

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zoologie a rybářství



Půdní fauna rekultivovaných skládek

Bakalářská práce

Autor práce: Lucie Tomanová

Veřejná správa v zemědělství a krajině

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

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Půdní fauna rekultivovaných skládek" jsem vypracoval(a) 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 autor(ka) uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 17.07.2020

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala ing. Jakobovi Hlavovi, Ph.D, za veškeré cenné rady, náměty a připomínky, které mi poskytl při zpracování této práce. Také bych chtěla poděkovat mé rodině za trpělivost.

Půdní fauna rekultivovaných skládek

Souhrn

Bakalářská práce se zabývala výzkumem společenstev drobných půdních členovců a žížal na dvou rekultivovaných skládkách, skládce komunálního odpadu Jihozápadní pole v Chomutově (lokalita 1) a skládce čistírenských kalů z ČOV v Údlících (lokalita 2), v Ústeckém kraji. V literární rešerši byly shrnuty poznatky o půdní meso a makrofauně orientované na drobné půdní členovce a žížaly se zaměřením na antropogenní půdy.

Vybrané skládky byly zrekontrolovány obdobným způsobem. Lišily se ale ve stáří rekultivace, svým tvarem a způsobem údržby travnaté plochy. Terénní práce byly provedeny v letech 2018 – 2019 v měsících duben až červen a září. V obou lokalitách bylo jednou měsíčně odebráno 6 vzorků půdy a současně byl na třech místech proveden ruční sběr žížal. Půdní fauna z jednotlivých vzorků byla extrahována za pomoci Tullgrenova extraktoru. Žížaly byly determinovány do druhů, půdní členovci do taxonů. Společenstva byla následně hodnocena a vzájemně porovnána pomocí indexů diverzity a podobnosti, QBS a QBS-e indexů a statistických výpočtů.

V lokalitě 1 bylo nalezeno celkem 150 jedinců žížal. Determinací bylo potvrzeno celkem pět druhů. Celkový počet nalezených žížal v lokalitě 2 byl 804 jedinců determinovaných do devíti druhů. Index biologické kvality půdy založený na počtu odebraných vzorků žížal a jejich ekologické kategorii a pohlavní zralosti dosahoval vyšších hodnot v lokalitě 2. V obou lokalitách se nejčastěji vyskytovaly druhy *Apporectodea caliginosa* a *Apporectodea rosea*.

Z půdních vzorků bylo získáno celkem 5288 jedinců půdních členovců v lokalitě 1 a 5057 jedinců v lokalitě 2 determinovaných do 18 taxonů. Lokality vykazovaly nízkou diverzitu společenstev půdních členovců. Biologická kvalita půdy pro půdní členovce byla zaznamenána vyšší v lokalitě 2. Míra podobnosti společenstev půdních členovců byla vysoká.

Početnost jedinců půdní fauny mohla být ovlivněna různými faktory, zejména klimatickými poměry, stářím lokalit, rozdílným sklonem k vysychání a druhem půdy. Pro lokalitu 1, která je chudší na výskyt půdní fauny, byla navržena opatření, která by mohla podpořit její rozvoj.

Klíčová slova: skládka, rekultivace, půdní členovci, žížaly, diverzita

Soil fauna in reclaimed heaps

Summary

The bachelor's thesis dealt with the research of communities of soil microarthropods and earthworms at two reclaimed landfills, the municipal waste landfill of Jihozápadní pole in Chomutov (locality 1) and the sewage sludge landfill from the WWTP in Údlice (locality 2), in Ústí nad Labem region. The literature review summarizes the findings on the soil meso and macrofauna, focused on soil microarthropods and earthworms with a focus on anthropogenic soils.

Selected landfills were reclaimed in a similar way. However, they differed in the age of reclamation, their shape and the way the lawn was maintained. Field work was carried out in the years 2018 - 2019 in the months of April to June and in September. In both localities, 6 soil samples were taken once a month and at the same time manual earthworms were collected at three locations. Soil fauna from individual samples was extracted using a Tullgren extractor. Earthworms were determined into species, soil microarthropods into taxa. Communities were then evaluated and compared using diversity and similarity indices, QBS and QBS-e indices, and statistical calculations.

A total of 150 individuals of earthworms were found in locality 1. A total of five species were confirmed by determination. The total number of earthworms found in locality 2 was 804 individuals determined into nine species. The Soil Biological Quality index based on the number of samples taken by earthworms and their ecological category and sexual maturity reached higher values in locality 2. In both localities, the species *Apporectodea caliginosa* and *Apporectodea rosea* were the most common.

A total of 5288 individuals of soil arthropods in locality 1 and 5057 individuals in locality 2 determined into 18 taxa were obtained from soil samples. The sites showed low diversity of soil arthropod communities. The biological quality of the soil for soil arthropods was recorded higher in locality 2. The degree of similarity of soil microarthropods communities was high.

The number of soil fauna individuals could be influenced by various factors, especially climatic conditions, age of localities, different tendency to dry out and soil type. For locality 1, which is poorer in the presence of soil fauna, measures have been proposed that could support its development.

Keywords: landfill, reclamation, soil arthropods, earthworms, diversity

Obsah

1 Úvod.....	9
2 Cíl práce.....	10
3 Literární rešerše.....	11
3.1 Půda a edafon.....	11
3.2 Půdní fauna.....	11
3.2.1 Klasifikace půdní fauny.....	11
3.2.2 Mesofauna.....	13
3.2.2.1 Roztoči (Acari).....	13
3.2.2.2 Chvostokoci (Collembola).....	15
3.2.2.3 Hmyzenky (Protura).....	18
3.2.2.4 Vidličnatky (Diplura).....	19
3.2.2.5 Stonoženky (Symphyla).....	20
3.2.2.6 Drobnušky (Paupoda).....	20
3.2.3 Makrofauna.....	21
3.2.3.1 Žížaly (Lumbricina).....	21
3.2.3.2 Stejnonožci (Isopoda).....	25
3.2.3.3 Stonožky (Chilopoda).....	26
3.2.3.4 Mnohonožky (Diplopoda).....	27
3.2.3.5 Mravenci (Formicidae).....	27
3.2.3.6 Škvoři (Dermaptera).....	29
3.2.3.7 Polokřídli (Hemiptera).....	29
3.2.3.8 Brouci (Coleoptera).....	30
3.2.3.9 Dvoukřídli (Diptera).....	30
3.2.3.10 Pavouci (Araneae).....	31
3.3 Půdní fauna jako bioindikátor prostředí.....	32
3.4 Antropogenní půdy.....	32
3.4.1 Klasifikace antropogenních půd.....	33
3.4.2 Rekultivace půdy.....	33
3.4.3 Půdní fauna antropogenních půd.....	34
4 Metodika.....	35
4.1 Charakteristika území.....	35
4.1.1 Klimatické poměry.....	35

4.2	Charakteristika odběrových lokalit	36
4.2.1	Rekultivovaná skládka komunálního odpadu Jihozápadní pole Chomutov	36
4.2.2	Rekultivovaná skládka čistírenských kalů z ČOV Údlice.....	36
4.3	Metodika odběru vzorků	37
4.4	Metodika získávání půdních členovců	37
4.5	Metodika získávání žížal	37
4.6	Metodika hodnocení společenstev.....	37
4.6.1	Indexy diverzity	38
4.6.2	Indexy podobnosti	39
4.6.3	QBS index.....	39
4.6.4	QBS-e index.....	40
4.6.5	Analýza rozptylu (jednofaktorová ANOVA)	41
5	Výsledky.....	42
5.1	Společenstvo žížal.....	42
5.1.1	QBS – e index	43
5.1.2	Analýza rozptylu (jednofaktorová ANOVA)	45
5.2	Půdní členovci (meso a makrofauna)	49
5.2.1	Indexy diverzity	52
5.2.2	Indexy podobnosti	53
5.2.3	QBS index.....	54
6	Diskuze	55
7	Závěr	57
8	Literatura.....	58

1 Úvod

Půda je jedním z nejvíce biologicky rozmanitých suchozemských stanovišť (Thakur et al. 2019). Všechny organismy, které si v půdě vytvářejí svůj domov, musely vymyslet mnoho mechanismů, aby přežily, rozmnožily se a zároveň se vyrovnaly s proměnlivostí vlhkosti, teploty a chemickými změnami v půdním prostředí (Thies & Grossman 2006). Mnoho zástupců půdní fauny označujeme jako tzv. ekosystémové inženýry. Jsou to organismy, které přímo nebo nepřímo ovlivňují dostupnost zdrojů pro jiné organismy prostřednictvím úprav fyzického prostředí (Jones et al. 1994). Díky jejich citlivosti jsou často půdní organismy využívány pro bioindikaci s cílem kvantifikovat dopady na životní prostředí, jako jsou účinky poruch v důsledku lidské činnosti (Avgin & Luff 2010). Využívají se zejména pro hodnocení dopadu globálních změn, kyselých dešťů a zemědělských postupů (hnojení, rezidua pesticidů, zpracování půdy atd.), nebo rekultivací skládek, výsypek a kontaminovaných průmyslových oblastí (Paoletti et al. 1991).

2 Cíl práce

Cílem práce bylo formou literární rešerše shrnout poznatky o půdní meso a makrofauně orientované na půdní členovce a společenstvo žížal se zaměřením na antropogenní půdy. Praktická část práce spočívala v terénním výzkumu na dvou vybraných lokalitách - rekultivovaných skládkách komunálního odpadu a čistírenských kalů. Cílem terénního výzkumu bylo porovnat diverzitu půdní fauny jednotlivých lokalit za pomoci základních ekologických koeficientů a statistických výpočtů.

3 Literární rešerše

3.1 Půda a edafon

Půda je vícefázový systém složený z minerálního materiálu, kořenů rostlin, vody, plynů a organických látek v různých fázích rozkladu (Bradgett 2005). Dynamický půdní systém poskytuje funkce a služby nezbytné pro lidstvo a životní prostředí. Půda je základem pro produkci potravy a biomasy a hraje ústřední roli jako stanoviště pro biotu a jako genový fond. Kromě toho ukládá, filtruje, pufruje a transformuje velké množství látek včetně vody, anorganických a organických sloučenin a je hlavním zachycovačem a zdrojem skleníkových plynů (Blum et al. 2006). Mezi pevnou, kapalnou a plynnou složkou probíhá neustálá výměna molekul a iontů ovlivňovaná chemickými, biologickými a fyzikálními procesy. Z tohoto pohledu tvoří půda složitý otevřený systém, ale svou schopností autoregulace vnitřních procesů i systém relativně samostatný. Proto je nutno ji chápat celkově jako složku životního prostředí, tvořící spolu s atmosférou, hydrosférou a biocenózou funkční ekologický systém – ekosystém (Sáňka & Materna 2004).

Jenny (1941) formuloval pět interaktivních půdotvorných faktorů, a to matečnou horninu, podnebí, biotu, reliéf a čas, které dle Jennyho (1994) zcela definují půdní systém. Dudal (2005) klade důraz na lidský faktor jako šestý půdotvorný faktor. Právě současné uznání šestého lidského faktoru tvorby půdy vyvolalo značnou pozornost při charakterizaci a klasifikaci antropogenních půd (kapitola 3.7) (Dudal 2005).

Půda je prostředím pro život velkého množství rozmanitých organismů. Tyto organismy využívají nejen půdu jako stanoviště a zdroj energie, ale také přispívají k jejímu formování, což silně ovlivňuje fyzikální a chemické vlastnosti půdy a povahu vegetace, která na ní roste (Bradgett 2005). Všechny organismy, které v půdě žijí trvale i dočasně, se souhrnně nazývají edafon (Šimek et al. 2015; 2019). Edafon je naprosto nepostradatelný pro fungování půdního ekosystému a všech ekosystémů navazujících na půdu (Šimek et al. 2015). Aktivně se účastní půdních procesů tím, že absorbuje živiny, zbavuje se mrtvé tkáně a vylučuje sloučeniny s nízkou nebo vysokou molekulovou hmotností (ionty, organické kyseliny, polysacharidy, aminokyseliny, proteiny, fenolické sloučeniny, antibiotika), které mohou významně změnit vlastnosti místního půdního prostředí (Blum et al. 2006). Edafon dle Bluma et al. (2006) zahrnuje nejen živočichy, ale třeba také houby, bakterie a kořeny rostlin.

3.2 Půdní fauna

3.2.1 Klasifikace půdní fauny

Půdní organismy se tradičně třídí podle velikosti těla, a to častěji podle šířky těla než podle jeho délky (Šimek et al. 2019). Swift et al. (1979) klasifikovali půdní organismy dle šířky jejich těla na:

- **mikrofaunu** (průměr těla < 0,1 mm), zastoupenou například hlísticemi a prvoky a méně početnými vířníky (Rotatoria) a želvuškami (Tardigrada) (Šimek et al. 2019). Prvoci jsou důležitou součástí půdního systému (Jeffery et al. 2010). Prvoci a hlístice regulují a stimulují plísňové a bakteriální populace, čímž nepřímo ovlivňují způsob a rychlost rozkladných procesů (Gobat et al. 2004). Některé druhy prvoků a hlístic se živí nebo asimilují mikrobiální tkáň a vylučují minerální živiny (Jeffery et al. 2010). Vzhledem k tomu, že k pohybu a získávání potravy v půdě vyžadují vrstvu vodního filmu, je jejich aktivita omezena na prostor vodou vyplněných pórů (hydrobionti).
- **mesofaunu** (průměr těla 0,1 – 2,0 mm), přičemž nejvýznamnějšími zástupci jsou zejména roztoči (Acari) a chvostoskoci (Collembola). Patří sem ale také další skupiny členovců (Arthropoda), kterými jsou vidličnatky (Diplura), hmyzenky (Protura), štírci (Pseudoscorpionida), drobnušky (Paupoda) a stonožky (Symphyla). Z čeledi drobných kroužkovců se, dle průměru jejich těla, k mesofauně řadí také roupice (Enchytraeidae) (Šimek et al. 2019). Velké množství zástupců mesofauny rozkládá rostlinný detrit, přijímá půdu a organickou hmotu nebo se živí primárními rozkladači, což má velký vliv na regulaci složení a aktivity půdních společenstev (Jeffery et al. 2010),
- **makrofaunu** (průměr těla 2 - 20 mm), zahrnující například žížaly, stejnonožce (stínky a svinky), stonožky, mnohonožky a pavoukovce a
- **megafaunu** (průměr těla > 20 mm). Do megafauny patří zejména velcí měkkýši, největší druhy žížal a obratlovci, zejména hmyzožravci a hlodavci (Šimek et al. 2019).

Šířka těla půdních živočichů souvisí s jejich mikrohabitaty (Coleman et al. 2017), předurčuje prostředí, ve kterém půdní živočichové žijí (Šimek et al. 2019). Mikrofauna je spojována hlavně s vodními filmy a vodou naplněnými póry a neovlivňuje fyzikální strukturu půdy, ani významně nepřispívá k tvorbě částic organické hmoty (Anderson 1988). Mesofauna žije ve vzduchem zaplněných půdních pórech a nedokáže vytvářet své vlastní prostory k žití v půdě (Coleman et al. 2017). Zástupci makrofauny mají zpravidla těla takové velikosti, aby krmením a ražením chodbiček a prostor narušovali strukturu minerálních a organických půdních horizontů. Jejich chodby často podněcují infiltraci vody a provzdušňování půdy (van Vliet & Hendrix 2003).

Zástupci půdní fauny křížují řadu trofických úrovní a v půdních potravních řetězcích jsou též často rozdělováni do funkčních skupin na základě stravovacích návyků (Bradgett 2005).

Franzluebbers (2017) rozdělil organismy dle způsobu výživy do pěti funkčních skupin:

- **Karnivorní** se živí jinými živočichy. Tuto skupinu lze rozdělit do dvou kategorií: **predátoři** (např. stonožky, pavouci, pozemní brouci, štírci, mravenci a některé hlístice), kteří obvykle pohlcují a tráví svou menší kořist; a **paraziti** (např. některé mouchy, vosy a hlístice), kteří se obvykle živí na nebo v hostitelském organismu.

- **Herbivorní** se živí živými rostlinnými materiály, včetně nadzemních částí (např. hlemýždi a motýlí larvy), kořenů (např. některé hlístice, larvy much a larvy brouků) a dřevin (např. některé druhy termitů a larvy brouků).
- **Saprofágní** se živí mrtvou a rozkládající se organickou hmotou a zahrnují mnoho druhů žížal, roupic, stonožek, chrobákovitých a chvostoskoků.
- **Mikrofágní** konzumují bakterie (bakterivorní), houby (fungivorní), řasy a lišejníky. Typickými mikrofágy jsou roztoči, chvostoskoci, mravenci, termiti, hlístice a prvoci.
- **Omnivorní** nemají potravní specializaci, jsou všežravci. Tato skupina zahrnuje určité druhy hlístic, roztočů, chvostoskoků a larev mušek.

Tyto skupiny lze na základě potravní specializace dělit ještě podrobněji. Například herbivorní živočichové mohou být specializováni na plody a semena (frugivorní), na nektar (nektarivorní) a na dřevo (xylofágní). Karnivorní živočichové se specializují například na hmyz (insektivorní), na mravence (myrmekofágní). Některé organismy se živí výkaly (koprofágní). Detritovorní živočichové se živí zbytky jiných organismů. Existují také živočichové, kteří se živí jedinci vlastního druhu (kanibalismus) (Šimek et al. 2019).

Dle Bouché (1977) a Andersona (1995) lze zástupce půdní fauny dělit také podle jejich aktivity a distribuce v půdě na epigeické, endogeické a anektické. Zástupci **epigeické** půdní fauny zpracovávají organickou hmotu na povrchu půdy nebo v její blízkosti. **Endogeická** půdní fauna obývá minerální vrstvy půdy a živí se humusem a **anektické** druhy přenášejí materiál mezi půdou a vrstvou opadu. Vzhledem ke svému umístění v půdním profilu mají tyto skupiny živočichů různé účinky na strukturu půdy a fyzikální procesy (van Vliet & Hendrix 2003).

3.2.2 Mesofauna

3.2.2.1 Roztoči (Acari)

Půdní roztoči jsou spolu s chvostoskoky nejpočetnějšími členovci v půdě. Jejich početnost bývá obvykle tisíce, ale možná až několika stovek tisíc jedinců na metr čtvereční v daném stanovišti (Jeffery et al. 2010). Dle v současnosti uznávaného systému (Krantz & Walter 2009) se podtřída roztoči (Acari) řadí v systému živočichů do podkmene klepítkatci (Chelicerata) a třídy pavoukovci (Arachnida), a dále se dělí do dvou nadřádů, Parasitiformes a Acariformes. Skupina roztočů nadřádu Acariformes je většinou zastoupena podřádem sametkovci (Prostigmata) a pancířníci (Oribatida) (Jeffery et al. 2010), do kterého je řazena také kohorta Astigmatina (Šimek et al. 2019). Skupinu roztočů nadřádu Parasitiformes představuje převážně řád čmelíkovci (Mesostigmata) (Jeffery et al. 2010).

Stavba těla

Roztoči postrádají skutečnou hlavu a nápadnou segmentaci těla (Zhang 2003). Dospělci roztočů mají obvykle čtyři páry nohou (Jeffery et al. 2010), tělo je vakovitého tvaru (Šimek et al. 2019) a dělí se na dvě hlavní části: malou přední troficko-senzorickou oblast nazývanou

gnathosoma, ta je pohyblivě spojena s druhou hlavní částí zvanou idiosoma (Evans & Till 1979).

Gnathosoma nese ústní ústrojí a dva páry příústních článkovaných přívěsků zvaných chelicery a pedipalpy (hmatové přívěšky). Pro většinu roztočů jsou základním typem ozubené klíštkovité chelicery, které však v závislosti na druhu potravy a způsobu života podléhají různým funkčním změnám. Pedipalpy mohou být přizpůsobeny k uchopování potravy, zejména u dravých forem (Šimek et al. 2019).

Idiosoma, vlastní tělo, nese kráčivé končetiny, oči (jsou-li přítomny) a ostatní tělesné systémy (Klompen 2006). Kutikula idiosomatu bývá různě sklerotizována, na těle tvoří štítky plnicí ochranou funkci a také slouží pro úpon svalů. Míra sklerotizace je velmi proměnlivá. Jako ochrana těla proti vysychání slouží vrstva voskovitého cerotegumentu na jeho povrchu. Na kutikule se tvoří různé typy set (smyslové chloupky), které mají smyslovou nebo hmatovou a ochranou funkci (Šimek et al. 2019).

Trávení potravy půdních roztočů probíhá ve střevě, často s pomocí symbiotických organismů a jejich enzymů. K dýchání slouží u většiny druhů celý povrch těla (Šimek et al. 2019).

Biologie a ekologie

Vývoj roztočů je velmi složitý, obvykle se skládá z vajíčka, larvy (s ne více než třemi páry nohou) a několika nymfálních stádií. Dospělci se mohou podobat nymfám nebo se zcela lišit (např. pancířníci) (Jeffery et al. 2010).

Různé druhy roztočů jsou přizpůsobeny k životu téměř ve všech prostředích, jaká na Zemi existují (Šimek et al. 2019), včetně extrémních arktických a antarktických půdních stanovišť (Jeffery et al. 2010). Roztoči obývají všechny druhy půdy, od extrémně kyselých až po zásadité, neúživné až po půdy na živiny bohaté (Kethley 1990).

