

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta životního prostředí
Katedra plánování krajiny a sídel

Výskyt a složení populací žížal na rekultivovaných a
nerekultivovaných výsypkách na Sokolovsku

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Mgr. Alena Walmsley Ph.D.

Bakalantka: Alena Křenková

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Alena Křenková

Environmentální vědy
Aplikovaná ekologie

Název práce

Výskyt a složení populací žížal na rekultivovaných a nerektivovaných výsypkách na Sokolovsku

Název anglicky

Composition of earthworm populations on reclaimed and unreclaimed spoil heaps in the Sokolov region

Cíle práce

- Prozkoumat druhové složení populací žížal na plochách se spontánní sukcesí a na různě starých rekultivovaných plochách na Sokolovských výsypkách.
- Zhodnotit výskyt jednotlivých druhů v závislosti na druhovém složení porostů

Metodika

Rešerše literatury z předchozího výzkumu na výsypkách.

Sledování výskytu půdní makrofauny pomocí ručního výběru z půdních sond.

Statistická analýza abundance a druhového složení žížal.

Zhodnocení vlivu jednotlivých druhů dřevin a typ výsypky na výskyt žížal.

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran

Klíčová slova

žížaly, výsypky, sukcese, rekultivace

Doporučené zdroje informací

- Frouz, J., D. Elhottová, V. Kuráž, and M. Šourková. 2006. Effects of soil macrofauna on other soil biota and soil formation in reclaimed and unreclaimed post mining sites: results of a field microcosm experiment. *Applied Soil Ecology* 33:308-320.
- Frouz, J., K. Prach, V. Pižl, L. Háněl, J. Starý, K. Tajovský, J. Materna, V. Balík, J. Kalčík, and K. Řehounková. 2008. Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites. *European Journal of Soil Biology* 44:109-121.
- FROUZ, J. *Soil biota and ecosystem development in post mining sites : e-book – 3 současné přístupy*. Boca Raton ; London ; New York: CRC Press, 2014. ISBN 9781466599338.

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FŽP

Vedoucí práce

Mgr. Alena Walmsley, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra plánování krajiny a sídel

Konzultant

Pavla Vachová

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2021

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 3. 3. 2021

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 29. 03. 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Mgr. Aleny Walmsley Ph.D. a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes univerzitní informační systém.

V Praze dne 30.03.2021

.....

Poděkování

Ráda bych poděkovala hlavně své vedoucí bakalářské práce Mgr. Aleně Walmsley Ph.D., neboť si našla čas kdykoliv to situace dovolovala, a i přes velkou vzdálenost a další překážky, mne zvládala vést. Dále bych chtěla poděkovat všem co mi, jakkoliv pomohli v souvislosti se psáním práce.

V Praze dne 30.03.2021

.....

Abstrakt, klíčová slova

Klíčová slova:

Půdní makrofauna, výsypky, sukcese, rekultivace

Keywords:

Soil macrofauna, dump, succession, restoration

Abstrakt:

Abstrakt česká verze:

Zaměřila jsem se na početnost žížal v půdě na rekultivovaných a nerektivovaných výsypkách, po těžbě hnědého uhlí na Sokolovsku. Konkrétněji na Velkou Podkrušnohorskou výsypku a její části, výsypku Matyáš a Výsypku u Vintířova. Hledala jsem souvislosti mezi vegetací výsypek a zdali tato vegetace ovlivňuje početnost žížal. Danou problematiku jsem řešila pomocí statistické analýzy na základě zobecněného lineárního modelu, kde jsem zahrнула veličiny, jako početnost žížal, druh žížal, typ vegetace a typ výsypky (rekultivovaná x nerektivovaná). Data byla získána pomocí půdních sond a poté zpracována v programu Rstudio. Výsledky statistické analýzy neprokázaly významné vztahy mezi typem výsypky a početností půdní makrofauny, což bylo způsobeno nedostatkem dat z výsypek, které byly ponechány spontánní sukcesi, ku poměru dat z výsypek rekultivovaných. Statistická analýza dále prokázala souvislosti mezi typem vegetace a počtem jedinců, kdy výrazně vyčnívaly lokality s porosty s olše, následované porosty s dubem. Na základě zjištěných údajů je možné se domnívat, že rekultivace, která na těchto lokalitách proběhla, jako srovnání povrchu a vysazení stromů, měla vliv na budoucí početnost žížal a celkově makrofauny, hlavně v tom smyslu, že záleží na druzích stromů, které se na výsypku vysází. Význam práce spočívá ve zpracování dat získaných osobním sběrem na výsypkách.

English version of abstract:

This thesis analysis the abundance of soil earthworms on both reclaimed sites and sites left to spontaneous development in post brown coal mining sites near Sokolov. Specifically – big spoil heap under the Ore Mountains and its parts, spoil heap Matyáš and spoil heap near the town of Vintířov. The connection between spoil heaps' flora and the abundance of macrofauna was analyzed using a statistical method based on a generalized linear model, variables such as the abundance of macrofauna, species of macrofauna, type of vegetation, type of spoil heap (recultivated x left to spontaneous development) were used. The data were collected by taking soil samples and analyzed using Rstudio. The statistical analysis did not show a significant correlation between the type of spoil heap and the abundance of macrofauna. This might have been due to the fact that the count of samples from sites left to the spontaneous succession was significantly lower than from the recultivated sites. Statistical analysis further showed a correlation between the type of vegetation and the abundance of macrofauna, especially strong correlation was at sites afforested by alder, followed by sites afforested by oak. Based on the collected data, a visible connection between the abundance of macrofauna and the species of tree used for afforestation of the recultivated sites exists. The contribution of this thesis lies in the analysis of different earthworm species.

Obsah

Abstrakt, klíčová slova.....	1
Klíčová slova:	1
Keywords:	1
Abstrakt:.....	1
Abstrakt česká verze:	1
English version of abstract:.....	1
1 Úvod	3
2 Cíle práce	3
3 Literární rešerše	4
3.1 Půda všeobecně	4
3.2 Výsypky a úskalí post těžební krajiny	5
3.3 Rekultivace výsypek.....	6
3.4 Výsypky fauna.....	7
3.5 Žížaly.....	8
3.5.1 Obecně o žížalách	8
3.5.2 Způsob života žížal, rozdělení druhů, které byly nalezeny v půdních sondách	8
4 Charakteristika studijního území	12
4.1 Popis území	12
4.2 Lokality	13
4.2.1 Sběr dat z roku 2017-lokality	14
4.2.2 Sběr dat z roku 2018-lokality	15
5 Metodika	16
5.1 Půdní sonda postup.....	16
5.2 Statistická analýza	17
5.2.1 Statistická analýza 2017	17
5.2.2 Statistická analýza 2018.....	19
6 Výsledky.....	21
6.1 Grafy 2017.....	21
6.2 Grafy 2018.....	26
6.3 Výsledky, druhy žížal shrnutí.....	29
6.4 Výsledky, statistická analýza.....	29
7 Diskuze	30
8 Závěr a přínos práce.....	32
9 Citovaná literatura.....	32
9.1 Seznam obrázků a grafů	34

1 Úvod

Hnědé uhlí je jedna z nejdůležitějších surovin energetického významu pro Českou republiku. Jeho těžba na Sokolovsku přinesla značnou změnu charakteru krajiny. Už před samotnou těžbou byla krajina na tomto území sice výrazněji členitá, ale těžba přinesla do této oblasti nový krajinný prvek, kterým jsou výsypky (Stavinoha, 2010). Jelikož se jedná o nasypání substrátu, který předtím nebyl kolonizován žádným druhem, vznikají tak místa, kde se může odehrát primární sukcese. Mohou se zde realizovat druhy, které hůře odolávají konkurenčním druhům, nebo druhy, které jsou vázány na raná stadia sukcese (Frouz J., 2007).

Substrát na výsypkách, na rozdíl od půdy, nemá horizonty a další aspekty, které dělají půdu, půdou. Živiny jsou zde nedostatkové a vsakování vody se řešilo technickými opatřeními. Výsypky, se začleňovaly do krajiny technickými a následně biologickými rekultivacemi. Tyto úpravy pomohly s vodním režimem a uchycením rostlin. V průběhu času se na výsypkách vytvořila vrstva opadu, která se postupně, činností mikroorganismů a makrofauny přeměnila v humusový horizont. Není důležité, jestli byl porost na výsypku uměle vysázen, nebo byl výsledkem sukcese, opadovou vrstvu vytvořily oba typy lokalit. Na zájmovém území se vysadily olše, duby, smrky, borovice, modřiny a lípy. Některé lokality na výsypkách byly ponechány sukcesí, zde se vyskytovaly dřeviny jako vrba jíva a bříza bělokorá. Mimo ovlivnění tvorby půdy, stromy ovlivňovaly i druhové složení fauny a flory (Frouz, a další, 2001). Rychlejší vývoj vegetace vykazovaly lokality, kde byly provedeny rekultivace. Ovšem tento trend se po čase obrátil a lokality se spontánní sukcesí pokračovaly ve vývoji dále, zatímco vývoj na rekultivovaných se zastavil. Ve starších stádiích se objevovalo v lokalitách se sukcesí i 2x více druhů, než u lokalit s rekultivací (Hodačová, a další, 2003).

Půdotvorné procesy na výsypkách ovlivňuje nejen vegetace, ale i přítomní živočichové. Tato práce je zaměřena konkrétně na žížaly, které jsou součástí makrofauny a podílí se na vývoji půdy. Rychlost pedogeneze, mineralizace a dalších procesů substrátu, probíhá rychleji na lokalitách, kde jsou přítomny žížaly (Pižl, 2002). Početnost a druhové složení žížal se na výsypkách na Sokolovsku liší. Jelikož jsou zde různé druhy vegetace, není početnost a druhové složení žížal stejné na všech lokalitách. Nejvíce druhů a nejvyšší abundance byla zaznamenána na lokalitách, kde byla vysázena olše. Z opadu olší se tvoří silná vrstva opadu, která je vhodnou potravou pro žížaly (Frouz, a další, 2013). Plochy s olší představují rekultivované plochy. Lokality, kde rostly břízy, jsou výsledkem spontánní sukcese.

2 Cíle práce

Cílem práce bylo zjistit, jaké je druhové složení a abundance populací žížal v jednotlivých porostech na výsypkách. Lokality na výsypkách byly dvojího druhu a to ty, které prošly technickou a biologickou rekultivací a ty, na kterých proběhla spontánní sukcese. Na obou typech porostu bylo zkoumáno, jestli je spojitost mezi dominantní dřevinou na lokalitě a výskytem druhů žížal a jejich početnost.

3 Literární rešerše

3.1 Půda všeobecně

Půda je nejsvrchnější vrstvou zemského pláště, je jedním z hlavních zdrojů pro lidstvo. V půdě nalézáme nerostná bohatství, prostor pro naše obydlí, silnice a další stavby, které mají pevný základ. Je domovem velkého množství živočichů, rostlin, a to nejen těch, kteří žijí přímo v půdě. Krom výše uvedených benefitů, co půda přináší by se hodilo říct, že půda je především zdrojem potravy. V dnešní době vnímáme půdu jako prostředek pro pěstování naší obživy a posuzujeme její úrodnost. Úrodnost by se dala shrnout, jako soubor fyzikálních, chemických, fyzikálně-chemických, biologických a dalších vlastností. Tyto vlastnosti určují, jestli je půda schopná poskytovat vhodné životní podmínky pro rostliny žijící na povrchu a půdní faunu a flóru žijící přímo v půdě neboli edafon. V souvislosti s úrodností se rozlišuje úrodnost potenciální, která je dána přirozenými vlastnostmi půdy a je to schopnost poskytovat úrodu bez zásahu člověka. Mezi tyto zásahy počítáme meliorace, což jsou úpravy vodního režimu půd nebo obyčejné hnojení. Druhou kategorií je úrodnost umělá, kdy jsou půdy upraveny člověkem již zmíněnými melioracemi, hnojením, či jen strategickým střídáním rostlin. (Pavlů, 2018)

Dalšími funkcemi, kterými půda disponuje, je například schopnost zadržovat, filtrovat a přeměňovat přírodní i antropogenní látky. Mezi přírodní látky, které je schopna půda zadržet patří uhlík, dusík, které mimo jiné tvoří organickou hmotu. Dále je schopna zadržet živiny v podobě organické hmoty. Látky antropogenního původu, které se váží na půdu mohou být hnojiva, pesticidy a kontaminanty, což jsou látky, které znečišťují půdu (Pavlů, 2018). V zemědělství se v současné době používá příliš mnoho chemie, jako jsou pesticidy, herbicidy a další přípravky na hubení plevelů a škůdců. Tyto látky kumulují v půdě a zabíjí i jinou půdní faunu a flóru. K hubení edafonu přispívá i těžká mechanizace zemědělství (Rusek, 2009). Rozkladnými procesy v půdě se rozkládá odumřelá biomasa a z ní se následně uvolňují živiny, dostupné pro organismy. Půda je schopná tvořit stabilní humusové látky, které zajišťují sekvestraci uhlíku. Půda je nedílnou součástí koloběhu vody na Zemi a sama o sobě zadržuje velké množství vody (Pavlů, 2018).

