

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zoologie a rybářství



Výskyt a dynamika půdní fauny na pastvinách

Bakalářská práce

Autor práce: Tereza Vlčková

Obor studia: Živočišná produkce

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

© 2018 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Výskyt a dynamika půdní fauny na pastvinách" 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 19.4.2018

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Jakubu Hlavovi, Ph.D. za veškerou poskytnutou výpomoc, konzultace a za odborné vedení v průběhu celého zpracování bakalářské práce.

Výskyt a dynamika půdní fauny na pastvinách

Souhrn

Tato bakalářská práce se zabývá půdní faunou, jejím výskytem a dynamikou na pastvinách. Blíže se zaměřuje na pancířníky, jakožto mezihostitele tasemnic, které přinášejí komplikace v chovech hospodářských zvířat, zejména v chovech malých přežvýkavců.

Kapitoly literární rešerše pojednávají o půdě a jejích komponentech, především pak o její živé organické složce zastoupené mikroflórou a zooedafonem. Práce se podrobněji věnuje půdním organismům zooedafonu, charakterizuje jejich anatomii, způsob života, potravu a výskyt v půdě. Dále objasňuje význam půdní biodiverzity a půdních členovců jako bioindikátorů kvality půdy.

Cílem praktické části je zhodnocení výskytu půdní fauny ve výběhu ovcí a koz. Pastvina, na které byl výzkum prováděn, je součástí Demonstrační a pokusné stáje České zemědělské univerzity v Praze. Monitoring byl realizován po celý rok od března 2017 do března 2018 pravidelným odběrem vzorků půdy tak, aby byla analyzována celá plocha pastviny. Následně byly vzorky uloženy do Berlese-Tullgrenových extraktorů, z nichž byly organismy separovány a analyzovány v laboratoři pod optickým mikroskopem. Na základě výsledků byla určena dynamika výskytu jednotlivých druhů, což vypovídá o vztahu půdní fauny k měnícím se podmínkám prostředí. Pro každý měsíc byla pomocí Simpsonova indexu vyjádřena druhová diverzita. Dle jednotlivých druhů a počtu jedinců byl pro každý měsíc vypočten index kvality půdy neboli QBS index (soil biological quality index). Díky počtu pancířníků v půdě lze usuzovat přímou souvislost s nákazou zvířat tasemnicemi.

Klíčová slova: půda, fytoedafon, zooedafon, pancířníci, imunologie, chov, biodiverzita, kvalita půdy

Occurrence and dynamics of soil fauna in pastures

Summary

This bachelor thesis deals with soil fauna, its occurrence and dynamics in pastures. The thesis focuses more closely on oribatid mites as interceptors of tapeworms, which can cause complications especially in the breeding of small ruminants.

The chapters of introduction deals with the soil and its components, especially its living parts represented by the microflora and the edaphon. In particular, the thesis focuses on the valuable soil organisms, characterizes their anatomy, life strategies, food preferences and occurrence in the soil. The thesis further clarifies the importance of soil biodiversity and soil arthropods as bioindicators of soil quality.

The aim of the practical part was to evaluate the occurrence of soil fauna in sheep and goat pastures. The research was carried out on the pasture is a part of the Demonstration and Experimental Stables of the Czech University of Life Sciences in Prague. The monitoring was carried out throughout the year from March 2017 to March 2018 by regular sampling of the soil so that the whole grazing area was analysed. Then the samples were put in Berlese-Tullgren extractors from and the organisms were separated and analysed in a laboratory under a binocular microscope. Based on the results, the dynamics of the occurrence of each species was determined, which reflects the relation of the soil fauna to the changing environmental conditions. For each month, the species diversity was calculated using the Simpson index. By individual species and number of individuals, the soil biologic quality (QBS) index was calculated for each month. Due to the number of oribatids in the soil, a direct connection with the contagious animals can be considered.

Keywords: soil, phytoedafon, zooedaphon, Oribatida, immunology, breeding, biodiversity, soil quality

Obsah

Obsah	6
1 Úvod	8
2 Cíl práce	9
3 Literární rešerše	10
3.1 Půda a její komponenty	10
3.2 Půda a její komponenty	11
3.2.1 Minerální částice	11
3.2.2 Organická hmota	12
3.2.2.1 Rostlinné a živočišné zbytky	12
3.2.2.2 Žijící systémy	12
3.2.3 Voda	13
3.2.4 Plyny	13
3.3 Mikrobiální flóra v půdě	13
3.3.1 Prokaryota	15
3.3.2 Aktinomycety	16
3.3.3 Řasy	16
3.3.4 Houby	17
3.4 Půdní fauna	18
3.4.1 Mikrofauna	20
3.4.1.1 Flagelátní prvoci	21
3.4.1.2 Nazí amébní prvoci	21
3.4.1.3 Amébní prvoci se schránkou	21
3.4.1.4 Ciliátní prvoci	21
3.4.2 Mesofauna	22
3.4.2.1 Vířníci (Rotifera)	22
3.4.2.2 Hlístice (Nematoda)	22
3.4.2.3 Želvušky (Tardigrada)	23
3.4.2.4 Chvostokoci (Collembola)	25
3.4.2.5 Roztoči (Acari)	27
3.4.2.6 Pancířníci (Oribatida)	28
3.4.2.7 Sametkovci (Prostigmata)	31
3.4.2.8 Čmelíkovci (Mesostigmata)	32

3.4.2.9	Zákožkovci (Astigmata)	32
3.4.2.10	Hmyzenky (Protura)	33
3.4.2.11	Vidličnatky (Diplura)	33
3.4.2.12	Stonožky (Symphyla)	34
3.4.3	Makrofauna	34
3.4.3.1	Stejnonožci (Isopoda)	35
3.4.3.2	Mnohonožky (Diplopoda)	35
3.4.3.3	Stonožky (Chilopoda)	36
3.4.3.4	Pavouci (Araneae)	36
3.4.3.5	Termiti (Isoptera)	37
3.4.3.6	Blanokřídlí (Hymenoptera)	38
3.4.3.7	Polokřídlí (Hemiptera)	39
3.4.3.8	Dvoukřídlí (Diptera)	39
3.4.3.9	Brouci (Coleoptera)	40
3.4.4	Megafauna	41
3.4.4.1	Žížaly	41
4	Význam půdních členovců pro posuzování stavu a kvality půdy	43
5	Materiál a metody	45
5.1	Popis lokality odběru	45
5.2	Index biodiverzity	46
5.3	Biologický index kvality půdy (QBS index)	46
5.4	Odběr vzorků půdní fauny	48
5.5	Extrakce vzorků půdní fauny	48
5.6	Analýza půdní fauny	49
6	Výsledky	51
7	Diskuze	59
8	Závěr	61
9	Seznam literatury	62
9.1	Internetové zdroje	67
10	Seznam příloh	68

1 Úvod

Využívání půdy člověkem má dlouhou historii. Půda je nedílnou součástí života lidí, a to především od příchodu zemědělství před více než 10 000 lety př. n. l. Civilizace se tak postupem času stala na půdě závislá jako na zdroji živin. Půda stojí na počátku vzniku veškerých potravin. Plodiny, které se na ní pěstují, jsou konzumovány přímo lidmi, nebo jsou zkrmovány hospodářskými zvířaty.

Obhospodařování půdy ovšem s sebou přineslo i velký zásah do ekosystémů a životního prostředí. Půda je jakýmsi jedinečným organismem. Vzniká z fyzikálních, chemických a biologických interakcí mezi minerály, organickou hmotou a atmosférou. Půda se tak skládá z variabilní kombinace čtyř klíčových složek: minerálů, organické hmoty, vody a vzduchu. Organickou složku pak zastupuje odumřelá organická hmota a žijící organismy. Tato biota je zapojena do tvorby půdy a je adaptována k životu v ní. Když se podíváme na půdní systém jako na prostředí pro organismy, musíme si uvědomit, že je důležité chápat půdu jako uspořádaný a živý celek. Koloběh a vzájemná závislost suchozemské vegetace, živočichů, půdy, atmosféry a hydrosféry je složitá a význam půdní bioty není často doceňován. Je důležité, aby veškerá ochrana biodiverzity v ekosystému dbala i na udržování bohatosti půdních druhů.

Půda je ale také zdrojem mnoha parazitů, kteří bývají velmi závažnou komplikací v chovu hospodářských zvířat. Zhoršují jejich zdravotní stav, welfare a mohou dokonce způsobit i úhyn zvířat, což má dopad i na celkovou ekonomiku chovu. Pro chov drobných přežvýkavců jsou zejména rizikové tasemnice rodu *Moniezia*, kterým jako mezihostitelé slouží pancířníci (Acari: Oribatida), nejpočetnější půdní roztoči. Dobrý management chovu a povědomí o těchto cizopasnících mohou předcházet závažným následkům při nákaze zvířat.

2 Cíl práce

Cílem práce je zhodnotit výskyt a sezónní dynamiku půdní fauny ve venkovním výběhu hospodářských zvířat. Práce se blíže zabývá pancířníky (Oribatida), kteří jsou mezihostitelé hospodářsky významných parazitů. Výsledky počtů těchto půdních roztočů mohou být později využity pro výzkum zaměřený na nákazu zvířat chovaných na této pastvině a dány do souvislosti s intenzitou infekce. Výskyt jednotlivých druhů na daném území lze také porovnat s informacemi uvedenými v literární rešerši.

Záměrem práce je také poskytnout ucelené informace o půdní fauně a vyhodnotit stav půdy a druhovou diverzitu na dané lokalitě. Tyto poznatky mohou být eventuálně dále využity při řešení této problematiky.

3 Literární rešerše

3.1 Půda a její komponenty

Půda je živým systémem tvořící velmi tenkou vnější vrstvu zemské kůry (Van Breeman and Buurman, 2002) a důležitou součást ekosystému (Tajovský, 2015). Vyvábí se z jejího mateřského materiálu, tj. z pevných hornin a sedimentů spolupůsobením rostlin, mikroorganismů, půdních živočichů, vody a vzduchu (Van Breeman and Buurman, 2002). Půda je základem života pro rostlinné a živočišné organismy. Probíhá zde koloběh a transformace látek (Kulovaná, 2001). Půda má v biogeochemickém cyklu vody, uhlíku, dusíku a dalších prvků dominantní úlohu. Ovlivňuje tak chemické složení a míru obratu látek v atmosféře a hydrosféře (Van Breeman and Buurman, 2002). Dále v ní probíhá výměna tepelné energie mezi zemí a ovzduším a infiltrace vody (Kulovaná, 2001).

Kromě toho, že půda slouží jako podklad pro růst rostlin (Van Breeman and Buurman, 2002), její vlastnosti také významně ovlivňují půdní biotu. Tyto vlastnosti jsou výsledkem kombinací půdotvorných faktorů, které vedou k vývoji různých typů půd (Bardgett, 2005). Utváření půdy se týká změn vlastností půdy s časem, kdy obsah určitých složek buď klesá, nebo se zvyšuje. Většinou jsou takové změny velmi pomalé a vlastnosti půdy, které se mění během její tvorby, jsou relativně stabilní (Van Breeman and Buurman, 2002).

Půdní profil se skládá z vrstev (horizontů), z nichž nejvýznamnější jsou ty blíže k povrchu půdy, kde žije většina mikrobů a živočichů a kde se soustřeďuje kořenový růst a koloběh živin. Tyto horizonty se označují jako povrchový organický horizont, který se rozvíjí při rozkládání organické hmoty a vytváří tak vrstvu humusu. Další vrstvou je minerální horizont, který se skládá převážně z minerálního materiálu částečně promíchaného s látkami získanými z organického horizontu nad ním (Bardgett, 2005).

Půdní ekologové se také zabývají povrchovou padankou ležící přímo na povrchu půdy. Tato vrstva je často přehlížena, nebo dokonce při odběru půdy zlikvidována, avšak je to pravděpodobně nejvíce biologicky aktivní a funkčně důležitá oblast půdního profilu (Bardgett, 2005).

Typická půda tvoří zhruba 50 % pevných částic a 50 % pórů a vody. Velikost a rozložení pórovitých prostorů závisí na velikosti a tvaru minerálních částic, stejně jako na aktivitě půdních organismů. Půda s převahou jílu bude mít obvykle velmi malé

prostory pórů. Naopak písčité půda bude mít tendenci k vytváření mnohem větších prostorů, protože písková zrna mají více nepravidelný tvar a nejsou tak kompaktní. Prostory pórů jsou dále rozděleny na mikropóry (do 0,06 mm) a makropóry (nad 0,06 mm). Makropóry umožňují pohyb vzduchu a vody velmi snadno, zatímco mikropóry tento pohyb téměř znemožňují (Vittum, 2009).

Protože půda má vysokou tepelnou kapacitu a nízkou tepelnou vodivost, jsou v ní teplotní výkyvy silně ukládány, což znamená, že amplituda denních a sezónních teplotních rozdílů výrazně klesá s hloubkou půdy. Teplota má velmi výrazné účinky, kterými působí na proces tvorby půdy. Působí na aktivitu a rozmanitost živých organismů, na rychlost chemických reakcí, na fyzikální zvětrávání hornin a na distribuci jemných a hrubých frakcí (Van Breeman and Buurman, 2002).

3.2 Půda a její komponenty

Běžně se půda skládá z pevných, kapalných a plynných složek (Waksman, 1961). Tyto složky pak mohou být rozděleny do čtyř skupin na:

3.2.1 Minerální částice

Minerální částice se navzájem liší ve velikosti a stupni jejich mechanického a chemického rozpadu (Waksman, 1961). Tyto pevné složky tvoří většinu půdní matrice. Minerální horizont se skládá se z jílu (0,002 mm v průměru), sedimentu (0,002 – 0,05 mm), písku (0,05 – 2 mm) a částic šterku (≥ 2 mm). Podíl různých rozměrů částic a struktura půdy do značné míry určují fyzikální vlastnosti a vzhled půdy a také její schopnost dodávat rostlinám živiny. Struktura půdy má také vliv na populaci půdních živočichů a na jejich adaptace k životu v ní (Vittum, 2009).

V půdě je množství prvků ve formě solí, které získávají rostliny skrze jejich kořeny. Tyto prvky se často klasifikují jako esenciální či stopové. Do skupiny esenciálních prvků se řadí síra, fosfor, draslík, vápník, hořčík, železo, mangan a sodík. Druhá skupina zahrnuje zinek, molybden, kadmium, chlor, hliník, bor, měď, křemík a další. Při přeměně těchto prvků v půdě hrají mikroorganismy zásadní roli, ačkoli často jejich vliv na různé prvky je pouze nepřímý (Waksman, 1961).

3.2.2 Organická hmota

Půdní organická hmota je obecný termín zahrnující žijící a odumřelé mikroorganismy, rostliny a živočichy. Je obrovskou rezervou několika živin. Skládá se obvykle z 50 % uhlíku, 39 % kyslíku, 5 % dusíku, 5 % vodíku, 0,5 % fosforu a 0,5 % síry (Eash et al., 2015). Organická hmota půdy reguluje několik atributů zvyšující produktivitu rostlin a kvalitu životního prostředí. Rozkladem organické hmoty se uvolňuje oxid uhličitý a živiny, které mohou být rostlinami lépe získávány (Eash et al., 2015). Frouz (2010) uvádí, že množství oxidu uhličitého uvolněného z půdy je asi desetkrát větší než množství oxidu uhličitého, který vzniká spalováním fosilních paliv. Rychlost rozkladu se u různých materiálů výrazně liší. Za příznivých podmínek (mírné až vysoké teploty, dostatečná vlhkost, kyslík a živiny) se jemné kořeny, opadané listí s vysokým obsahem živin, houby a bakterie mohou během roka téměř úplně rozložit (Van Breeman and Buurman, 2002).

Více než 90% půdních organických látek se obvykle skládá z humusu, silně rozloženého rostlinného a živočišného materiálu, který byl přeměněn na tmavě zbarvenou, částečně aromatickou, kyselou a hydrofilní látku (Van Breeman and Buurman, 2002). Zásadní funkcí této složky je schopnost absorbovat větší množství vody, díky čemuž se výrazně zvyšuje vodní retenční kapacita půdy. Aktivita půdní fauny podporuje tvorbu pórů a agregátů, což vede ke zlepšení struktury půdy, filtrace vody a snižuje se tak půdní eroze (Eash et al., 2015).

3.2.2.1 Rostlinné a živočišné zbytky

Zahrnují odpad rostlinných pletiv, ale i odumřelé zbytky hmyzu a dalších živočichů v různém stupni rozkladu (Eash et al., 2015). Některé z těchto materiálů jsou z velké části nerozloženy, jiné jsou rozloženy pouze částečně, nebo naopak tak důkladně, že nelze rozeznat původní stavbu konkrétní rostlinné či živočišné části (Waksman, 1961). Rozložené zbytky rostlin a živočichů tvoří humus, který dává půdě vysokou úrodnost a tmavou barvu. Zastává zhruba 60 – 80 % půdní organické hmoty (Eash et al., 2015).

3.2.2.2 Žijící systémy

Do této skupiny patří živé kořeny vyšších rostlin a velké množství různých forem živočichů, zejména prvoků, hmyzu, žížal a hlodavců. Dále do této skupiny řadíme také houby, řasy, aktinomycety a bakterie (Waksman, 1961). Rostliny mohou sloužit jako

potrava či místo výskytu pro půdní faunu. V této souvislosti je důležitý nejen kvantitativní vývoj vegetace, ale také určité druhy rostlin (Frouz, 2013). Půdní biota tvoří jeden z nejvíce biologicky rozmanitých, ale špatně známých subekosystémů na zemi (Van Breeman and Buurman, 2002).

3.2.3 Voda

Voda je kapalnou fází půdy zahrnující jak volnou, tak hydrofobickou vodu. V roztoku obsahuje různé koncentrace organických solí a sloučenin (Waksman, 1961). Významnou roli hraje při transportu látek do kořenů rostlin (Vrba a Huleš, 2006). Voda se společně s rozpuštěnými nerosty hromadí v pórech a pohybuje se vertikálně přes půdní profil. Tento pohyb je umožněn, pokud povrchový vstup vody (např. déšť nebo zavlažování) přesahuje množství, než takové, které je schopna pohltit vegetace. Voda se nejlépe pohybuje skrze půdu, která má dobře propojené makropóry. Vzhledem k tomu, že voda přemísťuje vzduch v pórovitých prostorech, potom půdy nasycené vodou jen těžko udržují atmosférické plyny, které jsou rozhodující pro růst rostlin (Vittum, 2009).

3.2.4 Plyny

Půdní atmosféra se skládá z oxidu uhličitého, kyslíku, dusíku a mnoho dalších plynů v nízkých koncentracích (Waksman, 1961). Koncentrace čpavku stoupá při mineralizaci organické hmoty. Půdní vzduch společně s vodou vytvářejí stálou součást půdy vyplňující póry (Vrba a Huleš, 2006). Teplota, relativní vlhkost, povrchová struktura půdy a kontinuita pórů ovlivňují difúzi plynů v půdě (Vittum, 2009).

3.3 Mikrobiální flóra v půdě

Půdní mikroorganismy označujeme jako mikroflóru či fytoedafon. Řadíme mezi ně bakterie, aktinomycey, houby a řasy. Půdu obývají velké počty těchto mikrobiálních populací (viz Tab. 1), mezi nimiž existují široké rozdíly v počtech, formách a v biochemických aktivitách, a to v odpovědi na rozdílné faktory půdního prostředí. To znamená, že druhy mikroorganismů přítomné v půdě a jejich počet závisí na mnoha faktorech. Těmito ukazateli jsou zejména: množství dostupných živin, dostupnost vlhkosti, teplota a pH půdy (Waksman, 1961). Celkově rozdíly u mikrobiálních populací mezi ekologickým a konvenčním způsobem zemědělství nebyly znatelné. Existují však

důkazy o obecném trendu směrem k zvýšení abundance a aktivity těchto populací v ekologických systémech (Hole et al., 2005).

Přítomnost kořenů rostlin a rozsah kořenového systému mají také značný vliv na výskyt mikroorganismů v půdním prostředí. Tento jev se nazývá rhizosférický efekt. Stejně tak působí i mikroorganismy půdy na růst vyšších rostlin. Mnoho z těchto účinků je pro rostliny prospěšných, ale mohou být také škodlivé. Vzájemné vztahy mezi vyššími rostlinami a mikroorganismy jsou shrnuty do následujících šesti skupin reakcí (Waskman, 1961):

- Mikroorganismy příznivě působí na růst vyšších rostlin tak, že ovlivňují dostupnost esenciálních prvků, zejména uhlíku ve formě oxidu uhličitého, dusíku a fosforu.
- Mikroorganismy působí na rostlinný růst skrze produkci specifických látek stimulujících nebo regulujících růst, jako je auxin a fytohormony.
- Určité skupiny mikroorganismů tvoří symbiotické vztahy s vyššími rostlinami.
- Naopak jiné mikroorganismy mohou s vyššími rostlinami soutěžit o živiny přítomné v půdě.
- Některé mikroorganismy mají škodlivé účinky na vyšší rostliny. Buď na ně přímo útočí jako rostlinní parazité nebo produkují toxické látky.
- Určité viry, zejména bakteriofágy, mají možnost útočit s užitím bakterie a mohou tím pádem nepřímo poškodit růst rostlin.