Distribuce roztočů v půdním profilu je nerovnoměrná, horizontálně i vertikálně. Horizontálně se obvykle vyskytují ve shlucích v závislosti na vlhkosti půdy, vegetačním krytu a přítomnosti a distribuci mrtvé organické hmoty. Nejpočetnější jsou v povrchových vrstvách, které jsou nejbohatší na organickou hmotu, půdní bakterie a houby. Roztoči se obvykle pohybují velmi pomalu a jen na krátké vzdálenosti, přesto jsou schopni relativně rychle kolonizovat téměř každou půdu (Jeffery et al. 2010).

Roztoči mají vyvinuté prakticky všechny známé potravní strategie (Šimek et al. 2019). Roztoči řádu čmelíkovci (Mesostigmata) a některé druhy řádu sametkovci (Trombidiformes) jsou v půdě dominantními predátory, kteří se živí hlísticemi, malými žížalami, chvostoskoky, dalšími roztoči a vajíčky hmyzu (O'Connor 2003). Fungují v půdě tedy jako regulátoři (Jeffery et al. 2010). Většina roztočů obývajících půdu jsou však detritovoři nebo fungivoři, kteří se živí buď přímo rozkládající se organickou hmotou, nebo houbami a mikroorganismy, které na ní rostou (O'Connor 2003). Jiné druhy mohou být parazitární nebo poloparazitární a živí se buď na kořenech rostlin, nebo tělech savců a jiných živočichů žijících v půdě. Některé druhy distribuují houby a bakterie na povrchu svých těl, a tak pomáhají šířit organickou hmotu (Jeffery et al. 2010).

Převládající skupinou půdních roztočů jsou podřád pancířníci (Oribatida). Tělo pancířníků bývá plně sklerotizované, což je chrání před predátory. Dle upřednostňovaného typu potravy se pancířníci rozdělují na makrofytofágy, mikrofytofágy a panfytofágy (kombinace předešlých dvou typů) (O'Connor 2003; Šimek et al. 2019).

Funkce a význam v půdě

Roztoči jsou nezbytní pro efektivní rozklad a koloběh živin (Seastedt 1984). Mohou urychlovat primární rozklad a koloběh živin v půdě, čímž aktivují houby a bakterie (Moore et al. 1988). Téměř všichni roztoči přispívají k tvorbě struktury půdy a půdního humusu; přímo prostřednictvím fragmentace organické hmoty a produkce fekálních pelet, a nepřímo regulováním populace dalších rozkladatelů, většinou hub a bakterií (Jeffery et al. 2010). Mezi další ekosystémové funkce, které roztoči vykonávají, patří biologická kontrola, potlačení půdních chorob a škůdců, šíření a přenášení parazitů hlíst a sekvestrace uhlíku a dalších minerálů (Brussaard et al. 1997). Vzhledem k tomu, že se roztoči vyskytují v tak rozsáhlé škále prostředí, jsou velmi vhodným referenčním materiálem při porovnávání půdní fauny v různých podmínkách (Šimek et al. 2019).

3.2.2.2 Chvostokoci (Collembola)

Chvostokoci, rozmanitý řád kmene členovců (Arthropoda), je v současnosti řazen spolu s vidličnatkami (Diplura) a hmyzenkami (Protura) do podkmene šestinozů (Hexapoda) třídy skrytočelistní (Entognatha) vyznačující se vnitřním ústním ústrojím (Šimek et al. 2019). Dále se dělí do čtyř podřádů: Entomobryomorpha a Poduromorpha, s více či méně protáhlým tvarem těla, a Symphypleona a Neelipleona, které mají kulovitý (sférický) tvar (Orgiazzi et al. 2016).

Jsou velmi rozšířeni a hojní ve většině půd (Hopkin 2017). V současné době je na celém světě popsáno cca 9000 druhů chvostokoků (Bellinger et al. 2020). Jejich biomasa je nízká (oproti jiným bezobratlým živočichům) (Hopkin 2017; Šimek et al. 2019), ale přispívají ke koloběhu živin konzumací houbových hyf a depozicí fekálních pelet v půdním profilu přispívají k úrodnosti půdy (Hopkin 2006). Významnou roli v půdě hrají v dekompozičních procesech (Šimek et al. 2019)

Stavba těla

Tělo chvostokoků je o velikosti přibližně od 0,2 mm do 9 mm a skládá se z hlavy s párem čtyřčlankových tykadel, tříčlankové hrudi (thorax) se třemi páry končetin a šestičlankového zadečku (abdomen), jehož články mohou splývat dohromady s hrudními (Eisenbeis & Wichard 1987). Zadeček nese tři specifické orgány (transformované přívěsky): ventrální tubus, skákací vidlici (furka) a retinakulum (Gobat et al. 2004) zachycující furku v klidovém stavu pod zadečkem (Šimek et al. 2019). Furka se vyvinula jako únikový mechanismus na obranu proti dravcům (Hopkin 2017). Vznikla výchozím sjednocením páru končetin na čtvrtém článku zadečku (Šimek et al. 2019).

Na hlavě za tykadly se nachází párový zatykadlový orgán a pár očí skládající se s osmi oček. Počet oček může být redukován (Šimek et al. 2019).

Součástí ventrálního tubusu je pár vysouvatelných ramen (Šimek et al. 2019). Ventrální tubus je multifunkční orgán. Hlavní funkcí je transport vody a iontů z okolního prostředí do hemolymfy (Eisenbeis & Wichard 1987), především v době sucha, kdy není možný příjem vody ústním ústrojím (Šimek et al. 2019), zatímco dýchání a přichycení k hladkému povrchu za působení adheze jsou považovány za pomocné funkce (Eisenbeis & Wichard 1987).

Chvostokoci vykazují morfologickou adaptaci na život v hloubce (Gobat et al. 2004). Druhy žijící na povrchu půdy nebo obývající nadzemní vegetaci mají obvykle tmavě pigmentované tělo, zatímco druhy žijící v hlubších vrstvách půdy, mají tělo bez pigmentu, jejich velikost bývá miniaturní. Dochází často k redukcii přívěsků, tykadel a očí (Šimek et al. 2019).

Biologie a ekologie

Chvostokoci se nacházejí v půdním prostředí po celém světě, dokonce i v Arktidě a Antarktidě. Žijí v půdě, listovém odpadu, padlých větvích a březích vodních ploch (Jeffery et al. 2010), ale i v mechu, pod kameny, v jeskyních, v mraveništích a termitištích, také v přílivové zóně na pobřeží, na površích jezer a rybníků nebo sněhových polí ledovců (Bellinger et al. 2020). V průběhu evoluce se dokázali přizpůsobit různorodým podmínkám v půdním profilu od povrchu půdy až po matečnou horninu, přičemž pro jejich vertikální distribuci jsou limitujícími faktory zejména přítomnost detritu a velikost prostorů v půdě či hornině (Šimek et al. 2019). Morfologické rozdíly, které oddělují vysoce hodnotné taxony chvostokoců, mají jasný funkční význam ve vztahu k životnímu stylu a požadavkům stanovišť (včetně polohy v půdním profilu) (Potapov et al. 2016). Rusek (2007) navrhl klasifikaci, která zahrnuje tyto životní formy chvostokoců:

- **Atmobionti** obývají prostředí nad povrchem půdy. Mají plný počet oček. Tělo je silně pigmentované, pokryté hustě šupinkami a štětinami. Tykadla, furka a nohy jsou dobře vyvinuté. Dělí se na čtyři podskupiny:
 - **makrofytobionti** obývají vegetaci, potravou jim jsou mikroorganismy nebo přítomný detrit. Patří sem mnoho zástupců řádů Entomobryomorpha a Symphypleona. Chvostokoci druhu *Boulettiella lutea* a *Sminthurus vidris*, jako jedni z mála druhů, mohou působit přímé škody na polních kulturách.
 - **mikrofytobionti** obývají nárosty lišejníků a mečů, kůru kmenů stromů a povrch půdy a živí se mikroorganismy. Jako příklad lze uvést druhy *Entomobrya corticalis* a *Anurophorus laricis*.
 - **xylobionti** obývají dřevní rozkládající se hmotu, z níž vysávají tekutiny, které jim slouží jako zdroj potravy. Jedná se například o zástupce čeledi Neunurinae a druhy *Deutonara phlegraea* či *Neanura muscorun*.
 - **neustonti** jsou aktivní na vodní hladině či plovoucích rostlinách. Pro pohyb po vodní hladině slouží různé morfologické adaptace, kterými jsou například

veslovité mukro (*Sminthurides aquaticus*) nebo výrazně prodloužené drápky na nohách a prodloužená furka (*Podura aquatica*).

- **Edafobionti** obývající půdní habitaty a mikrohabitaty se dle rozdílných adaptací na život v půdních vrstvách dále dělí na tři podskupiny:
 - **epigeonti** žijí na povrchu půdy. Znaky mají podobné jako atmobionti. Jde o mnohé zástupce řádů Symphypleona, Entomobryomorpha a Poduromorpha.
 - **hemiedafobionti** žijí v organických vrstvách půdy (opadanka, nadložní humus, humusová vrstva). Pigmentaci mají redukovanou, nohy a zejména furku zkrácenou. Hemiedafobionti zahrnují více zástupců rodu Poduromorpha a Entomobryomorpha. Skupina se ještě dále dělí na svrchní hemiedafobionty, s velikostí těla 1 - 2 mm a žijící převážně v hrabance, a spodní hemiedafobionty, s velikostí těla 0,7 - 1,5 mm jsou schopni pronikat také do menších půdních prostor v hlubších částech humusové případně i organominerální půdní vrstvy.
 - **euedafobionti** žijí v hlubších půdních horizontech, hlubších vrstvách nezvodněných sedimentů, v systémech puklin matečné horniny a v jeskyních a některé druhy také v hnízdech sociálního hmyzu a zemních chodeb savců. Vyznačují se značně redukovanými počty oček nebo zcela chybějícími. Pigmentace je velmi nepatrná nebo úplně schází. Končetiny mohou být jak plně vyvinuty, tak výrazně redukovány. Dle tělesných rozměrů se dělí na tři podskupiny:
 - **Velcí euedafobionti** (délka těla > 1 mm) obývají systém větších chodeb a puklin v celém půdním profilu nebo profilu podložní mateční horniny hlavně v krasových oblastech. Do podskupiny patří též jeskynní druhy. Formy s furkou zahrnují například rody *Arrhopalites*, *Folsomia*, *Isotomiella*. Formy bez furky zahrnují rody *Anurida* a *Protaphorura*.
 - **Středně velcí euedafobionti** (délka těla cca 0,7 – 1,2 mm) jsou schopni pronikat i do hlubších minerálních vrstev půdy. Patří sem některé druhy s vyvinutou furkou rodů *Isotomodes*, *Parisotoma* a *Oncopodura* a formy bez furky zejména z čeledi Onychiuridae.
 - **Malí euedafobionti** (délka těla 0,25 – 0,7 mm) zahrnují formy vázané na hlubší horizonty s dostatečně velkými půdními póry. Patří sem všechny druhy řádu Neelipleona a některé druhy řádu Poduromorpha. Do menších půdních pórů jsou schopni pronikat formy bez furky, které mají ztenčené tělo, například zástupce čeledi Tullbergiidae (rody *Mesaphorura* a *Doutnacia*).

Chvostoscoci mají oddělené pohlaví a nepřímý přenos spermií (Hopkin 1997). Vykazují značnou plodnost a k reprodukci může dojít sexuálně nebo partenogenezí (Whalen & Sampedro 2010). Samci ukládají spermatofory do půdního substrátu nebo je umisťují přímo

do samičího pohlavního otvoru (Šimek et al. 2019). Samice mohou během svého života (asi jeden rok) naklást 100–600 vajíček. Doba vývoje embryí je asi 35–45 dní, jsou-li podmínky prostředí příznivé (20 ° C, dobrá vlhkost půdy) (Whalen & Sampedro 2010).

Chvostokoci jsou vysoce citliví na vysychání, přičemž přesná úroveň citlivosti se u jednotlivých druhů liší. Ti, kteří žijí v hloubce, jsou obvykle citlivější na vysychání než ti, kteří žijí na povrchu půdy (Jeffery et al. 2010). Některé druhy mohou odolávat vysychání a nízké teplotě tím, že vstoupí do stavu anhydrobiózy, ale většina z nich je aktivní, pokud je půdní vlhkostní potenciál > - 5,0 MPa a teploty půdy mezi 0 a 25 ° C (Whalen & Sampedro 2010). Anhydrobióza je typem kryptobiózy vyvolané nedostatkem vody (Jeffery et al. 2010).

Většina chvostokoků se živí hyfy a spory hub, bakteriemi a rozkládajícím se rostlinným materiálem. Některé druhy jsou však dravé a živí se hlísticemi nebo jinými druhy chvostokoků a jejich vajíčky (Orgiazzi et al. 2016).

3.2.2.3 Hmyzenky (Protura)

Řád hmyzenky jsou skupinou primitivních skrytočelistních členovců (Šimek et al. 2019). Hmyzenky jsou známé po celém světě s více než 800 popsány druhy (Galli et al. 2018). Na našem území bylo popsáno kolem 20 druhů (Šimek et al. 2019).

Hmyzenky postrádají křídla, tykadla a oči. Jejich těla jsou podlouhlá a válcovitá a na obou koncích zašpičatělá. Obvykle jsou bezbarvé, bělavé nebo bledé a jejich velikost je v rozmezí přibližně 0,5 až 2 mm. Jejich první pár nohou je využíván jako hmatový orgán, nahrazující chybějící tykadla, s koncovými segmenty pokrytými mnoha receptory (Jeffery et al. 2010). K chůzi využívají pouze střední a zadní pár nohou (Eisenbeis & Wichard 1987). Zadeček (abdomen) dospělých jedinců je složen z 12 článků (Allen 2003), první tři nesou dvojici lateroventrálních přívěsků, které mohou být jedno- nebo dvousegmentové, vybavené jednou až pěti setami (štetinami) (Galli et al. 2019a).

Hmyzenky vykazují výrazné přizpůsobení se životu v půdě (Eisenbeis & Wichard 1987). Žijí ve vlhkých půdních vrstvách travních porostů a lesních půd (Whalen & Sampedro 2010). Jejich dlouhé tělo s krátkými nohami, nevyvinuté oči a tykadla, nepigmentované tělo, smyslové chloupky na povrchu těla, upravené přední končetiny výrazně pokryté smyslovými chloupky nahrazující chybějící tykadla, zatahovací a prokazatelné břišní váčky a obranné žlázy na osmém břišním segmentu jsou všechno adaptační mechanismy a předpoklady pro život v úzkých, tmavých pórech a chodbách půdního prostředí (Eisenbeis & Wichard 1987). Rusek (2007) je podle jejich přizpůsobení se životu v půdě a v půdních substrátech a jejich morfologických rysů (např. absence očí a pigmentace) klasifikoval jako euedafobionty.

Jejich vertikální distribuce je spíše omezená, s vyšší hustotou zaznamenanou v prvních několika centimetrech půdy (Galli et al. 2019b). Mohou se vyskytovat v půdě do hloubky 0,5 m nebo více (Allen 2003), ale obvykle nepronikají hlouběji než 10 cm (Whalen & Sampedro 2010). Hmyzenky mohou patřit mezi nejhojnější členovce obývající půdu a opadovou vrstvu (Allen 2003). Jejich hustota je proměnlivá ve vztahu k vlastnostem půdy a obsahu organické hmoty. V narušené a degradované půdě mohou zcela chybět, zatímco

v nenarušených stanovištích, jako jsou přírodní travní porosty, může být až 85 000 jedinců na metr čtvereční (Orgiazzi et al. 2016).

Obvykle jsou součástí společenství rozkladačů a pomáhají rozkládat organickou hmotu v opadu a půdě. Živí se zejména hyfy hub (Orgiazzi et al. 2016). Hmyzenky jsou pravděpodobně kořistí jiných malých členovců, jako jsou roztoči a další drobní pavoukovci (Galli et al. 2019a)

3.2.2.4 Vidličnatky (Diplura)

Vidličnatky jsou další skupinou skrytočelistních členovců (spolu s chvostoskoky a hmyzenkami) (Šimek et al. 2019). Celosvětově je popsáno asi 800 druhů vidličnatek (Chapman 2009) zahrnutých do čtyř čeledí: Campodcidae, Japygidae, Procampodcidae a Projapygidae (Gibb et al. 2006).

Jejich velikost se pohybuje mezi 1 až 5 mm (Whalen & Sampedro 2010), ale některé druhy měří až 50 mm (Gullan & Cranston 2005). Tělo je úzké, oči chybí a tykadla jsou mnohočlánková korálkovitá (Gullan & Cranston 2005), přičemž každý článek obsahuje vnitřní svalstvo (Gibb et al. 2006). Jsou schopni regenerovat ztracené přívěsky během následného svlékání. Jeden jednotlivec se může v životě svlékat až třicetkrát, přičemž délka života je obvykle jeden rok (Whalen & Sampedro 2010). Podlouhlé tělo se skládá ze tří hrudních článků nesoucích tři páry nohou a z deseti článků zadečku (Snodgrass 1952), přičemž některé zadečkové články obsahují drobné přívěsky (styli) a vyčnívající váčky (Gibb et al. 2006), které absorbují vlhkost a pomáhají udržovat vodní rovnováhu (Whalen & Sampedro 2010). Na konci zadečku je obvykle přítomný pár štětů (cerki) (Gibb et al. 2006). Štěty jsou buď protáhlé niťovité (filiformní) nebo klíštkovité (Gullan & Cranston 2005). Klíštkovité štěty, charakteristické pro druhy patřící do čeledi škvorovek, jsou nečlánkovité, hnědě pigmentované (Whalen & Sampedro 2010) a slouží k zachycení kořisti (Gibb et al. 2006).

Vidličnatky žijí ve dřevě, listovém opadu, pod kameny nebo kmeny, na povrchu nebo v hlubších vrstvách půdy, v mechu, ale také v mraveništích či termitištích. Mnoho druhů jsou herbivoři (býložravci) a detritivoři (živí se rozkládajícími se částmi rostlin a živočichů) a živí se širokou škálou rostlinné hmoty (Orgiazzi et al. 2016). Bylo pozorováno, že některé druhy se živí kořeny živých rostlin, včetně podzemnice olejné, cukrové třtiny a melounů (Allen 2003). Druhy s vyvinutými kusadly jsou predátory (Orgiazzi et al. 2016). Bylo zaznamenáno, že jejich potrava zahrnuje jiné vidličnatky, roztoče, chvostoskoky, stonožky, stejnonožce, larvy much a brouků, jiné malé členovce a roupice (Allen 2003). Mohou také konzumovat mycelia hub a rostlinný detrit. Často jsou součástí komunity rozkladačů a pomáhají recyklovat mrtvou rostlinnou hmotu (Orgiazzi et al. 2016).

Vidličnatky se řadí mezi dobré indikátory kvality půdního prostředí z důvodu velké citlivosti na disturbance (narušení) (Šimek et al. 2019).

3.2.2.5 Stonoženy (*Symphyla*)

Stonoženy jsou taxonomickou třídou stonožkoců (*Myriapoda*) patřící do kmene členovců (*Arthropoda*). Připomínají stonožky, ale jsou menší, a na rozdíl od stonožek jsou průsvitné (Jeffery et al. 2010). Celosvětově je známo přibližně 200 druhů stonoženek (Orgiazzi et al. 2016). 11 druhů bylo doloženo v Česku (Šimek et al. 2019). Jejich velikost a tvar, s průměrnou délkou 4 až 5 mm a šířkou 0,5 mm, se dobře hodí pro podzemní život v půdních pórech (Eisenbeis & Wichard 1987). Tělo stonoženek je měkké, bělavé nebo bezbarvé, mírně dorzoventrálně zploštělé (Burden 2008). Tvoří ho hlava bez očí s dlouhými tykadly ve tvaru řetízku a až čtrnáctičlánkový trup (Šimek et al. 2019). Každý článek těla má jednu dvojici háčkových nohou (Burden 2008). Poslední článek nese pár štětů, z nichž vyúsťují snovací žlázy vylučující sekret v podobě vláken tuhnuoucích na vzduchu mající obranou funkci (Šimek et al. 2019).

Stonoženy žijí na vlhkých místech pod kameny, odumřelými listy (Gullan & Cranston 2005) a v humózních vrstvách půdy (Whalen & Sampedro 2010). Vnikají do dutin v půdě za účelem ochrany a snášky vajíček, ale mají omezené možnosti hrabání (Whalen & Sampedro 2010). Početnost stonoženek může za příznivých podmínek dosahovat až 20 000 jedinců na metr čtvereční. Protože nejsou schopné vytvářet vlastní chodby, téměř se nevyskytují v těžkých jílovitých půdách (Šimek et al. 2019). Vzhledem k tomu, že jsou velmi citlivé na vysychání, není příliš velká populace ani na oraných zemědělských půdách (Whalen & Sampedro 2010).

Konzumují hlavně rozkládající se vegetaci a mikroorganismy, ale mohou způsobovat škody v zemědělském prostředí požíráním semen, kořenů a kořenových vlásků v kultivované půdě (Jeffery et al. 2010).