Půda se skládá ze tří základních složek a to pevné, kapalné a plynné. Pevné části rozdělujeme dále na organické a anorganické. Anorganická část půdy je složená ze zvětralých částí matečné horniny. Části matečné horniny nabývají různých velikostí. Na základě velikostí těchto částí rozdělujeme několik půdních druhů, jako je písek, prach a jíla. U písku jsou částice ve velikosti od 0,05 do 2 mm, jíla má částice mají částice velikost do 0,002mm a u prachu je velikost v rozpětí 0,002-0,05 mm. Kromě těchto částí, které tvoří takzvanou jemnozemi, máme ještě skelet. Skelet je tvořen částicemi jako je hrubý písek, štěrky, kamení a balvany. Velikost těchto jednotlivých složek skeletu jsou u hrubého písku od 2 do 4 mm, u štěrku 4-30 mm, kamení jsou částice větší než 30 mm a u balvanů to jsou částice, které jsou větší než 300 mm. Příklady půdních druhů: Písek, hlinitý písek, hlína, prachovitá hlína, prachový jíla (Mentlík, 2003).

Vedle půdních druhů určujeme i půdní typy. Těmi hlavními v České republice jsou černozemě, hnědozemě, šedozemě, gleje, pseudogleje, podzoly a další. Nejúrodnější půdou z výše zmíněných je černozem, ty se v České republice nachází v nejteplejších a nejsušších oblastech. Matečnou horninou u černozemí jsou spraše, slíny, vápnité terciální jíly, či vápnité písky. V současnosti jsou černozemě využívány, pro svou úrodnost, k zemědělským účelům. Humusový horizont u černozemí může dosahovat mocnosti od 60 do 80 cm. Další velmi rozšířeným půdním typem jsou hnědozemě, které vznikaly pod dubo-habrovými lesy. Tyto půdy vznikaly na spraši, sprašové hlíně a polygenerické hlíně, což jsou nezpevněné sedimenty. Hlavním půdotvorným procesem je ilimerizace, což je mechanický přesun jílových částic prosakující vodou z horní části půdy do spodní. Oproti černozemím mají hnědozemě menší mocnost humusového horizontu. Ilimerizované půdy se nacházejí hlavně na vrchovinách a pahorkatinách, vznikaly pod doubravami a bučinami, které mají kyselý opad. Matečným substrátem jsou sprašové hlíny, smíšené svahoviny a další (Mentlík, 2003).

3.2 Výsypky a úskalí post těžební krajiny

Nejen zemědělský průmysl je pro půdu náročný, dalším závažným zásahem do krajiny je povrchová těžba nerostných surovin. Při tomto procesu se odhalí těžená surovina a horní vrstva půdy je odstraněna. Odstraněná zemina, která neobsahuje těžbou surovinu, se nazývá hlušina. Hlušina je následně soustředěna na místo, kde se hlušina odkládá, tomuto místu říkáme výsypka. Výsypky mají velmi různorodé složení a často se stane, že vrstvy, které byly původně v hlubších vrstvách, se vyskytují na povrchu. Složení substrátu na výsypkách bývá často nestandardního charakteru, mohou obsahovat těžké kovy, extrémní hodnoty pH nebo jiné. Vzhledem k čerstvosti návozu může být tento substrát i velmi chudý na živiny (Bradshaw, 2000).

Složení vegetace na výsypkách může být různorodé, je ovlivněno hlavně tím, jestli výsypka byla nebo nebyla rekultivovaná. Pokud byla výsypka ponechána sukcesi, vegetace bude složená z druhů, které rostou v okolí. Nejdříve se prosadí pionýrské, které obývají plochy nejdříve. Jsou to druhy, které jsou světlomilné, velmi rychle a efektivně se množí, vytváří velké množství semen. Tyto druhy nedokáží příliš konkurovat ostatním dřevinám, takže v pozdější fázi sukcese postupně ustupují ve prospěch konkurenčně silnějším druhům. Půda je po pionýrských druzích ideálně připravena pro další dřeviny, neboť jejich opad a rozklad jejich částí zprostředkovaly do půdy živiny (Odum, 1977).

Hlavním rozdílem mezi půdou a substrátem z těžebních oblastí je to, že půda se skládá z horizontů. Jednotlivé horizonty se formovaly půdotvornými procesy z matečné horniny. Liší se mezi sebou různou barvou, zrnitostí, různým obsahem chemických látek a dalšími faktory. Horizont, který je na povrchu půdy označujeme jako A horizont. Tento horizont má nejvíce živin v podobě humusu, v tomto horizontu se také nejvíce projevuje aktivita půdního edafonu. Dalším horizontem je horizont B, kde se hromadí látky, které se uvolní z horizontu A. Horizont C představuje matečnou horninu. Je to výchozí materiál, ze kterého všechny horizonty vznikly. Vespod těchto vrstev je horizont D, nachází se pod horizontem C a nepodílí se na půdotvorných procesech (Smolíková, 1988). Kromě těchto základních horizontů, můžeme stávající horizonty dále dělit. Nad horizontem A se někdy vyskytuje horizont O, ten je rozdělen na dva subhorizonty, kdy v O1 můžeme pozorovat nerozložené zbytky rostlin a

živočichů, patrné pouhým okem. V horizontu O2 tyto zbytky nejsou (Brady , 1974). Subhorizont O1 označujeme jako fermentační vrstvu (Frouz, a další, 2008).

Velmi vhodnými dřevinami pro lesní rekultivaci se jeví olše. Lokality s výsadbou olše měly díky svému opadu rychlý nárůst živin, konkrétně uhlík a dusík. V porovnání s olšovým lesem, který rostl mimo výsypku, měly sice tyto rekultivované lokality po 40 letech stále horší poměry v půdních profilech, ale rozdíl činil kolem 26 %. Nejrychlejší vývoj byl u výsypek zaznamenán po 15 letech, posléze se akumulace živin postupně snižovala. Mohlo za to zmenšení Oe vrstvy, což je horní vrstva půdy, kde jsou pouhým okem patrné zbytky rostlin a živočichů. Po cca 15 letech se měnil rostlinný kryt, do té doby zde byla nejvíce zastoupena tráva *Calamagrostis epigejos*, což mohlo způsobit úbytek této vrstvy (Šourková, a další, 2005). Dalším poznatkem v této oblasti je fakt, že *Calamagrostis epigejos* dominovala v porostech, kde byly velmi vhodné půdní podmínky. Jedná se o konkurenčně schopný druh, který vytlačil většinu ostatních druhů (Mudrák , a další, 2010). Úbytek Oe vrstvy mohlo mimo jiné způsobit i to, že se na daných lokalitách již nacházelo dostatek makrofauny, konkrétně žížal, které byly schopné organický materiál z této vrstvy roz distribuovat do dalších vrstev substrátu (Frouz, a další, 2001).

I přes tato úskalí a nepříliš vhodnému složení substrátu, je příroda schopna tyto lokality obnovit přirozenými regeneračními procesy v průběhu času. Při vhodných podmínkách je možné, aby vrstva organicko-humusová stoupla na 5-15 cm během 30 let. To platí i u výsypek, které byly rekultivovány pouze upravením povrchu a následným vysázením stromů, či na výsypkách, které nebyly upraveny vůbec (Frouz, a další, 2009) Vše záleží na mnoha faktorech, jako je přítomnost půdní makrofauny nebo jestli byla výsypka rekultivována. Lokality, kde neproběhla technická rekultivace mají velký potenciál, aby zde vzniklo společenstvo živočichů a rostlin, které bude druhově bohaté a na rozdíl od lokalit s technickou rekultivací, nebudou tak náchylné na kolonizaci nepůvodními a invazivními druhy (Hendrychová, 2008). Dalším logickým faktorem je vzdálenost výsypky od ploch nezasazených těžbou. Druhy, které jsou v oblasti, ve které neproběhla těžba, později kolonizují nové prostředí, které se vytvořilo navezením výsypky. Platí, že čím budou plochy s faunou a florou vzdálenější, tím bude kolonizace pomalejší. Například žížaly jsou schopny za rok kolonizovat jen plochu v řádech metrů (Nová, 2018). Některé druhy žížal se dostaly na výsypky spolu se stromy, které zde byly vysazovány (Pižl, 2001). Rekultivace výsypek nemusí probíhat jen za přímého přispění člověka. Výsypky, které zarostou pomocí náletů, jsou stejně hodnotnými ekosystémy, jako je tomu u biologicky rekultivovaných lokalit. Druhové složení stromů rostoucích na jednotlivých lokalitách má velký vliv na druhy rostlin, tvořících podrost. Druhy stromů ovlivňují složení podrostu nejen svým opadem, ale i zastíněním (Mudrák , a další, 2010).

3.3 Rekultivace výsypek

Dle zákona §31 č. 44/1988 sb. je povinnost, aby se krajina zasažena těžbou obnovila. Tato obnova se provádí pomocí rekultivací a dalších asanačních prací. Každý subjekt před zahájením těžby, musí vytvářet finanční rezervu pro tyto účely.

Rekultivace se dělí na dvě fáze:

a) Rekultivace technická

Technická rekultivace zahrnuje takové úkony jako je zarovnání povrchu, odvodnění, zajištění proti erozi atd.

b) Rekultivace biologická

Jedná se o konečnou fázi rekultivace technické, mohou být lesnické, vodohospodářské, sadovnické, zemědělské atd. (Smolík, a další).

3.4 Výsypky fauna

Kolonizace výsypek má pozvolný průběh. Nejdříve se hromadí opad z přítomných rostlin a živočichů. Záleží, zda na výsypce proběhla rekultivace nebo byla ponechána spontánní sukcesi. Na výsypce, kde proběhla biologická rekultivace vysazením lesa, již budou přítomny stromy, díky jejich opadu zde bude více organické hmoty. Hustota půdní makrofauny zde byla vyšší než u nerektivovaných ploch. Naproti tomu nerektivované plochy, kde nejsou přítomny stromy nebo jsou kolonizovány např. travinami, nemají v prvních stádiích vývoje organické hmoty takové množství. Nicméně organická hmota na obou typech stanovišť je za pomoci kombinace fyzikálních, chemických a mikrobiálních procesů rozložena za pomoci mesofauny (Frouz, a další, 2007). Čím starší je výsypka, tím více mikrobiomasy na ní je, což platí u obou typů výsypek. Tato skutečnost poukazuje i na to, jak je na lokalitě vyvinutá půda (Helingerová, a další, 2010). Do mesofauny patří např. roupice, chvostokoci, roztoči a další. V pozdějších letech od navedení výsypky se podíl makrofauny zvětšuje. Se zvětšující se makrofaunou roste i vrstva jejich exkrementů smíšená s opadem stromů. Vzniká fermentační vrstva, která ležela na původní vrstvě půdy. Větší vrstvu výkalů na výsypkách starých dvacet let měly ty, které neprošly biologickou rekultivací a byly ponechány spontánní sukcesi. I přes to, že se na lokalitách se spontánní sukcesí vyskytovalo méně jedinců *chilopoda*, larev *diptera*, než na lokalitách rektivovaných a na nichž bylo jedinců těchto druhů více. Hustota makrofauny se v pozdějších letech na nerektivovaných výsypkách zvýšila, ale objem fekálií se zmenšil. Tento efekt byl způsoben tím, že lokalitu postupně osídlily žížaly a substrát byly schopny promíchat. Z toho vyplývá to, že nezáleží jen na počtu producentů, kteří vytvářejí vrstvy, ale i na počtu jedinců, kteří tuto vrstvu rozrušují v tomto případě na žížalách (Frouz, a další, 2007). Důležitostí žížal spočívá v jejich činnosti v půdě, žížaly se živí organickými látkami, které přijímají spolu se zeminou. Tato směs projde jejich trávicím traktem a složité organické látky se díky tomu rozloží na jednodušší, tyto látky jsou pak lépe dostupné pro další konzumenty. Chodby, které žížaly hloubí jsou také velmi důležité pro půdu, neboť přispívají k provzdušňování a zadržování vody v půdě. Žížaly přispívají k promíchávání substrátu, kdy se organické látky z povrchu dostávají do větších hloubek, což zajišťují hlavně anektické druhy. Rychlost mineralizace a dalších procesů je rychlejší na půdách s žížalami (Pižl, 2002).

Co se týče ostatních živočichů, jsou na tom výsypky velice dobře. Vyskytuje se zde celá řada druhů, a to dokonce ohrožených, či vzácných. Velmi hojně se na výsypkách objevují obojživelníci, kterým vyhovuje struktura výsypek, zvláště, když se zachovala stejná struktura, jako po navedení hlušiny. Je zde mnoho prohlubní a mělkých mokřadů, které obojživelníci potřebují ke svému životu. Mají zde ideální podmínky pro rozmnožování a nejsou ohrožení rybami, kterých je v ostatních vodních plochách

nadmíru. Z druhů, které se na výsypkách vyskytují si můžeme uvést například blatnici skvrnitou, čolka velkého, obecného a horského, rosničku zelenou a mnoho dalších. Z ptáků se zde vyskytuje například chřástal polní, moudivláček lužní, slavík modráček nebo bělořit šedý. Výsypky jsou ekologicky velmi významné lokality, které v sobě skrývají příležitosti i pro druhy, které jsou konkurenčně slabší, či které jsou vázány na určité fáze sukcese, které v okolní krajině nejsou. Na nerekulitovaných výsypkách je možno najít odhalené stěny, které imitují skály, a to je ideální pro břehuli říční nebo sovu pálenou (Frouz J., 2007).