Fytoedafon vytváří humus a účastní se mnoha důležitých kroků v živinových cyklech, které by bez něj nemohly proběhnout. Existuje biologické pravidlo, které říká, že čím je organismus menší, tím větší je jeho počet a vliv. Proto je působení mikroorganismů v půdě mnohem významnější a je důležitější než účinek hmyzu a hlodavců (Eash et al., 2015). Pohyb některých mikroorganismů často závisí na jiných organismech. Ty je dopravují na místa, kde mohou přicházet do styku s dalšími substráty, na kterých se živí (Lavelle et al., 2002).

Tabulka 1: Půdní populace v úrodné zemědělské půdě (Prabakaran, 2009).

Skupina organismů	Počet jedinců na g půdy
Bakterie	2 500 000 000
Aktinomycety	700 000
Houby	400 000
Řasy	50 000

3.3.1 Prokaryota

Prokaryota zahrnují dvě skupiny organismů: bakterie a Archea. Prokaryota reprezentují největší fylogenetickou diverzitu na Zemi a jsou také prostředníky všech biochemických cyklů. Regulují například nutriční cykly a nutriční fond živin pro rostliny. Dále pak udržují fungování a stálost půdního ekosystému. Bakterie a Archea je na základě jejich morfologie složité navzájem odlišit, proto jsou tradičně zahrnovány do prokaryotických organismů. Avšak po příchodu molekulární fylogenetiky bylo zjištěno, že se od sebe liší tak, jako se Prokaryota liší od Eukaryot (Elsas et al., 2007).

Patří mezi jednobuněčné organismy vyskytující se jednotlivě nebo ve formě skupin (Eash et al., 2015). Tvoří nejdominantnější skupinu půdních mikroorganismů, přičemž jich mnoho nebylo doposud izolováno a identifikováno. Jsou přítomny ve všech typech půd, kde jsou úzce připojené na půdní částice. Nachází se zde v množství od 10^7 až 10^{10} buněk na gram suché půdy. V mnoha společenstvích půdních Prokaryot početně dominují bakterie nad archeobakteriemi (Elsas et al., 2007).

Bakterie zahrnují jak heterotrofní, tak autotrofní druhy. Ovšem většina půdních bakterií je heterotrofních a ve formě bacila. Heterotrofní bakterie využívají materiály obsahující uhlík především jako zdroje energie, ale získávají i minerální látky a růstové faktory, které potřebují pro svůj vývoj (Allison, 1973). Příkladem heterotrofních bakterií jsou rody *Bacillus*, *Clostridium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, a *Azobacter* (Elsas et al., 2007). V roce 1925 klasifikoval Winogradský půdní Prokaryota do dvou velkých kategorií. Jedná se o autochtonní a zymogenní organismy. Autochtonní populace je vždy jednotná a stálá, jako například populace rodu *Nocardia* a *Arthrobacter*. Jiné je tomu u zymogenních organismů, u nichž se výskyt a počet jedinců řídí dostatečnými zdroji a zásobou energie. Příkladem je rod *Pseudomonas* a *Bacillus* (Prabakaran, 2009). Bakterie využívají dostupné zdroje energie rychlým tempem a zjevně nevhodným způsobem. Většinu snadno dostupných zdrojů rychle spotřebují a po té uhynou, přičemž malé procento zůstává buď ve formě spory, nebo jiné rezistentní formy (Allison, 1973).

V zemědělské půdě jsou mikroorganismy primárně odpovědné za rozklad rostlinných a živočišných zbytků. Vylučují extracelulární enzymy rozkládající organické sloučeniny (cukry, škroby, celulóza apod.) na základní chemické složky, které dále využívají pro svou energii a růst. Živiny bakteriemi nevyužité se uvolňují do půdy a stávají se dostupnými pro rostliny (Eash et al., 2015).

Bakterie jsou často navzdory jejich významu v mnoha analýzách ekosystému ignorovány. Proto bývají půdní procesy studovány bez identifikace skutečných organismů, které je katalyzují. Nedostatek znalostí o biodiverzitě a integraci prokaryotických organismů v analýzách ekosystému způsobuje metodologické a pojmové problémy (Elsas et al., 2007).

3.3.2 Aktinomycety

Actinomycety jsou zvláštním typem bakterií, které produkují spory a zároveň tvoří v půdě síť vláken. Do této skupiny patří například rod *Streptomyces* produkující antibiotikum streptomycin, a rod *Micromonospora*. Actinomycety se podobají jak houbám, tak bakteriím. Vytvářejí v půdě vlákna připomínající mycelium hub. Nicméně spory, ze kterých vlákna klíčí, vypadají spíše jako spory bakterií než spory hub (Nardi, 2009).

V půdě se vyskytují v množstvích až 200 milionů buněk na gram. Nejlépe rostou v neutrální nebo alkalické půdě, přičemž je pro jejich růst limitující hodnota pH 5, což je o něco vyšší než u většiny půdních bakterií (Allison, 1973). Upřednostňují také teplou a vlhkou půdu. Se zvyšující se hloubkou půdy jejich počty neklesají tolik, jako je tomu u jiných bakterií. Zemité zápach půdy pochází z produkce geosminu aktinomycety (Eash et al., 2015). Patří mezi málo půdních organismů se schopností odvést ze vzduchu dusík (N₂) a převést ho do půdy ve formě amoniaku (Nardi, 2009). Také aktinomycety mají schopnost rozkládat komplexní látky a zlepšovat tak úrodnost půdy (Elsas et al., 2007). Jsou důležité při degradaci větších molekul ligninu v organických zbytcích (Eash et al., 2015).

3.3.3 Řasy

Populace řas jsou méně početné ve srovnání s bakteriemi nebo houbami (Prabakaran, 2009). Jsou hojné na stanovištích s dostatečnou vlhkostí a osvětlením (Eash et al., 2015), proto je jejich aktivita omezena téměř výhradně na horních pár milimetrů půdy (Allison, 1973). Stejně jako houby, tak i řasy preferují stanoviště s nižším pH (Prabakaran, 2009). Vyskytují se jako jednotlivé buňky nebo mohou vytvářet dlouhé řetězce. Stejně jako vyšší rostliny, obsahují řasy také chlorofyl, díky němuž jsou schopny přeměnit sluneční světlo na energii ve formě ATP a vytvářet složité organické sloučeniny (Eash et al., 2015). Řasy poskytují půdě organickou hmotu a dusík a dodávají tak živiny mnoha dalším organismům (Nardi, 2009).

Žijí často harmonicky nebo dokonce až symbioticky s cyanobakteriemi a vytvářejí mikrobiální povlak na neúrodných půdách. Cyanobakterie dokáží fixovat atmosférický dusík, chránit povrch půdy před erozí a utvářet příznivé prostředí pro klíčení semen (Eash et al., 2015).

3.3.4 Houby

Houby jsou mnohobuněčné organismy, které jsou běžnou součástí půdy. Nejvíce se jim daří v půdě kyselé o pH 4,5 – 5,5, takže nekonkurují bakteriím preferujícím téměř neutrální pH (Eash et al., 2015). Různé druhy hub se nalézají na povrchu půdy, kde je kyslík snadno dostupný. Mezi ně patří například rody *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus* a *Mucor*.

Houby tvoří vlákna nazývaná jako mycelium, které je složeno z jednotlivých hyf, pomocí něhož pronikají do půdy (Prabakaran, 2009). Stanovení počtu hub přítomných v půdě je obtížné stejně jako v případě aktinomycet z důvodu, že se v půdě nacházejí ve formě rozvětvených vláken, které mohou nebo nemusí být rozděleny do buněk (Allison, 1973).

Houby mají velký význam při rozkládání organických zbytků (Eash et al., 2015). Spolu s bakteriemi jsou houby hlavními recyklátory živin a hlavním zdrojem potravy pro mnoho půdních živočichů (Nardi, 2009). Mohou rozložit větší množství typů organických sloučenin než bakterie. Jsou specializovány nejen na rozklad rostlinných zbytků, ale také na rozkládání zbytků živočichů a živočišného hnoje. Chlupy, kopyta, paznehty a peří také tvoří potravu pro některé houby a mnoho plísní roste na trusu zvířat (Nardi, 2009). Jiné houby konzumují hlístice, jiné jsou patogenní a způsobují onemocnění (Eash et al., 2015). Mimo jiné se v půdě vyskytují i houby symbiotické (Prabakaran, 2009). Mycelium také funguje jako síť, která obklopuje a váže mikroagregáty půdy do makroagregátů, čímž přispívá ke stabilitě struktury půdy (Eash et al., 2015).

Kromě některých hub tvořících mykorhizní partnerství se zelenými rostlinami, vytvářejí jiné houby známé jako trichomycety (*Trichomycetes*) partnerství s řadou členovců. Tyto specializované houby žijí pouze ve spojení s konkrétními členovci. Předpokládá se, že toto spojení má prospěch jak pro houbu, tak i pro členovce. Jiné půdní houby chrání rostliny před konzumací hlísticemi (Nardi, 2009).

3.4 Půdní fauna

V této říši početně převládají bezobratlí, ale pokud jde o velikost, tak jasně dominují savci. Někteří z velmi drobných živočichů, jako jsou vířníci a želvušky, jsou dostatečně malí, aby mohli být považováni za mikroby, ovšem tento termín se obvykle pro živočichy nepoužívá. Přibližně 97 % půdní fauny tvoří živočichové bez páteře a vnitřní kostry. Počet půdních bezobratlých často překračuje několik milionů jedinců na metr čtvereční půdy.

Živočichové půdní bioty jsou početní a rozmanití. Škála druhů je velmi široká a zahrnuje i druhy obývající povrch půdy (Coleman et al., 2004). Převážná část půdní aktivity se odehrává ve svrchních vrstvách půdy a to v horních 10 cm (Tajovský, 2008). Obecně platí, že čím více jsou rozmanitější poměry v půdním prostředí spolu s optimální teplotou, vlhkostí a dostupností živin, tím více se zde vyskytuje živočichů (Tajovský, 2015). Mnoho skupin jsou taxonomicky těžko pochopeny a podrobnosti o jejich vývoji a biologii jsou neznámé. Příkladem mohou být mikroatropoda, u kterých je prozkoumáno pouze asi 10 % populace (Coleman et al., 2004).

Na rozdíl od rostlin a některých mikroorganismů jsou zástupci půdní fauny závislí na jiných buď živých, nebo odumřelých organismech (Nardi, 2009). Nalézají se ve složité potravní síti zahrnující několik potravních stupňů. Někteří půdní živočichové jsou výhradní herbivoři živící se pouze částmi živých rostlin, ovšem nejvíce převládá způsob, při němž se živočichové živí odumřelou rostlinnou hmotou, mikroby spojenými s touto hmotou, anebo tyto případy kombinují. Mohou být také karnivory, parazity a vrcholovými predátory (Coleman et al., 2004).

Od mikroflóry se půdní fauna odlišuje tím, že je při dekompozici organické hmoty méně významná (Coleman et al., 2004), avšak nezbytná při tvorbě půdní struktury (Lakly and Crossley, 2000). Určuje základní fyzikální vlastnosti půdy a také další kroky dynamiky organické hmoty (Lavelle et al., 2002). Z hlediska ekologie jsou nejvýznamnější druhy, které se přímo podílejí na rozkladu odumřelé organické hmoty. Tu jsou schopni rozmělnit, natrávit, promíchat s ostatními složkami a zapracovat do půdy. Tím přispívají ke vzniku svrchních humusových horizontů (Tajovský, 2015). Ačkoli mají půdní živočichové omezenější schopnost trávit složité organické substráty půdy, vyvinuli si interakce s mikroflórou, která jim umožňuje využívat půdní zdroje. S rostoucí velikostí se vztah mezi mikroflórou a půdní faunou postupně posunuje od predace k mutualismu ve snaze o zvýšení efektivity (Lavelle et al., 2002).

Mikroskopičtí živočichové jsou predátory mikroflóry, čímž dokáží ovlivňovat její populační dynamiku, a tím i dekompoziční účinnost. Velcí půdní živočichové většinu organické hmoty nevyužijí, pouze ji přetransformují do organické hmoty exkrementů. Přesto však tato makrofauna nepřímo ovlivňuje transformaci organické hmoty tím, že mění životní podmínky pro půdní mikroflóru a působí tak na její aktivitu (Frouz, 2010). Z toho plyne, že půdní potravní síť je propojena s nadzemním systémem, což ovšem dělá potravní analýzy ještě více komplikované. Dokonce i trvalí obyvatelé půdy mohou být přizpůsobeni životu v různých hloubkách půdy. Například chvostokoci jsou trvalými obyvateli půdy a jejich morfologie umožňuje adaptaci na život v rozdílných vrstvách půdy. (Coleman et al., 2004). Výskyt půdní fauna je tedy do značné míry ovlivněn podmínkami stanoviště, avšak její přítomnost se zpětně podílí na utváření těchto podmínek (Tajovský, 2015).

Půdní fauna může být také charakterizována měrou její přítomnosti nebo využíváním mikrohabitátů v půdě, ve které se nachází v různých stádiích života. Patří sem přechodné druhy živočichů, kteří tráví určitou část svého života v půdě. Příkladem může být slunéčko sedmítečné (*Coccinella septempunctata*) žijící na povrchu rostlin, ale hibernující v půdě. Dále sem patří komárovití (Culicidae), jejichž dospělci žijí mimo půdní prostředí, nicméně vajíčka kladou do půdy, kde se později jako larvy živí rozkládající se organickou hmotou. Larvy dvoukřídlech (Diptera) jsou v půdě důležitými mrchožrouty. Housenky nočních motýlů přes noc vylézají a živí se částmi rostlin, ovšem přes den jsou ukryté v půdě. Sametky (*Trombicula*) jsou také periodičtí obyvatelé půdy, kteří tráví většinu svého života pod zemí. Jako dospělci žijí v půdě, kam samička naklade vajíčka a později se vylíhnou larvy, které jsou kožními parazity (Coleman et al., 2004).

Obecná klasifikace rozděluje půdní faunu podle velikosti, respektive šířky těla, do čtyř skupin: mikrofauna, mesofauna, makrofauna a megafauna. Tato klasifikace zahrnuje živočichy měřící několik málo mikrometrů až po živočichy mající několik metrů. Šířka těla živočichů souvisí s jejich mikrohabitaty. Mikrofauna obývá vodní film půdy, mesofauna pórovitý prostor vyplněný vzduchem. V porovnání s předchozími má makrofauna schopnost si pohybem vytvořit svůj vlastní prostor a stejně jako megafauna má vliv na hrudkovitou strukturu půdy. Metody studující půdní faunu jsou z velké části závislé na velikosti organismů. Metody pro studium mikrofauny jsou především techniky používané pro mikrobiologii. Studium mesofauny vyžaduje mikroskopické techniky a specializované extrakční postupy pro sběr. Makrofauna může být odebírána společně se vzorkem půdy (Coleman et al., 2004).

Dále můžeme rozdělit půdní faunu na základě hloubky výskytu v půdě na epigeon, hemiedafon a euedafon. Jako epigeon označujeme organismy obývající povrch půdy či rostlinný odpad. Patří sem například zástupci mnohonožek, stonožek a chvostokoků (Tajovský, 2008). Tito živočichové nejsou tak dobře přizpůsobeni podmínkám v půdě, jako je vysoká relativní vlhkost, omezená výměna plynu a omezená mobilita. Jsou zastoupeni mnoha tělesnými formami. Obvykle bývají silně pigmentovaní s dobře vyvinutými senzorickými orgány a jsou vysoce mobilní (Vittum, 2009). Hemiedafon představují organismy žijící ve svrchních vrstvách půdy. Mezi ně patří mnohonožky, chvostokoci, larvy dvoukřídlých a další (Tajovský, 2008). Hemiedafon představuje přechodnou formu života, která umožňuje některým edafickým živočichům obsadit hlubší vrstvy půdy. Mají schopnost zvětšovat stávající praskliny a póry pomocí modifikovaných čelistí a končetin. Několik druhů členovců se adaptovalo na hemiedafický způsob život z mnoha důvodů. Například si vyhloubí kanálky a pak čekají, až do nich spadne kořist z povrchu půdy. Dále se brání před teplotními nebo vlhkostními extrémy v půdě nebo požírají kořeny rostlin (Vittum, 2009). Euedafon tvoří organismy vyskytující se přímo v půdě, ve které pronikají do hlubších vrstev. Označujeme je také jako pravé půdní organismy, protože jsou k životu v půdě dokonaleji přizpůsobeny, jako například žížaly, roztoči a chvostokoci (Tajovský, 2008). Tyto organismy se pohybují uvnitř půdního systému pórů. Jsou obvykle malé a charakterizované kulatým nebo červovitým tvarem těla. Protože nemohou uniknout predátorům, některé z nich dokáží vytvářet a uvolňovat toxické či obranné látky. Bývají fotofobní a buď zcela postrádají oči, nebo je mají výrazně redukované. Naproti tomu mají tendenci mít dobře vyvinuté mechanické a chemické receptory, které kompenzují jejich slepotu (Vittum, 2009).

3.4.1 Mikrofauna

Mikrofauna půdy zahrnuje volně žijící prvky, kteří spadají do dvou kmenů: bezbrví (Sarcomastigophora) a nálevníci (Ciliophorra) (Coleman et al., 2004). Je známo nejméně 300 druhů prvků žijících ve vodním filmu pórů půdy. Ačkoli bývají potravou větších prvků, většina z nich se živí bakteriemi, řasami, houbami a rostlinným odpadem. Mají významný vliv na koloběh organické hmoty a na tvorbu humusu, ale především regulují bakteriální populaci. Podle některých odhadů je 90 % bakterií požřeno prvky, zatímco zbylých 10 % připadá na hlístice (Coleman et al., 2004). Existuje silná vazba mezi prvky a jejich kořistí. Například počty amébních prvků se zvyšují pětkrát až desetkrát ihned po dešti, který stimuluje bakteriální aktivitu (Bardgett, 2005).

Vyskytují se ve čtyřech hlavních formách: prvoci s bičíkem (flagellum), s brvami (cilie) a amébní prvoci. Amébní formy neustále mění svůj tvar a mohou mít buď ochrannou schránku (testa), nebo jsou bez ní (Nardi, 2009). Z praktického důvodu je na základě těchto tělesných struktur rozdělujeme do čtyř skupin (Coleman et al., 2004):

3.4.1.1 Flagelátní prvoci

Mají jeden nebo více bičíků, díky kterým se dokáží pohybovat v prostoru. Patří mezi početnější a aktivnější prvoky hrající významnou roli v koloběhu živin. Jejich hlavní kořisti jsou bakterie a počty se pohybují v rozmezí 100 až 105 buněk na gram půdy (Coleman et al., 2004).

3.4.1.2 Nazí amébní prvoci

Nahé formy amébních prvoků jsou velmi početné a aktivní v půdách zemědělských pastvin a zalesněných půd. Podobně jako u větších ciliátních forem je hlavním způsobem získávání potravy fagocytóza. Nejčastěji se živí se bakteriemi, houbami, řasami a další organickou hmotou tvořenou jemnými částicemi. Vysoce plastická forma těchto prvoků jim umožňuje prozkoumat velmi malé dutiny a póry v půdních agregátech, které jsou pro jiné predátory nepřístupné (Coleman et al., 2004).

3.4.1.3 Amébní prvoci se schránkou

Ve srovnání s amébními nahými formami jsou amébní formy prvoků se schránkou méně početné. Výjimku tvoří pouze vlhké zalesněné půdy, kde se těmto organismům daří (Coleman et al., 2004). Živí se řasami, houbami a dokonce i rostlinnými zbytky (Nardi, 2009).

3.4.1.4 Ciliátní prvoci

Tito prvoci, kteří mají své vlastní neobvyklé životní cykly a složitou reprodukci, se obvykle omezují na velmi vlhkém nebo sezónně vlhkém stanovišti. Jejich počet se pohybuje v rozmezí od 10 do 500 buněk na gram půdy. Bývají velmi aktivní při vstupu do dutin a pórů půdy, kde se živí bakteriemi (Coleman et al., 2004).

Podobně jako ostatní prvoci, si i tito vytvářejí rezistentní formy. Z nich se mohou za příznivých podmínek růstu, reprodukce a v přítomnosti vhodných potravinových zdrojů probudit. Všechny tyto formy půdních prvoků se mohou rychle reprodukovat dělením. Flagelátní a amébní formy se rozmnožují syngamií nebo fúzí dvou buněk.

Ciliátní prvoci jsou charakterističtí tím, že mají dva druhy jader: makronukleus a mikronukleus, přičemž první z nich řídí fyziologické a biochemické funkce buňky a druhé jádro se účastní reprodukce. U těchto prvoků se totiž vyskytuje proces pohlavního rozmnožování, tzv. konjugace, při níž se dva jedinci dočasně spojí buněčnými ústy a dochází k výměně genetické informace prostřednictvím mikronukleu (Coleman et al., 2004).

Prvoci mají rozdílné preference na podmínky půdního prostředí. Oba typy amébních prvoků jsou v lesní půdě častější než v půdě polí. Améby bez schránky jsou častější v mokřých půdách. Menší amébní prvoci a prvoci s bičíkem se zdají být nejčastější formami ve většině půd (Nardi, 2009).