3.2.2.6 Drobnušky (*Paupoda*)

Drobnušky dosahují velikosti mezi 0,5 a 2 mm. Mají měkké, protáhlé tělo s devíti páry nohou u dospělých jedinců (Jeffery et al. 2010) a jsou slepé (Whalen & Sampedro 2010). Tělo se skládá z hlavy, 11 článků a krátkého telsonu (posledního článku) (Eisenbeis & Wichard 1987). Charakteristickým rysem drobnušek jsou relativně velká rozvětvená tykadla. Každé tykadlo je složeno z bazálního stonku a ze dvou větví, přičemž jedna z větví končí jedním štíhlým bičíkem a druhá z větví nese dva kratší bičíky. Mezi oběma bičíky se nachází přívěsek zvaný globulus (Snodgrass 1952), který slouží jako smyslový orgán (Jeffery et al. 2010). Mezi další neobvyklé senzorké orgány drobnušek patří pět párů dlouhých smyslových chloupků. Bičíkovité chloupky na povrchu těla a globulus na distálním konci tykadla pomáhají drobnuškám analyzovat jeho okolí (Whalen & Sampedro 2010).

Bylo popsáno více než 500 druhů drobnušek, nejméně 50 druhů se vyskytuje ve střední Evropě (Eisenbeis & Wichard 1987), z nichž u nás je známo 22 druhů (Šimek et al. 2019). Žijí na vlhkých místech pod kmeny a kameny (Snodgrass 1952), v rostlinném odpadu a v horních 5 cm půdy (Whalen & Sampedro 2010). Jsou též obyvateli mechových porostů a vrchních vrstev humusu zejména lesních půd (Šimek et al. 2019). K úkrytu před vysycháním využívají

kořenové kanálky a půdní trhliny, jelikož nejsou schopné hrabat vlastní úkryty. Konzumují plísně a detrit nebo sají obsah houbových hyf (Whalen & Sampedro 2010).

Rozložení drobnušek v půdě je nerovnoměrné a v menším množství, protože jsou velmi citlivé na změny vlastností půdy (chemické i fyzikální) a dostupnosti potravy (Orgiazzi et al. 2016). Vzhledem k jejich nízké hustotě (obvykle nepřesahující 100 jedinců na m², i když zřídka mohou dosáhnout až 600 jedinců na m²) a malé velikosti, přispívají k fungování půdy relativně omezeně (Jeffery et al. 2010). Vzhledem k citlivosti na změny prostředí mohou být dobrými indikátory (Šimek et al. 2019).

3.2.3 Makrofauna

3.2.3.1 Žížaly (Lumbricina)

Žížaly z kmene kroužkoců (Annelida) jsou v současné době řazeny do monofyletické třídy opaskoců (Clitellata) ve skupině Sedentaria a řádu Crassiclitellata.

Na základě korelací s morfoloickými, demografickými, etologickými a ekologickými charakteristikami jsou žížaly děleny do tří základních funkčních skupin: epigeické, endogeické a anektické (Pižl 2002). **Epigeické** druhy se nacházejí v opadové vrstvě půdy, v nahromaděných zbytcích rostlin a pod kůrou padlých kmenů. Produkují obvykle organické exkrementy. V organominerálních vrstvách půdy žijí žížaly **endogeické**. Vytvářejí si převážně nestabilní, horizontálně orientované chodbičky a jejich potravou jsou silně rozložené organické zbytky a mikroorganismy. **Anektické** žížaly hloubí dlouhé vertikální chodby. Potravu vyhledávají však na povrchu půdy (Šimek et al. 2019).

V klasickém pojetí odpovídají (s mnoha výjimkami) epigeické druhy r-stratégům, endogeické K-stratégům a přechodnou formu mezi oběma skupinami tvoří žížaly anektické. Rozdělení žížal odráží nejen rozdělení nik, ale má i mnohé konsekvence pro odhad vlivu žížal na půdní procesy a ekosystémové služby (Pižl 2002).

Tělo žížal je válcovitého tvaru. Zadní část těla však může být hranatá nebo dorsoventrálně zploštělá. Velikost žížal je značně proměnlivá. Nejmenší mají délku asi 1-2 cm s šířkou těla 1-1,5 mm (Pižl 2002), např. *Dendrobaena cognettii*, *Stachellius mammalis* (Šimek et al. 2019). Největší druhy dosahují délky téměř 3 m a šířky 2-4 cm (*Amyntas mekongianus*) (Šimek et al. 2019).

Zbarvení žížal je velice různorodé. „Masové“ zbarvení, které je základním zbarvením mnoha druhů, je dáno hemoglobinem v krvi, jiná závisí na obsahu pigmentů ve svalovině tělní stěny (Pižl 2002).

Tělo žížal je členěno na články, segmenty, které jsou na povrchu odděleny mezičlánkovými rýhami. První tělní segment, peristomium, obklopuje ústní otvor a na svrchní straně nese čelní lalok, prostomium, který je situovaný do středu prstencovitého metastomia tvořícího zadní část prvního segmentu. Za prvním segmentem následuje řada stejně utvářených článků. Počet těchto článků je (v určitém rozpětí) druhově specifický. Tělo je zakončeno análním segmentem, periproktem. Konečný počet segmentů je vyvinutý již při vylíhnutí žížal z kokonu (vaječné kapsuly) (Pižl 2002).

Každý tělní článek, kromě peristomia a periproktu, obsahuje zatažitelné štětiny. Žížaly na území ČR patřící do čeledi Lumbricidae mají čtyři páry štětín, které jsou umístěny ventrálně a lateroventrálně na každém článku, tzv. lumbricidní uspořádání. Vzájemná poloha štětín je u každého druhu specifická (Pižl 2002). Přichýlení štětín v jednom směru k tělu usnadňují žížale pohyb vpřed, současně znesnadňují její protisměrné vytažení z chodbičky, což zajišťuje významnou ochranu při útoku predátorů (Pommeresche et al. 2007). Ke zvlhčování a ochraně kutikuly napomáhá coelomová tekutina procházející dorsálními póry (Pižl 2002). Dorsální póry jsou malé otvory umístěné v mezičláňkových rýhách ve středové hřbetní linii (Edward & Bohlen 1996). Vyměšované odpadní látky u čeledi Lumbricidae a většiny ostatních čeledí mohou odcházet z těla tzv. nefridopóry, což jsou stěží viditelné bočně umístěné póry nacházející se v páru na každém tělním článku kromě několika článků na předí (Pižl 2002).

Žížaly jsou hermafroditi, což znamená, že každý jedinec má jak samčí, tak samičí rozmnožovací soustavu (Pižl 2002). K tvorbě kokonů, tj. vaječných kapsulí, které poskytují ochranu a živiny pro vyvíjející se zárodky žížal, dochází v opasku. Opasek se nachází v přední polovině těla poblíž hlavové části (Pommeresche et al. 2010). Poloha a počet segmentů tvořících opasek je pro každý druh relativně stálý. Opasek čeledi Lumbricidae je většinou sedlovitý s přerušením na spodní straně těla. Méně často je válcovitý či prstencovitý. Na okrajích sedlovitého opasku jsou obvykle vyvinuty více či méně patrné žláznaté útvary, pubertální valy, jejichž poloha a tvar jsou druhově specifické (Pižl 2002).

Velkou část těla žížaly tvoří dlouhý zažívací trakt začínající ústním otvorem, který pokračuje hltanem, jícnem, jehož část je přeměněna v tzv. žláznatý žaludek, svalnatým žaludkem, dlouhým střevem a zakončen je řitním otvorem. Žížala drtí a míchá potravu ve svalnatém žaludku za pomoci pozřených půdních částic a drobných zrněk písku (Pommeresche et al. 2010). K jícnu mohou být připojeny různě vyvinuté kalciferní (Morrenovy) žlázy, které, zdá se, hrají významnou roli při regulaci osmotických poměrů a pH v tělních tekutinách, při neutralizaci pozřené potravy, vylučování cizorodých látek a regulaci obsahu vody v těle (Pižl 2002). Gago-Duport et al. (2008) ve své studii popsali, že sekreční buňky žláznové oblasti produkují koncentrovanou suspenzi uhličitanu vápenatého (CaCO_3), která přechází dopředu do jícnových váčků, kde se vysráží jako konkrementy (pevné útvary) uhličitanu vápenatého, které se pak uvolňují do střeva a nakonec do půdy.

Nervový systém žížaly se skládá z páru ganglií, který leží nad střevem ve třetím segmentu a je spojen nervovými vlákny kolem střeva s řetězem úzce spojených párů ganglií, jeden pro každý segment (Beddart 1912). Na povrchu těla jsou rozloženy jednoduché smyslové buňky různého typu, které mohou vnímat světlo, chutě, pachy a vibrace (Pommeresche et al. 2010). Uzavřenou cévní soustavu tvoří dorzální céva a dvě ventrálně položené cévy. Dorzální a ventrální cévu v oblasti jícnu spojuje dva až pět párů cév, které jsou často vybaveny svalovinou zvanou jako podpůrná srdce (Pižl 2002).

Vylučovací soustava žížal je zpravidla tvořena páry nefridií v každém tělním článku s výjimkou prvních tří a periproktu (Pižl 2002).

Samčí pohlavní orgány čeledi Lumbricidae jsou tvořeny dvěma páry varlat v 10. a 11. tělním článku. U všech žížal pak najdeme velké párové chámové vaky sloužící k uchování spermatu uložené v 9. až 12. článku. Samičí pohlavní orgány jsou tvořeny párem vaječníků nacházejících se u zadní stěny 13. tělního článku, z nichž jsou vajíčka uvolňována do coelomové tekutiny. Odtud jsou sbírána obrvenými nálevkami do krátkých párových vejcovodů, které vyústují do samičích pohlavních pórů v následujícím tělním článku (Pižl 2002).

Požadavky na prostředí

Mezi nejdůležitější požadavky žížal na prostředí patří dostatek a kvalita potravních zdrojů, vhodná vlhkost, teplota, půdní reakce a textura půdy (Pižl 2002). Méně významnými rysy prostředí, které se však mohou stát pro přežití žížal za určitých podmínek omezujícími, jsou např. světelné záření, zejména UV, obsah O₂ a CO₂, redox-potenciál půdy, koncentrace solí, utužení půdy a poměr C:N (Lee 1985).

Odumřelá organická hmota rostlinného (někdy i živočišného) původu a půdní mikroorganismy jsou základním zdrojem potravy žížal. Z hlediska potravních preferencí je možné rozlišit dvě skupiny žížal: detritofágní a geofágní. **Detritofágové** se živí rostlinnými zbytky, případně exkrementy savců, na povrchu půdy a v jejích nejsvrchnějších horizontech. **Geofágové** pohlcují velká množství půdy a tráví v ní obsažené organické zbytky a mikroflóru. Rozbory zaživacího traktu geofágních druhů žížal ukázaly, že stejný druh se na různých lokalitách může živit různou potravou (Pižl 2002). Žížaly jsou těsně vázané na potravu vyskytující se v blízkosti kořenů rostlin (rhizosféře). Většinou se ale neživí přímo kořeny ani částmi rostlin (Pommeresche et al. 2010).

Žížala dýchá celým povrchem těla (Pižl 2002; Pommeresche et al. 2010). Také vylučuje dusík v amonné formě a ve formě močoviny, denně tak vytvoří množství moči odpovídající až 60 % vlastní váhy (Pižl 2002). Výměně plynů napomáhá také sliz na povrchu těla (Pommeresche et al. 2010). Proto k dalším faktorům limitujících jejich přežití patří půdní vlhkost a prevence proti vyschnutí. Optimální vlhkostní podmínky představují 40-60 % maximální vodní kapacity půdy. Některé druhy žížal přečkávají suchá období roku pouze ve fázi kokonů (Pižl 2002). Pokud se pro žížaly žijící v horních vrstvách půdy stane jejich okolní prostředí nepříznivé, mohou přejít do klidového stadia tím, že si vytvoří komůrku, kterou pokryjí slizem a výkaly, stočí se do klubíčka a vypustí další množství slizu, aby zabránily vysychání. V klidovém stadiu se žížala stává úplně nehybnou a spotřebuje jen minimální množství energie. V tomto stavu dokáže žížala snést ztrátu až 50 % tělesných tekutin, aniž by jí to uškodilo (Pommeresche et al. 2010). Tolerance žížal k vysoké vlhkosti je druhově specifická, ale relativně velká. Je známo přežití některých druhů v chladné a dostatečně okysličené vodě po dobu mnoho měsíců (Pižl 2002).

Teploty optimální pro vývoj většiny žížal vyskytujících se na území Česka jsou v rozsahu 10-15 °C. U epigeických druhů je optimální teplota vyšší, a to 15-20 °C, a v případě žížaly hnojní (*Eisenia fetida*) se optimální teplota pohybuje v rozmezí 20-25 °C. Žížaly mají omezenou schopnost ochlazovat se evaporací vody z povrchu těla, která je však možná

pouze ve vlhkém prostředí. Spodní hranice teploty se pro většinu žížal pohybuje nad nebo těsně u bodu mrazu (Pižl 2002).

Optimální půdní reakce se pohybuje v rozmezí pH 6-7. Většina druhů žížal je neutrofilních, řada druhů je však k pH půdy tolerantní. V krušnohorských půdách poškozenými kyselými dešti, byl zjištěn výskyt *Dendrodrilus rubidus* v půdě s pH 2,7. Žížaly lze v závislosti na míře tolerance vůči nízkým hodnotám půdní reakce rozdělit na acidotolerantní, obývající i půdy s pH 3,7-4,7 (např. *Dendrobaena octaedra*, *D. attemisi*, *D. vejdvovskiji*, *Allolobophora eiseni*), ubikvisty s tolerancí pH 4,7 až více než 7 (např. *Lumbricus rubellus*, *Aporrectodea caliginosa*, *Octolasion lacteum*) a acidointolerantní druhy nevyskytující se v půdách s nízkým pH (např. *Kritodrilus auriculatus*, *Dendrobaena mrazeki*, *Allolobophora hrabei*) (Pižl 2002).

Většina druhů žížal preferuje lehčí hlinité až hlinitopísčité půdy. V silně jílovitých půdách se žížaly nevyskytují z důvodu anaerobních podmínek po dešti nebo záplavách. Ve štěrkovitých a rozvolněných písčitých půdách je výskyt žížal omezen vzhledem k hrozbě abraze a následného vyschnutí. Naopak pozitivní korelace podílu jílu s abundancí řady druhů (např. *Aporrectodea caliginosa*, *A. longa*, *A. rosea*, *Lumbricus terrestris*) existuje v půdách s jeho nižším podílem (Pižl 2002).

Vliv žížal na půdu

V současnosti jsou žížaly označovány jako „ekosystémoví inženýři“, neboť jsou schopné svou aktivitou zcela přetvořit prostředí, ve kterém žijí (Pižl 2002). Silně určují kvalitu půdy, jak se odráží v morfologii půdních makro- a mikrostruktur, stupni zhutnění půdy, odvápnění a začlenění a distribuci organické hmoty v půdě. Žížaly hrají důležitou roli při důkladném smíchání organických zbytků a jemných minerálních půdních částic a při tvorbě mikro-agregátů bohatých na organickou hmotu, a proto mohou přispívat k fyzické ochraně organické hmoty, čímž snižují obrát organické hmoty a zvyšují potenciál půdy pro sekvestraci uhlíku (Jungmans et al. 2003). Chodby žížal ovlivňují především půdní pórovitost a vodní a plynný režim půdy (Pižl, 2002). Vytvářením chodeb a produkcí exkrementů žížaly výrazně upravují stanoviště pro jiné půdní organismy, včetně kořenů rostlin (Pulleman et al. 2012).

Půdy s bohatým výskytem žížal se vyznačují obecně lepší jímavostí půdní vláhy než půdy bez žížal. Vertikální chodby zpravidla přečkávají záplavy a významně zvyšují rychlost infiltrace vody do půdy. Půda je také méně náchylná k podmáčení během jarních a zimních měsíců. Vyšší podíl srážkové vody je přiváděn přímo ke kořenům rostlin a následně se zvyšuje odolnost půdy k erozi. Ovšem žížaly mohou erozi i zvýšit, a to vlivem odplavení čerstvých povrchových exkrementů v důsledku přívalových dešťů po předchozím vlhkém období (Pižl 2002).

Pižl (2002) uvádí, že v našich podmínkách je každoročně na půdní povrch ukládáno 40-50 tun exkrementů na hektar, což představuje vrstvu tloušťky cca 4-5 mm. Exkrementy jsou však ukládány i pod půdní povrch. Některé odhady uvádí, že zaživačím traktem žížal může během jednoho roku projít i více než čtvrtina svrchního půdního horizontu.

3.2.3.2 Stejnonožci (Isopoda)

Řád stejnonožci (Isopoda) z podkmene korýšů (Crustacea) zahrnuje velké množství druhů, z nichž většina je mořských, ale někteří jsou sladkovodní a jiní jsou suchozemští. Nejznámější skupinou stejnonožců je podřád Oniscidea, jehož zástupci jsou většinou suchozemští, obývají vlhká místa pod dřevem a kameny. Výjimku tvoří zástupci čeledě Ligiidae, kteří žijí plně exponováni na povrchu skalnatých pobřeží podél oceánu (Snodgrass 1952). Orsavová & Tuf (2018) uvádějí, že na území České republiky je doložen výskyt 43 druhů suchozemských stejnonožců (Oniscidea) patřících do 10 čeledí, a zavedli pro ně tři tradiční rodová označení. Pro zástupce primitivnějších infrařádů Diplocheta a Synocheta zavedli rodové označení beruška a pro zástupce odvozenějšího infrařádu Crinocheta zavedli rodové označení stínka a svinka, které je vyhrazeno pro zástupce čeledi Armadillidiidae.

Velikost suchozemských stejnonožců se pohybuje od několika málo milimetrů po několik málo centimetrů (Orsavová & Tuf 2018). Tělo je oválného tvaru (Snodgrass 1954) z břišní strany zploštělé (Orsavová & Tuf 2018), svrchní strana je v různé míře klenutá v závislosti na druhu (Cloudsley-Thompson 1968). Hrudní část se skládá ze sedmi segmentů s hrudními štítky, zadečková segmentovaná část nese na ventrální straně ploché lupenité přívěsky (pleopody), na kterých jsou vyvinuté dýchací povrchy (Šimek et al. 2019). Každý z hrudních článků nese pár kráčivých končetin (Cloudsley-Thompson 1968). Na hlavě se nacházejí oční pole, složená z jednoduchých oček. Hlava nese dva páry tykadel. První pár je zakrnělý a těžko viditelný a je usazen mezi druhým párem tykadel, který je dlouhý (Sutton 1972) a slouží jako orgány hmatu a čichu (Orsavová & Tuf 2018). Na spodní části hlavy se nachází ústní ústrojí s čelistmi se silně sklerotizovanými zuby (Sutton 1972).

Suchozemští stejnonožci dokáží přijímat vodu nejen ústy, ale i celým povrchem těla (vstřebáváním vzdušné vlhkosti), anusem (řitním otvorem) nebo také koncovými přívěsky (uropody) na posledním článku (telsonu) pomocí kapilární vzlínivosti (Spencer & Edney 1954). Jsou velmi citliví na vlhkostní složky a agregují se v oblastech vysoké vlhkosti (Cloudsley-Thompson 1968). Jako reakce na nedostatek vody se u všech suchozemských stejnonožců vyvinul vodní vodivý systém, který ve své studii popisuje Hoese (1981). Existují dva typy vodních vodivých systémů. Typ Porcellio, který je recyklačním systémem, kdy se z maxilárního nefridia (vylučovacího orgánu) vylučuje moč, která se šíří hřbetními a břišními strukturami vodivého systému, podél pleopodů a je znovu absorbován ve střevech. V tomto systému koluje pouze moč. Druhým vodivým systémem je typ Ligia. Jedná se o otevřený systém, kterým protéká jak moč, tak voda, která je absorbována dvěma posledními končetinami. U obou systémů se během transportu odpařuje z moči čpavek. Kromě vedení vody a udržování vlhkosti je hlavní funkcí vodních vodivých systémů vylučování. Do určité míry systém také umožňuje aktivní termoregulaci, a kromě toho má funkci při dýchání a udržování čistoty (Hoese 1981).

Suchozemští stejnonožci jsou všežraví a nepochybně užiteční jako mrchožrouti (Cloudsley-Thompson 1968). Při výběru potravy nejsou nároční a živí se hlavně dobře navlhčenými odumřelými listy a zbytky dřeva, zejména těmi, které jsou částečně rozloženy

bakteriemi a houbami. Protože konzumují a fragmentují mrtvé listy, jsou zodpovědní za fyzické drcení opadu ve vlhkých mírných ekosystémech. Čerstvý opad přeměňují ve fekální pelety s mnohem vyšším měrným povrchem než původní hmota, což je vhodnější pro invazi mikrobů (Whalen & Sampedro 2010).

Suchozemští stejnonožci jsou potravou pro ptáky, plazy, obojživelníky a mnoho dalších hmyzožravými živočichů včetně pavouků, roztočů a stonožek (Cloudsley-Thompson 1968).

