

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA PEDOLOGIE A OCHRANY PŮD



Česká zemědělská
univerzita v Praze

SLOŽENÍ PŮDNÍ ORGANICKÉ HMOTY V DRUHOVĚ ODLIŠNÝCH LESNÍCH
MONOKULTURÁCH NA MODELOVÉM ÚZEMÍ VÝSYPKY ANTONÍN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VEDOUCÍ PRÁCE: doc. Ing. Lenka Pavlů, Ph.D.

ZPRACOVAL: Štěpán Staněček

ROK: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Štěpán Staněček

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

Složení půdní organické hmoty v druhově odlišných lesních monokulturách na modelovém území výsypky Antonín

Název anglicky

Composition of soil organic matter in species-different forest monocultures in the model area of the Antonín dumpsite

Cíle práce

Cílem teoretické části práce bude sestavení uceleného přehledu informací o vlivu vegetačního krytu na utváření půd, o jednotlivých složkách půdní organické hmoty a o již zjištěných rozdílech v jejím složení pod různými druhy dřevin.

Cílem experimentální části práce pak bude zhodnocení kvalitativních parametrů půdní organické hmoty (obsah nízkomolekulárních organických kyselin (LMMOA), hodnoty barevného kvocientu Q4/6 aj.) pod různými monokulturními porosty na výsypce Antonín.

Splněním těchto cílů má student prokázat schopnost samostatné vědecké práce a rovněž potvrdit či vyvrátit následující vědecké hypotézy vztahující se k experimentální části práce.

- 1) Celkový obsah LMMOA se pod porosty jednotlivých dřevin a v odpovídajících si půdních horizontech neliší.
- 2) Zastoupení konkrétních LMMOA je v různých porostech odlišné.

Metodika

Rychlost utváření jednotlivých půdních horizontů a jejich vlastnosti jsou z velké míry podmíněny vegetačním krytem konkrétní plochy, tedy kvalitativními parametry humusotvorného materiálu. Lesnická rekultivace na výsypce Antonín je specifická tím, že byla založena, jako soubor experimentálních ploch s porosty široké škály dřevin a je tedy vhodná pro hodnocení jejich vlivu na půdní podmínky. V obecnější rovině bude teoretická část bakalářské práce věnována rekultivacím po těžbě hnědého uhlí, vytváření nových ekosystémů a s tím úzce spojenému vzniku půdy. Konkrétněji pak bude zaměřena na studium kvalitativních parametrů půdní organické hmoty, především pak na studium chemického složení rozpustné organické hmoty. Tato frakce je přímo závislá na vegetačním krytu, respektive na kořenové exsudaci jednotlivých dřevin či bylin a dále na biologické aktivitě edafonu. Experimentální práce bude zahrnovat odběr půdních vzorků, jejich přípravu a stanovení obsahu širší škály nízkomolekulárních organických kyselin ve vodném extraktu. Budou u nich stanoveny i jiné půdní vlastnosti (obsah oxidovatelného uhlíku, barevný kvocient Q4/6, aj.) Výsledky budou zpracovány a vyhodnoceny základními statistickými metodami.

Doporučený rozsah práce

Podle platných pokynů pro vypracování bakalářské práce.

Klíčová slova

půda, půdní organická hmota, lesnická rekultivace, výsypky

Doporučené zdroje informací

- Hendrychová M. (2008): Reclamation success in post- mining landscapes in th e Czech Republic: A review of pedological and biological studies. *Journal of Landscape Studies*, 1: 63–78.
- Hubova P., V. Tejnecky, C. Ash, L. Boruvka, O. Drabek, 2017. Low-Molecular-Mass Organic Acids in the Forest Soil Environment. *Mini-Rev. Org. Chem.* 14, 75–84.
- Chodak M., Niklínska M. (2010): The effect of different tree species on the chemical and microbial properties of reclaimed mine soils. *Biology and Fertility of Soils*, 46: 555–566.
- Spasić M., Borůvka L., Vacek O., Drábek O., Tejnecký V. (2021): Pedogenesis problems on reclaimed coal mining sites. *Soil and Water Res.*, 16: 137–150.
- ŠARAPATKA, B. *Pedologie a ochrana půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-3736-1.
- ŠIMEK, Miloslav et al. *Živá půda: biologie, ekologie, využívání a degradace půdy*. Praha: Academia, 2019. 789 s. ISBN 978-80-200-2976-8.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 ZS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Ing. Lenka Pavlů, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra pedologie a ochrany půd

Elektronicky schváleno dne 4. 5. 2022

prof. Dr. Ing. Luboš Borůvka

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 29. 7. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 10. 02. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Složení organické hmoty v druhově odlišných lesních monokulturách na modelovém území výsyvky Antonín vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění posledních předpisů, a to i bez ohledu na výsledky její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR

V Praze dne 29.3.2023

.....

(podpis autora práce)

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval doc. Ing. Lence Pavlů, PH.D., za vedení bakalářské práce, cenné připomínky, podporu, rady a pomoc při psaní bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval RNDr. Václavu Tejneckému, Ph.D. za pomoc při zpracovávání a měření vzorků.

