

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zoologie a rybářství



Půdní fauna v antropogenně zatížených půdách

Bakalářská práce

Autor práce: Barbora Černá

Vedoucí práce: Ing. Jakub Hlava

Praha 2013

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Půdní fauna v antropogenně zatížených půdách vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Praze dne:

Poděkování

Mé poděkování patří vedoucímu bakalářské práce Ing. Jakubu Hlavovi, za pomoc a připomínky k mé práci.

Souhrn

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou půdní fauny v antropogenně zatížených půdách. Jejím cílem je poskytnout podrobný popis jednotlivých půdních organismů, objasnění pojmu antropogenní půda a shrnutí poznatků o vlivech takto zatížených půd na zde žijící faunu.

První a poměrně rozsáhlá část je věnována popisu edafonu z hlediska morfologie, ekologie a významu. Při popisu těchto organismů je použito členění na mikrofaunu, mesofaunu a makrofaunu. Mezi mikrofaunu zařazujeme například houby, prvoky a hlístice, do mesofauny patří stonožky, mnohonožky a pancířníci, a žížalovité zahrnujeme do makrofauny.

Další část je vyhrazena vzniku antropogenních půd, kategorizaci takovýchto půdních substrátů a možnostem jejich rekultivací. Antropogenní půdy vznikají činností člověka, zejména průmyslovými, stavebními a zemědělskými zásahy, díky kterým se mění půdní klima. To má samozřejmě vliv na živočichy, pro které je půda domovem. V této práci je diskutován vliv na pancířníky, chvostoskoky a žížalovité. Největší vliv je pozorován ve vztahu k biodiverzitě a abundanci, kdy se např. objevují jiné druhy, než bývá obvyklé, dochází ke snižování počtu druhů i jedinců, v jiných případech naopak se počty zvyšují. Zásahy člověka nutí tyto živočichy vytvářet si nové a nové adaptační mechanismy pro přežití.

Činnost člověka je neodmyslitelná, je tedy nutné najít kompromis, který umožní dělat zásahy do půd citlivěji, s ohledem na půdní ekosystém, aby půda člověku i nadále sloužila. Lidská činnost nemusí být pouze negativní, existuje mnoho způsobů rekultivací půd, kterými se navrácí původní půdní koloběh, a na tyto je třeba se do budoucna zaměřit.

Klíčová slova: půdní organismy, antropogenní půdy, rekultivace, antropogenní vlivy

Summary

The main goal of this thesis is to give a detailed description of single soil organisms, to clarify the concept of an anthropogenic soil and to sum up the findings about the effects of such burdened soils on the soil fauna.

The first and relatively long part is given to the description of edaphon from the view of morphology, ecology and its meanings. There is used the dividing into microfauna, mesofauna and macrofauna in the description of these soil organisms. The organisms belonging to microfauna are for example funguses, protozoans, nematode worms. The organisms belonging to mesofauna are myriapods, diplopodas and the oribatid mites. The lumbricidae are part of macrofauna.

The next part of the thesis is reserved for the inceptions of anthropogenic soils, the categorization of such soil substrates and for the possibilities of their recultivation. The anthropogenic soils arises by the human activities, mainly by industrial, structural and agricultural ones. These human influences on soils causes the change of climate. It also interferences the organism for which the soil is home. The influence on the diplopodas, the Springtails and the Lumbricidae is discussed in this thesis. The greater influence is detected in the relation to the biodiversity and the abundance, when unusual species appear, the abundance of the number of species and individuals decrease. In some different cases the number of species and individuals may increase. The influences of humans on the natural environment of the organisms force them to create new adaptation mechanism to survive.

The human influence is inherent and it means that it is necessary to find a compromise, which on the first hand would make the influence more sensitive for the soil and its inhabitants and on the other hand would keep the advantages which brings soil to human. The human influence doesn't need to be only negative, there are plenty of ways how to recultivate soils, which brings back the function of soil cycle and on these ways we should focus in the future.

Keywords: the soil fauna, the anthropogenic soils, the recultivation, the anthropogenic influences on the soils

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíl práce	9
3	Literární rešerše	10
3.1	Půda a edafon.....	10
3.2	Půdní organismy	11
3.2.1	Mikrofauna.....	12
3.2.1.1	Prvoci (Protozoa).....	12
3.2.1.1.1	Morfologie.....	13
3.2.1.1.2	Ekologie	13
3.2.1.1.3	Význam prvoků.....	13
3.2.2	Mesofauna.....	14
3.2.2.1	Roztoči (Acari)	14
3.2.2.1.1	Pancířníci (Oribatida).....	14
3.2.2.1.1.1	Morfologie	14
3.2.2.1.1.2	Ekologie	15
3.2.2.1.1.3	Význam pancířníků	15
3.2.2.2	Vzdušnicovci (Tracheata).....	15
3.2.2.2.1	Mnohonožky (Diplopoda).....	16
3.2.2.2.2	Stonožky (Chilopoda)	16
3.2.2.2.3	Chvostokoci (Collembola).....	16
3.2.2.2.3.1	Morfologie	17
3.2.2.2.3.2	Ekologie	17
3.2.2.2.3.3	Význam chvostokoků	17
3.2.3	Makrofauna	18
3.2.3.1	Máloštětinatci (Oligochaeta)	18
3.2.3.1.1	Žížalovití (Lubriculidae).....	19

3.2.3.1.1.1	Morfologie	19
3.2.3.1.1.2	Ekologie	20
3.2.3.1.1.3	Význam žížalovitých.....	21
3.3	Antropogenní půdy	22
3.3.1.1	Povrchová těžba.....	24
3.3.1.2	Hlubinná těžba.....	24
3.3.1.3	Těžba rud	25
3.3.2	Kategorizace antropogenních půdních substrátů	25
3.3.2.1	Výsypky.....	26
3.3.2.2	Odvaly	27
3.3.2.3	Složisté a odkaliště	27
3.3.2.4	Městské skládky tuhých komunálních odpadů.....	28
3.3.3	Rekultivace	29
3.3.3.1	Lesnická rekultivace	29
3.3.3.1.1	Volby druhů dřevin a způsob jejich pěstování	30
3.3.3.2	Zemědělská rekultivace	31
3.4	Vliv antropogenní činnosti na půdní živočichy	32
•	bezobratlí živočichové,	33
•	mikroorganismy,	33
•	procesy v ekosystémech.....	33
3.4.1	Pancířníci	33
3.4.2	Chvostokoci.....	34
3.4.3	Žížalovití.....	35
4	Závěr	38
5	Seznam použité literatury	39

1 Úvod

Půda je nositelem rostlinného a živočišného života. Obsahuje systém biotických a abiotických složek, které ovlivňují nejen vegetaci, ale veškeré suchozemské zoocenózy. V půdě žijí mikroorganismy, které svou činností přispívají k rozkladu a zpracování organické hmoty v půdě, ale i organismy, které jsou okem viditelné a které pozorujeme v půdě na první pohled. Proto lze půdní organismy řadit do tří skupin podle velikosti. První skupinou je mikrofauna, kam řadíme mikroorganismy (bakterie, houby, prvoci), druhou skupinou je mesofauna s hlísticemi, roztoči a chvostoskoky a třetí je makrofauna s významnými žížalovitými.

Aby půdní živočichové mohli v půdě žít, museli se přizpůsobit. Mechanické a fyzikální vlastnosti půdě se odrážejí v četných adaptacích půdních živočichů. Tyto adaptace jsou důležité nejen pro organismy samotné, ale i pro zvyšování pórovitosti půdy, kypření, provrtávání, promíchávání, převrtávání a hrabání či přenášení půdy na povrch.

Antropogenní půdy jsou půdy vytvořené člověkem navrstvené ze substrátů, které se získají při těžbě a stavební činnosti. Charakter půd je dán vlastnostmi materiálů, vrstvením, mísením a zejména usměrněním po rekultivaci. Půda po antropogenním zásahu se rekultivuje pro zemědělské, lesnické a rekreační využití. Rekultivace je úprava devastovaných částí krajiny, všech jejích složek (atmosféry, litosféry, pedosféry, hydrosféry a biosféry). Revitalizace doslova znamená "znovuoživení", „návrát života". S tímto návratem života souvisí i (znovu)obydlování postižených krajín mikroorganismy a hlavně je důležité sledovat, jaké dopady tyto antropogenní vlivy na organismy žijící v půdě měly a mají. Nejen antropogenní činnost vázaná na těžbu a stavitelskou činnost, ale např. i činnost zemědělská, která je vázaná na hnojení, vápnění a jiné, má vliv na organismy žijící v půdě.

2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je vypracování literární rešerše na téma Půdní fauna v antropogenně zatížených půdách. Práce je zaměřena na popis půdních organismů a jejich členění. Charakteristika vybraných čeledí půdní fauny z hlediska morfologie, ekologie a významu je doplněna vymezením nejvýznamnějších antropogenních vlivů, které na půdní faunu působí.

3 Literární rešerše

3.1 Půda a edafon

Nejsvrchnější vrstvou zemské kůry, ležící na matečných horninách, je půda (pedosféra). Půda je nositelem rostlinného i živočišného života, proto podstatně ovlivňuje vývoj nejen samotné vegetace, ale také celé suchozemské zoocenózy. Půda je velmi složitý systém abiotických a biotických složek a je výsledkem činnosti půdotvorných faktorů. Půda představuje třífázový polydisperzní systém, který tvoří následující složky:

- 1) Neživá složka
 - a) Minerální substance
 - 1) Pevná fáze (jíl, písek, drť aj.)
 - 2) Kapalná fáze (půdní roztok)
 - 3) Plynná fáze (půdní atmosféra)
 - b) Organické substance - humus
- 2) Živá složka
 - 1) Edafon
 - 2) Kořenové systémy rostlin

(Losos, 1984)

Edafon je společenstvo všech mikroorganismů a živočichů žijících v půdě. Výraznou roli zde hrají mikroorganismy - bakterie, houby a prvoci, z mesofauny nutno zmínit hlístice, roztoče, chvostokoky a dále pak různé edafický hmyz a jeho larvy (Buchter, 2012).

Půdní organismy žijí ve zcela specifických podmínkách, které se výrazně liší od podmínek života ve vzduchu nebo ve vodě. Mohou se vyskytovat jen v prostorách, které vznikají mezi půdními částicemi. Zde žijí buď ve vzduchových kapsách, nebo v pórech zaplněných vodou (Losos, 1984). Půda skrývá velké množství organismů, z nichž spousta druhů nebyla dosud popsána. Hlavním omezením studia půdních organismů, kromě méně známých taxonomických znalostí, je jejich fyzikální nepřístupnost. To je způsobeno komplexní prostorovou strukturou půdy (Wall a kol., 2012).

Z mechanických vlastností, které mají pro život edafonu bezprostřední význam, je zrnitost půdy neboli její textura, struktura a pórovitost. Spojení dutin a půdních agregátů vytváří strukturu půdy. Na formování půdní struktury mají velmi významný vliv klimatické a biotické faktory včetně faktorů antropogenních (všechny zásahy člověka do půdy).

Při rozpadu půdních agregátů a rozrušení pórů se zpravidla začíná struktura půdy zhoršovat, což se nepříznivě odráží i v životě půdních organismů. Mechanické vlastnosti půdy se odrážejí v četných adaptacích půdních živočichů, které dělíme na dvě základní skupiny. První skupinu tvoří převážně hrabavé a rýpavé formy půdních živočichů, kteří pro svou značnou velikost těla při vnikání do půdy podstatně narušují strukturu půdy, naopak v druhé skupině živočichů najdeme převážné formy lezoucí, plazivé a plovoucí, které využívají při pohybu půdní póry (tvoří tzv. půdní freaton) (Losos a kol., 1984).