3.2.3.3 Stonožky (Chilopoda)

Stonožky jsou samostatnou třídou podkmene stonožkoců (Myriapoda) (Šimek et al. 2019). Jsou běžnými dravci v půdě a opadu (Jeffery et al. 2010) s převážně noční aktivitou (Minelli 2011). Jsou rozšířené ve většině stanovišť v tropických a mírných oblastech. Zástupci řádu stejnočlenky (Scolopendromorpha) a strašníci (Scutigromorpha) jsou omezeny na tropy, různočlenky (Lithobiomorpha) a zemivky (Geophilomorpha) jsou rozšířeny v oblastech mírného pásu (Curry 1994). Řád *Crateostigmomorpha* je reprezentován pouze dvěma druhy zaznamenanými v Tasmánii a Novém Zélandu (Bonato et al. 2016). Celosvětově bylo dosud popsáno přes 3000 druhů (Bonato et al. 2016). Na území ČR je známo 72 druhů (Tajovský & Tuf 2016a).

Většina druhů je dlouhá 1-5 cm. Nejmenší druhy řádů zemivek a různočlenek mají délku jen asi 4 mm. Největší druhy stejnočlenek mají délku přibližně 30 cm (Minelli & Koch 2011). Tělo je členěno na hlavu a trup (Minelli 2011). Tělo je dorzoventrálně zploštělé s 15 až 173 segmenty, každý opatřený jedním párem nohou. Tím, že tělo je částečně zavěšeno níže pod nohama, je zajištěna stabilita a umožněno zadním nohám překročit přední, což umožňuje stonožkám rychlý běh při hledání kořisti nebo při úniku před predátory (Thorp 2003). Hlava nese pár většinou protáhlých tykadel (Minelli 2011) a tzv. kusadlové nožky, které se vyvinuly z prvního páru končetin (Šimek et al. 2019). Hlava společně s kusadlovými nožkami jsou nejsilněji sklerotizovanou částí těla (Minelli & Koch 2011). Kusadlové nožky obsahují jedovou žlázu, která vyúsťuje na konci drápu. Poslední článek nese pár nohou označovaný jako vlečné nohy. Některé skupiny nemají vyvinuté oči a k orientaci jim pomáhají ostatní smyslové orgány (Šimek et al. 2019).

Vývoj může být buď anamorfózní, kdy články a nohy dorůstají postupně, nebo epimorfózní, kdy se z vajíčka líhne jedinec již s plným počtem segmentů (Šimek et al. 2019).

Stonožky jsou náchylné k vysychání a jsou spojovány převážně s vlhkými lesními stanovišti. Vyskytují se ale také v travních biotopech. Různočlenky nejsou schopné hrabat, proto obývají převážně povrchové vrstvy půdy a opadové vrstvy. Zatímco některé druhy zemivek jsou mocnými raziči chodeb a vyskytují se v podstatě v podzemí (Curry 1994). Nacházejí se zejména v hlubších vrstvách opadu, ale i humusových a minerálních půdních vrstvách. Lze je často nalézt i ve strukturálních orných půdách, v kompostech, zahradách a také pod kameny. Průměrné počty stonožek se pohybují v rozmezí desítek až stovek jedinců na metr čtvereční půdy (Šimek et al. 2019).

Stonožky jsou primárně karnivorní (masožravé). Živí se mnoha skupinami bezobratlých žijících v půdě a opadu. V některých případech obsah střev vykazoval značné množství

rostlinné hmoty (Curry 1994). Svoji aktivitou regulují populace drobných půdních živočichů a mají podíl na toku živin v půdě (Šimek et al. 2019).

3.2.3.4 Mnohonožky (Diplopoda)

V České republice bylo popsáno 77 druhů zařazených do řádů Polyxenida, Glomerida, Polyzoniida, Julida, Chordeumatida a Polydesmida (Tajovský & Tuf 2016b).

Tělo mnohonožek se vyznačuje zdvojenými články, z nichž každý nese dva páry nohou (Whalen & Sampedro 2010). Výjimkou je první segment za hlavou, který je beznohý, a několik následujících segmentů, které mají pouze jeden pár nohou. Zatímco typické mnohonožky (podtřída Helminthomorpha) mají velmi protáhlá a pravidelně válcovitá těla, existuje také mnoho druhů s ventrálně nebo dorzoventrálně zploštělým tělem. Až na výjimky, kterými jsou některé primitivnější skupiny, je kutikula dobře sklerotizovaná a často inkrustovaná vápenatými solemi. To je důvod, proč se častěji vyskytují ve vápenatých půdách (Jeffery et al. 2010). Hlava je zakulacená, pouze u druhů řádu Polyzoniida předně protáhlá. Nese pár tykadel, které jsou většinou ohnuty směrem ven a dolů (pouze u druhů řádu Polyzoniida jsou tykadla víceméně rovná). Za nimi se nacházejí někdy Tömösvaryho (smyslové) orgány. Na hlavě jsou umístěny oči. Některé druhy jsou však slepé, bez očí (řád Polydesmida, některé druhy řádu Julida a jeskynní druhy, tzv. troglobionti). Ústa jsou situována v dolní části hlavy (Mikhaljova 2004). Zbarvení může být bílé, nažloutlé nebo šedé (Whalen & Sampedro 2010).

Kromě sklerotizace mají mnohonožky vyvinuté další mechanismy sebeobrany. Některé druhy se dokáží svinout do tvaru spirály a jiné do tvaru klubíčka (podtřída Pentazonia) podobně jako stejnonožci. Malé primitivnější druhy nesou delší chloupky, které chrání tělo před mravenci. Mohou také použít chemickou obranu. V případě ohrožení vylučují látky produkované žlázami na boční straně těla, které mají odpuzující účinek (Jeffery et al. 2010).

Tvar jejich těla a jeho funkce jsou dobře přizpůsobeny jak opadovým, tak hlubším vrstvám půdy (Eisenbeis & Wichard 1987). V rámci svých biotopů fungují mnohonožky téměř bez výjimky jako detritovoři a hrají hlavní roli při snižování opadu rostlin a tvorbě organické půdy (Hoffman et al. 1996). Oblíbenou potravou mnohonožek jsou vlhké rostlinné zbytky částečně rozložené houbami. Spolu s potravou konzumují také malá množství půdy a pískových zrn. Mícháním organických látek a minerálních částic přispívají k tvorbě půdních agregátů. Stejně jako stejnonožci (Isopoda) jsou mnohonožky citlivé na vysychání. Proto jsou hojnější ve vlhkém prostředí (Whalen & Sampedro 2010).

Mnohonožky jsou klíčovou skupinou půdních makrodetritivorů a významně ovlivňují kvalitu půdy, zejména díky své zásadní úloze v koloběhu živin (Tóth & Hornung 2020).

3.2.3.5 Mravenci (Formicidae)

Mravenci jsou zařazeni do jedné čeledi mravencovití (Formicidae) v rámci řádu blanokřídlí (Hymenoptera), který zahrnuje například také včely, vosy, pilořitky a lumky. Představují jednu z nejúspěšnějších skupin společenského hmyzu (Hölldobler & Wilson

1990). V současnosti je na světě popsáno asi 15 400 druhů a poddruhů mravenců klasifikovaných do 403 rodů. V Česku žije 122 druhů ve 30 rodech (Šimek et al. 2019). Nacházejí se ve všech suchozemských oblastech světa, včetně chladné subarktické tundry a suchých pouští (Oi 2008).

Velikost mravenců se pohybuje od 0,75 do 53 mm. Tak jako u každého hmyzu, je mravenčí tělo rozděleno na tři části: hlavu, hrudník a zadeček (Jeffery et al. 2010). Mravenci jsou snadno odlišitelní od ostatních druhů hmyzu hlavně díky kombinaci tenkého pasu a přítomnosti lomených tykadel (Oi 2008), které jsou hlavním hmatovým a komunikačním orgánem (Šimek et al. 2019). Pasem se označuje segmentované zúžení zvané tělní stopka (petiolus). Tělní stopka je umístěná mezi hrudníkem a zadečkem a může být jednosegmentová nebo dvousegmentová (Oi 2008). Hlava mravenců je velká se silnými kusadly. Hlava dělnic a královen nese pár lomených tykadel, které se skládají z dlouhého bazálního segmentu a z 3 až 11 krátkých segmentů. Bazální segmenty tykadel samců nejsou dlouhé, takže tykadla se nezdají být ohnuta (Shields 2018). Na hlavě se nacházejí oči, které jsou složeny z různého počtu omatidií. U typicky půdních druhů však zcela chybí. U některých mravenců jsou patrná na vrcholu hlavy navíc tři očka. Zaznamenávají změny polarizovaného světla, což jim umožňuje orientaci mimo hnízdo (Šimek et al. 2019).

Mravenci jsou vybaveny unikátními párovými metapleurálními žlázami, které se nacházejí z boku na zadohrudí. Žláza produkuje kyselinu fenylactovou, která působí proti houbám a bakteriím a případně i jiným abiotickým látkám (Hölldobler & Wilson 1990). Hölldobler a Wilson (1990) ve své studii uvádějí, že mravenci šíří sekreci antibiotik z metapleurální žlázy difúzně skrze hnízdo. To pravděpodobně hraje roli v úspěšné kolonizaci vlhkého prostředí bez mikroorganismů, ve kterém žije velká většina druhů mravenců. Mravenci mají rozmanité systémy komunikace, ale zdaleka nejdůležitějším signalizačním prostředkem jsou feromony (Franks 2003).

Mravenci tvoří kolonie, které sahají od několika desítek jedinců žijících v malých přírodních dutinách až po vysoce organizované kolonie, které mohou zabírat velká území a skládat se z milionů jednotlivců (Jeffery et al. 2008). Každý dospělý jedinec patří ke konkrétní kastě, přičemž primárními jsou královny, samci a dělnice. Královny jsou největšími členy kolonie. Samci jsou typicky střední velikosti a mají špičatý zadeček s terminálními genitáliemi. Ve většině případů jsou královny i samci před pářením okřídlení. Po páření královna odlomí křídla (dealace) a samci umírají (Klotz et al. 2008).

Mravenci jsou významní predátoři, mrchožrouti a v určitém smyslu také býložravci. Hrají tak významnou roli v koloběhu živin (Šimek et al. 2019). Jsou důležití jako distributoři a sklízecí semen, při přeměně půd, regulaci počtu mšic a minimalizaci ohnisek defoliačního (listů zbavujícího) hmyzu (Franks 2003). Při stavbě svých hnízd promíchávají a obohacují půdu o živiny, jak vynášením z hlubších vrstev půdy, tak z přinesené potravy do hnízd. Právě díky komplexním vlivům na prostředí jsou mravenci označováni jako ekosystémoví inženýři. Nejdůležitějším procesem, kterým mravenci ovlivňují půdu, je vytváření chodeb a komůrek. Tím dochází k jejímu lepšímu provzdušnění a snadnějšímu zasakování vody do půdy (Šimek et al. 2019).

3.2.3.6 Škvoři (Dermaptera)

Zástupci řádu jsou důležití pro biologii půdy, protože často žijí ve vrstvě opadu a živí se čerstvými částicemi rostlin a hyfy hub. Také jsou ale masožravci (Eisenbeis & Wichard 1987). Škvor je hmyz nejčastěji se vyskytující v tropických a teplých mírných oblastech (Gibb et al. 2006). Škvoři zahrnují asi 1800 druhů, z toho 80 druhů v Evropě (Rasplus & Roques 2010).

Tělo škvorů je protáhlého tvaru délky až 50 mm. Hlava je s ústním ústrojím směřujícím dopředu, rovnoběžně s osou těla (prognátní). Ústa jsou kousacího typu. Chybí středohrud' (mesothorax), která se u hmyzu nachází mezi předohrudí (prothorax) a zadohrudí (methatorax) (Gibb et al. 2006). Tykadla a celé tělo je pokryto hmatovými smyslovými chloupky. Kromě hmatových senzických orgánů jsou tykadla vybavena chemoreceptory k orientaci v prostředí (Eisenbeis & Wichard 1987). Dospělí mají obvykle dva páry křídel. Přední pár křídel tvoří krátké kožovité krytky. Zadní křídla jsou velká, blanitá, vějířovitá, v klidu složená pod předními křídly. Konec zadečku nese svírací přívěskové klíšťky (Gibb et al. 2006).

Škvoři se vyznačují mateřskou péčí o potomstvo. Vajíčka jsou obvykle ukládána v půdě nebo v přeslenech jednoděložných rostlin. Samice vajíčka chrání až do vylíhnutí a o vylíhlé nymfy pečují (Rankin & Palmer 2003). Staerkle & Kölliker (2008) ve své studii prokázali, že matky své nymfy krmí, přičemž k přenosu mateřské potravy dochází po celou dobu juvenilního instaru (období od vylíhnutí po první svlékání).

3.2.3.7 Polokřídlí (Hemiptera)

Pouze několik druhů řádu polokřídlych jsou skutečnými obyvateli půdy (např. některé druhy cikád, mšic a ploštic). Z některých druhů jsou na půdu vázány pouze larvy. Pro edafický život jsou nejvíce reprezentativní zástupci čeledě hrabalkovití (Cydnidae) z podřádu ploštice (Heteroptera) (Eisenbeis & Wichard 1987).

Celosvětově je popsáno asi 38 000 druhů ploštic. Obývají všechny části světa včetně pouští a moře. Ploštice jsou nejrozmanitější ze všech skupin hmyzu s proměnou nedokonalou (životní stadia: vejce, nymfa, dospělec) (Schaefer 2003). Žijí jako paraziti ptáků a savců. Také se živí všemi částmi rostlin od kořenů až po pylová zrna, myceliem hub. Některé druhy jsou dravci a živí se jinými členovci. Žijí v pavoučích sítích, ve vodě i na jejím povrchu. Několik druhů dokonce obývá otevřený oceán (Schuh & Slater 1995). Také to jsou škůdci zemědělských plodin. Mnoho druhů ploštic saje tekutiny živočichů, většinou členovců, ale v několika případech i obratlovců. Některé druhy jsou predátory škůdců a několik druhů se živí lidskou krví (Schaefer 2003).

Podlouhlé ústní ústrojí ploštic je přizpůsobeno k sání tekutin. Ploštice se dále vyznačují pachovými žlázami. Dalším charakteristickým rysem je scutellum (štítek). Tato trojúhelníková struktura je modifikací mesonota (hřbetního povrchu středohrudí) (Schaefer 2003).

3.2.3.8 Brouci (Coleoptera)

Řád je největším hmyzím řádem a má velmi rozmanité formy (Raw 1967). Mnoho z jeho druhů obývajících půdu patří k euedafickým, hemiedafickým a epiedafickým formám života. Většina brouků žijících v půdě, zejména ve střední Evropě, je epiedafických až hemiedafických. Jsou to dravci na povrchu půdy, ale pronikají půdou ve větší či menší míře hrabáním. Pouze larvy některých brouků splňují morfologické podmínky pro euedafický život v půdě (Eisenbeis & Wichard 1987). Vzhledem k jejich přizpůsobivosti a rozmanitosti mají brouci extrémně odlišné návyky. Ale na půdním povrchu nebo v půdě převládají dravci nebo se živí rozkládající se živočišnou nebo rostlinnou hmotou (Raw 1967). Larvy mnoha druhů brouků, známé jako ponravky a drátovci, obývají půdu nebo půdní povrch. Živí se kořeny rostlin nebo rozkládající se organickou rostlinnou hmotou, zejména dřevem nebo opadem (Jeffery et al. 2008).

Mezi dravci jsou nejpočetnějšími druhy čeledi drabčíkovitých (Staphylinidae), kterých je v Česku více než 1000 druhů (Šimek et al. 2019). Některé jsou přizpůsobeny pro život v hlubších půdních vrstvách (eudafobionti). Těla euedafických druhů se podobají chvostoskokům, hmyzenkám nebo jiným drobným půdním členovcům. Nemají oči. Nohy jsou velmi krátké. Ostatní přívěsky a velikost těla se zmenšuje a protahuje (Jeffery et al. 2008). Mezi predátory patří i mršníci (Histeridae). Loví larvy dvoukřídlých, které se vyvíjejí na mršinách a v exkrementech velkých býložravců. Nejvýznamnějšími predátory mezi brouky v suchozemských ekosystémech jsou však střevlíkovití (Carabidae), kterých žije v Česku přes 500 druhů. Vyznačují se silnými kusadly a dlouhými běhavými nohama. Dravé jsou i jejich larvy. Živí se půdními živočichy, jako jsou žížaly, měkkýši, larvy dvoukřídlého hmyzu, chvostoskoky a další mesofaunou. Střevlíkovití se často používají k indikaci změn prostředí, protože jsou ovlivňováni antropogenními činnostmi, jako je urbanizace, obhospodařování plodin a lesů, nadměrná pastva domácích hospodářských zvířat, pohyb turistů v přírodní krajině a znečišťování půdy (Avgin & Luff 2010).

Další skupinou brouků jsou specializovaní detritovoři, přičemž v půdě žijí pouze larvální stadia. Nejznámějšími jsou četné druhy čeledí chrobákovitých (Geotrupidae) a vrubounovitých (Scarabaeidae), které se živí trusem býložravců. Trus také zahrabávají do půdy, kde slouží jako potrava pro larvy. Tím pomáhají recyklovat organickou hmotu v trusu, který je stále bohatý na energii (Jeffery et al. 2008).

Skupina saprofágních brouků zahrnuje některé druhy čeledi mrchožroutovitých (Silphidae). Jejich larvy se živí mrtvými těly živočichů, čímž přispívají k rozkladu a recyklaci mrtvé organické hmoty (Jeffery et al. 2008).

3.2.3.9 Dvoukřídlí (Diptera)

Důležitou skupinou půdní fauny jsou larvální stadia dvoukřídlých. Dvoukřídlí tvoří velmi početný řád hmyzu (Šimek et al. 2019). Jejich hojnost v půdě se pohybuje od několika stovek do několika tisíc jedinců na metr čtvereční (Frouz 1999). Podílejí se na mnoha důležitých biologických procesech v půdě, jako je rozklad rostlinného odpadu a cyklování živin.

Typickým znakem dospělců je pouze jeden pár křídel s jednoduchou žilnatinou, přičemž druhý pár křídel je přeměněn na kyvadélka, rovnovážný orgán sloužící při letu. Ústní ústrojí je sací, často přizpůsobené k bodání (Šimek et al. 2019).

Larvy jsou beznohé soudečkovitého nebo protáhlého tvaru. Hlava může být v některých případech zcela redukována. Většina larev se před zakuklením několikrát svlékne. Larvy v půdě žijí euedaficky nebo hemiedaficky. Jen málo druhů (tiplice a muchnice) žije v půdních a humusových vrstvách aktivním způsobem. Larvy tiplic a muchnic, dále pak smutnic a pakomárů mají vyvinutou hlavu s kousavým ústním ústrojím (Šimek et al. 2019).

Dle Frouze (1999) jsou v půdě nejhojněji zastoupené larvy čeledí bejlmorkovitých (Cecidomyiidae), pakomárovitých (Chironomidae) a smutnicovitých (Sciaridae). Zástupci čeledi pakomárovitých jsou často dominantními druhy v agrosystémech a časném úhoru. V travních porostech je celková hojnost a složení dvoukřídlých výrazně ovlivněna vlhkostí. Za vlhkých podmínek dochází ke zvyšování hojnosti s převahou čeledi pakomárovitých a pakomárcovitých (Ceratopogonidae). V lese jsou často hojné druhy, které hrají důležitou roli při rozkladu listového opadu. V listnatých lesích to jsou kromě čeledi bejlmorkovitých, také saprofágní larvy čeledi smutnicovití (Sciaridae) a muchnicovití (Bibionidae). V jehličnatých lesích jsou běžné mycetofágní a mikrofágní larvy (Frouz 1999).

Na rozdíl od většiny ostatních půdních živočichů, kteří migrují velmi pomalu, mohou létající dospělci dvoukřídlých rychle kolonizovat nová stanoviště. Jednou z nevýhod použití půdních larev dvoukřídlých jako bioindikátorů jsou obtíže při jejich určování. Tyto potíže jsou pravděpodobně hlavním důvodem, proč byla tato důležitá skupina půdní fauny často zanedbávána (Frouz 1999).

3.2.3.10 Pavouci (Araneae)

Pavouci představují početný a patrně nejznámější řád třídy pavoukoců (Arachnida). Žijí jak v nadzemních ekosystémech, tak i na povrchu půdy, v opadu, případně v dutinách půdy a skeletovitém podloží. Přibližně polovina z 880 v Česku zjištěných druhů preferuje nadzemní habitaty, kde žijí většinou na vegetaci a kořist lapají do pavučin (Šimek et al. 2019).

Tělo pavouků je rozděleno na hlavohruď (prosoma) a zadeček (opisthosoma), spojené úzkou stopkou (petiolus). Hlavohruď je na hřbetě pokryta krunýřem. Na břišní části se nachází zřetelný štít (sternum) a před ním dolní pysk (labium). Na rozdíl od hmyzu a většiny ostatních pavoukoců není zvenku viditelná segmentace těla a kutikula je relativně měkká, především na zadečku. Na přední části krunýře se nachází obvykle čtyři páry jednoduchých očí. Pod předním okrajem oční oblasti se nachází hlavový štít, který nese pár chelicer, za ústy se nachází makadla (pedipalpy). Následují čtyři páry kráčivých končetin. Na konci zadečku se nacházejí snovací bradavky (Gillepsie & Spagna 2003).

