrně značně.

S rostoucím počtem obyvatel se logicky zvyšuje spotřeba potravin. Z tohoto důvodu se uplatňují intenzivní pěstební systémy, které s pomocí vysoko výnosných látek a radikálního obdělávání jsou schopné poptávku prozatím uspokojovat. Tento systém hospodaření však způsobuje značný zásah zejména do početnosti a diverzity a tím i negativně působí na půdní procesy. Tento stav je však neudržitelný, neboť pro potravní řetězec, na jehož konci stojí člověk, je potřeba zdravá půda s bohatým půdním životem.

2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je vypracování literární rešerše na téma Půdní fauna a její ovlivnění různými formami zemědělského managementu. Práce je zaměřena na popis půdní fauny v jejím přirozeném prostředí a na charakteristiku modelových skupin organismů vyskytujících se v půdě. Seznamuje s právní legislativou chránící půdní fond. Dále se věnuje různým způsobům hospodaření na zemědělské půdě, především na polích a trvalých travních porostech. Hodnotí vliv těchto způsobů obhospodařování na zooedafon, zvláště na jeho diverzitu, abundanci, distribuci a funkci, stejně tak na půdní prostředí. Snaží se o vyslovení hypotéz týkajících se budoucnosti půdní fauny v zemědělské krajině.

3 Literární rešerše

3.1 Půda jako životní prostředí

Půda představuje nejsvrchnější vrstvu zemské kůry, ležící na matečných horninách (Losos et al., 1984). V dřívějších pojetích byla chápána pouze jako směs úlomků hornin a odumřelých organických zbytků v různém stupni rozkladu. Toto pojetí nebralo v úvahu vývoj půdy, biologické procesy v ní probíhající a ani vztah k prostředí jejího vzniku (Šarapatka, 2014). Kutílek (2012) označuje půdu jako živý systém, který je úzce spjat s okolním prostředím. Toto tvrzení vychází z faktu, že pedosféra vzniká vzájemným působením abiotických a biotických faktorů. Tím se půda liší od pouhých regolitů (Losos et al., 1984). Dle Plastera (2013) je půda dokonce jednou ze základních složek ekosystému jako součást geobiocenózy. Nauka zabývající se vznikem, složením, vlastnostmi a procesy v půdě, její klasifikací a rozmístěním na Zemi, se nazývá pedologie (Šarapatka, 2014). Její součástí je pedobiologie, tedy nauka o životě půdních organismů (Losos et al., 1984)

3.1.1 Vznik a vývoj půdy

Půda jako přírodní útvar vzniká ze zvětralin nebo nezpevněných minerálních a organických sedimentů. Materiál, ze kterého je vytvořena zvětralina, se nazývá mateční hornina (Bičík et al., 2009). Tato hornina podléhá fyzikálním a chemickým změnám, přičemž dochází k jejímu narušování. Zvětrávací procesy probíhají na povrchu hornin a obecně na povrchu Země, na jejím styku s atmosférou. Při tomto procesu vzniká tzv. zvětralinový plášť, který je složen z produktů zvětrávání. Teprve po desintegraci materiálu může za pomoci vody, vzduchu a také živých organismů vznikat půda (Šarapatka, 2014). Podle Kutílka (2012) se jedná o velmi pomalý proces, na jehož délku má vliv především tvrdost horniny a klima. Na vytvoření jednoho centimetru půdy je třeba 100 – 400 let (Šarapatka et al., 2002). Zvětrávání se dle zvětrávacího faktoru rozlišuje na fyzikální, chemické a biologické. Šarapatka (2014) uvádí, že biologické zvětrávání má charakter mechanický (např. tlak kořenů v mateční hornině) nebo chemický (např. exsudáty rostlin a živočichů).

Mrtvý edafon a odumřelé kořínky jsou rozkládány a přeměňovány rozvíjející se mikroflórou. Při tomto procesu se v prostředí hromadí humus. Vzniká tak postupně primitivní půda a rozvíjí se půdotvorný proces. Pojmem pedogeneze bývá označován celý proces tvorby půd zahrnující půdotvorné (pedogenetické) procesy (Tomášek, 2007; Šarapatka, 2014).

Tomášek (2007) dále rozčleňuje tyto procesy do čtyř základních skupin na akumulární, erozní, translokační a transformační.

Pedosféra se vyvinula v místě průsečíku litosféry, atmosféry, hydrosféry, biosféry a to působením půdotvorných faktorů, které podmiňují pedogenetický proces. Dle Šarapatky (2014) jimi jsou mateční hornina, klima a organismy. Mezi takzvané půdotvorné podmínky řadí reliéf terénu a čas. V posledních staletích má významný vliv na půdotvorný proces také antropogenní faktor, tedy člověk.

3.1.2 Složení půd

Vrba a Huleš (2006) označují půdu jako heterogenní otevřený polyfázový a polydisperzní systém, který je dle Lososa et al. (1984) složen z (viz. Příloha 1):

A) Neživé složky

1. Pevná fáze

Tuhá fáze půdy se skládá z minerálního a organického podílu. Nejvýznamnějšími aktivními částicemi jsou jílové minerály, jelikož mají vysokou sorpční schopnost pro živiny a vodu (Vrba a Huleš, 2006).

Na tvorbě humusu jako produkované organické koloidní heterogenní hmoty se podílí proces mineralizace a zejména humifikace. Mrtvá organická hmota je přeměněna na humus za spoluúčasti edafonu. Jedná se o amorfní směs humusových látek, které jsou nestabilní (Šarapatka, 2014). Na základě různých forem rozkladu Tomášek (2007) rozčleňuje humus do několika stupňů – mor, tangel, moder, mul, mos, fen a anmor. Půdy s obsahem humusu vyšším než 5 % jsou označovány jako velmi silně humózní. Přičemž obsah humusu má přímý vztah k úrodnosti půdy (Šarapatka, 2014).

2. Kapalná fáze:

Voda přichází do půdního prostředí zejména z atmosférických srážek. Dalšími zdroji jsou povrchový odtok či vztlínající voda z podzemních zdrojů. Přičemž vodní roztok vyplňuje půdní póry. Formy vody v půdě se liší především svou pohyblivostí a silou vazby (Šarapatka, 2014). Na tomto základě lze rozeznat hygroskopickou, kapilární a gravitační vodu (Tomášek, 2007).

3. Plynná fáze:

Půdní póry, které neobsahují vodu, jsou vyplněny vzduchem. Nejvíce vzduchu je obsaženo v půdách s velkými částicemi, naopak nejméně je v jílovitých půdách. Ve

srovnání s atmosférickým vzduchem má půdní vzduch srovnatelný obsah dusíku, ale nižší obsah O₂ a vyšší obsah CO₂. Přičemž platí vztah, že při úbytku obsahu O₂ stoupá obsah CO₂. Obvykle se hodnota O₂ pohybuje v rozmezí 10 – 20 % a hodnota CO₂ okolo 0,3 – 5 % (Šarapatka, 2014).

B) Živé složky

1. Edafon
2. Kořeny rostlinné vegetace

3.1.3 Struktura půd

Jednou z nejvýznamnějších půdních vlastností je dle Kulované (2001a) půdní struktura. Půdní struktura označuje vzájemné seskupení a prostorové uspořádání půdy. Stav jejího uspořádání může být elementární, slitý či agregátový (Plaster, 2013). Vzniklé půdní agregáty mají různý tvar a velikost (Šarapatka, 2014). Na základě velikosti a tvaru strukturních elementů se půdní struktura rozlišuje na kulovitou, polyedrickou, prismatickou, sloupkovitou a deskovitou. V rámci kulovitěho tvaru agregátu je rozlišována struktura drobtovitá, tedy nejideálnější půdní stav (Kutílek, 2012). O nejdůležitější půdní vlastnosti, a to půdní úrodnosti pro rostliny, spolurozhoduje právě půdní struktura (Jeffery et al., 2010).

3.1.4 Funkce půd

Půda byla v minulosti považována pouze za výrobní prostředek, zdroj surovin nebo plochu ke stavbě. V současné době se na ni nahlíží z pohledu nezastupitelného životního prostředí. Funkce půdy Kulovaná (2001b) roztrídila do tří kategorií:

A) Produkční:

- Fixace rostlin
- Výživa rostlin
- Plocha pro hospodářské využití a zástavbu
- Zdroj neobnovitelných surovin

B) Mimoprodukční:

- Životní prostor
- Produkce biomasy
- Výměna energie mezi zemí a ovzduším
- Transformační procesy – rozklad a syntéza látek
- Pufrační schopnost

- Infiltrace vody do půdy a její následná filtrace
- Akumulace a retence vody v půdním prostředí
- Transportní funkce

C) Kulturní

- Zdroj informací z dob minulých

Detailnější dělení uvádějí Bičík et al. (2009) a to na funkce: produkční, prostorovou, hydrologickou, vodohospodářskou, ekologickou, sanitární, hygienickou, pufrací, transformační, sociální a kulturní.

I přes podstatný význam půdy dochází k její degradaci. Šarapatka (2014) rozděluje degradaci půdy na fyzikální a chemickou. V rámci fyzikální degradace rozlišuje zábor půdy, erozi a zhutnění půdy. Mezi chemickou degradaci řadí acidifikaci, zasolení, kontaminaci polutanty a ztrátu živin.

3.2 Edafon

V půdním prostředí se vyskytuje tak pestrý život, jaký bychom nenalezli na celém zemském povrchu. Je zde největší biodiverzita (Kutílek, 2012). Už ve dvacátých letech minulého století se začal pro všechny organismy topicky nebo troficky vázané na půdu užívat pojem edafon (Šarapatka, 2014). Řecký výraz označující zemi, zeminu, ale také základ (Kutílek, 2012). Již tento fakt umocňuje tvrzení, že bez tohoto života by půda nebyla půdou. Byla by pouze mrtvým substrátem, který by nebyl schopen plnit funkce ekosystému (Šarapatka, 2014). Na jednom hektaru půdy nalezneme přibližně dvě až deset tun této živé půdní hmoty. Ta představuje asi 0,05 – 0,5 % z celkové hmotnosti půdy (Bičík et al., 2009). Kvantita vyskytujících se organismů v půdě (viz. Příloha 2), ale také jejich kvalita druhového zastoupení, je ovlivněna mnohými faktory (Jeffery et al., 2010). Např. Šarapatka (2014) mezi nejpodstatnější řadí klima, vegetační pokryv a fyzikální nebo chemické vlastnosti půdy, přičemž velký podíl na tyto parametry života má i člověk. Uvádí zevšeobecnění těchto vztahů na počty a rozmanitost půdních organismů. Domnívá se, že lesy mají rozmanitější půdní život než louky. Avšak vyšší celkovou hmotnost biomasy a aktivitu organismů udává u trvalého travního porostu. Dále předkládá tvrzení, že obdělávané půdy jsou obecně na biomasu půdního života chudší než člověkem nenarušené půdy. Dle Vačkáře (2005) půdní organismy obecně vyhledávají spíše prostředí, které je bohaté na srážky a dobře prorostlé vegetačním porostem. Tyto dva faktory zaručují vlhkost půdy, která je důležitá pro pohyb organismů v tomto fyzikálně jinak nehostinném prostředí, a také dostatečné množství organických látek

z odumřelé vegetace (Wall et al., 2012). Dle Šarapatky (2014) žije v půdách po celém světě menší počet jednotlivců všech půdních skupin organismů než je optimální (viz. Příloha 3).

Jednobuněčné a mnohobuněčné půdní organismy obydíjí především vodou nezaplňené prostory – póry. K nalezení jsou zde ale také některé druhy anaerobních bakterií, které naopak dávají přednost pórům zaplavených vodou (Kutílek, 2012). Jiné organismy žijí ve svrchní vrstvě hrabanky či listovém opadu (Vačkář, 2005).

Půdní organismy se nepodílí pouze na zvětrávacím procesu, ale také na samotném půdotvorném procesu a vývoji půd (Anon, 2010), při kterém má edafon zcela nezastupitelnou roli (Lavelle and Spain, 2003), přičemž na půdním povrchu anebo v jeho svrchních vrstvách dochází k hromadění rostlinných a živočišných zbytků. Tyto organické látky jsou pak většinou zpracovávány organismy vyskytujícími se v půdním prostředí. Jejich činností dochází k postupnému rozkladu těchto látek až na CO_2 , H_2O a jednoduché anorganické sloučeniny. Současně dochází také k syntéze složitých organických látek, které jsou součástí humusu (Šarapatka, 2014). Organismy tak ovlivňují koloběh živin (viz. Příloha 4), složení a strukturu půdy, její provzdušněnost, a dále pak regulaci populací mikroskopických hub a mikroflóry. Tyto organismy ve svém těle mísí organické a minerální částice a produkují tak trus (Coleman et al., 2004). Významnou úlohu také mají dle Anon (2010) při biodegradaci xenobiotických látek a čištění vody. Šarapatka et al. (2002) doplňuje tento výčet pozitivních rolí půdních organismů o fakt, že některé druhy jsou schopny fixovat dusík, kolonizovat zónu kořenů rostlin, chránit je před útokem parazitů a patogenů. Edafon má vliv na půdu, ze které jsou vyživovány rostliny a představuje koordinovanou snahu, udržující veškerý život na Zemi. Proces rozkladu a transformací látek v půdě pomocí edafonu se odehrává v daleko kratším časovém průběhu, jak uvádějí ve své práci Lavelle and Spain (2003), než daleko déle působící fyzikální a chemické děje.

Všechny uvedené biologické procesy jsou výsledkem vzájemných interakcí půdních mikroorganismů a živočichů (Griffiths et al., 1989). Krišťůfek et al. (2000) dokonce uvádí, že život v půdě je životem v interakcích. Vychází z faktu, že půda je charakteristická velkou prostorovou heterogenitou, příkrými gradienty různých faktorů, bohatostí života a vysokou specifickou hustotou populací v půdním prostředí. Je tedy ideálním prostředím pro vznik a fungování těchto složitých vztahů mezi organismy. Toto složitě prostředí, obrovská biodiverzita a současné metodické problémy mají za následek dosavadní neznalost většiny těchto vztahů. Charakteristickým rysem těchto interakcí je vysoká variabilita velikosti půdních organismů. Interakce jsou jak přímé, kdy jeden organismus využívá druhý, tak

nepřímé, které mají souvislost se změnami v prostředí způsobených jedním organismem a ovlivňují tak životní podmínky jiných.

Je zajímavé, že půdní živočichové si jako potravu primárně vybírají živé mikroorganismy (Gunnarson and Runderen, 1986). Podle Binnse (1981) je možné je vysvětlit tím, že živá organická hmota mikroorganismů je daleko významnějším zdrojem energie a živin než mrtvá.

Na základě Duvigeauda (1988) se půdní trofické vztahy rozčleňují do sedmi potravních úrovní:

1. Primární producenti
2. Destruenti odumřelé organické hmoty
3. Rozkladači odumřelé organické hmoty
4. Konzumenti 1. řádu živící se primárními producenty
5. Konzumenti 2. řádu živící se fytofágy
6. Konzumenti 3. řádu živící se karnivory
7. Vrcholoví konzumenti půdního ekosystému.

Přičemž potravní řetězce jsou obecně trojího typu: pastevně – predačního, parazitického a detritového.

Mezi půdními mikroorganismy a rostlinami i mezi mikroorganismy a živočichy existují stejné kategorie interakcí jako u mikrobiálního světa. Řadí se mezi ně jak vztahy převážně pozitivní, tak i negativní (Křišťůfek et al., 2000).

Nejzákladnější dělení edafonu uvádí Laštůvka a Krejčová (2000). Rozeznávají fytoedafon a zooedafon.

3.2.1 Fytoedafon

Fytoedafon představuje organismy podobné rostlinám. Je hlavním nositelem přeměn organické hmoty a rozhodujícím způsobem určuje hospodaření s rostlinnými živinami, zejména dusíkem (Tomášek, 2007). Ovšem v půdním prostředí se nenalézají pouze pozitivně působící organismy. Barron (1981) a Cantwell and Cantelo (1984) se shodují na bohatém zastoupení také patogenních organismů.

Za součást fytoedafonu Jeffery et al. (2010) i jiní autoři považují bakterie, aktinomycety, houby, sinice a řasy. Někdy je tato skupina mikroorganismů označována jako půdní mikroflóra (Kutílek, 2012). Anon (2010) se domnívá, že je v současné době identifikováno přibližně jedno procento z těchto půdních mikroorganismů. Na druhovém složení edafické mikroflóry má vliv řada faktorů. Za hlavní Kroutilíková a Sokolová (1985) považují obsah organické hmoty v půdě, její teplotu, ale též poměr mezi póry zaplněnými vzduchem a vodou.

Bakterie patří mezi nejmenší a nejpočetnější organismy vázané na půdní prostředí. Jedná se o jednobuněčné organismy o velikosti od 0,5 – 5 μm (Wall et al., 2012) ve formě koků, tyčinek či spirochet (Jeffery et al., 2010). Na jednom metru čtverečním půdy můžeme nalézt až sto bilionů (10^{14}) bakterií, což odpovídá biomase přibližně 100 – 700 g (Kutílek, 2012). Jiné srovnání kvantity uvádí Šarapatka (2014) a to 10^6 – 10^9 bakterií žijících v gramu půdy. Hmotnost biomasy je několik set kilogramů až pět tun. Bakterie žijí prakticky trvale ve vodním filmu, obklopujícím půdní částice, avšak mohou migrovat v půdním profilu na vzdálenost asi 10^{-5} m (Křišťůfek et al., 2000). Půdní bakterie jsou dominantní především v prostředí, kde se vyskytují jednodušší organické látky, jako jsou některé cukry, škrob, tuky a aminokyseliny. Mimo jiné tyto vysoké počty vyplývají z vysoké rychlosti bakterií a účinné adaptace při změně podmínek. Druhy bakterií se zcela odlišují ve svých funkcích v půdě. Bičík et al. (2009) rozčleňuje tyto půdní mikroorganismy do čtyř funkčních skupin:

1. Organismy rozkládající organickou hmotu v půdě, kterých je většina.
2. Mutualistické organismy
3. Patogenní organismy pro rostliny
4. Chemoautotrofní organismy.