Jednou z nejdůležitějších složek půdy, která je kritická pro výskyt a život půdních organismů je obsah organické hmoty, resp. humusu. Humus je černá, rosolovitá nebo v drobných částech spojená hmota s rozličnými vlastnostmi. Vrstva humusu se nachází v nejsvrchnější části půdního profilu a její tloušťka se pohybuje od 5 cm do 2 metrů (Buchter 2012). Humus je v půdě tvořen mrtvou organickou hmotou rostlinného a živočišného původu včetně produktů látkové výměny (Losos, 1984). Humus slouží jako zdroj živin pro veškerý život v půdě včetně kořenových systémů rostlin, zároveň je ale produktem vznikajícím při rozkladu těl všech organismů (Buchter 2012). Chemický význam humusu spočívá v jeho vlivu na dynamiku kyselosti půd, na koloběh živin (zvláště uhlíku, dusíku a fosforu), na tvorbu CO₂, a tím na urychlení zvětrávacích procesů v půdě, také má významnou biologickou aktivitu půdy a má vliv na vývoj edafonu (Losos a kol., 1984).

3.2 Půdní organismy

Půdní živočichové napomáhají velkou měrou zvyšovat pórovitost půdy. Půdu kypří, provrtávají, promíchávají humus s minerálními částicemi, převrstvují půdní částice a dokonce je vyhrabávají až na povrch půdy. Někteří živočichové (např. žížaly) mohou narušovat pozřené minerální částice, které pak rychleji zvětrávají. Svou činností zvyšují aeraci půdy, napomáhají rychlé výměně vody a vzduchu v půdě, což má pro život zooedafonu mimořádný význam (dýchání, transpirace apod.). Touto činností se z půdních živočichů nejvíce vyznačují žížaly (Losos, 1984).

Půdní organismy rozdělujeme na: mikroby (např. bakterie, archea, a houby) a mikrofaunu (např. prvoci, hlístice), mesofaunu (např. chvostoskoci, roztoči), makrofaunu (např. žížaly, myriapods, a hmyz) a megafaunu (např. krtci, hraboši) (Wall a kol., 2012).

3.2.1 Mikrofauna

Do mikrofauny řadíme živočichy menší než 2 mm (König a Varma, 2006). Nejhojnějšími skupinami jsou hlístice (Nematoda), prvoci (Protozoa), a vířníci (Rotifera). Mezi těmito třemi skupinami jsou tisíce známých druhů, ale předpokládá se, že jsou to stále jen zlomky druhů skutečně známých na naší planetě (Wall a kol., 2012).

Mikroedafon se podílí na rozkladu a chemické přeměně organické hmoty do forem vhodných pro tvorbu komplexu trvalé půdní úrodnosti a na uvolnění živin do forem pro rostlinu přístupných. Mikroorganismy také udržují ve svých tělech značné množství dusíku, fosforu a ostatních minerálních živin z půdních zásob (Kalina, 2012).

Půdní mikrobiální biomasa může být definována jako organismy žijící v půdě, které jsou obvykle menší než cca 10 mm (Schloter a kol., 2003). Odhaduje se, že jeden gram půdy obsahuje desítky tisíc druhů mikroorganismů (Wall a kol., 2012). Nejvíce studovanými mikroby jsou bakterie a plísňe. Bakterie jsou jednobuněčné prokaryota. V půdní složce bylo nalezeno minimálně 25 různých bakteriálních phyl (hlavních rodových linií) (Wall a kol., 2012). Půda obsahuje také vysoké množství virů. Půdní mikrobi přispívají k základním ekosystémovým funkcím, včetně rozkladu uhlíku a koloběhu živin a regulaci růstu rostlin a primárních produktů (Wall a kol., 2012). Mikrobiální biomasa je hlavním činitelem, který řídí tok uhlíku a koloběh živin a dalších prvků v půdních ekosystémech. Mimo jiné houby a bakterie mají dominantní postavení v celkové biomase a metabolické aktivitě v půdě (Anderson a Domsch, 1973).

3.2.1.1 Prvoci (Protozoa)

Říše prvoků tvoří jednobuněčná eukaryota, jejichž buňka je schopna vykonávat všechny funkce k zajištění života (Smrž a kol., 2004). Prvoci jsou závislí svým pohybem na vodě, která se vyskytuje v půdních pórech. Zahrnují čtyři hlavní morfologicky odlišné skupiny: bičíkovce, nálevníky, nahé Amoeba a Amoeba, pouze posledně zmínění mají schopnost tvořit vnější (ochranný) plášť z křemene, půdních částic, nebo uhličitanu vápenatého. Většina prvoků se živí bakteriemi, nebo plísněmi, jiní jsou predátoři, ale existují i saprofytické druhy prvoků (Wall a kol., 2012). Z fylogenetického hlediska se nejedná o monofyletickou skupinu. Některé systémy pracují až s 45 kmeny. Na základě výsledků fylogenetických studií se stále více prosazuje názor, že jednobuněčná Eukaryota se mohou vyznačovat navzájem velmi těsnými fylogenetickými vztahy bez ohledu na rozdíly ve způsobu výživy (Rosypal a kol. 2003). Jednobuněčná Eukaryota zahrnují jak chemoheterotrofy, tak fotoautotrofy (Rosypal a kol. 2003).

3.2.1.1.1 Morfologie

Větší část prvoků má buňku pohyblivou, přičemž nejčastější je pohyb pomocí bičíku. Řada skupin prvoků má více než jeden bičík, či další pohyblivé orgány, např. u nálevníků brvy (cilie) a z nich odvozené membrány. Prvoci se mohou pohybovat také pomocí panožek (pseudopodií). Nejjednodušší způsob přijímání potravy je osmózou, velké částice včetně drobných organismů jsou přijímány fagocytózou. Dýchání probíhá prostou difuzí plynu do buňky (Smrž a kol., 2004). Většina půdních forem prvoků spadá do skupiny bičíkovců, améb a prvoků. V půdě převažují bičíkatí prvoci (Mastigophora), panožky (Améby), které jsou součástí třídy panožkovci (Sarcodina), charakterizuje je pohyb pomocí pseudopodií (Rangaswami a Bagyaraj, 2004).

3.2.1.1.2 Ekologie

Prvoci se rozmnožují primárně nepohlavně - dělením, ale u některých skupin se vyskytuje i rozmnožování pohlavní, což je vzájemné splývání genetického materiálu dvou jedinců s vytvořením zygoty (Smrž a kol., 2004). Síla populace prvoků se v horních vrstvách půdy pohybuje mezi 10 až 100 tisíci jedinců na jeden gram půdy (Rangaswami a Bagyaraj, 2004). Jako příklady významných faktorů, které ovlivňují půdní prvoky, uvádí Rangaswami a Bagyaraj (2004) půdní vlhkost či použití organických hnojiv. Je-li příjem vody příliš nízký pro životní procesy, prvoci zůstávají ve formě cysty až do doby, než se prostředí stane příznivějším pro jejich růst. Bičíkovci jsou relativně tolerantnější k nižší vlhkosti půdy, a tudíž se mohou vyvinout v sušších podmínkách. Použitím organických hnojiv zvyšujeme počet půdních prvoků s odpovídajícím zvýšením bakteriální flóry vzhledem k přidání organické hmoty. Provdušňování, teplota a pH mají také vliv na život půdních prvoků (Rangaswami a Bagyaraj, 2004).

3.2.1.1.3 Význam prvoků

Význam prvoků je především přínos k rozkladu organické hmoty a celkové účinky na růst rostlin (Allison, 1973). Bakterie jsou v půdě převážně konzumovány bičíkatými prvoky a tyto jsou potravou pro další prvoky - nálevníky. Jsou tedy i významnou součástí potravního řetězce. Prvoci hrají důležitou roli v mineralizaci živin (C, N), což je důležité pro rostliny a další půdní organismy. Bakterie, kterými se prvoci živí, obsahují větší množství dusíku, než samy potřebují, proto přebytek dusíku uvolňují ve formě NH_4^+ . Ten se obvykle vyskytuje v blízkosti kořenového systému rostliny. Bakterie a jiné organismy rychle využijí většinu NH_4^+ , ale je využíván i rostlinami (Ingham et al. 1999).

3.2.2 Mesofauna

Mesofauna zahrnuje bezobratlé organismy s průměrem těla menším než 2 mm a délkou těla menším než 4 mm (König a Varma, 2006). Hlavními skupinami jsou roztoči (Acari), chvostokoci (Collembola), želvušky (Tardigrada), hmyžečky (Protura), vidličnatky (Diplura) a roupicovití (Enchytraeidae). Acari bývají nejhojnější a nejvíce druhově bohaté skupiny půdních mesofaun (Wall a kol., 2012).

3.2.2.1 Roztoči (Acari)

Roztoči jsou drobní a většinou nenápadní členovci, morfologicky značně rozmanití, o velikosti 0,5 – 10 mm; vývoj probíhá přes šestinohou larvu a osminohou nymfu, dospělci mají obvykle čtyři páry nohou. Mají velmi nezřetelně členěné tělo, silně redukované vnitřní orgánové systémy (např. cévní a dýchací soustavy). Tvaru těla odpovídá i nervová soustava koncentrovaná do jednoho velkého ganglia. Zato chelicery dosáhly velké morfologické různorodosti, což umožnilo roztočům využívat široké spektrum potravy (Rosypal a kol., 2003). Jsou mezi mini dravci, paraziti živočichů, ale i konzumenti rostlinných šťáv, rostlinného odpadu a půdních mikroorganismů (Smrž a kol., 2004). Roztoči jsou druhově nejbohatším řádem, v České republice je známo kolem 1500 druhů (Hudec a kol., 2007).

Kmen roztočů zahrnuje čeledi, jako například čmelíkovci (Mesostigmata), klíštkovití (Ixodidae), sametkovci (Prostigmata), zákožkovci (Astigmata). Z půdní fauny je nejvýznamnější následující čeleď:

3.2.2.1.1 Pancířníci (Oribatida)

Obývají půdu a rostlinný opad (podílejí se na jeho rozrušování, konzumují půdní organismy, a tak vstupují do cyklu živin v půdě) (Smrž a kol., 2004). Mikrofágní a detritivorní pancířníci dosahují v půdě abundance až 500 000 jedinců na m² a významně působí na rozklad organické hmoty a cykly živin v půdě (Rosypal a kol., 2003).

3.2.2.1.1.1 Morfologie

Velikost těla pancířníků se pohybuje většinou od 0,15 do 2,0 mm. Tělo mají kryto zpravidla silně sklerotizovanou kutikulou. Z vajíček, v nichž bývají už vyvinuty tzv. prelarvy, se líhnou šestinohé larvy a následují tři nymfální stádia (proto-, deuto-, a tritonymfa) s osmi nohama. Nymfy se značně liší od dospělců (Kunst, 1971). Vnější morfologie juvenilních stádií pancířníků je potenciálně významným zdrojem informací využitelných pro fylogenetickou analýzu této skupiny. Znalost ontogenetických dat umožňuje například přesněji homologizovat jednotlivé sáty končetin dospělců. (Bryja a Zukal, 2004).

3.2.2.1.1.2 Ekologie

Vztahy pancířníků k vnějšmu prostředí jsou složitým obrazem přímých a nepřímých vlivů. Půda, která je hlavním životním prostředím pancířníků, je značně heterogenní. Na půdní živočichy působí současně komplex biotických a abiotických faktorů limitujících jejich vývoj. Jsou velmi citliví na změny vlhkosti půdy a půdního vzduchu. Jsou schopni přežít vysychání pouze určitou dobu a pak musí vysychající půdu opustit. Celkově snáší pancířníci lépe vyšší vlhkost, než suché prostředí. Tropické druhy pancířníků mají teplotní optima kolem 24 - 31 °C a letální teploty kolem 38 - 40 °C, zatímco druhy mírného pásma mají teplotní optima mezi 10 - 21 °C a letální teploty již mezi 30 - 32 °C. Pancířníci jsou obecně odolnější k nižším teplotám než k vyšším. Samotné pH půdy nemá přímý vliv na společenstva pancířníků, působí zpravidla v komplexu s ostatními mikroklimatickými faktory (Starý, 2008).