K půdním členovcům patří bezpochyby pavouci, kteří si pro svá obydlí a chytání kořisti vytvářejí v noře nebo přímo na zemi pavučinové lapací trubice, např. čeleď sklípkanovití (Atypidae), zápředníkovití (Clubionidae), stepníkovití (Eresidae), pokoutníkovití (Agelenidae) a příčnatkovití (Haniidae) (Eisenbeis & Wichard 1987). Pavouci se vyskytují také na povrchu půdy nebo v opadu, často se skrývají pod kameny a dřevem (Jeffery et al. 2010). Výhradně

na povrchu půdy pobíhají a loví pavouci čeledi skákavkovití (Salticidae) a mnoho druhů čeledi slíďákovití (Lycosidae) (Eisenbeis & Wichard 1987). Existuje také významné množství malých druhů, které obývají půdní póry a dutiny (např. z čeledi Linyphiidae) (Jeffery et al. 2010). Laška et al. (2011) se zabývali vertikálním rozmístěním pavouků v půdním profilu. Prokázali výskyt některých druhů pavouků v půdních vrstvách až do hloubky jednoho metru, a to především na suťových svazích, na stanovištích s většími póry a puklinami.

Pavouci jako predátoři pomáhají udržovat přirozenou rovnováhu v půdním společenstvu (Eisenbeis & Wichard 1987). Pavouci vytvářející v zemi nory navíc omezeně přispívají k míchání a provzdušňování půdy (Whalen & Sampedro 2010).

3.2.4 Půdní fauna jako bioindikátor prostředí

Bioindikátoři jsou široce používány ve vědeckém výzkumu s cílem kvantifikovat dopady na životní prostředí, jako jsou účinky poruch v důsledku lidské činnosti (Avgin & Luff 2010). Využívají se zejména pro hodnocení dopadu kyselých dešťů a zemědělských postupů (hnojení, rezidua pesticidů, zpracování půdy atd.), nebo rekultivací kontaminovaných průmyslových oblastí a městských skládek (Paoletti et al. 1991).

Půdní bezobratlí indikátoři musejí poskytovat dostatečně jasné reakce na environmentální zátěž a tyto změny, ať už v počtech nebo v taxonomické rozmanitosti, musí být relativně stabilní, aby mohly být snadno monitorovány. Je snazší pracovat s vyššími taxony. Na úrovni druhů je práce mnohem časově náročnější, ne-li nemožná, a vyžaduje se taxonomická odbornost. Taxonomie někdy nezlepší výsledky v detailu, nehledě na čas potřebný k získání patřičných taxonomických znalostí (Paoletti et al. 1991).

Použití faunálních skupin jako indikátorů kvality půdy vyžaduje výběr organismů, který tvoří dominantní skupinu, a vyskytují se ve všech typech půdy, mají vysokou početnost a vysokou biodiverzitu a hrají důležitou roli ve fungování půdy, např. v potravních sítích. Použití půdní fauny jako indikátorů nabízí různé možnosti. Biotesty jednotlivých druhů jsou důležité pro posouzení účinků jednotlivých stresorů a studií biokoncentrace. Tyto testy se však často provádějí v laboratorních experimentech, kdy se vzorky půdy přenášejí do experimentálních systémů a obohacují se o kontaminanty. Pokusy na úrovni společenstev jsou ekologicky relevantnější. Zapojují interakce všech půdních faktorů včetně řízení a účinků znečišťujících látek. (Schloter et al. 2003).

3.3 Antropogenní půdy

Antropogenní půdy jsou půdy velmi výrazně ovlivněné lidskou činností nebo jednoznačně člověkem uměle vytvořené (Tomášek 2007). S rozvojem zemědělské a průmyslové společnosti působil člověk na krajinu celou řadou disturbancí, jako je pastva, kosení, orba, přesuny zemin spojené s důlní a stavební činností atp. (Frouz 2013). Antropogenní půdy zahrnují půdy původně přirozené, jejichž charakter je smazán intenzivní kultivací (např. terasované půdy vinogradů, rigolované půdy chmelnic a někdy také půdy

intenzivně zahradnický využívané), a půdy vytvořené uměle, které zahrnují půdy výsypek, skládek, zavážek apod. Jsou typické pro silně industrializované oblasti postižené zejména těžební a energetikou činností (severní a severozápadní Čechy, Ostravsko) nebo výrazně urbanizovaná území (především velkoměsta) (Tomášek 2007).

Těžba ovlivňuje krajinný ráz a mnohdy vytváří zcela novou krajinu, s čímž souvisí i změna mikroklimatu. Nepříznivě působí na biotu, je provázena značným úbytkem lesní a zemědělské půdy, ovlivňuje také hydrologický systém a znečišťuje ovzduší prachovými částicemi, hořením a zápary (Vráblíková & Vráblík 2000).

3.3.1 Klasifikace antropogenních půd

Světový taxonomický klasifikační systém půd (Iuss Working Group Wrb. 2015) dělí antropogenní půdy do dvou referenčních skupin:

- **Anthrosols** představují půdy dlouhodobě a intenzivně zemědělsky obhospodařované. Jsou výrazně změněny lidskou činností (například přidáním organického nebo minerálního materiálu, uhlí nebo domácího odpadu) nebo zavlažováním či kultivací.
- **Technosols** zahrnují půdy, jejichž vlastnosti a pedogeneze jsou ovlivněny jejich technickým původem. Obsahují značné množství materiálů, objektů či věcí, které jsou lidmi silně ovlivněné nebo vyrobené, případně vytěžené z větších hloubek, nebo jsou utěsněny technickým tvrdým materiálem (tvrdý materiál vytvořený lidmi s vlastnostmi rozdílnými od přírodních hornin), nebo obsahují geomembránu. Patří k nim půdy z odpadů (skládky, kaly, škvára, důlní hloušina a popel), vozovky s jejich podkladovými nezpevněnými materiály, půdy s geomembránou a vytvořené půdy. Technosols jsou často označovány jako městské nebo důlní půdy.

Dle českého Taxonomického klasifikačního systému půd sestaveného Němečkem et al. (2001), jsou antropogenní půdy zařazeny do referenční třídy **antroposoly**, která je definována jako „*půdy vzniklé buď výraznou modifikací půdních horizontů kultivačními, melioračními opatřeními, pohřbením původních horizontů nebo půdy vzniklé z přemístěných materiálů, půdy překryté (sealing) či půdy silně kontaminované*“, a zahrnuje dva půdní typy:

- **Kultizemě**, což jsou půdy vytvořené kultivační činností člověka, např. mimořádným zapravováním zúrodnovacích hmot do ornice, hloubkovým kypřením, rigolováním, vložením izolačních folií
- **Antropozemě** zahrnující půdy vytvářené z člověkem nahromaděných substrátů z těžební a stavební činnosti.

3.3.2 Rekultivace půdy

Rekultivace lze chápat jako soubor opatření a úprav na zúrodnění půdy degradované přírodní nebo antropogenní činností. Přispívá k obnově produkční schopnosti a funkčnosti krajiny. K rekultivaci je nutné přistoupit, je-li plocha již natolik znehodnocená, že je nutné

změnit její fyzikální nebo chemické podmínky, aby se mohlo přistoupit k introdukci rostlin a živočichů (Vráblíková 2010).

Rekultivační opatření by měla plnit dvojí úkol: předcházet erozi, vyluhování živin a iniciovat rozvoj půdy a stimulovat biologickou rozmanitost se všemi důsledky pro udržitelnost funkcí ekosystémů a ochranu přírody (Koehler 2000).

Základní způsoby rekultivací jsou **zemědělské** (orná půda, sady, vinice), **lesnické** (zejména lesy účelové s polyfunkční orientací), **hydričné** (rybníky, polyfunkční vodní nádrže ve zbytkových lomech, mokřady, obnova vodních toků) a **ostatní** (hřiště, sportoviště, zahrádkářské osady, parky, upravené plochy pro výstavbu) (Vráblíková et al. 2014).

V zásadě existují dva přístupy k rekultivaci nebo obnově narušených míst: (1) umožnění přirozené sukcese, nebo (2) technická rekultivace se setím a výsadbou cílových druhů. Existuje také třetí přístup, kdy je přirozená sukcese přiměřeně řízena se záměrem dosáhnout cílového společenstva (Luken 1990; Parker 1997; Prach et al. 2001).

Prach & Hobbs (2008) doporučují používat spontánní sukcesi zejména tam, kde podmínky prostředí v okolí nejsou příliš extrémní a neexistují očekávané negativní vlivy na okolí, jako jsou sesuvy půdy, eroze, kontaminace vody nebo půdy nebo negativní estetické vnímání. Místa s nízkou produktivitou, vytvořená například těžbou, mohou být kolonizována druhy s nízkou konkurenceschopností, odolné vůči stresu, které ustupují z okolní eutrofizované krajiny, jak je tomu často v oblastech intenzivního zemědělství (Prach & Hobbs 2008).

3.3.3 Půdní fauna antropogenních půd

Zjištění Frouze et al. (2007) naznačují, že vývoj půdní fauny může být rozhodující pro strukturu tvorby půdy v lokalitách po těžbě a její role v rekultivační praxi by neměla být podceňována. Důležitou součástí procesů formování půdy je akumulace půdní organické hmoty. Kromě rostlin, které jsou hlavním zdrojem organické hmoty, hraje důležitou roli při akumulaci půdní organické hmoty také půdní biota (Frouz et al. 2007).

Kolonizace post-těžebních stanovišť mesofaunou a makrofaunou a jejich vytváření je ovlivněno mnoha faktory. Počáteční sukcesní fáze migrace a vytváření jsou ovlivněny migrační vzdáleností a přítomností migračních koridorů. Migrace a kolonizace stanoviště je obvykle rychlejší u epigeických organismů žijících na povrchu půdy a pomalejší u těch, kteří žijí hlouběji v půdě. Obzvláště pomalá je kolonizace post-těžební půdy žížalami. Dalším faktorem určující vývoj fauny je vývoj vegetace a kvalita opadu. Mnoho skupin půdní mesofauny dosahuje vysoké hustoty v místě zásobeném opadem s vysokým poměrem C:N. Naopak žížaly dávají přednost opadu s nízkým poměrem C:N. Vývoj kvality opadu v půdních horizontech je dalším rozhodujícím faktorem určujícím postupné změny půdní fauny (Frouz et al. 2013). Rozhodujícím faktorem podporujícím biologickou rozmanitost v různých stanovištích, je heterogenita prostředí (Moradi et al. 2018).

4 Metodika

4.1 Charakteristika území

Pro terénní odběry pro účely výzkumu v této práci byly vybrány lokality v podkrušnohorské oblasti chomutovského regionu ležícího v západní části Ústeckého kraje. Na tomto území (hlavně regiony Chomutov, Most a Teplice) nalezneme velké množství areálů s devastovanou krajinou, se značně narušenou původní strukturou a s vážným narušením její autoregulace. Nejvýznamnějším zásahem do krajiny v této oblasti je těžba hnědého uhlí, přičemž nejstarší záznam o těžebních činnostech v severních Čechách je datován k roku 1403. Od 60. let 20. století se začala v severních Čechách realizovat koncepce rozvoje oblasti jako palivo – energetické a petrochemické základny České republiky. To vedlo k vybudování tepelné elektrárny (o kapacitě přes 5 tis. MW) a k nárůstu těžby uhlí převážně povrchovým způsobem, což bylo důsledkem narušení území v pánevní oblasti severních Čech o rozloze cca 260 km² (Vráblíková & Vráblík 2000).

4.1.1 Klimatické poměry

Zájmové území leží dle Quitta (1971) v mírně teplé oblasti (MT7). Oblast je chudá na srážky v důsledku stínu Krušných hor. Roční úhrn srážek se pohybuje kolem 500 mm. Léto je normálně dlouhé, mírně teplé s průměrnou teplotou 13 – 15 °C, suché se srážkami <200 mm. Zima bývá normálně dlouhá, mírně chladná s průměrnou teplotou -2 až -3 °C se srážkami <200 mm a spíše kratší dobou trvání sněhové pokrývky.

Rok 2018 byl na území Ústeckého kraje teplotně mimořádně nadnormální, byl nejteplejším rokem od roku 1961. Průměrná roční teplota vzduchu 9,8 °C byla o 1,6 °C vyšší než normál 1981 – 2010. Rok 2019 byl s průměrnou roční teplotou vzduchu 9,6 °C druhým nejteplejším rokem od roku 1961 (průměrná roční teplota o 1,4 °C vyšší než normál) (ČHMÚ Ústí nad Labem 2019; 2020).

Průměrný roční úhrn srážek v roce 2018 byl 441,0 mm, což představuje 69 % normálu 1981 – 2010 a značí mimořádně podnormální roční úhrn srážek. V roce 2019 byl průměrný roční úhrn srážek 551 mm (87 % normálu) (ČHMÚ Ústí nad Labem 2019; 2020). Přehled o průměrných měsíčních teplotách vzduchu a úhrnu srážek je uveden v tabulce 1.

Tabulka 1: Přehled o průměrných měsíčních teplotách vzduchu a úhrnů srážek v Ústeckém kraji v období prováděného výzkumu; data získaná z <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#> a <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky>

	duben		květen		červen		září	
	Teplota vzduchu (°C)	srážky (mm)	Teplota vzduchu (°C)	srážky (mm)	Teplota vzduchu (°C)	srážky (mm)	Teplota vzduchu (°C)	srážky (mm)
2018	12,5	34,1	16,2	47	17,5	51,0	14,5	44,0
2019	9,4	25,0	10,8	66,0	20,9	47,0	13,3	59,0

4.2 Charakteristika odběrových lokalit

Rekultivovaná městská skládka odpadu Jihozápadní pole Chomutov (lokalita 1) a rekultivovaná skládka kalu z ČOV Údlice (lokalita 2) se nacházejí v chomutovském okrese v jihozápadní části Ústeckého kraje v severozápadních Čechách. Lokality jsou od sebe vzdáleny 3 km vzdušnou čarou.

4.2.1 Rekultivovaná skládka komunálního odpadu Jihozápadní pole Chomutov

Rekultivovaná skládka komunálního odpadu Jihozápadní pole (lokalita 1) se nachází v oploceném areálu odpadového hospodářství v Chomutově. Areál leží na východ od silnice č. 607 příjezdu do Chomutova od Prahy (GPS souřadnice: N 50°26.763', E 13°26.108') v nadmořské výšce 316 m n. m. Rekultivovaná plocha je kopulovitého tvaru, mírně svažitá po celém obvodu. Travnatý povrch je udržován sečením dvakrát ročně.

Vlastní skládka byla uzavřena již v roce 1999. Od té doby se na skládku ukládaly pouze odpady podle schváleného provozního řádu určené zejména k vytvarování tělesa skládky před rekultivací. Rekultivace skládky o rozloze 131 000 m² byla dokončena v roce 2015 (Sweco Hydroprojekt a.s. 2015).

Jižní část skládky (I. etapa) byla utěsněna minerálním těsněním tloušťky 60 cm, poté následovala vrstva geotextilie. Ve II. až IV. etapě byla jako těsnící vrstva použita bentonitová rohož, která nahradila minerální těsnění s geotextilií. Bentonitová rohož je tvořena tkanou a netkanou geotextilií s mezivrstvou z bentonitu, přičemž celá konstrukce je propojena a fixována vpichováním (Sweco Hydroprojekt a.s. 2015). Následovalo navezení podorniční vrstvy tloušťky 80 cm a ornice tloušťky 20 cm. Povrch skládky byl oset travní směsí s vysokým protierozním účinkem vhodnou na sušší stanoviště s nižší zásobou živin z kostřavy červené výběžkaté (35 %), kostřavy červené trsnaté (15 %), kostřavy luční (20 %), lipnice luční (15 %) a jílku vytrvalého (15 %) (Hydroprojekt a.s. 1996).

V rámci sanace a rekultivace skládky bylo provedeno odvodnění skládky systémem drenáží a odvodňovacích příkopů po obvodu skládky a odplynění stavbou bioplynové stanice (Sweco Hydroprojekt a.s. 2015).

4.2.2 Rekultivovaná skládka čistírenských kalů z ČOV Údlice

Rekultivovaná kalová laguna (lokalita 2), o rozloze cca 32 000 m², se nachází cca 1 km východně od okraje obce Údlice nedaleko Chomutova v těsné blízkosti pískovny KOBRA Údlice v místě opuštěné části pískovny (souřadnice GPS: N 50°26.639', E 13°28.659') v nadmořské výšce 303 m n. m. Tvar plochy je spíše rovinatý, s mírnými depresiemi povrchu. Na rozdíl od lokality 1 je zde travnatá plocha neudržovaná.

V roce 2007 došlo k uzavření a následné rekultivaci kalové laguny. Kalové vody nad usazenými kaly byly odčerpány na ČOV Údlice a zbylé kaly v laguně byly zasypány inertním materiálem. Poté byla provedena těsnící vrstva z místních jílu o mocnosti 60 cm s krycí vrstvou z geotextilie. Následovala rekultivační vrstva o celkové mocnosti 100 cm tvořena vrstvou vhodné zeminy o mocnosti 70 cm a ornice o mocnosti 30 cm, na kterou byla vyseta

travní směs suchomilných travin (shodná s lokalitou 1) a v části vysázeny keře, borovice a listnaté stromy. Skládka byla odvodněna pomocí odvodňovacího příkopu po jejím obvodu (in PROJEKT LOUNY ENGINEERING s.r.o. 2003).

4.3 Metodika odběru vzorků

Terénní práce byly prováděny v letech 2018 a 2019 v měsících duben, květen, červen a září. V každé lokalitě bylo každý měsíc odebráno šest vzorků půdy pro vyšetření půdní fauny a současně byl proveden ruční rozbor tří vzorků půdy na přítomnost žížal. Vzorky byly odebrány rovnoměrně po celé ploše (v minimální vzdálenosti 2 m od okrajových částí lokality). Na každé lokalitě bylo tedy celkem za dva roky odebráno 48 vzorků půdy pro získání půdních členovců a vyšetřeno 24 půdních bloků.

4.4 Metodika získávání půdních členovců

Každý vzorek půdy o velikosti 15 x 15 x 10 cm byl vložen do označeného plastového uzavíratelného sáčku. Následně byla sada všech šesti vzorků z každé lokality uložena v chladu a temnu a transportována do laboratoře České zemědělské univerzity v Praze. Půdní fauna ze vzorků byla extrahována v Tullgrenových extraktorech po dobu deseti dnů. Každý půdní vzorek byl vložen do misky se síťovým dnem. Miska byla poté nasazena do větší nálevky. Vzorek v misce byl shora zahříván žárovkou, což vedlo k propadání půdní fauny nálevkou do označené nádoby s fixační kapalinou (70% roztok etanolu).

4.5 Metodika získávání žížal

Sběr žížal byl prováděn metodou ručního sběru. Na každé lokalitě byly ruční sběrem vyšetřeny tři čtverce o výměře 1m². Každý z těchto čtverců byl ještě rozdělen do dvou čtverců o straně 70 cm vzdálených od sebe minimálně 20 cm. Půda byla za pomoci rýče do hloubky 25 cm odkopána a přemístěna na textilní podložku, kde byla ručně rozdrobována, probírána a postupně vracena zpět do výkopu. Nalezení jedinci z jednotlivých ploch byly v terénu ukládány do označených uzavíratelných nádob naplněných navlhčeným substrátem.

Následně byly žížaly usmrceny v nádobkách se 70% roztokem etanolu. Před determinací byla těla jedinců z důvodu lepší pozdější determinace přendána na dobu dvou týdnů do roztoku formaldehydu (4%), čímž došlo k vytvrzení a zachování tělesné barvy.

4.6 Metodika hodnocení společenstev

Každý jedinec žížaly byl determinován podle určovacího klíče Pižl (2002) a Edward & Bohlen (1995) do druhu a zvážen s přesností na 0,01 g. Extrahování zástupci půdních členovců byli determinováni do vyšších taxonů. Chvostoskoci byli navíc dle Parisi et al. (2005) rozděleni na základě vnějších morfologických znaků odpovídajících míře závislosti na půdním prostředí na formy epigeické, hemiedafické a euedafické. Roztoči byli rozděleni na pancířníky

(Oribatida) a ostatní roztoče. Společenstva byla následně hodnocena pomocí indexů diverzity a podobnosti, QBS a QBS-e (žížaly) indexu a statistických výpočtů.

4.6.1 Indexy diverzity

Simpsonův index

Jedná se o nejznámější index skupiny indexů založených na dominanci. Je méně citlivý ke vzácným druhům a silně závislý na nejpočetnějším druhu. Zvyšující se hodnotou dominance stoupá a vyrovnanost společenstva klesá (Jarkovský et al. 2012). Index vyjadřuje, s jakou mírou pravděpodobnosti patří dva náhodně odebraní jedinci dvěma různým druhům (Frydrych et al. 2013a). Pro charakteristiku společenstva je nejjednodušším měřítkem, které uvažuje jak početnost (biomasu), tak i druhové bohatství. Vypočítá se jako podíl, kterým biomasa nebo jedinci každého druhu přispívají do celku pro daný vzorek. Znamená to, že druh i přispívá podílem P_i (Begon et al. 1997). Vypočítá se podle vzorce:

$$D = \frac{1}{\sum_{i=1}^S P_i^2}$$

Shannon – Wienerův index

Shannon – Wienerův index je dalším často používaným indexem. Předpokladem indexu je náhodný výběr jedinců z teoreticky neomezeného množství a přítomnost všech druhů společenstva ve vzorku. Většinou nabývá hodnot od 1,5 do 4,5 (Jarkovský et al. 2012). Vychází z pravděpodobnosti, s jakou bude další získaný jedinec patřit předpokládanému druhu (Frydrych et al. 2013a). K výpočtu se používá vzorec:

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

$$P_i = \frac{N_i}{N}, \text{ kdy } N_i \text{ je počet jedinců } i\text{-tého druhu a } N \text{ je celkový počet jedinců všech druhů.}$$

Čím je hodnota indexu H vyšší, tím je společenstvo tvořeno větším počtem druhů s relativně nižší početností.