Abstrakt

Bakalářská práce „Složení půdní organické hmoty v druhově odlišných lesních monokulturách na modelovém území výsypky Antonín“ se zaměřuje na složení půd pod vybranými dřevinami na výsypce Antonín na Sokolovsku. Zkoumané dřeviny jsou bříza bělokorá, borovice lesní, smrk ztepilý, douglaska tisolistá, lípa srdčitá, dub letní, buk lesní a habr obecný. Cílem bakalářské práce je stanovení obsahu nízkomolekulárních kyselin (LMMOA) v jednotlivých porostech a zjištění, zda půda pod zkoumanými dřevinami se liší obsahem těchto kyselin v závislosti na druhu a vlastnostech daných porostů. V návaznosti na tento cíl se bakalářská práce zabývá zastoupením konkrétních LMMOA v půdě. K získání výsledků byla použita spektrofotometrická analýza pro stanovení kvality humusových látek, dále jsme změřili množství oxidovatelného uhlíku v půdě a na závěr jsme stanovili množství nízkomolekulárních kyselin pomocí iontové chromatografie. Z výsledků půdních rozborů porostů zkoumaných dřevin, můžeme vidět rozdíl mezi listnatými a jehličnatými dřevinami, a to kvůli schopnosti snazšího rozkladu opadu u listnatých dřevin. Uvolněné organické látky se lépe dostávají do nižších částí půdy oproti jehličnatým dřevinám. Na základě zhodnocení výsledků můžeme říct, že obsah LMMOA se v jednotlivých porostech výrazně liší, a to v závislosti na rozkladu opadu, jednotlivých vlastnostech dřevin.

Klíčová slova:

půda, půdní organická hmota, lesnická rekultivace, výsypky

Abstrakt

The bachelor thesis "Composition of soil organic matter in species-different forest monocultures in the model area of the Antonín dumpsite" focuses on the composition of soils under selected tree species in the Antonín dumpsite in the Sokolov region.

The investigated tree species are white birch, Scots pine, Norway spruce, Douglas fir, sweet lime, summer oak, beech and hornbeam.

The aim of the bachelor thesis is to determine the low molecular weight acids in the individual stands and to determine whether the soil under the studied tree species varies in the content of these acids depending on the species and characteristics of the stands. Following this objective, the bachelor thesis deals with the representation of specific low molecular mass organic acids (LMMOA) in the soil. To obtain the results, spectrophotometric analysis was used to determine the quality of humic substances, we also measured the amount of oxidisable carbon in the soil and finally we determined the amount of low molecular weight acids by ion chromatography. Based on the evaluation of the results, we can say that the content of LMMOA varies considerably among the different subspecies of the trees, depending on the decomposition capacity of the litter, the individual characteristics of the trees and their location in the experimental area. From the results of the soil analysis of the stands of the studied tree species, we can see the difference between deciduous and coniferous trees, due to the ability of easier decomposition of the fallout of deciduous trees. The organic matter released is more readily incorporated into the lower parts of the soil compared to conifers. On the basis of the evaluation of the results, we can say that the LMMOA content varies significantly from stand to stand, depending on the decomposition of the litter, the individual characteristics of the trees.

Keywords:

soil, soil organic matter, forestry reclamation, dumps

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce.....	3
3	Literární rešerše	4
3.1	Vznik půdy.....	4
3.1.1	Mateční hornina a její zvětrávání.....	4
3.1.2	Klima.....	5
3.1.3	Voda	6
3.1.4	Biologický faktor.....	7
3.2	Taxonomie půd	9
3.3	Sokolovská pánev.....	10
3.4	Vznik výsypky Antonín na Sokolovsku	13
3.5	Rekultivace	13
3.5.1	Lesnická rekultivace na výsypkách.....	14
3.5.2	Druhová skladba dřevin na výsypkách	15
4	Metodika.....	17
4.1	Způsob odběru vzorků	17
4.2	Laboratorní zpracování vzorků.....	17
4.2.1	Stanovení kvality humusových látek spektrofotometricky.....	17
4.2.2	Množství oxidovatelného uhlíku – C _{ox}	18
4.2.3	Množství nízkomolekulárních kyselin	19
5	Výsledky	21
6	Diskuse	28
6.1	Jehličnaté dřeviny	28
6.1.1	Nadložní horizont jehličnatých dřevin	29
6.1.2	Horizonty A jehličnatých dřevin.....	29
6.2	Listnaté dřeviny.....	30
6.2.1	Nadložní horizont listnatých dřevin	30
6.2.2	Horizont A listnatých dřevin.....	31
7	Závěr.....	32
8	Seznam zkratk	33
9	Literární zdroje.....	34

1 Úvod

Půda je neobnovitelný zdroj, který je zapotřebí chránit a udržovat.

Půda vzniká a postupně se vyvíjí po velmi dlouhou dobu zvětráváním hornin a minerálů, fyzikálními a chemickými pochody. S těmito postupy souvisí i působení organismů a biologických procesů. Kromě přírodních faktorů podléhá vývoj půdy i vlivu člověka, a to od doby kdy lidé půdu začali využívat pro pěstování rostlin a získávání potravy. Proces utváření a vývoje půdy se nazývá pedogeneze.