3.2.2.1.1.3 Význam pancířníků

Pancířníci jsou důležitou součástí detritového potravního řetězce. Podílejí se přímo nebo nepřímo na všech hlavních procesech probíhajících v půdě, jsou významnými stimulatory a vektory kolonizace půdy půdní mikroflórou. Mnoho druhů pancířníků živících se půdním detritem selektivně pohlcuje určité minerální látky a koncentruje je ve svých tkáních, napomáhají tak k jejich horizontálnímu a vertikálnímu rozšiřování v půdě. Důležitou roli hrají pancířníci v koloběhu fosforu v půdní části ekosystému. Byl prokázán velký význam pancířníků zejména v cyklech dusíku a vápníku (Starý, 2008). Pancířníci napomáhají sekundární dekompozici rostlinných zbytků. V rámci půdní mesofauny tvoří pancířníci nepochybně jednu z nejpočetnějších skupin (Starý, 2008).

3.2.2.2 Vzdušnicovci (Tracheata)

Tělo vzdušnicovců se skládá vždy ze samostatné hlavové části a dalších tělních úseků. Mají však jen jeden pár tykadel a jejich končetiny jsou pouze jednovětevné. Trávicí soustava nemá hepatopankreas, buňky sekretující enzymy jsou ve střevě promíseny mezi buňkami absorpčními. Vylučování probíhá hlavně Malpighiho trubicemi. Převažuje dýchání vzdušnicemi (trachejemi) (Smrž a kol., 2004).

3.2.2.2.1 Mnohonožky (Diplopoda)

Mnohonožky se spolu se stonožkami řadí do podkmene stonožkovci (Myriapoda) a běžně se vyskytují v lesích v tlejícím dřevě a v půdě. Žijí na povrchu a ve svrchních půdních vrstvách (Hudec a kol., 2007). Živí se živým i odumřelým rostlinným materiálem (opad, tlející dřevo apod.), které spolu s houbovými vlákny jsou jejich hlavním zdrojem potravy (Allison, 1973). Prvý článek trupu je bez končetin, další tři s jedním párem a ostatní se dvěma páry končetin. Došlo zde ke srůstu dvou následujících článků, o čemž svědčí i dva páry otvorů do vzdušnicové soustavy. Mnohonožky mají jen jeden pár kusadel a první pár čelistí, který je srostlý a tvoří plochý útvar zvaný gnathochilarium (Rosypal a kol. 2003). Jejich ústní ústrojí je přizpůsobeno k drcení a rozmělnování potravy. Střevo mnohonožek obývá velmi bohatá a pestrá bakteriální mikroflóra, proto rozklad potravy probíhá až do stadia minerálních látek dostupných pro rostliny (Smrž a kol., 2004). V ČR se vyskytuje 78 druhů mnohonožek (Hudec a kol., 2007).

3.2.2.2.2 Stonožky (Chilopoda)

Tělo stonožek má zploštělý tvar, nohy vkloubeny po stranách, vždy po jednom páru na viditelný článek (Smrž a kol., 2004) Každý článek trupu, kromě posledních dvou, nese jeden pár končetin. Za kusadly a dvěma páry čelistí jsou tzv. kusadlové nožky, přeměněný první pár končetin trupu, na jejichž konci ústí jedová žláza. Je to útočný a zároveň obranný orgán (Rosypal a kol. 2003). Stonožky jsou středně velké až velké organismy mesofauny. Živí se dravým způsobem života. Vyskytují se hlavně v lesích, ale také na pastvinách a v orné půdě (Allison, 1973). V ČR se vyskytuje 66 druhů (Hudec a kol., 2007) a nejběžnějším druhem je zde stonožka škvorová (*Lithobius forficatus*) žijící běžně pod kameny, kůrou či v rostlinném odpadu. Přes svou velikost není člověku nebezpečná (Smrž a kol., 2004). Počet nohou u dospělých jedinců různých druhů může být v rozmezí od 16 do 173 párů (Allison, 1973).

3.2.2.2.3 Chvostokoci (Collembola)

Chvostokoci jsou jednou ze čtyř tříd patřící do podkmene šestinozí (Hexapoda). Jejich tělo je členěno na hlavu, hrud' a zadeček. Kráčivé končetiny (3 páry) jsou pouze na hrudi (Hudec a kol., 2007). Jsou jednou z nejvýznamnějších složek půdní fauny, žijí téměř ve všech terestrických ekosystémech, jsou vázáni na vlhké prostředí. V ČR se setkáme s více jak 400 druhy (Hudec a kol., 2007).

3.2.2.2.3.1 Morfologie

Většinou velmi drobní bezobratlí, málo sklerotizované tělo max. 10 mm dlouhé, může být pigmentované, kryté chloupky nebo šupinkami. Ústní ústrojí je vnořené do hlavy, na hlavě jsou krátká tykadla, očka často chybí. Chvostoscoci jsou většinou detritofágní, někteří fytofágní (Hudec a kol., 2007). Charakteristický rys chvostoskoků je skákací orgán neboli furca, který je jasně viditelný. Furca se vyvinula na čtvrtém břišním segmentu. Krev některých chvostoskoků obsahuje chemické látky, které působí jako silný odpuzující prostředek pro případné predátory (Hopkin, 2002). Asi nejnápadnějším zástupcem je larvěnka obrovská (*Tetradontophora bielansensis*). Jedná se o vůbec největšího zástupce chvostoskoků na světě s tělem dlouhým až 10 mm. Její tělo je jemně zrnité, temně modrého zbarvení. Obývá svrchní vrstvy půdy a opad v lesích střední, východní a jižní Evropy. Za vlhkého počasí hojně vylézá na kameny, kmeny stromů apod. (Hudec a kol., 2007).

3.2.2.2.3.2 Ekologie

Chvostoscoci mají globální výskyt. Jsou rozmanití svým výskytem na každém kontinentu, včetně Antarktidy. Mnoho druhů žije celý svůj život v půdě, kde mohou proniknout až do hloubky 150 cm. Na stanovištích s extrémními klimatickými podmínkami, jako jsou pouště a polární oblasti, se také vyskytuje několik druhů chvostoskoků. Jejich výskyt není ovlivněn teplotou. Jejich rozmanitost je nepřímo úměrná zeměpisné šířce, to znamená, že existuje více druhů v tropických než v mírných pásmech. V tropických deštných pralesích žije více než 130 druhů na m² půdy, zatímco v listnatých lesích žije více než 40 druhů. Půda a hrabanka je velmi bohatá na výskyt chvostoskoků. Ve většině suchozemských ekosystémech se vyskytují v hojném počtu, obvykle mezi 10⁴ a 10⁵ m⁻² (Hopkin, 2002).

3.2.2.2.3.3 Význam chvostoskoků

Chvostoscoci napomáhají procesu mineralizace i humifikace. Např. *Isotoma tigrida* redukuje mineralizaci uhlíku, omezuje biomasu kolonizující mikroflóry, podněcuje výluh minerálního dusíku v závislosti na prostředí. Chvostoscoci efektivně mění růstové podmínky dekompozičních mikroorganismů svým působením na půdní houby (Kula, 2007). Většina chvostoskoků se živí houbovými hyfy nebo rozkládajícím se rostlinným materiálem. Proto v půdě mohou mít vliv na růst mycorrhizae (kořeny hub) a ovlivňují vliv houbových chorob na některé rostliny (Hopkin, 2002). Zvyšují pufrovací kapacitu biotických procesů směřujících proti kyselým vstupům. Citlivosti širokého spektra chvostoskoků lze využít při bioindikaci půdní acidity. Chvostoscoci představují významné indikátory změn prostředí,

kteřé bylo možné využít zatím pouze z hlediska kvantitativního a celkové abundance, pro hodnocení kvalitativní změny je nezbytná druhová determinace (Kula, 2007).

3.2.3 Makrofauna

Do makrofauny patří organismy, jejichž velikost se pohybuje od 2 mm do maximálně 20 mm (König a Varma, 2006). Makrofauna se skládá z rozkladačů, predátorů, býložravců, a tzv. "ekosystémových inženýřů". Patří sem hmyz (Insecta), pavouci (Araneae), stejnonožci (Isopoda) a další živočichové z taxonomicky různorodých skupin větších členovců. Např. stejnonožci (Isopoda) jsou důležití rozkladači mrtvého rostlinného materiálu jak v mírných tak tropických ekosystémech (Wall a kol., 2012). Dalšími důležitými živočichy patřícími do makrofauny jsou beznohé půdní bioty - kroužkovci a plži (Kalina, 2012).

Z makroedafonu jsou nejdůležitější pro půdní úrodnost žížaly, které provzdušňují půdu a rozměňují rostlinné zbytky. V jejich trávicích ústrojích se zvláštním způsobem spojují organické koloidy s minerálními částicemi, čímž vzniká vysoce účinný pevný jílový organominerální komplex, tzv. koprolity. Přítomnost žížal je ukazatelem zdravé půdy (Kalina, 2012). V současné době jsou žížaly označovány jako „ekosystémoví inženýři“, neboť mohou svou aktivitou zcela přebudovat prostředí, ve kterém žijí (Pižl, 2002).

3.2.3.1 Máloštětinatci (Oligochaeta)

Tělo máloštětinatců je nejčastěji válcovité, nebo mírně dorzoventrálně zploštělé (Laštůvka a kol., 2004). Nemají parapodia, zbyly po nich jen rudimenty v podobě čtyř párů chitinózních štětinek (Smrž a kol., 2004). Na každém článku jsou 4 svazky štětín různé stavby a délky, slouží obvykle k pohybu (Laštůvka a kol., 2004). Máloštětinatci jsou hermafroditi; produkují nejdříve spermie, které si při kopulaci dva jedinci vzájemně předávají do semenných váčků, poté dozrávají vajíčka a současně se činností pokožkových žláz tvoří na určitém místě opasek (clitellum), který signalizuje pohlavní dospělost jedince (Smrž a kol., 2004). Máloštětinatce rozdělujeme na vodní formy: nitěnkovití (Tubificidae), naidkovití (Naididae), potočnicovití (Brachiobdellidae) a na půdní formy: žížalovití (Lubriculidae) a roupice (Enchytraeidae) (Laštůvka a kol., 2004).

3.2.3.1.1 Žížalovití (Lubriculidae)

Jsou nejvýznamnější skupinou půdních máloštetinaců a patří k nejdůležitějším zástupcům edafonu. Podle náročnosti na množství kyslíku, množství organických částic a způsobu pohybu v půdě je Laštůvka a kol. (2004) rozděluje do dvou skupin na tzv. druhy s vertikální migrací, které jsou méně citlivé na nedostatek kyslíku, pronikají do větších hloubek a svojí činností tak ovlivňují vrstvu půdy i přes 2 m. Tyto druhy jsou časté zejména v půdách luk a agrocenóz. A na druhy s horizontální migrací, které nepronikají do větších hloubek, vyžadují dostatek kyslíku a organické hmoty. Sem patří žížalovití, kteří se vyskytují v půdách s mohutnější povrchovou vrstvou humusu, v kompostech, trouchnivějícím dřevě apod.

3.2.3.1.1.1 Morfologie

Žížaly jsou živočichové válcovitého tvaru, zadní část těla však mohou mít hranatou (Pižl, 2002). Rozměry žížal, zejména jejich délka, nejsou snadno zjistitelné, protože měření jsou založena buď na živých exemplářích, které mohou být v jakémkoliv stavu mezi maximálním a minimálním prodloužením, nebo na uchovaných vzorcích, které jsou obvykle více či méně spekulativní. Nejmenší druhy (dospělých jedinců) jsou zejména ve svrchních vrstvách lesních půd, zastoupené druhy mají délku od 10 mm do 20 mm a šířku od 1,0 mm do 1,5 mm. Největší druhy žížal jsou dlouhé od 1,0 do 1,5 m a 20 - 30 mm široké. Tyto druhy žížal se nacházejí v mírných a tropických oblastech severní a jižní polokoule, většinou obývají hluboké vrstvy půdy v lesích, nebo někdy v pastvinách. Zatímco běžné evropské druhy žížal dosahují délky v rozmezí 1 - 2 cm až přes 1 m (Pižl, 2002) a hmotnosti cca od 10 mg do 10 g, „obří“ australská žížala, *Megascolides australis*, je možná největší známou žížalou, měří 1,4 m na délku a 20 mm v průměru, hmotnost takovéto žížaly se pak pohybuje kolem 400 - 450 g (Lee, 1985).