Margalefův index

Margalefův index je indexem druhové pestrosti (Frydrych et al. 2013a). Je založen na početnosti druhů (Jarkovský et al. 2012). Index respektuje odlišnosti různě početných vzorků (Frydrych et al. 2013b). Pro výpočet se použije vzorec:

$$D_{Mg} = \frac{(S - 1)}{\ln(N)}$$

S – počet taxonů; N – celkový počet jedinců

4.6.2 Indexy podobnosti

Ke stanovení rozdílu ekologické významnosti mezi lokalitami byl pro výpočet použit Sørensenův a Jaccardův index podobnosti, kterými se porovnává počet druhů v jednotlivých společenstvech (A, B) s počtem druhů společných pro obě společenstva (c).

Jaccardův index podobnosti

$$IS_J = \frac{c}{A + B - c} \cdot 100$$

Sørensenův index podobnosti

$$IS_S = \frac{2c}{A + B} \cdot 100$$

4.6.3 QBS index

Index QBS (biologický index kvality půdy) je založen na předpokladu, že čím vyšší je kvalita půdy, tím vyšší bude počet skupin drobných půdních členovců dobře adaptovaných na půdní stanoviště. V rámci každého vyššího taxonu vyžaduje metoda QBS hledání biologické formy (morfického typu), která je nejvíc přizpůsobena půdě. Tento typ získá ekomorfologické skóre (EMI) úměrné jeho adaptační úrovni (tabulka 2). Obecně platí, že euedafické formy (žijící hluboko v půdě) získají EMI = 20, hemiedafické formy (obývající střední vrstvy půdy) se označují indexovým hodnocením úměrným jejich stupni specializace a epiedafické formy (žijící na povrchu půdy) získají EMI = 1 (Parisi et al. 2005).

Tabulka 2: Ekomorfologické indexy (EMI) jednotlivých taxonů půdních členovců dle Parisi et al. (2005) – upraveno pro potřeby hodnocení v této práci.

Taxon	EMI	Taxon	EMI
Protura	20	Diptera (larvy)	10
Diplura	20	Acari	10
Collembola – epiedafický (1)	2	Oribatida	20
Collembola – hemiedafický (2)	8	Isopoda	10
Collembola – euedafický (3)	20	Chilopoda	10
Dermaptera	1	Diplopoda	10
Hemiptera	1	Araneae	5
Thysanoptera	1	Symphyla	20
Coleoptera (imaga)	10	Ost. Holometabola (larvy)	10
Hymenoptera	5	Ost. Holometabola (imaga)	1

Index QBS nevyžaduje diagnózu na úrovni druhu, a proto se považuje za vhodný nástroj pro monitorování ve velkém měřítku, kde lze shromáždit velké množství vzorků (Parisi et al. 2005).

4.6.4 QBS-e index

Index QBS-e je indexem biologické kvality půdy založeným na počtu odebraných vzorků žížal a jejich ekologické kategorii. Skóre EMI (ekomorfologický index) bylo přiřazeno každé ekologické kategorii a stáří odebraných žížal (Tabulka 3; Paoletti et al. 2013).

Tabulka 3: Ekomorfologické skóre (EMI) dle ekologické kategorie a věku žížal (Paoletti et al. 2013)

Ekologická kategorie	Pohlavní zralost	EMI
Hydrofilní (HYD)	Nedospělec (J)	1
Hydrofilní (HYD)	Dospělec (Ad)	1
Koprofágní (COP)	Nedospělec (J)	2
Koprofágní (COP)	Dospělec (Ad)	2
Epigeické (EPI)	Nedospělec (J)	2,5
Endogeické (END)	Nedospělec (J)	2,5
Epigeické (EPI)	Dospělec (Ad)	3
Endogeické (END)	Dospělec (Ad)	3,2
Anektické (ANE)	Nedospělec (J)	10
Anektické (ANE)	Dospělec (Ad)	14,4

Aby bylo možné vypočítat konečnou hodnotu QBS-e, je nutné vynásobit skóre EMI (uvedené v tabulce výše) s počtem jedinců (počet na m²) (Paoletti et al. 2013):

$$QBS - e = (HYD J, Ad \cdot N) + (COP J, Ad \cdot N) + (EPI J \cdot N) + (END J \cdot N) + (EPI Ad \cdot N) + (END Ad \cdot N) + (ANE J \cdot N) + (ANE Ad \cdot N)$$

N - počet jedinců / m² v každé ekologické kategorii

Vypočtenou hodnotu QBS-e je nutno porovnat s tabulkou 4, která na základě velikosti hodnot QBS-e určuje třídu kvality půdy (Paoletti et al. 2013).

Tabulka 4: Třídy kvality dle Paoletti et al. (2013)

QBS-e hodnoty	Třída kvality (agroekosystém, polopřírodní prostředí)
QBS-e > 1000	výborná - 4
600 < QBS-e < 1000	dobrá - 3
300 < QBS-e < 600	slušná - 2
100 < QBS-e < 300	dostatečná - 1
0 < QBS-e < 100	špatná - 0

4.6.5 Analýza rozptylu (jednofaktorová ANOVA)

Jednosměrná analýza rozptylu (ANOVA) se používá k určení, zda existují statisticky významné rozdíly mezi průměrem dvou nebo více nezávislých (nesouvisejících) skupin. Pro výpočet byl použit program Microsoft Office Excel 2007.

Výsledek analýzy určuje hodnota pravděpodobnosti p . Pokud je hodnota nižší než zvolená hladina významnosti (v našem případě $\alpha=0,05$), podařilo se prokázat, že se oba výběry liší. Hodnota $p > 0,05$ značí, že mezi zvolenými proměnnými není závislost.

5 Výsledky

5.1 Společenstvo žížal

Na rekultivované skládce Chomutov (lokalita 1) bylo nalezeno celkem 150 jedinců žížal. Determinací bylo potvrzeno celkem pět druhů. Nejpočetnějším druhem byla *Apporectodea rosea*, následoval druh *Apporectodea caliginosa*. Počet ostatních nalezených druhů byl v řádu jednotek.

Celkový počet jedinců na rekultivované kalové laguně Údlice (lokalita 2) byl 804 jedinců determinovaných do devíti druhů.

Nejčastěji se zde vyskytovala *Apporectodea caliginosa* (71 % nalezených jedinců v lokalitě 2). Dalšími hojně zastoupenými druhy byly *Apporectodea rosea* a *Lumbricus terrestris*. Přehled o druzích, početnosti a biomase žížal je zpracován v tabulkách 4 a 5.

Tabulka 4: Determinované druhy žížal, celková početnost a biomasa, r. 2018 a r. 2019, skládka Chomutov (lokalita 1)

Druh	2018		2019	
	počet jedinců	biomasa (g)	Počet jedinců	Biomasa (g)
<i>Aporrectodea rosea</i>	59	14,30	38	6,82
<i>Aporrectodea longa</i>	7	3,28	1	0,08
<i>Aporrectodea caliginosa</i>	20	7,82	23	12,18
<i>Lumbricus castaneus</i>	1	0,87	-	-
<i>Octolasion cyaneum</i>	-	-	1	0,18
Σ	87	26,27	63	19,26
Početnost (J/m ²); biomasa (g/m ²)	7,25	2,19	5,25	1,60

Tabulka 5: Determinované druhy žížal, celková početnost a biomasa, r. 2018 a r. 2019, Kalová laguna Údlice (lokalita 2)

Druh	2018		2019	
	počet jedinců	biomasa (g)	Počet jedinců	Biomasa (g)
<i>Aporrectodea rosea</i>	72	14,19	75	13,29
<i>Aporrectodea longa</i>	6	2,12	1	0,82
<i>Aporrectodea caliginosa</i>	220	65,77	355	130,88
<i>Lumbricus castaneus</i>	1	0,13	-	-
<i>Lumbricus terrestris</i>	18	26,48	29	4,64
<i>Lumbricus rubellus</i>	14	5,44	-	-
<i>Allolobophora chlorotica</i>	3	0,37	-	-
<i>Octolasion lacteum</i>	2	0,24	2	0,27
<i>Octolasion cyaneum</i>	4	0,51	2	0,48
Σ	341	115,26	464	150,38
Početnost (J/m ²); biomasa (g/m ²)	28,42	9,61	38,70	12,53

5.1.1 QBS – e index

Pro výpočet QBS-e indexů byli jedinci nejprve determinováni do ekologických kategorií (tabulky 6 a 7). Pohlavní zralost pro účely určení EMI je dělena pouze na dvě kategorie: adultní (dospělá) stadia (Ad) a juvenilní (nedospělá) stadia (J).

Proto nalezení jedinci determinovaní jako subadultní, tj. jedinci, kteří již nejsou juvenilní, ale nedosáhly ještě pohlavní zralosti, byli pro účely výpočtů považováni za adultní.

Tabulka 6: Počet jedinců žížal v jednotlivých ekologických kategoriích; r. 2018 a r. 2019; skládka Chomutov (lokalita 1)

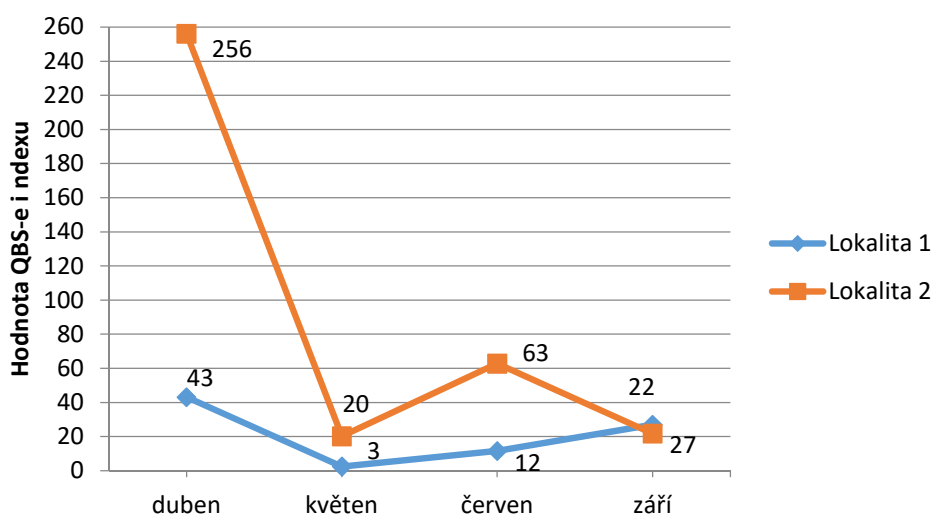
Ekologická kategorie	Pohlavní zralost	EMI	2018				2019			
			IV	V	VI	IX.	IV	V	VI	IX
EPI	J	2,5	-	-	-	-	-	-	-	-
END	J	2,5	7	3	10	17	-	1	-	30
EPI	Ad	3	1	-	-	-	-	-	-	-
END	Ad	3,2	34	-	3	12	2	1	-	29
ANE	J	10	-	-	-	-	-	-	-	-
(ANE)	(Ad)	14,4	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabulka 7: Počet jedinců žížal v jednotlivých ekologických kategoriích; r. 2018 a r. 2019; Kalová laguna Údlice (lokalita 2)

Ekologická kategorie	Pohlavní zralost	EMI	2018				2019			
			IV	V	VI	IX	IV	V	VI	IX
EPI	J	2,5	8	-	-	-	-	-	-	-
END	J	2,5	128	19	44	21	132	41	31	71
EPI	Ad	3	6	1	-	-	-	-	-	-
END	Ad	3,2	69	1	18	4	71	26	43	20
ANE	J	10	6	1	1	-	9	6	9	5
ANE	Ad	14,4	9	-	1	-	-	-	-	-

Graf 1 ukazuje, že v roce 2018 dosahovala půda dostatečné biologické kvality ($100 < \text{QBS-e} < 300$) pouze v měsíci dubnu v lokalitě 2. Na základě vypočtených hodnot QBS-e v ostatních měsících v obou lokalitách byla biologická kvalita půdy za rok 2018 hodnocena jako špatná ($\text{QBS-e} < 100$).

QBS-e index 2018

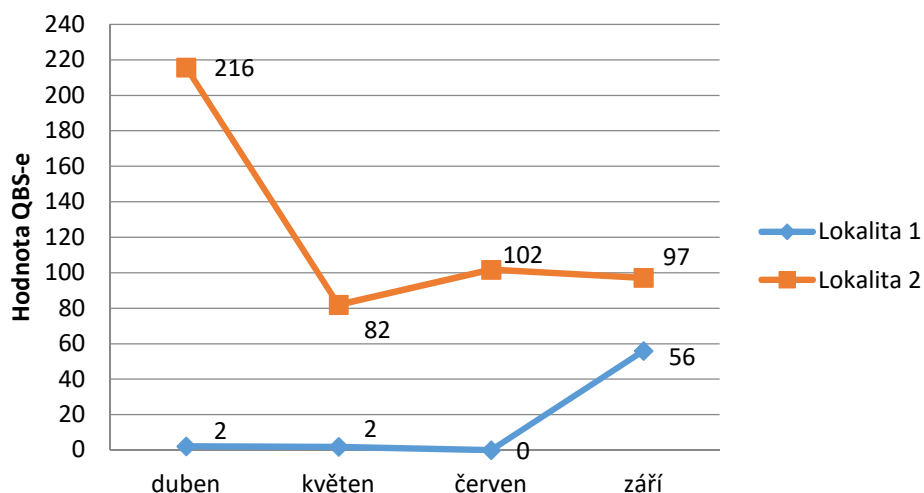


Graf 1: Porovnání QBS-e indexů z odběrových lokalit; r. 2018

V roce 2019 byla nejvyšší hodnota QBS-e zjištěna opět v lokalitě 2 v měsíci dubnu ($100 < \text{QBS-e} < 300$). Třída kvality půdy v tomto měsíci byla hodnocena jako dostačující. Dostačující třídou kvality lze hodnotit v lokalitě 2 též měsíc červen. Viz graf 2.

Výpočtem průměrných ročních hodnot QBS-e v jednotlivých lokalitách (tabulka 8) bylo zjištěno, že pouze v lokalitě 2 v roce 2019 mohla být kvalita půdy hodnocena jako dostačující. Kvalita půdy v lokalitě 1 v roce 2018 a 2019 a lokalitě 2 v roce 2018 byla na základě hodnot QBS-e hodnocena jako špatná.

QBS-e index 2019



Graf 2: Porovnání QBS-e indexů z odběrových lokalit; r. 2019

Tabulka 8: Průměrné roční hodnoty QBS-e v jednotlivých lokalitách

Rok	Hodnota QBS-e	
	2018	2019
Lokalita 1	20	15
Lokalita 2	90	124

5.1.2 Analýza rozptylu (jednofaktorová ANOVA)

Z výsledků analýzy rozptylu v tabulkách 9 a 10 vyhodnocené na základě odebraných dat ze získaných vzorků populace žířal z jednotlivých lokalit v roce 2018 nebyla prokázána závislost (hodnota $P > 0,05$).

Tabulka 9: Výsledky jednofaktorové ANOVA, populace žířal v roce 2018 (jedinci)

Faktor	Výběr	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl
Sloupec 1 (lokalita 2)		12	341	28,41667	890,9924
Sloupec 2 (lokalita 1)		6	87	14,5	272,3

ANOVA

Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F krit
Mezi výběry	774,6944	1	774,6944	1,110433	0,3076	4,493998
Všechny výběry	11162,42	16	697,651			
Celkem	11937,11	17				

Tabulka 10: Výsledky jednofaktorové ANOVA, populace žížal v roce 2018 (biomasa)

Faktor						
Výběr	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl		
Sloupec 1 (lokalita 1)	6	26,282	4,380333	28,39563		
Sloupec 2 (lokalita 2)	12	115,256	9,604667	165,3581		
ANOVA						
Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F krit
Mezi výběry	109,1746	1	109,1746	0,890805	0,3593	4,493998
Všechny výběry	1960,917	16	122,5573			
Celkem	2070,092	17				

Na základě odebraných dat ze získaných vzorků populace žížal z jednotlivých lokalit v roce 2019 bylo analýzou rozptylu pomocí jednofaktorové ANOVA zjištěno, že lokality v tomto roce se mezi sebou liší ($P < 0,05$; viz tabulky 11 a 12).

Tabulka 11: Výsledky jednofaktorové ANOVA, populace žížal v roce 2019 (jedinci)

Faktor						
Výběr	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl		
Sloupec 1 (lokalita 2)	12	463	38,58333	660,9924		
Sloupec 2 (lokalita 1)	6	63	10,5	233,5		
ANOVA						
Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F krit
Mezi výběry	3154,694	1	3154,694	5,981586	0,0264	4,493998
Všechny výběry	8438,417	16	527,401			
Celkem	11593,11	17				

Tabulka 12: Výsledky jednofaktorové ANOVA, populace žížal v roce 2019 (biomasa)

Faktor						
Výběr	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl		
Sloupec 1 (lokalita 1)	6	19,258	3,209667	24,70197		
Sloupec 2 (lokalita 2)	12	150,384	12,532	74,93378		
ANOVA						
Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F krit
Mezi výběry	347,6236	1	347,6236	5,868418	0,0277	4,493998
Všechny výběry	947,7814	16	59,23634			
Celkem	1295,405	17				

Z výsledků v tabulkách 13 až 16 vyplývá, že v lokalitě 1 ani v lokalitě 2 nebyla prokázána závislost mezi roky 2018 a 2019 ($P > 0,05$).

Tabulka 13: Výsledky jednofaktorové ANOVA, Srovnání let 2018 - 2019 - lokalita 1 (jedinci)

Faktor				
<i>Výběr</i>	<i>Počet</i>	<i>Součet</i>	<i>Průměr</i>	<i>Rozptyl</i>
Sloupec 1 (2018)	6	87	14,5	272,3
Sloupec 2 (2019)	6	63	10,5	233,5

ANOVA						
<i>Zdroj variability</i>	<i>SS</i>	<i>Rozdíl</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>F krit</i>
Mezi výběry	48	1	48	0,189798	0,6723382	4,964603
Všechny výběry	2529	10	252,9			
Celkem	2577	11				

Tabulka 14: Výsledky jednofaktorové ANOVA, Srovnání let 2018 - 2019 - lokalita 1 (biomasa)

Faktor				
<i>Výběr</i>	<i>Počet</i>	<i>Součet</i>	<i>Průměr</i>	<i>Rozptyl</i>
Sloupec 1 (2018)	6	26,282	4,380333	28,39563
Sloupec 2 (2019)	6	19,258	3,209667	24,70197

ANOVA						
<i>Zdroj variability</i>	<i>SS</i>	<i>Rozdíl</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>F krit</i>
Mezi výběry	4,111381	1	4,111381	0,154861	0,7021921	4,964603
Všechny výběry	265,488	10	26,5488			
Celkem	269,5994	11				

Tabulka 15: Výsledky jednofaktorové ANOVA, Srovnání let 2018 - 2019 - lokalita 2 (jedinci)

Faktor				
	<i>Výběr</i>	<i>Počet</i>	<i>Součet</i>	<i>Průměr</i>
				<i>Rozptyl</i>
Sloupec 1 (2018)		12	341	28,41667
Sloupec 2 (2019)		12	463	38,58333
				890,9924
				660,9924

ANOVA

<i>Zdroj variability</i>	<i>SS</i>	<i>Rozdíl</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>F krit</i>
Mezi výběry	620,1667	1	620,1667	0,799192	0,3810112	4,30095
Všechny výběry	17071,83	22	775,9924			
Celkem	17692	23				

Tabulka 16: Výsledky jednofaktorové ANOVA, Srovnání let 2018 - 2019 - lokalita 2 (biomasa)

Faktor				
	<i>Výběr</i>	<i>Počet</i>	<i>Součet</i>	<i>Průměr</i>
				<i>Rozptyl</i>
Sloupec 1 (2018)		12	115,256	9,604667
Sloupec 2 (2019)		12	150,384	12,532
				165,3581
				74,93378

ANOVA

<i>Zdroj variability</i>	<i>SS</i>	<i>Rozdíl</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>F krit</i>
Mezi výběry	51,41568	1	51,41568	0,427944	0,5197803	4,30095
Všechny výběry	2643,211	22	120,146			
Celkem	2694,627	23				

5.2 Půdní členovci (meso a makrofauna)

Z půdních vzorků odebraných v dubnu, květnu, červnu a září v letech 2018 a 2019 bylo získáno v lokalitě 1 celkem 5288 a v lokalitě 2 celkem 5057 jedinců půdních členovců, kteří byli determinováni celkem do 18 taxonomických skupin (vyšších taxonů), tabulka 13. V tabulce 17 je uvedena početnost jednotlivých taxonů na m².