3.4.2 Mesofauna

3.4.2.1 Vířníci (Rotifera)

Tito živočichové mohou být velcí desetinu nebo až půl milimetru. Většina vířníků žije v rybnících, jezerech a tocích, pouze asi 5 % z odhadovaných 2000 druhů se nachází v půdě (Nardi, 2009). Vířníci se vyskytují v půdě pouze tehdy, pokud je v ní dostatečný obsah vody (vodního filmu). Nachází se zde v počtech přibližně 25 000 jedinců na metr čtvereční nenarušené lesní nebo luční půdy (Tajovksý, 2008). Většina půdních vířníků patří do třídy pijavenky (Bdelloidea). Za nepříznivých podmínek a nedostatku potravy jsou také schopni vytvářet cysty. Mezi další schopnost vířníků patří tvorba krunýře vlastní sekreční činností. Tyto krunýře mohou obsahovat různé ulpělé částice a materiál. Někteří vířníci používají prázdné schránky krytenek (Thecamoebina). Obvykle se považují za vodní organismy a některé publikace je tak nemusí řadit do půdní bioty. Jsou přirozenou, i když druhotnou, složkou půdní fauny (Coleman et al., 2004).

3.4.2.2 Hlístice (Nematoda)

Hlístice patří mezi nejpočetnější mnohobuněčné organismy nalézající se téměř v každém ekosystému (Coleman et al., 2004). Je popásáno něco přes 20 tisíc druhů hlístic, ale jejich skutečné počty jsou odhadovány až na 1 milion druhů. Počet druhů půdních hlístic je téměř 6 000 (Tajovský, 200). Hlístice jsou primárními obyvateli půdního vodního filmu a pórů v půdě vyplněných vodou (Coleman et al., 2004). Vodní film kolem částic půdy jim umožňuje se pohybovat a reprodukovat. Dosahují počtu až 30 milionů jedinců na metr čtvereční v půdě dubového lesa a 10 milionů jedinců ve vysoce

úrodné půdě nížinné pastviny (Bardgett, 2005). Celková hojnost hlístic má vyšší tendenci v půdách podléhajících ekologickému zemědělství (Hole et al., 2005).

Hlístice se významně podílí na provzdušňování půdy. Jsou zařazeny mezi triploblastické pseudocoelomata. Jinými slovy mají nepravou tělní dutinu, která je méně členěna než jak je tomu u pravých coelomat, kam patří kroužkovci a členovci. Tvar těla je válcový, na koncích se zužuje, proto bývají hlístice označovány jako tzv. oblí červi. Reprodukční systém je poměrně složitý. Většinou se jedná o gonochoristy, ale některé druhy jsou parthenogenetické (Coleman et al., 2004).

Hlístice se živí širokým spektrem potravy, která zaujímá bakterie, houby a rostliny (Coleman et al., 2004). V půdě bývají seskupeny podle typu potravy, kterou konzumují a podle které mají také určitou morfologii ústního ústrojí (Bardgett, 2005). Mnohé z nich jsou saprofytické a živí se mrtvými rostlinnými zbytky, ale některé jsou parazitické a žijí na kořenech rostlin. Mnoho parazitických druhů způsobuje závažná onemocnění rostlin, zvířat a lidí. Způsobují velké hospodářské ztráty na mnoha plodinách, včetně citrusů, bavlny, sójových bobů, vojtěšky, kukuřice, brambor a rajčat (Eash et al., 2015). Mezi hlísticemi se vyskytují také všežravé druhy a predátoři. Populační růst hlístic, jež se živí bakteriemi, je silně závislý na druhu přijatých bakterií. To činí tyto organismy vhodné pro detekci rychlých změn půdního prostředí (Coleman et al., 2004).

Některé hlístice mohou napadat měkkýše a hmyz včetně jejich vývojových stádií. Mají ve střevech symbiotické bakterie, které se dostávají do krve hostitele v momentě penetrace hlísta s jeho tělní dutinou. V krvi se bakterie rychle množí, poskytují hlísticím bohatý zdroj živin a brzy hostitele zabíjí. Někteří zemědělci používají tyto hlístice jako přirozenou netoxickou formu regulace škůdců (Nardi, 2009).

3.4.2.3 Želvušky (*Tardigrada*)

Tyto malé organismy (od 50 μm do 1200 μm) se kvůli jejich vzhledu nazývají jako „malí vodní medvědi“. Jejich pomalé pohyby připomínají želvy, proto dostaly pojmenování *Tardigrada* (z latinského *tardus*, pomalý, a *gradus*, krok), které zavedl roku 1776 italský opat a profesor biologie Lazzaró Spallanzani (Coleman et al., 2004).

Želvušky jsou oboustranně symetrické se čtyřmi páry nohou, které jsou na distálních konci opatřeny drápy různých velikostí a forem. Velikost a tvar drápů se používají k určování rodů a druhů (Coleman, et al., 2004). Stejně jako členovci vytvářejí exoskeleton. Na základě jeho struktury tak rozlišujeme dvě různé třídy želvušek.

Heterotardigrada čili obrněné želvušky, mají silný exoskelet rozdělen na destičky. Eutardigrada, čili nahé želvušky, mají exoskelet tenčí a bez destiček (Nardi, 2009).

U želvušek byla zjištěna kryptobióza, tedy vysoká odolnost vůči extrémním podmínkám prostředí, kdy byly ponořeny do kapalného dusíku a následně byly schopné se velmi dobře zotavit. V tomto ametabolickém stavu dokáží přežít i několik let a čekat na vhodné podmínky (Coleman et al., 2004). Dokonce i poté, co byly po dobu 120 let ponechány na suchém muzejním vzorku mechu, se dokázaly probudit (Nardi, 2009).

Želvušky jsou často spojené s lišejníky, mechy a jätrovkami. Vyskytují se převážně 1 – 3 cm pod povrchem mnoha trávnatých půd, ale některé rody, například druhy rodu *Macrobiotus*, jsou poměrně početné v hloubkách 10 cm v subalpínském jehličnatém lese (Coleman et al., 2004). Želvušky mají tendenci upřednostňovat určité mikroprostředí, v němž mají vhodnou potravu, vlhkost, ventilaci, teplotu a další podmínky, aby uspokojily své potřeby. Když jsou splněny tyto podmínky, může se na jednom metru čtverečním nacházet až 400 000 jedinců a 1,2 milionů vajíček (Nardi, 2009). Nalézají se také ve velmi chladných a suchých stanovištích, jako například na Antarktidě. Nejčastěji se živí rostlinnými pletivy řas a mechů (Coleman et al., 2004).

Mikroarthropoda

Drobní půdní členovci (Arthropoda) se označují jako mikroarthropoda. Většina druhů, zejména roztočů (Acari) a chvostoskoků (Collembola), se vyskytuje kosmopolitně ve většině typů půd. Pouze jeden metr čtvereční povrchu půdy v lese může obsahovat stovky tisíc jedinců reprezentujících tisíce různých druhů. Mikroarthropoda mají významný vliv na rozkladné procesy povrchu půdy a jsou důležitými rezervoáry biologické rozmanitosti v ekosystémech. I když existují významnější rozkladači organické hmoty, Tajovksý (2015) uvádí, že v půdách šumavských smrčín, které jsou kyselejší, převládají mezi rozkladači pancířníci společně s chvostoskoky.

Mikroarthropoda tvoří také důležité vazby v potravních sítích. Mnoho mikroarthropod se živí houbami, hlísticemi a mikroby. Naopak mikroarthropoda jsou zase kořistí pro makroarthropoda, kam patří pavouci, brouci, mravenci a stonožky. Tím se vytváří vzájemné propojení s makrofaunou. Dokonce i někteří zástupci megafauny se živí mikroarthropody (Coleman et al., 2004).

Zástupci skupiny mikroarthropod jsou jedineční, a to nejen velikostí těla, ale i podle metod, které se používají k jejich odběru. Jsou příliš malí a početní na to, aby byli vzorkováni jako jednotlivci. Namísto toho se odebírají malé části předpokládaných míst

výskytu (půda, podestýlka nebo podobné materiály), z nichž jsou v laboratoři extrahovány. Podobně jako hlístice, vířníci a želvušky, se touto metodou odběru vzorků podobají určitým zástupcům mikrofauny (Coleman et al., 2004).

Hustota jejich výskytu se mění v rámci sezón a i v rámci různých ekosystémů. Obecně platí, že půdy mírného lesa s vysokým obsahem organické hmoty podporují také značné množství půdních organismů, zatímco v tropických lesích, kde je organická vrstva tenká, je počet mikroartropod nižší. Narušování půdy jejím obděláváním a používání pesticidů zpravidla populaci potlačují, avšak její obnovení může být rychlé (Coleman et al., 2004).

Roztoči obvykle početně převyšují chvostoskoky. Nicméně v některých situacích, obzvláště na jaře, se v listové podestýlce stávají chvostoskoci početnějšími. Mezi samotnými roztoči obvykle dominují pancířníci (Oribatida). Uvádí se, že bylo prozkoumáno maximálně 10 % populací půdních mikroarthropod a popsáno 10 % druhů (Coleman et al., 2004).

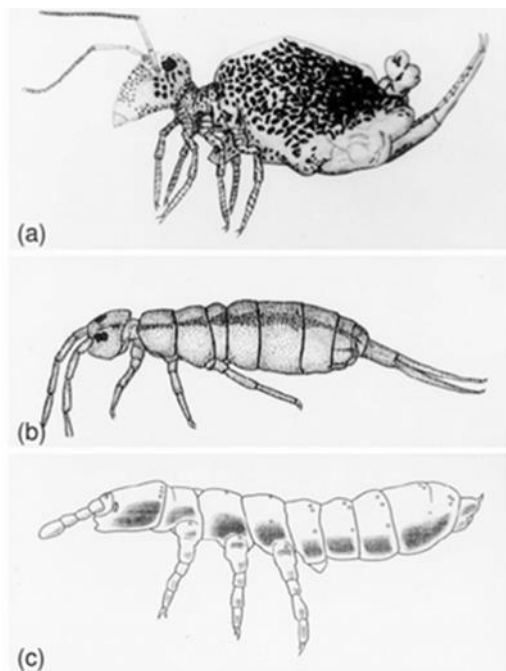
Na rozdíl od makroartropod mají roztoči a chvostoskoci malý nebo žádný vliv na strukturu půdy. Jejich rozměry jim umožňují využívat již stávající prostory v půdní struktuře. Dokonce ani velcí roztoči, jako jsou sametkovci (Prostigmata), zřejmě nevytvářejí vlastní chodbičky. Některé druhy živící se opadanými listy vytvářejí tunely, ale nemají přímý vliv na půdní strukturu jako takovou. Mikrotropoda se v této charakteristice podobají mikrofauně (Coleman et al., 2004).

Spolehlivé odhady velikosti populace a struktury komunity jsou však v zásadě závislé na vhodném vzorkování. V praxi jsou mikroarthropoda vzorkována společně se sběrem půdy, z níž jsou extrahována. Pro extrakci se používají dvě metody extrakce: flotace a extrakce pomocí Berlese-Tullgrenova extraktoru. Flotační extrakce nezávisí na pohyblivosti členovců a z hlediska organismů tedy může být považována za pasivní proces. Naopak druhá metoda je založena na aktivním postupu, který se spoléhá na migraci členovců ze vzorku (Lakly and Crossley, 2000).

3.4.2.4 Chvostoskoci (Collembola)

Chvostoskoci (Obr. 1) se vyskytují ve všech biotopech. Od tropických až po arktické, od lesů až po trávníky a pouštní půdy. Jsou všudypřítomnými členy půdní fauny. Často dosahují počtu 100 000 a více jedinců na metr čtvereční (Coleman et al., 2004). Jsou dokonce nalezeni i na Antarktidě, kde jsou členovci vzácní (Capinera, 2010). Vyskytují se v celém horním profilu půdy, kde tvoří jejich hlavní potravu houby.

Chvostoscoci tak přímo ovlivňují společenství hub. V rhizosféře jsou často nejpočetnějšími mikroartropody (Coleman et al., 2004). Jsou to bezkřídlí drobní živočichové v dospělosti dosahující délky od 0,2 až 17 mm. Nadzemní formy mohou dosáhnout délky 6 mm, ale půdní chvostoscoci zřídka dosahují jedné čtvrtiny této délky (Allison, 1973). Vynikají obrovským množstvím tělesných forem a stanovišti jejich výskytu (Christiansen et al., 2009). Preferují vlhká stanoviště, kde se obvykle žíví rozkládající se organickou hmotou a mikroorganismy (Kattes, 2009).



Obrázek 1: Typy chvostoskoků dle jejich výskytu v půdě: (a) srostločlenky (Symphypleona); (b, c) volnočlenky (Arthropleona); (c) čeleď larvénkovití (Onychiuridae) – absence furculy, očí a pigmentace (Coleman et al., 2004).

Chvostoscoci mají na zadečku dvě specifické struktury. První z nich je ventrální tubus, jehož funkce se uplatňuje v osmoregulaci. Druhou je skákací aparát (furcula), která u některých skupin chybí (Coleman et al., 2004). Slouží jim jako obrana proti predátorům. Chvostoscoci žijící v hlubších vrstvách půdy nemají dostatek prostoru ke skákání a mají tak obvykle kratší nohy, tykadla a furculu (Nardi, 2009). Taktéž postrádají pigmentaci a oči (Coleman et al., 2004). Tykadla chvostoskoků jsou krátká až středně dlouhá a jsou tvořena ze čtyř až šesti segmentů (Capinera, 2010).

Zatímco nejvíce se žíví houbami, bakteriemi a rozkládající se rostlinnou hmotou, někteří jsou také býložraví a dokonce i masožraví. Existuje taktéž mnoho komenzálních druhů (Christiansen et al., 2009). Často se shromažďují ve velkých skupinách, jak to lze

pozorovat na organickém materiálu. Účel nebo příčina tohoto shromažďování není známa (Capinera, 2010).

3.4.2.5 Roztoči (Acari)

Roztoči se odlišují od ostatních členovců oválným a nečláňkovaným tělem a relativně krátkými končetinami (Kattes, 2009). Jejich délka těla se pohybuje v rozmezí 110 – 300 μm , nejčastěji však mezi 300 – 900 μm . Pouze zřídka přesahuje 1 000 μm . Dle stupně sklerotizace a pigmentace exoskeletu zaujímají zbarvení od opálově bílé až po černou (Balogh and Mahunka, 1983). Jsou nejrozšířenější mikroartropoda v mnoha typech půd (Coleman et al., 2004). Počet popsanych druhů roztočů přesahuje 54 500, ale předpokládá se, že je to pouhých 5 % existující druhové diverzity (Makarova, 2015a). V úrodné lesní půdě může 100 g vzorku obsahovat až 500 roztočů představujících téměř 100 rodů (Coleman et al., 2004). Tam, kde se objevují roztoči společně s chvostoskoky, bývají roztoči často početnější skupinou (Nardi, 2009). Nejčastěji se v půdách vyskytují čtyř podřády roztočů: sametkovci (Prostigmata), čmelíkovci (Mesostigmata) a zákožkovci (Astigmata) a nejpočetnější pancířníci (Oribatida). Příležitostně se z půdních vzorků extrahují i roztoči, kteří mezi typické obyvatelé půdy nepatří. Během podzimního opadu listů vstupují do půdní potravní sítě roztoči, jako například svilušky (*Tetranychus*) živící se rostlinami. Výjimečně mohou být v místech častého výskytu obratlovců extrahováni z půdy i jejich parazité, často v larvální formě (Coleman et al., 2004).

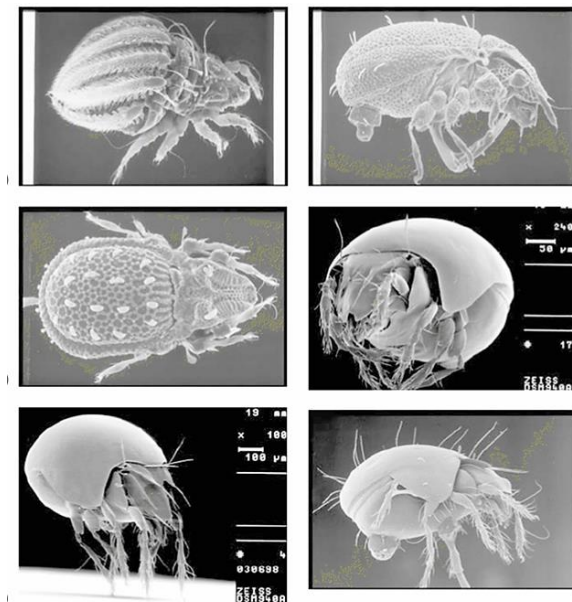
V horní vrstvě organické půdy hrají roztoči mnoho důležitých rolí v potravních sítích (O'Connor, 2009). Přispívají k urychlení rozpadu rostlinných zbytků, distribuci hub a bakterií a k transportu rozkladných produktů do nižších částí půdního profilu (Allison, 1973). Ovšem i přes jejich počty zpracovávají roztoči relativně menší množství organického materiálu než žížaly a jiní větší bezobratlí. Nemají proto takový význam při přeměně biomasy na živiny přístupné rostlinám. Nicméně pokud jde o koloběh konkrétních živin, zejména vápníku, jsou roztoči velmi důležití (O'Connor, 2009).

Suché, písčité a na živiny chudé půdy typicky obývají primitivní formy roztočů, které vykazují malou morfologickou změnu od fosilních předků. V hlubších vrstvách minerálních půd, kde je málo organického materiálu, se nalézají roztoči, kteří se žijí řídkou mikrobiální populací a hlísticemi. Takovýto roztoči bývají poměrně malí, méně inkrustovaní a protáhlí, což jim umožňuje pohyb přes velmi těsné prostory mezi minerálními částicemi půdy (O'Connor, 2009). Opad z více druhů dřevin přispívá

k rozmanitějšímu osídlení roztoči než je tomu v místech, kde se nachází opad pouze z jedné dřeviny (Kula, 2014).

3.4.2.6 Pancířníci (Oribatida)

Pancířníci jsou nejpočetnější (Nardi, 2009) a ekologicky velmi významnou skupinou půdních roztočů (Balogh and Mahunka, 1983), u kterých bylo doposud popsáno téměř 10 000 druhů (Schatz, 2004). Tito tmavě pigmentovaní roztoči půdy jsou výjimkou pravidla, že členovci žijící v půdě jsou obvykle bez pigmentu, schránek či inkrustace (Nardi, 2009), ačkoli i některé primitivní druhy pancířníků mohou být téměř bezbarvé (Coleman et al., 2004). Pancířníci mají tmavý a sklerotizovaný exoskelet (Obr. 2), který jim pravděpodobně slouží jako ochrana proti predátorům a suchu (Nardi, 2009). Obsahuje vysoké množství vápníku ve formě uhličitanu vápenatého, šťavelanu vápenatého nebo fosforečnanu vápenatého (Coleman et al., 2004). Povrch exoskeletu může být lesklý, matný nebo s různými ornamenty (Balogh and Mahunka, 1983). Předpokládá se, že pancířníci jsou schopni získat vápník požíváním hub. Houbové hyfy obsahují krystaly šťavelanu vápenatého, které mohou být těmito roztoči metabolizovány (Coleman et al., 2004). Mnoho pancířníků vypadá jako by měli malá křídla (Nardi, 2009). Ta jim neslouží k létání, ale mohou si pod ně zastrčit končetiny a chránit je tak před predátory. Podobně jako chvostokoci dosahují délky 100 – 2 000 μm (Hubert a Žilová, 1999)

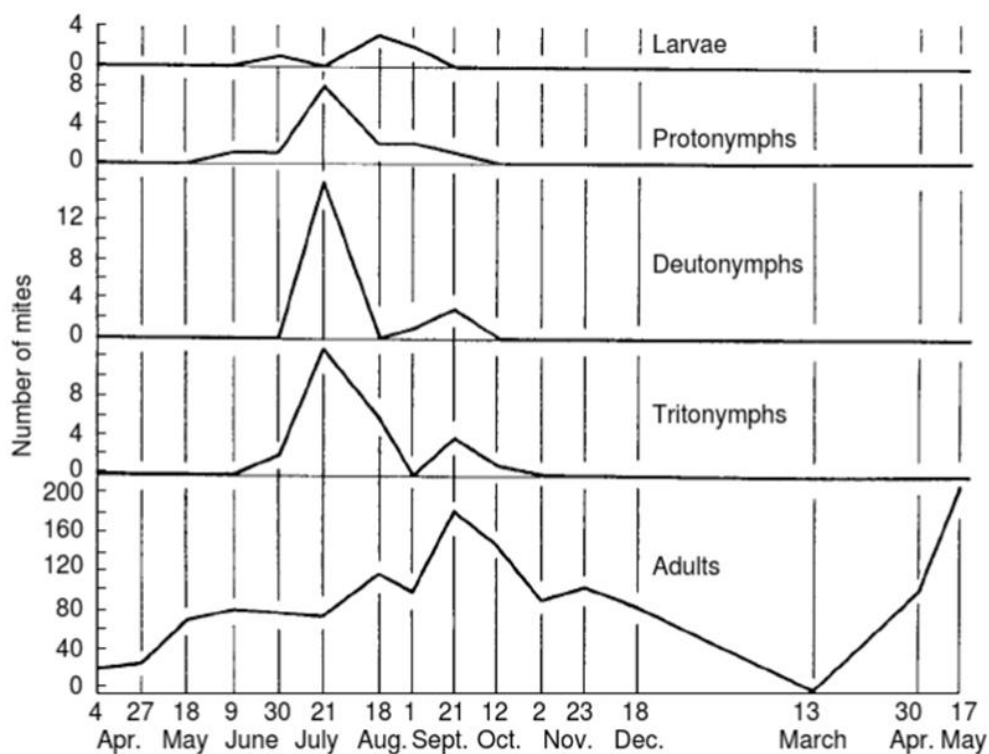


Obrázek 2: Formy exoskeletu pancířníků (Coleman et al., 2004).