Tělo žížaly je členěno na články - segmenty. Ty jsou na povrchu rozděleny mezičlánkovými (intersegmentálními) rýhami, které odpovídají přepážkám (septům) uvnitř těla. Žížaly mají konečný počet segmentů vyvinutý již při vylíhnutí z kokonu (vaječné kapsuly) a každé následné zvýšení počtu segmentů je výsledkem regenerační náhrady poškozené či ztracené ocasní části těla, která je relativně běžná (Lee, 1985). Na každém tělním článku, s výjimkou peristomia a periproktu, se nalézají zatažitelné štětiny (sety) (Pižl, 2002). Sety mohou být buď uspořádány symetricky v párech (obvykle čtyři páry, někdy i více), nebo mohou být rovnoměrně rozložené, s osmi až sty sety na každém segmentu (Lee, 1985).

3.2.3.1.1.2 Ekologie

Žížaly patří k živočichům se semikontinuálním až kontinuálním typem rozmnožování, tzn., že jsou schopny rozmnožovat se a produkovat vajíčka po většinu roku a po většinu svého dospělého života. U většiny druhů probíhá výměna spermatu při kopulaci dvou jedinců, přičemž sperma partnerského jedince je uchováváno v chámových schránkách a později je využíváno pro oplodnění vajíček (Pižl, 2002). Opasek slouží k tvorbě kokonů, tj. vaječných kapsulí, které poskytují ochranu a živiny pro vyvíjející se zárodky žížal. Jedna žížala může vyprodukovat 3 až 100 kokonů za rok, v závislosti na druhu žížaly, množství živin a klimatu (Pommeresche a kol., 2010). Stejně tak i růst a doba dospívání žížal se liší mezi jednotlivými druhy a je závislá na vnějších podmínkách. Zatímco některé druhy se dožívají pouhých několika měsíců, jiné mohou potenciálně žít několik let. Ve volné přírodě jsou však žížaly vystaveny mnoha rizikům a věku vyššího než dva roky se dožívají zcela výjimečně (Pižl, 2002).

Žížaly dýchají celým povrchem těla. Výměně plynů napomáhá také sliz vylučovaný na povrch těla. Žížaly jsou proto velmi citlivé na sucho (Pommeresche a kol., 2010). K nejdůležitějším požadavkům žížal na prostředí patří dostatek kvalitních potravních zdrojů, vhodná vlhkost, teplota, půdní reakce a půdní textura. Základním zdrojem potravy pro žížaly je odumřelá organická hmota rostlinného původu a půdní mikroorganismy. Z hlediska potravních preferencí můžeme rozlišit dvě skupiny žížal - detritofágní a geofágní. Detritofágní druhy se živí rostlinnými zbytky, případně exkrementy savců na půdním povrchu a v nejsvrchnějších horizontech půdy, zatímco druhy geofágní pohlcují velká množství půdy a tráví v ní obsažené organické zbytky a mikroflóru (Pižl, 2002).

Vysoký podíl hmotnosti těla žížal (75 - 90 %) je tvořen vodou. Půdní vlhkost a prevence proti vyschnutí proto patří k dalším faktorům limitujícím jejich přežití. V přírodě existuje poměrně velká druhová variabilita tolerance vyschnutí, ale optimální vlhkostní podmínky představují 40 - 60 % maximální vodní kapacity půdy. Optimální teploty pro vývoj většiny našich žížal leží v rozpětí 10 - 15 °C, vyšší jsou u epigeických druhů (15 - 20 °C) a vůbec nejvyšší teploty potřebuje k vývoji např. žížala hnojní (20 - 25 °C) (Pižl, 2002). Většina, ne-li všechny žížaly nemůžou dlouhodobě přežít teploty mimo teplotní rozsah od 0 °C do 35 °C (Lee, 1985). Citlivost žížal na pH je druhově specifická (Kula a Švarc, 2011). Většina žížal je neutrofilních, optimální půdní reakce je v rozmezí pH 6 - 7 (Pižl, 2002). Žížaly jsou vzácné v půdách s pH < 4, avšak setkali jsme se s celým rozmezím hodnot pH v půdě a v souvisejících biotopech, mírně kyselé až mírně alkalické pH tedy není limitujícím faktorem (Lee, 1985).

Žížaly jsou permanentní geobionti, neboť jejich organismus není přizpůsoben škodlivým účinkům ultrafialového záření a všechna vývojová stádia zůstávají v půdě. Na povrch vystupují jen výjimečně po intenzivních deštích (Kula a Švarc, 2011). UV záření může způsobit smrt žížaly do třiceti vteřin, přičemž zvláště citlivé jsou druhy žijící pod povrchem půdy, které nemají ochranné pigmenty (Pommeresche a kol., 2010). Populace žížal jsou ovlivněny i texturou půdy, většina druhů preferuje lehčí hlinité až hlinitopísčité půdy (Pižl, 2002).

3.2.3.1.1.3 Význam žížalovitých

Žížaly se podílejí na přeměně složitých organických sloučenin do formy jednoduché, přijatelné rostlinami (Kula a Švarc, 2011). Žížaly se podílejí na vytváření půdního profilu. Žížala obecná (*Lumbricus terrestris*) a jí podobné druhy, transportují rostlinné zbytky z povrchu půdy směrem dolů a současně přenášejí zeminu a jiné částice z hlubších vrstev směrem nahoru. Chodbičky žížal jsou vyhledávanými prostory pro růst kořenů rostlin a pro rozvoj půdních mikroorganismů, které zde mají snazší přístup k živinám (Pommeresche a kol., 2010). Vznikem chodeb dochází k provzdušňování půdy a ke zlepšení fyzikálních vlastností půdy. Důležitá je tvorba tzv. makropórů velikosti 1 - 10 mm, které zásadním způsobem ovlivňují infiltraci vody (Kula a Švarc, 2011). Význam exkrementů je zvýrazněn množstvím, ve kterém jsou produkovány. V podmínkách České republiky je jich každoročně na půdní povrch ukládáno 40 - 50 tun/ha, což představuje vrstvu 4 - 5 mm (Pižl, 2002). Na jednom metru čtverečním zemědělsky využívaných pozemků můžeme v České republice nalézt až 300 jedinců žížal, což představuje 3 miliony žížal na hektar (Pommeresche a kol., 2010). Půda s žížalami je pak méně náchylná k podmáčení během zimních a jarních měsíců, přímo ke kořenům rostlin je pak přiváděn vyšší podíl srážkové vody. Díky přítomnosti žížal v půdě, se zvyšuje odolnost půdy k erozi (Pižl, 2002).

V trávicím traktu žížal se promíchává organická a anorganická hmota. Některé živiny se díky tomu stanou lépe dostupnými pro další organismy, jiné se vážou do stabilnějších humusových forem ve výkalech žížal (Pommeresche a kol., 2010). Žížaly jsou citlivými indikátory antropogenních stresových faktorů, zvláště chemické povahy. Žížaly umožňují jak inventarizaci těžkých kovů akumulovaných v jejich tělech, tak především zjištění prahových hodnot toxicity limitujících jejich výskyt (Kula a Švarc, 2011).

3.3 Antropogenní půdy

Antropozem je půda, která vzniká působením člověka z nakupení substrátu získaného při těžební a stavební činnosti. Charakter půd je dán jednak vlastnostmi původního materiálu, jednak antropogenním vrstvením či mísením materiálu, dále pak usměrněním procesu pedogeneze po rekultivacích, sledujících úpravy půdních vlastností pro zemědělské, lesnické, rekreační využití (Čermák a kol., 2006).

Intenzivním využitím (exploatací) krajiny a přírodních zdrojů, ať již pro průmyslové nebo zemědělské účely, představuje cizorodý zásah do přírodního prostředí, často spojený se změnou reliéfu krajiny a celou řadou krajinytvorných faktorů - abiotických i biotických.

Poškození (disturbanci) krajiny je možné rozdělit do dvou základních stupňů:

1. Degradace krajiny, kdy v území stále existují funkční, popř. potenciální možnosti přirozené regenerace;
2. Devastace krajiny, kdy je zcela nebo nad únosnou míru autoregeneračních schopností narušena původní struktura a regenerace přirozenou cestou je zdlouhavá (Jech a kol., 1999).

Podle zařazení k určitému typu disturbance území je možné stanovit ekologicky i ekonomicky nejvýhodnější "rekultivační cíl" tak, aby bylo obnoveno funkční využití narušené části krajiny. Funkčním využitím (začleněním do krajiny) krajiny rozumíme takovou konečnou úpravu exploatovaného území, která zajistí obnovu přirozených funkcí ekosystému a současně umožní využití území v souladu s územním plánem daného katastrálního území (Jech a kol., 1999).

Uhelné pánve jsou v České republice hlavními oblastmi postiženými těžbou. Uhlí se v ČR nalézá v těchto pánevních oblastech:

- **Severočeská hnědouhelná pánev,**
- **Sokolovská hnědouhelná pánev,**
- **Ostravsko-karvinská kamenouhelná pánev,**
- **Kladenská kamenouhelná pánev**

(Dimitrovský a Vesecký, 1989).

Exploataci veškerého uhlí u nás řídí uhelné koncerny, které zároveň řídí a financují všechny rekultivační a asanační práce (Dimitrovský a Vesecký, 1989).

Ke zmírnění (popř. zahlazení) negativních dopadů na krajinu po ukončení těžby slouží technologické procesy začleňování exploatovaných území (těžebního prostoru) do okolní krajiny, tzv. sanace a rekultivace. Dle zákona (zákon č. 498/2012 ze dne 4. listopadu 2012, kterým se mění zákon č. 44/1988 Sb., o ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon), ve znění pozdějších předpisů) je těžař povinen zajistit sanaci všech pozemků dotčených těžbou. Za sanaci se považuje odstranění škod na krajině komplexní úpravou území a územních struktur (Jech a kol., 1999).

Devastační účinky těžby se projevují rozdílnou intenzitou a vyvolávají:

- a) změny prostředí (úbytek půdního fondu, úbytek vegetace),
- b) změny hydrologických poměrů projevující se jak v areálu těžby, tak i v okolních lomových prostorech,
- c) změny konfigurace terénu vzniklé skrýváním a ukládáním zemin (vznik vnitřních a vnějších výsypek, odvalů, hald),
- d) kontaminaci ovzduší (projevuje se v celém urbanizovaném území),
- e) změny mikroklimatických a makroklimatických podmínek.

Následkem devastačních účinků se mění i způsoby hospodaření s půdou, vodou i vegetací. Intenzita devastace území, vyjádřená v systému půda - voda - vegetace - ovzduší, je rozhodujícím faktorem pro sekundární obnovu průmyslové krajiny (Dimitrovský a Vesecký, 1989). Při vytváření antropozemí dochází k úpravě půdních vlastností, které jsou ovlivněny dostupností a ekonomickými hledisky. Po úpravě těchto vlastností vzniká kategorizace selektivně skrývaných půdotvorných substrátů, kterými jsou využitelné skrývky humusových horizontů (ornice), sprašové hlíny, slínovce, bentonity, různé odpady organického původu (průmyslové komposty), včetně elektrárenských upravených popelovin pocházejících ze spaloven uhlí (Čermák a kol., 2006).