Dalšími významnými funkcemi je rozklad polutantů především ze zemědělství či možnost jejich využití jako indikátorů chemických a fyzikálních vlastností půd.

Významnou skupinou půdní mikroflóry jsou také aktinomycety, tradičně řazené mezi grampozitivní bakterie. Jedná se o vláknité bakterie, zastávající především funkci rozkladačů organické hmoty při vyšším pH (Bičík et al., 2009). Jejich význam spočívá ve schopnosti rozkládat i těžce rozložitelné látky jako je celulóza, chitin, polysacharidy nebo hemicelulóza (Allison, 1973). Jejich činností vznikají látky, které jsou zodpovědné za „čerstvou zemitou“ vůni ornice (Bičík et al., 2009). Kromě toho jsou některé druhy schopny vytvářet látky s antibiotickými i patogenními účinky. V literatuře je uváděno, že počty aktinomycet tvoří až desetinu množství bakterií (Kutílek, 2012; Šarapatka, 2014).

Houby jsou poslední skupinou s vysokým podílem na dekompozici organické hmoty. Rostou pouze v aerobních, vlhkých podmínkách a při pH nižším než 7. V půdách bylo dosud identifikováno přes 640 druhů hub ze 140 rodů. Hmotnost jejich biomasy se pohybuje od 1 do 10 t na hektar. Na rozdíl od uvedené hmotnosti není jejich početnost ve fytoedafonu dominantní. Nejvyšší počet hub nalezneme ve svrchní vrstvě půdy asi do deseti centimetrů. Pro půdu mají největší význam vláknité houby vytvářející mycelium a zlepšující pohyb půdní vody (Šarapatka, 2014).

Další skupinou obývající půdu jsou sinice. Jsou to jednoduché fotosyntetizující organismy osídlující jako první povrch nezpevněných hornin. Tyto organismy často vstupují do symbiotického vztahu s jinými organismy (Kutílek, 2012). Ve fytoedafonu mají významné místo zejména na extrémních stanovištích. Je prokázáno, že jsou schopné fotosyntetického růstu i za velmi suchých podmínek. Limitní hodnota srážek se pohybuje kolem pěti milimetrů srážek ročně. Dále odolávají vysokému stupni ozáření. Naprostá většina sinic se nalézá ve svrchní vrstvě půdy, jelikož světelné záření je propouštěno maximálně dva milimetry do vrstvy půdy. Tyto mikroorganismy mají významnou roli v koloběhu, především uhlíku a dusíku (Jeffery et al., 2010). Podstatně zvyšují půdní úrodnost a tak se například v jihovýchodní Asii jimi očkují rýžová pole. Nahrazují tak umělá hnojiva (Kutílek, 2012).

Stejně jako sinice jsou i půdní řasy fotoautotrofními organismy. V půdě mají také podobné ekologické funkce. Jsou významnými kolonizátory obnažených půd v symbióze s houbami. Představují první článek trofického řetězce. Také obohacují svrchní vrstvu půdy o organickou hmotu vlastních těl. Produkují kyslík a tím se podílí na její provzdušnění (Krištůfek et al., 2000). Dále půdní řasy vytvářejí extracelulární polysacharidy spolupůsobící při tvorbě půdních agerátů. Rozvoj řas je propagován vyšší vlhkostí půdy a zásobou minerálních živin. Zelené řasy preferují nižší, zatímco rozsivky neutrální pH (Šarapatka, 2014). V současnosti je evidováno více než 700 druhů půdních řas (Jeffery et al., 2010). Allison (1973) tvrdí, že půdní řasy se nalézají pouze v několika svrchních milimetrech pod povrchem. V rozporu s tímto tvrzením jsou Jeffery et al. (2010), který se naopak domnívá, že epigeické řasy se vyskytují až do hloubky 15- 20 cm půdy. Hlavní příčinu vidí ve vertikálním pohybu řas napříč půdním profilem prostřednictvím žížal a dešťových srážek.

3.2.2 Zooedafon

Druhou skupinu půdních organismů představuje zooedafon zahrnující zástupce prvoků a dalších živočichů. V odborné terminologii je užíván synonymní výraz půdní fauna. Ta je

označením, které vyplývá z celé řady ekologických hledisek a sdružuje nespočet taxonomických skupin (Bábková – Hrochová a Jongepierová, 2008).

3.2.2.1 Klasifikace zoedafonu

Do dnešní doby byla zpracována rozsáhlá klasifikace těchto organismů dle nepřehledného množství kritérií. Lze říci, že jednotlivé třídy a zařazení konkrétních organismů se liší autor od autora.

Tradičně je půdní fauna členěna dle převažujícího místa výskytu v půdním profilu na epigeické (zástupci druhů žijící na povrchu půdy) a hypogeické (druhy živočichů žijících pod zemí) formy (Laštůvka et al., 1996). Zatímco Bábková – Hrochová a Jongepierová (2008) člení organismy dle tohoto kritéria na:

- Epigeon - souhrnné označení pro druhy obývající povrch půdy nebo rostlinný opad. Patří sem například střevlíkovití brouci, suchozemští stejnonožci, řada zástupců mnohonožek, stonožek, chvostoskoků, roztočů atd.
- Hemiedafon - souhrnné označení pro druhy žijící v opadu a rozvolněných vrstvách humusových horizontů. Jsou to například mnohonožky, chvostoskoci, zástupci brouků, larvy dvoukřídlých a dalších hmyzích řádů apod.
- Euedafon – souhrnné označení pro pravé půdní živočichy. Ti jsou životu v půdním prostředí adaptováni nejlépe a mohou tedy pronikat hlouběji do půdního profilu. Jsou jimi roupice, mnohé žížaly, velká část chvostoskoků, roztočů, drobnušek, stonoženek a další.

Dále Losos et al. (1984) zoedafon tradičně rozděluje na geobinty, geofily a geoxeny. Geobionti jsou vysoce specializované organismy žijící výhradně v půdě. Oproti tomu geofilové půdu obydí pouze v určitém vývojovém stádiu. Jako geoxeni jsou označováni takové druhy živočichů, které se vyskytují v půdě pouze náhodně. Podle stupně vázanosti na půdu rozlišuje několik forem:

- 1) Permanentní – mající všechna vývojová stadia v půdě. Např. krtek, krtonožka, mnozí chvostoskoci.
- 2) Temporární – půdu obydí jen některá stadia. Např. ponravy chroustů, drátovci.
- 3) Periodičtí – do půdy se vrací v nepravidelných intervalech.
- 4) Parciální – vrací se do půdy periodicky. Například chrobák.
- 5) Alternující – střídající jednu nebo více generací v půdě s jednou nebo více generacemi mimo půdní prostředí

6) Tranzitorní – v půdě těchto druhů živočichů se vyskytují jen inaktivní stádia.

Kombinaci všech uvedených klasifikací tvoří třídění zooedafonu dle Čecha Kratochvíla (1936), které je naprosto vyčerpávající. Předkládá kategorie euedafonu, protoedafonu, hemiedafonu, pseudoedafonu a tychedafonu.

Půdní živočichové jsou také často rozdělováni dle vztahu jednotlivých druhů k potravě. Největší skupinu půdních živočichů tvoří saprofytické organismy. Zahrnují převážně žížaly, roupice a larvy půdního hmyzu. Na odumřelých tělech živočichů se živí nekrofágové, ti mají schopnost strávit keratin a tedy tak urychlit rozklad mnohé odumřelé půdní fauny. Významnou skupinou jsou fytofágové, kteří zkrmují rostlinné orgány a představují tak škůdce kulturních rostlin. V půdě nalezneme ale i živočichy, jejichž hlavní součástí potravy jsou jiní živočichové. Tuto poslední skupinu druhů označujeme jako zoofágy nebo masožravce (Novák et al., 1959).

Wallwork (1970) ve své publikaci uvádí dokonce čtyři způsoby třídění půdních živočichů a to podle velikosti živočichů, doby setrvání v půdě, preferencí prostředí a jejich aktivity.

3.2.2.2 Adaptace zooedafonu na život v půdě

Půdní živočichové obývají zcela specifické podmínky, které se významnou mírou liší od podmínek ve vzduchu či vodě (Losos et al., 1984). Z tohoto důvodu se u nich v průběhu evoluce vytvořily mnohé adaptace umožňující život v tomto jinak nepříznivém prostředí (Laška et al., 2008).

Důležitou vlastností půdy, které se museli půdní živočichové přizpůsobit, je odlišné složení půdního vzduchu od toho atmosférického. Rezistence půdní fauny vůči vyššímu obsahu CO₂ v půdním vzduchu je však různá. Malou tolerancí se vyznačují druhy žijící ve svrchních vrstvách půdy, např. krtek, krtonožka. Naopak larvy kovaříků či ponravy chroustů, tedy obyvatelé hlubších vrstev, snesou poměrně vysoké koncentrace CO₂ v půdním prostředí. Velká část půdní fauny dýchá celým povrchem těla. Vyvinulo se u nich tzv. kožní dýchání. Zbytek půdních živočichů využívá k respiraci vzdušnice, plicní vaky nebo plíce. Ovšem kožní dýchání je v půdě zcela jasně efektivnější (Losos et al., 1984).

K základním podmínkám existence zooedafonu patří teplota. Ta v půdě představuje výhodu ve stálejším prostředí pro život (Laška et al., 2008). Obecně je půda v létě chladnější než vzduch a v zimě je tomu právě naopak. Maxima naměřená v půdě se vztahují k měsíci

srpnu, zatímco minima k únoru (Šarapatka, 2014). Teplotní výkyvy v půdním prostředí nejsou tak rozdílné jako ve vzduchu. V povrchové vrstvě mohou být však značné (Laška a et al., 2008). S přibývajícím hloubkou půdního profilu teplotní kolísání ubývá. Křivky teploty v hloubce jsou tedy plošší než křivky teplot naměřené ve svrchních vrstvách. Toho využívají půdní živočichové, kteří reagují na tento fakt vertikální migrací v půdě. Obecně zoedafon dává přednost chladnější a vyrovnanější teplotě půdy (Losos et al., 1984). Toto tvrzení je však v rozporu s výzkumem Lašky et al. (2008), kteří došli k závěru, že 95 % půdní fauny se vyskytuje v hloubce do 5 cm. Nicméně lze konstatovat, že půdní fauna je citlivější spíše k přehřátí než promrznutí. Teplotám nad 15 °C se většina organismů vyhýbá. Chladová rezistence je u půdní fauny běžná. Větší hrabavé druhy v zimních obdobích migrují do větších hloubek, zatímco značná část půdních živočichů zamrzá v půdě bez vážnějšího poškození (Losos et al., 1984). Hloubka promrznutí půdy je závislá především na vrstvě sněhové pokrývky, okolní teplotě a hustotě vegetace (Šarapatka, 2014).

Dle vztahu k vlhkosti, která je v půdním prostředí stabilnější (Plaster, 2013), se půdní fauna rozděluje na hygrobionty (prvoci, vířníci, hlístice atd.), hygrofilů (většina půdních živočichů vyžadující vysokou půdní vlhkost) a xerofilů (nejméně zástupců). Někteří hygrofilové upřednostňují až 100% půdní vlhkost. Druhy odolné proti značnému vysychání půdy se označují jako xerorezistentní formy. Oba extrémy obsahu vody v půdě zoedafon velmi dobře snáší. Záleží ovšem na smáčelnivosti jejich tělního povrchu (Losos et al., 1984). Například u půdních členovců se vyvinuly na povrchu těla voskové vrstvy či hustá obrvení. Mezi chloupky se vytváří vzduchová bublina, která slouží jako tzv. fyzikální žábra (Dunger, 1964).

Půdní organismy se museli adaptovat též mechanickým vlastnostem půdy. Vytvořily se tak dvě základní skupiny živočichů pohybující se skrz půdu. Jedná se o:

1. převážně hrabavé a rýpavé formy,
2. převážně lezoucí, plazivé a plovoucí formy.

Některé půdní organismy mají upravené končetiny k hrabání. Jiné k této činnosti uplatňují své ústní orgány, další se v půdě vzpírají velkým množstvím končetin a při hrabání si pomáhají hlavovým pevným štítem (Losos et al., 1984). U mnohých půdních živočichů je nápadný menší tělesný rámec a zkrácené tělní přívěsky oproti vodním či pozemním formám života (Dunger, 1964). Pro pohyb v půdě je také podstatný tělesný typ, přičemž se nejlépe osvědčil válcovitý, červovitý a kulovitý.

Vztah zoedafonu k pH reakci půdy je též velmi proměnlivý. Vyskytují se zde acidofilní, alkalifilní i neutrofilní druhy.

Většina zoedafonu je fotofóbní. Na pravé půdní živočichy působí světlo nepříznivě a stávají se aktivními až po setmění (Losos et al., 1984). U geobiontů došlo k redukci zraku a pigmentu (Dunger, 1964). K typickým slepým a bezbarvým organismům patří např. stonožky, hlístice, vířníci a další (Losos et al., 1984). Organismy se v tomto afotickém prostředí pravděpodobně orientují dle chemických či teplotních signálů (Plaster, 2013)

Laška et al. (2008) rozdělují tyto adaptace na morfologické a fyziologické. Dále uvádí adaptace související s životními projevy. Do této skupiny adaptací řadí schopnost partenogeneze a snížení počtu vajíček výměnou za jejich větší velikost a rychlejší vývoj. Dunger (1964) tento výčet doplňuje ještě o odkládání spermatoforu či schopnost anabiózy.

3.2.2.3 Mikrofauna

Pojem mikrofauna označuje nejmenší zástupce půdní fauny, kteří jsou nejpočetnější půdní živočišnou skupinou (viz. Příloha 5) (Jeffery et al., 2010). Dle Gobata et al. (2004) ji zastupují živočichové kratší než 0,2 mm. Mezi organismy s největší abundancí, napříč mikrofaunou, Wall et al. (2012) řadí prvoky (Protozoa), hlístice (Nematoda) a vířníky (Rotifera). Bargett (2005) dále do této skupiny půdní fauny řadí strunovce (Nematomorpha) a želvušky (Tardigrada).

- **Prvoci (Protozoa)**

Prvoci jsou jednobuněčné organismy, jejichž velikost se obvykle pohybuje v rozmezí 10 – 50 μm (Jeffery et al., 2010). Jedná se dokonce o nejpočetnější skupinu půdní fauny. V půdním prostředí bylo doposud izolováno více než 250 druhů prvoků. Podle Šarapatky (2014) se zde v průměru vyskytuje 30 – 40 jedinců na jeden gram půdy. Zatímco Rangaswami and Bagyaraj (2004) jsou značně optimističtější a tyto počty uvádí v rozmezí 10 – 100 tisíc jedinců na stejnou hmotnost svrchní vrstvy půdy. Hmotnost biomasy na hektar předpokládá Šarapatka (2014) mezi 15 a 175 kg.

Systematika prvoků v současné době prochází rapidními změnami, přesto do této velké říše čítající přes 30000 druhů můžeme zahrnout čtyři morfologicky charakteristické skupiny. Jsou jimi nejmenší bičíkovci, nahé améby, améby a nálevníci (Wall et al., 2012). Pohyb těchto organismů zajišťují bičíky, panožky a myonemy.

Ve většině případů se Protozoa rozmnožují nepohlavně – dělením, méně časté je pohlavní rozmnožování nebo metageneze (Hausmann et al., 1996). Rozmnožování, pohyb a růst jsou závislé především na vodě. Hydrologickým limitem pro život prvoků v půdě je hodnota vodního potenciálu -150 kPa, což odpovídá asi 30 – 40 % maximální vodní kapacity (MVK) (Wall et al., 2012). Hausmann et al. (1996) uvádějí, že bohatá protozoární společenstva mohou být sledována pouze ve vodním filmu silném jen asi 30 μm , přičemž jeho minimální tloušťka, v níž mohou žít nahé améby, je okolo 5 μm . Činnost těchto organismů je tedy vázaná na obsah vody v půdních pórech a úživnosti prostředí. Pokud kvalita prostředí pro jejich aktivní život poklesne, populace prvoků přecházejí do klidového stádia a vytváří dlouho vytrvávající cysty (Wall et al., 2012). Protozoární fauna se vyskytuje především v půdách o neutrálním pH, bohatých na humus, nebo v blízkosti rostlinných kořínků. Ve všech případech je příčinou jejich soustředění rozklad organického materiálu (Hausmann et al., 1996).

Bičík et al. (2009) uvádí jako hlavní složku potravy prvoků především půdní bakterie, méně pak ostatní prvoky, rozpuštěné organické látky a dokonce i houby. Smrž et al. (2004) uvádí jako nejzákladnější způsob požívání potravy osmózu. Ovšem existují i fungivorní prvoci jako např. vampýrenky (*Vampyrella*), živící se právě houbami. Tyto organismy prorazí pomocí vyprodukovaných enzymů díрку do mycelia, dále zasunou panožku do cytoplazmy a následně ji pohltnou.

Počet prvoků v půdě je vysoce variabilní a závisí tedy na mnohých faktorech (Jeffery et al., 2010). Ovšem dle Walla et al. (2012) jsou to organismy vysoce odolné a v narušených půdách se jejich početnost dokonce zvyšuje. Dominujícími zástupci půdní fauny prvoků jsou dle Hausmanna et al. (1996) nálevníci a měňavky.

Význam prvoků v půdě spočívá při roli mineralizace živin a zpřístupnění jich rostlinám, ale i dalším organismům. Dále mají důležitou úlohu v potravním řetězci tím, že požívají bakterie (Bičík et al., 2009). Prvoci pojmu spolu s nimi více dusíku, než mohou spotřebovat. Z tohoto důvodu tento přebytek vylučují a to ve formě NH^+ , který je snáze přístupný pro ostatní organismy (Jeffery et al., 2010). Prvoci populace bakterií udržují mladé, aktivní a v rovnováze (Wall et al., 2012). Allison (1973) však tento vliv na půdní bakterie nepovažuje za podstatný pro další činnost bakterií. Sami jsou složkou potravy a potlačují onemocnění způsobené především plísněmi (Jeffery et al., 2010). I když skupina Protozoa zahrnuje nejméně parazitů rostlin, mnohé z nich představují významné fytopatogeny, způsobující kvantitativní a kvalitativní ztráty (*Plasmodiophora brassicae* Woronin, 1877) (Lebeda et al., 2006).