Kombinace tří faktorů dělá pancířníky mezi půdní faunou unikátní. Prvním je, že jsou nejpočetnějšími mikroartropody v půdě. Druhým faktorem je to, že na rozdíl od

většiny ostatních roztočů jsou juvenilní stádia pancířníků od dospělců tak odlišná, že bývá nemožné, je na základě morfologie klasifikovat. Jako třetí faktor je, že pancířníci se v porovnání s ostatními mikroarthropody množí poměrně pomalu. Samičky nekladou mnoho vajíček, proto jsou jedna až dvě generace ročně obvyklé. Některé běžně se vyskytující druhy jsou partenogenetické. Pancířníci jsou někdy považováni za K strategii, naproti tomu chvostoskoci za r-strategii (Coleman et al., 2004).

Pancířníci vytvářejí jednu z nejpočetnějších populací v rámci mesofauny (Starý, 2008). Spolu s chvostoskoky patří mezi typické obyvatele půdního prostředí (Hubert a Žilová, 1999). Jsou velmi starou skupinou roztočů a jejich globální rozšíření bylo ovlivněno pohyby a oddělením kontinentálních mas (Schatz, 2004). Přebíhají zejména v lesních biotopech, kde zastupují 70 – 90 % půdní mesofauny (Starý, 2008). V otevřených biotopech jsou o něco méně dominantní, ale i zde vytvářejí nejpočetnější skupiny živočichů (Tajovksý, 2008). Populace pancířníků v lesních půdách vykazují vrcholy aktivity (Obr. 3) na jaře, v letních měsících a opět v polovině podzimu, a to u druhů produkující dvě generace ročně (Coleman et al., 2004). Hojnost pancířníků v lesních půdách se pohybuje v rozmezí 50 000 až 500 000 jedinců na čtvereční metr. Jejich velké počty podporují jehličnaté lesy následované opadavým lesem, pastvinou, pouští a tundrou. V otevřených biotopech jsou jejich počty o něco nižší, avšak i v těchto případech patří k nejpočetnějším zástupcům mesofauny (Starý, 2008). V arktické tundře a na některých pastvinách nebo savanách mohou být početnější sametkovci. Mnoho druhů je široce zastoupeno v celé řadě biotopů Evropy a Severní Ameriky (Coleman et al., 2004). Nalézají se po celém světě prakticky ve všech typech půd. Mohou se vyskytovat také v nárostech na skalách, ve specifických podmínkách pouští, v lišejnicích na Antarktidě, v extrémně kyselých půdách na výsypkách z hnědouhelných dolů i podél komunikací (Starý, 2008).



Obrázek 3: Hojnost larev, nymf a dospělců druhu *Oppia subpectinata* v průběhu roku (Coleman, et al., 2004).

Také koruny stromů tropických a mírných lesů mohou podporovat velké množství fytofágních pancířníků i jejich predátorů. Zdá se, že dosud neexistuje standardizace metod sběru, jaká byla vyvinuta pro půdní druhy, a odhady hustoty jsou obtížné. Pancířníci obývající koruny stromů vykazují některé behaviorální a morfologické modifikace, kterými se přizpůsobili specifikám tohoto stanoviště. Během denních hodin mají tendenci tvořit malé shluky a sexuální dimorfismus je lépe rozvinutý než u půdních druhů (Coleman et al., 2004).

Ačkoli kladou malý počet vajíček, mohou dosáhnout poměrně vysokých počtů u populace obývající horní vrstvy půdy. Při sčítání populace roztočů odebrané z horních 30 cm půdy na pastvině v Anglii, bylo spočteno 164 000 jedinců na metr čtverečný půdy (Nardi, 2009).

Pancířníci jsou citliví především na změny vlhkosti půdy. Obecně snášejí lépe vyšší vlhkost a vysychající půdu po určité době opouštějí. V této závislosti se u pancířníků vyvinulo několik adaptací na vysychání půdy, z nichž nejvýraznější je sklerotizovaná kutikula a silný cerotegument, vrstva kutikuly sloužící k retenci vody. Čím je sklerotizace a cerotegument slabší, tím klesá schopnost odolávat vysychání půdy. Bylo zjištěno, že vývojová stádia s méně sklerotizovanou kutikulou jsou na klesající vlhkost

citlivější. Obývají proto hlubší vrstvy půdy než dospělci. Se snižující se vlhkostí se lépe vyrovnávají druhy epigeické než druhy eudafické (Starý, 2008).

Pancířníci lépe odolávají nižším teplotám. Při vysokých teplotách spotřebovávají kvůli respiraci velké množství energie a tím dochází i k rychlejšímu vyčerpání zdrojů. Zatímco při nižších teplotách jsou pancířníci schopni upadnout do stavu strnulosti, při kterém je zásobní energie čerpána mnohem pomaleji. Pro většinu druhů je teplota 45 °C při jednohodinové expozici letální. Příkladem větší tolerance k nižším teplotám může být lučník obecný (*Scheloribates laevigatus*), který žil při 20 °C v průměru 230 dní, kdežto při 30 °C pouze 8 dní. Pro pancířníky obecně platí, že bývají heliofóbní. Existují však i druhy heliofilní, ale ukazuje se, že tento jev se objevuje v souvislosti s působením celé řady dalších ekologických faktorů (Starý, 2008).

Pancířníci se účastní přímo nebo nepřímo všech důležitých procesů v půdě. Podílejí se na koloběhu živin, sukcesi a rozšíření půdních hub a stimulují mikrobiální růst tím, že zvětšují povrch odumřelé organické hmoty (Setälä, 1995; Renker et al., 2005). Význam pancířníků byl prokázán zejména v koloběhu fosforu, dusíku a uhlíku (Krantz, 2009).

Obvykle jsou fungivorní, saprofágní (Coleman et al., 2004), bakteriofágní nebo kombinují všechny tyto způsoby (Hubert a Žilová, 1999). Pouze malé množství druhů je specializováno na jeden druh potravy. Příkladem může být lučník obecný (*Scheloribates laevigatus*), který se žíví výhradně jen hubovými hyfy a zbytky rostlin (Hubert a Žilová, 1999). Pancířníci živící se rozkládajícími se listy, vytvářejí větší plochu povrchu listů a zpřístupňují tak organickou hmotu menším rozkladačům, jako jsou bakterie a houby. Pancířníci a houby se zřejmě navzájem příliš netolerují. Zdá se, že soutěží o stejnou zásobu živin rozkládajících se rostlinných zbytků. Každý pancířník denně spotřebuje zhruba 20 % své hmotnosti. Drobné výkaly, které zanechávají, přispívají k zásobě humusu v půdě (Nardi, 2009).

3.4.2.7 Sametkovci (Prostigmata)

Sametkovci jsou suchozemskými i vodními roztoči (Makarova, 2015b). Jsou také zastoupeni velkým množstvím půdních druhů. Jejich populace mohou rychle růst do velkých počtů a v těchto situacích se pak stávají početnějšími než pancířníci. Mnohé druhy sametkovců jsou dravé, jiné se žíví i houbami, rostlinami nebo jsou parazitické. Druhy z čeledi Eupodidae, roztočíkovití (Tarsonemidae), Nanorchestidae se žíví řasami a plísněmi (Coleman et al., 2004). Některé druhy volně žijících roztočů mají specializované chelicery, kterými mohou propíchnout také rostlinné buňky a vysávat

jejich obsah (Wilson, 2017). Rod svilušek (*Tetranychus*) je závažným škůdcem rostlin. Jsou to roztoči s kulatým tělem a dlouhými tenkými končetinami. Vypadají jako miniaturní pavouci a jsou načervenalé nebo nazelenalé barvy (Van Emden, 2013).

Obecně platí, že větší sametkovci se živí jinými členovci a jejich vajíčky, zatímco menší druhy jsou nematofagní. Existují druhy, které mají přesně definované vzorce predace. Roztoč kobylky, *Eutrombidium trigonum*, se živí výhradně jejími vajíčky a jeho larvální stadia parazitují na dospělících. Zástupci čeledi sametkovití (*Trombiculidae*) jsou predátory chvostoků (Coleman et al., 2004).

3.4.2.8 Čmelíkovci (*Mesostigmata*)

Tento podřád je zastoupen menším počtem půdních druhů než jak je tomu u pancířníků a sametkovců (Coleman et al., 2004). Délka jejich těla se pohybuje v rozmezí 200 až 2500 μm (Makarova, 2015c). Mnohé druhy čmelíkovců parazitují na obratlovcích (kromě obojživelníků a ryb) i na bezobratlých (Wilson, 2017) a mohou být tak zachyceny v půdních vzorcích (Coleman et al., 2004). Kleštík včelí (*Varroa destructor*) je nebezpečným parazitem včel. Přenáší varroázu, letální formu onemocnění nazývaného virus deformovaných křídel (Van Emden, 2013).

Volně žijící čmelíkovci obývají půdu, opadanku, mechy a rostliny (Makarova, 2015c). Obyvatelé povrchu půdy, jako čeledi *Veigaiidae* a *Macrochelidae*, jsou větší a jsou predátory členovců a jejich vajíček. Druhy hlubších vrstev půdy jsou menší, méně pigmentované a nematofagní, jako je například čeledi *Rhodacaridae*. Obecně platí, že velikost půdních druhů klesá s rostoucí hloubkou půdy. Právě půdní druhy jsou téměř všechny dravé, jiné mohou být polyfagní. Například druhy čeledi čmelcovití (*Uropodidae*) se živí houbami, hlísticemi i hmyzem. Jiné druhy se živí malými kroužkovci, chvostokoky, roztoči nebo vajíčky hmyzu (Coleman et al., 2004). Zástupci čeledi *Phytoseiidae* mají hospodářský význam jako predátoři roztočů rostlin. Jsou komerčně chováni k vypouštění do skleníků a sadů (Van Emden, 2013).

3.4.2.9 Zákožkovci (*Astigmata*)

Zákožkovci jsou nejméně běžnou skupinou roztočů půdy, ačkoli se mohou na některých stanovištích vyskytovat hojně. Ti, kteří mají chelicery, jsou schopni požírat rostlinný materiál, houby a řasy. Většina půdních zástupců se živí také bakteriemi, které jsou se substrátem spojené (Coleman et al., 2004).

Tito roztoči zahrnují některé významné škůdce skladovaného zrna. Stávají se hojnými v některých agroekosystémech po sklizni nebo po aplikaci hnojiva (Coleman et al., 2004). Čeled' skladokazovití (Acaridae) a peříčkovití (Glycyphagidae), škůdci skladovaných obilovin a obilných produktů, mají ozubené chelicery, které jim umožňují oškrabávat materiál z jejich potravy (Wilson, 2017).

3.4.2.10 Hmyzenky (Protura)

Hmyzenky (viz Příloha 1) jsou řádem malých, bezkřídlých a primitivních členovců, kteří jsou snadno rozpoznatelní díky absenci tykadel a očí (Coleman et al., 2004). Existuje více než 500 popsáných druhů (Capinera, 2010). Hmyzenky jsou menší než vidličnatky (Diplura) a zřídka dorůstají délky více než 2 mm (Nardi, 2009). Mají výraznou žlutohnědou barvu, která usnadňuje jejich detekci ve vzorku půdy. Žijící exempláře jsou téměř průsvitné a lze snadno pozorovat peristaltické pohyby střev. Trup se skládá ze tří segmentů, z nichž každý nese jednu dvojici nohou (Koch, 2009). Obvykle však chodí jen na dvou párech nohou, protože jejich první pár je vybaven četnými senzory a přejímá tak funkci tykadel (Nardi, 2009). Zadeček se skládá z osmi velkých segmentů, které tvoří preabdomen a ze čtyř viditelně menších segmentů tvořících postabdomen (Koch, 2009).

Nebývají tak početní jako jiná mikroartropoda. Vyskytují se v různých půdách, kde jsou často svým výskytem spojené s kořeny rostlin nebo se nalézají v půdní podestýlce. Obývají vlhké prostory v půdě, převážně humus v lesních půdách, ale i opadanku, mech a příležitostně hnijící dřevo, kde se pravděpodobně živí houbovým myceliem (Koch, 2009). Nacházejí se v počtech 1 000 až 7 000 jedinců na metr čtvereční a zasahují do hloubek až 25 cm. Čím se hmyzenky živí, zůstává doposud neznámé (Coleman et al., 2004).

3.4.2.11 Vidličnatky (Diplura)

Je popsáno asi 660 druhů vidličnatek z celého světa, avšak tato skupina není ještě dobře prozkoumaná (Capinera, 2010). Bývají obvykle menší než 10 mm, ačkoli se jejich rozměry pohybují v rozmezí 2 až 50 mm (Capinera, 2010). Jsou to primitivní, protáhlí, úzcí a nepigmentovaní živočichové přizpůsobení k životu v půdě. Na konci zadečku mají přívěsky modifikované v dlouhé štěty nebo klíšťky (cerky). Půdní živočichové, jako jsou hmyzenky a vidličnatky, nemají oči, proto si kompenzují ztrátu zraku zvýšenou hmatovou a pachovou citlivostí (Nardi, 2009). Štěty jim slouží společně s dlouhými

tykadly jako senzorický orgán a klíšťky jsou používány pro zachycení kořisti (Coleman et al., 2004).

Vidličnatky jsou nejčastěji nalezeny ve vlhkých půdách lesů a trávníků, často pod kameny nebo tlejícím dřevem, v listové opadance (Koch, 2009) a v jeskyních (Capinera, 2010). V půdě se nacházejí v hloubkách asi 1 metr pod povrchem (Koch, 2009). Vyskytují se zde zpravidla dvě čeledi (viz Příloha 2). Čeleď štětinatkovití (Campodeidae) má přívěsky přeměněné na dva štěty, kdežto čeleď škvorovkovití (Japygidae) má klíšťky. Vidličnatky jsou predátory hlístic a malých členovců, například chvostoskoků. Štětinatkovití se živí roztoči a jinými malými členovci, ale také požírají mycelium hub a organické zbytky (Coleman et al., 2004). Vajíčka kladou v půdě. Jejich délka života dosahuje u některých druhů dvou až tří let (Capinera, 2010).

3.4.2.12 Stonoženky (Symphyla)

Stonoženky jsou malé, podlouhlé, mnohonožky a všežraví živočichové, kteří se podobají malým stonožkám (Coleman et al., 2004). Přesto, že patří spolu se stonožkami do podkmenu stonožkoců (Myriapoda), liší se od sebe v několika charakteristikách (Tajovksý, 2015). Patří mezi pravé půdní živočichy (Tajovksý, 2008). Vyskytují se v lesních, pastevních a orných půdách. Některé druhy jsou škůdci ve skleníkových půdách, kde se živí kořeny rostlin (Coleman et al., 2004).

3.4.3 Makrofauna

Makrofauna je nejznámější faunou půdy a také nejznámější z hlediska biologie a dopadu na úrodnost půdy. Zahrnuje širokou škálu taxonomických skupin, které vyživají několik trofických úrovní (Bardgett, 2005). Půdní makrofauna obvykle dosahuje hustoty stovek nebo tisíců jedinců, zatímco mesofuna dosahuje množství desítek nebo stovek tisíc jedinců na metr čtvereční v půdách mírných oblastí (Frouz, 2014).

Tato skupina zahrnuje různé třídy, řády a čeledi. Je významnou složkou půdních ekosystémů a jejich potravních sítí. Od mikroarthropod se liší tím, že mohou mít přímý vliv na strukturu půdy. Některá makroarthropoda se vyskytují jak v nadzemních, tak i v podzemních částech ekosystémů. Mnoho z nich je přechodnými, nebo dočasnými obyvateli půdy a tvoří tak spojení mezi potravními řetězci nad zemí a v půdě (Coleman et al., 2004).

3.4.3.1 Stejnonožci (Isopoda)

Stejnonožci patří do kmene korýšů (Crustacea) a do třídy rakovců (Malacostraca). Pojmenování získali díky sedmi párům stejně utvářených končetin na cefalothoraxu (Mlejnek, Tajovský, 2016). Je popsáno 3500 druhů, ovšem skutečné počty se odhadují až na 5 000. V České republice se vyskytuje 42 druhů (Tajovský, 2008). Patří sem jak suchozemští, tak i vodní druhy. Suchozemští stejnonožci tvoří vlastní podřád (Oniscidea). Jejich tělo je dorzoventrálně zploštělé, šedé barvy a dlouhé až 15 mm (Mlejnek, Tajovský, 2016). Mají dva páry tykadel, ovšem první je redukován (Tajovský, 2008). Stejnonožci, stejně jako ostatní korýši, mají tělo rozděleno na dvě části: cefalothorax a abdomen. Abdomen je velmi krátký a nemá nohy. Svinky (*Armadillidium*) se na rozdíl od stínek (*Porcellio*) dokáží svinout do klubka (Kattes, 2009).

Přestože obývají různá stanoviště včetně pouští, jsou náchylní na vysychání (Coleman et al., 2004). Svinky dokáží přežívat i na extrémně teplých stanovištích (Tajovský, 2008). Většina druhů stále toleruje ponoření se do vody. Například zástupci rodu *Ligidium* a některé specializované jeskynní druhy čeledi Trichoniscidae při nebezpečí unikají do vody (Paoletti, 1999).

Adaptace, díky nimž odolávají vysoušení, zahrnují například noční aktivitu, schopnost svinutí se do klubka (svinky) a omezení dýchacích cest do specializovaných oblastí. Obývají nejen povrch půdy, kde se ukrývají pod kameny, v mechu, ve spadaném listí apod., ale pronikají také do hlubších vrstev a mnoho druhů dokonce obývá i jeskyně (Mlejnek, Tajovský, 2016). Některé druhy žijí i v korunách stromů, zejména v tropických deštných lesích (Paoletti, 1999). Živí se rozkládající se rostlinnou hmotou, s níž mimo jiné požírají u bakterie a houby (Mlejnek, Tajovský, 2016).

3.4.3.2 Mnohonožky (Diplopoda)

Mnohonožky jsou hlavními konzumenty organického odpadu v mírných a tropických lesích. Na povrchu těla nemají voskovou vrstvičku, proto jsou citlivé na vysychání v prostředí s nízkou relativní vlhkostí. Vyhýbají se teplým a suchým podmínkám tím, že se ukrývají ve vegetaci (Coleman et al., 2004). Některé druhy mohou produkovat kyanidové látky, které jsou pro většinu predátorů toxické (Kattes, 2009). Druhy žijící na našem území dosahují délky 3 – 4 cm (Tajovský, 2015), zatímco tropické druhy mohou dosahovat délky až 20 cm (Coleman et al., 2004).

Některé mnohonožky jsou pravými půdními živočichy, jiné žijí na povrchu půdy (Coleman et al., 2004), kde obývají listový opad, tlející dřevo a jsou nalézány pod kůrou

stromů. Mnohonožky svou činností vytvářejí chodbičky a aktivně tak pozměňují půdní prostředí. Tím se liší od stonožek, které takovéto prostory pouze využívají (Tajovský, 2015).

To, zda pokrývají většinu svých nutričních požadavků z rostlinného substrátu nebo z mikroorganismů, které se na něm vyvíjejí, je nejisté. Mají také tendenci konzumovat své vlastní výkaly (Capinera, 2010).

Pro mnohonožky je charakteristickým znakem četný výskyt nohou, ovšem žádná z nich nemá více než 375 párů. Od stonožek je odlišuje přítomnost dvou párů končetin na jednom segmentu těla. Na celém světě je známo asi 10 000 druhů mnohonožek. Jsou poměrně morfologicky různorodé, ačkoli všechny sestávají z dlouhého řetězce spíše jednotných tělesných segmentů a postrádají křídla (Capinera, 2010).

3.4.3.3 Stonožky (Chilopoda)

Stonožky mají jeden pár nohou na segmentu, což je rys, který umožňuje jejich snadné odlišení od mnohonožek (Capinera, 2010). Počet segmentů se pohybuje v rozmezí od 15 do 177 a je vždy lichý (Kattes, 2009). Stonožky obvykle mají délku 1 až 10 cm, ale v tropech mohou dosahovat délky až 26 cm (Capinera, 2010). Jsou dlouhé, štíhlé a ploché, nejčastěji červenohnědé (Kattes, 2009). První pár nohou je přeměněn na kusadlové nožky, které mají jedovou žlázu (Capinera, 2010). Doposud je popsáno 3 000 druhů stonožek, z toho 65 druhů a poddruhů se vyskytuje v České republice (Tajovský, 2008).