Základním a prvotním požadavkem při obnově krajinných částí devastovaných těžbou nerostných surovin je plošné řešení rekultivací v jednotlivých krajinných částech s úzkou návazností na vlastnosti a charakter celé hornické krajiny. Cílem takového přístupu je postupná obnova funkcí a vazeb v krajině, a to jak ekologických, tak sociálně ekonomických. Typ, charakter a plošné rozmístění prvků trvalé mimolesní a lesní vegetace hraje velmi významnou roli především ve vztahu k nutné postupné obnově ekologické stability krajiny (Jech a kol., 1999).

3.3.1.1 Povrchová těžba

Těžba ovlivňuje krajinný ráz, vytváří zcela novou krajinu, s čímž souvisí i změna mikroklimatu, negativně působí na biotu, je provázena značným úbytkem zemědělské a lesní půdy, ovlivňuje hydrologický systém, znečišťuje ho prachovými částicemi, ale i hořením a záparami ovzduší. Těžba je často provázena dočasnými i trvalými zábory zemědělského půdního fondu, tím i změnou krajinného prostředí spojenou s tvorbou vnějších a vnitřních výsypků. Výsypky zásadně mění konfiguraci krajiny a jejich členění neodpovídá přirozené podobě krajiny (Vráblíková a Vrablík, 2000).

Povrchové lomové dobývání, jak u nás v České republice, tak i v zahraničí, se uskutečňuje skrývkou nadložních hornin, nebo odtěžením ložisek nerostů pro potřeby národního hospodářství. Z lesních rekultivačních hledisek je důležitá kvalitativní stránka odklizení nadložních hornin (zemín) a jejich selektivní uspořádání ať již v areálu těžby, nebo mimo něj. Podle toho rozlišujeme nově vzniklé geomorfologické útvary (výsypky) vnitřní a vnější. Plošná intenzita lomové těžby nerostných surovin je přímo úměrná míře vlivů negativních účinků na krajinu. Obtížnost potřebných rekultivačních opatření v systému devastovaná půda - voda - vegetace spočívá v respektování technologie skrývky nadloží (Dimitrovský a Vesecký, 1989).

Postupy rekultivační obnovy krajiny jsou pro každou těžební lokalitu zpracovány rámcově, až do jejího vyuhlení (ukončení báňské činnosti) s tím, že jsou průběžně aktualizovány podle konkrétního postupu báňské činnosti. Nezbytnost tohoto dlouhodobého plánování je dána tím, že povrchový důl, který zabírá plochu několika čtverečních kilometrů a má životnost v desítkách let, ovlivňuje krajinu ve svém okolí na dlouhou dobu a předpoklady pro její budoucí využití jsou realizovány již dlouho před zahájením vlastní biologické rekultivace – tedy v době těžby a manipulace se skrývkovými hmotami (Voštová a Růžička, 2000).

3.3.1.2 Hlubinná těžba

Hlubinná těžba má zcela odlišné devastační účinky než těžba povrchová. Hlavním průvodním devastačním jevem hlubinné těžby je znehodnocení půdy na povrchu dobývacího prostoru. Po vytěžení uhelné sloje bez zakládky vznikají poklesové propadliny. Z toho vyplývá, že čím více báňská technologie zakládá vytěžené prostory v hlubinném dole, tím méně znehodnocuje půdy na povrchu dobývacího prostoru. Při dobývání kamenouhelné sloje je časové rozpětí 3 až 5 let, při hlubinném dobývání hnědého uhlí 1 až 3 roky (Dimitrovský a Vesecký, 1989).

3.3.1.3 Těžba rud

Těžba rud má v České republice nejstarší tradici. Otvírka rudných ložisek je obdobná jako u ložisek uhelných s výjimkou použití trhací techniky vzhledem k pevnosti hornin. Hlubinný způsob těžby rud nezpůsobuje výrazné devastace. Mnohem výraznější devastace územních celků nastávají při dobývání povrchovým způsobem. Doprovodné odpady při těžbě rudných ložisek se ukládají většinou mimo areál těžby, tím vznikají odvaly (Dimitrovský a Vesecký, 1989).

3.3.2 Kategorizace antropogenních půdních substrátů

Antropogenní půdní substrát se definuje jako zvláštní pedologická kategorie půd se specifickou půdní chemií, půdní fyzikou, hydropedologií a genetickou nevyhraněností (Dimitrovský a Vesecký, 1989). Při rekultivaci a asanaci krajiny vznikají nové recentní útvary: lomy, výsypky, odvaly, skládky, loužící pole, sedimentační a dočišťovací nádrže, jsou to účelové stavby, na které se v plné míře vztahují stejná legislativní opatření, jako na všechna stavební díla. Při jejich tvarování je nutné zajistit: podmínky pro vhodné mikroklima, podmínky pro definitivní tvarování svahů a plošin bez použití provizorních prostor pro ukládání odpadů, stabilitu svahů i po případném zvětrání uložených hlušin, po případné deformaci podloží nebo změně vodního režimu vlivem poklesu (Jech a kol., 1999).

Nově vzniklé recentní útvary (výsypky, odvaly, haldy, složiště, odkaliště, skládky inertních materiálů) se skládají z různých hornin, které jsou nositeli půdotvorných pochodů (zvětrávání aj.) a výchozími substráty při tvorbě půd pro rekultivační účely. Látkově představují směsi nerostných součástí. Podle původu nacházíme na recentních útvarech horniny:

- vyvřelé čili eruptivní nebo magmatické (vyvřeliny, eruptiva),
- usazené čili sedimentární (sedimenty),
- proměněné (metamorfované) (Dimitrovský a Vesecký, 1989).

3.3.2.1 Výsypky

Výsypky jsou recentní útvary vzniklé ze skrývaných nadložních zemin, při povrchovém dobývání hnědouhelné sloje. Podle plošné výměry se výsypky v České republice řadí na první místo mezi recentní útvary (Dimitrovský a Vesecký, 1989). Jedním z nezbytných předpokladů úspěšného povrchového dolu je založení vhodných výsypek. Nejde pouze o volbu dostatečně velkých prostorů, ale je třeba přihlížet k fyzikálním vlastnostem hornin, jejich vodnímu režimu, zejména pak propustnosti pro vodu a odolnosti proti vodní a větrné erozi (Jonáš, 1986). V této tzv. důlně-technické etapě rekultivace vytváří báňský provoz veškeré základní předpoklady pro budoucí úspěšné zapojení rekultivovaného pozemku do následné kulturní krajiny. V tomto období již musí být jasné umístění a orientace výsypek, orientace toku skrývkových zemin tak, aby na budoucí konečné etáži směřovaly jen ty nejvhodnější zeminy, aby nevznikala neodvodnitelná území a aby bylo známo a respektováno budoucí využití rekultivovaných ploch (Voštová a Růžička, 2000).

Podle Dimitrovského a Veseckého, 1989, rozeznáváme tyto typy výsypek:

1. vnější — geomorfologicky situované mimo areál těžebního pole
2. vnitřní — geomorfologicky situované v areálu těžebního pole

Výsypky mohou mít geomorfologický tvar:

- Podúrovňový — je-li povrch výsypky pod úrovní okolního terénu,
- Úrovňový — splývá-li povrch výsypky s okolním terénem,
- Převýšený — jsou-li skryté nadložní zeminy ukládány vertikálně a etážovitě nad okolní terén (Dimitrovský a Vesecký, 1989).

Charakteristickým rysem povrchu výsypek je chaotická směs zemin rozdílného limnického původu, stáří, mineralogického složení, struktury a tím i rekultivačního významu (Dimitrovský a Vesecký, 1989). V nadloží uhelných slojí se nachází souvrství hornin, které z pohledu příští rekultivace mají velmi diferencovaný význam, tj. jsou odlišné kvality vzhledem k tvorbě nové půdy na výsypkách. Chceme-li zajistit optimální podmínky pro rekultivaci, musíme kvalitativním i kvantitativním zvláštnostem těchto hornin, jako příštím půdotvorným substrátům na výsypkách, věnovat zvýšenou pozornost (Jonáš, 1986).

Hlavní typy půdních profilů jsou půdní profily složené z kompaktních jíílů, z jíílů lístkovité odlučnosti. V omezené míře jsou na výsypkách hnědouhelných revírů i půdní profily skeletové. Povaha skeletu je rozdílná (žula, rula, svor, znělec, čedič, křemen apod.).

Nejčastěji se na výsypkách vyskytují půdní profily přechodového typu, které jsou většinou složeny z různých forem zpevněných jílu a profilově značně nesourodé. K důležitým půdotvorným činitelům patří vegetační kryt, druhová skladba porostu, která ovlivňuje jak horizont s akumulací organické hmoty, tak i horizont hnědnutí i horizont koloidních jílu (Dimitrovský a Vesecký, 1989).

Je důležité využívat porostů trvalé zeleně ke zlepšení stability výsypek a jejich částečného zapojení do ekosystémů, zlepšení půdních poměrů před následným konečným využitím a omezením důsledků pro okolí. Osazují se především plochy a stěny výsypek, příjezdové komunikace, erozní nádrže a místa vzniku soustředěného odtoku (Jech a kol., 1999).

3.3.2.2 Odvaly

Nové recentní útvary vzniklé odvalováním hornin po těžbě černého uhlí, rud a nerud nazýváme odvaly. Charakteristickým rysem odvalů je geologicko-petrografická pestrost. Na rozdíl od výsypek jsou geomorfologické tvary odvalů (většinou kuželovitého tvaru) příhodné pro vodní erozi a znesnadňují zalesňování (Dimitrovský a Vesecký, 1989).

U čerstvě ukončených odvalů nacházíme na jejich povrchu rozrušené kusy hornin ve velikosti od několika milimetrů až po jeden i více metrů. U odvalů složených z hrubého kamene s naprostým nedostatkem jemnozeme (částice pod 2,0 mm) je zalesnění, bez překrytí zeminou schopnou zúrodnění, nemyslitelné. Vrstva překrytí musí mít mocnost aspoň 50 cm. Úspěch zalesnění odvalů nepřekrývaných zeminami je přímo úměrný stupni desagregace, a tím i potřebného množství jemnozeme pro růst a vývoj zakládaných kultur. K hlavním horninotvorným materiálům odvalů patří živce (draselné, jílovité břidlice, pískovce, slídy atd.). Množství jemnozeme na povrchu odvalů (jako základní faktor pro úspěšné zalesnění) závisí na geologicko-petrografickém složení hornin, trhací technologii v procesu skrývání a na stáří odvalů (Dimitrovský a Vesecký, 1989).

3.3.2.3 Složiště a odkaliště

Popele představují významnou kategorii průmyslového odpadu ukládaného na složištích, který se rekultivuje promísením se zeminou a organickými odpady a dále se využívají pro potřeby vytváření antropozemí (Čermák a kol., 2006). Suchou cestou se odpad z tepelných elektráren dopravuje na složiště, hydrodopravou na odkaliště. Na rozdíl od ostatních recentních útvarů (výsypky, odvaly) jsou složiště a odkaliště velmi náchylná k vodní a větrné erozi (Dimitrovský a Vesecký, 1989). Materiál z oblasti průmyslových odpadů má poměrně příznivé, ale specifické fyzikální vlastnosti. Po zhutnění je popel silně

vododržný, silně pórovitý, silně provzdušněný a vyznačuje se velmi nízkými objemovými hmotnostmi (Čermák a kol., 2006). Jak v České republice, tak i v zahraničí se neustále hledají vhodné způsoby využití tohoto odpadu ve stavebnictví, zemědělství, lesnictví a v dalších odvětvích. Průzkumy už v minulosti dokázaly, jak uvádí Dimitrovský a Vesecký (1989), že pro zemědělské účely je popílek nevhodný v důsledku nadměrného obsahu některých karcinogenních látek (těžké kovy, mikroelementy). Primární potenciální úrodnost popílků je nízká a je závislá na druhu spalovaného uhlí v elektrárnách a teplárnách.