3.5 Žížaly

Nedílnou součástí půdní makrofauny jsou *lumbricidae*, žížaly, které žijí přímo v půdě. Počet žížalovitých v půdě se v severním mírném pásu pohybuje od 30 do 400 jedinců na m². Exkrementy žížal, které mají ve složení velký obsah jílu a oproti okolí menší poměr písku, patří ke stabilnějším agregátům v půdě (Pižl, 2002).

Žížaly svou činností prorývají půdu, čímž ji provzdušňují a ovlivňují i vodní režim půd. Tím, že jsou v půdě jejich chodby, se voda může držet na více místech a zmírňují tak projevy sucha v sušších měsících. Mimo zlepšování vodního režimu, se mohou žížaly podílet na rychlejšímu rozkladu organického materiálu a celkově přispívají k mísení organického a anorganického materiálu (Smrž, 2013).

3.5.1 Obecně o žížalách

Žížaly jsou živočichové s válcovitým tvarem těla, patří do kmene kroužkoců a spadají do podtřídy máloštětinatců. Štětinky slouží k usnadnění pohybu a na téměř každém článku mají žížaly čtyři páry. V pohybu jim pomáhá i povrch jejich těla, který je pokryt kolagenovou vrstvou a vylučuje slizovátý sekret. Kolagenová vrstva se nesvléká v žádné fázi jejich života. Vysoce prokrvený povrch těla mimo jiné slouží také k dýchání, dýchání probíhá celým povrchem těla. Přibližně v jedné třetině těla se nachází opasek, který slouží k rozmnožování. Žížaly jsou hermafroditní, což znamená, že jedinci mají jak samičí, tak samčí pohlavní buňky. Při rozmnožování si jednotliví jedinci mezi sebou vyměňují samčí pohlavní buňky. Zralá vajíčka se v opasku spojí se spermii od partnera. Opasek po svlečení slouží jako kokon pro vajíčka, která se vyvinou v jedince, kteří jsou podobní dospělým jedincům, vývoj žížal je přímý (Smrž, 2013).

3.5.2 Způsob života žížal, rozdělení druhů, které byly nalezeny v půdních sondách

Žížaly bývají zpravidla půdní živočichové a svůj život tráví v půdě. Žížaly můžeme rozdělit do tří různých kategorií, podle způsobu života, směru vytváření chodeb a dalších faktorů. Konkrétně se jedná o žížaly anektické, endogeické a epigeické.

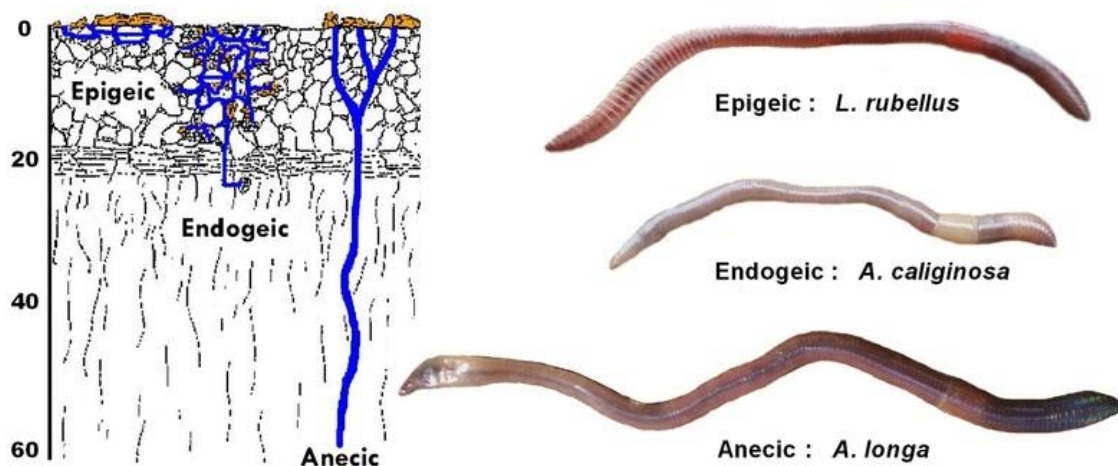


Diagram courtesy of the Science Learning Hub. Figure adapted from Fraser and Boag, photos of earthworms copyright Ross Gray.

Obr. 1 rozdělení žížal dle způsobu života <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/7-niches-within-earthworms-habitat>

3.5.2.1 Anektické druhy žížal:

Hlubinné druhy žížal, vyskytují se v hlubších vrstvách půdy, jsou dlouhověké, dožívají se až dvaceti let. Jejich chodby jsou významným prvkem v půdě, ovlivňují vzdušný a vodní režim půdy a to tak, že zvyšují vsakování vody do půdy a zvyšují kapilaritu půd. Chodby jsou orientovány vertikálně, proto mají dlouhodobý charakter, mají menší tendenci se zbortit. Jejich chodby jsou takto orientovány proto, že v noci vylézají na povrch a zatahují organickou hmotu do hloubky, tím obohacují půdu ve větších hloubkách o organickou hmotu a přispívají k mísení organického materiálu s půdou (Ebl, a další, 2014). Anektické druhy žížal se živí listovým opadem (Cesarz, a další, 2016).

Lumbricus terrestris

Anektický druh žížaly, vyskytuje se na široké škále stanovišť, jako jsou orné půdy, nebo travní společenstva. Dále obývá lesy, především ty listnaté, jehličnaté zřídka a když už, tak jen místně kolem břehů vodních toků. Vyskytuje se i v dalších biotopech s minerální půdou. Obývá i ekosystémy ruderální, či jinak pozměněné člověkem. Jedná se o neutrofilní druh (Pižl, 2002).

Aporrectodea longa

Anektický druh žížaly. Široký areál rozšíření, vyskytuje se například v mokřadech, které mají zásadité pH. Krom zamokřených stanovišť se vyskytuje i na orných půdách, či loukách. Najdeme ho i v listnatých lesích, jejichž opad je zásaditého charakteru. Celkově je tento druh neutrofilní (Pižl, 2002).

3.5.2.2 *Endogeické:*

Endogeické žížaly žijí v menších hloubkách než žížaly anektické. V úrovni jejich chodeb bývá dostatek organické hmoty. Chodby jsou orientovány horizontálně a jsou krátkodobé (Ebl, a další, 2014). Endogeické žížaly se živí organickými látkami v půdě (Cesarz, a další, 2016).

Aporrectodea rosea

Jedná se o endogeický druh žížaly s širokým spektrem výskytu. Hojný v listnatých i smíšených lesích, lužní lesy, louky. Bývá i v orných půdách, dokonce i v technogenních ekosystémech. Je neutrofilní, acidotolerantní, což znamená, že jí vyhovuje kyselé prostředí (Pižl, 2002).

Aporrectodea caliginosa

Endogeický druh. Je to druh, který je schopný přežít i v prostředí, kde jsou výkyvy v podmínkách. Spolu s *Aporrectodea rosea* patří k nejběžněji zastoupeným druhům na stanovištích, jako jsou pole a technogenní půdy. Preferuje neutrální půdy, ale zvládá i půdy kyselejšího rázu (Pižl, 2002).

Octolasion cyaneum

Endogeický druh žížaly, který obývá velkou část ekosystémů, jako jsou listnaté lesy, kde ho můžeme často najít pod kameny, či fragmenty stromů. Dále obývá travnatá společenstva jako jsou louky nebo pole. Krom již zmíněných ekosystémů se vyskytuje též v zahradách, parcích a jeskyních. Preferuje mokré písčité půdy a je neutrofilní, ale ne výhradně, jedná se o druh acidotolerantní (Pižl, 2002).

Octolasion lacteum

Endogeický druh žížaly, není příliš náročný na prostředí, ve kterém žije a je schopný snášet i změny, pokud má ovšem na výběr, preferuje neutrální půdy. Tento druh není příliš častý v kamenitých půdách, ale v jílovitých, hlinitých a písčitých je hojný. Obývá celou řadu ekosystémů, včetně těch člověkem pozměněných ruderalních. Je to jeden z druhů, který je často k nalezení pod kameny a fragmenty stromů (Pižl, 2002).

3.5.2.3 *Epigeické:*

Jsou to žížaly, které žijí blízko povrchu půdy, hlavně v takových půdách, kde se vyskytuje nadbytek organické hmoty. Zástupci epigeických žížal jsou malí a krátkověcí, dožívají se maximálně tří let. Jejich chodby jsou horizontálního charakteru a jsou krátkodobé (Ebl, a další, 2014). Epigeické žížaly se živí opadem přímo na povrchu půdy (Cesarz, a další, 2016)

Dendrobaena octaedra

Epigeický na své prostředí nenáročný druh žížaly. Vzhledem ke své nenáročnosti se vyskytuje skoro ve všech typech ekosystémů. Mezi jeho stanoviště patří například lesy, a to jak listnaté, tak jehličnaté, včetně smíšených, kde se vyskytuje v opadové vrstvě půdy, či pod kůrou padlých kmenů stromů nebo jiných stromových fragmentů.

Dále se vyskytuje na loukách a polích, či mokřadech. Jedná se o druh žížaly, která se nejčastěji vyskytuje v kyselých půdách a rašeliništích, je acidotolerantní (Pižl, 2002).

Dendrodrilus rubidus

Epigeický druh. Tento druh žížaly není náročný na prostředí a obývá všechny typy ekosystémů, kde ho najdeme v opadové vrstvě půdy. Krom půdy může žít pod kůrou spadlých stromů, či pařezů nebo větví. Můžeme ho najít v biotopech, které byly přímo ovlivněny člověkem, kompostech, kupách hnoje včetně ruderálních stanovišť. Tento druh je schopný snést i kyselé prostředí (Pižl, 2002).

Lumbricus castaneus

Epigeický druh, vyskytuje se na většině ekosystémů, jako jsou travní ekosystémy, orná půda, listnaté i jehličnaté lesy, kde obývá vrchní opadovou vrstvu půd. Tento druh žížaly je často nalézán pod kameny a padlými fragmenty stromů, jako jsou větve, či samotné kmeny (Pižl, 2002).

Lumbricus rubellus

Epigeický druh, který se vyskytuje ve všech typech ekosystémů, daří se mu i v kyselejších půdách. Nalézá se v opadance lesních stanovišť, či v minerálních vrstvách půdy, často ho najdeme pod kameny, či fragmenty padlých stromů. Dále ho najdeme i na orných půdách, či pastvinách, kde vyhledává místa, kde jsou exkrementy hospodářských zvířat, například skotu. Dále se tento druh vyskytuje podél břehů vodních toků (Pižl, 2002).

4 Charakteristika studijního území

Zájmové území leží na západě České republiky v Karlovarském kraji, konkrétně na Sokolovsku. Z historického hlediska se jedná o významnou lokalitu. Nachází se zde bohatá naleziště hnědého uhlí, které je jednou z hlavních energetických surovin České republiky. Těžba zde pozměnila ráz krajiny a novou součástí jsou nyní výsypky. V současnosti je zde stále v provozu lom Jiří, ze kterého pochází část výsypkového materiálu na výsypce.

4.1 Popis území

Lokality, na kterých byl prováděn sběr dat, jsou na území Podkrušnohorské výsypky, která vznikla spojením několika menších výsypek. Spojily se konkrétně Vintířovská výsypka, výsypka Pastviny, Podkrušnohorská výsypka, Lomnická, Boučí, Matyáš a výsypka Týn.



Obr. 2 umístění Sokolovska v rámci České republiky 3 https://cs.wikipedia.org/wiki/Okres_Sokolov

Velká část popisovaných lokalit prošla technickou a biologickou rekultivací. Biologická rekultivace spočívala ve vysázení několika různých dřevin, kterými byly olše, lípy, borovice, smrky, duby a modříny. Na výsypce Matyáš, která byla částečně rekultivovaná se nachází porosty olše a bříz. Stáří těchto lokalit bylo od 40 do 50 let od navezení substrátu. Na všech těchto lokalitách se vyskytovala jedna dominantní dřevina, což vytvářelo monokulturní společenstva (Frouz J., 2007).

Většina půdních sond byla provedena na lokalitách, které prošly technickou i biologickou rekultivací. Sondami se zjišťovala početnost a složení druhů, půdní makrofauny. Do své práce převzala data týkající se žížal. Krom žížal se ve vzorcích objevovaly takové druhy jako *diplopoda*, *isopoda*, *nematoda*, *chilopoda*, různí brouci, včetně jejich larev, larvy dvoukřídlého hmyzu a další.