- **Hlístice (Nematoda)**

Hlístice jsou mnohobuněční živočichové s válcovitým na obou koncích zúženým tělem, které je pevné a pružné a není nijak obrvené. Jeho povrch tvoří silná bílkovinná kutikula, která s tělem neroste a dochází tak k jejímu pravidelnému svlékání (Bičík et al., 2009). Délka těla hlístic se pohybuje od 80 μm do 8 mm a jeho šířka od 20 μm do 2,5 cm (Jeffery et al., 2010). Přičemž volně žijící hlístice mají délku těla obvykle do 1,5 mm (Bábková – Hrochová a Jongepierová, 2008). Větší rozměry těla odkazují především na parazitické formy hlístic.

Jedná se pravděpodobně o nejhojnější více buněčný kmen živočichů žijících v půdě. Jeho abundance dosahuje hodnoty 1 – 10 mil jedinců na 1 m^2 (Jeffery et al., 2010). V zemědělské půdě se podle Bičíka et al. (2009) v jednom gramu suché půdy vyskytuje méně než 100 hlístic, v trvalém travním porostu nalezneme od 50 do 500 hlístic.

Hlístice žijí prakticky ve všech částech světa a ve všech půdách (Šarapatka, 2014). Jeffery et al. (2010) je považují za akvatické organismy, obývající vodní film poutaný na půdní částice. V případě sucha ve svrchní vrstvě půdy jsou schopné migrace o několik centimetrů hlouběji nebo na nepříznivé podmínky reagují dormantními stádii.

Taxonomie tohoto kmene živočichů je založena na postavení tělních otvorů (Wall et al., 2012). Volně žijící hlístice se živí saprofytsky nebo jako dravci, část hlístic také parazituje na těle rostlin a živočichů včetně člověka. Jsou významnými parazity především ze zemědělského hlediska. Napadají polní plodiny, stromy i okrasné keře. Jejich největší kumulace je v místech výskytu jejich potravy. Vzhledem k jejich tělesné konstituci dávají přednost půdám s hrubou texturou (Bičík et al., 2009).

V půdě mají Nematoda podobnou úlohu jako Protozoa. Zásadní rozdíl ve funkci hlístic, na rozdíl od prvoků, vidí Jeffery et al. (2010) ve schopnosti distribuovat bakterie a houby přichycené na jejich těle nebo v zažívání prvoků blíž ke kořenům.

V půdním prostředí se nejčastěji vyskytují řády háďata (Rhabditida), háďátka (Tylenchida), Aphelenchida a hlístkové (Dorylaimida) (Wall et al., 2012).

Lišková and Čerevková (2011) hodnotí hlístice jako vhodné ekologické ukazatele životního prostředí k indikaci disturbance a potravních podmínek.

- **Vířníci (Rotifera)**

Typickým příkladem akvatické půdní fauny jsou vířníci (Devetter, 2010). Jejich velikost se pohybuje okolo 0,2 – 0,4 mm, rozmnožují se pohlavně (Jeffery et al., 2010). Tento kmen je především známý ze sladkých vod. Faktem je, že někteří jeho zástupci pravidelně

obydlují půdní prostředí. V případě nedostatku vody přežívají v klidových stádiích až dvacet let.

Pro většinu těchto mnohobuněčných organismů je charakteristický způsob získávání potravy z půdy, a to pohybem brv vířivého orgánu – filtrací mikročástic z půdního roztoku (Devetter, 2010). Podle Jefferyho et al. (2010) je drtivá většina půdních vířníků mikrofágy, kteří se živí se na bakteriálním filmu.

V půdě jsou běžní hlavně vířníci z třídy pijavenky (Bdelloidea), které tvoří 80 – 90 % populací kmenu, a točivky (Monogononta) (Devetter, 2010). Podle dosavadních poznatků se zdá, že vířníci tvoří jen malou část biomasy a v půdě nemají velký vliv (Jeffery et al., 2010).

3.2.2.4 Mesofauna

Mesofaunou Gobat et al. (2004) označují živočichy s délkou těla mezi 0,2 mm a 4 mm. Nejpočetnější a nejstudovanější mesofaunou jsou roztoči (Acari) a chvostoskoci (Collembola). Mimo jiné tato skupina zahrnuje např. hmyzenky (Protura), vidličnatky (Diplura) a roupicovité (Enchytraeidae) (Wall et al., 2012).

- **Roztoči (Acari)**

Roztoči jsou mikroskopičtí až makroskopičtí členovci, kteří jsou v rámci systematiky řazeni pod třídu pavoukoců (Arachnida). Nejmenší jsou v délce 0,08 mm, největší dosahují délky až 30 mm. Jedná se především o samičky některých tropických druhů (Hanzák et al., 1973a). Obvykle však roztoči dosahují délky v rozmezí 0,2 – 10 mm.

Jsou to morfologicky nejednotní živočichové, jejichž tělo je obvykle oválné a jeho části splývají v jediný celek. Bývá pokryto sklerotizovanou kutikulou, která ho chrání v období sucha a před dravými útoky. Jako pavoukocvi se vyznačují čtyřmi páry nohou, jedním párem chelicer a u úst mají vyvinutý ještě jeden pár makadel.

Jedná se o gonochoristy, u mnohých je častá partenogeneze (Jeffery et al., 2010). Vývoj roztočů je nepřímý, probíhá přes šestinohou larvu a osminohou nymfu (Hanzák et al., 1973a).

Roztoči jsou nalézáni ve všech částech světa, včetně Antarktidy a Arktidy. Obývají, jak suché, tak vodní biotopy. Spolu s chvostoskoky jsou nejpočetnějšími členovci v půdním prostředí. Distribuce roztočů v půdě je horizontálně i vertikálně značně nerovnoměrná, jejich početnost se pohybuje v řádech desetitisíců až statisíců jedinců na jeden metr čtvereční. Nejpočetnější jsou v půdách bohatých na organickou hmotu, půdní bakterie a houby. V půdě

se pohybují pomalu a na krátké vzdálenosti. V Evropě je doposud popsáno kolem tisíce půdních roztočů. Roztoči jsou obvykle heliofóbní.

U roztočů se vytvořily téměř všechny potravní strategie (Jeffery et al., 2010). Řada z nich jsou parazité rostlin, zvířat i člověka, jiní se živí synantropně, dravě nebo saprofágně. Draví roztoči se používají také k ochraně rostlin jako přirození bioregulátoři (Šarapatka, 2014). Jsou často využívanými organismy při monitorování biodiverzity v půdním prostředí (Vačkář, 2005).

Pro podřád pancířníků (Orabatida) je půda hlavním životním prostředím. Jsou významnou složkou trofického řetězce. V půdním prostředí se podílejí na všech hlavních procesech, nemalý podíl mají při koloběhu živin v půdě. Velký význam dle Starého (2008) mají zejména v cyklech P, N a Ca. Oceňuje jejich schopnost kolonizovat půdu mikroflórou. Jejich funkce je i v synergickém působení spolu s půdními mikroorganismy při dekompozici organické hmoty v prostředí (Šarapatka, 2014). Pancířníci živící se půdním detritem částečně přijímají minerální látky. Ty ve svých tkáních kumulují a napomáhají tak jejich šíření v půdě.

Pancířníci jsou z abiotických faktorů citliví především na půdní vlhkost a teplotu, ovlivňující především dýchání a transpiraci. Tyto mikroklimatické faktory ovlivňují metabolismus pancířníků. Obecně jsou to živočichové preferující spíše vlhčí prostředí, v důsledku poklesu vlhkosti v půdě prostředí opouštějí. Zvyšování teploty vede k podstatnému zvýšení i spotřeby kyslíku. Má za následek spotřebování většího množství zásobní energie a vyčerpání energetických zdrojů. Každý druh má své teplotní optimum i letální teplotu. U tropických se optimální teplota pohybuje okolo 24 - 31 °C (letální 38 - 40 °C), u druhů mírného pásma hodnota vhodná pro jejich činnost je 10 - 21 °C (letální 30 - 32 °C). Na teplotě závisí i jejich ontogeneze. Pokud pancířník dlouhodobě nežije v optimálních hodnotách obou uvedených faktorů, dochází u něj ke zkracování průměrné délky života (Starý, 2008).

- **Chvostokoci (Collembola)**

Tělo je protáhlé až kulovité, dosahující délky od desetin do maximálně několika milimetrů. Zbarvení je obvykle nenápadné – bělavé, žlutavé, šedé, ale existují i druhy s výrazně zbarvenými ornamenty. Může být kryté šupinkami či štětinkami. Je rozděleno na hlavu, hrud' a zadeček. Hlava nese čtyřčtená krátká tykadla, u jejichž základu mohou být složené oči, které jsou u mnohých druhů zakrnělé nebo úplně chybí. Ústní ústroj je kousací či bodavě sací, zanořené dovnitř hlavové kapsuly (Hanzák et al., 1973b). Hrud' je složená ze tří článků, přičemž na každém je po jednom páru nohou. Články mohou být volné či srostlé. Zadeček se skládá ze šesti článků. Chvostokoci byli původně řazeni mezi bezkřídly hmyz.

Na spodní straně zadečku však nesou ventrální tubus, důležitý pro hospodaření s vodou, skákání a některým druhům umožňuje přilnout k hladkému povrchu. Dále mají na spodní straně těla dobře viditelnou skákací vidlici (furku), která je v klidu zachycena záchytkou (tenaculem). Když tito členovci svaly uvolní vidlici, dochází k jejich vymrštění do značných výšek. Nejedná se však o pohyb jim vlastní, přistupují k němu především v případě hrozícího nebezpečí.

Samečkové vylučují sperma na zem nebo přímo do pohlavního otvoru samičky. Noví jedinci jsou značně podobní dospělcům. Během celého života chvostoskoci svlékají kutikulu (McGavin, 2005), což jim poskytuje možnosti regenerace poškozených tělesných částí (Hanzák a kol., 1973b).

V přírodě jsou velmi hojní, téměř všudypřítomní, a tvoří velmi početnou složku edafonu. Dle jejich anatomie a morfologie lze určit, jaký půdní horizont určitý druh obývá. Dunger (1964) a Miko (1993) rozlišují tři ekomorfologické typy chvostoskoků. Jsou jimi epiedafické druhy, žijící na povrchu půdy a v jejím bezprostředním okolí, jež jsou životu k životu na povrchu přizpůsobení. Obvykle se jedná o větší druhy, s dlouhými končetinami, dobrým zrakem, výrazným skákacím aparátem, ochlupením a pigmentem. Druhým typem jsou euedafické druhy, žijící hluboko v půdě. Ti tvoří morfologicky protikladnou skupinu organismů. Mesoedafické druhy tvoří jakýsi přechod mezi oběma ekomorfologickými typy chvostoskoků.

Dle Hanzáka et al. (1973b) prakticky není výskyt chvostoskoků ovlivňován teplotou. Jsou však početněji zastoupeni ve vlhkém prostředí a jsou velmi citliví na změny vlhkosti půdy.

Využívají se při bioindikaci půdní acidity, na kterou reagují třemi různými způsoby - početnost se s kyselostí zvyšuje nebo vápněním snižuje a naopak. Obecně však platí, že endogeické i epigeické druhy obvykle preferují kyselou reakci před alkalickou. Reakce je ovlivněna soutěživostí v trofických nárocích, jelikož v acidní půdě dominují houby, zatímco na vápenaté bakterie (Artemjeva and Gatilova, 1973; Kula et al., 2007).

Chvostoskoci mají široké potravní spektrum, zahrnující řasy, houby, organické zbytky a mladá rostlinná pletiva. Někteří jsou dokonce masožraví se sklonem ke kanibalismu. Jsou také významnými přenašeči virových onemocnění.

Významem v půdě se podobají pancířníkům (Papáček et al., 2000). Jejich abundance se pohybuje kolem desítek tisíc jedinců na metr čtvereční. V silně poškozených půdách jsou

hodnoty podstatně nižší. Z důvodu jejich citlivosti jsou některé druhy chvostoskoků používány v půdní ekotoxikologii (např. *Folsomia candida* Willem, 1902) (Šarapatka, 2014).

3.2.2.5 Makrofauna

Gobat et al. (2004) označují jako makrofaunu živočichy delší než 4 mm a kratší než 80 mm.

- **Suchozemští stejnonožci (Oniscidea)**

Oniscidea představují tak jednu z mála skupin třídy korýšů (Crustacea), která se přizpůsobila životu mimo vodní prostředí (Bábková – Hrochová a Jongepierová, 2008). Oniscidea tvoří samostatný podřád stejnonožců (Isopoda) a zahrnuje asi 3600 druhů.

Jedná se o členovce obvykle dlouhé do 20 mm s uniformní morfologií. Dorsoventrálně zploštělé článkované tělo rozdělené do 3 částí na cephalon, perion a pleon. Je opatřené sedmi páry kráčivých podobně dlouhých nohou. Hlava nese dva páry tykadel, z nichž jeden je zakrnělý, druhý je dobře vyvinutý. Jejich exoskelet je složen především z CaCO_3 a chitinu (Jeffery et al., 2010).

Obývají především svrchní půdní vrstvy, včetně opadu rozkládající se organické hmoty a humusových vrstev. Některé druhy pronikají do hloubky minerální půdní vrstvy. Jsou obyvateli především lesních stanovišť, ale také luk a polí (Bábková – Hrochová a Jongepierová, 2008). Žijí v prostředí s vysokým stupněm relativní vlhkosti půdy. Jsou aktivními živočichy v noci z důvodu zamezení ztráty vody v důsledku odpařování (Jeffery et al., 2010).

V půdě jsou zastoupeni především suchozemští stejnonožci z čeledí svinkovití (Armadillidiidae) a stínkovití (Porcellionidae) (McGavin, 2005). Kromě funkce rozkladačů odumřelé rostlinné hmoty jsou vhodnými ekologickými a biogeografickými indikátory (Jeffery et al., 2010).

- **Měkkýši (Mollusca)**

Z kmene měkkýšů má pro utváření půdy největší význam nejpočetnější třída plžů (Gastropoda). Její zástupci žijí především v rostlinném opadu a svrchní vrstvě půdy, kde se živí tlejícími rostlinami, houbami, řasami a lišejníky. Na půdní prostředí je vázáno i jejich rozmnožování. Např. pro kladení vajíček využívají zemní jamky.

Upřednostňují vápenaté půdy, neboť vápník představuje důležitý zdroj pro stavbu jejich ulit (Šarapatka, 2014).

- **Pavoukovci (Arachnida)**

Pavoukovci jsou především suchozemští klepítkatci. Mají jednoduché oči. Jejich hlavohruď nese jeden pár chelicer, pár makadel a čtyři páry kráčivých nohou. Jsou řazeni mezi klepítkatce (Chelicerata) (Papáček et al, 2000).

Na půdu mohou být různými stupni vázané řády štírů (Scorpiones), štírků (Pseudoscorpiones), solifug (Solifugae), bičovců (Uropygi), krabovců (Amblypygi), již uvedených roztočů (Acari), pavouků (Araneae) a sekáčů (Opiliona) (McGavin, 2005). Například sklípkánci (Atypidae) hloubí svise orientované a pavučinou obtočené nory, které mohou být hlubší jak 15 cm a jsou i místem lovu kořisti.

Většina půdních pavoukoců se tedy živí jako dravci. Požirají především býložravý hmyz, jiné drobné živočichy, někteří i tlející organické zbytky (Šarapatka, 2014).

- **Stonožky (Chilopoda)**

Stonožky stejně jako mnohonožky představují samostatnou třídu stonožkovců (Myriapoda).

Mají protáhlé, dorsoventrálně zploštělé, segmentované tělo, které je členěno na hlavu a trup. Hlava nese jeden pár tykadla, jeden pár kusadel a dva páry čelistí, za nimiž jsou tzv. kusadlové nožky. Z bočních skleritů článků trupu vyrůstají kráčivé nohy, vždy po jednom páru (Voigtländer, 2011). Obvykle jsou zbarveny do hněda či žluta.

Pohlavní otvory vyúsťují na zadním konci těla. Vajíčka kladou jednotlivě nebo v hromádkách do půdy (McGavin, 2005).

V podstatě všechny stonožky se živí dravě a svou kořist loví v noci. Svou oběť paralyzují jedovatým kousnutím. Vydrží ale i dlouhá období hladu. (Voigtländer, 2011).

Žijí v rostlinném opadu, pod kameny nebo kládami, v trouchnivějícím dřevě nebo pod kůrou pařezů. Pronikají též do hlubších vrstev opadu a humusu, ale i do minerálních vrstev (Bábková – Hrochová a Jongepierová, 2008). Jejich početnost v opadu a půdě se pohybuje okolo 20 – 300 jedinců na metr čtvereční (Jeffery et al., 2010). V České republice bylo doposud lokalizováno 65 druhů a poddruhů. Mezi nejznámější a nejhojnější zástupce patří stonožka škvorová (*Lithobius forficatus* Linnaeus, 1758) dlouhá dva až čtyři centimetry či zemivka žlutavá (*Clinopodes flavidus* Koch, 1847) (Bábková – Hrochová a Jongepierová, 2008; Jeffery et al., 2010). Je pro ně typická téměř celosvětová distribuce, sezonní migrace či preference vlhkých mikrostanovišť (Voigtländer, 2011).

- **Mnohonožky (Diplopoda)**

Tito převážně půdní živočichové mají tělo na průřezu kruhové či půlkruhové, články jsou srostlé po dvou. Povrch těla pokrývá vápenatá kutikula. První článek nenesou žádné končetiny, další tři po jednom páru a všechny další vždy po dvou párech. Na rozdíl od stonožek jsou umístěné na břišní straně. Mnohonožky také mají z části srostlé čelisti (Jeffery a kol., 2010). Ústní ústrojí je kryté plochým útvarom, tzv. gnatochiláriem (Bábková – Hrochová a Jongepierová, 2008). Pohlavní orgány vyúsťují v přední části trupu.

Živí se především jako býložravci, z tohoto důvodu je jejich pohyb daleko pomalejší než u stonožek. Spásají řasy, části rostlinných tkání a podílejí na rozkladu organické hmoty (Papáček et al., 2000).