Společně s mnohonožkami patří mezi typické obyvatele opadanky a svrchních vrstev půdy. Například zástupci řádu různočlenek (*Lithobiomorpha*) se vyskytují na povrchu půdy v opadance, pod kameny a kůrou pařezů, kdežto zástupci řádu zemivek (*Geophilomorpha*) pronikají do hlubších vrstev půdy (Tajovský, 2015).

Na rozdíl od mnohonožek, které jsou téměř výhradně saprofágní, jsou stonožky predátory, proto na půdotvorné procesy působí nepřímo regulací jiných druhů. Živí se například larvami hmyzu, drobnými členovi, roupicemi nebo dokonce žížalami (Tajovský, 2015).

3.4.3.4 Pavouci (Araneae)

Pavouci zahrnují jeden z největších řádů s více než 46 000 popsányými druhy. Pouze pět řádů hmyzu, jako brouci (*Coleoptera*), dvoukřídli (*Diptera*), motýli (*Lepidoptera*), blanokřídli (*Hymenoptera*), polokřídli (*Hemiptera*), mají více druhů. Pavouci jsou rozšířeni po celém světě mimo Antarktidu. Vyskytují se ve všech typech suchozemských

biotopů a někteří jsou dokonce i vodní (Marusik, 2015). Pavouci se liší od hmyzu tím, že se jejich tělo rozděluje na dvě části. Přední část se nazývá prosoma (hlavohruď) a zadní opistosoma. Od hmyzu se liší také v tom, že mají místo šesti nohou osm. Stejně jako roztoči nemají pavouci tykadla, která často nahrazují prvním párem nohou (Van Emden, 2013).

Pavouci jsou dobře známí svými pavučinami, které používají k různým účelům. Někteří je využívají k zachycení kořisti, jiní z nich vyrábějí padáčky, kterými se přemísťují do nových oblastí. Samičky z nich zase vyrábějí kokony, do nichž nakladou vajíčka (Kattes, 2009).

Všichni pavouci jsou draví. Živí se hmyzem a jinými členovci, včetně suchozemských korýšů a jejich příbuzných. Většina pavouků se živí jakýmkoliv druhem kořisti, ačkoli je známo několik specializovaných pavouků na konkrétní skupiny kořisti (Marusik, 2015).

Všechny druhy pavouků vykazují určitou mateřskou péči. V nejjednodušším případě samice dělají kokony, naplní je vajíčky a umístí na skryté místo. Takovými druhy jsou například zástupci čeledi křížákovití (Araneidae), přičnatkovití (Hahniidae), čelistatkovití (Tetragnathidae). Většina druhů se ovšem o jejich potomstvo stará po delší dobu (Marusik, 2015).

3.4.3.5 Termiti (Isoptera)

Tento řád křídlatého hmyzu dostal název podle dvou párů rovných a velmi podobných křídel, které mají v době reprodukce (Lewis, 2009). Nereproduktivní formy termitů, ale i mravenců (*Lasius*) obvykle žijí v půdě a křídla nemají (Kattes, 2009). Termiti jsou malí a světlí, na určitých částech těla pigmentovaní. Jsou nazýváni jako bílí mravenci, protože mohou být s pravými mravenci zaměňováni. Bližší pohled však odhaluje snadno pozorovatelné odlišné rysy. Termiti mají rovná tykadla a široký pas mezi hrudníkem a břichem, zatímco mravenci mají tykadla lomená a úzký pas. Reprodukční formy termitů mají čtyři stejně velké křídla, kdežto mravenci mají dva páry nepřesně velkých křídel (Lewis, 2009).

Termiti si vytvářejí podzemní hnízda, hnízda na povrchu půdy, na stromech nebo v hnízdech jiných druhů termitu (Lavelle et al., 2002). Krátce po jarním dešti opouští hnízda roje samic a samců. Samičky pak hledají místo pro založení nové kolonie (Kattes, 2009). Pod zemí žijí kvůli příznivě vysoké vlhkosti, avšak vylézají nad zem, kde hledají potravu. Často si vytvářejí tunely z půdních částic, kterými se pohybují nad zemí

(Capinera, 2010). Živí se dřevem a jinými celulóзовými materiály. Jejich činnost napomáhá rozložit odumřelé dřeviny a jiné rostlinné materiály (Kattes, 2009).

3.4.3.6 Blanokřídli (Hymenoptera)

Blanokřídli jsou obecně považováni za nejvyspělejší ze všech skupin hmyzu (New, 2012). Jsou řádem holometabolického hmyzu. Mají dva páry blanitých křídel (Quicke, 2009), která mohou být u některých skupin zcela nepřítomná (Capinera, 2010). Přední křídla jsou větší než ta zadní (Quicke, 2009) a žilnatina na křídlech je často značně redukována. Abdomen je hlavní a největší částí těla skládající se z několika segmentů. Obsahuje většinu trávicích a reprodukčních orgánů. V místě, kde připojen ke hrudníku je spojen stopkou. Toto zúžení zřejmě umožňuje hmyzu lépe se ohnout jak při parazitování, tak při obraně (Capinera, 2010).

Vzhledem k tomu, že se jedná o velice rozsáhlý řád, existuje u tohoto hmyzu řada biologických a životních strategií. Patří sem druhy fytofágní, parazitické i dravé (Quicke, 2009). Hymenoptera jsou důležitým zdrojem potravy pro ptáky, savce, plazy a obojživelníky (Capinera, 2010).

K nejběžnějším zástupcům řádu blanokřídlych jsou mravenci, respektive čeleď mravencovití (Formicidae) (Keller and Gordon, 2009). Jsou jedni z nejpočetnějších, ale zároveň i nejvýznamnějších predátorů v přírodě. Doposud bylo popsáno přes 12 450 druhů, avšak odhaduje se, že skutečný počet se pohybuje kolem 30 000 (Konvička, 2008).

Jejich výskyt sahá od arktických oblastí až po tropy, od horských lesů až po písčné duny. Přestože se dokázali přizpůsobit téměř jakémukoli stanovišti, netolerují extrémní chlad. V Grónsku, na Islandu nebo na Antarktidě neexistují žádné druhy mravenců. Upřednostňují tropické klima, ale dokáží se dobře vypořádat v zemích s mírným nebo dokonce chladným klimatem (Keller and Gordon, 2009). Vysokých počtů jak jedinců, tak i druhů je dosahováno na stepních, lesostepních i lesních biotopech (Konvička, 2008). Společenský hmyz, jako jsou mravenci, produkuje feromony, které sdělují svým příbuzným, kde se nachází dobré zdroje potravy (Capinera, 2010).

Na rozdíl od termitů, dospělí mravenci jsou odolní vůči vysychání. Mají tendenci používat půdu jako hnízdní matici nebo substrát. Potravu, ať už ve formě semen nebo hmyzu, přenášejí pod zemí, aby zásobili své larvy. Někteří mravenci zde také uchovávají potravu, kterou využívají v období nepříznivého počasí (Capinera, 2010).

Mravenci způsobují podstatné změny ve fyzikálních vlastnostech půdy zvýšením její pórovitosti a zlepšením odvodnění a provzdušňování. Nebývají v těchto procesech

tak účinní jako žížaly, ale tím, že jsou na planetě rozšířenější, je celkový účinek jejich činnosti na obnovu půdy pravděpodobně ekvivalentní účinkům žížal. Okolí mravenišť jsou bohatá na minerální sloučeniny, zejména na dusík, fosfor a draslík, stejně jako na organické látky. Mají příznivý vliv na zemědělskou produkci, zejména na pastvinách, kde půda je přirozeně chudší (Keller and Gordon, 2009).

Mravenci se ukázali užitečnými při sledování reakcí na narušení nebo obnovení kvality půdy. Jejich ekologická rozmanitost a poněkud předvídatelné reakce na stres, vedly k jejich rozšířenému použití jako bioindikátorů (New, 2012).

3.4.3.7 Polokřídli (Hemiptera)

Do tohoto řádu spadají například ploštice (Heteroptera), mšice (Aphidoidea), mery (Psylloidea) a křísi (Auchenorrhyncha). Znakem tohoto hmyzu je bodavě sací ústrojí, proto mezi nimi převažují fytofágní druhy. Jsou převážně suchozemští, ale obývají i vodní prostředí. V současnosti bylo popsáno něco přes 100 000 druhů polokřídlych. Nejvíce se nachází v tropických oblastech. V České republice je známo 858 druhů ploštic a 560 druhů křísů. Většina druhů osidluje vegetaci, avšak se mezi nimi nachází i druhy epigeické. Vysávají rostliny při jejich bázi, nebo spadlá semena. U některých ploštic, například zástupců čeledi hrabulkovití (Cydnidae), křísů a mer probíhá larvální vývoj v půdě (Konvička, 2008).

Mšice živící se kořeny rostlin nejsou schopné se dostat na povrch půdy. Místo toho jsou závislé na mravencích. Ti je přemísťují z rostliny na rostlinu přes podzemní tunely a chrání je před predátory. Na oplátku vylučují medovici, kterou mravenci využívají jako zdroj energie (Capinera, 2010). Mšice jsou pravděpodobně nejčastější hmyzí škůdci rostlin. Mnoho druhů je také vektory organismů způsobujících nemoci rostlin (Kattes, 2009).

3.4.3.8 Dvoukřídli (Diptera)

Konvička (2008) uvádí, že na našem území bylo prozatím doloženo 8 000 druhů dvoukřídlych a každých 10 let se dalších 1 000 druhů nově objeví (Capinera, 2010). Skupina je všudypřítomná. Úspěšně kolonizovala téměř všechna prostředí a všechny kontinenty včetně Antarktidy (Merritt et al., 2009). Tento hmyz je důležitým potravním zdrojem pro ryby a obojživelníky. Jsou také škůdci a vektory chorob lidí a volně žijících živočichů (Capinera, 2010). Ačkoli u některých dvoukřídlych je známá brachypterie

(redukovaná křídla) nebo apterie (absence křídel), dospělci obvykle křídla mají a jsou aktivními letci (Merritt et al., 2009).

Larvy dvoukřídličích nemají žádné nohy, nebo jsou velmi redukované (Van Emden, 2013). Jsou omezeny na vlhké prostředí bohaté na organickou hmotu. Některé larvy jsou dravé a mají adaptace ke snížení ztráty vlhkosti (Coleman et al., 2004). Nacházejí se na různých suchozemských a vodních stanovištích. Většina larev je volně žijících a aktivně se pohybuje ve vodě. Příkladem jsou larvy čeledi muchničkovití (Simuliidae), komárovití (Culicidae) a pakomárovití (Chironomidae). Obývají také rozkládající se organický materiál (Merritt et al., 2009) a mnoho larev jsou důležitými saprofágy v půdě (Van Emden, 2013). Saprofytické larvy mají například čeledi mouchovití (Muscidae) a masařkovití (Sarcophagidae). Jiné obývají také tkáně živých organismů, jako například larvy čeledi střechkovití (Oestridae) (Merritt et al., 2009).

3.4.3.9 Brouci (Coleoptera)

Brouci zaujímají více než čtvrt milionu popsaných druhů a z hlediska doposud těch známých mohou být považováni za jednu neúspěšnější existující skupinu živočichů (Böcher, 2015). V Evropě bylo nalezeno kolem 20 000 a v České republice 6 000 druhů brouků (Konvička, 2008). Je odhadováno, že ve skutečnosti může existovat něco mezi 5 a 8 miliony druhů brouků (Van Emden, 2013). Jejich druhová bohatost odráží značnou různorodost potravních strategií a požadavků na stanoviště (Böcher, 2015). Brouci představují velmi rozmanitou skupinu. U nás se vyskytují brouci velcí od 0,5 do 2 cm délky (Konvička, 2008).

Obývají louky, pastviny, půdu, mokřady, lesy a jiná stanoviště. Nalézají se od nížin až po alpská pásma. Konvička (2008) uvádí, že vývoj preimaginálních stádií probíhá v mrtvé i živé organické hmotě. Některé druhy brouků vyskytujících se na pastvinách jsou závislé na přítomnosti hospodářských zvířat, zejména na jejich trusu. Řadí se sem druhy, jejichž larvy jsou koprofágní, nebo druhy karnivorní, které požírají jiné bezobratlé a jejich larvy. Mezi typické koprofágy patří zástupci rodu listorohých (Scarabaeoidea) (Konvička, 2008).

Čeď střevlíkovití (Carabidae) patří mezi početnou skupinu brouků. V České republice se nachází 518 druhů. Jsou především predátory ostatních bezobratlých, proto nejčastěji obývají povrch půdy, ale nalézají se také pod kameny, kůrou a na rostlinách (Konvička, 2008). Larvy střevlíkovitých jsou euedafické a mohou být extrahovány pomocí Berlese – Tullgrenova extraktoru ze vzorků půdy (Coleman et al., 2004). Většina

druhů je citlivá na změnu vlhkosti a pH, ale také velmi citlivě reaguje na herbicidy a přílišné používání umělých hnojiv. Z těchto důvodů jsou významnými bioindikátory prostředí (Konvička, 2008).

3.4.4 Megafauna

3.4.4.1 Žížaly

Žížaly se vyskytují na všech kontinentech kromě Antarktidy. Celkem je popsáno 2 500 druhů, z toho 52 se nachází na území České republiky. Odhaduje se, že dalších 2 000 druhů není doposud známo (Tajovksý, 2018). Žížaly mají pro půdu obrovský význam. Konzumují organické zbytky, zlepšují dostupnost živin pro rostliny, podporují jejich růst, transportují živiny do hlubších vrstev půdy a zlepšují její kvalitu (Pommeresche et al., 2010). Pohlcují půdu v jedné hloubce, ale vyloučí ji v jiné (Van Breemen and Buurman, 2002). Výkaly žížal mají více živin než okolní půda a podílí se na její drobtovité struktuře. Při tvorbě chodbiček a pohlcování částeczek půdy společně s potravou vytvářejí prostory pro růst kořenů a mikrohabitaty pro půdní organismy.

Společenstvo žížal zahrnuje druhy, které pohlcují malé agregáty a produkují velké kompaktní struktury, ale také druhy, které mají opačné účinky. Kombinované účinky těchto dvou funkčních kategorií udržují fyzikální vlastnosti půdy ve vysoce dynamickém stavu (Lavelle et al., 2002).

Žížaly mají v pokožce pigmenty, které jim slouží jako ochrana proti UV záření a predátorům. Póry na zádech vylučují sliz, který žížalám napomáhá k rychlejšímu pohybu a při pohybu skrze suchá místa. Dle intenzity a rozmístění pigmentu lze usuzovat, v jaké hloubce půdy se vyskytují. Například žížala obecná (*Lumbricus terrestris*) při vyhledávání potravy vystrkuje skrz půdu hlavovou část, proto je zde nejvíce pigmentovaná (Pommeresche et al., 2010).

Žížaly byly zařazeny do třech různých kategorií v závislosti na jejich výskytu v půdě a účinků na její funkci. Epigeické žížaly se nalézají při povrchu půdy. Jsou významné při tvorbě kompostu, ale méně významné při procesu bioturbace. Naproti tomu endogenní žížaly jsou v tomto procesu více aktivní (Lavelle et al., 2002). Vyhlebují horizontální podzemní chodbičky v minerálním horizontu (Tajovksý, 2008), ovšem jen s krátkou trvanlivostí (Lavelle et al., 2002). Anektické druhy vytvářejí trvalé vertikální podzemní síť chodbiček, které se otevírají na povrchu půdy. Produkují také velké

množství výkalů, které ukládají v půdních makroporech nebo na povrchu půdy (Lavelle et al., 2002).

Na jednom metru čtverečním zemědělsky obdělávané půdy se může vyskytovat až 300 jedinců. Nejméně se jich nalézá v písčítých, o něco více v jílovitých a hlinitých a nejvíce v humózních půdách (Pommeresche et al., 2010). Trávníky a pastviny podporují větší počet žížal (Nardi, 2009).

Klimatické podmínky a poloha také výrazně ovlivňují početnost žížal. Žížaly žijící ve větších hloubkách půdy, jako je žížala polní (*Aporrectodea caliginosa*) a obecná, preferují chladnější podmínky spíše než druhy vyskytující se blíže k povrchu (Pommeresche et al., 2010).

4 Význam půdních členovců pro posuzování stavu a kvality půdy

Nesprávné a špatné hospodaření s půdou, nedbalé rekultivace půdy, eroze způsobené člověkem, salinizace a okyselení, desertifikace, znečištění ovzduší a přivlastňování si půdy pro průmysl a dopravu nyní poškozují půdu rychleji, než je schopna se vytvořit (Breeman and Buurman, 2002). Moderní zemědělství vedlo k velkým změnám v agroekosystému a k silným dopadům na životní prostředí (Gardi et al., 2002). Zintenzivnění zemědělství bylo spojeno

s významnými ztrátami biodiverzity (Feber et al., 1998) a zhoršení kvality půdy (Gard et al., 2002). Vysoká rozmanitost půdních organismů a půdního prostředí bývají nedocenenými, avšak velmi důležitými faktory, které přispívají k životaschopnosti půdy, její kvalitě a službám pro lidstvo (Wall et al., 2012). Plesník a Vačkář (2005) uvádějí, že jádrem ekosystémů jsou sítě organismů. Jednotlivé druhy se sdružují do funkčních skupin, které tvoří základ procesů v ekosystému a právě interakce mezi druhy ve společenstvu určují odolnost a pružnost ekosystému.

Kvalita půdy je charakterizována jako schopnost půdy fungovat efektivně jako součást ekosystému. Ovšem účinkem několika faktorů, včetně ztráty biotopů, přímých a nepřímých účinků pesticidů a herbicidů a zvýšeného využívání anorganických hnojiv, došlo k jejímu narušení (Gardi et al., 2002). Rozmanitost býložravého hmyzu je v korelaci s rozmanitostí rostlinných druhů. Není proto překvapující, že na uměle pěstovaných monokulturách, kde se často používají pesticidy, bývá menší rozmanitost i půdní fauny (Wall et al., 2012). Kromě ztracených ploch a obecné degradace kvality stanovišť se také zbývající plocha bohatá na živočišné druhy stále rozděluje na menší celky. Spojitý biotop se tak rozděluje na dva nebo více odlišných fragmentů, které se dále zmenšují a stávají se stále izolovanější od ostatních částí původního biotopu (Stewart et al., 2007).

Evropská unie v průběhu 80. let vedla ke zvýšení zájmu o ekologické zemědělství. Takový zemědělský systém bývá méně produktivní, co se týče výnosů na hektar než konvenční systém, ale jeho nevýhoda je převážena úsporami na vstupu a zlepšením kvality životního prostředí (Feber, et al., 1998). Cílem ekologického zemědělství je nejen udržení, ale také rozvoj kvality půdy (Šarapatka a Zídek, 2005).

Tradiční přístup k posuzování kvality půdy byl založen na použití fyzikálních, chemických a biologických ukazatelů (Gardi et al., 2002). Biologická aktivita totiž

dosahuje v ekologicky obhospodařovaných půdách poměrně lepších výsledků, ale musí být tento systém aplikován po delší dobu (Šarapatka a Zídek, 2005). Nedávno byly navrženy nové metody pro hodnocení kvality půdy založené na výzkumu půdních členovců. Ukázalo se, že půdní členovci citlivě reagují na postupy hospodaření s půdou a jejich počty korelují s příznivým stavem půdy (Gardi et al., 2002). Použití vhodných druhů nebo skupin druhů, které odrážejí některé složky jejich životního prostředí je účinným nástrojem pro řešení krize biologické rozmanitosti (Stewart et al., 2007). Některé z těchto metod jsou založeny na globálním hodnocení členovců, zatímco jiné jsou založeny na hodnocení jednotlivých taxonů (Gardi et al., 2002). Potřeba posoudit různé aspekty degradace půdy se stala prioritou v řízení ochrany půdy. Mezi několika indexy vyvinutými v posledních letech je QBS, který spojuje biologickou rozmanitost mikroartropod půdy se stupněm její degradace půdy (Menta et al., 2018)

Výsledky studií dokazují, že na ekologicky obhospodařovaných polích se vyskytuje větší početnost a rozmanitost členovců než na konvenčně obdělávaných polích. Šarapatka a Zídek (2005) uvádějí, že na ekologicky obhospodařovaných půdách se vyskytuje 1,6krát více členovců (mimo pavouků) a 1 – 5krát více pavouků. Nicméně existují zřetelné rozdíly v reakcích mezi taxonomickými skupinami. Zatímco mšice a jejich přirození dravci mají tendenci být bohatší na konvenčních polích, kde jsou bohatší zdroje potravy, skupiny jako roztoči, mravenci, ploštice, dvoukřídlí a blanokřídlí se zde vyskytují méně (Hole et al., 2005). Například populace pancířníků se zvyšuje s rostoucím množstvím organického uhlíku v půdě (Kula, 2014), avšak chvostokoci vykazovali málo rozdílů mezi systémy zemědělství. Bylo také zjištěno, bez ohledu na systém zemědělství, že na okrajových částech polí se vyskytuje mnohem více členovců (jak druhovou bohatost, tak i biomasu), ale také to, že pokles bohatosti fauny z okraje do středu pole byl větší na konvenčních polích (Hole et al., 2005). Často je sledována populace brouků z čeledi střevlíkovitých (Carabidae), kteří se ve větších počtech jak jedinců, tak druhů nacházejí na ekologicky obhospodařovaných půdách (Šarapatka a Zídek, 2005).