Povrchovou těžbou dochází k devastaci krajiny a přirozených ekosystémů, které musí být následně upraveny do hodnotné krajiny, která bude přírodě blízká a schopná tvořit bohaté ekosystémy a odpovídat požadavkům společnosti. Jednou z nejlepších možností, jak navrátit krajinu do přírodě blízkého stavu může být lesnická rekultivace. Součástí udržitelné těžby nerostných surovin je začlenit procesy rekultivace již během plánování těžby. Rekultivační procesy jsou jednou z fází povrchové těžby a jsou zahrnuty v zákoně. Zalesňování je potenciálně nejprínosnějším a nejpřirozenějším rekultivačním opatřením. Zmírňuje některé dopady na krajinu, v průběhu času zvyšuje biologickou diverzitu, funkce půdního ekosystému a tvorbu biomasy (Pietrzykowski, 2019)

Ekologické fáze obnovy zahrnují složité cykly technických a biologických procesů, které mají potenciál vrátit degradované území do původního stavu před těžbou (Marrs a Miao, 2000, Ahirwal a Maiti, 2019). Znehodnocení půdy a krajiny, jako je ztráta živin vyplavením, eroze půdních horizontů, ničení stanovišť, narušení mikrobiálních ekosystémů, případná akumulace nebezpečných látek a ohrožení lidského zdraví jsou jedny z negativních vlivů při těžbě uhlí (Kuter, 2013).

U lesnické rekultivace na konkrétních výsypkách je cílem určit a pokusit se najít optimální meliorační opatření. Závisí na časové a environmentální potřebě, dle naléhavosti se používá lesnická rekultivace, od řízené sukcese, přes standardní lesnickou rekultivaci. Zvolení správné dřevinné skladby pro rekultivace je zásadní.

Zalesňování lesní a zemědělské půdy se výrazně liší od lesnické rekultivace na výsypkách po povrchové těžbě hnědého uhlí, která podléhá specifickým ekologickým faktorům. Mezi faktory ekologické, patří rekultivace na výsypkách s nedostatečně vyvinutými organickými a organominerálními půdními horizonty, které by

pravděpodobně mohly tlumit nechtěné fyzikální a chemické vlastnosti substrátů (Roubíková et al. 2021).

2 Cíl práce

Cílem teoretické části práce je sestavení uceleného přehledu informací o vlivu vegetačního krytu na utváření půd, o jednotlivých složkách půdní organické hmoty a o již zjištěných rozdílech v jejím složení pod různými druhy dřevin. Cílem experimentální části práce pak bude zhodnocení kvalitativních parametrů půdní organické hmoty (obsah nízkomolekulárních organických kyselin (LMMOA), hodnoty barevného kvocientu Q4/6 aj.) pod různými monokulturními porosty na výsypce Antonín.

Experimentální část vědecké práce má za cíl potvrdit či vyvrátit následující vědecké hypotézy

- 1) Celkový obsah LMMOA se pod porosty jednotlivých dřevin a v odpovídajících si půdních horizontech neliší.
- 2) Zastoupení konkrétních LMMOA je v různých porostech odlišné.

3 Literární rešerše

3.1 Vznik půdy

Půda (neboli pedosféra) je povrchová vrstva zemské kůry na rozhraní mezi litosférou, biosférou, atmosférou a hydrosférou, často prostoupená vzduchem, vodou, minerály i organismy. Hraje zásadní roli ve stabilitě ekosystémů a je mimo jiné základním článkem detritického potravního řetězce, substrátem pro růst rostlin, zásobárnou vody a filtračním čistícím prostředím, přes které voda přechází. Půdní organická hmota je primární suchozemskou zásobárnou uhlíku, dusíku, fosforu a síry. (Pavlů, 2019).

Tento dynamický živý systém vzniká působením půdotvorných faktorů z organických látek a z povrchových zvětralin zemské kůry. Mezi hlavní půdotvorné faktory patří mateční hornina, z níž zvětráváním vzniká půdotvorný substrát, půdní organismy, klima, vodní bilance a lidský faktor. Organismy (neboli edafon) rozkládají a přemísťují složky v půdě a provzdušňují ji. Půda je pro ně zdrojem živin, které pak dodávají včetně organické hmoty zpět do půdy. Intenzitu jejich aktivity ovlivňuje úživnost půdy a klima, které působí na půdu nejen teplotními změnami a intenzitou srážek, ale i prostřednictvím vegetace. Proces vzniku půdy podmiňuje čas a reliéf, který ovlivňuje provlhčení půdy a její teplotu. V rovinaté krajině probíhá výměna energie a přítoku a vertikální uvolňování vody a půda se vyvíjí do hloubky. Oproti tomu v místech prudkého svažování půdy, srážky převážně stékají z povrchu dolů, čímž vzniká vymývání povrchu a eroze. To znamená, že půdy na svažitých pozemcích bývají mělčí a sušší než půdy na náhorních plošinách nebo v údolích, kde voda odtékající ze svažitého terénu ukládá další sedimenty a přináší více vlhkosti (Šimek et al. 2019).