Obývají svrchní vrstvy půdy, rostlinný opad, tlející dřevní hmotu a mohou být nalézány i pod kůrou stromů. Většina druhů mnohonožek preferuje lesní stanoviště, ale osídlují i otevřené biotopy (Bábková – Hrochová a Jongepierová, 2008). Vyhledávají především vápenaté půdy.

Počet jedinců na jeden metr čtvereční odhadují Jeffery et al. (2010) mezi 15 a 800 jedinci. V České republice je doposud doložen výskyt 75 druhů mnohonožek (Bábková - Hrochová a Jongepierová, 2008).

- **Škvoři (Dermaptera)**

Škvoři mají zploštělá, protáhlá těla v délce 0,6 - 3,8 mm, obvykle hnědé barvy. Přední pár křídel je výrazně zkrácený a přeměněný v kožovité krytky. Zadní pár křídel pod ně vějířovitě skládají. Charakteristickým rysem pro škvoře je zadeček, který je ukončen silným párem pohyblivých klešťovitých přívěšků. Slouží k chytání a přidržování kořisti, obraně i rovnání křídel. Samci škvorů jej mají zakřivený, samičky rovný. Živí se všežravě.

Proměna je nedokonalá. Samička obvykle klade vajíčka do jamky v zemi. Jedná se o hmyz, u kterého se vysoce rozvinula mateřská péče (Burton and Burton, 2002).

Škvoři se vyskytují celosvětově s výjimkou arktické a antarktické oblasti (Grimaldi and Engel, 2005). Nejběžnějším zástupcem u nás je škvor obecný (*Forficula auricularia* Linnaeus, 1758), žijící v zahradách, na loukách, polích i v lese (Šarapatka, 2014).

- **Švábi (Blattodea)**

Tito oválně zploštělí živočichové obývají především tropické a subtropické oblasti a řadí se k nejstarším řádům létavého hmyzu. Jejich stáří je odhadováno na několik set

milionů let. Jsou rozšířeni celosvětově a to především z důvodu snadného zavlékání lodní dopravou.

Jejich tvar, velikost a barva je více než různorodá. Obvykle jsou však hnědí, existují ale i tropické druhy s velmi výrazným zbarvením.

Jsou považováni za dlouhodobě žijící hmyz, jehož proměna je nedokonalá. Živí se především rostlinou potravou, nepohrdnou ale ani drobnými živočichy, neboť jejich ústní ústrojí je kousací.

Zajímavé je, že volně žijící druhy (na rozdíl od synantropních) jsou aktivní v denních hodinách. Většina druhů má složené oči či očka, které nejsou dobře vyvinuté. K orientaci používají čichové receptory.

Ač mají dva páry křídel, nejsou dobrými letci. Jsou však dobrými běžci. Velmi dobře vnímají nebezpečí, které je předpovězeno otřesy a tlakovými vlnami. Jsou schopni přežít i velmi vysoké dávky radioaktivního záření.

Řád švábů má velký význam na rozpad organické hmoty (Bell et al., 2007). V ČR je známo pouze pět druhů původních a šest zavlečených (Šarapatka, 2014).

- **Všekazi (Isoptera)**

Všekazi (neboli termiti) se vyskytují výhradně mezi 50. stupněm severní i jižní šířky, tedy v tropických oblastech. Typičtí termiti jsou světlí a bezkřídlí, mají kousací ústrojí a krátká tykadla. Tento sociální hmyz vytváří v koloniích mnoho kast, které se od sebe odlišují v řadě morfologických znaků i výkonem odlišných povinností. Oči jsou zakrslé nebo chybějí. Proměna je nedokonalá. Všekazi žijí v hliněných termitištích nebo pod zemí.

Jsou jediným hmyzím řádem, jehož všechny druhy jsou schopné trávit celulózu (McGavin, 2005). Šarapatka (2014) shledává jejich význam v transportu půdy ze spodních horizontů a v promíchávání tohoto materiálu s rostlinnými zbytky. Jako negativní vliv uvádí narušování rovnováhy v okolí a napadání dřevěných staveb.

- **Kobylky (Ensifera) a sarančata (Caelifera)**

Všichni zástupci mají kousací ústrojí, kolmo skloněnou hlavu k ose těla a nápadně silný poslední pár nohou upravený ke skákání. Přední křídla jsou často vyztužená a chrání větší vějířovitá zadní křídla. Žijí na zemi a lákají partnery stridulací. Proměna je nedokonalá.

Sarančata se liší od kobylek kratšími tykadly, samice nemají kladélko a jsou býložraví. Do řádu Encifera jsou řazeni např. i cvrčci nebo krtonožky. Způsobují těžké škody na zemědělských plodinách (McGavin, 2005).

- **Brouci (Coleoptera)**

Šarapatka (2014) uvádí celkem asi 400 tisíc známých druhů brouků, z čehož kolem 6000 žije v České republice. Mezi veškerým hmyzem jsou brouci lehce rozeznatelní. Tělo je pevné, obvykle kryté silnou kutikulou. Jsou na něm dobře rozlišitelné tři části těla, avšak při pohledu shora neodpovídají běžnému členění hmyzího těla. Členění je lépe patrné zespod.

Brouci mají proměnu dokonalou, je u nich pohlavní dvoutvárnost. Z vajíčka se líhne larva, jediné rostoucí stádium, které se po proměnlivé době zakuklí. Z kukly se vyvíjí imago. Jen zřídka je vývoj složitější.

S ohledem na trofický režim lze brouky rozdělit do tří skupin. Býložravé (fytofágní) druhy, jejichž larvy i imaga se živí rostlinnými pletivy; dravé (karnivorní) druhy a všežravé (omnivoři).

S ohledem na rozsah práce jsou v následujícím textu zmíněny jen někteří představitelé tohoto početného řádu, a to z pohledu vztahu k půdnímu prostředí.

Střevlíkovití (Carabidae) jsou jednou z největších čeledí epigeických brouků. Vesměs se živí dravě a svou kořist tráví extraintestinálně. I larvy jsou velice dravé. Žijí především v zemi, hrabance a starém listí. Čeleď je zastoupena ve většině typů ekosystémů. Až na malé výjimky jsou aktivní za soumraku a v noci. V případě nebezpečí vystřikují ze zadečku silně páchnoucí sekret (Zahradník, 2008). Carabidae často slouží pro ekologické a biocenologické studie z důvodu poměrně snadného rozpoznání, známé bionomie a ekologie (Hůrka, 1996).

Další často sledovanou čeledí jsou drabčíkovití (Staphylinidae). Ti obývají velmi rozmanitá stanoviště, avšak vyžadují určitý stupeň vlhkosti (Zahradník, 2008). Oproti střevlíkům jsou drabčíci aktivní zvláště během dne. Mnoho z nich má značné migrační schopnosti (Crowson, 1981). Drabčíci jsou hospodářsky významní, především jako predátoři drobnějších druhů bezobratlých. Svižníkovití (Cicindelidae) jsou dobře přizpůsobení k dravému způsobu života. Kořist drží v kusadlech a vylučují do ní trávicí šťávy, které ji rozkládají a přeměňují v kaši. Brouk ji pak nasává. Jejich larvy žijí v půdních rourkách a jsou též dravé. Kořist vtáhnou do chodby, kde ji pozrou. V chodbě se také zakuklí.

Za zmínku stojí zástupci mrchožroutovitých (Silphidae), kteří tráví život na mršinách. Slouží tak jako určitá zdravotnická kontrola. Je pro ně typické kladení vajíček v blízkosti mršiny.

Larvy kovaříkovitých (Elateridae) brouků mají z ekologického hlediska pozitivní i negativní význam. Chodbičkami provětrávají půdu a dravé druhy požírají hmyzí škůdce. Mohou být však sami škůdci. Okusují klíčky a kořinky mladých rostlin, které z tohoto

důvodu nevzejdou nebo jsou oslabené. Také vykusují chodby v hlížkách polních rostlin a tím je znehodnocují (Zahradník, 2008).

- **Mravencovití (Formicidae)**

Mravenci jsou zástupci blanokřídlého (Hymenoptera) hmyzu, jejichž velikostní variabilita se pohybuje od 0,75 do 53 mm. V současné době je známo více než 12500 druhů. Vyskytují se kosmopolitně s výjimkou Antarktidy, Grónska, Islandu, části Polynésie a Havaje (Jeffery et al., 2010). V tropických deštných pralesích představují až 15 % celkové živočišné biomasy. Z toho vyplývá jejich preference k teplejšímu a vlhčímu prostředí.

Tento společenský hmyz žije v koloniích ve zbudovaných hnízdech – mraveništích. Kolonii tvoří desítky až milióny jedinců, kteří se dle své morfologie a funkce v hnízdě zařazují do specifických kast. Nejdůležitějším komunikačním prvkem jsou mravenčí feromony (Hölldobler a Wilson, 1997). V útrokách skrývají dva žaludky, z nichž jeden slouží k vlastnímu trávení, druhý ke sdílení potravy s ostatními. U mravenců jsou známé složité vztahy s ostatními organismy, např. chrání mšice před predátory a na oplátku se živí jejich vysoce energeticky bohatými výměšky. Jsou také využíváni k biologické ochraně proti škůdcům.

Využívají se často k monitorování ekosystémů z důvodu vysoké citlivosti ke změnám v prostředí, úzké toleranci, rychlé reakci na změnu, dlouhověkosti, systémové informovanosti, stacionárního hnízda, levného a snadného odběru (Jeffery et al., 2010).

Svou činností ovlivňují fyzikální, chemické i biologické vlastnosti půdy. Budují podzemní chodby, přičemž dochází k promíchávání půdního profilu a jeho provzdušnění. V blízkosti jejich hnízd jsou zaznamenány vyšší koncentrace výměnných kationtů i více mikroorganismů (Šarapatka, 2014).

3.2.2.6 Megafauna

Pojmem megafauna Gobat et al. (2004) označují živočichy vyskytující se v půdě, jejichž délka těla dosahuje alespoň 80 mm. Tito živočichové fungují v půdě především prostřednictvím svých doupat, nor a chodeb. Výčet organismů vázaných na půdní prostředí by byl neúplný bez těchto taxonomických jednotek, zahrnující žížaly a obratlovce.

- **Žížaly (Opisthopora)**

K pravděpodobně nejznámějším živočichům obývajících půdní prostředí patří žížaly. Tímto termínem se doposud označuje více jak 2500 popsanych druhů. Žížaly jsou rozšířeny po celém světě, nejpočetněji jsou zastoupeny v tropických a subtropických oblastech. Ve

střední Evropě se až na drobné výjimky vyskytují pouze zástupci čeledi žížalovitých (Lumbricidae).

Tělo těchto kroužkovců (Annelida) je válcovitého tvaru, jehož zadní část může být hranatá, u velkých druhů až dorsoventrálně zploštělá. Velikost je silně proměnlivá. Zástupci nejmenších žížal jsou dlouzí a širocí asi jeden centimetr, největší dosahují délky přes jeden metr a šířky čtyř centimetrů. Náš nejdelší druh *Allolobophora hrabei* obývá sprašové půdy jižní Moravy, dosahuje délky až 50 cm.

Tělní články žížal jsou na povrchu odděleny intersegmentálními rýhami, odpovídajícím septům uvnitř těla (Pižl, 2002). Povrch těla je opatřen osmi podélnými řadami krátkých, zpravidla esovitě prohnutých štětín. Ty jim pomáhají při pohybu a ukotvují je v chodbě během hrabání (Šarapatka, 2014).

Obdobně jako velikost a tvar těla je různorodé i zbarvení žížal související se způsobem života. Základní růžovité zbarvení je dáno přítomností hemoglobinu v hemolymfě. Obecně lze konstatovat trend klesajícího množství pigmentu s rostoucí hloubkou přirozeného místa výskytu v půdním profilu. Pigmenty jedince chrání před UV zářením a zároveň před predáčními tlaky (Pommeresche et al., 2010). Primárními predátory žížal jsou ptáci a krtci, dále pak rejsci, ježci, obojživelníci, plazi, stonožky či hmyz. Ač žížaly nemají uši ani oči, jsou velmi citlivé k detekci potenciálně nebezpečných vibrací (Burton and Burton, 2002). V případě přetržení jedince zde existuje schopnost zpětného obnovení zadní části těla. Podmínkou však je nepoškození mozkové uzliny a většiny orgánů v přední části těla. Potenciál dožití žížal je až 12 let, naprostá většina jedinců se však stává kořistí do dvou let (Pommeresche et al., 2010).

Bouché rozdělil v 70. letech evropské žížaly dle způsobu života do tří ekologických skupin na žížaly epigeické, endogeické a anektické (hlubinné) (viz. Příloha 6). Tyto tři kategorie jsou však umělé a je třeba je brát jako extrémy, jelikož jednotlivé druhy často vykazují přechodné znaky mezi těmito skupinami (Pižl, 2002; Šarapatka et al., 2010).

Ačkoliv jsou žížaly hermafrodité, většina druhů se kvůli rozmnožování potřebuje pářit. Naprostá většina druhů se páří pod zemí, ale například žížala obecná (*Lumbricus terrestris* Linné, 1758) se páří na povrchu půdy. Žížaly se rozmnožují po celý rok. Nejčastěji však vajíčka kladou v kokonech na jaře a počátku léta. Počet nakladených kokonů je závislý na druhu a podmínkách prostředí. Jednotlivec tak může vyprodukovat 3 – 200 kokonů za jeden rok. Nepříznivé podmínky u hlubinných druhů snižují produkci kokonů, u druhů epigeických je tomu však naopak. Kokony jako inaktivní stadia jsou vysoce odolné proti vyschnutí a např. u *Lumbricus castaneus* - Savigny, 1826 jsou stadiem, ve kterém tato žížala přežívá vysoké

letní teploty (Šarapatka et al., 2010). Při teplotě kolem 15 °C je líhnutí nejrychlejší, půda musí být vlhká, nikoli mokrá (Pommeresche et al., 2010). Produkce závisí také na kvalitě potravy. Krmě kejdou vykazovala desetkrát menší produkci kokonů, než krmě koňskou mrvou. V průměru jeden kokon obsahuje 1 – 20 vajíček, ale obvykle se vylíhne pouze jeden jedinec (Šarapatka et al., 2010).

Pro aktivitu žížal je nejdůležitějším faktorem vlhkost a teplota, jelikož 70 – 95 % jejich hmotnosti tvoří voda. Fyziologické mechanismy žížal regulující ztrátu vody jsou poměrně málo účinné. Naopak tolerance ke ztrátě vody je značná. V Evropě je pro žížaly limitující pokles půdní vlhkosti pod 20 %. Optimální teplotní rozpětí pro vývoj žížal s výskytem v ČR je 10 – 15 °C, vyšší teploty jsou vhodnější pro epigeické druhy a žížalu hnojní (*Eisenia fetida* Savigny, 1826). Žížaly mají limitovanou schopnost ochlazovat se evaporací vody z tělního povrchu. Minimální teplotní hranice pro většinu druhů je hodnota přibližující se bodu mrazu. Většina žížal je neutrofilních, řada však je k pH tolerantní. Populace žížal je ovlivněna i texturou půdy, přičemž většina druhů upřednostňuje půdy lehčí hlinité nebo hlinitopísčité. Posledním významným požadavkem na prostředí je dostatek a kvalita potravních zdrojů. Základ potravy představuje odumřelá organická hmota obvykle rostlinného původu a půdní mikroorganismy. Jelikož pohyblivost žížal není nikterak vysoká, jsou nucené žít v blízkosti těchto zdrojů. Z hlediska trofických preferencí jsou členěny na detritofágy a geofágy. Extrémním případem je kanibalismus u některých tropických druhů, jako je *Agastrodrilus dominicae* - Lavelle, 1981.

Již od dob Darwina je akceptován významný vliv žížal jak na pedogenezi, tak především na půdní strukturu, dekompozici organické hmoty a koloběh živin. V současné době jsou žížaly, dle své schopnosti přebudovat zcela půdní prostředí, označovány dokonce jako ekosystémoví či stavební inženýři. Část půdy, která je pod jejich přímým vlivem se nazývá drilosféra. Žížaly půdu ovlivňují především produkcí výkalů a tvorbou chodeb (Pižl, 2002). Všechny druhy žížal se podílí na rozkladu rostlinných zbytků, čímž zpřístupňují živiny pro rostliny a další půdní faunu. Rozklad za spoluúčasti žížal probíhá dvakrát rychleji než bez nich. V trávicím traktu žížal se promíchává organická hmota s anorganickou, čímž se stávají živiny snáze dostupné pro další organismy, další živiny se vážou do stabilních humusových forem v exkrementech. Ty jsou také významným stavebním prvkem k tvorbě půdních agregátů (Pommeresche et al., 2010). V ČR je každoročně na jeden hektar půdního povrchu uloženo okolo 45 t výkalů. Toto množství představuje vrstvu pěti milimetrů (Pižl, 2002). Pommeresche et al. (2010) uvádějí, že trávicím traktem žížal může projít na ploše jednoho hektaru až 250 t půdy ročně. Ač se jedná o živiny, již z části přebrané žížalami během jejich

průchodu zaživacím traktem, jsou i tak exkrementy na koncentraci živin bohatší než okolní půda. Přítomnost žížal v půdním prostředí zkvalitňuje pórovitost, dále také vodní a plynný režim, především v důsledku zvýšení podílů makropórů. Půdu také převrstvují, vytváří její hrudkovitost, obohacují ji o užitečné bakterie, vytváří ochrannou vrstvu před erozí a celkově zlepšují růst a produktivní výkon rostlin.

- **Obratlovci (Vertebrata)**

Poslední a poměrně významnou taxonomickou jednotkou jsou půdní obratlovci. Tato skupina živočichů se značně liší ve stupni vázanosti na půdní prostředí. Nicméně i obratlovci využívají půdu jako obydlí, k ochraně před predátory, péči o mláďata, uschování potravy, přezimování a řadě dalších funkcí. Ovšem jen někteří představují významnější zásah do půdy.