Důvodem, proč je v ekologických půdách větší biodiverzita, je především používání organických hnojiv a vyloučení těch minerálních). Organické hnojení je pro půdní členovce, ale také pro ostatní edafon příznivější (Šarapatka a Zídek, 2005).

5 Materiál a metody

Tento výzkum byl zaměřen na výskyt a dynamiku menších druhů půdní fauny, konkrétně na určité zástupce mesofauny a makrofauny. Skupiny živočichů, jimiž se výzkum zabýval, jsou:

- Mšice
- Hmyzenky
- Vidličnatky
- Chvostokoci (typ 1, 3, 5)
- Ploštice
- Stonožky
- Mravenci
- Brouci (imaga)
- Blanokřídli (mimo mravenců)
- Dvoukřídli (larvy)
- Roztoči (mimo pancířníků)
- Pancířníci
- Stejnonožci
- Mnohonožky
- Pavouci
- Stonoženky
- Ostatní holometabola (larvy)
- Ostatní holometabola (dospělci)

5.1 Popis lokality odběru

Výzkum byl prováděn na pastvině (viz Obr. 4) o ploše cca 720 m². Demonstrační a pokusné stáje České zemědělské univerzity v Praze. GPS souřadnice této pastviny jsou 50°07'48"N a 14°22'07"E a nadmořská výška je 285 m. n. m. Na této pastvině se celoročně chovají ovce plemen suffolk, charollais, šumavka a kozy plemen koza bílá a hnědá krátkosrstá, kamerunská koza a búrská koza. Nachází se zde venkovní stáj, krmeliště a výběh.

Tato lokalita byla zvolena z důvodu porovnání výskytu půdní fauny s intenzitou nákazy ovcí a koz tasemnicí rodu *Moniezia* (výzkum stále probíhá). Konkrétní místa na

pastvině, která byla vybrána, jsou charakteristická různým stupněm zatížení zvířaty zde chovanými. Vysoká hustota zvířat způsobuje řídkou vegetaci trav a bylin a poměrně větší množství výkalů.



Obrázek 4: pastvina Demonstrační a pokusné stáje ČZU (www.mapy.cz).

5.2 Index biodiverzity

Pro hodnocení druhové bohatosti byl pro každý měsíc vypočten Simpsonův index druhové diverzity vyjádřený pomocí vzorce (Matějka, 2007):

$$D = \frac{1}{\sum P_i^2}, \text{ kde } D \text{ je index diverzity a } P_i \text{ relativní početnost } i\text{-tého.}$$

5.3 Biologický index kvality půdy (QBS index)

Biologická kvalita půdy je hodnocena pomocí indexu QBS (soil biological quality). QBS je založen na principu, že čím vyšší je kvalita půdy, tím vyšší bude počet půdních druhů mikroartropod a index QBS. Pro edafické druhy jsou typické určité znaky těla vypovídající o přizpůsobení se životu v půdě. QBS index je aplikován přiřazením organismu extrahovaného z půdních vzorků do skupin s homogenními morfoloogickými znaky. To se provádí na základě dílčích ekomorfoloogických indexů (EMI), které přiřazují hodnotu každé skupině. Součtem jednotlivých EMI tak dostaneme celkovou hodnotu QBS indexu. Existují dva různé typy QBS indexu. Jeden je založený na mikroartropodách (QBS-ar), zatímco druhý hodnotí pouze chvostoskoky (QBS-c) (Gardi et al., 2002). Bakalářská práce dále pracuje pouze s celkovým BSQ indexem. Index

QBS-ar se zaměřuje na přítomnost morfologických znaků charakterizujících přizpůsobení mikroarthropodům půdě a nevyžaduje komplexní taxonomickou identifikaci na úrovni druhu (Menta et al., 2018).

V tabulce (Tab. 2) jsou uvedeny hodnoty EMI spojené s každou skupinou mikroarthropod. Některé skupiny mají pouze jednu hodnotu EMI a to z důvodu, že všechny druhy patřící do této skupiny jsou euedafické. U jiných skupin je uveden určitý rozsah hodnot EMI, protože v těchto skupinách existují druhy s různou úrovní přizpůsobení životu v půdě. Vyšší hodnoty EMI pak byly přiděleny druhům více přizpůsobeným půdnímu prostředí (Gardi et al., 2002).

Tabulka 2: Hodnoty EMI pro jednotlivé skupiny (Gardi et al., 2002).

Taxon	EMI	Taxon	EMI
Protura	20	Ostatní holometabola (larvy)	10
Diplura	20	Ostatní holometabola (dospělci)	1
Collembola	1 – 20	Pseudoscorpionida	20
Microcoryphia	10	Palpigradi	20
Zygentoma	10	Opiliones	10
Dermaptera	1	Araneae	1 – 5
Orthoptera	1	Acari	10 – 20
Embioptera	10	Isopoda	10
Blattaria	5	Diplopoda	5 – 20
Psocoptera	1	Paupoda	20
Hemiptera	1	Symphyla	20
Thysanoptera	1	Chilopoda	10 – 20
Coleoptera (dospělci)	1 – 20	Hymenoptera	1 – 5
Diptera (larvy)	10		

Hodnota EMI se pohybuje v rozmezí 1 až 20 dle stupně přizpůsobení živočichů k životu v půdě. Obecně platí že, euedafickým formám živočichů je přidělena hodnoty EMI = 20, hemiedafickým formám hodnota úměrná jejich stupni adaptace na půdu a epigeických formám hodnota EMI =1.

Hlavními fázemi aplikací QBS jsou podle Menta et al. (2018):

- 1) odběr vzorků půdy
- 2) extrakce členovců
- 3) stanovení biologických forem a přiřazení EMI
- 4) výpočet indexu QBS-ar jako součet hodnot EMI

5.4 Odběr vzorků půdní fauny

Jelikož se jedná o takto drobné živočichy, při sběru vzorků byli odebíráni společně s částí půdy. Vždy bylo odebráno pět vzorků přibližně v metrových rozestupech za sebou. Sběr v dalším měsíci navazoval v místě, kde předchozí sběr skončil. Tento způsob byl zvolen proto, aby bylo možné analyzovat půdu po celé pastvině. Celkový objem každého z odebraných vzorků byl 700 cm^3 (do hloubky 15 cm půdy). Vzorky obsahovaly co nejvíce různých částí odebrané půdy, včetně jejího povrchu, vegetace a opadanky. Výzkum byl prováděn po celý rok od března 2017 do března 2018. Sběr probíhal v pravidelných intervalech a to jedenkrát měsíčně kolem patnáctého dne v daném měsíci.

5.5 Extrakce vzorků půdní fauny

Ihned po té, co byl vzorek půdy odebrán, byl vložen do Berlese-Tullgrenova extraktoru (Obr. 5). Ten se skládá ze síta s rozměry ok $2 \times 2 \text{ mm}$ (Mourek a Lišková, 2010), kovové nálevky, zdroje světla a fixačního média. Jako zdroj světla byla v tomto případě použita žárovka (Henderson and Southwood, 2016) a jako fixační médium 70% etanol. Síto společně se vzorkem, který byl vystaven přímému záření ve vzdálenosti přibližně 30 cm pod žárovkou, bylo položeno nad nálevku, pod níž byl umístěn kelímek s etanolem.



Obrázek 5: Berlese-Tullgrenův extraktor (Mourek a Lišková, 2010).

Tato metoda je založena na principu pohybu mikroartropod v reakci na změny v gradientech tepla a vlhkosti, kdy žárovka vytváří nehostinné podmínky v půdě. Půdní živočichové, obzvláště ti, kteří žijí v hlubších vrstvách půdy, jsou fotofóbní a unikají před světlem hlouběji do vzorku půdy, až nakonec propadnou sítím skrze nálevku do kelímku s etanolem (Mourek a Lišková, 2010). Tento vertikální pohyb živočichů je také podpořen vysycháním půdy a působením tepla. Půda by měla být vysoušena pomalu, aby se zabránilo úhynu živočichů již ve vzorku (Wheather et al., 2011).

Vzorky byly extrahovány po dobu 7 – 10 dnů, což je doba vhodná k tomu, aby stačily proschnout i spodní vrstvy půdy v síti. Kelímky s extrahovaným materiálem byly po extrakci uzavřeny víčkem, označeny číslem vzorku a posléze analyzovány pod binolupou.

Tato metoda byla zvolena na základě jejího rychlého zpracování, protože nevyžaduje stálou obsluhu, nicméně její účinnost u některých skupin mikroartropod je rozdílná. Patří k nejrozšířenějším způsobům extrakce členovců z půdy (Wheather et al., 2011).

5.6 Analýza půdní fauny

Rozbor (viz Obr. 6) extrahovaných vzorků probíhal pod optickým mikroskopem Nikon SMZ-U Zoom 1:10. Jako zdroj světla byla použita halogenová lampa Motic MLC-150C, jejíž součástí jsou dvě ohebná ramena. Každý vzorek byl analyzován jednotlivě přímo z kelímku.

Půdní organismy byly zařazeny do jednotlivých skupin a jejich počet byl zapsán do tabulky. Každé skupině byla přiřazena hodnota EMI. Výsledkem součtu hodnot EMI získaných v extrahovaném vzorku je index QBS. Chvostoskoci byli rozděleni do třech typů podle jejich stavby těla. Typ 1 (viz Obr. 7) zahrnoval chvostoskoky s přívěsky, očima a pigmentací. Chvostoskoci typu 3 zahrnovali formy s přívěsky a slabším pigmentováním. Do typu 5 byly zařazeny formy chvostoskoků, kteří jsou bez přívěšků, pigmentace i bez očí.

Skupina roztočů zahrnovala všechny extrahované zástupce mimo pancířníky, kteří se odlišovali od ostatních roztočů zejména díky inkrustaci kutikuly. Protože byl tento výzkum zaměřen na pancířníky a byla potřeba dát jejich počty do souvislosti s nakaženými zvířaty chovanými na pastvině, byli počítáni zvlášť od ostatních roztočů.



Obrázek 6: Analýza vozků.

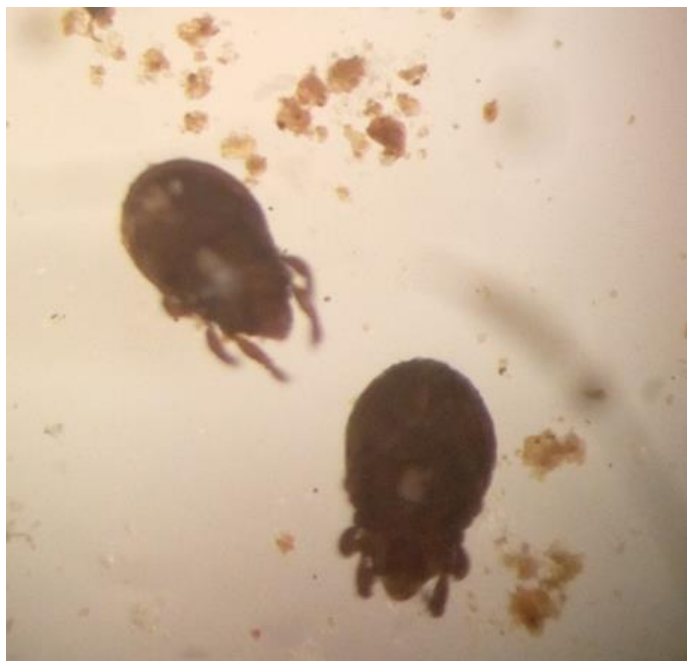


Obrázek 7: Chvostoskok typu 1 s přívěsky, očima a pigmentací.

6 Výsledky

V následujících tabulkách (Tab. 3 – 6) jsou uvedeny charakteristiky odběru k danému měsíci. Jedna tabulka obsahuje vždy 3 měsíce. Ke každému taxonu je uvedena příslušná hodnota EMI, celkový počet jedinců ze všech pěti odebraných vzorků, průměrný počet jedinců z pěti odebraných vzorků a relativní početnost druhu (P_i). Z důvodu silného znehodnocení vzorku vlivem plísní byl měsíc duben 2017 z této charakteristiky vynechán.

Na základě údajů v tabulkách byly zpracovány grafy (Graf 1 – 5), které vypovídají o dynamice jednotlivých druhů v průběhu roku, o druhové diverzitě a kvalitě půdy. Celkem bylo z 60 odebraných vzorků nalezeno 2 477 jedinců půdní fauny, z toho 279 pancířníků (Obr. 8).



Obrázek 8: Pancířníci (inkrustovaní roztoči).

Tabulka 3: Charakteristika odběru pro měsíc březen až červen 2017.

Taxon	EMI	Březen 2017			Květen 2017			Červen 2017		
		Počet	Průměr	P _i (%)	Počet	Průměr	P _i (%)	Počet	Průměr	P _i (%)
Mšice	1	14	3,50	13,1 %	5	1,67	4,95 %	85	17,00	35,7 %
Hmyzenky	20	0		0,0 %	0		0,00 %	0		0,0 %
Vidličnatky	20	0		0,0 %	2	1,00	1,98 %	1	1,00	0,4 %
Chvostokoci typu 1	5	11	2,75	10,3 %	1	1,00	0,99 %	2	2,00	0,8 %
Chvostokoci typu 3	15	0		0,0 %	1	1,00	0,99 %	1	1,00	0,4 %
Chvostokoci typu 5	20	9	2,25	8,4 %	0		0,00 %	0		0,0 %
Ploštice	1	5	1,67	4,7 %	7	3,50	6,93 %	6	3,00	2,5 %
Stonožky	15	0		0,0 %	0		0,00 %	0		0,0 %
Mravenci	5	11	3,67	10,3 %	65	13,00	64,36 %	119	23,80	50,0 %
Brouci (imaga)	8	0		0,0 %	2	1,00	1,98 %	0		0,0 %
Blanokřídlí	1	0		0,0 %	0		0,00 %	0		0,0 %
Dvoukřídlí (larvy)	10	0		0,0 %	1	1,00	0,99 %	1	1,00	0,4 %
Roztoči	15	21	4,20	19,6 %	2	1,00	1,98 %	13	4,33	5,5 %
Pancířníci	15	22	4,40	20,6 %	4	2,00	3,96 %	1	1,00	0,4 %
Stejnonožci	10	0		0,0 %	0		0,00 %	0		0,0 %
Mnohonožky	10	0		0,0 %	0		0,00 %	1	1,00	0,4 %
Pavouci	5	0		0,0 %	0		0,00 %	4	4,00	1,7 %
Stonoženky	20	14	3,50	13,1 %	11	3,67	10,89 %	4	2,00	1,7 %
Ostatní holometabola (larvy)	10	0		0,0 %	0		0,00 %	0		0,0 %
Ostatní holometabola (dospělci)	1	0		0,0 %	0		0,00 %	0		0,0 %
Jiné		0		0,0 %	0		0,00 %	0		0,0 %
Součet		107	25,93	100 %	101	29,83	100,00 %	238	61,13	100,0 %

Tabulka 4: Charakteristika odběru pro měsíc červenec až září 2017.

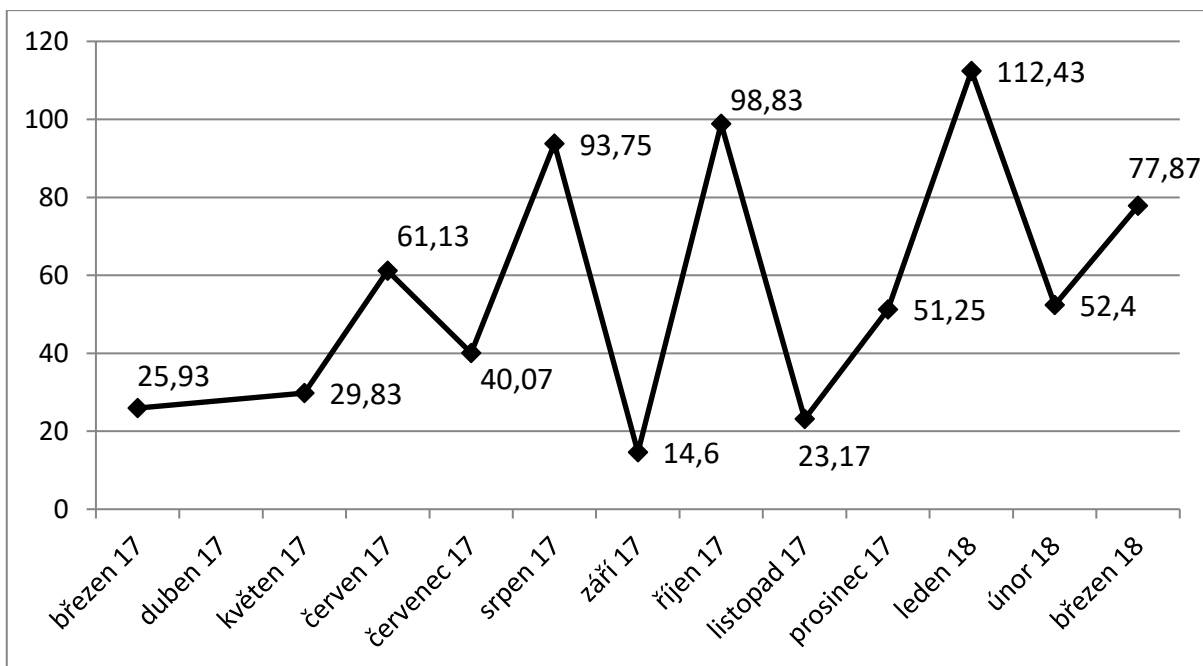
Taxon	EMI	Červenec 2017			Srpen 2017			Září 2017		
		Počet jedinců	Průměr	P _i (%)	Počet jedinců	Průměr	P _i (%)	Počet jedinců	Průměr	P _i (%)
Mšice	1	1	1,00	0,65 %	24	12,00	7,55 %	4	1,33	10,53 %
Hmyzenky	20	0		0,00 %	0		0,00 %	0		0,00 %
Vidličnatky	20	1	1,00	0,65 %	0		0,00 %	0		0,00 %
Chvostokoci typu 1	5	7	2,33	4,58 %	10	2,50	3,14 %	2	1,00	5,26 %
Chvostokoci typu 3	15	0		0,00 %	3	1,50	0,94 %	0		0,00 %
Chvostokoci typu 5	20	0		0,00 %	0		0,00 %	0		0,00 %
Ploštice	1	0		0,00 %	4	2,00	1,26 %	2	2,00	5,26 %
Stonožky	15	1	1,00	0,65 %	2	2,00	0,63 %	0		0,00 %
Mravenci	5	0		0,00 %	14	3,50	4,40 %	4	1,33	10,53 %
Brouci (imaga)	8	0		0,00 %	0		0,00 %	0		0,00 %
Blanokřídlí	1	0		0,00 %	0		0,00 %	0		0,00 %
Dvoukřídlí (larvy)	10	1	1,00	0,65 %	0		0,00 %	0		0,00 %
Roztoči	15	102	20,40	66,67 %	222	55,50	69,81 %	18	3,60	47,37 %
Pancírníci	15	31	10,33	20,26 %	29	7,25	9,12 %	4	4,00	10,53 %
Stejnonožci	10	0		0,00 %	1	1,00	0,31 %	0		0,00 %
Mnohonožky	10	0		0,00 %	3	1,50	0,94 %	0		0,00 %
Pavouci	5	0		0,00 %	3	3,00	0,94 %	0		0,00 %
Stonožky	20	6	1,50	3,92 %	1	1,00	0,31 %	4	1,33	10,53 %
Ostatní holometabola (larvy)	10	0		0,00 %	0		0,00 %	0		0,00 %
Ostatní holometabola (dospělci)	1	3	1,50	1,96 %	2	1,00	0,63 %	0		0,00 %
Jiné		0		0,00 %	0		0,00 %	0		0,00 %
Součet		153	40,07	100,00 %	318	93,75	100,00 %	38	14,60	100,00 %

Tabulka 5: Charakteristika odběru pro měsíc říjen až prosinec 2017.