Tabulka 17: Přehled celkové početnosti jedinců půdních členovců, r. 2018 a r. 2019

Taxon	Počty získaných jedinců					
	Lokalita 1			Lokalita 2		
	2018	2019	Σ	2018	2019	Σ
Protura	4	3	7	-	2	2
Diplura	18	20	38	23	47	70
Collembola 1	246	112	358	182	181	363
Collembola 2	100	120	220	63	219	282
Collembola 3	155	237	392	81	350	431
Dermaptera	-	-	0	-	-	0
Hemiptera	2	4	6	2	7	9
Thysanoptera	-	-	0	-	-	0
Coleoptera (imaga)	1	-	1	3	5	8
Hymenoptera	13	3	16	22	145	167
Diptera (larvy)	19	11	30	13	11	24
Acari	1485	1772	3257	1144	1251	2395
Oribatida	478	348	826	627	454	1081
Isopoda	3	3	6	7	9	16
Chilopoda	7	3	10	10	32	42
Diplopoda	1	1	2	9	8	17
Araneae	4	-	4	4	4	8
Symphyla	36	13	49	41	30	71
Ost. Holometabola (larvy)	17	34	51	14	34	48
Ost. Holometabola (imaga)	5	10	15	13	10	23
Σ	2694	2594	5288	2258	2799	5057

Tabulka 18: Přehled celkové početnosti jedinců na m² (půdní členovci), r. 2018 a r. 2019

Taxon	početnost (hustota) jedinců na m ²					
	lokalita 1			Lokalita 2		
	2018	2019	∅	2018	2019	∅
Protura	7	6	6	-	4	2
Diplura	33	37	35	43	87	65
Collembola 1	456	207	331	337	335	336
Collembola 2	185	222	204	117	406	261
Collembola 3	287	439	363	150	648	399
Dermaptera	-	-	0	-	-	0
Hemiptera	4	7	6	4	13	8
Thysanoptera	-	-	0	-	-	0
Coleoptera (imaga)	2	-	1	6	9	7
Hymenoptera	24	6	15	41	269	155
Diptera (larvy)	35	20	28	24	20	22
Acari	2750	3281	3016	2119	2317	2218
Oribatida	885	644	765	1161	841	1001
Isopoda	6	6	6	13	17	15
Chilopoda	13	6	9	19	59	39
Diplopoda	2	2	2	17	15	16
Araneae	7	-	4	7	7	7
Symphyla	67	24	45	76	56	66
Ost. Holometabola (larvy)	31	63	47	26	63	44
Ost. Holometabola (imaga)	9	19	14	24	19	21

Společenstvo půdní fauny v lokalitě 1 bylo nejpočetněji zastoupeno řády roztočů, chvostoskoků a pancířníků. V roce 2018 bylo zaznamenáno v lokalitě 1 nejvíce taxonomických skupin půdní fauny v měsících květen a září (15 skupin), v roce 2019 pak v měsíci duben (13 skupin). V roce 2018 bylo získáno z půdních vzorků nejvíce jedinců v měsíci květen (1063), nejméně pak v měsíci červen (415). V roce 2019 byl zaznamenán nejvyšší počet jedinců v měsíci duben (1363), což bylo 50 % všech jedinců získaných v roce 2019 v lokalitě 1.

Ve společenstvu půdní fauny lokality 2 byl nejpočetnější taxonomickou skupinou řád roztoči, podřád pancířníci a řád chvostoskoci. Na taxony i na celkový počet jedinců byl nejbohatší v roce 2018 měsíc květen (13 skupin; 838 jedinců). V roce 2019 to byly měsíce duben a září (16 skupin) s nejvyšším počtem nalezených jedinců v měsíci duben, kdy bylo získáno 1404 jedinců, což představovalo polovinu všech jedinců získaných v uvedeném roce.

V roce 2019 byl oproti roku v obou lokalitách zaznamenán nárůst počtu jedinců skupiny hemiedafických a euedafických chvostoskoků (v tabulkách značených jako

Collembola 2 a 3) současně s nárůstem počtu jedinců řádu roztočů. Přehled o počtu získaných jedinců je uveden v tabulce 19 a 20.

Tabulka 19: Přehled o celkovém počtu jedinců půdní meso a makrofauny získaných z odebraných půdních vzorků v jednotlivých měsících, r. 2018 a r. 2019, Městská skládka Chomutov (lokalita 1)

Taxon	2018				2019			
	IV	V	VI	IX.	IV	V	VI	IX
Protura	3	-	1	-	-	3	-	-
Diplura	4	7	6	1	7	4	8	1
Collembola 1	109	102	31	4	31	12	19	50
Collembola 2	33	43	13	11	45	10	29	36
Collembola 3	-	43	14	11	107	19	35	76
Dermaptera	-	-	-	-	-	-	-	-
Hemiptera	-	-	-	2	1	-	-	3
Thysanoptera	-	-	-	-	-	-	-	-
Coleoptera (imaga)	-	-	-	1	-	-	-	-
Hymenoptera	4	4	1	4	-	-	1	-
Diptera (larvy)	6	6	5	2	9	-	-	-
Acari	292	760	258	175	979	234	184	375
Oribatida	45	71	71	291	172	105	26	45
Isopoda	-	1	-	2	1	-	1	1
Chilopoda	3	2	-	2	1	-	-	2
Diplopoda	-	1	-	-	-	1	-	-
Araneae	2	1	-	1	-	-	-	-
Symphyla	6	17	8	5	3	10	-	-
Ost. Holometabola (larvy)	7	4	3	3	2	5	20	7
Ost. Holometabola (imaga)	-	1	4	-	5	4	1	-

Tabulka 20: Přehled o celkovém počtu jedinců půdní meso a makrofauny získaných z odebraných půdních vzorků v jednotlivých měsících, r. 2018 a r. 2019, Kalová laguna Údlice (lokalita 2)

Taxon	2018				2019			
	IV	V	VI	IX	IV	V	VI	IX
Protura	-	-	-	-	2	-	-	-
Diplura	7	9	4	3	5	3	6	33
Collembola 1	38	96	32	16	45	22	30	84
Collembola 2	30	16	7	10	53	35	30	101
Collembola 3	28	42	4	7	192	36	48	74
Dermaptera	-	-	-	-	-	-	-	-
Hemiptera	2	-	-	-	1	-	4	2
Thysanoptera	-	-	-	-	-	-	-	-
Coleoptera (imaga)	-	1	-	2	2	1	-	2
Hymenoptera	7	8	4	3	99	5	3	38
Diptera (larvy)	6	4	1	2	3	-	-	8
Acari	208	471	328	137	676	176	107	292
Oribatida	145	172	110	200	264	67	40	83
Isopoda	2	2	1	2	7	1	-	1
Chilopoda	4	1	3	2	16	5	3	8
Diplopoda	4	3	2	-	6	2	-	-
Araneae	-	1	-	3	-	-	1	3
Symphyla	6	7	23	5	23	3	-	4
Ost. Holometabola (larvy)	5	1	6	2	5	14	7	8
Ost. Holometabola (imaga)	4	4	1	4	7	-	2	1

5.2.1 Indexy diverzity

Tabulka 21: Výsledné hodnoty Simpsonova indexu

Simpsonův index	2018				2019			
	IV	V	VI	IX	IV	V	VI	IX
Lokalita 1	3,34	1,89	2,36	2,29	3,64	2,67	2,28	2,67
Lokalita 2	1,85	2,49	2,80	2,36	3,41	3,53	4,57	4,68

Na základě výsledků hodnot Simpsonova indexu (tabulka 21) bylo zjištěno, že dominance společenstva byla v roce 2018 nejvyšší v měsíci duben v lokalitě 1 a v roce 2019 v měsíci září v lokalitě 2. Naopak nejvyrovnanější společenstvo bylo v roce 2018 v měsíci duben v lokalitě 2 a v roce 2019 v měsíci červen v lokalitě 1. Z výsledků lze usuzovat, že celkově vyrovnanější v obou letech bylo společenstvo v lokalitě 1.

Tabulka 22: Výsledné hodnoty Shannon – Wienerova indexu

Shannon – Wienerův index	2018				2019			
	IV	V	VI	IX	IV	V	VI	IX
Lokalita 1	0,68	0,48	0,57	0,49	0,44	0,56	0,64	0,56
Lokalita 2	0,73	0,60	0,54	0,59	0,71	0,72	0,79	0,82

Nízké hodnoty Shannon – Wienerova indexu v tabulce 22 naznačují velmi nízkou diverzitu společenstev v daných lokalitách.

Tabulka 23: Výsledné hodnoty Margalefova indexu

Margalefův index	2018				2019			
	IV	V	VI	IX	IV	V	VI	IX
Lokalita 1	4,32	4,63	4,20	5,16	3,83	3,83	3,58	3,96
Lokalita 2	5,19	5,13	4,78	5,38	5,08	4,67	4,49	5,23

Dle tabulky 23 vyšší výsledné hodnoty Margalefova indexu druhové pestrosti byly zaznamenány v roce 2018 a 2019 v lokalitě 2.

5.2.2 Indexy podobnosti

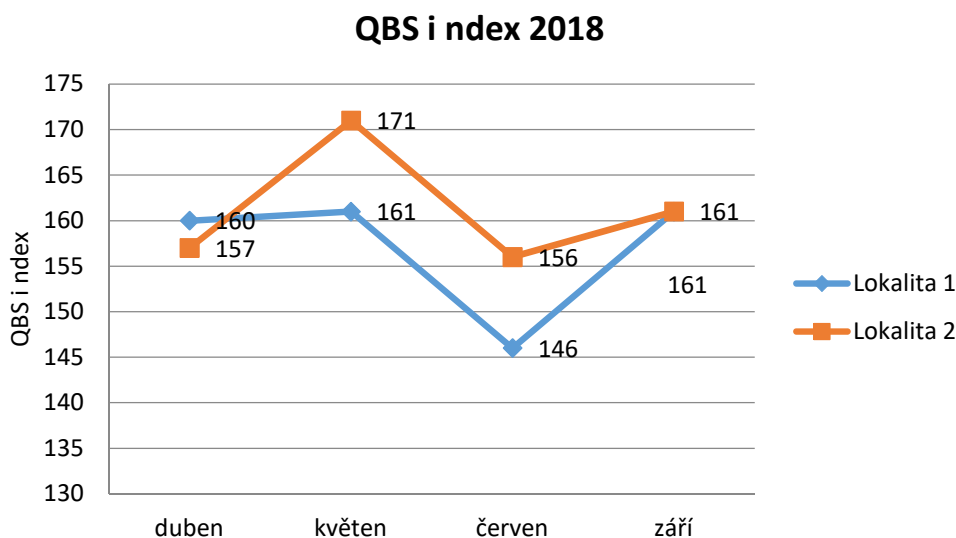
Tabulka 24: Výsledné hodnoty indexů podobnosti

	2018	2019
Jaccardův index (%)	94,44	94,11
Sørensenův index (%)	97,14	96,97

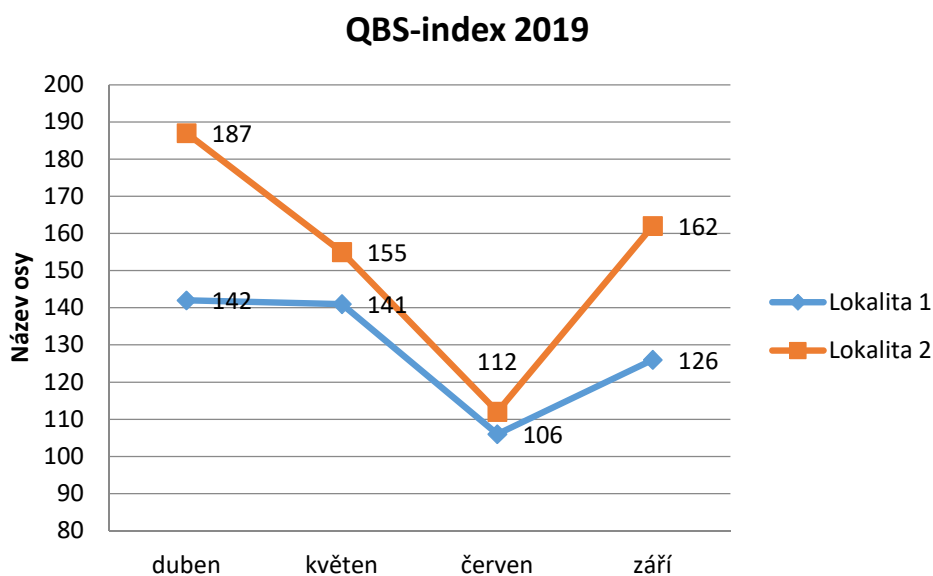
Na základě vypočtených indexů podobnosti (tabulka 24) lze předpokládat vysokou míru podobnosti společenstev lokality 1 a lokality 2.

5.2.3 QBS index

Na základě hodnocení biologické kvality půdy pomocí QBS indexu lze předpokládat, že vhodnějším prostředím pro život drobných půdních členovců v roce 2018 i 2019 byla spíše lokalita 2 (graf 3 a 4). Součet ekomorfologických (EMI) indexů všech taxonů uvedených v tabulce 2 (str. 40) je 194. Dle grafů se k této hodnotě nejvíce přiblížil v roce 2018 odběr v květnu a v roce 2019 odběr v dubnu. Z grafů je patrný nápadný pokles QBS indexů v červnu v roce 2018 a v roce 2019 v obou porovnávaných lokalitách, přičemž v roce 2019 byl pokles velmi výrazný.



Graf 3: Porovnání QBS indexů z odběrových lokalit; r. 2018



Graf 4: Porovnání QBS indexů z odběrových lokalit; r. 2019

6 Diskuze

Složení půdní meso a makrofauny na zrekultivované městské skládce Jihozápadní pole Chomutov (lokalita 1) a zrekultivované kalové laguně Údlice (lokalita 2), se zaměřením na společenstva drobných půdních členovců a na společenstva žížal, bylo zkoumáno v letech 2018 a 2019. Sledované období bylo teplotně výrazně nadprůměrné s podprůměrnými srážkovými úhrny. Rok 2018 byl nejteplejším a rok 2019 druhým nejteplejším rokem od roku 1961.

Z výsledků vyplývá, že nejpočetněji zastoupenými druhy žížal v obou lokalitách byly *Apporectodea rosea* a *Apporectodea caliginosa*. Jedná se o endogeické druhy, které jsou spíše neutrofilní až relativně acidotolerantní (Pižl 2002). Dle Pižla (2002) patří oba druhy k nejběžněji zastoupeným druhům na polích a technogenních systémech. Ejisackers (2010; 2011) zmiňuje druh *A. caliginosa* jako úspěšného kolonizátora jílovitých půd.

V lokalitě 1 byl relativně početným také anektický druh *Aporrectodea longa* vyskytující se v řadě biotopů. Dává přednost spíše vápnitým půdám a je neutrofilní (Pižl 2002).

V lokalitě 2, co do počtu, následovaly druhy *Lumbricus terrestris* a *L. rubellus*. *L. terrestris* je anektický druh obývající různé biotopy s minerální půdou, neutrofilní. *L. rubellus* patří mezi epigeické druhy vyskytující se v opadance a svrchních vrstvách minerální půdy (Pižl 2002).

Pižl (2002) uvedl, že početnost a biomasa žížalovitých dosahuje v přírodních i antropogenních ekosystémech severního mírného pásma hodnot cca 30 – 400 jedinců na m² a biomasy 2-50 g/m². K těmto hodnotám se nejvíce přiblížila početnost a biomasa žížal v lokalitě 2 (tabulka 5). V lokalitě 1 bylo dosaženo podstatně nižších hodnot (tabulka 4). Jedním z faktorů, který mohl ovlivnit početnost žížalích společenstev, je relativně nízké stáří obou zrekultivovaných ploch v době provádění výzkumu. Lokalita 1 (stáří 3 roky) dosáhla nízkého QBS-e indexu ($0 < \text{QBS-e} < 100$) a biologická kvalita půdy byla vyhodnocena v obou letech jako špatná. Lokalita 2 (stáří 11 let) dosáhla vyšších hodnot QBS-e indexů a v roce 2019 byla biologická kvalita půdy vyhodnocena jako dostatečná ($100 < \text{QBS-e} < 300$). Kolonizací rekultivovaných ploch půdní faunou včetně žížalích společenstev se zabývali například Dunger & Voigtländer (2009), kteří dlouhodobě zkoumali zalesněné rekultivované plochy po těžbě v Německu. Ve své práci uvedli, že skupiny půdní makrofauny, zejména žížaly, potřebují minimálně 20 let na to, aby si vytvořily „normální“ hustotu populace.

Dalším faktorem, který mohl působit negativně na početnost žížal, byly nepříznivé klimatické podmínky. Extrémní sucho a vysoké teploty způsobily, že velká část jedinců žížal byla v období květen až září nacházena v klidovém stadiu (kap. 3.1.5.1), což je znakem nepříznivého okolního prostředí (Pommeresche et al. 2007).

Hodnocení dat půdních členovců ukázalo, že nejpočetnějšími skupinami v obou lokalitách byli roztoči, chvostokoci a pancířníci, což se shoduje s tvrzením Jefferyho et al. (2010), který půdní roztoče spolu s chvostokoky označil za nejpočetnější skupiny členovců v půdě.

Následovaly méně početné taxony půdních členovců, zejména vidličnatky, stonožky, blanokřídlí (zejména mravenci) a larvy brouků (zejména drátovců) (tabulka 14).

Hustota vidličnatek v lokalitě 1 v roce 2018 a 2019 byla podobná, v průměru 35 jedinců na m². V lokalitě 2 byla hustota vidličnatek v roce 2018 43 jedinců na m² a v roce 2019 dosáhla hustota dvojnásobné hodnoty (tabulka 14). Dle Jefferyho et al. (2010) dosahují vidličnatky obvykle hustoty do 50 jedinců na m², s čímž výsledky celkem korespondují, až na výjimku v roce 2019 v lokalitě 2, kdy byla zjištěna téměř dvojnásobná hodnota. Z důvodu velké citlivosti na disturbance, se vidličnatky řadí mezi dobré indikátory kvalitního půdního prostředí (Šimek et al. 2019). Na základě zjištěných hodnot lze usoudit, že půdní prostředí obou lokalit je v souvislosti s hojným výskytem kvalitní, přičemž lokalita 2 dosahuje lepší kvality než lokalita 1. Nelze ovšem opomenout další faktory, které působily na diverzitu půdní fauny, a to především sucho způsobené nedostatkem srážek a nízký věk rekultivovaných ploch.

Stonožky mohou za příznivých podmínek dosahovat hustoty až 20 000 jedinců na m² (Šimek et al. 2019). V obou lokalitách byla zjištěna hustota pouze v řádu desítek jedinců na m². Malou četnost výskytu lze přičítat jednak abnormálnímu suchu v obou letech, neboť stonožky jsou velmi citlivé na vysychání (Whalen & Sampedro 2010) a jednak výskytu těžších jílovitých půd v obou lokalitách. Dle Šimka et al. (2019) se stonožky v těžkých jílovitých půdách téměř nevyskytují (viz kapitola 3.1.4.5).

Dle vyhodnocení biologické kvality půdy (QBS) lze usuzovat, že vhodnějším prostředím pro život půdních členovců byla lokalita 2. Z grafu 3 a 4 je patrný pokles hodnot QBS indexů v měsíci červen, zejména v roce 2019. Červen v roce 2019 byl nejteplejším měsícem ve sledovaném období, opět s absencí srážek. Právě nepříznivé klimatické podmínky mohly zapříčinit pokles QBS indexů v daném měsíci.

Indexy podobnosti naznačily vysokou míru podobnosti společenstev půdních členovců v porovnávaných lokalitách. Větší druhová diverzita a biologická kvalita půdy byla prokázána v lokalitě 2.

Výzkum ovlivnily abnormální klimatické poměry v obou letech. Lokalita 1 měla pravděpodobně díky svému kupolovitému tvaru a údržbě plochy sečením větší sklony k vysychání půdního povrchu než lokalita 2, která je neudržovaná, rovinatá s mírnými depresiemi povrchu.

Početnost jedinců půdních členovců a žížal v jednotlivých lokalitách ve sledovaném období mohla být ovlivněna různými faktory, zejména klimatickými poměry, stářím lokalit, rozdílným sklonem k vysychání a druhem půdy.

7 Závěr

Skládky byly rekultivovány obdobným způsobem. Odlišovaly se ale zejména stářím rekultivace, tvarem povrchu a způsobem údržby travnatých ploch. Tyto faktory zřejmě byly příčinou odlišných výsledků porovnávaných lokalit.

Rekultivace kalové laguny (lokalita 2) byla staršího data (r. 2007). Tvar je rovinatý s mírnými depresemi, travnatý povrch neudržovaný. Tato lokalita byla z hlediska diverzity půdní fauny shledána jako vhodnějším prostředím pro život půdních členovců a společenstva žížal.

Skládka komunálního odpadu (lokalita 1) byla zrekontrolována o osm let později (2015). Tvar plochy byl kopulovitý, travnatý povrch udržován sečí dvakrát ročně. V tomto místě, společenstva půdních členovců byla však velmi podobná.

Výzkum byl do jisté míry ovlivněn abnormálně vysokými teplotami a extrémním suchem v obou letech. To pravděpodobně významně ovlivnilo početnost společenstev půdní fauny v obou lokalitách. Vzhledem k nízkému stáří rekultivací obou lokalit lze očekávat, že početnost půdní fauny zejména společenstva žížal bude se stoupajícím věkem lokalit postupně narůstat.