Periodické formy půdních obratlovců mají na půdu minimální vliv. Příkladem mohou být některé druhy ropuch, žab a šupinatých, které v půdě přečkávají vysoké teploty (Hendricks, 1986). Dále pak někteří ptáci, kteří si vyhrabávají dlouhé vodorovné nory na březích toku (např. ledňáček říční – *Alcedo atthis* Linnaeus, 1758) či ve strmých písčitých stěnách (viz. Příloha 7) (např. břehule říční – *Riparia riparia* Linnaeus, 1758) (Bičík et al., 2009). Větší obratlovci pomáhají formovat mikrotopografii půdní krajiny tím, že vyhrabávají chodby a nory. Půdu provrtávají a tak napomáhají zasakování atmosférických srážek. Velmi významnou funkcí je promíchávání různých vrstev půdy a její provzdušnění. Podstatný vliv má i jejich činnost spojená s hromaděním zásob a tvorbou vystlaných nor, což přispívá k obohacování půdy o organickou hmotu. Jejich výkaly a odumřelá těla představují přírodní organická hnojiva, které mohou mít i významný vliv na chemickou povahu půdy. Význam v půdním potravním řetězci není považován za podstatný (Hendricks, 1986).

Mezi nejznámější půdní obratlovce jsou řazeni především savci. Krtek obecný (*Talpa europaea* Linnaeus, 1758) je nejvýznamnější obyvatel půdy, neboť prakticky celý život tráví v podzemí a pobytu je plně přizpůsoben. V chodbách pátrá po potravě, která se skládá z hmyzu, ponrav, žížal a jiných půdních organismů. Je považován za škůdce, jelikož podhrabává a přetrhává rostlinné kořeny a tvoří nevzhledné krtince (Burnie, 2002). Jeho přítomnost však poukazuje na bujný život v půdě (Bičík et al., 2009). Hraboš polní (*Microtus arvalis* Pallas, 1778) je našim nejhojnějším hlodavcem. Pravidelně se přemnožuje a působí významné zemědělské škody (Šarapatka, 2014). Dále např. křeček polní (*Crycetus Crycetus*), sysel obecný (*Spermophilus citellus* Linnaeus, 1766), liška obecná (*Vulpes vulpes* Linnaeus, 1758), jezevec lesní (*Meles meles* Linnaeus, 1758) a mnozí další (Bičík et al., 2009).

3.2.3 Legislativa týkající se ochrany půdy

Půda je jedním z nejdůležitějších přírodních zdrojů. Bohužel v dnešní době v České republice dochází k její podstatné degradaci. Půda ztrácí svou nejdůležitější vlastnost – úrodnost. Tento jev je následkem antropogenní činnosti, která ovlivňuje půdu přímo či nepřímo. V dnešní době preferující ekonomické zájmy jednotlivce před celospolečenskými problémy se však nelze spoléhat pouze na morální odpovědnost jedince (Voltr et al., 2011).

Zemědělská a lesnická půda tvoří asi 87 % území státu (Šarapatka, 2014). Z pochopitelného důvodu se legislativní ochrana vztahuje především na zemědělce a lesníky. Ministerstvo zemědělství a Ministerstvo životního prostředí představují hlavní resorty navrhuující a schvalující tyto právní předpisy (Bičík a et al., 2009).

Půda jako základní složka životního prostředí je řešena v řadě právních předpisů. Zakotvení bychom našli od ústavního práva, přes zákony až k upřesňujícím předpisům nižší právní síly. Z normativních právních aktů je ochrana půdy ukotvena hlavně v zákoně č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu a v zákoně č. 289/1995 Sb., o lesích (Šarapatka, 2014).

Přehled některých povinných regulatorních nástrojů politiky, které jsou potenciálně signifikantní pro její ochranu, je uveden v Příloze 8. Voltr et al. (2011) uvádí vyhodnocení nástrojů politiky, které jsou určené ke snižování degradace půd na základě odborného posouzení respondentů z pracoviště VÚMOP (Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy). K regulatorním nástrojům byly přiřazeny degradační procesy. Nástroje byly hodnoceny dle účinnosti jejich vztahu ke snižování znehodnocení půdy s výsledkem, že žádná z degradací nebyla vyhodnocena jako účinně chráněná některým nástrojem. Tuto situaci je do budoucna potřeba řešit, a to z důvodu např. vzájemné degradace.

Základem ochrany půdní fauny je komplex ochrany jejich přirozeného stanoviště. Opatření by měla do budoucna zajistit ochranu biologické diverzity, která je velmi důležitá pro správné fungování půd. Odborná veřejnost diskutuje o zřízení zákona, který by se zabýval obecně půdou a její ochranou a nedělil by ji podle jejího užívání jako v případě dnešních zákonů (Němeček et al., 2010).

3.3 Vliv rozdílného zemědělského managementu na půdní faunu

Na život v zemědělské půdě má vliv především uplatňovaný systém hospodaření. Jeho faktory často způsobují negativní efekt zejména v početnosti a diverzitě a tím působí i na půdní procesy. Těmito faktory nejsou pouze xenobiotické látky, ale i např. nevhodně zvolený osevní postup či agrotechnický zásah. Z toho důvodu by se měly všechny zásahy pečlivě plánovat, neboť neuvážený zásah může narušit fungující vazby v prostředí a vyvolat tak negativní řetězovou reakci (Šarapatka et al., 2002).

3.3.1 Vývoj zemědělství

Potrava byla zajišťována formou lovu a sběru časově z více než 99 % historie lidské existence, tedy odhadem po dobu dvou milionů let (Šarapatka et al., 2010). Změna preagrárního systému lovců a sběračů na zemědělství je datována k počátku neolitu. V tuto dobu zemědělství započalo významně ovlivňovat způsob života tehdejších lidí. Změna byla tak zásadní, že bývá dokonce označována jako neolitická revoluce. Způsobila nejen usedlý způsob života lidí a výrobu nástrojů pro zemědělství a další činnosti, ale především zajištění produkce potravin a následně zvýšení počtu obyvatel.

Ovšem jak zemědělství ovlivnilo život lidí, tak i lidé ovlivnili vzhled krajiny. Rychlé vyčerpání málo úrodných půd si vynutilo získání dalších ploch pro pole. Mýcením a žďářením lesů se na jejich místech začala vytvářet kulturní step. Tento vliv na přírodu se mimo jiné projevil vytlačení původních druhů rostlin a živočichů. Uplatňovaly se domestikované druhy a současně jako důsledek zemědělské činnosti došlo i k šíření plevelů. Zemědělství se postupně zdokanalovalo a dokázalo uživit stále více lidí. Velký význam sehrála také práce Justuse von Liebega, z roku 1840, o zákonu minima a jeho poznatkách ve výživě rostlin, vedoucí k stále se zvyšujícímu používání agrochemikálií (Hůla et al., 1997).

S rostoucím počtem obyvatel planety je pochopitelný současný stav růstu používání těchto vysoko výnosných látek, bohužel však neudržitelný pro další generace. Z tohoto důvodu se zkoušejí perspektivnější způsoby zemědělského managementu. Nejedná se však o jednoduchý a rychlý proces, neboť zemědělství dle Gliessmana (1997) představuje nejen vědu a praxi, ale především umění hospodařit. Zahrnuje jak rostlinnou, tak živočišnou produkci. Hlavním rysem zemědělství je vazba na půdu a její produkční vlastnosti.

3.3.2 Konvenční versus ekologické zemědělství

Konvenční a ekologické zemědělství představují protichůdné druhy zemědělského hospodaření. Přičemž konvenční zemědělství je označováno jako tradiční, jehož hlavním cílem je zajištění vysoké produkce a tím i vyšších zisků pomocí zvyšujícího se přísunu agrochemikálií a energií. Při tomto produkčním systému však roste závislost na vyčerpatelných zdrojích a současně dochází k narušování životního prostředí a ohrožení zdraví zvířat a lidí. Princip výroby spočívá v intenzivním obdělávání, vlivu použití průmyslových hnojiv a chemických ochranných prostředků, v monokulturách, závlaze a v neposlední řadě v perspektivním genovém inženýrství (Urban a Šarapatka, 2003).

Oproti němu je ekologické zemědělství označováno za moderní způsob obhospodařování půdy bez chemických vstupů a s omezením použitých energií. Ve skutečnosti se však jedná o nejpřirozenější a nejstarší způsob obdělávání kulturní stepi. Tento produkční systém umožňuje produkovat velmi kvalitní biopotraviny, ale to na úkor jejich kvantity (Francis, 2009).

3.3.3 Vliv zpracování půdy na půdní faunu

Zpracování a kultivace půdy zahrnuje všechny mechanické zásahy do půdy, které rozhodujícím způsobem ovlivňují nejen úrodnost půdy, stabilizaci výnosů plodin a kvalitu produktů, ale i úroveň celkového zemědělství. Zpracováním půdy se ovlivňuje fyzikální stav půdy, biologická činnost i její chemismus. Vytváří se seťové a sadbové lůžko pro zakládání porostů. Kultivací se pak zlepšuje a udržuje dobrý fyzikální stav půdy v době vegetace, hubí se plevely a udržují se příznivé podmínky pro růst a vývoj plodin. Zpracováním se též ruší staré porosty (Škoda a Cholenský, 1993).

Mechanická zátěž má mimo jiné za následek udusání půdního substrátu, čímž jsou ohroženy půdní póry, které jsou životním prostředím pro mnohé živočichy. Ti jsou těmito zásahy přímo zabíjeni, zraňováni, vysušováni a ohrožováni vyššími predačními tlaky. Největší ničivý vliv na půdní faunu vykazuje zpracování půdy orbou (Stoate et al., 2001). Orba se provádí z důvodu kypření a drobení půdy, obracení půdních vrstev, míšení a zapravování rostlinných zbytků a hnojiv do půdy. Kvalitní orba se významně uplatňuje při potlačování plevelů, chorob a škůdců. Negativní dopad orby spočívá především ve snižování početnosti pancířníků, chvostoskoků a žížal vyskytujících se v půdě (Hůla et al., 1997; Starý, 2008). Orbu je vhodné provádět jen tehdy, pokud je půda dostatečně suchá. Negativní dopady

lze omezit využíváním lehčí agrotechniky, snížením tlaku v pneumatikách nebo omezením transportu přes polní plochy. Orba ničí vybudované chodby žížal, jejich kokony i dospělé. Nejhůře snáší tento proces žížala obecná (*Lumbricus terrestris*), u které se již při mírném zmírnění intenzity zpracování rapidně zvyšuje její početnost. Oproti ní jsou žížala polní (*Aporrectodea caliginosa*) a žížala růžová (*Aporrectodea rosea*) vůči orbě odolná. Nejhůře na žížaly působí rychlootáčkové a řezací stroje. Fréza dokonce v lehčích půdách snižuje populaci žížal o 60 až 70 %. Negativní dopad je však dočasný. Organická hmota, která byla zapravena frézou do půdy, je totiž dobrým zdrojem potravy (Pommeresche et al., 2010).

Existují však i skupiny, např. prvoci (Protozoa), u nichž kultivace půdy může početnost dokonce zvýšit. Děje se tak v důsledku zvýšení půdní úrodnosti (Šarapatka et al., 2002).

3.3.4 Používání hnojiv

Pro správný růst a vývoj, ale také pro ochranu plodin, je nezbytná optimální výživa. Na vlastnosti půdy má významný vliv management hnojení. Zjednodušeně, ekologické postupy upřednostňují organická hnojiva, zatímco konvenční postupy také průmyslová. Živiny jako je dusík, fosfor, draslík, vápník, hořčík, síra a další, je potřeba pro správný vývoj plodin do unavené půdy racionálně dodávat. Vývoj spotřeby hnojiv v ČR je uveden v Příloze 9.

Odlišují se od sebe, kromě obsahu množství živin, také chemickou reakcí vyvolanou jejich aplikací do půdy s efektem vyššího vychýlení pH půdy u chemicky vzniklých hnojiv. Dále průmyslová hnojiva obsahují lehce rozpustné soli, jež mohou způsobit redukci druhového složení ekosystému. Za příčinu bývá označován osmotický stres u některých skupin organismů, jako jsou hlístice (Nematoda).

Při správně prováděném hnojení byly obecně ve výzkumech plochy hnojené hnojem i průmyslovými hnojivy bohatší na počty vyskytujících se organismů, než na nehnojených plochách (Šarapatka et al., 2002)

3.3.5 Používání pesticidů

Chemické pesticidy se řadí vedle průmyslových hnojiv k intenzifikačním faktorům rostlinné výroby. Termínem jsou označovány víceméně perzistentní organické polutanty, které mají chránit rostliny a zemědělskou produkci (Stoytcheva, 2011). Běžně jsou dělené do

čtyř základních skupin na fungicidy, herbicidy, insekticidy a ostatní zoocidy (Cremllyn, 1979). Šarapatka et al. (2002) je rozdělují dle hlediska účinku na kontaktní, požeravé, respirační a systémové. Dle rozsahu působení těchto chemických látek jsou rozeznávány pesticidy selektivní a totální.

Více než 70 % produkovaných pesticidů nalézá uplatnění v zemědělské činnosti (Levine, 2007). Závislé je na používání pesticidů především konvenční zemědělství, neboť odhadované ztráty na výnosech v důsledku škůdců a chorob se pohybují okolo 35 %. Van der Wert (1996) uvádí celosvětovou spotřebu množství přípravků na ochranu rostlin okolo 2,5 mil t. V ČR tato hodnota kolísá okolo 5500 tis. kg (viz. Příloha 10). Šarapatka et al. (2002) však uvádí znepokojivý fakt, že pouhé 1 % celkové roční spotřeby pesticidů v USA zasáhne cílový organismus. To je jeden z důvodů, proč v současné době převládají názory týkající se omezování spotřeby těchto toxických látek. Nevýhoda chemických pesticidů spočívá především ve schopnosti perzistentní adsorpce v půdě, tukových tkáních a silného průniku do potravního řetězce (Levine, 2007, Stoytcheva, 2011, Němeček et al., 2010).

V ekologickém zemědělství není cílem ochrany rostlin vyhubení patogenních organismů, ale jejich regulace pomocí preventivních opatření. Alternativou klasických pesticidů mohou být přípravky na ochranu rostlin, které obsahují rostlinné extrakty s biologicky aktivními látkami obranného charakteru (Pavela, 2011)

Účinek pesticidů může být jak přímý, tak nepřímý. V řadě případů je nepřímý účinek na půdní organismy hodnocen jako větší a dlouhodobější, než přímý efekt. Souvisí především s používáním herbicidů a snížením vstupu organické hmoty do půdy. Vliv herbicidů má i vedlejší insekticidní účinky na půdní mikroflóru a následně i půdní faunu.

3.3.6 Vliv zemědělského managementu kulturní stepi na vybrané skupiny zooedafonu

Jakýkoli nevhodně zvolený zásah do půdy může představovat riziko negativního ovlivnění charakteristik života a tím ohrožení půdy samotné, neboť při vzniku a pozitivním vývoji úrodných půd má půdní fauna nezastupitelnou roli (Šarapatka et al., 2002).

3.3.6.1 Vliv zemědělského managementu na půdní roztoče – pancířníky (Oribatida)

Aplikace hnojiv na společenstva pancířníků má obdobnou tendenci míry účinků, stejně jako u většiny půdní fauny. Nejvyšší početnost těchto živočichů bývá sledována na plochách

hnojených organickými, následně průmyslovými hnojivy. Vůbec nejnižší počet vzorků bývá identifikován na půdách nehnojených.

Konkrétně použití hnoje má za následek slabý pokles jejich početnosti. To však neplatí u mikrofytofágních druhů, u kterých byl sledován opačný trend vysvětlitelný nárůstem potravních zdrojů ve formě mikroorganismů obsažených v hnoji. Naopak pravidelné hnojení kejdou vede k výrazné redukci počtu roztočů v půdě.

Ještě obtížněji se jeví publikovatelnost výsledků na zemědělských plochách obhospodařovaných prostřednictvím minerálních hnojiv. S výsledkem, že dusíkatá a fosforečná hnojiva obecně zvyšují tuto charakteristiku.

I tedy na tuto skupinu působí negativně procesy ochrany rostlin, nejrozšířeněji prováděné chemickými pesticidy. Účinek je však druhově nespecifický a je ovlivněn především chemickým složením přípravku, jeho aplikací, typem půdy a mikroklimatem. Obecně největší negativní vliv na roztoče je připisován insekticidům a až následně fungicidům a herbicidům, u kterých se jedná pouze o omezení potravních zdrojů v důsledku redukce mycelia půdních hub nebo poklesu vstupu organické hmoty do půdy (Starý, 2008).

3.3.6.2 Vliv zemědělského managementu na chvostoskoky (Collembola)

Obecně chvostoskokům nejvíce prospívá dodávání hnojiv statkovo - minerálních z důvodu preferencí vyššího obsahu organické hmoty v půdním prostředí.

Z jiného pohledu se lze ohlédnout do minulosti na vliv insekticidů na chvostoskoky. V minulosti, především v šedesátých letech minulého století, kdy se perzistentní organické polutanty (DDT) značně užívaly v zemědělství a ke kontrole malárie, aplikace těchto látek měla za následek zvýšení početnosti chvostoskoků. Vědci se dokonce domnívali, že tato skupina edafonu může DDT využívat jako vítaný zdroj potravy. Později však byla objevena potravní spojitost mezi dravými roztoči, které pesticid zasáhl, a chvostoskoky. Došlo tedy pouze k redukci predačního tlaku (Šarapatka et al, 2002; Levine, 2007).

3.3.6.3 Vliv zemědělského managementu na suchozemské stejnonožce (Oniscidea)

Početnost i druhová rozmanitost stejnonožců (Isopoda) v zemědělsky obhospodařovaných krajinách významně klesá a to zejména vlivem intenzifikačních faktorů ke zvýšení rostlinné produkce.

Příkladem může být studie provedená na stínce obecné (*Porcellio scaber* Latreille, 1804) v Libyi, kdy byla vysoká úmrtnost jedinců prokázána při aplikaci organofosfátových insekticidů a také herbicidů, nižší u karbamátových insekticidů a fungicidů. Byl u nich prokázán přímý i nepřímý negativní efekt pesticidů, související především opět se ztrátou množství dostupné potravy a kvalitního úkrytu v plevelech (Paoletti and Hassall, 1999; Bushaiba et al., 2006).