Biologická rekultivace na těchto lokalitách proběhla formou výsadby různých druhů dřevin. Menšina lokalit, prošla jen technickou rekultivací, mimo upravení povrchu a odvodnění, byly ponechány v původním stavu. Substrát byl stejný, jako po navezení výsypky, takže se zde projeví i materiály, které před těžbou mohly být v jiném horizontu, než jsou nyní. Dřeviny, které se na těchto lokalitách vyskytují, nebyly uměle vysázeny, ale rozmnožily se pomocí náletů z okolní krajiny. Na těchto lokalitách proběhla spontánní sukcese. (Frouz J., 2007)

Krajina před zahájením těžby měla výrazný reliéf a vyskytoval se zde ve velké míře les. V současné době, kdy zde jsou výsypky, se segmentace reliéfu příliš nezmenšila a je víceméně na stejné úrovni. Druhové složení lesů v minulosti, bylo typické pro tuto nadmořskou výšku počínající bukem, dubem a některých jehličnanů jako jedle a borovice. V rámci biologických rekultivací zde byly vysázeny nové lesy, které jsou povětšinou monokulturální, jako dřeviny zde byly použity smrky, olše, borovice, lípy, modřín a dub. Západní část Podkrušnohorské výsypky, která je v oblasti Lomnice až Boučí, je složená z cyprisových jílu a jílovců, které obsahují uhlí a štěrk, který sloužil ke stavbě kolejí pro důlní dráhy. Materiály jsou uloženy na výsypku bez zjevného řádu a mísí se mezi sebou různé vrstvy. Dalšími materiály, které se na výsypce vyskytují jsou například tufitické jílovice a kvartérní jíly, které neposkytují zrovna vhodný materiál pro stabilitu výsypek (Stavinoha, 2015).

4.2 Lokality

Ke své práci jsem měla k dispozici data z roku 2017 a 2018, která byla součástí projektu Optimalizace managementu lesních porostů na stanovištích dotčených povrchovou těžbou hnědého uhlí. Tento projekt probíhal od roku 2017 do roku 2021. V roce 2018 jsem se aktivně podílela na sběru dat, proto jsem se rozhodla rozdělit data do dvou kategorií, dle roku, a ty mezi sebou porovnat.



Obr. 3 Mapa těžbou zasaženého území (Stavinoha, 2015)

4.2.1 Sběr dat z roku 2017-lokality

Data z roku 2017 pochází z lokalit na Velké Podkrušnohorské výsypce. Většina půdních sond byla vyhotovena na částech výsypky, kde proběhla technický rekultivace



a následně zde byl vysázen les.

Obr. 4 Velká Podkrušnohorská výsypka s vyznačenými lokalitami, kde proběhl sběr dat (Walmsley, a další, 2019)

A	Olše
S	Spontánní sukcese (vrba)
L	Modřín
Pc	Smrk
Pn	Borovice
Q	Dub
T	Lípa
Mix	smíšený les

Na mapě jsou zaznačeny lokality, kde proběhl výzkum pomocí půdních sond. Světle fialovou barvou jsou označeny lokality, kde se vyskytoval dub, béžovou barvou jsou zaznačeny lokality, kde je olše. Lípy byly označeny světle zelenou barvou, smrky světle modrou, modřín světle hnědou. V mapě jsou zaznačeny i plochy, které lesnickou rekultivací neprošly a byly ponechány spontánní sukcesí. Na těchto plochách převažovala vrba jíva. Žlutými čtverci jsou vyznačena místa, kde proběhl odběr vzorků pomocí půdních sond.

4.2.2 Sběr dat z roku 2018-lokality

Sběr dat z roku 2018 proběhl na Velké Podkrušnohorské výsypce. První dvě lokality byly v oblasti Vintířovské výsypky (Viz. Obr.3). Tyto lokality byly s porosty smrku. Další oblastí, kde byly vyhotoveny půdní sondy, byla výsypka Matyáš, která je taktéž součástí Velké Podkrušnohorské výsypky.

Na výsypce Matyáš neproběhla technická a lesnická rekultivace v plném rozsahu. Vzorky odebrané z březových porostů, jsou výsledkem spontánní sukcese. Lokalita se nachází mezi severně od měst Lomnice a Týn na pravém břehu Lomnického potoka.



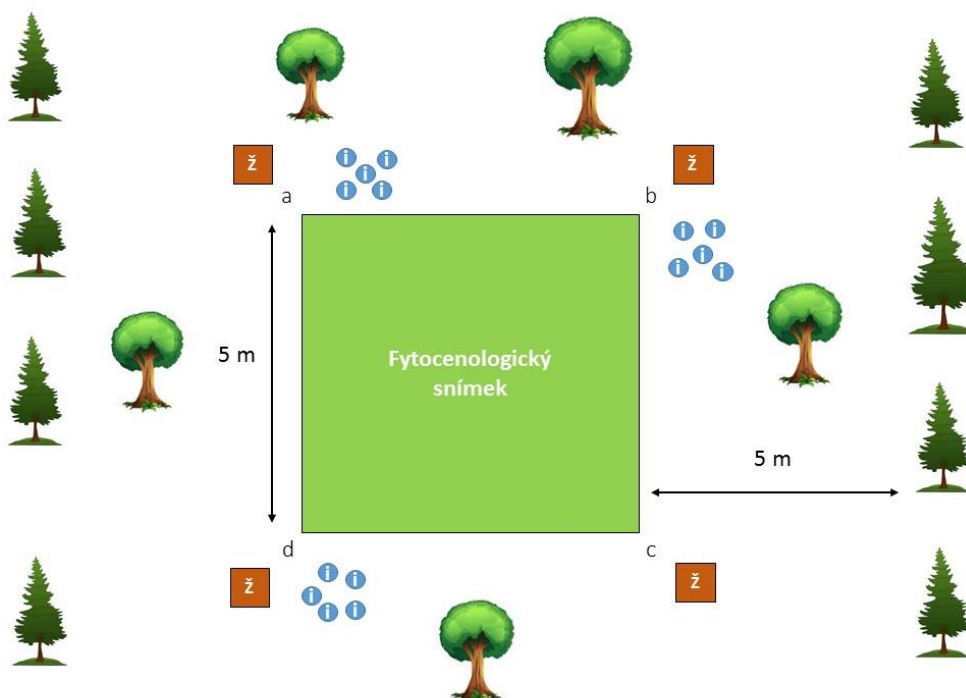
Bor	Borovice
Sm	Smrk
Br	Bříza
O	Olše

Obr. 4 Půdní sondy na území výsypky Matyáš

5 Metodika

5.1 Půdní sonda postup

Při nalezení vhodné lokality pro výzkum určíme čtverec o délce strany pěti metrů. Ve vrcholech tohoto čtverce jsou umístěny půdní sondy. Plocha čtverce představuje plochu, na které se provádí fytoocenologický snímek, fytoocenologický snímek je pro tuto práci vedlejší. Pro vyhotovení půdní sondy si zvolíme vhodné náčiní v našem případě to byla lopata, rýč, metr, igelitová plachta a nádoby na půdní makrofaunu. Půdní sonda měla rozměry 30 x 30 cm a hluboká byla 25 cm. Rozměry kontrolujeme metrem a podle potřeby upravujeme. Důležité je zachovat rozměry všech vyhotovených sond stejné, aby se mezi sebou daly porovnávat. Materiál, získaný ze sondy, včetně povrchového drnu a veškerých živočichů, se rozprostře na plachtu. Je žádoucí, aby plachta měla kontrastní barvu pro lepší viditelnost jednotlivých zástupců živočichů. Materiál se zpracovává po co nejmenších částech, aby se zachytil co největší počet jedinců. Vzorky získané touto metodou uložíme do předem popsanych nádob, kde je jasně označeno místo a datum odběru. Nádoby zalijeme kapalinou, v tomto případě formaldehydem, který jedince zakonzervuje, zamezí rozkladu a jedince rychle usmrtí. Tento krok je důležitý, neboť vyhodnocování dat nelze provádět v terénu. Určování druhů a počítání abundance bude provedeno v jinou dobu, než samotný sběr.



Obr. 5 schéma odběru vzorků

5.2 Statistická analýza

Statistická analýza k této práci byla vyhotovena ve volně stažitelném software rstudio. Data byla ve formě informací ohledně žížal, které byly získány pomocí půdních sond. Data obsahovala informace o porostu, kde byla půdní sonda vyhotovena, počtu jedinců, druhu žížaly a typem výsyvky. Pomocí těchto dat jsem sestavila lineární modely, pro zjištění vztahů mezi veličinami.

5.2.1 Statistická analýza 2017

Jelikož nashromádkovaná data neměla normální rozdělení bylo nutno zvolit zobecněný lineární model (Rabušic). Hladinu významnosti jsem zvolila $\alpha=0,1$, neboť data měla vysokou variabilitu. V případě, že p hodnota vyjde menší než tato hodnota, zamítnu nulovou hypotézu. Pokud p hodnota bude větší než hladina α , nemohu nulovou hypotézu zamítnout. Tímto krokem se eliminuje tzv. chyba prvního druhu, kdy by byla zamítnuta platná nulová hypotéza. Vytvořím si model v rstudiu, do kterého bylo zahrnuto počet jedinců (poc), typ vegetace (locc), druh žížaly (dr) a typ výsyvky (podm). Model vypadal následovně:

```
1. Model=glm(poc~locc+dr+podm,data=data2017,family="poisson")
```

Na základě modelu jsem se snažila potvrdit nebo vyvrátit nulové hypotézy, podle toho, jak veličiny ovlivňovaly počet jedinců. Podle prvního modelu, který jsem vytvořila bez interakcí, jsem zamítala nebo potvrzovala následující nulové hypotézy.

- a) Typ vegetace neovlivňuje počet jedinců.
- b) Druh žížaly neovlivňuje počet jedinců.
- c) Typ výsyvky neovlivňuje počet jedinců.

Výsledky testování tohoto modelu dopadly tak, že bych zamítla všechny nulové hypotézy, neboť p-hodnoty u všech veličin byly menší dokonce než 0,05. Ovšem testování tohoto modelu také odhalilo přítomnost větší variability neboli overdisperzi. Hodnoty variability se počítají tak, že se vydělí hodnota reziduálních deviancí se stupni volnosti. V případě tohoto modelu vypadal výpočet následovně: $869.21/81=10,7309$. Disperzní parametr by měl odpovídat hodnotě 1. Model bylo potřeba upravit do negativně binomického rozdělení, takže vypadal následovně:

```
2. Model=glm.nb(poc~locc+dr+podm,data=data)
```

Na základě testování tohoto modelu, byl již disperzní parametr v pořádku.

P-hodnoty vycházely následovně:

- a) locc=0,09(<0,1)
- b) dr= 6.57e-06(<0,1)
- c) podm=0,9(>0,1)

Zamítám nulovou hypotézu v bodě a, typ vegetace rostoucí na výsypce ovlivňuje početnost jedinců žížal.

Zamítám nulovou hypotézu v bodě b, druh žížaly ovlivňuje počet jedinců.

Nemohu zamítnout nulovou hypotézu v bodě c,

Dle statistického modelu bez interakcí bylo prokázáno, že druh žížal a druh porostu na lokalitě ovlivňuje početnost jedinců žížal na hladině alfa 0,1.

Nemohu zamítnout nulovou hypotézu v bodě a, neboť testování modelu neprokázalo, že by počet jedinců byl ovlivňován typem vegetace. V bodě b zamítám nulovou hypotézu, neboť druh žížaly ovlivňuje počet jedinců. Nulovou hypotézu nemohu zamítnout v bodě c, dle modelu nebylo prokázáno, že by typ výsypky ovlivňoval početnost jedinců žížal.

Další model jsem zvolila jako lineární model s interakcemi, který vypadal následovně:

```
3. Model=glm(poc~locc*dr*podm,data=data,family="poisson")
```

Nulové hypotézy pro tento model:

- a) Typ vegetace neovlivňuje počet jedinců.
- b) Druh žížaly neovlivňuje počet jedinců.
- c) Typ výsypky neovlivňuje počet jedinců.
- d) Interakce mezi typem výsypky, typem vegetace a druhem žížaly, neovlivňuje počet jedinců.

U modelu s interakcemi nastala stejná situace, jako u modelu bez interakce a disperzní parametr vykazoval overdispersi ($835,02/79=10,57$). Stejně jako u předešlého modelu jsem upravila model a místo poissonova rozdělení jsem zvolila negativně binomické. Model vypadal následovně:

```
4. Model=glm.nb(poc~locc*dr*podm,data=data)
```

P-hodnoty:

- a) $Locc=0,09 < 0,1$
- b) $Dr=0,6 > 0,1$
- c) $Podm=0,2 > 0,1$
- d) $Locc:dr=0,4 > 0,1$

Při testování tohoto modelu jsem zjistila, že mohu zamítnout nulovou hypotézu v bodě a, druh vegetace má vliv na počet nalezených jedinců. V bodě b nemohu zamítnout nulovou hypotézu, druh žížaly zde nemá vliv na počet jedinců. V bodě c nemohu zamítnout nulovou hypotézu, typ výsypky nemá vliv na počet jedinců. Nemohu zamítnout ani nulové hypotézy u variací, neboť žádná z kombinací nebyla významná.

5.2.2 Statistická analýza 2018

Statistickou analýzu jsem vyhotovila na základě zjednodušeného lineárního modelu, do kterého jsem zakomponovala druh žížal a typ lokality. Hladinu významnosti jsem zvolila 0,05, je to pravděpodobnost toho, že se zamítne pravdivá nulová hypotéza. K otestování dat použiji dva typy modelu, jeden bude zobecněný lineární model bez interakcí a druhý bude zobecněný lineární model s interakcemi. Data nemají normální rozdělení, což jsem ověřila shapiro testem. Jelikož se jedná o data ohledně počtu jedinců, nelze data transformovat na normální rozdělení. Do modelu bylo zahrnuty data ohledně počtu jedinců, typ vegetace na lokalitě, zda byla zájmová část výsypky biologicky rekultivována nebo ne a druh žížal. Model po zadání do rstudia vypadal následovně:

5. Model=glm(poc~locc+dr+podm,data=data,family="poisson")

Určila jsem si nulové hypotézy:

- a) Druh vegetace neovlivňuje počet jedinců žížal.
- b) Druh žížal neovlivňuje počet jedinců žížal.
- c) Typ výsypky neovlivňuje počet jedinců žížal.