Podle druhů uhlí ve spalovnách rozeznáváme i druhy popílků (z hnědého uhlí, z lignitu, z černého uhlí, směsi výše uvedených druhů popílků). Největší množství popílku na složištích a odkalištích pochází z hnědého uhlí. Specifické chemické, fyzikální a hydropedologické vlastnosti složišť a odkališť (s ohledem na charakteristiku překryvného materiálu v mocnosti od 30 do 50 cm) umožňují omezený výběr dřevin a keřů (Dimitrovský a Vesecký, 1989). Před zalesněním se u všech technologických postupů doporučuje alespoň jednoletý přípravný agrocyklus. To znamená pěstování plodin při zeleném hnojení, jehož součástí by měly být vytvořené překryvné vrstvy a eventuálně provedená předset'ová úprava obsahu živin průmyslovými hnojivy (Čermák a kol., 2006).

Podle současných zkušeností je třeba pro tento typ recentních útvarů volit dřeviny a keře s velmi širokou ekologickou amplitudou, zařazené do taxonů xerofytních a mezofytních. Pedologická a hydropedologická povaha složišť a odkališť vyžaduje v první fázi rekultivace (do 20 let) naprostou převahu dřevin s vysokým melioračním účinkem (olše lepkavá, olše šedá, lípa malolistá, habr obecný, topol bílý, topol berlínský) (Dimitrovský a Vesecký, 1989). Po technické stabilizaci je vhodné využít plochy odkališť pro založení melioračních porostů, v průběhu činnosti především hráze, využitelné prostory podél infrastruktury, stavebního vybavení a komunikace (Jech a kol., 1999).

3.3.2.4 Městské skládky tuhých komunálních odpadů

Hlavním úkolem v okolí dnešních skládek je zlepšení mikroklimatických, hygienických i estetických poměrů (parametrů). Zabraňuje rozptylu lehkých a sypkých materiálů do ovzduší, zápachu, vytváří pohledovou clonu, případně napomáhá zmenšit riziko průsaku tekutých látek prostřednictvím kořenové clony (Jech a kol., 1999).

Technologické postupy rekultivačních prací na skládkách se mohou ubírat dvěma směry. Jedním směrem je přímá rekultivace — bez biologické přípravy půdních substrátů. Druhým směrem je nepřímá rekultivace — s předchozí biologickou přípravou používáním především průkopnických zemědělských rostlin (jetelotravní směsi). Biologická příprava

různorodých zemín na skládkách je prováděna především pro zlepšení půdních vlastností zejména zemín použitých jako překryv. Jako půdotvorné substráty byly při překryvu skládek použity různorodé horninotvorné zeminy a ornice — geneticky vyvinuté půdní materiály. Respektování potenciální úrodnosti půdních substrátů složených z výše uvedených překryvných složek způsobilo, že k zalesnění bylo použito jak dřevin málo náročných, tak i dřevin náročných na půdní podmínky stanovišť (Dimitrovský a Vesecký, 1989).

Druhovou skladbu tvoří především dřeviny odolné proti negativním civilizačním tlakům, dřeviny hlubokokořenicí, případně dřeviny speciálních vlastností, požadovaných na konkrétní lokalitě, včetně dřevin introdukovaných. Pro úpravu estetických vlastností a tvorbu nových dominant je možné použít i dřeviny barevné a tvarově výrazné (Jech a kol., 1999).

3.3.3 Rekultivace

Rekultivace je úprava devastovaných částí krajiny, všech jejích složek (atmosféry, litosféry, pedosféry, hydrosféry a biosféry). V posledních letech se v oblasti péče o krajinu objevují další termíny, jako např. revitalizace, renaturalizace, regenerace. Revitalizace doslova znamená "znovuoživení", „návrat života" a obvykle je chápána jako náprava antropogenně ovlivněné krajiny nebo její části do stavu přírodě blízkého (popř. blížícího se původnímu stavu, např. revitalizace říčních systémů) (Jech a kol., 1999).

Rekultivovaná krajina by proto měla být ekologicky vyvážená, zdravotně a hygienicky nezávadná, efektivně i potenciálně produktivní a esteticky a rekreačně působivá. Podle zaměření rekultivačního cíle je rekultivace chápána buď jako zemědělská nebo lesnická (s různými podtypy, např. ovocný sad, orná půda, pěstírna pro sklizeň biomasy, rekreační lesy, lesy zvláštního určení apod.) Metody biotechnických rekultivací jsou založeny na využití technických a technologických postupů, jejichž cílem je relativně rychlá možnost využití rekultivovaného území k pěstování hospodářsky významných rostlin, popř. jiných způsobů využití území (vodohospodářské rekultivace, obnova krajinných prvků a složek v území, obnova zastavěné části apod.) (Jech a kol., 1999).

3.3.3.1 Lesnická rekultivace

Vegetace obecně je biologicky neaktivnější faktor, ovlivňující charakter, vlastnosti a funkce krajiny a jejích částí. Biologicky aktivní plochy hospodaří se sluneční energií podle fyziologických zákonitostí, tj. produkují organickou hmotu, ovlivňují složení a vlastnosti ovzduší, půdního substrátu i povrchových vod (Jech a kol., 1999). Současná devastace rozsáhlých území nutí člověka omezovat těžbu nerostných surovin a tvořit nové, ekologicky

vyvážené průmyslové krajiny. Rozhodující podíl zde mají lesnické rekultivace. V současné době se lesnické rekultivace opírají o bohatý faktologický materiál získaný z mnoha specializovaných vědních disciplín — geologie, petrografie, pedologie, hydropedologie, mineralogie, mikrobiologie, fytoecologie, typologie a dendrologie (Dimitrovský a Vesecký, 1989).

Hlavními požadavky zalesňovaných antropozemí v krajině se stávají především funkce půdotvorné a půdoochranné. Těmto požadavkům se přizpůsobuje i tvorba porostních směsí a plošné uspořádání dřevin (Čermák a kol., 2006). Z pohledu celospolečenských zájmů je lesnická rekultivace všech druhů a typů antropogenních půdních substrátů záležitostí mimořádného významu (Dimitrovský a Vesecký, 1989). Významným faktorem ovlivňujícím úspěšnost a kvalitu obnovy půdního profilu, na rekultivovaných nebo sanovaných plochách, je zapojení porostu bylinného patra. Ochrannou a protierozní funkci plní především kořenový systém, který se primárně podílí i na samočisticích procesech probíhajících v půdním subsystému. Složení výsevne směsi bylinného patra musí odpovídat požadavkům na konkrétní stanovištní podmínky a účelu travního porostu. Nejčastěji jsou směsi tvořeny třemi až pěti druhy, z toho 40 - 50 % tvoří trsnaté trávy, 50 - 60 % výběžkaté trávy (Jech a kol., 1999).

3.3.3.1.1 Volby druhů dřevin a způsob jejich pěstování

V zákonných opatřeních na zahlazení škod vzniklých provozovanou báňskou a jinou průmyslovou činností (zákon č. 44/1988 Sb., o ochraně a využití nerostného bohatství a zákon č. 100/2001 Sb, posouzení vlivů na životní prostředí) je ustanoveno, že rekultivační a meliorační kritéria, tj. zachování půdotvorné, půdoochranné a vodohospodářské funkce lesů, jsou limitující pro volbu druhů dřevin, způsobů zakládání lesů a péče o založené porosty (Dimitrovský a Vesecký, 1989). V rámci lesnické rekultivace lze (dle Novotné a Sixty, 2009) dřeviny rozdělit na tři skupiny:

- a) dřeviny s velmi aktivním půdotvorným účinkem (olše lepkavá, olše šedá, kultivary topolů)
- b) dřeviny s aktivním půdotvorným účinkem (lípa srdčitá, osika, habr obecný, javor klen, javor mléč, jilm horský, jilm habrolistý, dub zimní, dub letní)
- c) dřeviny půdotvorně málo významné – do této skupiny náleží dřeviny především jehličnaté a ostatní druhy listnáčů.

Druhové složení výsadeb stromů a keřů by mělo vycházet z extremity půdního prostředí a vyplývá z poznatků ekologických nároků jednotlivých druhů. V běžných technologiích byly doporučovány výsadby do pásů a do řad (Jech a kol., 1999). V rámci odzkoušení dřevin na antropogenních půdních substrátech byla značná pozornost věnována rovněž způsobům smíšení (jednotlivě v řadách, ve skupinách různých geometrických tvarů a různé velikosti) (Dimitrovský a Vesecký, 1989). Rozhodujícím faktorem, který významným způsobem ovlivňuje růst, vývoj i zdravotní stav jehličnatých dřevin domácího i introdukovaného původu (pěstovaných na antropogenních půdních substrátech), je přítomnost listnáčů. Hlavním kritériem pro zakládání kultur jednotlivě smíšených (jehličnan - listnáč) v řadách je trofnost půdních substrátů, která se vyjadřuje vitalitou růstu. Dalším kritériem je zachování vzájemného ovlivňování volených kombinací (modřín evropský - olše lepkavá nebo šedá, borovice Murrayova - dub červený, borovice černá - dub zimní nebo letní, borovice černá apod. Dimitrovský a Vesecký (1989) uvádí, že celkem ověřili 42 kombinací listnatých a jehličnatých dřevin, které lze kombinovat. Je zapotřebí, aby volené kombinace měly stejnou růstovou vitalitu při vysazování. Při výběru dřevin a keřů pro rekultivační účely je třeba vycházet z mnoha spolurozhodujících faktorů, které směřují k maximální optimalizaci obnovy přírodních složek životního prostředí, z toho vyplývá, že funkční poslání lesních porostů na antropogenních půdách je mnohostranné (Dimitrovský a Vesecký, 1989).

3.3.3.2 Zemědělská rekultivace

Zemědělská rekultivace navazuje na řádně provedenou rekultivaci technickou, která vytváří vhodné podmínky svým uspořádaným povrchem výsypky a vhodnými půdotvornými substráty. Zemědělská rekultivace je založena na realizaci melioračních osevních postupů, jejichž cílem je biologické oživení půdotvorného substrátu a položení základů pro tvorbu půdy (Jonáš, 1986). Za antropozemě určené k intenzivní zemědělské produkci považujeme pouze subtypy, u nichž v průběhu rekultivačního procesu byly aplikovány překryvy humusovými horizonty. Jejich využití k pěstování běžných hospodářských plodin je možné považovat i v budoucnu za perspektivní (Čermák a kol., 2006). Tato rekultivace na antropogenních substrátech je záležitostí značně složitou a náročnou jak po stránce technické přípravy výsypek, tak i po stránce finančního zajištění. Uvažovaný záměr musí respektovat půdně ekologická a produkční hlediska. Pro zemědělství jsou využívány rovné, ucelené plochy na výsypkách, případně jejich mírných svazích (3 – 8 % sklonu). Podle vypracovaných rozborů nadložních hornin se určuje další postup při rekultivaci, a to buď přímo biologickým zásahem, nebo převrstvením povrchu ornici. U obou způsobů

následuje osev plodin podle zásad melioračních osevních postupů. Pro rozhodující zvýšení obsahu humusu v půdě se používá zaorání zelené hmoty luskoobilných směsek, slámy, průmyslových kompostů, čistírenských kalů a karbohnojiv. Aplikují se také minerální a organominerální hnojiva a to podle výsledků rozborů půdních vzorků (Novotná a Sixta, 2009).

Podaří-li se i v antropogenně zatížené oblasti realizovat cílené biotechnické zásahy, obnovit vyvážený agroekosystém, a to za přispění fytoenergetiky, přispěje to k navrácení biologicko - ekologické rovnováhy v přírodě, obnově pestré a obytné kulturní krajiny, druhově bohaté, s možnostmi vývoje pro všechny živé organismy, což by zmenšilo náš ekologický dluh pro příští generace (Vráblíková a Vráblík, 2000).