3.3.6.4 Vliv zemědělského managementu na měkkýše (Mollusca)

Měkkýši vázaní na půdní prostředí jsou obecně citliví pouze na organickou sloučeninu methiocarb. Ostatní insekticidy prakticky nemají na měkkýše vliv, protože je před těmito přípravky chrání tzv. mukózní žlázy (Boháč, 2013).

3.3.6.5 Vliv zemědělského managementu na pavoukovce (Arachnida)

Vlivem zemědělského managementu na pavoukovce se zabývali Hole et al. (2005) a další studie, které jsou v práci uvedeny. Víceméně se jedná o shodu dokládající vyšší druhovou rozmanitost na ekologicky zúrodňovaných plochách a nepříliš vyšší početnost oproti konvenčním snahám.

3.3.6.6 Vliv zemědělského managementu na stonožkovce (Myriapoda)

Berry et al. (1996) uvádějí, že stonožky nejsou příliš citlivými organismy na způsob obhospodařování zemědělské půdy. Tomuto závěru dává za pravdu i studie Blackburna and Wallace (2001), ale pouze po kvalitativní stránce. Forma zemědělského managementu neměla větší vliv na druhovou skladbu, její bohatost ani diverzitu. Negativní efekt konvenčního zemědělství se však projevil ve snížené hustotě stonožek oproti plochám udržovaných ekologicky. Tato skutečnost byla vysvětlena vysokou citlivostí k insekticidům, projevující se zvýšenou úmrtností a nemocností v důsledku poklesu bezobratlé kořisti.

Obdobně ekologický přístup zemědělství prospívá i mnohonožkám (Boháč, 2013).

3.3.6.7 Vliv zemědělského managementu na brouky (Coleoptera)

Zhodnocení obecného vlivu zemědělského managementu na brouky je prakticky nemožné z důvodu příliš vysoké druhové bohatosti této skupiny hmyzu. Z tohoto důvodu se pro studie využívají především brouci dvou čeledí (drabčíkovití a střevlíkovití), i když ani u nich není výsledek jednoznačný. Porovnání ekologického a konvenčního zemědělství se ve

své práci zabýval Hole et al. (2005). Pozoroval významně vyšší početnost drabčků v polích hnojených výhradně organickým hnojem oproti plochám, které byly ošetřovány různými dávkami NPK. Nicméně uvádí i výsledky jiných výzkumů, které prokazují nižší hustotu a bohatost druhů v ekologicky spravovaných plochách.

Déle Hole et al. (2005) shrnuje studie vlivu na střevlíkovité, přičemž mnohé se shodují na nárůstu množství jedinců i druhové bohatosti v ekologických systémech. V práci je však také uvedeno mnoho studií, které tento výsledek anulují.

Prozatím tedy existují dva závěry, které hodnotí vliv managementu na čeledi, buď jako nepodstatný, nebo neporovnatelný vlivem rozdílných celkových vlivů stanovišť.

3.3.6.8 Vliv zemědělského managementu na mravence (Formicidae)

Vztahem výživy rostlin a mravenců se zabývala švédská studie Pihlgrena et al (2010), která byla zaměřena mimo jiné na hnojené a nehnojené plochy. Výsledkem bylo nalezení mnohem méně druhů mravenců na hnojených plochách. Výjimku tvořil pouze druh mravenec obecný (*Lasius niger* Linnaeus, 1758). Důvodem nižší druhové bohatosti je preference nezastíněné a teplejší půdy. O tyto podmínky je však ochuzuje mohutnější vzrůst rostlin podpořený hnojivem (Pihlgren et al., 2010)

Negativní vliv špatného vápnění na mravence publikovali Kula et al. (2007). Zasažením ploch dochází u rodu *Formica* k narušení vodního režimu, dýchání, zhoršení pohyblivosti a orientace, snížení akčního rádia, zvýšení úmrtnosti i např. agresivity.

Doložen je i negativní vliv pesticidů. Například neonikotinoidy ovlivňují interakce původního a invazního druhu mravenců na Novém Zélandě. Při studii nedošlo k zasažení potravních vztahů, ale k změnám chování v případě setkání. Zasažení jedinci původního druhu byli méně agresivní oproti kontrolní skupině. U invazních mravenců byla pozorována až sebevražedná úroveň agresivity. V porovnání nezasaženého invazního mravence a zasaženého domácího by jasně dominoval invazní druh (Barbieri et al., 2013).

3.3.6.9 Vliv zemědělského managementu na žížaly (Opisthopora)

Prospěšný vliv přítomnosti žížal v půdním prostředí je nezpochybnitelný. Aby se těmito živočichům, kteří akumulují pouze jedno procento z požité potravy, v půdě dařilo, je

třeba do půdy dodávat organická hnojiva a zařazovat jetelotravní směsi či zelené hnojení do osevního postupu (Pommeresche et al., 2010; Boháč, 2013).

Šarapatka et al. (2002) uvádějí zvýšení populace žížal až čtyřnásobně v hnojených plochách organickými hnojivy ve srovnání s nehnojenými pozemky. Dvakrát vyšší hustota populace byla zjištěna při použití hnoje oproti poměrně vysokým dávkám průmyslových hnojiv. Nejnižší početnost vykazovala nehnojená pole. Tomuto výsledku dává za pravdu i Pommeresche et al. (2010). Ti hodnotí hnůj jako nejlepší hnojivo, které má pozitivní vliv na podstatné zvýšení počtu jedinců v půdě přibližně do jednoho roku. Naopak jako nebezpečné hnojivo pro žížaly považují kravskou kejdu, pokud je aplikována ve značných množstvích. Ta totiž může způsobit ucpaní pórů s následkem udušení nebo otrav žížal. Toxicita kejdy je způsobena vysokým obsahem amoniaku, kyseliny benzoové a sulfidu sodného a závisí především na půdních podmínkách.

Negativní vliv na žížaly má i nízké pH půdy, které ovlivňuje plodnost či abundanci. Vlivem acidity se také výrazně snižuje druhová diverzita společenstva. Obecně je tento stav považován za stresový a vyvolává zmnožení epidermálních buněk vylučujících sliz.

Vápněním půdy dochází k podpoře migrace, reprodukce, ke snížení mortality a zvýšení jejich početnosti (Kula et al., 2007).

Vliv zařazení jetelotravní směsi do osevního postupu na početnost a biomasu v konvenčním a ekologickém zemědělském systému hospodaření je uveden v Příloze 11 a Příloze 12. Výsledkem norské studie Pommeresche et al. (2010) jsou prokazatelně vyšší hodnoty obou charakteristik na plochách ekologického osevního postupu u obilnin se zařazením jetelotravních směsí oproti konvenčnímu pěstitelskému systému obilnin s bramborem se čtyřletou rotací.

Žížaly poskytují klíčové funkce půdě. Tato služba však může být degradována intenzivními zemědělskými postupy. Ačkoli jsou pesticidy před schválením k použití testovány právě na žížalách, stávají se pro ně snadno nebezpečnými i jako pro necílové organismy. Účinky jsou sledovány ve všech úrovních organizace a mezi nejběžnější se řadí např. narušení enzymatické aktivity, zvýšení individuální úmrtnosti, snížení plodnosti, růstu, hustoty a celkové biomasy, změny v chování, potravních vztazích a další. I přes množství provedených výzkumů nelze výsledky zobecnit, neboť existují značné rozdíly v citlivosti v rámci všech třech ekologických skupin, v rámci druhů i organizačních úrovní. Závěry

znemožňuje stanovit také odlišné složení a dávky použitých pesticidů, druhy půdy, zeměpisné a klimatické podmínky. Nicméně nejzávažnější toxické účinky byly prokázány u aplikace insekticidů v kombinaci s fungicidy (Pelosi et al., 2014). Toto potvrzuje i laboratorní studie Ahmeda (2013) na žížale obecné (*Lumbricus terrestris*) v délce trvání čtyř týdnů. Při použití insekticidu Cyren, fungicidu Ridomil a herbicidů Triplen a Mamba byla míra negativních účinků těchto skupin pesticidů uvedena v obdobném pořadí.

3.3.7 Vliv různých způsobů managementu trvalých travních porostů na půdní faunu

Trvalé travní porosty jsou nedílnou součástí kulturní krajiny České republiky a představují v současnosti necelých 23 % území. Z hlediska biologického i hospodářského se jedná o mimořádně různorodou skupinu biotopů (Salaš et al., 2012). Trvalé travní porosty je třeba chápat jako biotop druhotně bezlesý, jenž by se bez obhospodařování člověkem samovolně přeměnil v lesní porost.

Travní společenstva se z hlediska systému využívání dělí na louky a pastviny. Pro luční porosty je charakteristické několikrát do roka jednorázové kosení nebo sečení nadzemní rostlinné biomasy, která se následně z pozemku odstraní. Louka tedy v porovnání s pastvinou zůstává po většinu roku bez výraznějších zásahů, což umožňuje rostlinám i živočichům dokončit svůj vývoj. Porost je díky tomu vyšší a rovnoměrněji narostlý. Oproti tomu k odstraňování rostlinné hmoty na pastvinách dochází průběžně během celého vegetačního období. Při pastvě dochází sešlapem k narušování vegetace, zhutnění půdy a návratu živin do půdy ve formě exkrementů zvířat (Šarapatka a kol., 2010). Trvalé travní porosty lze tedy udržovat třemi způsoby - pastvou, sečením a mulčováním. Pastva byla hlavním faktorem, který utvářel evropskou přírodu (Mládek et al., 2006). Je považována za nejstarší způsob využívání pastvin, nejlacinější a nejpřirozenější způsob krmení hospodářských zvířat, přičemž postoj k prospěšnosti či škodlivosti pastvy na prostředí se značně měnil. Dvěma základními způsoby obhospodařování je rotační či kontinuální a intenzivní či extenzivní pastva (Novák, 2008). Mulčování se jeví jako alternativní způsob udržování porostu, při kterém je strojově oddělena většina nadzemní biomasy. Ta je následně rozdrčena a rozhozena zpět na strniště (Mládek et al., 2006).

Pastva i seč mají za následek ovlivnění abundance, diverzity i distribuce půdních živočichů. Děje se tak přímo, prostřednictvím změny vlhkosti a teploty stanoviště v důsledku nižšího vegetačního pokryvu, ale i nepřímo. Okus, sešlapání a vracení živin ve formě

exkrementů do půdy vyvolává změnu druhového složení vegetace. Od té se následně odvíjí bohatost druhů a početnost půdních organismů. Obdobný vliv má i seč v důsledku ochuzování půdy o sklizené živiny (Marriott et al., 2009). Každá pastva či seč představuje destrukční zásah pro živočichy, který se projevuje zejména ve strukturních vazbách a potravních závislostech. Narůstá taktéž predční tlak v důsledku částečné ztráty vegetačního krytu. Dopad způsobu obhospodařování trvalých travních porostů se zvyšuje s nevhodným termínem a intenzitou těchto úkonů.

Půdní živočichové citlivě reagují na změny půdního prostředí, a proto rychle zaznamenají modifikaci ve změně zemědělského managementu. Obecně Mládek et al. (2006) konstatuje, že sečení nemá tak negativní vliv na půdní organismy, jako příliš intenzivní pastva spojená s narušováním půdních vrstev a sešlapáváním. Negativní dopady pastvy shrnuje v utužování půdy, zmenšování rostlinného opadu, následném poklesu organické hmoty pro přítomný zooedafon. Nicméně nepovažuje pastevní hospodaření jako striktně negativní faktor. Upřednostňuje extenzivní pastvu před intenzivní pastvou i příliš častým sečením.

Hlava et al. (2013) zjistili při výzkumu členovců ve třech různých systémech řízení v lokalitě severní Moravy, nejvyšší počet druhů v systémech bez sklizně biomasy. Nejvyšší počet odchycených jedinců byl zaznamenán na intenzivně obhospodařovaných stanovištích a nejnižší dokonce v organických systémech. Tento trend byl zaznamenán např. u skupiny chvostokoků (*Collembola*). Obecně extenzivní pastva v průměru zvyšuje biodiverzitu půdní mikrofauny až dvakrát (Bardgett and Cook, 1998).

V porovnání sečného a pastevního managementu v Bílých Karpatech byla vyšší početnost pancířníků (*Oribatida*) sledována na loukách. Na pastvinách tyto roztoči vykazovali nižší hustotu heliofilních a xerofilních druhů, ale vyšší hustotu druhů k nestabilním podmínkám a druhů preferujících hlubší půdní vrstvy. U suchozemských stejnonožců a mnohonožek byla zjištěna preference sečených luk, která zvýšila jejich druhovou bohatost. Obdobně druhově rozmanitější společenstva byla zaznamenána u skupiny žížalovitých. V důsledku pastvy u nich byly eliminovány povrchové druhy. Intenzivní pastva snížila abundanci i celkovou biomasu, nicméně se vyskytla vyšší početnost hlubinných žížal, které využívají exkrementy skotu jako zdroj potravy (Mládek et al., 2006; Bábková - Hrochová a Jongepierová., 2008).

4 Závěr

Cíl bakalářské práce na téma Půdní fauna a její ovlivnění různými formami zemědělského managementu spočíval v poskytnutí podrobného a uceleného pohledu na půdní faunu ve vztahu k půdnímu prostředí. Dále si práce kladla za úkol objasnit současný stav legislativy týkající se ochrany půdy a neodmyslitelně přítomného života v ní. Druhá část práce přinesla porovnání vlivů různých forem zemědělského hospodaření na půdní faunu.

Shrnutím literatury bylo konstatováno, že zemědělská činnost má významný vliv na společenstva půdní fauny. Člověk odebírá ze zemědělských ploch značnou část produkce, která by se po ponechání na poli, louce i pastvině rozložila a vrátila do půdy živiny a energii. Tyto ztráty živin je nutné nahrazovat agrotechnickými zásahy a používáním hnojiv. Bez těchto zásahů by půda ztratila svou nejdůležitější vlastnost - úrodnost. Ve snaze zvýšit výnos plodin se však používají zvláště intenzifikační prostředky, např. průmyslová hnojiva a pesticidy. Ty však mohou ovlivňovat či ohrožovat půdní organismy, které mají pro zdravý vývoj půdy nezastupitelný význam. Nejen, že působí jako půdotvorní činitelé, ale také rozkládají organické látky, zpřístupňují živiny rostlinám, zlepšují fyzikální vlastnosti půdy a uplatňují se i při procesu mineralizace a humifikace. Dále představují významnou složku potravního řetězce.

Obecně půdní živočichové lépe prospívají na ekologicky obhospodařovaných plochách a ani pastva nemusí působit jako negativní faktor, zejména pokud je prováděna extenzivně. Nenásledování těchto doporučení může mít negativní vliv zvláště na abundanci a diverzitu půdní fauny a tím i vliv na její funkce v půdě.

Při zpracování problematiky jsem získala mnoho poznatků z oblasti půdní fauny a faktorů, které ji významnou mírou ovlivňují. Varovně by měla být vnímána již nižší početnost všech skupin půdních organismů, než je pro správně fungování a udržení zdravé půdy nezbytná. Z tohoto důvodu je třeba pečlivě zvažovat všechny zásahy do půdy, neboť nevhodně prováděné zásahy mohou odstartovat negativní řetězovou reakci, končící destrukcí ekologických vazeb a tím i půdního života. Pro zvýšení půdní abundance a diverzity je třeba zavést legislativní opatření, která by půdní faunu a její životní prostředí účinněji ochraňovala. Dále hledat alternativní metody hospodaření a v rámci společnosti přijmout nezbytné kompromisy ke vztahu k půdě. Jen tak budeme schopni postupně snížit či dokonce eliminovat následky hospodaření spojeného s naší obživou.

5 Seznam použité literatury

Anon. 2010. The factory of life: Why soil biodiversity is so important. Publications office of the European Union. Luxembourg. 22 p. ISBN: 978-92-79-14998-6.

Ahmed, S. T. 2013. The impact of four pesticides on the earthworm *Lumbricus terrestris* (Annelida; Oligochaeta). International journal of current research and review, 5 (21). 1 - 5.

Allison, F. E. 1973. Soil organic matter and its role in crop production. Elsevier scientific publisher company. Amsterdam. 637 p. ISBN: 0-444-41017-1.

Artemjeva, T. I, Gatilova, F. G. 1973. Soil microfauna changes under the influence of various fertilizers. In: Vaněk J. 1975. Progress in soil zoology: Proceedings of the 5th international colloquium on soil zoology. 17. 463 - 468.

Bábková - Hrochová, M. Jongepierová, I. (ed.). 2008. Louky Bílých Karpat: Grasslands of the White Carpathian Mountains. ZO ČSOP Bílé Karpaty. Veselý nad Moravou. 461 s. ISBN: 978-80-903444-6-4.

Barbieri, R. F., Lester, P. J., Miller, A. S., Ryan, K. G. 2013. A neurotoxic pesticide changes the outcome of aggressive interactions between native and invasive ants. Proceedings of the royal society B. 280 (1772). 1 - 7.

Bardgett, R. D. 2005. The biology of soil: a community and ecosystem approach. Oxford university press. Oxford. 242 p. ISBN: 0-19-852503-6.

Bardgett, R. D., Cook, R. 1998. Functional aspects of soil animal diversity in agricultural grasslands. Applied Soil Ecology. 10 (3). 263 - 276 .

Barron, G. L. 1981. Predators and parassites of microscopic animals. Biology of conidial fungi. 2 (20). 167 - 200.

Bell, W. J., Roth, L. M., Nalepa, CH. A, Wilson, E. O. 2007. Cockroaches: Ecology, behavior, and natural history. JHU Press. Baltimore. 230 p. ISBN: 0-8018-8616-3.

Berry, N. A., Wratenn, S. D., Mcerlich, A., Frampton, C. 1996. Abundance and diversity of beneficial arthropods in conventional and organic carrot crops in New Zealand. New Zealand journal of crop and horticultural science. 24 (4). 307 - 313.