Poté, co jsem model otestovala, vyšlo následovné. Po vypočtení disperzního parametru 5,022 vyšlo najevo že vykazuje overdisperzi. V případě tohoto modelu, by se zamítla nulová hypotéza ve všech bodech.

Model s negativně binomickým rozdělením:

6. Model=glm.nb(poc~locc+dr+podm.data=data)

- a) locc=0,09<0,1
- b) dr=6.57e-06<0,1
- c) podm=0,9>0,1

Model s tímto rozdělením měl již disperzní parametr v pořádku 1,085. Zamítám nulovou hypotézu v bodě a, typ vegetace ovlivňuje počet jedinců. Zamítám nulovou hypotézu v bodě b, druh žížaly ovlivňuje počet jedinců. Nemohu zamítnout nulovou hypotézu v bodě c, neprokázalo se, že typ výsypky ovlivňuje počet žížal.

Druhý model je s interakcemi a stejně jako předchozí model vykazuje overdispersi, takže je opět potřeba převést na negativně binomické rozdělení. Model bude vypadat takto:

7. Model=glm(poc~locc*dr*podm, data=data,family="poisson")

Nulové hypotézy:

- a) Druh vegetace neovlivňuje počet jedinců.
- b) Druh žížaly neovlivňuje počet jedinců.
- c) Typ výsypky neovlivňuje počet jedinců.
- d) Interakce mezi druhem vegetace, druhem žížal a typem výsypky neovlivňuje počet jedinců.

U testování tohoto modelu bychom zamítli nulovou hypotézu v bodě a, b i c. Významné interakce byly mezi druhem a podmínkami na výsypce. Jelikož testování také prokázalo overdispersi (dispersní parametr se rovnal 4,82), bylo nutno stejně jako v předchozích případech převést model na negativně binomické rozdělení.

Model:

8. Model=glm.nb(poc~locc*dr*podm,data=data)

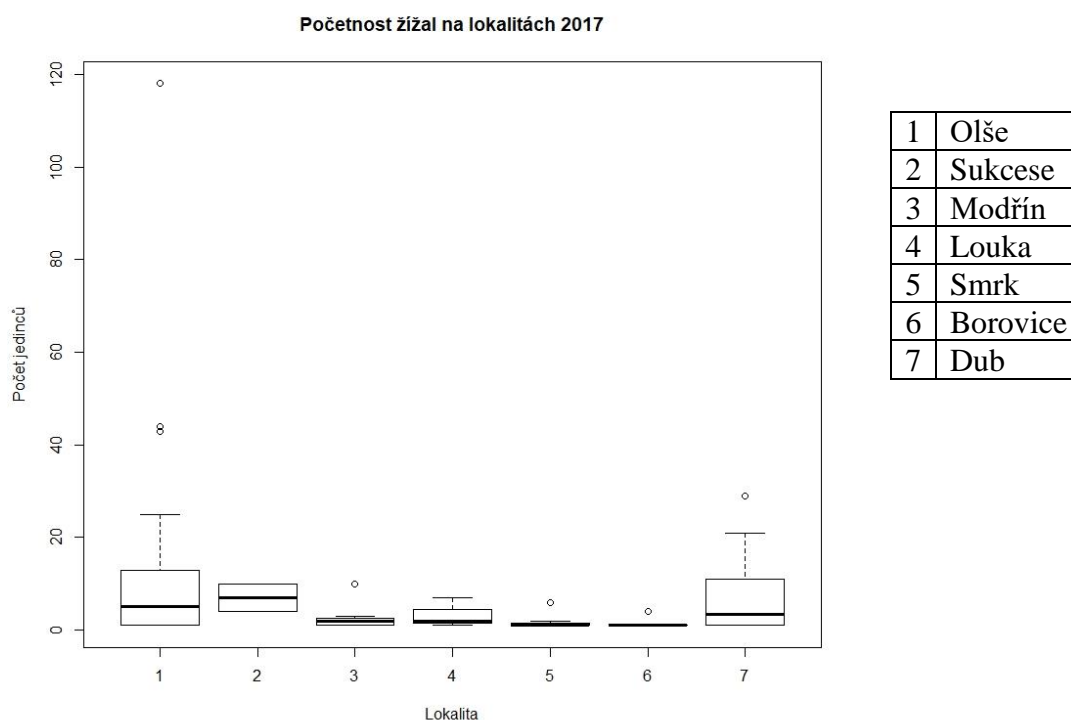
- a) locc=0,3 > 0,1
- b) dr=0,3 > 0,1
- c) podm=0,08 < 0,1
- d) locc:dr=0,8 > 0,1

Nelze zamítnout nulovou hypotézu v bodě a, jelikož se neprokázalo, že by typ vegetace na lokalitě ovlivňoval počet jedinců. Nemohu zamítnout nulovou hypotézu v bodě b, jelikož testování modelu neprokázalo, že by druh žížaly ovlivňoval počet jedinců. Zamítám nulovou hypotézu v bodě c, neboť testování modelu prokázalo, že typ vegetace ovlivňuje počet jedinců. Nemohu zamítnout nulovou hypotézu, neboť testování modelu neprokázalo, že by interakce mezi druhem vegetace a druhem žížal ovlivňovala počet žížal

6 Výsledky

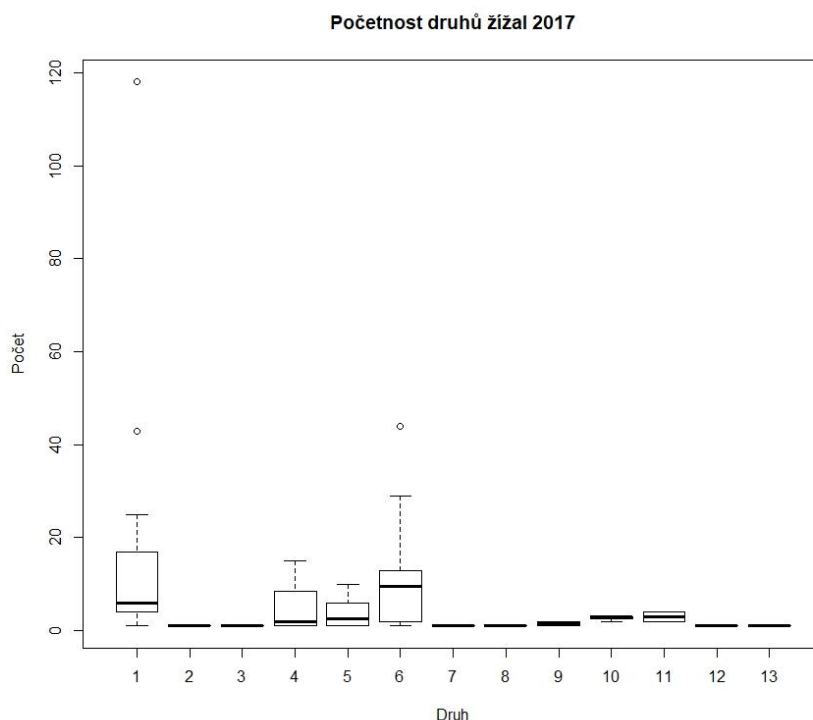
6.1 Grafy 2017

Na těchto grafech lze pozorovat vztah mezi druhem vegetace rostoucím na lokalitě a mezi počtem jedinců. Jsou zde znázorněny jednotlivé druhy žížal. Zvolený typ grafů jsou grafy krabicové.



Graf 1 početnost žížal na lokalitách 2017

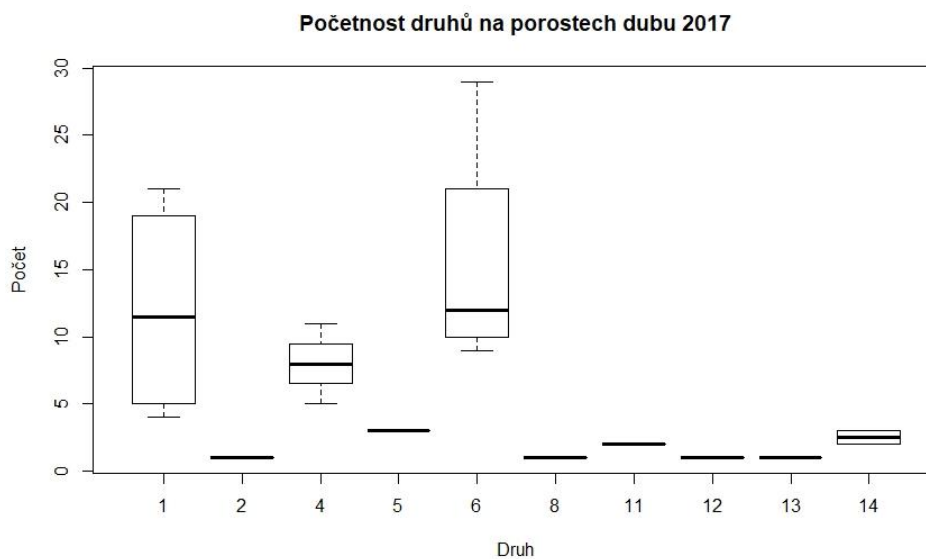
Nejvyšší početnost žížal jsme zaznamenali na rekultivovaných částech výsypky s porosty olše a dubu. Třetí nejvyšší počet jedinců byl na lokalitách, které neprošly biologickou rekultivací, ale byly ponechány spontánní sukcesi, na těchto místech se z druhů nejvíce prosadily vrby.



Graf 2 početnost druhů žížal 2017

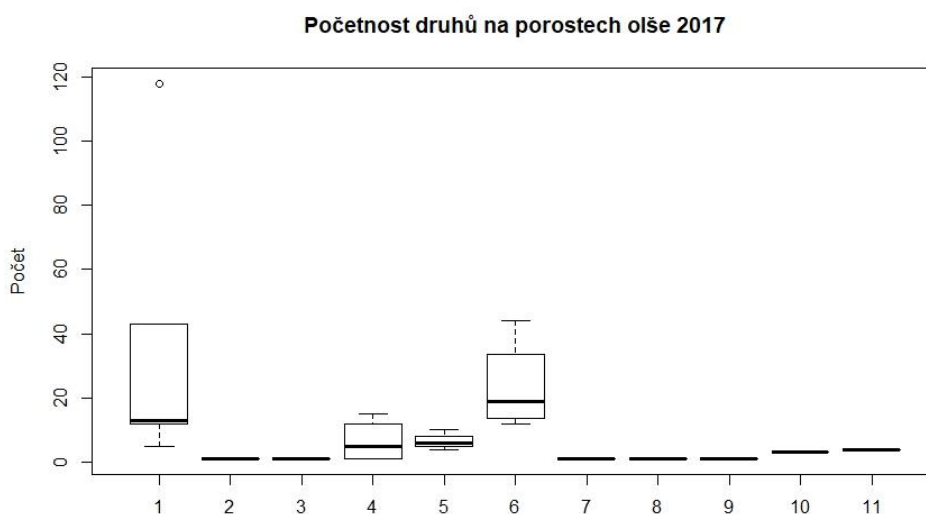
Nejpočetnějšími druhy, které byly nalezeny v půdních sondách, patřily *Aporrectodea rosea* (1), *Aporrectodea caliginosa* (6), *Dendrobaena octaedra* (5). První dva druhy patří k endogeickým druhům, což znamená, že žijí ve větších hloubkách, kdežto třetí, žije těsně pod povrchem nebo přímo v opadové vrstvě. Všechny druhy, které byly nalezeny na lokalitách se vyznačují tím, že jsou nenáročné a mají širokou škálu prostředí ve kterém se vyskytují.