3.1.1 Mateční hornina a její zvětrávání

Mateční hornina je přírodními činiteli pevná, nenarušená, či nezpevněná hornina tvořící podkladový materiál vyvřelého, metamorfovaného či sedimentárního původu. Avšak více než její původ je pro pedologii nejdůležitější, jaké prvky obsahuje, její struktura, minerální složení, textura a rychlost zvětrávání, kterým podporuje přísun minerálních látek do půdy (Pavlů, 2019). Zvětrávání je přirozený proces adaptace na nové prostředí, který se odehrává v hloubce pouhých několika desítek metrů a

zapřičiňuje rozpad mateční horniny. Spočívá nejprve ve fyzickém rozpadu a následném chemickém rozkladu hornin, což mění jejich vnitřní strukturu a fyzikálně mechanické vlastnosti. Vzniklé hrubé úlomky se následně rozpadají na písek až jemný prach (Šarapatka, 2014).

Zvětrávání rozdělujeme na chemické, fyzikální (mechanické) a biologické. Důvodem fyzikálních zvětrávání jsou například teplotní změny (insolace, mráz), exfoliace, krystalizace solí v pórovém prostoru a hydratace. Teplotní změny ovlivňují mineralogické složení a barvu a způsobují objemové změny, které směřují k tvorbě puklin a následnému rozpadu mateční horniny. Rozpad horniny může být zároveň ovlivněn také hydratací, když voda po vniknutí do pukliny zmrzne. To zvětší její objem (až o devět procent), čímž ji roztrhne. Dále může způsobovat mechanický rozpad při přesouvání hornin, při kterém dochází k omílání horniny, rozpadu a postupnému zaoblení. Voda a v ní rozpuštěné látky je také hlavním činitelem chemického zvětrávání, jejichž působení rozkládá původní minerály na druhotné minerály. Proces rozpouštění je výrazně ovlivňován teplotou rozpouštědla a dochází při něm k transportu prvků a k degradaci některých horizontů. Následně se štěpí složitější nerosty hydrolyzou, jejímž základem je disociace vody na kladný vodíkový kationt a záporný hydroxylový aniont. Při hydrataci přijímají bezvodné nerosty vodu a mění se na vodnaté a kyslík rozpustný ve vodě pak způsobuje okysličování nerostů. Oxidací se mění mocenství, barva a vlastnosti vzniklých minerálů, avšak hlouběji v půdním profilu oxidačních procesů ubývá a může dojít naopak k redukci. Oxid uhličitý rozpuštěný ve srážkách proniká z atmosféry do půdního vzduchu a reaguje s bázemi za vzniku druhotných uhličitánů. Oxid uhličitý může vznikat také rozkladem organických látek a organismů, které se řadí mezi biologické vlivy zvětrávání. Způsobují ho určité organismy vylučováním kyselin, které podporují hydrolytický rozklad (Šarapatka, 2014).

3.1.2 Klima

Zvětrávání není ovlivněno jen vlastnostmi daného materiálu, ale i klimatickými podmínkami, které jsou jedním z rozhodujících faktorů při průběhu zvětrávání. Jeho rychlost a konečné produkty ovlivňuje klima prostřednictvím teploty, srážek a jejich vzájemného poměru v dlouhodobém měřítku. Dále má vliv na vegetační kryt a vodní režim půdy a trvání vegetačního období (Šarapatka, 2014).

V oblastech s aridními podmínkami (sucho a teplo s malým úhrnem ročních srážek) i v chladných klimatických podmínkách převažují fyzikální procesy zvětrávání nad chemickými. V extrémních aridních podmínkách se tvoří hrubé písčité zvětraliny a rozpustné soli uvolněné hydrolýzou většinou prosakují nahoru k povrchu, kde se hromadí. Střídáním zmrznutí a oteplením vznikají především na svazích hor kamenité sutě, které mohou být transportovány vodou či ledovci do rovinnatějších oblastí, kde se prolínají s dalšími produkty zvětrávání. Chemické procesy mají převahu v humidním klimatu, které probíhají za velkého množství srážek a uplatňuje se zde i biologické zvětrávání (Pavlů, 2019).

Přenos tepla z půdního povrchu do hlubších vrstev je závislý na tepelné kapacitě a vodivosti půdy, která dále závisí na její hustotě a textuře, obsahu vody a případně i na obsahu organických látek. S obsahem vody v půdě vodivost i kapacita stoupá, protože voda má mnohem vyšší tepelnou kapacitu než suchá půda. V sezónním klimatu vede rychlé odvádění teploty z půdního povrchu do větší hloubky k tomu, že na jaře trvá daleko déle, než se ohřeje povrchová vrstva vlhkých až zamokřených půd, což brzdí procesy v půdě včetně růstu rostlin, které v ní koření. Teplota půdy je s přibývajícím hloubkou stabilnější s výrazně utlumenými výkyvy. Při zpoždění odvodu tepla dochází k posunu maxima na pozdější období v daném čase (Šarapatka, 2014).