- Bičík, I., Budňáková, M., Čermík, P., Čtyroká, J., Dreslerová, D., Fiala, P., Hauptman, I., Janderková, J., Jech, K., Kender, J., Kopp, J., Kubík, L., Kukul, Z., Matějů, L., Němec, J., Němec, J., Novák, P., Pošmourný, K., Rejšek, K., Penížek, V., Petrů, K., Sářka, M., Sedláček, J., Šefrna, L., Vácha, R., Vašků, Z., Zimová, M., 2009. Půda v České republice, Consult. Praha. 255 s. ISBN: 80-903482-4-6.
- Binns, E. S. 1981. Fungus gnats (Diptera: Mycetophylidae, Sciaridae) and the role of mycophagy in soil: a review. *Revue d'écologie et biologie du soil*. 18 (2). 77 - 90.
- Blackburn, J., Wallace, A. 2001. Comparative abundance of centipedes on organic and conventional farms, and its possible relation to declines in farmland bird populations. *Basic and Applied Ecology*. 2 (4). 373 – 381.
- Boháč, J. 2013. Biologie ochrany přírody pro agroekology. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. České Budějovice. 110 s.
- Burnie, D. 2002. *Zvíře: Obrazová encyklopedie živočichů všech kontinentů*. Knižní klub. Praha. 624 s. ISBN:80-242-0862-8.
- Burton, M., Burton, R. 2002. *International wildlife encyclopedia*. Marshall Cavendish. USA. 864 p. ISBN: 0-7614-7266-5.
- Bushaiba, S. S., Mohamed, A. I., Nair G. A. 2006. Impact of chemical pesticides on survival and feeding rate of the woodlouse *Porcellio scaber* (Isopoda, Oniscidea) in Benghazi, Libya. *Journal of applied. Science*. 8 (2). 43 - 50.
- Cantwell, G. E., Cantelo, W. W. 1984. Effectiveness of *Bacillus thuringiensis var. israelensis* in controlling a sciarid fly, *Lycoriella mali*, in mushroom compost. *Journal of Economic Entomology*. 77 (2). 473.
- Coleman, D. C., Crossley, D. A., Hendrix, P. F. Jr. 2004. *Fundamentals of soil ecology*, second edition. Elsevier academic press. London. 386 p. ISBN: 0-12-179726-0.
- Cremlyn, R. 1979. *Pesticides: Preparation and mode of action*. JohnWiley & Sons. Chichester. 250 p. ISBN: 0471276693.
- Crowson, R. A. 1981. *The biology of the Coleoptera*. Academic Press. London. 802 p. ISBN: 0121960501.

- Devetter, M. 2010. Akvatická fauna v půdním prostředí – jak ji pozorovat?. Živa. 60 (2). 94 - 96.
- Dunger, W. 1964. Tiere im boden. Ziemser Verlag. Wittenberg/Lutherstadt. 265 s. ISBN: 978-3894324247.
- Duvigeaud, P. 1988. Ekologická syntéza. Academia. Praha. 414 s. ISBN 21-054-88.
- Francis, CH. A. 2009. Organic Farming: The ecological system. Agronomy monograph 54. USA. 353 p. ISBN: 978-0-89118-173-6.
- Gliessman, S. R. 1997. Agroecology: Ecological processes in sustainable agriculture. CRC Press. Florida. 357 p. ISBN: 1-57504-043-3.
- Gobat, J. M., Arango, M., Matthey, W. 2004. The living soil: Fundamentals of soil science and soil biology. Science Pub Inc. USA. 602 p. ISBN: 1-57808-210-2.
- Griffits, B. S., Wood, S., Cheshire, M. V. 1989. Mineralisation of ¹⁴C labelled plant material by *Porcelio scaber* (Crustacea, Isopoda). Pedobiologia. 33 (7). 355 - 360.
- Grimaldi, D., Engel, M S. 2005. Evolution of the insects. Cambridge University Press. New York. 762 p. ISBN: 0-521-82149-5.
- Gunnarson, T., Rundgren, S. 1986. Nematode infestation and hatching failure of lumbricid cocoons in acidified and polluten soils. Pedobiologia. 28 (3). 165 - 173.
- Hanzák, J., Halík, L., Mikulová, M., Moucha, J., Zahradník, J. 1973a. Světem zvířat V. Bezobratlí I. Albatros. Praha. 324 s.
- Hanzák, J., Halík, L., Mikulová, M., Moucha, J., Zahradník, J. 1973b. Světem zvířat V. Bezobratlí I. Albatros. Praha. 452 s.
- Hausmann, K., Hülsmann, N., Machemer, H., Mulisch, M., Steinbruck, G. 1996. Protozoology. Georg Thieme Verlag. Stuttgart. 338. ISBN: 0865775710.
- Hendricks, D. M. 1986. Arizona soils. University of Arizona. Arizona. 244 p. ISBN: 978-0-9329-1302-9.

- Hlava, J., Krupauerová, A., Barták, M. 2013. Arthropod diversity in agrosystems under different management. *Scientia agriculturae bohemica*. 44 (2). 85 - 89.
- Hole, D. G., Perkins, A. J., Wilson, J. D., Alexander, I. H., Grice, P. V., Evans, A. D. 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation*. 122 (1). 113 - 130.
- Hölldobler, B., Wilson, E. O. 1997. *Cesta k mravencům*. Academia. Praha. 198 s. ISBN: 80-200-0612-5.
- Hůla, J., Abrahám, Z., Bauer, F. 1997. *Zpracování půdy, Brázda*, Praha. 144 s. ISBN: 80-209-0265-1.
- Hůrka, K. 1996. *Carabidae of the Czech and Slovak Republics [illustrated key]*. Kabourek. Zlín. 565 p. ISBN: 80-901466-2-7.
- Jeffery, S., Gardi, C., Jones, A., Montanarella, L., Marino, L., Miko, L., Ritz, K., Pérès, G. Römbke, J., van der Putten, W. H. 2010. *European atlas of soil biodiversity*. Publications office of the European Union. Luxembourg. 128 p. ISBN: 978-92-79-15806-3.
- Kratochvíl, J. 1936. Třetí příspěvek k poznání půdní zvířeny: metamorfosa Lycoriid z půd lesních = Troisième notice à la connaissance de la faune du sol : métamorphose de quelques Lycoriides du sol des fôrets. *VŠZ*. Brno. 23 s.
- Křišťůfek, V., Elhottová, D., Frouz, J., Šustr, V. 2000. *Interakce půdních mikroorganismů, bezobratlých a kořenů rostlin*. Ústav půdní biologie AV ČR. České Budějovice. 156 s. ISBN: 80-902020-7-1.
- Kroutilíková, D., Sokolová, J. 1985. *Mikrobiologie a parazitologie*. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 226 s.
- Kutílek, M. 2012. *Půda planety Země*. Dokořán. Praha. 199 s. ISBN: 978-80-7363-212-0.
- Laška, V., Mikula, J., Tuf, I. H. 2008. Jak hluboko žijí půdní bezobratlí? *Živa*. 58 (4). 169 - 171.
- Laštůvka, Z., Gaisler, J., Krejčová, P., Pelikán, J. 1996. *Zoologie pro zemědělce a lesníky*. Konvoj. Brno. 266 s. ISBN: 80-85615-50-9.
- Laštůvka, Z., Krejčová, P. 2000. *Ekologie*. Konvoj. Brno. 184 s. ISBN: 80-85615-93-2.

- Lavelle, P., Spain, A. V. 2003. Soil ecology. Kluwer academic publishers. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow. 654 p. ISBN: 0-306-48162-6.
- Lebeda, A., Mazáková, J., Táborský, V. 2006. Protozoa a Chromista – Taxonomie, biologie a hospodářský význam. Česká fytopatologická společnost. Praha. 92 s. ISBN: 80-903545-1-3.
- Levine, M. J. 2007. Pesticides: A toxic time bomb in our midst. Praeger. London. 264 p. ISBN: 0-275-99127-X.
- Lišková, M., Čerevková, A. 2011. Nematodes of the Slovak Republic: (free-living, plant and insect nematode species). Veda. Bratislava. 183 p. ISBN: 9788022411677.
- Losos, B., Gulička, J., Lellák, J., Pelikán, J. 1984. Ekologie živočichů. Státní pedagogické nakladatelství. Praha. 320 s. ISBN: 14-174-85.
- Marriott, C. A., Hood, K., Fisher, J. M., Pakeman, R. J. 2009. Long-term impacts of extensive grazing and abandonment on the species composition, richness, diversity and productivity of agricultural grassland. Agriculture, ecosystems & environment. 134 (3-4). 190 - 200.
- McGavin, G. C. 2005. Hmyz – pavoukovci a jiní suchozemští členovci. Knižní klub. Praha. 255 s. ISBN: 80-2421341-0.
- Miko, L. 1993. Úvod do půdní biologie - Biologická olympiáda 1993 - 1994, přípravný text pro kategorie A, B. Institut dětí a mládeže MŠMT ČR. Praha. 65 s. ISBN 80-85105-67-5.
- Mládek, J., Pavlů, V., Hejcman, M., Gaisler, J. 2006. Pastva jako prostředek údržby trvalých travních porostů v chráněných územích. VÚRV. Praha. 104 s. ISBN: 80-86555-76-3.
- Němeček, J., Vácha, R., Podlešáková, E. 2010. Hodnocení kontaminace půd v ČR. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha. 148 s. ISBN: 978-80-87361-16-0.
- Novák, J. 2008. Pásienky, lúky a trávničky. Patria. Prievidza. 708 s. ISBN: 987-80-85674-23-1.
- Novák, V., Káš, V., Nosek, J. 1959. Živěna půdní (edafon). Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 287 s. ISBN: 80-6314-602-1.

- Paoletti, M. G., Hassall, M. 1999. Woodlice (Isopoda: Oniscidea): their potential for assessing sustainability and use as bioindicators. *Agriculture, ecosystems and environment*. 74 (1 - 3). 157 - 165.
- Papáček, M., Matěnová, V., Matěna, J., Soldán, T. 2000. *Zoologie*. Scientia - pedagogické nakladatelství. Praha. 286 s. ISBN: 80-7183-203-0.
- Pavela, R. 2011. *Botanické pesticidy*. Kurent. České Budějovice. 128 s. ISBN: 978-80-87111-26-0.
- Pelosi, C., Barot, S., Capowiez, Y., Hedde, M., Vandenbulcke, F. 2014. Pesticides and earthworms. A review. *Agronomy for sustainable development*. 34 (1). 199 - 228.
- Pihlgren, A., Lenoir, L., Dahms, H. 2010. Ant and plant species richness in relation to grazing, fertilisation and topography. *Journal of nature conservation*. 18 (2). 118 - 125.
- Pižl, V. 2002. *Žížaly České republiky: Earthworms of the Czech Republic*. Přírodovědný klub v Uh. Hradišti. Uherské Hradiště. 154 s. ISBN: 80-86485-04-8.
- Plaster, E. 2013. *Soil science and management*. Cengage learning. Delmar. 544 p. ISBN: 0-8400-2432-0.
- Pommeresche, R., Hansen, S., Løes, A., K. 2010. *Žížaly a jejich význam pro zlepšování kvality půdy*. Bioinstitut. Olomouc. 23 s. ISBN 978-80-87371-02-2.
- Rangaswami, G., Bagyaraj, D. J. 2004. *Agricultural microbiology*. Prentice - Hall of India. New Delhi. 442 p. ISBN: 81-203-0668-6.
- Salaš, P., Hlušek, J., Hora, P., Chalupová, P., Jandák., Janků, L., Kislínger, J., Klučáková, M., Knotová, D., Kohut, M., Laštůvka, Z., Litschmann, Š., Lošák, M., Lošák, T., Mokvičková, J., Pekař, M., Pelikán, J., Raab, S., Rožnovský, J., Salaš, P., Salašová, A., Sasková, H., Semanová, I., Straka, J., Straková, H., Ševčíková, M., Vymyslický, T., 2012. *Opatření vedoucí k zamezení biologické degradace půd a zvyšování biodiverzity v suchých oblastech ČR*. Mendelova univerzita v Brně. Brno. 104 s. ISBN: 978-80-7375-585-0.
- Smrž, J., Horáček, I., Švátora, M. 2004. *Biologie živočichů*. Fortuna. Praha. 207 s. ISBN: 80-7168-909-2.

- Stoate, C., Boatman, N. D., Barralho, R. J., Rio Carvalho, C., de Snoo, G. R., Eden, P. 2001. Ecological impacts of agrable intensification in Europe. *Journal of environmental management*. 63 (4). 337 - 365.
- Stoytcheva, M. 2011. Pesticides in the modern world - risks and benefits. Intech. Croatia 572 p. ISBN: 978-953-307-458-0.
- Šarapatka, B. 2014. Pedologie a ochrana půdy. Univerzita Palackého v Olomouci. Olomouc. 232 s. ISBN: 978-80-244-3736-1.
- Šarapatka, B., Abrahámová, M., Čížková, S., Dotlačil, L., Hluchý, J., Kuras, T., Laštůvka, Z., Lososová, Z., Pokorný, E., Pokorný, J., Pokorný, R., Salašová, A., Tkadlec, E., Tuf, I., Vácha, M., Zámečník, V., Zeidler, M., Žalud, Z. 2010. Agroekologie: východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření. Bioinstitut. Olomouc. 440 s. ISBN: 978-80-87371-10-7.
- Šarapatka, B., Dlapa, P., Bedrna, Z. 2002. Kvalita a degradace půdy. Univerzita Palackého v Olomouci. Olomouc. 246 s. ISBN: 80-244-0584-9.
- Škoda, V., Cholenský, J. 1993. Konvenční a perspektivní zpracování a kultivace půdy. Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství České republiky. Praha. 64 s. ISBN: 80-7105-048-2.
- Tomášek, M. 2007. Půdy České republiky. Česká geologická služba. Praha. 67 s. ISBN: 978-80-7075-688-1.
- Urban, J., Šarapatka, B. 2003. Ekologické zemědělství: učebnice pro školy i praxi. Ministerstvo životního prostředí ČR. Praha. 280 s. ISBN: 80-721-2274-6.
- Vačkář, D. 2005. Ukazatele změn biodiverzity. Academia. Praha. 300 s. ISBN: 80-200-1386-5.
- Van der Werf, H. M. G. 1996. Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agriculture, ecosystem and environment*. 60 (2 - 3). 81 - 96.
- Voigtländer, K. 2011. Chilopoda – ecology. *The Myriapoda: Treatise on zoology – anatomy, taxonomy, biology*. 1 (15). 309 - 325.

Voltr, J., Bartolová, J., Brtnický, M., Donešová, O., Froněk, P., Honz, J., Hlavsa, T., Hruška, M., Rhel, T., Kohut, M., Křen, J., Kubát, J., Kučera, J., Lang, J., Leština, J., Lipavský, J., Míša, P., Novák, P., Podešvová, J., Pokorný, E., Rožnovský, J., Štolbová, M., Šařec, O., Šavec, P., Trantinová, M., Vigner, J., Vilhelm, V., Voltr, V., Vopravil, J. 2011. Hodnocení půdy v podmínkách ochrany životního prostředí. Ústav zemědělské ekonomiky a informací. Praha. 480 s. ISBN: 978-80-86671-86-4.

Wall, D. H., Bardgett, R. D., Behan-Pelletier, V., Herrick, J. E., Jones, T. H., Ritz, K., Six, J., Strong, D. R., Van der Putten, W. H. 2012. Soil ecology and ecosystem services. Oxford University Press. United Kingdom. 424 p. ISBN: 978-0-19-957592-3.

Wallwork, J. A. 1970. Ecology of soil animals. McGraw - Hill. London. 283 p. ISBN: 0070941254.

Zahradník, J. 2008. Brouci. Aventinum. Praha. 288 s. ISBN: 978-80-96858-43-2.

5.1 Elektronické zdroje

Kula, E. Půdní a epigeická fauna stanovišť ovlivněných vápněním a její dynamika. [online]. Lesy České republiky. Hradec Králové. Červen 2007. [cit. 2016-03-01]. Dostupné z <http://www.lesy.cz/odborne-rady/granty-a-dotace/Documents/pudnifauna.pdf>

Kulovaná, E. Vliv zpracování půdy na půdní strukturu. [online]. Úroda.cz. 26. září 2001a. [cit. 2015-09-10]. Dostupné z <http://uroda.cz/vliv-zpracovani-pudy-na-pudni-strukturu/>

Kulovaná, E. Produkční a mimoprodukční funkce půdy a její ochrana. [online]. Úroda.cz. 8. ledna 2001b. [cit. 2015-09-13]. Dostupné z <http://uroda.cz/produkni-a-mimoprodukni-funkce-pudy-a-jeji-ochrana/>

Starý, J. Pancířníci (Araci: Oribatida) Šumavy a Krkonoš. [online]. 2008. [cit. 2015-11-26]. Dostupné z www.infodatasys.cz/biodivkrsu/reserseOribatida.pdf

Vrba, V., Huleš, L. Humus - půda - rostlina (2) Humus a půda. [online]. Biom.cz. 14. listopadu 2006. [cit. 2016-03-11]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>

<http://eagri.cz/public/web/mze/ministerstvo-zemedelstvi/>

<https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=ZEM11&verze=-1&zo=N&z=T&f=TABULKA&nahled=N&sp=N&filtr=G%7EF M%7EF Z%7EF R%7EF P%7E S%7E null null &katalog=30840&str=v49>

6 Seznam příloh

Příloha 1: Průměrné objemové složení minerálních půd.

Příloha 2: Podíl neživých a živých složek v organickém podílu půdy.

Příloha 3: Průměrné počty jedinců edafonu a jejich hmotnost na 1m² půdy do hloubky 30 cm.

Příloha 4: Schéma látkového koloběhu v půdě.

Příloha 5: Procentuální podíl velikostních složek organismů na edafonu.

Příloha 6: Charakteristika ekologických skupin žížal.

Příloha 7: Hnízda břehulí v opuštěném hliníku.

Příloha 8: Přehled regulačních nástrojů politiky a jejich míra na snížení degradace půdy.