3.4 Vliv antropogenní činnosti na půdní živočichy

Antropogenní činnost má vliv na celkovou faunu a flóru žijící a rostoucí v půdě. Vápnění je výrazným prvkem dopadu na antropogenně zatížené půdy zahrnující veškerou půdní faunu. Za významný faktor působení vápnění se považují změny v poměru C:N. V minerální půdě se vápněním vyvolává pokles acidity (s různým časovým zpožděním). Vzrůst živin po vápnění ovlivňuje pozitivně kořenový systém, jeho živou biomasu a mykorrhizu. Na půdní prostředí působí řada faktorů souběžně, především biotických a antropogenních, které zasahují biotické složky a vyvolávají změnu půdní aktivity ústící v dekompozičních procesech a kvalitativních změnách půdní bioty. Nelze vyloučit, že předpoklady o pozitivním působení vápnění mohou zahrnovat i dílčí negativní dopady, jejichž závažnost je třeba posoudit v kontextu pozitivních změn (Kula, 2007).

Vliv vápnění na půdní faunu s vyvoláním případné změny nelze přijímat jako negativistické narušení existujícího stavu, ale jako průvodní reakci na změny směřující k celkové revitalizaci půdního prostředí a půdotvorných procesů. Ze získaných poznatků o reakci půdní a epigeické fauny v horizontu 3 let po aplikaci dolomitického vápence vyplývá, že nedochází ani při jedné z aplikovaných dávek (1,5 - 3 - 6 t. ha⁻¹) k zásadní změně v kvalitě a kvantitě živočišné složky a zoocenóza zůstává relativně stabilní (Kula, 2007).

Důležitým ukazatelem zatížení půdních živočichů antropogenními vlivy je bioindikace.

Ta se projevuje podle Kuly (2007) ve třech důležitých bodech:

1. Vlivem imisí se mění populace bezobratlých v důsledku stanovištních změn, mizí druhy jako odraz chybějících zdrojů potravy, které uhynuly pro vysokou citlivost k imisím (lišejníky).
2. Objevují se industriální melanismy (motýli, slunéčka).
3. Bioindikace půdních změn odráží tři roviny:
 - **bezobratlí živočichové,**
 - **mikroorganismy,**
 - **procesy v ekosystémech.**

3.4.1 Pancířníci

Velmi výrazný negativní vliv na pancířníky má orba. Vlivem orání dochází k několikanásobnému snížení abundance a druhové diversity pancířníků. Aplikace organických statkových hnojiv, především hnoje, způsobuje celkově slabé snížení společenstva pancířníků. Aplikace kombinovaných hnojiv způsobuje zvýšení abundance pancířníků a dochází ke změnám struktury společenstva pancířníků. Dusíkatá hnojiva obecně zvyšují abundanci pancířníků v zemědělských a lesních půdách. Výrazné snížení abundance pancířníků způsobuje aplikace plynného čpavku, neboť ten má prokazatelně toxické účinky na roztoče (Starý, 2008). Imisní působení snižuje druhovou diversitu a abundanci půdních pancířníků, snižuje frekvenci výskytu a vyvolává změny ve struktuře společenstva, zvyšuje agregaci. Obnova a regenerace fauny je dlouhodobým procesem, neboť imise působí „toxicky“ na celé společenstvo (Kula, 2007).

V půdách imisemi postižených smrčín v Čechách bylo zjištěno snížení množství mesoedafonu asi o 46 % (ve srovnání s nepostiženými porosty), u pancířníků na imisních plochách byla druhová bohatost o 42 % a abundance o 70 % nižší (Losos a kol., 1984). Dlouhodobé působení průmyslových imisí, především SO₂, CO₂, N₂O aj. významně snižuje průměrnou abundanci, druhovou diversitu a dominanci druhů (Starý, 2008). Vliv pesticidů na společenstva pancířníků je velice širokým a komplexním problémem. Na rozdíl od ostatních vlivů jde o vstup úplně cizorodé látky do potravní sítě, která tam může setrvávat velmi dlouhou dobu. Herbicidy působí na společenstva pancířníků především nepřímo,

zničením rostlinné biomasy a postupným snižováním obsahu organické hmoty v půdě, pancířníkům jsou tak omezeny především potravní zdroje (Starý, 2008).

Najdou se však druhy, které antropogenní vlivy snášejí velmi dobře. Např. druh *Tectocepheus velatus* je schopný jako jeden z mála druhů pancířníků tolerovat výrazné změny i antropické vlivy a vyskytuje se s extrémně vysokou dominancí na plochách výrazně ovlivněných lidskou činností, jako jsou orné půdy, časná stadia sekundární sukcese na úhorech, raná stadia primární sukcese na výsypkách po hnědouhelných dolech a také na plochách, kde došlo k výrazné změně mikroklimatu či chemizmu půdy (Starý a Matějka, 2008).

Vápnění vyvolává u pancířníků v agrocenózách krátkodobé zvýšení abundance při snížení počtu druhů. Vápnění vyvolává v lesních ekosystémech zvýšené zastoupení pancířníků v důsledku redukce potravních zdrojů (rychlá dekompozice opadu) a do 2 let po aplikaci dochází ke snížení abundance a biomasy. To vyvolává krátkodobé zvýšení druhové diversity a následný ústup druhů obývajících opad (chybí nymfy a larvy) a mykofágů. Díky tomu dochází k nástupu druhů makrofágních, indiferentních a druhů nespecifických. Po dlouhodobém působení vápnění jsou registrovány negativní změny projevující se dokonce až po 28 letech. Roztoči (81 druhů) představují nejpočetnější půdní zoocenózu, která velmi dobře odráží změny ve vývoji v porostech ošetřených vápněním (Kula, 2007).

3.4.2 Chvostokoci

Chvostokoci jsou významnou součástí ekosystému a zásah do jejich společenstev (aciditou, vápněním) může vyvolat trvalé poruchy v ekosystému. Změna přirozené půdní kyselosti (imisní vstupy, těžba, hnojení, vápnění) působí na mikrobiální rozklad organické hmoty (snižuje aktivitu mikrofauny) a tím zásadně zasahuje do potravních zdrojů chvostokoků. Citlivosti širokého spektra chvostokoků lze využít při bioindikaci půdní acidity. Reakce jednotlivých druhů je rozdílná, ale ve svém výsledku se u jednotlivých rodů shoduje. Reakce mohou být různé, v zásadě rozlišujeme tři základní jevy, kdy abundance se zvyšuje (acidifikací) okyselením půdy nebo snižuje vápněním a naopak; snižuje acidifikací i vápněním, nebo vykazuje různou reakci. Znovuosídlení půdy chvostokoky je tak vztaženo především k pH, a tím je určeno druhové spektrum a početní zastoupení (Kula, 2007).

Vápněním se obecně snižuje abundance endogeických i epigeických druhů chvostoskoků. Reakce společenstva je ovlivněna kompeticí v potravních nárocích a mikrobiální biomasou, kdy v kyselých půdách převažují houby a na vápněných dominují bakteriální společenstva, která jsou rychle využita chvostoskoky. Reakce jednotlivých druhů vykazují dílčí odchylky. Abundance osídlení chvostoskoky je v listnatých lesích nižší než v jehličnatých, přičemž na úrovni druhů existují rozdíly v dominanci, která ukazuje jejich odlišnou adaptabilitu (Kula, 2007).

3.4.3 Žížalovití

Prostředí, které obývají žížalovití, je ovlivňováno mnoha faktory, které ve svém působení podporuje lidská činnost. Jedním takovým faktorem je okyselování lesních půd antropogenního původu. Toto okyselování vyvolává pokles půdní reakce, mobilizaci hliníku a dalších těžkých kovů, které silně narušují půdní faunu. Lumbricidae jako významná složka půdních procesů obtížně přežívají v kyselých půdách. Obecně však vlivem zakyselování dochází ke snižování abundance žížal (Kula a Švarc, 2011). Široce používaným opatřením snižujícím okyselování půd a dodávajícím bazické elementy do kyselého humusu je vápnění, zvláště v imisních oblastech. Vápnění lesa, řešící revitalizaci půdy a její zakyselení, vyvolává změny v ekosystému, které se odrážejí i ve složení živočišné složky (Kula a Švarc, 2011). Nízké pH u žížal ovlivňuje negativně plodnost, snižuje abundanci a druhovou diversitu, vytváří se jednodruhové společenstvo (Kula, 2007). Jako alternativa k revitalizačnímu vápnění je dlouhodobé vysazování takových druhů dřevin, které mohou mimo jiné zvýšit pH svrchních horizontů půdy a zlepšit dostupnost živin organismům. V listnatých porostech má opad příznivý meliorační účinek. Bukové porosty vykazují nižší a mělčí zakyselování půdy než smrkové porosty, což může vést k širšímu osídlení minerální půdy žížalami (Kula a Švarc, 2011).

Dalším nebezpečím pro žížalovité se skrývá v použití organických hnojiv. Jedním z běžně používaných druhů organického hnojiva může být kravská kejda, která je však pro žížaly nebezpečná, pokud se aplikuje v příliš velkém množství. Může ucpat póry v půdě a žížaly se udusí nebo se mohou otrávit. Toxicita kejdy je způsobena vysokým obsahem amoniaku, kyseliny benzoové a sulfidu sodného. Pokud se do kejdy přimíchává silážní šťáva, negativní vliv na žížaly se ještě zvyšuje v důsledku snížení pH a uvolňování toxických sloučenin při rozkladu bílkovin v silážní tekutině (Pommeresche a kol., 2010). Další vliv na žížalovité, vyvolaný antropogenní činností, mají biologické účinky těžkých kovů. V ekosystémech země lze rozdělit zhruba do dvou skupin. Jednoznačně toxické jsou

kadmium (Cd), olovo (Pb) a arzen (As). Do druhé skupiny řadíme tzv. biogenní prvky – železo (Fe), měď (Cu), zinek (Zn) a mangan (Mn), ačkoliv i ty mohou mít ve zvýšených koncentracích toxické účinky (Bartošová a Povolný, 1997). Akumulace těžkých kovů souvisí se stářím jedinců (juvenilní stádia jsou citlivější). Povrchový sliz u žížal může zabránit průniku do těla a absorpci. Rozhodující je také společný vstup s potravou, těžké kovy jsou pak vstřebávány v jícnu a ukládány ve svalech či mozkové zauzlině. Žížaly splňují kritéria pro monitoring těžkých kovů (Kula, 2007). Zdrojem těžkých kovů v ekosystému jsou horniny a půdy, z nichž se kovy přirozeně uvolňují geochemickými a biologickými procesy, ale druhotně také lidskou, zejména průmyslovou činností (Bartošová a Povolný, 1997). Často „jednoznačné“ výsledky laboratorních pokusů s hromaděním těžkých kovů z přesně odstupňovaných dávek kovů v jednotlivých půdních typech jsou sice zajímavé, ale je velmi problematické je zevšeobecňovat, a zejména srovnávat s výsledky terénního ekotoxikologického šetření (Bartošová a Povolný, 1997). Do potravních řetězců vstupují totiž kovy velmi složitě, proměnlivě, a navíc vzájemně propojované jak vnějšími, tak vnitřními vztahy organismů (Bartošová a Povolný, 1997). Žížaly jsou součástí potravního řetězce střevlíkovitých (Carabidae) i mnohých obratlovců (rejsci, krtci), kteří mohou být touto cestou zatíženi cizorodými prvky. Predátoři žížal přijímají kovy v dávkách přesahujících přípustný příjem pro člověka (Kula a Švarc, 2011). Bartošová a Povolný (1997) uvádí za nesporné, že širší oblast střední Evropy je postižena (a to zřejmě dlouhodobě) přítomností těžkých toxických kovů a jde v podstatě o dlouhodobý dopad. Žížaly mají velmi tenkou pokožku a jsou proto citlivé na rychlé změny iontové koncentrace (např. amoniaku a dusičnanů) v půdním roztoku. I nízké koncentrace těchto látek mohou být pro žížaly nepříznivé (Pommeresche a kol., 2010).