3.1.3 Voda

Voda je primární složkou všech organismů a také prostředím, ve kterém probíhají všechny životní pochody. Má velkou tepelnou kapacitu a rozpouští živiny. Kvantita vody v půdě reguluje difúzi plynů, pH, zředěnost a teplotu půdního roztoku a je jedním z nejdůležitějších faktorů určující růst rostlin a biologickou aktivitu půdy. Voda je životním prostředím pro mikrofaunu a mikroorganismy, které spolu s kořeny rostlin přijímají transportem přes membrány nezbytné látky rozpuštěné ve vodě (Šimek et al. 2019). Primárním zdrojem vody v půdě jsou atmosférické srážky. Dostávají se do půdy infiltrací (vsakováním). Dalším zdrojem je podzemní voda, která proniká do půdy vztlínáním (stoupáním). Část vody je víceméně pevně zadržována v půdě a zbytek prosakuje až po první nepropustnou vrstvu (zpravidla jílu tvořící bázi podzemní vody), která brání vodě ve vertikálním průsaku. Nachází se zde tzv. zvoďeň (= nasycená vrstva půdy) napájena průsakem od povrchu a laterálním přítokem. Pokud se pod špatně propustnou vrstvou nasycenou vodou nachází lépe propustná vrstva,

dochází k odvodňování nasycené zóny odspoda a vzniká zde zavěšená vodní hladina. Dochází k tomu především v pseudoglejích neboli půdách dočasně zamokřených vlivem infiltrace vydatných srážek (Šimek et al. 2019). V půdě se voda nachází v půdních pórech (průduších). Zastoupení pórů různých velikostí závisí na zrnitosti a struktuře půdy. Velké póry větší než 50 μm , které jako jediné dovolují růst kořínkům rostlin, obsahují vodu pouze pokud je půda zamokřená. Středně velké póry o velikosti mezi 0,2 a 50 μm obsahují kapilární vodu a jsou přístupné mikroorganismům a kořenovému vlášení, které tuto vodu přijímá. Jemné póry menší než 0,2 μm váží vodu tak pevně, že většině rostlin již není dostupná. Ve vlhkém podnebí jsou tyto póry prakticky vždy naplněné vodou (Šimek et al. 2019). Dynamika vody v půdě závisí především na klimatu – v případě vícero ročních období (a tedy i období vegetační a vegetačního klidu) dochází ke změnám přísunu i ztráty vody. Dále na vodní režim půdy působí její vlastnosti a hydrologická situace na daném místě (Šantrůčková, 2010).

3.1.4 Biologický faktor

Jedním z významných půdotvorných činitelů jsou živé organismy, které půdu využívají, utváří a přeměňují. Mezi ně můžeme zařadit i vyšší rostliny, které sice nejsou celým tělem v půdě, ale ovlivňují ji svým kořenovým systémem, který působí na půdu mechanickým prorůstáním, chemickým vylučováním a transpirací, která ovlivňuje vlhkost a živinový stav půdy. Kolem kořenů rostlin je tenká vrstva půdy (tzv. rhizosféra) jiného charakteru než volná půda (Pavlů, 2019). Rostliny jsou součástí vegetačního krytu, který tvoří určité mikroklima a chrání půdu před erozí. Jejich odumřelá těla a opad listů a jehlic se na povrchu půdy hromadí, kde následně podléhají rozkladným procesům. Společně s těly hub, živočichů a jejich trusu se z nich stává humus, který je nejurodnější částí půdy, jelikož jí dodává minerální látky potřebné pro rostliny. Na rychlost rozkladu má vliv teplota, dešťové srážky a činnost rozkladačů (houby, bakterie).

Společenstvo všech organismů v půdě, které zde žijí nebo s ní mají blízký vztah, nazýváme edafon, půdní organismy či půdní živena (Šarapatka, 2014). Má velký význam pro úrodnost a sanitární funkci půdy a podílí se na tvorbě její struktury – rozkládají a transportují složky z jedné části půdy do druhé, provzdušňují ji, zvyšují její porozitu a dodávají organické kyseliny a CO_2 . Odumřelý edafon a kořeny rostlin se rozkládají a transformují za pomoci mikroflóry. Chemické složení organické hmoty

a rostlinných zbytků v půdě ovlivňuje mikrobiální aktivitu a strukturu mikrobiálního společenstva a tím i rychlost rozkladu. Kromě rozkladu vysokomolekulárních organických látek na jednoduché nízkomolekulární anorganické sloučeniny dochází syntézou i k vzniku složitých organických sloučenin, které jsou součástí humusu (Šarapatka, 2014).