1	<i>Aporrectodea rosea</i>
2	<i>Aporrectodea longa</i>
3	<i>Dendrodrilus rubidus</i>
4	<i>Aporrectodea spec.</i>
5	<i>Dendrobaena octaedra</i>
6	<i>Aporrectodea caliginosa</i>
7	<i>Dendrobaena spec.</i>
8	<i>Lumbricus terrestris</i>
9	<i>Lumbricus rubellus</i>
10	<i>Octolasion lacteum</i>
11	<i>Octolasion cyaneum</i>
12	<i>Lumbricus spec.</i>
13	<i>Lumbricus castaneus</i>



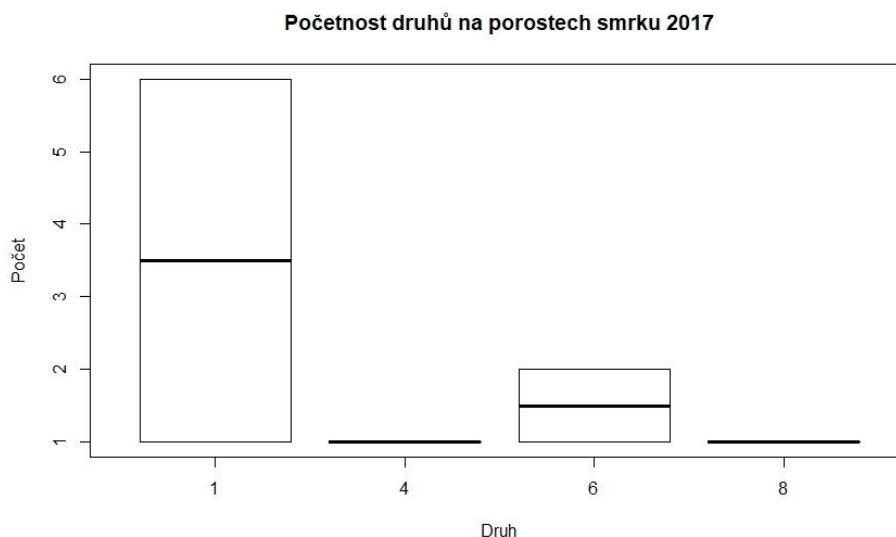
Graf 3 početnost druhů na porostech dubu 2017

V dubových porostech bylo nalezeno kolem 17 % všech nalezených jedinců. Nacházelo se zde celkově deset druhů žížal. V nejvyšším počtu zde byl zastoupen druh *Aporrectodea caliginosa*, následuje druh *Aporrectodea rosea* a třetí nejpočetnější skupinou byla nespecifikovaný druh rodu *Aporrectodea*. Ostatní druhy byly zastoupeny do tří jedinců.



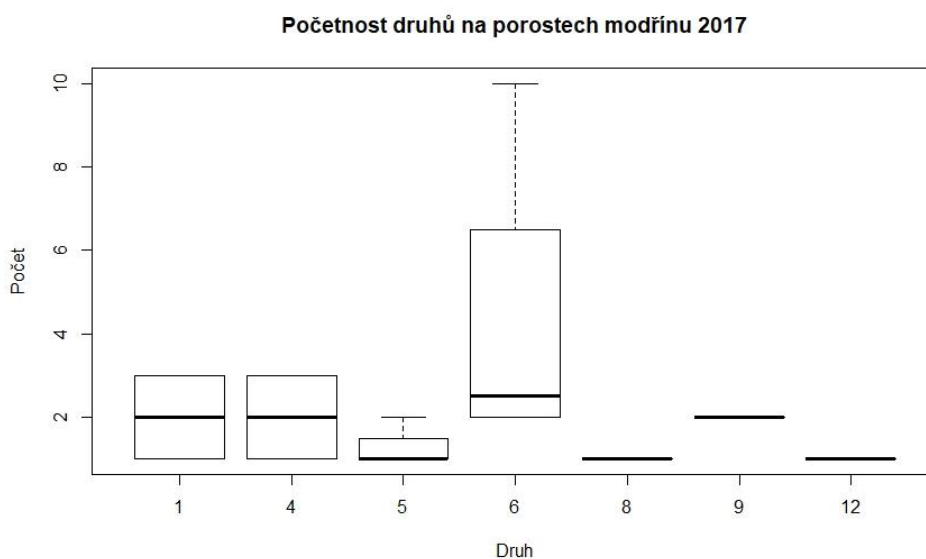
Graf 4 početnost druhů na porostech olše 2017

Početnost jedinců v olšových porostech, byla vysoká. Více než 55 % ze všech nalezených jedinců se nacházelo právě v olšínách. Celkem zde bylo jedenáct druhů žížal a nejhojnější druh byl *Aporrectodea rosea*. Druhým nejpočetnějším druhem byl *Aporrectodea caliginosa* a třetím *Dedrobaena octaedra*. Ostatní druhy byly zastoupeny do dvou jedinců.



Graf 5 početnost druhů na porostech smrku 2017

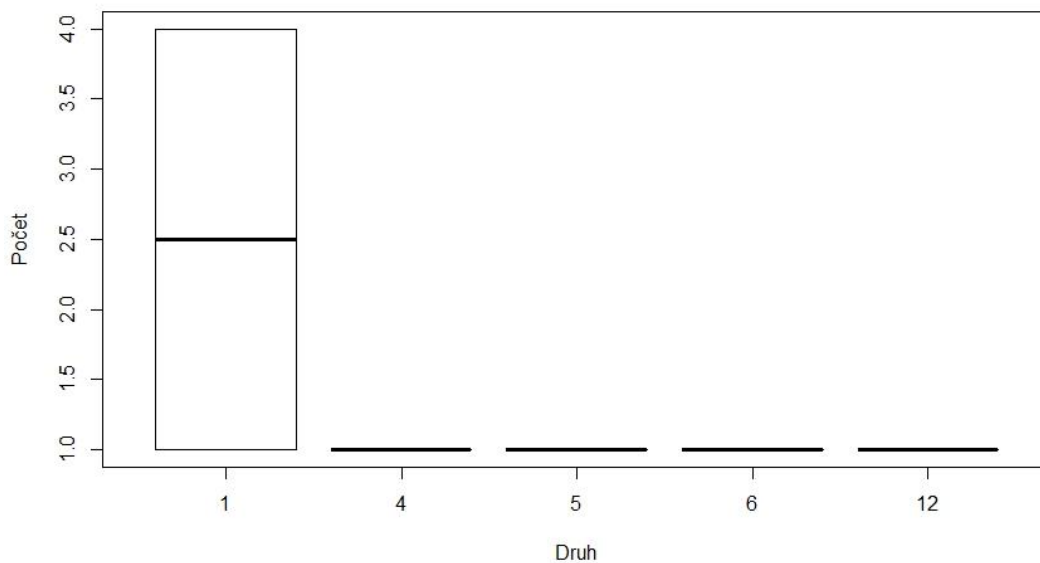
Ve smrkovém lese se našly pouze tři druhy žížal, čtvrtá kategorie v grafu znázorňuje nespecifikovaný druh rodu *Aporrectodea*. Nejvyšší zastoupení měl druh *Aporrectodea rosea*. Druhým nejpočetnějším druhem byl *Aporrectodea caliginosa* a třetím byl *Lumbricus terrestris*, poslední dva druhy se našly pouze v rámci jednoho jedince.



Graf 6 početnost druhů na porostech modřínu 2017

Nejpočetnějším druhem žížal na lokalitách s porosty modřínu byl druh *Aporrectodea caliginosa*. Druhové nejvyšší zastoupení měl druh *Aporrectodea rosea* spolu s nespecifikovaným druhem rodu *Aporrectodea*. Dále jsou zde zastoupeny druhy *Lumbricus rubellus* a *Lumbricus terrestris*.

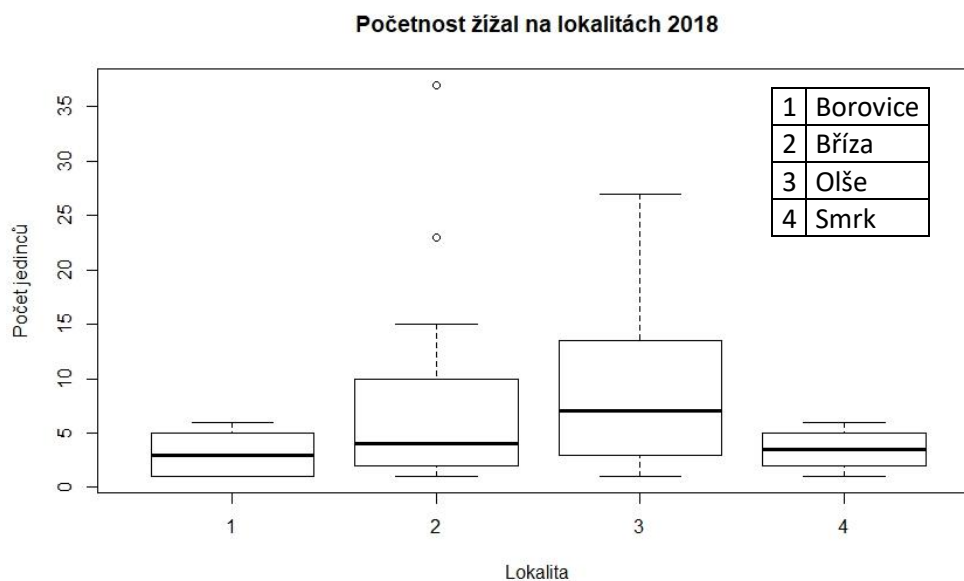
Početnost druhů na porostech borovice 2017



Graf 7 Početnost druhů na porostech borovice 2017

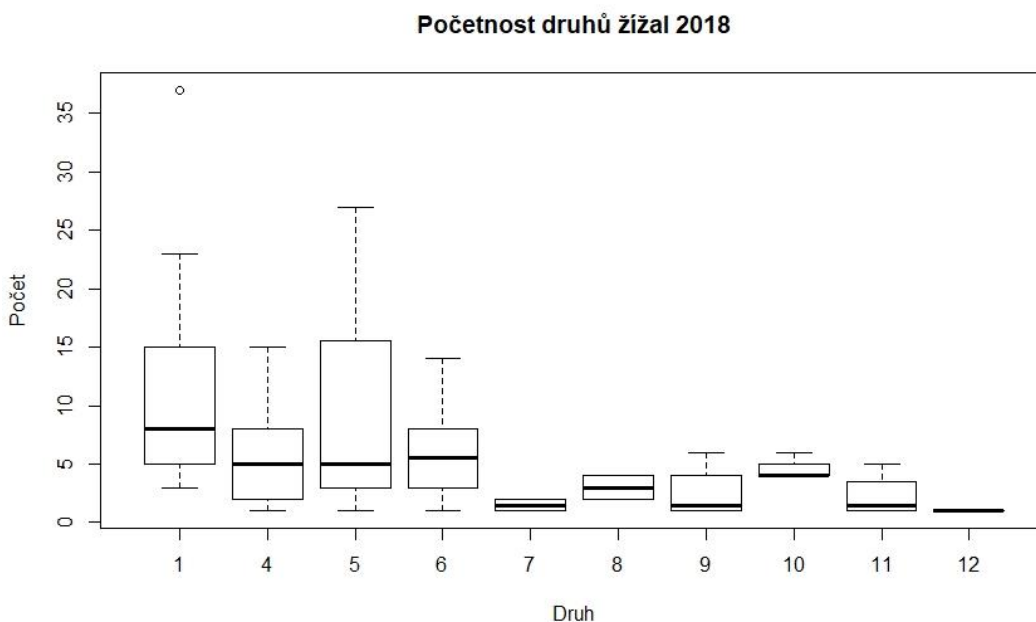
V borovicovém porostu nebylo nalezeno příliš mnoho jedinců, celkově se zde nacházely čtyři druhy. Nejvyšší počet jedinců měl druh *Aporrectodea rosea*. Ostatní druhy byly zastoupeny pouze jedním exemplářem. Jmenovitě se zde vyskytovaly tyto druhy, *Dendrobaena octaedra*, *Aporrectodea caliginosa*. Další dvě skupiny byly nespecifikované druhy rodu *Lumbricus spec.* a *Aporrectodea spec.*

6.2 Grafy 2018



Graf 8 početnost žížal na lokalitách 2018

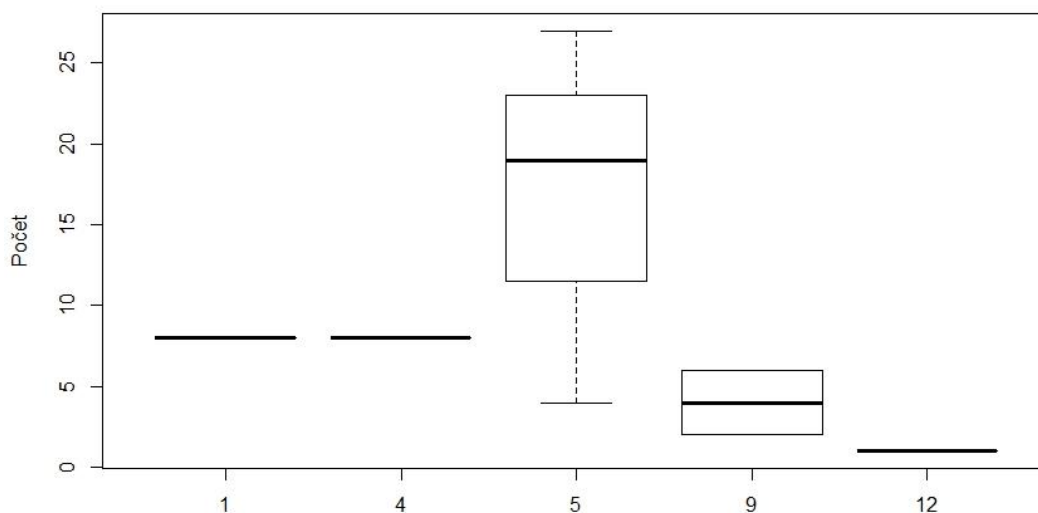
Lokality, které vykazovaly nejvyšší abundanci žížal byly s porosty olše a břízy. Březové porosty v tomto případě byly výsledkem spontánní sukcese. Další lokalitou byly s porosty borovice a nejméně jedinců bylo na lokalitách s porostem smrku.



Graf 9 početnost druhů žížal 2018

Nejhojněji zastoupenými druhy byly *Aporrectodea rosea* a *Dendrobaena octaedra*, následují druhy *Aporrectodea caliginosa*.