Taxon	EMI	Říjen 2017			Listopad 2017			Prosinec 2017		
		Počet jedinců	Průměr	P _i (%)	Počet jedinců	Průměr	P _i (%)	Počet jedinců	Průměr	P _i (%)
Mšice	1	5	2,50	1,59 %	5	1,67	13,51%	2	2,00	1,40 %
Hmyzenky	20	0		0,00 %	1	1,00	2,70%	0		0,00 %
Vidličnatky	20	0		0,00 %	2	1,00	5,41%	0		0,00 %
Chvostokoci typu 1	5	3	1,00	0,96 %	4	4,00	10,81%	5	2,50	3,50 %
Chvostokoci typu 3	15	12	1,00	3,82 %	0		0,00%	5	2,50	3,50 %
Chvostokoci typu 5	20	0		0,00 %	3	1,50	8,11%	5	1,67	3,50 %
Ploštice	1	4	2,00	1,27 %	1	1,00	2,70%	1	1,00	0,70 %
Stonožky	15	1		0,32 %	0		0,00%	0		0,00 %
Mravenci	5	11	5,50	3,50 %	2	2,00	5,41%	61	20,33	42,66 %
Brouci (imaga)	8	0		0,00 %	1	1,00	2,70%	0		0,00 %
Blanokřídlí	1	0		0,00 %	0		0,00%	0		0,00 %
Dvoukřídlí (larvy)	10	0		0,00 %	0		0,00%	1	1,00	0,70 %
Roztoči	15	254	80,00	80,89 %	13	6,50	35,14%	11	2,75	7,69 %
Panciřníci	15	15	4,33	4,78 %	3	1,50	8,11%	46	11,50	32,17 %
Stejnonožci	10	3		0,96 %	0		0,00%	0		0,00 %
Mnohonožky	10	0		0,00 %	0		0,00%	0		0,00 %
Pavouci	5	0		0,00 %	0		0,00%	0		0,00 %
Stonoženky	20	6	2,50	1,91 %	2	2,00	5,41%	1	1,00	0,70 %
Ostatní holometabola (larvy)	10	0		0,00 %	0		0,00%	5	5,00	3,50 %
Ostatní holometabola (dospělci)	1	0		0,00 %	0		0,00%	0		0,00 %
Jiné		0		0,00 %	0		0,00%	0		0,00 %
Součet		314	98,83	1,59 %	37	23,17	100,00%	143	51,25	100,00 %

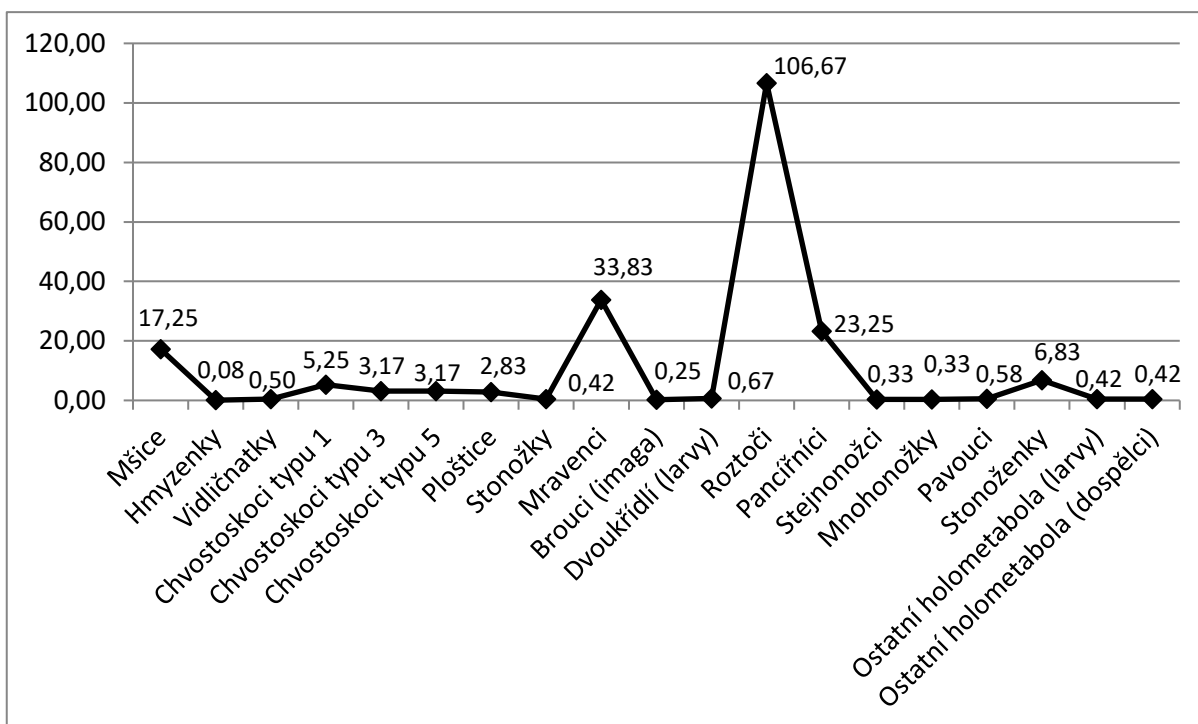
Tabulka 6: Charakteristika odběru pro měsíc leden až březen 2018.

Taxon	EMI	Leden 2018			Únor 2018			Březen 2018		
		Počet jedinců	Průměr	P _i (%)	Počet jedinců	Průměr	P _i (%)	Počet jedinců	Průměr	P _i (%)
Mšice	1	38	19,00	8,50 %	21	4,20	8,02%	3	1,50	0,94 %
Hmyzenky	20	0		0,00 %	0	0,00	0,00%	0		0,00 %
Vidličnatky	20	0		0,00 %	0	0,00	0,00%	0		0,00 %
Chvostokoci typu 1	5	8	2,67	1,79 %	4	0,80	1,53%	8	2,67	2,51 %
Chvostokoci typu 3	15	7	1,75	1,57 %	3	0,60	1,15%	6	3,00	1,88 %
Chvostokoci typu 5	20	5	1,25	1,12 %	2	0,40	0,76%	14	7,00	4,39 %
Ploštice	1	1	1,00	0,22 %	0	0,00	0,00%	3	1,50	0,94 %
Stonožky	15	1	1,00	0,22 %	0	0,00	0,00%	0		0,00 %
Mravenci	5	53	17,67	11,86 %	35	7,00	13,36%	31	6,20	9,72 %
Brouci (imaga)	8	0		0,00 %	0	0,00	0,00%	0		0,00 %
Blanokřídlí	1	0		0,00 %	0	0,00	0,00%	0		0,00 %
Dvoukřídlí (larvy)	10	3	1,50	0,67 %	0	0,00	0,00%	1	1,00	0,31 %
Roztoči	15	259	51,80	57,94 %	150	30,00	57,25%	215	43,00	67,40 %
Pancířníci	15	69	13,80	15,44 %	45	9,00	17,18%	10	5,00	3,13 %
Stejnonožci	10	0		0,00 %	0	0,00	0,00%	0		0,00 %
Mnohonožky	10	0		0,00 %	0	0,00	0,00%	0		0,00 %
Pavouci	5	0		0,00 %	0	0,00	0,00%	0		0,00 %
Stonoženky	20	3	1,00	0,67 %	2	0,40	0,76%	28	7,00	8,78 %
Ostatní holometabola (larvy)	10	0		0,00 %	0	0,00	0,00%	0		0,00 %
Ostatní holometabola (dospělci)	1	0		0,00 %	0	0,00	0,00%	0		0,00 %
Jiné		0		0,00 %	0	0,00	0,00%	0		0,00 %
Součet		447	112,43	100,00 %	262	52,40	100,00%	319	77,87	100,00 %



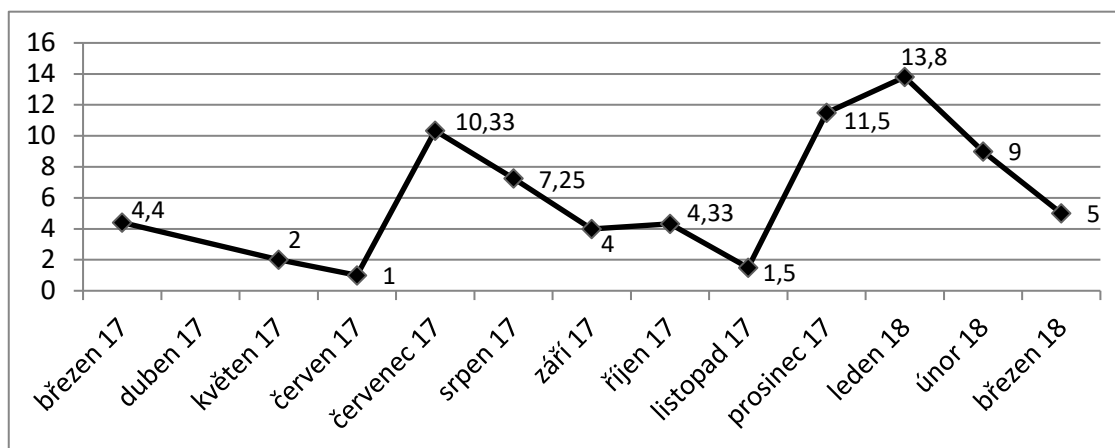
Graf 1: Průměrný počet jedinců v průběhu roku.

Z grafu 1 je patrné, že průměrné počty jedinců v průběhu roku značně kolísaly. Nejvyšší průměrný počet jedinců byl nalezen v lednu 2018. Vysokých hodnot rovněž dosahuje říjen a srpen 2017. Naopak nejnižší průměrný počet živočichů vykazuje září 2017, dále pak listopad a březen 2017. V porovnání s březnem 2018 je březem 2017 na výskyt jedinců bohatší.



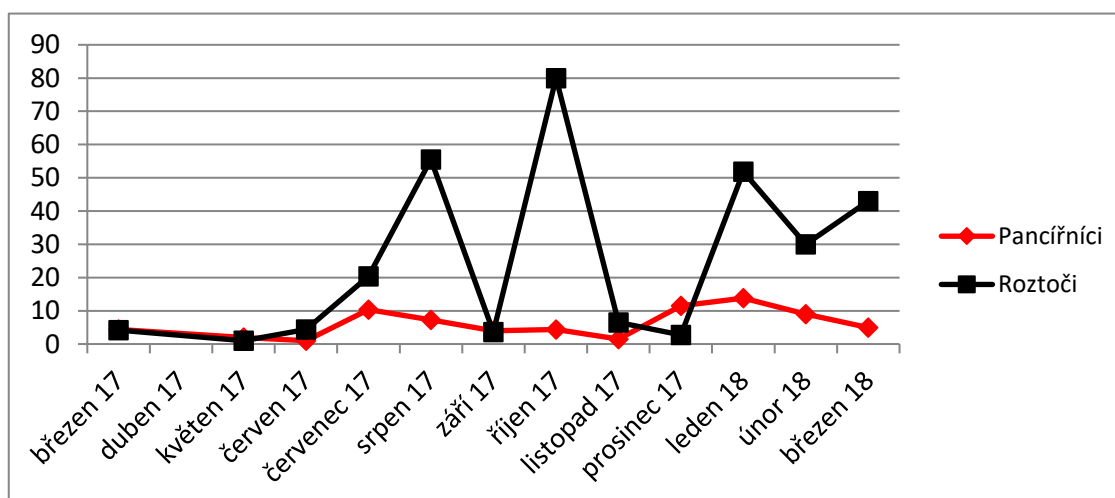
Graf 2: Průměrný počet výskytu jednotlivých taxonů.

Graf 2 porovnává průměrné počty zástupců jednotlivých taxonů za celou dobu sledování (tj. 12 měsíců). Nejpočetnější skupinou sledovaných živočichů jsou roztoči, kteří značně převyšují ostatní taxony. Velmi početnou skupinou jsou také mravenci, pancířníci a mšice. Ve vzorcích nebyli kromě mravenců nalezeni žádní jiní blanokřídlí, ani jiné taxony, než takové, kterými se výzkum zabýval. Velmi nízkého zastoupení dosahují hmyzenky, stejnonožci a imaga brouků. Můžeme také pozorovat shodný počet mezi chvostoskoky typu 3 a 5 a mezi mnohonožkami a stejnonožci. Holometabola dospělci a larvy vykazují také shodný počet.



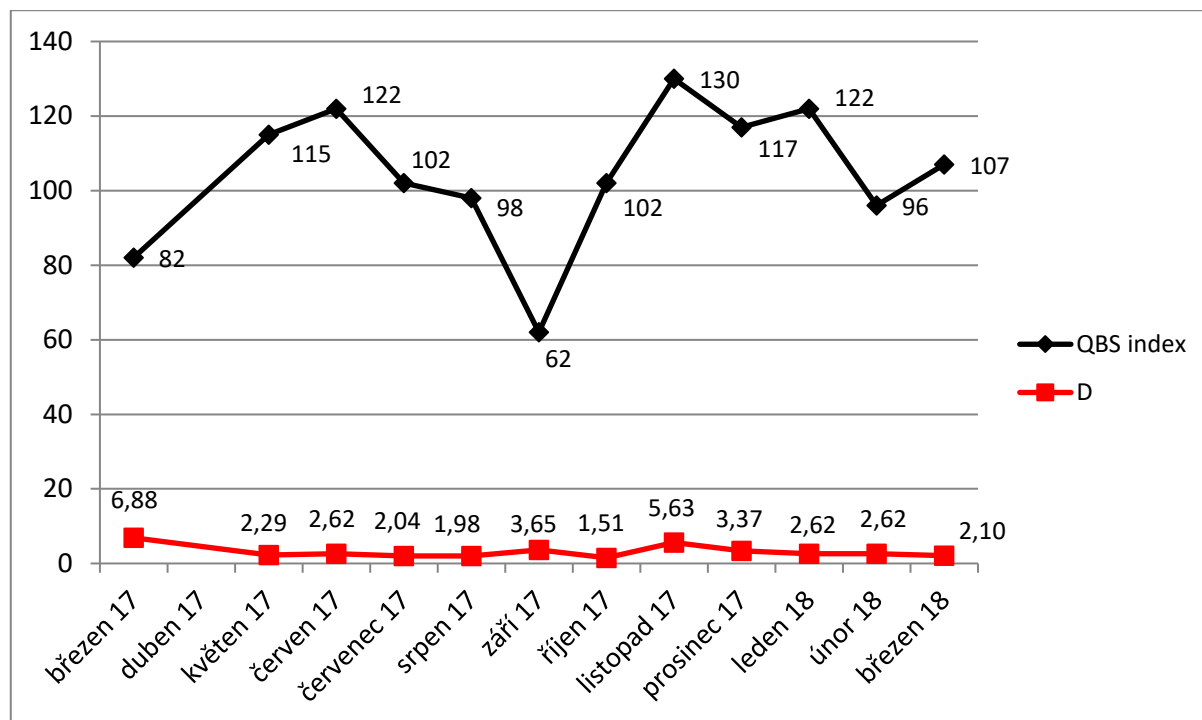
Graf 3: Průměrný počet pancířníků za každý měsíc v průběhu roku.

Jak můžeme pozorovat v grafu 3, průměrné počty pancířníků vykazovaly v průběhu výzkumu značné výkyvy. Nejvíce pancířníků se nacházelo v lednu 2018. V tomto měsíci byl zároveň nejvyšší i celkový počet jedinců všech taxonů (viz Graf 1). Vysokých počtů dosahovali také v prosinci a v červenci 2017. Naproti tomu v červnu a v listopadu 2017 byly zaznamenány nejnižší průměrné hodnoty.



Graf 4: Srovnání hojnosti populace pancířníků a ostatních roztočů v průběhu roku.

Z grafu 4 je patrné, že počty roztočů výrazně převyšují počty pancířníků především v srpnu a říjnu 2017 a také v lednu a březnu 2018, kde jsou rozdíly mezi těmito skupinami nejvíce znatelné. Naproti tomu v prosinci 2017 převyšují pancířníci roztoče. Zvláště u populace roztočů jsou velmi prudké výkyvy v počtech extrahovaných jedinců, zatímco populace pancířníků nevykazuje v průběhu sledování větší výkyvy.



Graf 5: Druhová diverzita (hodnoty Simpsonova indexu D) a hodnoty QBS indexu v průběhu roku.

V grafu 5 je uveden průběh druhové diverzity, který byl získán na základě výpočtu ze Simpsonova indexu (D). Byla tak vypočtena největší druhová diverzita pro březen a dále také pro listopad 2017. I přes to, že v listopadu byl zaznamenán velmi nízký počet jedinců (viz Graf 1), byla naopak vypočtena poměrně vysoká druhová diverzita v porovnání s jinými měsíci. Červen 2017 a leden a únor 2018 mají shodnou hodnotu druhové diverzity. Nejnižší hodnotu má říjen 2017, dále srpen 2017 a březen 2018.

Dle QBS indexu, který byl získán součtem EMI, byla nejvyšší kvalita půdy vypočtena pro listopad 2017. V tento měsíc byla také zaznamenána vysoká hodnota Simpsonova indexu (D), ale zároveň i velmi nízká početnost jedinců (viz Graf 1). V září 2017, kdy byl vypočten nejnižší počet jedinců vůbec (viz Graf 1), byla zaznamenána i nejnižší hodnota QBS indexu.

7 Diskuze

V průběhu výzkumu bylo na dané lokalitě zjištěno celkem 2 477 jedinců, což je v průměru 206,417 jedinců. Kromě blanokřídlých (mimo mravenců) byl ke každé skupině živočichů nalezen alespoň jeden zástupce a zároveň nebyl nalezen žádný jedinec z jiného než ze zvoleného taxonu. Z těchto výsledků je zřejmé, že vybrané taxony zahrnují jedince, kteří patří mezi typické zástupce půdní fauny. Coleman et al. (2004) uvádějí, že hustota mikroatropod se v rámci sezón mění a jak je patrné z grafu 1, který znázorňuje hojnost jedinců v průběhu roku, jeho průběh značně kolísá, čímž toto tvrzení můžeme potvrdit.

Nejpočetnější skupinu tvoří s průměrným počtem jedinců 106,67 roztoči. Pokud bychom ke skupině roztočů přiřadili i pancířníky, pak by řád roztočů tvořil v průměru téměř 130 jedinců/měsíc. Podle Colemana et al. (2004) jsou roztoči nejrozšířenější mikroartropoda v půdách a to tento výsledek také potvrzuje. Nardi (2009) uvádí, že v půdách, kde se objevují roztoči společně s chvostoskoky, bývají roztoči početnější skupinou, což potvrzuje i tento výzkum, kdy i po sečtení průměrných počtů všech tří typů chvostoskoků byla jejich četnost pouze 11,58 jedinců. Nardi (2009) také uvádí, že nejvíce zastoupenou skupinou roztočů půdy jsou pancířníci, což nelze potvrdit ani vyvrátit z důvodu, že ostatní roztoči nebyli blíže taxonomicky klasifikováni, proto není známo, kolik druhů roztočů bylo extrahováno.

Vysoká početnost pancířníků byla zaznamenána v červenci a srpnu 2017 a poté v prosinci 2017 a lednu 2018, kdežto výrazný pokles nastal v červnu a v listopadu 2017. Podle Colemana et al. (2004) vykazují pancířníci vrcholy aktivity na jaře, v létě a v polovině podzimu, proto důvodem poklesu populace v listopadu 2017 mohou být místa odběru, která byla v blízkosti krmeliště zvířat, kde je půda utužená, chudá na vegetaci a náchylnější k vysychání. Pokles populace v červnu 2017 může být příčinou poměrně nižší průměrné denní vlhkosti vzduchu (viz Příloha 4) oproti jiným měsícům, proto mohli pancířníci unikat do hlubších vrstev půdy mimo dosah odběru vzorků. Důvodem vysokých počtů v lednu 2018 byla pravděpodobně vysoká průměrná denní vlhkost vzduchu a poměrně nízké průměrné denní teploty (viz Příloha 3), které zřídka klesaly pod bod mrazu a jak uvádí Starý (2008), pancířníci lépe odolávají nižším teplotám. Dalším důvodem může být také například zvýšené množství organického uhlíku v půdě, s nímž narůstá i populace pancířníků (Kula, 2014),

Většina pancířníků, kteří byli ze vzorků extrahováni vykazovali vysoký stupeň pigmentace kutikuly (od cihlového až tmavě hnědé zbarvení) a její sklerotizace, což může poukazovat na to, že odebrané vzorky půdy nepocházely z hloubky větší jak 15 cm. Starý (2008) také uvádí, že dospělci obývají vrstvy blíže k povrchu půdy, proto bývají více

inkrustování. Lze se tedy domnívat, že extrahování pancířnicí se nacházeli v tomto vývojovém stupni.

Druhou nejpočetnější skupinu tvoří mravenci. Ti jsou podle Kellera a Gordona (2009) nejběžnějšími zástupci řádu blanokřídlých, z něhož mravenci byli také jediní extrahovaní zástupci. Z výsledků lze také pozorovat, že ve většině měsíců, v nichž se vyskytují mravenci, se objevují také mšice. To může být důvodem, jak uvádí Capinera (2010), že mšice živící se kořeny rostlin nejsou schopné se dostat na povrch půdy a proto jsou závislé na mravencích, díky nimž se přemisťují a na oplátku vylučují medovici, kterou mravenci využívají jako zdroj energie.

Dle Gardiho et al. (2002) je QBS založen na principu, že čím vyšší je kvalita půdy, tím vyšší bude počet půdních druhů mikroartropod a index QBS. V grafu 5 můžeme pozorovat určité shodné tendence mezi Simpsonovým a QBS indexem. V červnu a v listopadu 2017 byl zaznamenán nárůst Simpsonova i QBS indexu, zatímco v červenci, srpnu a prosinci 2017 a v únoru 2018 byl u obou těchto indexů zaznamenán pokles oproti předchozím měsícům. Ovšem na druhou stranu, v září 2017 byl u QBS indexu zaznamenán silný pokles, zatímco u Simpsonova indexu nárůst oproti předchozímu měsíci. Pokles QBS indexu může být způsoben zastoupením menšího množství euedafických taxonů s vysokou hodnotou EMI.