Edafon představuje 1-10 % suché hmotnosti organické hmoty v půdě, kterou tvoří ze tří čtvrtin fytoedafon a z jedné čtvrtiny zooedafon (Bernard-Reversat et al. 2011). Jako fytoedafon označujeme půdní mikroflóru a řadíme do něj řasy, sinice, bakterie a houby. Zooedafon je půdní fauna včetně heterotrofních prvoků. Dále lze půdní organismy třídit na základě taxonomie, trofické pozice, výskytu z hlediska preferované půdní vrstvy a životního cyklu, velikosti těla a ekologické funkce. Na základě velikosti se dělí na makrofaunu, mesofaunu a mikrofaunu. Makrofauna zahrnuje větší obratlovce žijící v půdě jako například králíci nebo krtci. Do mesofauny řadíme organismy viditelné pouhým okem (např. žížaly, mravenci, brouci, termiti, měkkýši ...). Nejvýznamnější z mesofauny jsou bezpochyby žížaly, které zlepšují půdní strukturu a zabraňují vytváření krusty na povrchu půdy. Jejich chodbičky zabezpečují provzdušnění půdy, lépe jimi proniká voda ke kořinkům rostlin a nadbytečná voda odtéká. Koprofágové zvyšují rychlost promíchání organických zbytků s půdou a mravenci a termiti rozkládají všechny formy humusu, těla a větve stromů a listů. Organismy spadající do mesofauny prochází organická hmota, kterou rozmělní a v zažívacím traktu smísí s minerálními částicemi. Jejich exkrementy mění půdní texturu a půdní chemické reakce a jsou rozkládány mikroorganismy, které rozkládají organické složky až na minerální částice, které jsou poté přístupné pro rostliny. Jejich účinnost se zvyšuje zvyšující se teplotou a humiditou. Jedním z jejich nejznámějších zástupců jsou bakterie, které žijí ve velkém množství ve vodním filmu na povrchu půdních částic. Důležitou roli ve vývoji půdní struktury hrají houby, které lépe rostou v kyselých půdách a jsou tolerantnější k variabilitě půdní vlhkosti než bakterie (Šimek et al. 2019). Řasy se vyskytují na povrchu půd proto, že jsou fotosyntetické, avšak v případě, kdy jsou k dispozici rozpuštěné jednoduché organické sloučeniny, mohou růst i bez slunečního záření. Přeměňováním atmosférického dusíku a jeho začleňování do aminokyselin. Nejmenšími půdními živočichy jsou protozoa – jednobuněčné nebo nebuněčné organismy žijící ve vodních povlacích a kontrolují množství bakterií a hub v půdě (Šimek et al. 2019).

Do biologického faktoru můžeme zařadit také lidský faktor, který je s různou kvalitou a intenzitou součástí půd po mnohá staletí. Hospodaření na půdě, závlahy, změny pěstovaných rostlin, obdělávání, hnojení – všechny tyto faktory mění normální podmínky pedogeneze. Avšak lidská činnost má i negativní vliv na půdu. Způsobuje zrychlenou erozi či kontaminaci, což vede ke změnám přirozených půdních procesů. Kromě ovlivňování přirozeně vzniklých půd člověk navíc tvoří nové půdy, kde přímo ovlivňuje jejich vlastnosti.

3.2 Taxonomie půd

Taxonomický klasifikační systém půd České republiky třídí jednotlivé kategorie půd v ČR do přehledného systému podle svých vlastností. Rozlišuje, organominerální povrchové horizonty, nadložní organické horizonty podpovrchové horizonty a horizonty níže sola.

Nadložní organické horizonty obsahují více než 12-18 % organického uhlíku a více než 20-30 % organických látek. Vznikají na půdách, které nejsou zamokřeny a dělí se na horizont opadanky (L) tvořený poměrně čerstvým rostlinným opadem bez známek zjevného rozkladu, horizont drti (F; fermentační) tvořený částečně rozloženými organickými zbytky a horizont měli (H; humufikační) tvořený rostlinnými zbytky v silném stupni rozkladu, kvůli čemuž jejich struktura většinou není rozeznatelná. Hydrogenní horizonty nadložního humusu vznikají na půdách, které jsou většinu roku zamokřené. Rašelinné horizonty jsou tvořeny zrašeliněnými organickými zbytky. Organominerální povrchové horizonty jsou povrchové minerální horizonty s akumulací humifikovaných organických látek. Pod horizonty akumulace organických látek se nacházejí podpovrchové horizonty.

Sled podpovrchových horizontů a vrstev hraje menší roli u výsypek, které jsou tvořeny z materiálů navrstvených na daném místě uměle (lidskou aktivitou). Půdy jsou zde označovány jako antropozemě. Nadložní organické horizonty se vyvíjí až po rekultivaci výsypky. Na základě přítomnosti jednotlivých vrstev (L, F, H případně organominerálního horizontu A) lze určit formy nadložního humusu.

Tyto formy jsou tři: Mor, Mull a Moder. Mor se tvoří převážně v kyselých a chudých půdách v chladném klimatu, kde jsou nepříznivé podmínky k rozkladu a transformaci humusu. Moder zastává přechodnou oblast mezi morem a mullem.

Je tvořen částečně rozloženými zbytky rostlin. Mull vzniká oproti moru za příznivých podmínek pro rozklad. Vznikají v teplém klimatu pod smíšenými, nebo listnatými porosty.