Kopulovitý tvar lokality 1 zřejmě přispíval k rychlejšímu vysychání jejího povrchu. Proto byla navržena následující opatření, jimiž by se vysychání mohlo zamezit:

- Vysázení vhodných dřevin. V úvahu připadají pouze mělce kořenící keře, aby nedošlo k narušení těsnící vrstvy skládky. Místa vysázené keře by také mohly poskytovat pestřejší prostředí pro život půdní fauny (listový opad, zastínění, kořeny)
- Neprovádět seč jednorázově na celé ploše, ale rozdělit travní plochu na několik úseků a seč provádět na etapy. Zamezilo by se nejen nadměrnému vysychání, ale zároveň by se podpořila diverzita hmyzu a ostatních členovců žijících nad povrchem půdy v travním porostu. Vhodným opatřením je také mulčování sekaných ploch.

Výzkum by bylo vhodné s odstupem času zopakovat, aby se zjistilo, jak se změnilo složení společenstev půdní fauny. Dále se doporučuje provést výzkum zaměřený na vyhodnocení fyzikálních a chemických vlastností půdy v lokalitách, které nebyly předmětem zkoumání této práce.

8 Literatura

- Allen RT. 2003. Diplura. Pages 323-324 in Resh VH, Cardé RT, editors. Encyclopedia of Insects. Academic press
- Anderson JM. 1988. Invertebrate mediated transport Processes in Soils. Agriculture, Ecosystems and Environment **24**: 5-19.
- Anderson JM. 1995. Soil Organisms as Engineers: Microsite Modulation of Macroscale Processes. Pages 94 - 106 in Jones CG, Lawton JH, editors. Linking Species & Ecosystems. Chapman & Hall, Boston
- Avgin SS, Luff ML. 2010. Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators of human impact. Munis Entomology and Zoology, **5**: 209-215.
- Bardgett R. 2005. The biology of soil: a community and ecosystem approach. Oxford university press. New York
- Beddard FE. 1912. Earthworms and Their Allies. Cambridge University Press, Cambridge
- Bellinger PF, Christiansen KA, Janssens F. 2020. Checklist of the Collembola of the World. Available from <http://www.collembola.org> (accessed March 2020)
- Blum WEH, Warkentin BP, Frossad E. 2006. Soil, human society and the environment. Geological Society **266**: 1–8.
- Bonato L, Chagas Jr A, Edgecombe GD, Lewis JGE, Minelli A, Pereira LA, Shelley RM, Stoev P, Zapparoli M. 2016 ChiloBase 2.0 - A World Catalogue of Centipedes (Chilopoda). Available at <http://chilobase.biologia.unipd.it>. (accessed February 2020)
- Bouché MB. 1977. Strategies lombriciennes. Soil Organisms as Components of Ecosystems. Ecological bulletin **25**: 122 – 132
- Burden B. 2008. Symphylans (Class Symphyla). Pages 3667 – 3668 in Capinera JL. editor. Encyclopedia of Entomology. Volume 4. S-Z. Springer Science+Business Media B.V., Germany
- Brussard L. 1997. Biodiversity and ecosystem functioning in soil. Ambio **26**: 563 - 570
- Cloudsley-Thompson JL. 1968. Spiders, scorpions, centipedes and mites: The Commonwealth and International Library: Biology Division. Pergamon Press, Braunschweig
- Coleman DC, Callaham MA. Crossley Jr. DA. 2017. Fundamentals of soil ecology. Academic press, Cambridge
- Curry JP. 1994. Grassland Invertebrates: Ecology, influence on soil fertility and effects on plant growth. The University Press, Cambridge.
- ČHMÚ Ústí nad Labem. 2019. Rok 2019 v Ústeckém a Libereckém kraji. Available from <http://www.chmuul.org/aktuality/2019-03-rok-ustecky-a-liberecky/> (accessed Juni 2020)

- ČHMÚ Ústí nad Labem. 2020. Rok 2019 v Ústeckém a Libereckém kraji. Available from <http://www.chmuul.org/aktuality/2020-02-rok-ustecky-a-liberecky/> (accessed Juni 2020)
- Dudal R. 2005. The sixth factor of soil formation. *Eurasian Soil* **38**: 60 - 65
- Dunger W, Voigtländer K. 2009. Soil fauna (Lumbricidae, Collembola, Diplopoda and Chilopoda) as indicators of soil eco-subsystem development in post-mining sites of eastern Germany—a review. *Soil organisms* **81**: 1-51.
- Edwards CA, Bohlen PJ. (1996). *Biology and ecology of earthworms* (Vol. 3). Chapman & Hall, London.
- Eijsackers H. 2010. Earthworms as colonisers: primary colonisation of contaminated land, and sediment and soil waste deposits. *Science of the total environment* **408**: 1759-1769.
- Eijsackers H. 2011. Earthworms as colonizers of natural and cultivated soil environments. *Applied Soil Ecology* **50**: 1-13.
- Eisenbeis G, Wichard W. 1987. *Atlas on the biology of soil arthropods*. Springer-Verlag. Stuttgart.
- Evans GO, Till WM. 1979. Mesostigmatic Mites of Britain and Ireland (Chelicerata: Acari - Parasitiformes): An Introduction to Their External Morphology and Classification. *The Transactions of the Zoological Society of London* **35**: 139-262.
- FAO. 2015. *WRB for soil resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015*. FAO. Rome.
- Franks NR. 2003. Ants. Pages 29 – 32 in Resh VH, Cardé RT, editors. *Encyclopedia of Insects*. Elsevier Science, USA.
- Franzluebbers AJ. 2017. Animals: Ecosystem functioning. Pages 138 – 141 in Lal R. editor. *Encyclopedia of soil science*. CRC Press. Boca Raton.
- Frouz J, Elhottova, D, Malý S, Píček T, Pižl V, Šourková M, Tajovský K. 2007. The effect of litter quality and soil faunal composition on organic matter dynamics in post-mining soil: a laboratory study. *Applied soil ecology* **37**: 72-80.
- Frouz J, Holec M, Materna J, Pižl V, Tajovský K, Starý J. 2013. Soil Macro- and Mesofauna Succession in Post-mining Sites and other Disturbed Areas. Pages 216 – 235 in Frouz J. editor. *Soil Biota and Ecosystem Development in Post Mining Sites..* CRC Press LLC. London.
- FROUZ J. 1999. Use of soil dwelling Diptera (Insecta, Diptera) as bioindicators: a review of ecological requirements and response to disturbance. *Agriculture, Ecosystems and Environment (Netherlands)* **74**: 167-186.

- Frouz J. 2013. The role of Soil Macrofauna in Soil Formation and Carbon Storage in Post – mining Sites. Pages 236 – 249 in Frouz J. editor. Soil Biota and Ecosystem Development in Post Mining Sites. CRC Press LLC. London
- Frydrych J, Barták M, Cagaš B. Kolařík P, Rotrekl J. 2013a. Metodika hodnocení biodiverzity hmyzu v travních a jetelových porostech. MZ ČR, OSEVA vývoj a výzkum s.r.o., Zubří
- Frydrych J, Barták M, Cagaš B. Kolařík P, Rotrekl J. 2013b. BIODIVERZITA HMYZU SE ZAMĚŘENÍM NA ŠKŮDCE V MULČOVANÉM A NEMULČOVANÉM TRAVNÍM SYSTÉMU. Úroda **12**: 55 - 60
- Gago-Duport L, BRIONES MJI, RODRÍGUEZ JB, COVELO B. 2008 Amorphous calcium carbonate biomineralization in the earthworm's calciferous gland: Pathways to the formation of crystalline phases. Journal of Structural Biology **162**: 422-435
- Galli L, Shrubovych J, Bu Y, Zinni M. 2018. Genera of the Protura of the World: diagnosis, distribution, and key. ZooKeys. 772: 1-45
- Galli L, Capurro M, Colasanto E, Molyneux T, Murray A, Torti C, Zinni M. 2019a. A synopsis of the ecology of Protura (Arthropoda: Hexapoda). Revue Suisse de Zoologie. **126**: 155-164.
- Galli L, Matteo Capurro, Molyneux T, Torti C, Zinni M. 2019b. Ecology of Italian Protura. PEDOBIOLOGIA **73**: 20-28
- Gibb TJ, Oseto CY, Oseto C. 2006. Arthropod collection and identification: laboratory and field techniques. Academic press. London
- Gillespie RG, Spagna JC. 2003. Spiders. pages 1060-1073 in Resh VH, Cardé RT. Encyclopedia of insects. Academic Press an imprint Elsevier science, California, USA
- Gobat JM, Aragno M, Matthey W. 2004. The Living soil: Fundamentals of Soil Science and Soil Biology. Science Publishers, New Hampshire, US.
- Gullan PJ, Cranston PS. 2005. The Insects, An Outline of Entomology. Blackwell Publishing, United Kingdom.
- Hoese B. 1981. Morphologie und Funktion des Wasserleitungssystems der terrestrischen Isopoden (Crustacea, Isopoda, Oniscoidea). Zoomorphology **98**: 135 – 167.
- Hoffman RL, Adis J, Golovatch SI, de Morais JW. 1996. Practical keys to the orders and families of millipedes of the Neotropical region (Myriapoda: Diplopoda). Amazonia **14**: 1 – 35.
- Hölldobler B, Wilson EO. 1990. The Ants. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts
- Hopkin SP. 1997. Biology of the Springtails: (Insecta: Collembola). Oxford University Press, New York.

- Hopkin SP. 2017. Collembola. Pages 448 – 451 in Lal R. editor. Encyclopedia of Soil Science. CRC Press. Boca Raton.
- Hydroprojekt a.s. 1996. Skládka jihozápadní pole – odpadové hospodářství města Chomutova: Sanace skládky TKO: Souhrnná technická zpráva. Hydroprojekt a.s., Praha
- Chapman AD. 2009. Numbers of Living Species in Australia and the World (2nd edn). Report for the Australian Biological Resources Study, Canberra.
- In PROJEKT LOUNY ENGINEERING. 2003. Asanace a rekultivace kalové laguny Údlice, 2. etapa: průvodní as ouhrnná technická zpráva. In PROJEKT LOUNY ENGINEERING, Louny.
- Jarkovský J, Dušek L, Littnerová S. 2012. Statistické hodnocení biodiverzity. Akademické nakladatelství CERM. Brno
- Jeffery S. Gardi C. Jones A. Montanarella L. Marmo L. Miko L. Ritz K. Peres G. Römbke J. van der Putten WH. 2010. European Atlas of Soil Biodiversity. Publications Office of the European Union, Luxembourg
- Jenny H. 1941. Factors of soil formation. McGraw-Hill, New York.
- Jenny H. 1994. Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. Dover publications, New York.
- Jones, CG, Lawton JH, Schachak M. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* **69**: 373–386.
- Jungmans AG, Pulleman MM, Balabane M, Van Oort F, Marinissen JCY. 2003. Soil structure and characteristics of organic matter in two orchards differing in earthworm activity. *Applied Soil Ecology* **24**: 219-232.
- Kethley J. 1990. Acarina: Prostigmata (Actinedida). Pages 667–756 in D. L. Dindal, editor. Soil biology guide. Wiley & Sons, New York, NY.
- Klompen H. 2017. Mites. Pages 1488 – 1490 in Lal R, editor. Encyclopedia of soil science. CRC Press. Boca Raton
- Klotz J, Hansen L, Pospischil R, Rust M. 2008. Urban Ants of North America and Europe: Identification, Biology, and Management. Cornell University Press, New York
- Koehler HH. 2000. Natural regeneration and succession—results from a 13 years study with reference to mesofauna and vegetation, and implications for management. *Landscape and Urban Planning* **51**: 123-130.
- Krantz GW, Walter DE. 2009. A manual of acarology. Texas Technical University Press, Lubbock.
- Laška V, Kopecký O, Mikula J, Růžička V, Véle A, Šarapatka B. 2011 Vertical distribution of spiders in soil. *The Journal of Arachnology*. **39**: 393-398.

- Lee, LA. 1985. Earthworms, their ecology and relationships with soils and land use. Academic press, Sydney.
- Luken Jo. 1990. Directing Ecological Succesion. The university Press, Cambridge.
- Mikhailjova EV. 2004. The millipedes (Diplopoda) of the Asian part of Russia. Institute of Biology and Soil Science, Russia.
- Minelli A. 2011. The Chilopoda – Introduction. Pages 21 – 42 in Minelli A. editor. Treatise on Zoology - Anatomy, Taxonomy, Biology. The Myriapoda, Volume 1. Brill, Leiden, Netherlands
- Minelli A, Koch M. 2011. Chilopoda – general morphology. Pages 43 – 66 in Minelli A. editor. Treatise on Zoology - Anatomy, Taxonomy, Biology. The Myriapoda, Volume 1. Brill, Leiden, Netherlands
- Moradi J, Potocký P, Kočárek P, Bartuška M, Tajovský K, Tichánek F, Frouz J, Tropek R. 2018. Influence of surface flattening on biodiversity of terrestrial arthropods during early stages of brown coal spoil heap restoration. *Journal of Environmental Management* **220**: 1-7
- Moore FR, Luxton M. 1988. The distribution of Collembola on a coal shale heap. *Pedobiologia* **31**: 157 – 168
- Němeček J, Macků J, Novák P, Vavříček D, Vokoun J. 2001. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. ČZU, Praha.
- O'Connor BM. 2003. Mites. pages 726-733 in Resh VH, Cardé RT. Encyclopedia of insects. Academic Press an imprint Elsevier science, California, USA
- Oi DH. 2008. Ants (Hymenoptera: Formicidae). Pages 185 – 190 in Capinera JL, editor. Encyclopedia of Entomology. University of Florida. USA
- Orgiazzi, A., Bardgett, R. D., & Barrios, E. (2016). Global soil biodiversity atlas. European Commission.
- Orsavová J, Tuf IH. 2018. Suchozemští stejnonožci: atlas rozšíření v České republice a bibliografie 1840–2018 [Woodlice: Distribution Atlas in the Czech Republic and Bibliography 1840–2018]. *Acta Carpathica Occidentalis Supplementum* **1**: 1–124
- Paoletti MG, Favretto MR, Stinner BR, Purrington FF, Bater JE. 1991. Invertebrates as bioindicators of soil use. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **34**: 341-362.
- Paoletti MG, Daniele Sommaggio D, Silvia Fusaro S. 2013. "Proposta di Indice di Qualità Biologica del Suolo (QBS-e) basato sui Lombrichi e applicato agli Agroecosistemi." *Biologia Ambientale* **27**: 25-43.
- Parker VT. 1997. The Scale of Successional Models and Restoration Objectives. *Restoration ecology* **5**: 301 – 306.

- Parisi V, Menta C, Gardi C, Jacomini C, Mozzanica E. 2005. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **105**: 323-333.
- Parker VT. 1997. The scale of successional models and restoration objectives. *Restoration ecology* **5**: 301-306.
- Pižl V. 2002. Žížaly České republiky (Earthworms of the Czech Republic)- Sborník přírodovědného klubu v Uh. Hradišti. Agentura NP v. o. s., Staré Město.
- Pommeresche R, Sissel H, Loes AK. 2010. Žížaly a jejich význam k zlepšování kvality půdy. Bioinstitut, Olomouc
- Potapov AA, Semenina EE, Korotkevich YA, Natalia A, Kuznetsova A, Tiunov AV. 2016. Connecting taxonomy and ecology: Trophic niches of collembolans as related to taxonomic identity and life forms. *Soil Biology and Biochemistry* **101**: 20-31
- Prach K, Bartha S, Joyce CB, Pyšek P, Van Diggelen R, Wiegand G. 2001. The role of spontaneous vegetation succession in ecosystem restoration: a perspective. *Applied Vegetation Science* **4**: 111-114.
- Prach K, Hobbs RJ. 2008. Spontaneous Succession versus Technical Reclamation in the Restoration of Disturbed Sites. *Restoration Ecology* **16**: 363 - 366
- Pulleman M, Creamer R, Hamer U, Helder J, Pelosi C, Peres G, Rutgers M. 2012. Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services—an overview of European approaches. *Current Opinion in Environmental Sustainability* **4**: 529-538.
- Quitt E. 1971. Klimatické oblasti Československa. Academia, Praha
- Rankin SM, Palmer JO. 2003. Dermaptera. Pages 297 – 300 in Resh VH, Cardé RT. editors. *Encyclopedia of insects*. Elsevier Science, USA.
- Rasplus JY, Roques A. 2010 Dictyoptera (Blattodea, Isoptera), Orthoptera, Phasmatodea and Dermaptera. Chapter 13.3. In: Roques A et al. (Eds) *Alien terrestrial arthropods of Europe*. *BioRisk* **4**: 807–831.
- Raw F. 1967. Arthropoda (Except Acari and Collembolana). pages 323-361 in Burgers A, Raw F. editors. *Soil biology*. Academic Press, London and New York.
- Rusek J. 2007. A new classification of Collembola and Protura life forms (pp. 109-115). In: Tajovský K., Schlaghamerský J., Pižl V. (eds). *Contributions to soil zoology in Central Europe*. III. ISB BC AS CR, v.v.i., České Budějovice, 191 pp.
- Sáňka M. Materna J. 2004. Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. Ministerstvo životního prostředí, Praha.
- Seastedt TR. 1984. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. *Ann. Rev. Entomol.* **29**: 25–46.

- Shields VDC. 2018. Introductory Chapter: The Complex World of Ants. Pages 1 – 6 in Shields, VDC editor. The Complex World of Ants. IntechOpen, London.
- Schaefer CW. 2003. Prosorrhyncha (Heteroptera and Coleorrhyncha). pages 947 – 965 in Resh VH., Cardé RT. editors. Encyclopedia of insects . Academic Press, USA
- Schlöter M, Munch JC, Dilly O. 2003. Indicators for evaluating soil quality. Agriculture, Ecosystems and Environment **98**: 255–262
- Schuh RT, Slater JA. 1995. True bugs of the world (Hemiptera: Heteroptera): classification and natural history. Cornell University press, Ithaca, New York
- Snodgrass RE. 1952. Textbook of Arthropod Anatomy. Cornell University Press, New York
- Spencer JO, Edney EB. 1954. The Absorption of Water by Woodlice. Journal of Experimental Biology **31**: 491 - 496
- Staerkle M. and Kölliker M. (2008), Maternal Food Regurgitation to Nymphs in Earwigs (Forficula auricularia). Ethology, **114**: 844-850.
- Sutton, SL. 1972. Woodlice. Gin, London
- Sweco Hydroprojekt a.s. 2015. Městská skládka Chomutov: uzavření a rekultivace – II. – IV. etapa: Souhrnná technická zpráva. Sweco Hydroprojekt a.s., Praha
- Swift MJ, Anderson, JM, Heal OW. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. University of California Press, Berkley
- Szeptycki A. 2007. Catalog of the world Protura. Acta Zoologica Cracoviensia-Series B: Invertebrata **50**: 1–210
- Šimek M, Elhottová D, Pižl V. 2015. Živá půda. Středisko společných činností AC ČR, Praha
- Šimek M. et al. 2019. Půdní organismy. Pages 29 – 220 in Šimek M. editor. Živá půda: Biologie, ekologie, využívání a degradace půdy. Academia, Praha
- Tajovský K, Tuf IH. 2016. An annotated checklist of the millipedes (Diplopoda) recorded in the Czech Republic. Acta Societatis Zoologicae Bohemicae **80**: 33-37.
- Thakur MP, Phillips HR, Brose U, De Vries FT, Lavelle P, Loreau M, Wardle DA. 2020. Towards an integrative understanding of soil biodiversity. Biological Reviews **95**: 350-364.
- Thies, JE, Grossman JM. 2006. The soil habitat and soil ecology. Pages 59 -78 in Uphoff N, Ball AS, Fernandes E, Herren H, Husson O, Laing M, Palm Ch, Pretty J, Sanchez P, Sanginga N, Thies J, editors. Biological approaches to sustainable soil systems. Taylor & Francis group, US
- Tomášek M. 2007. Půdy České republiky. Česká geologická služba, Praha
- Tóth Z, Hornung E. 2020. Taxonomic and Functional Response of Millipedes (Diplopoda) to Urban Soil Disturbance in a Metropolitan Area. Insects **11**: 1 – 14.

- Tuf IH, Tajovský K, 2016. An annotated checklist of the centipedes (Chilopoda) recorded in the Czech Republic. *Acta Soc. Zool. Bohem.* **80**: 45–50.
- van Vliet PCJ, Hendrix PF. 2007. Role of fauna in soil physical Processes. Pages 61 – 80 in Abbot LK, Murphy DV, editors. *Soil biological fertility: A key to sustainable land use in agriculture*. Springer, Netherlands.
- Vráblíková J, Vráblík P. 2000. Vliv antropogenní činnosti na agroekosystém severních Čech. *Fakulta životního prostředí Univerzita J. E. Purkyně, Ústí n. L. IUAPPA Praha*
- Vráblíková J. 2010. Rekultivace území po těžbě uhlí na příkladu severních Čech. *Životné Prostredie* **44**: 24 - 29
- Vráblíková, J., Vráblík, P., & Zoubková, L. (2014). *Tvorba a ochrana krajiny*. Univerzita JE Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí.
- Whalen JK, Sampedro L. 2010. *Soil ecology and management*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Zhang ZQ. 2003. *Mites of Greenhouses: Identification, biology and control*. CABI Publishing, UK