Určité shodné tendence jsou patrné mezi počtem jedinců a QBS indexem, i když tyto dva parametry spolu přímo nesouvisí, protože QBS index je závislý pouze na přítomnosti taxonu (hodnotách EMI), nikoli na abundanci. V květnu, červnu a říjnu 2017 a v lednu a březnu 2018 můžeme pozorovat u obou parametrů nárůst, v červenci a září 2017 a v únoru 2018 pokles. Tím je možné potvrdit Gardiho et al. (2002) tvrzením, že půdní členovci citlivě reagují na postupy hospodaření s půdou a jejich počty jsou v korelaci s příznivým stavem půdy (Gardi et al., 2002).

8 Závěr

Bakalářská práce ve své literární rešerši shrnuje poznatky o půdní fauně, jejím rozdělení, výskytu, účinku na tvorbu a kvalitu půdy a o jejích anatomických a behaviorálních vlastnostech. Dále práce pojednává o důležitosti zachování široké biodiverzity půdní fauny a jejím příznivým dopadům na ekosystém a zemědělskou produkci.

Cílem výzkumu bylo zhodnotit výskyt a sezónní dynamiku půdní fauny ve venkovním výběhu hospodářských zvířat. Za účelem zjištění požadovaných charakteristik, bylo celkem z 60 vozků odebíraných od března 2017 do března 2018 extrahováno 2 477 jedinců, na jejichž základě byly vyhodnoceny parametry a dynamika populace. Z výsledků vyplývá, že nejvíce zastoupenou skupinou jsou roztoči (mimo pancířníků), mravenci, pancířníci a mšice. Počet druhů v průběhu roku značně kolísá, což je pravděpodobně způsobeno klimatickými podmínkami a charakterem půdy v místech odběru.

Simpsonův index byl využit ke stanovení druhové diverzity a kvality půdy, která úzce souvisí s počtem druhů, byla hodnocena pomocí QBS indexu vypočteného součtem hodnot EMI přidělených každé skupině. Na základě výsledků hodnot Simpsonova a QBS indexu lze usuzovat, že kvalita půdy na tomto stanovišti je v korelaci s druhovou diverzitou. Mezi počtem jedinců a QBS indexem byl zjištěn také určitý vztah, ovšem neplatí, že se zvyšujícím se počtem jedinců se musí zvyšovat i kvalita půdy.

Výsledky počtu pancířníků, kteří jsou významnými mezihostiteli tasemnic rodu *Moniezia*, mohou být dány do souvislosti s počty nakažených zvířat na této pastvině. Na základě toho mohou být provedena různá opatření proti nákaze. Dlouhodobý pokus a analýzy parazitace v chovu v současné době stále probíhá. Z celkových výsledků práce lze usuzovat, že Simpsonův a QBS index jsou vhodným nástrojem pro posouzení diverzity a stavu půdy v podobných lokalitách.

9 Seznam literatury

Allison, F. E. 1973. Soil organic matter and its role in crop production. Elsevier Scientific Publisher Company. Amsterdam. p. 637. ISBN: 0444410171.

Balogh, J., Mahunka, S. 1983. Primitive oribatids of the palaeartic region. Elsevier, Oxford. p. 372. ISBN: 0444996540.

Bardgett, R. D. 2005. The biology of soil: a community and ecosystem approach. Oxford University Press. Oxford. p. 242. ISBN: 0198525036.

Böcher, J. 2015. Coleoptera (Beetles). In: Böcher, J., Kristensen, N. P. Pape, T., Vilhelmsen, L. (eds.). The Greenland entomofauna: an identification manual of insects, spiders and their allies. Brill. Boston. p. 259-292. ISBN: 9789004256408.

Capinera, J. L. 2010. Insects and wildlife: arthropods and their relationships with wild vertebrate animals. John Wiley & Sons. Hoboken. p. 501. ISBN: 1444333003.

Coleman, D. C., Crossley, D. A., Hendrix, P. F. 2004. Fundamentals of soil ecology. Elsevier Academic Press. Boston. p. 408. ISBN: 9780121797263.

Eash, S. N., Sauer, J. T., Ravzi A. D., Walker, F. 2015. Soil science simplified. John Wiley & Sons. Hoboken. p. 328. ISBN: 9781118540695.

Feber, R. E., Bell, J., Johnson, P. J., Firbank, L. G., MacDonald, D. W. 1998. The effects of organic farming on surface-active spider (Araneae) assemblages in wheat in southern England, UK. *The Journal of Arachnology* 26. 190-202.

Frouz, J. 2010. Půda – živý systém. *Vesmír* 89 (7). 490-492.

Frouz, J. (eds.). 2013. Soil Biota and ecosystem development in post mining sites. CRC Press. Boca Raton. p. 315. ISBN: 9781466599314.

- Gardi, C., Menta, C., Parisi, V. 2002. Use of micro-arthropods as biological indicators of soil quality: The BSQ synthetic indicator. In: Zdruli, P., Steduto, P., Kapur, S. (eds.). 7th international meeting on soils with Mediterranean type of climate (selected papers). 297–304.
- Henderson, P. A., Southwood, R. 2016. Ecological methods. John Wiley & Sons. Hoboken. ISBN: 9781118895276.
- 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.
- Hubert, J., Žilová, M. 1999. Úloha pancířníků a chvostoskoků v rozkladných procesech. *Živa*. 3. 137-139.
- Christiansen, K. A., Bellinger, P., Janssens, F. 2009. Collembola. In: Resh, V. H., Cardé, R. T. (eds.). *Encyclopedia of insects*. Elsevier Science & Technology. San Diego. p. 643-649. ISBN: 9780123741448.
- Kattes, D. H. 2009. *Insects of Texas: a practical guide*. Texas A&M University Press. College Station. p. 225. ISBN: 9781603440820.
- Keller, L., Gordon, E. 2009. *The lives of ants*, Oxford University Press, New York. p. 192. ISBN: 9780199541867.
- Koch, M. 2009. Protura. In: Resh, V. H., Cardé, R. T. (eds.). *Encyclopedia of insects*. Elsevier Science & Technology. San Diego. p. 855-858. ISBN: 9780123741448.
- Konvička, O. 2008. Hmyz. In: Bábková, H. M., Jongepierová, I. (eds.). *Louky Bílých Karpat: Grasslands of the White Carpathian Mountains*. ZO ČSOP Bílé Karpaty. Veselí nad Moravou. s. 199-226. ISBN: 9788090344464.
- Krantz, G. W. 2009. Form and Function. In: Krantz, G. W., Walter, D. E. (eds.), *A Manual of acarology*. Texas Tech University Press. Lubbock. p. 124-232. ISBN: 9780896726208.

Kula, E. 2014. Změny ve společenstvu půdních pancířníků (Oribatida) porostů břízy ovlivněných vápnatým dolomitem. Zprávy lesnického výzkumu. 59 (1). 1-10.

Lakly, M. B., Crossley, D. A. 2000. Tullgren extraction of soil mites (Acarina): Effect of rigeration time on extraction efficiency. *Experimental and Applied Acarology*. 2. 135-140.

Lavelle, P., Senapati, B., Barros, E. 2002. Soil macrofauna. In: Schroth, G., Sinclair, F. L. (eds.). *Trees, crops and soil fertility: concepts and research methods*. CABI Publishing. Cambridge. p. 303-323. ISBN: 9780851995939.

Lewis, R. V. 2009. Isoptera. In: Resh, V. H., Cardé, R. T. (eds.). *Encyclopedia of insects*. Elsevier Science & Technology. San Diego. p. 535-538. ISBN: 9780123741448.

Makarova, O. 2015a. Acari (Mites and Ticks): Generalities and key to higher taxa. In: Böcher, J., Kristensen, N. P. Pape, T., Vilhelmsen, L. (eds.). *The Greenland entomofauna: an identification manual of insects, spiders and their allies*. Brill. Boston. p. 706-713. ISBN: 9789004256408.

Makarova, O. 2015b. Acari (Mites and Ticks): Prostigmata (Actinedida). In: Böcher, J., Kristensen, N. P. Pape, T., Vilhelmsen, L. (eds.). *The Greenland entomofauna: an identification manual of insects, spiders and their allies*. Brill. Boston. p. 754-789. ISBN: 9789004256408.

Makarova, O. 2015c. Acari (Mites and Ticks): Mesostigmata (Gamasida, Gasmis mites). In: Böcher, J., Kristensen, N. P. Pape, T., Vilhelmsen, L. (eds.). *The Greenland entomofauna: an identification manual of insects, spiders and their allies*. Brill. Boston. p. 714-748. ISBN: 9789004256408.

Marusik, Y. M. 2015. Araneae (Spiders). In: Böcher, J., Kristensen, N. P. Pape, T., Vilhelmsen, L. (eds.). *The Greenland entomofauna: an identification manual of insects, spiders and their allies*. Brill. Boston. p. 667-703. ISBN: 9789004256408.

Matějka, K. 2007. Nové postupy pro hodnocení diverzity společenstev (s příklady lesních ekosystémů). In: Křížová, E., Ujházy, K. (eds). Dynamika, stabilita a diverzita lesných ekosystémov. Technická univerzita. Zvolen. 13 s. ISBN: 9788022818216.

Menta, C., Conti, F. D., Pinto, S., Bodini, A. 2018. Soil biological quality index (QBS-ar): 15 years of application at global scale. *Ecological Indicators*. 2018 (85). 773-780.

Merritt, R. W., Courtney, G. W., Keiper, J. B. 2009. Diptera: flies, mosquitoes, midges, gnats. In: Resh, V. H., Cardé, R. T. (eds.). *Encyclopedia of insects*. Elsevier Science & Technology. San Diego. p. 284-297. ISBN: 9780123741448.

Mourek, J., Lišková, E. 2010. Biologické sbírky – metody sběru, preparace a uchovávání: příručka k projektu Alma Mater Studiorum.UK v Praze, Pedagogická fakulta. Praha. 52 s. ISBN 9788072904501.

Nardi, J. B. 2009. *Life in the soil: a guide for naturalists and gardeners*. University of Chicago Press. Chicago. p. 316. ISBN: 9780226568522.

New, T. R. 2012. *Hymenoptera and conservation*. Wiley-Blackwell. Hoboken. p. 232. ISBN: 9780470671801.

O'Connor, B. M. 2009. Mites. In: Resh, V. H., Cardé, R. T. (eds.). *Encyclopedia of insect*. Elsevier Science & Technology. San Diego. p. 643-649. ISBN: 9780123741448.

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.

Plesník, J., Vačkář, D. 2005. Biodiverzita a fungování ekosystémů. *Vesmír* 84. 1. 32-37.

Prabakaran, G. 2009. *Introduction to soil and agricultural microbiology*. Global Media. Mumbai. p. 169. ISBN: 9789350243107.

Pommeresche, R., Sissel, H., Loes, A. K. 2010. Žížaly a jejich význam pro zlepšování kvality půdy. Bioinstitut, Olomouc, 24 s. ISBN: 9788087371022.

Quicke, D. L. J. 2009. Hymenoptera. In: Resh, V. H., Cardé, R. T. (eds.). Encyclopedia of insects. Elsevier Science & Technology. San Diego. p. 473-484. ISBN: 9780123741448.

Renker, C., Otto P., Schneider, K., Zimdars, B., Maraun, M., Buscot, F. 2005. Oribatid mites as potential vectors for soil microfungi: study of mite-associated fungal species. *Microbial Ecology*. 50 (4). 518–528.

Setälä, H. 1995. Growth of birch and pine seedlings in relation to grazing by soil fauna on ectomycorrhizal fungi. *Ecology*. 76 (6). 1844–1851.

Schatz, H. 2004. Diversity and global distribution of oribatid mites (Acari, Oribatida) – evaluation of the present state of knowledge. *Phytophaga*. 14. 485-500.

Stewart, A. J. A., New, T. R., Lewis, O. T. 2007. Insect conservation biology: Royal Entomological Society. CABI. Cambridge. p. 471. ISBN: 9781845932541.

Šarapatka, B., Zídek, T. 2005. Šetrné formy zemědělského hospodářství v krajině a agroenvironmentální programy. Ministerstvo zemědělství ČR. Praha. 34 s. ISBN: 8070844930.

Tajovský, K. 2008. Půdní fauna. In: Bábková, H. M., Jongepierová, I. (eds.). Louky Bílých Karpat: Grasslands of the White Carpathian Mountains. ZO ČSOP Bílé Karpaty. Veselí nad Moravou. s. 199-226. ISBN: 9788090344464.

Van Breemen, N., Buurman, P. 2002. Soil formation. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. p. 408. ISBN: 9780306481635.

Van Emden, H. F. 2013. Handbook of agricultural entomology. Wiley-Blackwell. Hoboken. p. 336. ISBN: 9780470659137.

Vittum, J. P. 2009. Soil Habitats. In: Resh, V. H., Cardé, R. T. (eds.). Encyclopedia of insects. Elsevier Science & Technology. San Diego. p. 935-939. ISBN: 9780123741448.

Wall, D. H., Bardgett, R. D., Behan-Pelletier, V., Herrick J. E., Jones, H. T., Ritz, K., Six, J., Strong, D. R., van der Putten W. H. (eds.). 2012. Soil ecology and ecosystem services. Oxford University Press. Oxford. p. 421. ISBN: 9780199688166.

Wheather, C. P., Bell, J., Cook, P. A. 2011. Practical field ecology : a project guide, John Wiley & Sons. Hoboken. p. 390. ISBN: 9780470694299.

9.1 Internetové zdroje

Kulovaná, E. Produkční a mimoprodukční funkce půdy a její ochrana. Úroda.cz [online]. 8. ledna 2001. [cit. 2018-03-18]. Dostupné z <<http://uroda.cz/produkni-a-mimoprodukni-funkce-pudy-a-jeji-ochrana/>>.

Mlejnek, R., Tajovský, K. Suchozemští stejnonožci (Oniscidea) v jeskyních české republiky. Ochrana přírody [online]. 2015. [cit. 2018-03-21]. Dostupné z <<http://www.casopis.ochranaprirody.cz/z-nasi-prirody/suchozemsti-stejnnozci-oniscidea-v-jeskynich-ceske-republiky/>>.

Starý, J. Pancířníci (Araci: Oribatida) Šumavy a Krkonoš. [online]. 2008. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z <www.infodatasys.cz/biodivkrsu/reserseOribatida.pdf>.

Tajovský, K. Společenstva mnohonožek (Diplopoda) a stonožek (Chilopoda) v měnících se podmínkách horských smrčín Šumavy. [online]. 2015. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z <<https://www.infodatasys.cz/>>.

Vrba, V., Huleš, L. Humus - půda - rostlina (2) Humus a půda. [online]. Biom.cz. 14. listopadu 2006. [cit. 2018-03-18]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>>.

Wilson, N. A., Acarid. Encyclopædia Britannica[online]. 27. prosinec 2017. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z <<https://www.britannica.com/animal/acarid>>.

10 Seznam příloh

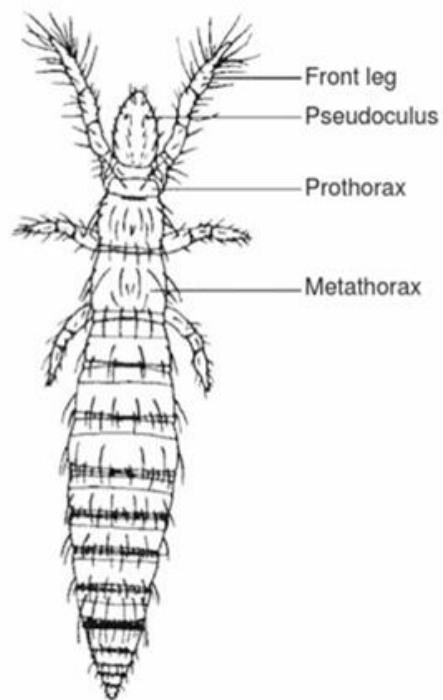
Příloha 1: Hmyzenka.

Příloha 2: Čeleď štětinatkovití (Campodeidae) a čeleď škvorovkovití (Japygidae).

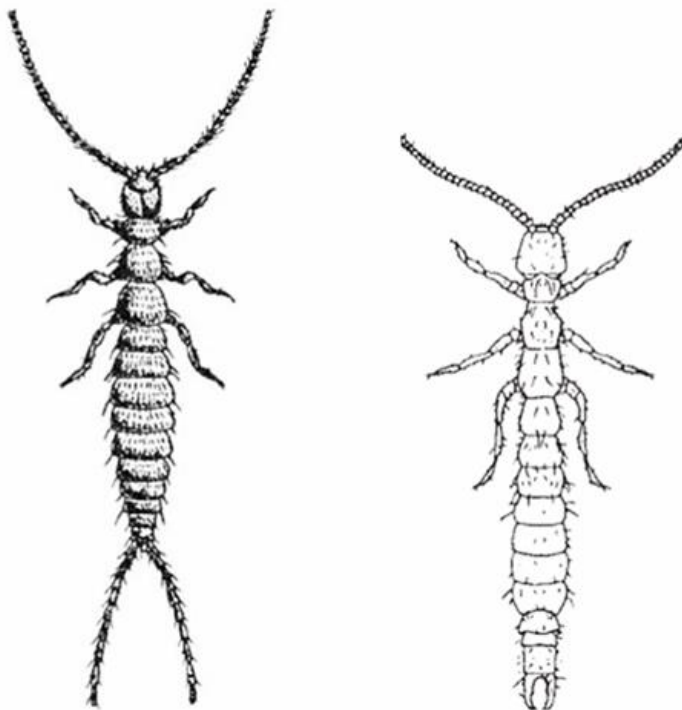
Příloha 3: Průměrná denní teplota (°C) od 15. března 2017 do 15. března 2018.

Příloha 4: Průměrná denní vlhkost vzduchu (%) od 15. března 2017 do 15. března 2018.

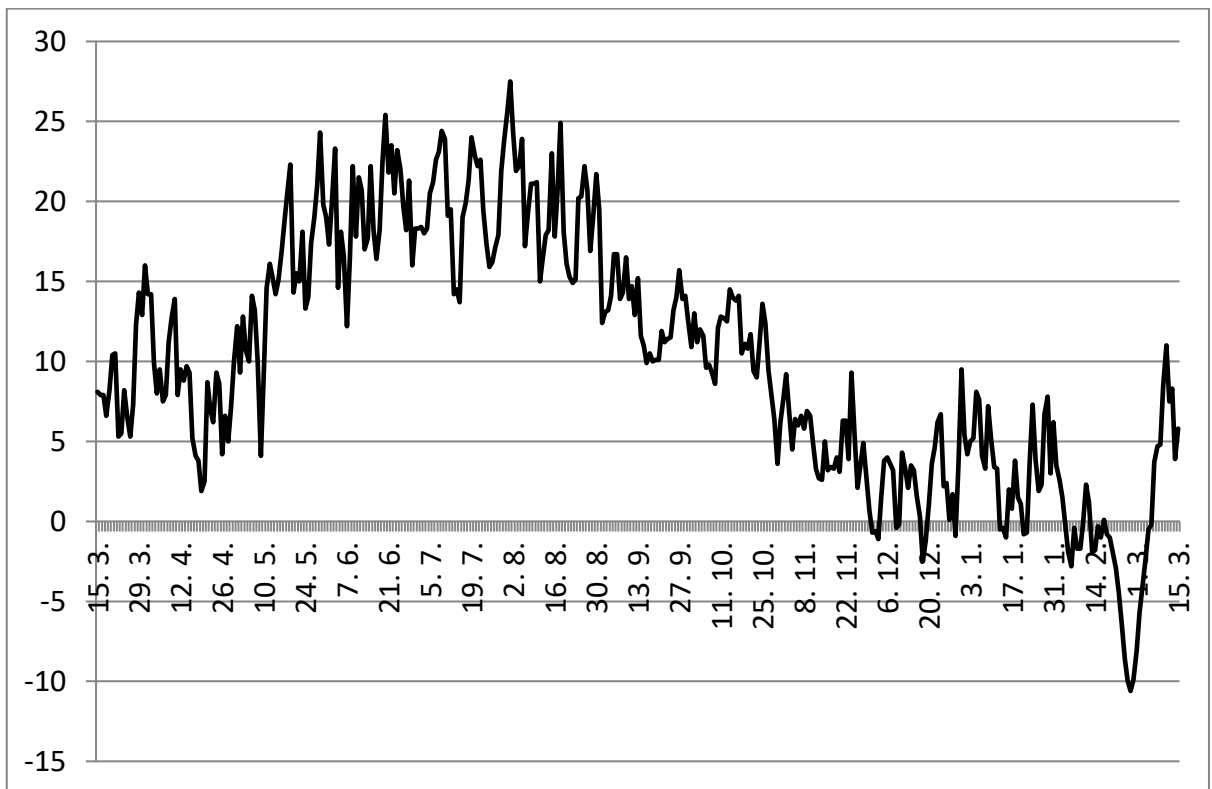
Příloha 1: Hmyzenka (Coleman et al., 2004).



Příloha 2: vlevo čelď štětinatkovití (Campodeidae), vpravo škvorovkovití (Japygidae) (Coleman et al., 2004).



Příloha 3: Průměrná denní teplota (°C) od 15. března 2017 do 15. března 2018 (<http://meteostanice.agrobiologie.cz/>).



Příloha 4: Průměrná denní vlhkost vzduchu (%) od 15. března 2017 do 15. března 2018 (<http://meteostanice.agrobiologie.cz/>).