Zde jsou zmíněny pouze vybrané formy nadložního humusu, které jsou vázané na dále diskutovanou lesnickou rekultivaci a vybrané dřeviny na výsypce Antonín. Moderová humusová forma vzniká v příznivějších klimatických a půdních podmínkách, oproti moru, který je vázaný na chladné klima. Velkou roli při rozkladu, který u této formy podmiňuje významnou, ale ne úplnou mineralizaci a humifikaci organických zbytků, hrají stanovištní podmínky, hlavně vlhkost a provzdušenost opadané vrstvy. U moderu je vždy přítomný horizont H. U modernu je aktivita zooedafonu mnohonásobně vyšší než u moru, ale nedosahuje na aktivitu v mulových humusových formách. Morový moder je forma moderové humusové formy, která se vyznačuje přechodnou subformou k moru s mocností 3-10 cm a stratigrafií L, Fa, Fm, Hh. Podobnost s morem vyplývá hlavně z přítomnosti amfigenního dřevého horizontu Fa, ve kterém jsou mimo exkrementů zooedafonu části i mycelia hub (Končel, 2016). Mulové humusové formy vznikají v podmínkách velice příznivých pro rozklad a transformaci organických zbytků. Mul vzniká v mírném a teplém klimatu, na půdách s příznivou trofností, provzdušeností a s mírným vodním režimem, v listnatých nebo smíšených lesích. Charakteristický je dobře vyvinutý humózní horizont A, který bývá černohnědý až hnědočerný. Jiné horizonty se buď nevyskytují, nebo jsou velmi tenké. V mulu je hodně intenzivní činnost zooedafonu, bakterií a aktinomycet, které zpřičiňují rychlý rozklad organické hmoty. Pravý mul má maximální mocnost 2 cm a stratigrafii (L), (Fz). Semimul je humusová subforma s mocností do 2 cm a stratifikací (L), (Fz), (Hz). Přítomnost tenkého zoogenního horizontu drti Hz odlišuje semimul od pravého mulu. Tvoří se na jílem chudších minerálních substrátů, na kterých bývá půda sušší a mělčí (Končel, 2016).

3.3 Sokolovská pánev

Těžba hnědého uhlí a vznik výsypek, kterým je tato práce věnována, je v České republice vázána na podkrušnohorské pánve, kam patří i Sokolovská pánev, na které leží výsypka Antonín a zkoumané území.

Sokolovská pánev jde rozdělit do čtyř litostratigrafických jednotek souvrství, které jsou zpravidla od sebe odděleny hiátem. Člení se na starosedelské, novosedelské,

sokolovské a cyprisové souvrství (Pešek et al. 2010). Sokolovská pánev je český geomorfologický celek nacházející se v severozápadní části Podkrušňohorské oblasti, na území okresů Sokolov a Karlovy Vary. Nejvyšším bodem je Zelený vrch. Na starších mapách ještě nalezneme bývalý nejvyšší vrch v Sokolovské pánvi, a to Dvorský vrch. Sokolovská pánev nemá z hlediska českého geomorfologického členění žádný podřazený celek, dělí se na čtyři okrsky a to: Chlumský práh, Svatavská pánev, Chodovská pánev a Ostravská pánev.

Starosedelské souvrství na území sokolovské pánve obsahuje nejstarší terciérní sedimenty. Velká část sedimentů vznikla před koncem eocénu, což vyplývá z nepřítomnosti těžkých minerálů, z vulkanitů Doupovských hor a z nízkého obsahu titanu v jílové frakci depozit. Typické horniny souvrství jsou pískovce, písky, šterky a slepence, u kterých se mocnost pohybuje okolo 40 m (Pešek et al. 2010).

Novosedelské souvrství je litostratigrafickou jednotkou, která odráží první stadium zřetelného rozšíření, spojené s intenzivními tektonickými pohyby a vulkanickou činností. Je z velké části oligocenního stáří, jenom nejsvrchnější části přesahují do miocénu, a to do spodního aquitanu. Omezení vůči nadloží i podloží je diskordantní, provázené proměnou klimatu, strukturální přestavbou území, zvětrávání, denudací a durikrustami. Ty se projevují náhlou změnou litologie, textur, mineralogického a chemického složení hornin a jejich paleontologického obsahu. Tato depozita jako první vyplňovala tzv. mělkou depresi, jež vznikala na kaolinicky zvětralých granitech, svorech a pararulách. Jednotným znakem je mnohonásobné opakování vulkanogenních hornin a sedimentů, které se ukládaly v podmínkách tektonicky vyvolané subsidence. Novosedelské souvrství je vytvořeno ze sedimentů několika se rozdělujících facií, ty se několikrát po sobě opakují nebo vzájemně prolínají. Skládá se z davidovské vrstvy, josefské a chodovské vrstvy. Mocnost sedimentů vrstev je až 85 m. Jedná se zejména o uhelné sloje rozdělené nejčastěji do dvou lávek, kaolinické jíly a písky, také o tufy a ostatní vulkanity (Pešek et al. 2010).