Jak uvádí Pižl (2004) volba vhodného managementu vedoucího k zachování kvality travinných ekosystémů a optimalizaci jejich mimoprodukčních funkcí je prioritním problémem v mnoha regionech. Studie Fonteho et al. (2012) hodnotila dopady měnicích se lesních porostů na obhospodařované zemědělské plochy v tropech. Výzkum prokázal, že rozšiřování těchto ploch má vliv na půdní faunu a osídlování půdy žížalami. Jejich zjištění dále naznačují, že převod lesa na zemědělské oblasti mohou mít velký dopad na ukládání důležitých látek v půdě a narušováním organické hmoty a tudíž narušováním přirozeného výskytu žížalovitých v půdě. Další výzkum provedl Pižl (2004), kdy porovnává tři studie (Vliv různého způsobu hospodaření na společenstva žížal travinných ekosystémů) zaměřené na antropogenní vlivy působící na žížalovité v oblastech České republiky. První studie je založena na výsledcích terénního experimentu, ve kterém byl sledován vliv mulčování

a hnojení na společenstva žížalovitých horské louky ve východní části Krkonošského NP. Ve srovnání s kosenými plochami byly na plochách mulčovaných zjištěny vyšší hodnoty abundance žížal jak ve hnojených, tak i v nehnojených variantách. Diversita žížal však nebyla změnou managementu nikterak dotčena. Ve druhé studii byl sledován dopad přechodu od kosení k mulčování či ponechání ladem horské louky v NP Šumava. Na rozdíl od předchozí studie, vedla změna hospodaření k poklesu abundance žížal a změnám ve struktuře jejich společenstev. Třetí studie se zabývala dopadem pastvy na společenstva žížal květnatých luk v CHKO Bílé Karpaty. Srovnání kosených a pasených ploch prokázalo negativní dopad pastvy na diversitu společenstev žížal, spočívající především v eliminaci povrchových (epigeických) druhů. Na některých plochách došlo vlivem pasení i k průkazné redukci celkové abundance a biomasy žížal.

Utuzování půdy působí negativně jak na žížaly a další půdní organismy, tak např. i na kořeny rostlin. Proto je vhodné plánovat pojezdy po zemědělsky využívané půdě pouze tehdy, když je půda dostatečně suchá. Dále je vhodné používat co nejlehčí agrotechniku. Orba a ostatní technologie zpracování půdy ovlivňují rozklad a přístup organického materiálu pro žížaly i organismy. Např. použití frézy (rotační cepový kultivátor, který půdu kypří, ale neobrací jako pluh) může v lehčí půdě snížit populaci žížal až o 60 – 70 %. Čím více je prováděna orba a čím více je půda mechanicky zpracovávána, tím více žížalích chodbiček a kokonů je zničeno. Tím jsou abundance i druhová diversita žížal podstatně snižovány (Pommeresche a kol. 2010).

4 Závěr

Cílem této bakalářské práce Půdní fauna v antropogenně zatížených půdách bylo poskytnout podrobný popis jednotlivých půdních organismů, objasnění pojmu antropogenní půda a shrnutí poznatků o vlivu takto zatížených půd na zde žijící faunu. Tento cíl byl splněn.

Bylo zjištěno, že lidská činnost velmi ovlivňuje společenstva půdní fauny. Negativní dopady mají pesticidy, organická hnojiva, zemědělské mulčování, působení těžkých kovů, které pronikají do těl organismů a jsou pro ně toxické, okyselování půd, vápnění apod. Ani antropozemě nepřispívají svým rekultivačním plánem k vhodnému znovuoživení zasažených oblastí. Regenerace takto zasažených krajín je složitá a mnohdy časově náročná. V mnohých případech zasažením do společenstev antropogenními vlivy dochází ke snížené abundanci, ke změnám struktury společenstva, či snížení druhové diversity. Antropogenní vlivy mají velký dopad na ukládání důležitých látek v půdě a narušují organickou hmotu, čímž mohou narušit přirozený výskyt půdních organismů.

Půdní organismy mají v půdě důležitý význam, například při přeměně složitých organických sloučenin do forem přijímaných rostlinami, vytvářejí půdní profil, jsou bioindikátory těžkých kovů, půdní acidity, napomáhají procesu mineralizace i humifikace a mnoho dalších. Neméně důležitý význam půdních organismů je jejich pozice v potravním řetězci.

Při zpracování tématu jsem získala mnoho informací z oblasti půdní fauny a faktorů, které ji ovlivňují. A domnívám se tedy, že člověk by se měl více zaměřovat na zásahy, kterými přispívá každým dnem do přírodních ekosystémů, resp. na jejich dopady. Dnes se již publikují výsledky dlouhodobých studií z oblasti regenerace postižených krajín antropogenní činností. Díky striktnímu dodržování a hledání alternativních metod k zachování diversity nejen půdních faun, bude snad člověk schopen snížit dopady a následky, které za sebou svou činností zanechává.

5 Seznam použité literatury

- Allison, F. E., 1973. Soil Organic Matter and its Role in Crop Production. Elsevier scientific publisher company. Amsterdam. 637 s. ISBN: 0-444-41017-1
- Anderson, J. P. E. and K. H. Domsch, 1973. Quantification of bacterial and fungal contributions to soil respiration. Springer-Verlag. 113-127.
- Bartošová, M., Povolný D. 1997. Obsah Těžkých kovů v modelových skupinách berozbratých. Vesmír 79. 503.
- Bryja, J., Zukal, J., Sborník abstraktů konference 12-13. února 2004, Zoologické dny Brno 2004. Ústav biologie obratlovců AV ČR. Brno. 232 s. ISBN: 80-903329-1-9
- Buchter, M. 2012. Zakládáme a udržujeme ekozahradu. Grada Publishing, a.s. Praha. 120 s. ISBN: 978-80-247-4280-9
- Čermák, P., Janouch, B., Kuráž, V., Kostková, A., Mimra, A., Ondráček, V., Váška, J., Vrba, F. 2006. Rekultivace antropozemí výsypek severočeské hnědouhelné pánve. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. Praha. 54 s. ISBN: 80-239-8078-5
- Dimitrovský, K., Vesecký, J. 1989. Lesnická rekultivace antropogenních půdních substrátů. Ministerstvo lesního a vodního hospodářství a dřevozpracujícího průmyslu ČSR ve Státním zemědělském nakladatelství. Praha. 136 s. ISBN: 80-209-0043-8
- Fonte, S. J., Barrios, E., Six, J. 2010. Earthworms, soil fertility and aggregate-associated soil organic matter dynamics in the Quesungual agroforestry system. TSBF Institute of CIAT, Cali, Colombia. Article published in Geoderma (2010). 155.320-328
- Hopkin, S., P. 2002. COLLEMBOLA. Encyclopedia of Soil Science. Marcel Dekker. United Kingdom. 207-210
- Hudec, K., Kolibáč, J., Laštůvka, Z., Peňáz, M. (eds.) 2007. Příroda České republiky - Průvodce faunou. Academia. Praha. 440 s. ISBN: 978-80-200-1569-3

- Ingham, E. R., Moldenke, A.R., Edwards, C.A. 1999. Soil Biology Primer. NRCS. A1-H1 s.
- Jech, D., Sojková, E., Šálková, I. Polyfunkční systém trvalé zeleně v krajině. VÚKOZ Pruhonice [online]. 1999 [cit. 2013-03-31]. Dostupné z http://landscape.hyperlink.cz/stz/uvod_soubory/slide0002.htm >
- Jonáš, F. 1986. Rekultivace devastovaných půd. Vysoká škola zemědělská Praha. Tiskařské závody, n.p., Příbram. 156 s.
- Kalina, M. 2005. Hnojení v zahradě. Grada Publishing, a.s. Praha. 120 s. ISBN: 802471275X
- König, H., Varma, A. 2006. Intestinal Microorganisms of Termites and Other Invertebrates. Springer. Germany. 484 s. ISBN:1613-3382.
- Kula, E. Lesy České republiky, s.p., Hradec Králové. Půdní a epigeická fauna stanovišť ovlivněných vápněním a její dynamika. Brno. [online]. červen 2007. [cit. 2013-03-31]. Dostupné z http://www.lesy.cz/odborne-rady/granty-a-dotace/Documents/pudni_fauna.pdf >
- Kula, E., Švarc, P. 2011. Folia universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis. Mendelova univerzita v Brně. 99 s. ISBN: 978-80-7375-482-2
- Kunst, M. 1971. Nadkohorta pancířníci – Oribatei. In: Daniel, M., Černý V., (eds.): Klíč zvířeny ČSSR. Praha. Československá akademie věd. díl IV: 531- 580
- Laštůvka, Z., Gaisler, J., Krejčová, P., Pelikán, J. 2004. Zoologie pro zemědělce a lesníky. Konvoj. Brno. 264 s. ISBN: 80-7302-065-3
- Lee, K., E., 1985. Earthworms (Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use). Academic press (Harcourt Brace Jovanovich, Publishers), Sydney, Orlando, San Diego, New York, London, Toronto, Montreal, Tokyo. 411 s. ISBN: 0 12 440860 5
- Losos, B., Gulička, J., Lellák, J., Pelikán, J. 1984. Ekologie živočichů. Státní pedagogické nakladatelství. Praha. 320 s. ISBN: 14-174-85

Novotná, J., Sixta, J. 2009. Rekultivace jako nástroj obnovy funkce vodního režimu po povrchové těžbě hnědého uhlí. Problematika půd (návaznost na V004 a V005). 52 s.

Pižl, V. 2002. Žížaly České republiky. Přírodovědný klub v Uherském Hradišti. 154 s. ISBN: 80-86485-04-8

Pižl, V. 2004. In: Bryja, J., Zukal, J., Sborník abstraktů konference 12-13. února 2004, Zoologické dny Brno 2004. Ústav biologie obratlovců AV ČR. Brno. 232 s. ISBN: 80-903329-1-9

Pommeresche, R., Hansen, S., Løes, A., K. 2010. Žížaly a jejich význam pro zlepšování kvality půdy. Bioinstitut. Olomouc. 23 s. ISBN 978-80-87371-02-2

Rangaswami, G., Bagyaraj, D. J. 2004. Agricultural Microbiology, Prentice-Hall of India. New Delhi. 442 s. ISBN: 81-203-0668-6

Rosypal, S. (eds). 2003. Nový přehled biologie. Scietia, spol. s.r.o. Praha. 824 s. ISBN: 80-7183-268-5

Schlöter, M., O. Dilly, and J.C. Munch. 2003. Indicators for evaluating soil quality. Agriculture Ecosystems & Environment. 255-262.

Smrž, J., Horáček, I., Švátora, M. 2004. Biologie živočichů. Fortuna. Praha. 207 s. ISBN: 80-7168-909-2

Starý, J, Pancířníci (Araci: Oribatida) Šumavy a Krkonoš. [online]. 2008.[cit. 2013-02-26]. Dostupné z <www.infodatasys.cz/biodivkrsu/reserseOribatida.pdf>

Starý, J. Matějka, K. Pancířníci (Acari: Oribatida) vybraných lokalit horských lesů na Šumavě. [online]. 2008. [cit. 2013-23-03]. Dostupné z <http://www.infodatasys.cz/biodivkrsu/rep2007_Oribatida.pdf>

Voštová, V., Růžička, M. 2000. Povrchová těžba a optimální rekultivace. IUAPPA Praha. 191-193.

Vráblíková, J., Vráblík, p. 2000. Vliv antropogenní činnosti na agroekosystém severních Čech. Fakulta životního prostředí Univerzita J. E. Purkyně, Ústí n. L. IUAPPA Praha. 194-196.

Wall, D. H., Bardgett, R. D., Behan-Pelletier, V., Herrick, J. E., Jones, T. H., Ritz, K., Six, J., Strong, D. R., Van der Putten, W. H. 2012. Soil Ecology and Ecosystem Services. Oxford university Press. United Kingdom. 424 s. ISBN: 978-0-19-957592-3