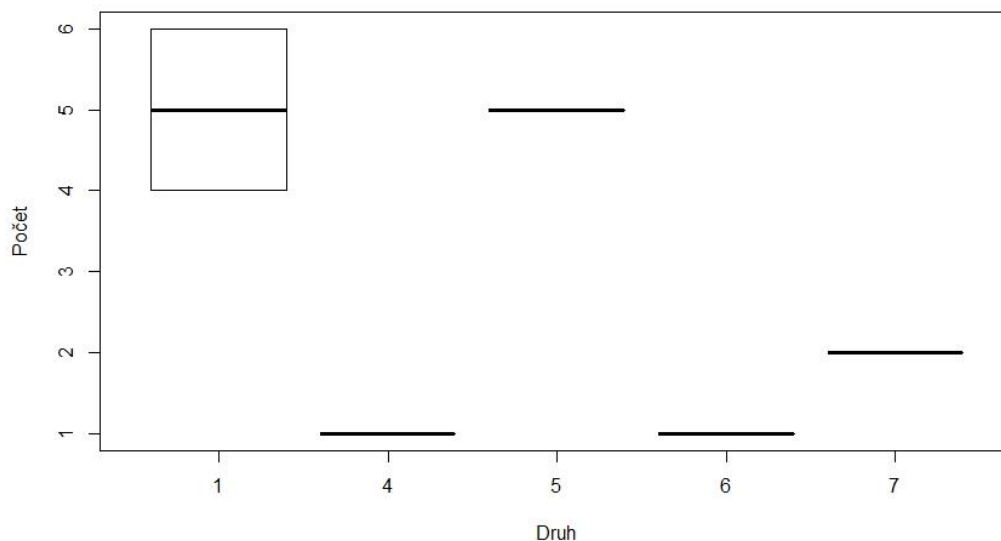
Početnost druhů na porostech olše 2018



Graf 10 početnost druhů na porostech olše 2018

Na porostech olše byly v roce 2018 nalezeny čtyři druhy žížal. Nejpočetnější skupinou, byl druh *Dendrobaena octaedra*. Následovaly druhy *Aporrectodea rosea* a nespecifikovaný druh *Aporrectodea*. Dále zde byly druhy *Lumbricus rubellus* a *Lumbricus spec.*

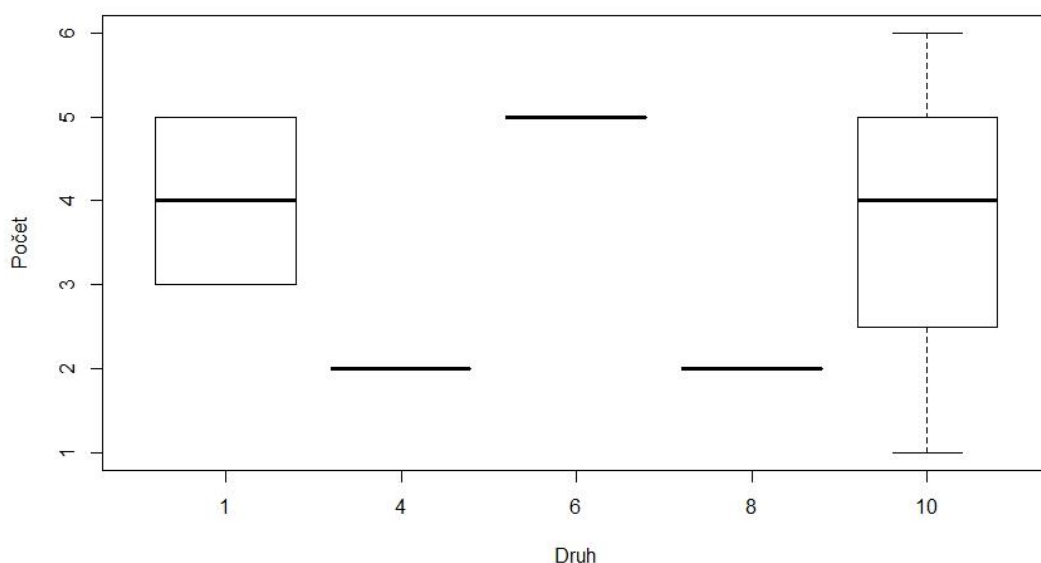
Početnost druhu na porostech borovice 2018



Graf 11 početnost druhů na porostech borovice 2018

Na porostech borovice byly nalezeny tři druhy žížal. Nejpočetnější skupinou je druh *Aporrectodea rosea*, následuje druh byl *Dendrobaena octaedra*. Ve dvou jedincích byl zastoupen nespecifikovaný druh *Dendrobaena spec.*, a s pouhým jedním zástupcem zde byly druhy *Aporrectodea spec.* a *Aporrectodea caliginosa*.

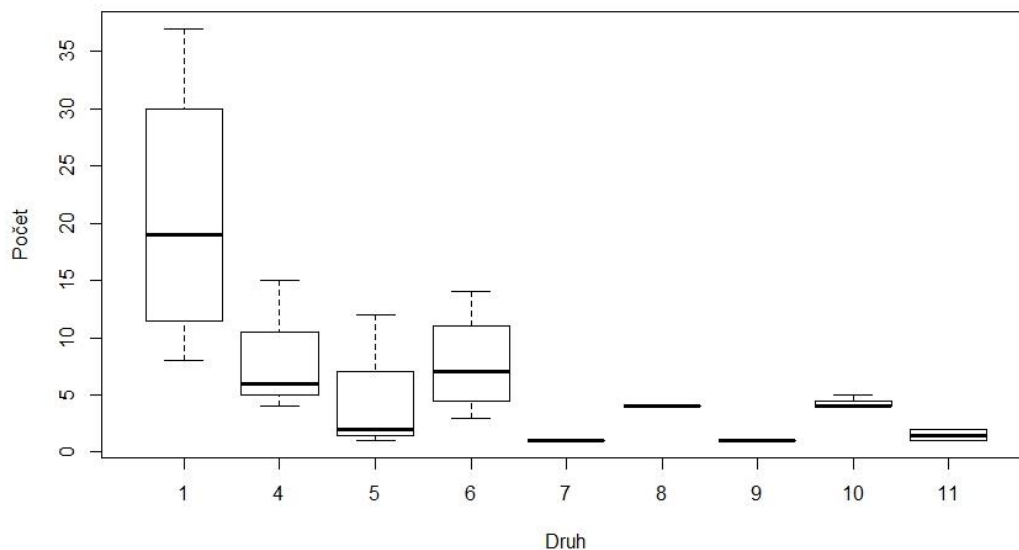
Početnost druhů na porostech smrku 2018



Graf 12 početnost druhů na porostech smrku 2018

Ve smrkových porostech jsme našli čtyři druhy žížal. Nejpočetnější skupinou byl druh *Octolasion lacteum*, dále následoval *Aporrectodea caliginosa* a *Aporrectodea rosea*. V zastoupení dvou jedinců zde byly druhy *Aporrectodea spec.* a *Lubricus terrestris*.

Početnost druhů na porostech břízy 2018



Graf 13 početnost druhů na porostech břízy 2018

V březových porostech bylo nalezeno kolem 17 % jedinců z obou let. Březové porosty měly nejvyšší počet druhů ze všech lokalit v roce 2018. Nejpočetnější druh byl *Aporrectodea rosea*. Následovaly druhy s podobnými počty jedinců *Aporrectodea spec.*, *Aporrectodea caliginosa* a *Dendrobaena octaedra*. Dále zde byly nalezeny druhy, *Lumbricus terrestris*, *Octolasion lacteum*, *Octolasion cyaneum* a *Dendrobaena spec.* všechny tyto druhy byly zastoupeny do 5 jedinců.

6.3 Výsledky, druhy žížal shrnutí

Nejhojnějším druhem, který se vyskytoval na všech lokalitách (Graf 2, Graf 9), byl *Aporrectodea rosea*. Tento druh představoval více jak polovinu všech nalezených jedinců ze všech lokalit dohromady. Nejvíce jedinců tohoto druhu bylo nalezeno v porostech olše (Graf 4, Graf 10), kde představoval celých 28 % všech jedinců nalezených v olšínách. Dále se hojně vyskytoval na dubových porostech (Graf 3), kde představoval 7 % jedinců. Jedná se o endogeický druh, který je běžný v široké řadě lokalit a není příliš náročný na své prostředí.

Druhým nejčastěji nalézaným druhem byl druh *Aporrectodea caliginosa* (Graf 1, Graf 9), opět se jedná o endogeický druh. Nejvíce jedinců tohoto druhu bylo nalezeno opět v porostech olše (Graf 4, Graf 10), kde se jednalo o necelých 14 % jedinců. Další lokalitou, kde se vyskytoval nejvíce byly porosty dubu (Graf 3), kde se jednalo o necelých 8 % jedinců nalezených na těchto lokalitách. V ostatních lokalitách byl tento druh zastoupen maximálně do 2,5 % s tím, že stejně jako předchozí druh se nacházel ve všech lokalitách. Spolu s *Aporrectodea rosea* patří k nejběžnějším druhům a je schopen snášet i výkyvy podmínek v prostředí (Pižl, 2002).

Třetí nejhojnější druh, který byl nalézán byl *Dendrobaena octaedra* (Graf 2, Graf 9) tento druh představoval 5 % všech nalezených jedinců a byl zastoupen stejně jako předchozí dva druhy ve všech typech porostů. Opět jako v předchozích případech bylo nejvíce jedinců nalezeno v porostech olše (Graf 4, Graf 10) a druhý nejvyšší výskyt tohoto druhu byl u porostů modřínu (Graf 6). Na rozdíl od předchozích dvou druhů se jedná o druh Epigeický. Znovu jde o druh, který je nenáročný na své prostředí a žije v opadové vrstvě nejčastěji v listnatých lesích.

Druh *Octolasion lacteum* představoval 3,5 % jedinců a nejvíce jedinců bylo nalezeno na porostech smrku (Graf 12). Je to druh nenáročný na své prostředí, ale nejvíce mu vyhovují neutrální půdy (Pižl, 2002).

Jedinými anektickými druhy, které se podařilo nalézt na výsypkách byly druhy *Lumbricus terrestris* a *Aporrectodea longa*. Oba druhy byly zastoupeny méně než jiné druhy. U druhu *Lumbricus terrestris* bylo nalezeno celkem 15 jedinců. Nejvyšší počet byl na porostech břízy v roce 2018, kde se našli 4 jedinci. Následují porosty dubu, kde se našli 3 zástupci. Dále byl nalezen v porostech smrku (v obou letech), modřínu a olše. Na všech těchto porostech se našli dva jedinci tohoto druhu. U druhu *Aporrectodea longa* byli nalezeni pouze tři jedinci a jen v roce 2017, kdy dva byli nalezeni v olšínách a jediný zástupce v dubovém porostu.

6.4 Výsledky, statistická analýza

Testování statistického modelu, který byl vytvořen k datům z roku 2017 bez interakcí, prokázalo, že druh žížal a druh porostu na lokalitě ovlivňuje početnost jedinců žížal. Dle testování modelu pro stejná data s interakcemi se prokázalo pouze to, že vegetace rostoucí na lokalitách ovlivňuje počet jedinců žížal. Testování modelu, který byl vytvořen k datům z roku 2018 bez interakce, bylo prokázáno, že druh žížal a vegetace rostoucí na lokalitě ovlivňuje počet jedinců žížal. Testováním modelu k datům z roku 2018 s interakcemi ukázalo, že početnost jedinců žížal ovlivňuje typ výsypky.

7 Diskuze

Nejvíce nalezených jedinců žížal bylo na lokalitách v olšových porostech. Tyto lokality představovaly více než polovinu všech jedinců, nalezených v půdních sondách za oba roky (2017 a 2018). Vysoká početnost jedinců může odrážet to, že opad olší obsahuje hodně dusíku a z olšového opadu vzniká silná vrstva, ze které se následně tvoří humus (Frouz, a další, 2013). Olše sice prospívají početnosti jedinců makrofauny, ale co se týče druhů rostlin, jejich rozmanitost, není tak vysoká. V ranějších stádiích u olšových porostech dominovala tráva *Calamagrostis epigejos*, která vytlačila ostatní druhy. Mohly za to, mimo jiné, vhodné půdní poměry s dostatkem živin, které poskytovaly malý prostor pro realizaci jiných, konkurenčně slabších druhů (Mudrák, a další, 2010). Další velmi významnou dřevinou byly dle grafů duby.

V obou letech (Graf 1, Graf 8) byl určitý podíl lokalit, na kterých proběhla sukcese. V roce 2017 to byly lokality, kde se vyskytovala hlavně vrba jíva a v roce 2018 bříza bělokorá. V roce 2018 se na porostech břízy nalézal nejvyšší počet jedinců a druhů ze všech lokalit zkoumaných v daném roce. Počty jedinců na těchto lokalitách převyšovaly některé, kde proběhla rekultivace. Lokalitami, kde byl menší počet druhů a jedinců žížal, než v březových porostech byly například smrky. Zde se v obou letech našlo maximálně čtyři druhy do pěti jedinců. Stejná situace nastane při srovnání s porosty borovice. Oba typy lesa vznikly lesní rekultivací. V borových a smrkových lesích byla vysoká míra utužení půdy. Pod vrchními horizonty, humusu a fermentační vrstvou, se nacházela celistvá jílovitá vrstva. Tato vrstva je hůře prostupná pro organismy. Naproti tomu v olšínách a dubových lesích bylo utužení půdy menší (Walmsley, a další, 2019).