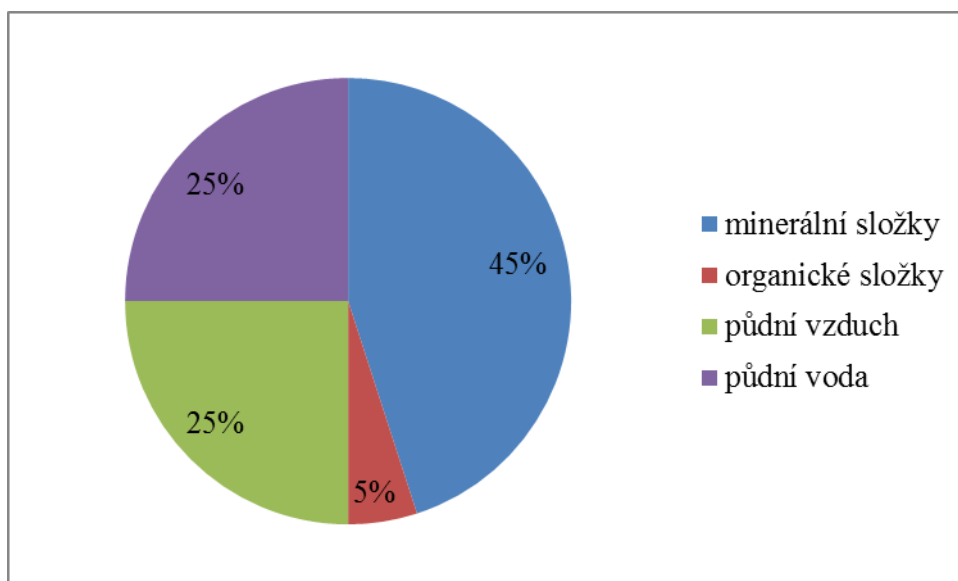
Příloha 9: Spotřeba hnojiv v kg/ha obhospodařované zemědělské půdy.

Příloha 10: Vývoj spotřeby přípravků na ochranu rostlin v ČR [tis. kg účinných látek].

Příloha 11: Populační hustota žížal v různých pěstebních systémech.

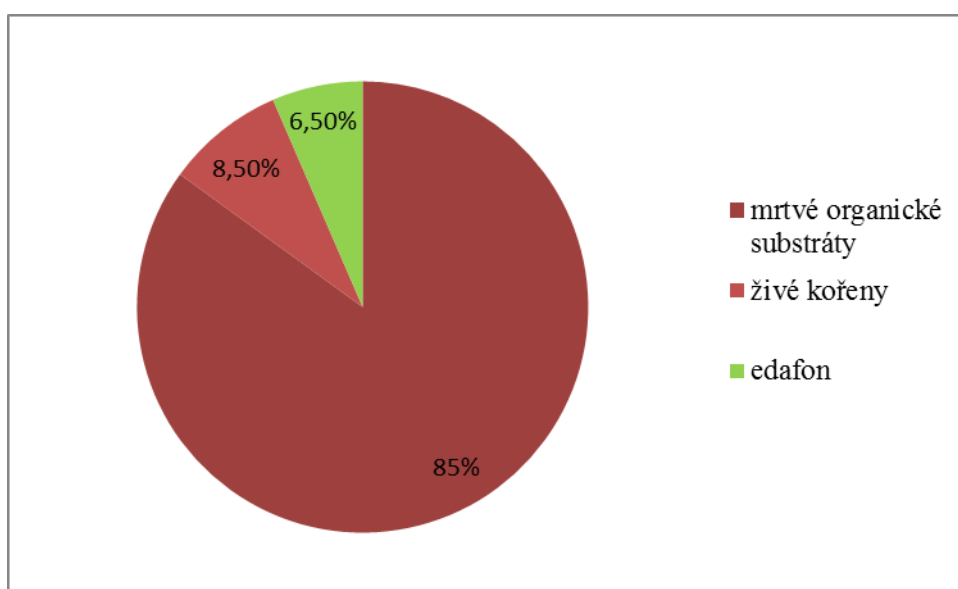
Příloha 12: Biomasa žížal v různých pěstebních systémech.

Příloha 1: Průměrné objemové složení minerálních půd.



(Zdroj informací: Plaster, 2013)

Příloha 2: Podíl živých a neživých složek na organickém podílu půdy.



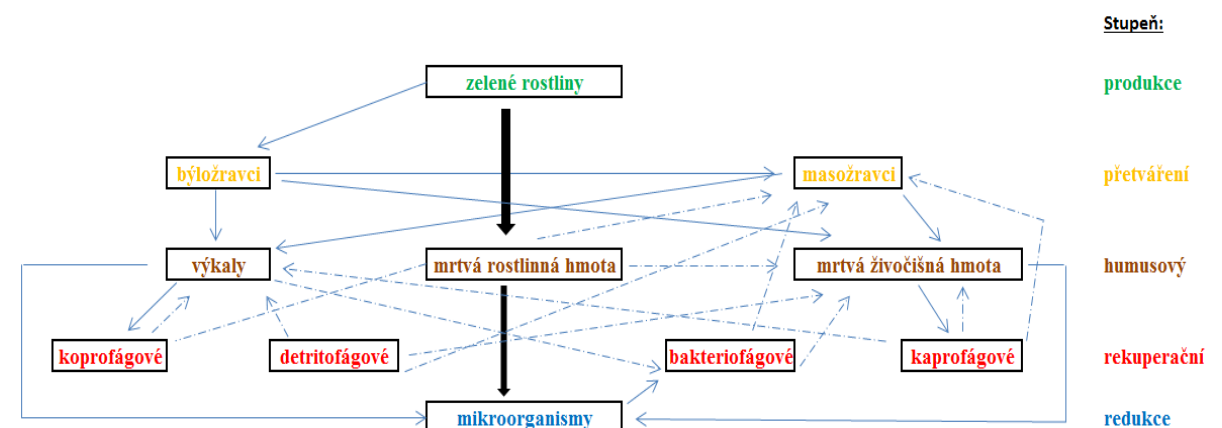
(Zdroj: Losos et al., 1984; upraveno)

Příloha 3: Průměrné počty jedinců edafonu a jejich hmotnost na 1m² půdy do hloubky 30 cm.

Skupiny	Jedinci		Hmotnost v g	
	průměr	optimum	průměr	optimum
Bakterie	1 bil.	1 000 bil.	50,0	500,0
Aktinomycety	10 000 mil.	10 bil.	50,0	500,0
Houby	1 000 mil.	1 bil.	100,0	1000,0
Řasy	1 mil.	10 000 mil.	1,0	15,0
Bičíkovci	0,5 bil.	1 bil.		
Měňavky	0,1 bil.	0,5 bil.	10,0	100,0
Nálevníci	1 mil.	100 mil.		
Vířníci	25000,0	600000,0	0,0	0,3
Hlístice	1000000,0	25000000,0	1,0	20,0
Roztoči	100000,0	400000,0	1,0	10,0
Chvostoskoci	50000,0	400000,0	0,6	10,0
Plži	50,0	1000,0	1,0	30,0
Pavoukovci	50,0	200,0	0,2	1,0
Stejnonožci	50,0	200,0	0,5	1,5
Mnohonožky	150,0	500,0	4,0	8,0
Stonožky	50,0	300,0	0,4	2,0
Brouci	100,0	600,0	1,5	20,0
Další hmyz	150,0	15000,0	1,0	15,0
Žížaly	80,0	800,0	40,0	400,0
Obratlovci	0,0	0,1	0,1	10,0

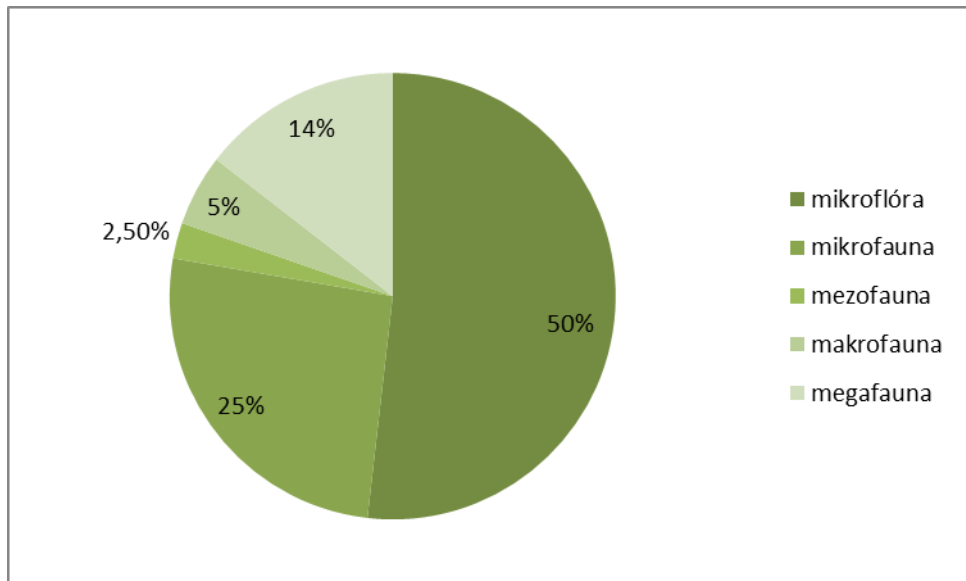
(Zdroj: Šarapatka, 2014; upraveno)

Příloha 4: Schéma látkového koloběhu v půdě.



(Zdroj: Losos, 1984; upraveno)

Příloha 5: Procentuální podíl velikostních složek organismů na edafonu.



(Zdroj: Losos et al., 1984; upraveno)

Příloha 6: Charakteristika ekologických skupin žížal.

Charakteristika:	Druhy:		
	epigeické	endogeické	anektické
výskyt	povrch půdy	svrchní vrstvy půdy	hlubší vrstvy půdy
pigmentace	výrazná, často na dorsální i ventrální části těla	žádná či velmi slabá	střední až výrazná, většinou pouze na přední části těla
potrava	málo rozložené organické zbytky na povrchu půdy	organická hmota promíchaná s minerální půdou	organické zbytky na povrchu půdy, které jsou před pohlcením deponovány v chodbě
velikost	malé až středně velké	středně velké	velké
počet kokonů	velký	střední	malý
počet mlád'at z kokonu	velký	střední	většinou jedno
délka života	krátká	střední	dlouhá
přežívání sucha	v kokonech	v quiescenci	v diapauze
predační tlak	velký	střední	relativně malý
pohyblivost	rychlý pohyb jako reakce na podráždění	pomalé	rychlé zatažení do chodeb, ale pomalejší než epigeické
chodby	žádné, či pouze v několika svrchních cm půdy	podpovrchové, horizontální, často bez spojení s povrchem půdy, neudržované	rozsáhlé systémy vertikálních i horizontálních chodeb, často až k mateční hornině, otevřené na povrch, udržované

(Zdroj: Pižl, 2002, Šarapatka et al., 2010; upraveno)

Příloha 7: Hnízda břehulí v opuštěném hliníku.



(Zdroj: Bičík et al., 2009)

Příloha 8: Přehled regulatorních nástrojů politiky a jejich míra na snížení degradace půdy.

Nástroj politiky	Předpis/nařízení	ztráta ZPF	Eroze vodní	Eroze větrná	Snížení Cox	Utužení	Snížení biodiverzity	Kontaminace	Sesuvy, záplavy	Zasolení
Zákon o ochraně ZPF	334/1992 Sb.	2	1	1	0	1	0	3	1	0
Vyhláška MŽP o ochraně ZPF	13/1994 Sb.	2	1	1	0	1	0	3	0	0
Nitrátová směrnice	103/2003 Sb.	0	2	0	0	0	0	0	1	0
Vodní zákon	254/2001 Sb.	0	1	0	0	0	1	1	1	1
Zákon o ochraně přírody a krajiny	114/1992 Sb.	1	1	1	0	0	0	0	1	0
Zákon o životním prostředí	17/1992 Sb.	1	1	1	1	1	1	2	1	0
Zákon o hnojivech	156/1998 Sb.	0	1	0	0	0	1	1	0	1
Kalová směrnice	SMR 3	0	0	0	0	0	0	3	0	0
Stavební zákon	183/2006 Sb.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zákon o úpravě vlastnických vztahů k půdě	354/2004 Sb. 272/2005 Sb.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zákon o lesích	289/2005 Sb.	0	1	0	0	0	0	0	1	0
Zákon o pozemkových úpravách	139/2002 Sb.	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Legenda:

0 - nástroj degradaci neřeší; 1 - nástroj degradaci okrajově řeší; 2 - nástroj je částečně zaměřen na degradaci; 3 - nástroj je hlavně zaměřen na degradaci;

(Zdroj: Voltr et al., 2011; upraveno)

Příloha 9: Spotřeba hnojiv v kg / ha obhospodařované zemědělské půdy.

Hospodářský rok	Minerální hnojiva	z toho			Vápenatá hnojiva
		dusíkatá	fosforečná	draselná	
2010 / 2011	108	85	14	9	65
2011 / 2012	113	88	15	10	94
2012 / 2013	122	94	17	11	111
2013 / 2014	128	97	18	12	124

Hospodářský rok	Statková hnojiva	z toho				Organická hnojiva	Organominerální hnojiva
		hnůj	kejda	močůvka	ostatní		
2010 / 2011	5025	2808	1247	662	309	363	68
2011 / 2012	4851	2707	1147	634	363	476	53
2012 / 2013	4874	2655	1165	607	447	741	53
2013 / 2014	4751	2562	1094	600	495	1354	47

(Zdroj: <https://vdb.czso.cz/vdbvo2>; upraveno)

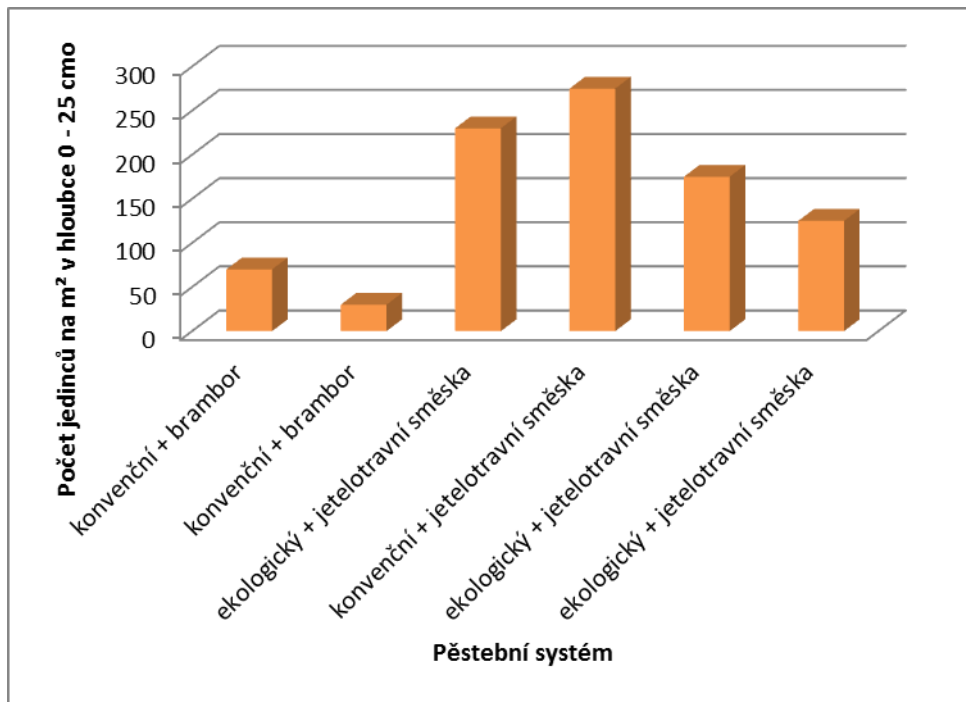
Příloha 10: Vývoj spotřeby přípravků na ochranu rostlin v ČR [tis. kg účinných látek].

Rok	Zoocidy, mořidla	Herbicidy, desikanty	Fungicidy, mořidla	Regulátory růstu	Rodenticidy	Ostatní*
2010	211,823	2 768,226	1 256,277	711,872	6,073	216,857
2011	236,212	2 823,736	1 351,621	891,199	5,200	287,302
2012	275,760	2 873,327	1 366,461	871,719	8,481	322,584
2013	268,232	2 613,213	1 514,222	748,714	3,778	371,669

* Ostatní - pomocné látky, repelenty, minerální oleje aj.

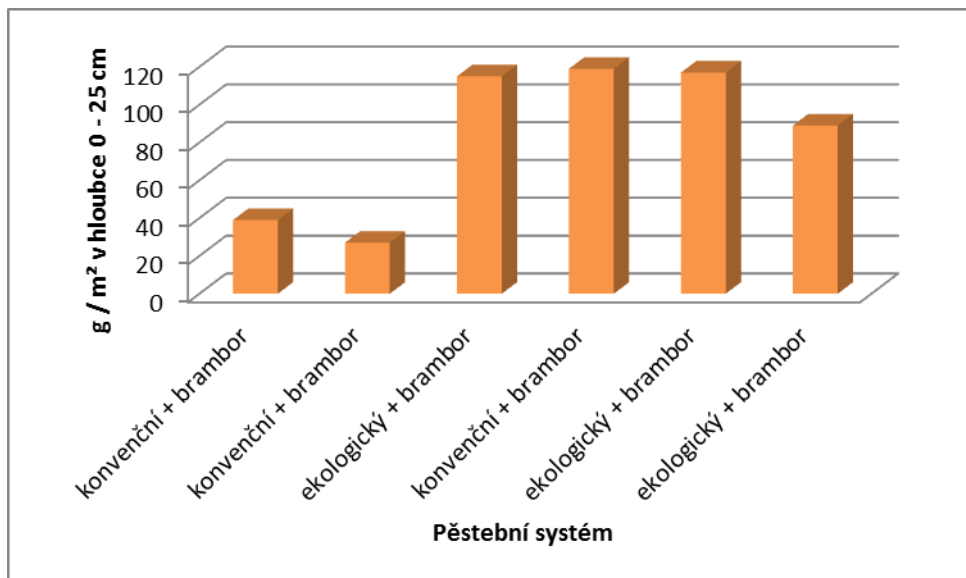
(Zdroj: MZe - <http://eagri.cz/public/web/mze/ministerstvo-zemedelstvi/>; upraveno)

Příloha 11: Populační hustota žižal v různých pěstebních systémech.



(Zdroj: Pommeresche et al., 2010; upraveno)

Příloha 12: Biomasa žižal v různých pěstebních systémech.



(Zdroj: Pommeresche et al., 2010; upraveno)