V dřívějších letech, byly na Sokolovských výsypkách přítomny rozdílné poměry druhů žížal. Zatímco v roce 2001 zde nebyl nalezen žádný anektický druh (Pižl, 2001), nyní je zde *Lumbricus terrestris* a *Aporrectodea longa*. Druh *Aporrectodea longa* byl, v rámci dat k této práci, nalezen pouze v roce 2017 na porostech olše a dubu. Druh *Lumbricus terrestris* byl nalezen v obou letech, v porostech smrku, modřínu, dubu a břízy. Jiný byl i celkový počet druhů. Zatímco v minulých letech zde bylo pouze 7 druhů, nyní se pohybujeme na více jak desíti. Nejhojnějšími druhy žížal na výsypkách všeobecně byly endogeické, kdy nejčastější druh byl *Aporrectodea rosea*, který se nacházel na všech stanovištích. Hojnost tohoto druhu může být způsobena zavlečením kokonů na kořenech vysazovaných stromů (Pižl, 2001). Po tomto druhu hned následovala *Aporrectodea caliginosa*, který je rovněž endogeickým druhem.

Populace žížal na Sokolovských výsypkách byla srovnávána s Německou lokalitou u Cottbusu. Tato lokalita měla písčité substrát, na který se v rámci biologické rekultivace vysadila monokultura tvořená borovicemi. V mladých stádiích, čerstvěji po navezení hlušiny se zde nevyskytovali žádní zástupci žížal. Stejně na tom byly i lokality na výsypkách na Sokolovsku, které neprošly biologickou rekultivací. Ovšem na místech, kde byla vysazena olše, bylo zástupců hojně (Frouz, a další, 2013). Po 20 letech od navezení substrátu se již žížaly objevují jak na Německé lokalitě, tak na nerekulitovaných částech Sokolovských výsypek. Postupem času se abundance žížal zvyšuje na obou typech lokalit, ovšem takových počtů, jako mají olšové porosty,

nedosáhnou. Nejčastějším druhem, který byl nalézán v Německém Cottbusu byl *Dendrobaena octaedra*. Na nerektivovaných lokalitách na Sokolovsku byly hojné druhy *Dendrodrilus rubidus*, stejně jako v Německu *Dendrobaena octaedra* a *Lumbricus rubellus*. Sokolovské výsypky, které byly rektivovány olší se hojně vyskytovaly druhy *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea rosea* a *Octolasiun lacteum* (Frouz, a další, 2013).

Způsob rektivace výsypky hrál velkou roli v pozdějších letech, co se týče druhové rozmanitosti. Části, které byly rektivovány pomocí vysázení lesa, vykazovaly rychlejší vývoj vegetace. Vývoj vegetace se na těchto lokalitách, se ale v určitém okamžiku zastavil, zatímco na nerektivovaných lokalitách pokračoval dále a vývoj lokalit trval déle. Biodiverzita byla daleko vyšší na lokalitách, kde neproběhla biologická rektivace. Počet druhů zde byl dokonce dvojnásobný oproti rektivovaným lokalitám (Hodačová, a další, 2003).

Dalším úskalím technických rektivací je zruinování raných stádií sukcese na lokalitách. Lokality, které měly projít technickou rektivací, se nechaly několik let ustálit a až poté se vysazovaly dřeviny, které na nich najdeme dnes. V momentě, kdy začala rektivace se zničil případný rostlinný pokryv, který se zde vytvořil po navezení substrátu (Řehounek, a další, 2010). Mnohé Lokality po biologické rektivaci vykazují menší druhovou bohatost než u lokalit se spontánní sukcesí. Ponechání výsypek sukcesi by bylo navíc mnohem levnější a teoreticky bez starostí, ale nebylo by možno zajistit bezpečnost těchto míst, bez určité úpravy terénu. U sukcese se špatně kontroluje její průběh, ale na druhou stranu mohou se prosadit i druhy, které by jinde neměly šanci. Dále by bylo vhodné ponechat v blízkosti výsypek porosty, ze kterých by následně mohly migrovat druhy do nového prostředí. Legislativa zatím neumožňuje zařadit sukcesi, jakožto rektivační možnost (Řehounek, a další, 2010). Lokality, které byly ponechány sukcesi mohou sloužit mimo jiné i jako učební pomůcka. Studenti by si zde mohli lépe představit, co znamená sukcese v reálném prostředí.

8 Závěr a přínos práce

Statistická analýza založená na zjednodušeném lineárním modelu prokázala, že druh porostu rostoucí na lokalitě a druh žížal, ovlivňuje početnost žížal. Druh žížaly ovlivňuje početnost v tom smyslu, že některé druhy jsou početnější. Některé druhy se navíc dostaly na výsypky spolu se sazenicemi stromů, při výsadbě lesa (Pižl, 2001). Vytvořené grafy přehledně ukazují počty jednotlivých druhů na lokalitách s různými druhy porostu v letech 2017 a 2018.

Přínos práce je hlavně ve zpracování aktuálních dat a literárních pramenů a vědeckých článků přímo z oblasti Sokolovských výsypek.

9 Citovaná literatura

Bradshaw A., 2000: The use of natural processes in reclamation - Advantages and difficulties. *Landscape and Urban Planning* 51. S. 89-100

Brady N., 1974: *The nature and properties of soils*. New York : Macmillan Publishing CO, 1974.

Cesarz S., Craven D., Dietrich C., Eisenhauer N., 2016: Effects of soil and leaf litter quality on the biomass of two endogeic earthworm species. *Europien journal of Soil biology*. 2016, 77.

Ebl J., Kintl A., Plošek L., 2014: Výchova žížal v Čechách (Online) [Cit. 11.042019.], dostupné z < <https://www.priroda.cz/clanky.php?detail=2630>.>

Frouz J., Popperl J., Příkryl I., Štrudl J., 2007: Tvorba nové krajiny na Sokolovsku (Online) [Cit.10.042019.], dostupné z <https://www.suas.cz/images/dokumenty/110170487247b2c8037de4b_07162_brozura_eko_su_mail.pdf.>

Frouz J., Pižl V., Cienciala E., Kalčík J., 2009: Carbon storage in post-mining forest soil, the role of tree biomass and soil bioturbation. *Biogeochemistry* 94. S. 111-121

Frouz J., Prach K., Pižl V., Háněl L., Starý J., Tajovský K., Materna J., Balík V., Kalčík J., Řehouňková K., 2008: Interaction between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post-mining sites. *European journal of soilbiology* 44. S. 109-121

Frouz J., Livečková M., Albrechtová J., Chroňáková A., Cajthaml T., Pižl V., Háněl L., Starý J., Baldrian P., Lhotáková Z., Šimáčková H., Cepáková Š., a 2013: Is the effect of trees on soil properties mediated by soil fauna? A case study from post-mining sites. *Forest Ecology and Management* 309. S. 87-95

Frouz J., Keplin B., Pižl V., Tajovský K., Starý J., Lukešová A., Nováková A., Balík V., Háněl L., Materna J., Düker C., Chalupovský J., Rusek J., Heinkele J., a další. 2001: Soil biota and upper soil layer development in two contrasting post-mining chronosequences. *Ecological Engineering* 17. S. 275-284

Frouz J., Pižl V., Tajovský K., Starý J., Holec M., Materna J., 2013: Soil Macro- and Mesofauna Succession in Post-mining Sites and Other Disturbed Areas.

In: Frouz J. (ed.): *Soil Biota and Ecosystem Development in Post Mining Sites*. Ebook <<http://ebookcentral.proquest.com/lib/monash/detail.action?docID=1375602>> S. 216-235

Frouz J., Pižl V., Tajovský K., 2007: The effect of earthworms and other saprophagous macrofauna on soil microstructure in reclaimed and un-reclaimed post-mining sites in Central Europe. *European Journal of Soil Biology* 43. S. 184-189

Helingerová M., Frouz J., Šantrůčková H., 2010: Microbial activity in reclaimed and unreclaimed post-mining sites near Sokolov (Czech Republic). *Ecological Engineering* 36 768–776.

Hendrychová M., 2008: Reclamation success in post-mining landscapes in the Czech Republic: A review of pedological and biological studies. *Journal of Landscape Studies* 1. S. 63-78

Hodačová D., Prach K., 2003: Spoil Heaps From Brown Coal Mining: Technical Reclamation Versus Spontaneous Revegetation. *Restoration Ecology* 11. S. 385-391

Mentlík, Pavel. 2003: Stručný úvod do pedologie a pedografie pro geografy. (Online) [cit. 18.04.19], dostupné z <https://kge.zcu.cz/vyuka2/pudy_uvod.pdf>

Mudrák O., Frouz J., Velichová V., 2010: Understory vegetation in reclaimed and unreclaimed post-mining forest stands. *Ecological Engineering* 36. S. 783-7

Nová E., 2018: Procesy v půdě nefungují, jak by měly. Ta trpí nedostatkem žízá. (Online) [cit. 20.04.19] dostupné z <https://ceskapozice.lidovky.cz/tema/procesy-v-pude-nefunguji-jak-by-mely-ta-trpi-nedostatkem-zizal.A180710_141126_pozice-tema_lube>

Odum E., 1977: Základy ekologie. [překl.] Obrhel a kolektiv, nakladatelství ACADEMIA, Praha, 756 s.

Pavlu L., 2018: Základy pedologie a ochrany půdy. *Česká Zemědělská univerzita v Praze*, Praha 76 s.

Pižl V., 2001: Earthworm Succession in Afforested Colliery Spoil Heaps in the Sokolov Region, Czech Republic. *Restoration ecology* 9. S. 359-364

Rabušic V., 2004: Mnohonásobná lineární regrese. (Online) [cit. 1.04.19], dostupné z <https://is.muni.cz/el/1423/podzim2004/SOC418/multipl_regres_1.pdf>

Rusek J., 2009: Portrét profesora Ruska. (Online) [cit. 10.03.19], dostupné z <<https://www.ceskatelevize.cz/ivysilani/1129337346-pridej-se/208562248410024>>

Řehounek K., Bejček V., Bogush P., Dvořáková H., Frouz J., Hendrychová M., Kabrna M., Koutecká V., Lepšová A., Mudrák O., Polášek Z., Příkryl I., Tropek R., Volf O., Zavadil V., 2010: Výsypky In: **Řehounek K., Řehouneková K., Prach K., (eds.):** Ekologická obnova území narušených těžbou nerostných surovin a průmyslovými deponiemi. Calla, České Budějovice S. 15-35

Smolík D., Dirner, V., 2009: Význam rekultivace jako proces obnovy narušené biosféry. (Online) [cit. 4.03.19], dostupné z <<https://www.hgf.vsb.cz/export/sites/hgf/546/.content/galerie-souboru/Studijni-materialy/EV-modul7.pdf>>

Smolíková L., 1988: *Pedologie I.* Praha : Státní pedagogické nakladatelství Praha, 129 s.

Smrž J., 2013: *Základy biologie, ekologie a systému bezobratlých živočichů.* Karolinum, Praha, 194 s.

Stavinoha J., 2010: Výzkum některých parametrů výsypek Sokolovské uhelné a.s. právní nástupce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta. 122 s. (Disertační práce). „Nepublikováno“, Dep. VSB v Ostravě

Šourková M., Frouz J., Šántrůčková H., 2005: Accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus during soil formation on alder spoil heaps after brown-coal mining, near the Sokolov (Czech Republic). *Geoderma* 124. S. 203-214

Walmsley A., Váchová P., Hlava J., 2019: Tree species identity governs the soil macrofauna community composition and soil development at reclaimed post-mining sites on calcium-rich clays. *European Journal of Forest Research* 138. S. 753-761

9.1 Seznam obrázků a grafů

Obr. 1 rozdělení žížal dle způsobu života.....	9
(https://www.sciencelearn.org.nz/resources/7-niches-within-earthworms-habitat)...9	
Obr. 2 umístění Sokolovska v rámci České republiky.....	12
(https://cs.wikipedia.org/wiki/Okres_Sokolov)	
Obr. 3 Mapa těžbou zasaženého území (Stavinoha , 2015).....	14
Obr. 5 Půdní sondy na území výsypky Matyáš.....	15
Obr. 6 schéma odběru vzorků	16
Graf 1 početnost žížal na lokalitách 2017	21
Graf 2 početnost druhů žížal 2017	22
Graf 3 početnost druhů na porostech dubu 2017.....	23
Graf 4 početnost druhů na porostech olše 2017	23
Graf 5 početnost druhů na porostech smrku 2017.....	24
Graf 6 početnost druhů na porostech modřínu 2017	24
Graf 7 Početnost druhů na porostech borovice 2017	25
Graf 8 početnost žížal na lokalitách 2018	26
Graf 9 početnost druhů žížal 2018	26
Graf 10 početnost druhů na porostech olše 2018	27
Graf 11 početnost druhů na porostech borovice 2018.....	27
Graf 12 početnost druhů na porostech smrku 2018.....	28
Graf 13 početnost druhů na porostech břízy 2018	28