Sokolovská pánev je terestrická terciérní pánev s vrásově zlomovou stavbou. Je to oboustranně tektonicky ohraničený, stupňovitý, příčně asymetrický příkop, protažený směrem severovýchod – jihovýchod. Pánev má délku 36 km, šířku 9 km a rozlohu 312 km². Na jihu je omezena oherským, neboli jižním okrajovým zlomem, jenž jí odděluje od Slavkovského lesa a Tepelské vrchoviny. Pánev je ze severu ohraničena stupňovitým zlomovým pásmem Krušnohoří. Na západě je oddělena od Chebské pánve krystalinickým hřbetem Chlumu sv. Maří a z východu je oddělena od

severočeské hnědouhelné pánve krystalinickým hřbetem oherského krystalinika, překrytým vulkanity Doupovských hor. V západní a východní části je podloží tvořeno svory a pararuly. Jednotlivé bloky krystalinika jsou mezi sebou odděleny granity karlovarského plutonu a vulkanity, či jsou překryty terciárními sedimenty, tudíž je nedají mezi sebou spolehlivě paralelizovat (Pešek et al. 2010).

Sokolovské souvrství, stáří aquitanu až burdigalu, reflektuje druhé období intenzivní expanze pánve, spojené s vulkanismem a subsidencí pánevního fundamentu. Ukládání vrstev probíhalo již pouze v tektonických hranicích sokolovské pánve. V regionální škále hovoříme o miocenním stupni eggenburg, jenž se vyznačuje erozní plochou, ostrou litofaciální změnou, zavětrovacím obrazem, náhlou změnou v paleontologickém obsahu uloženin a strukturní přestavbou území. Hranice s nadložním cyprisovým souvrstvím je konkordantní a bezhiátová. Sokolovské souvrství jednotí znak, kterým je několikanásobně opakující se ukládání hornin vulkanického původu a sedimentů, jenž vznikly z podmínek tektonicky vyvolané subsidence. Typické skupiny hornin a sedimentační prostředí (rašeliniště, bažiny, fluviální, lakustrinní, gravitační a vulkanické) jsou přiřazeny litostratigrafické členy, které mezi sebou navzájem pronikají, opakují a mají nerovnoměrné hranice. Součet všech vrstevních jednotek souvrství dosahuje mocnost okolo 200 m. Největší mocnost dosahuje až 300 m, a to v okolí vulkanických center. Sokolovské souvrství je tvořeno habartovskou, anežskou, těšovickou a antonínskou vrstvou (Pešek et al. 2010).

Cyprisové souvrství má název od ostrakóda *Cypris angusta*. Hranice cyprisového souvrství s podlažním sokolovským souvrstvím (antonínská vrstva) je většinou ostrá, konkordantní, blízká izochroně, místy oscilační se střídáním lamin uhlí a čočkovitě zvrstvených prachovců až pískovců. Skoro celé souvrství je tvořeno slabě karbonitickými bitumenními jílovcí se střídajícími se světlejšími a tmavšími laminami. Jejich střídání pravděpodobně vzniklo střídáním vlhčích a sušších ročních období. Tento rytmus koreluje i s cyklickými povlaky eolického slídnato-křemenného prachu až jemnozrnného písku na povrchu lamin (Pešek et al. 2010). Cyprisové souvrství má mocnost v centrální části pánve až 182 m. Nachází se zde cyprisové břidlice, které obsahují nálezy zbytků rybí fauny, planktonu či rostlin a konkrece pyritu a pyrhotinu. Čankovské písky jsou až 30 m mocné a jsou tvořené z okrově žlutohnědých, diagonálně zvrstvených písků, slepenců a pískovců (Horvát, 2012).

3.4 Vznik výsypky Antonín na Sokolovsku

Výsypka Antonín se nachází západně od města Sokolov, mezi Sokolovem, Dolním Rychnovem a řekou Ohří. Rozloha výsypky je 168 ha. Rekultivace byly ukončeny a výsypka je pokryta téměř z 90 % vegetací.

Výsypka vznikla zasypáním povrchového lomu Antonín. Těžba probíhala v letech 1881 až 1965, nejprve hlubinným, později povrchovým způsobem. Hlavní energetická surovina České republiky je hnědé uhlí, jeho těžbou je ovlivněno zhruba 270 km² českého území. Sokolovsko spolu s Mosteckem patří mezi nejvýznamnější hnědouhelné lokality ČR. Do první poloviny 20. století převažovala těžba hlubinná, aktuálně se těží pouze povrchově. Při povrchové těžbě se eliminují veškeré vrstvy nadloží nad těženým nerostem, tak ložisko nerostu může být vytěženo celé. Jde o ekonomičtější způsob, ale tento typ těžby zasahuje a výrazně přetváří celou krajinu. Vzniká tak destrukce všech sfér prostředí, a to následně ovlivňuje i sféru sociální. Nadložní vrstvy materiálu (skrývka), se ideálně ukládají pomocí bočních zakladačů do vytěžené jámy či mimo ni, vytváří se tak vnitřní a vnější výsypky. Boční zakladače sypou materiál do rovnoběžných, metrových vln vzdálených od sebe 4-8 m. Na Sokolovsku jsou nejčastější skrývkou cyprisové třetíhorní jíly, ty dosahují mocnosti až 200 m (Frouz a Reitschmeidová, 2016).

3.5 Rekultivace

Vývoj národního hospodářství je do jisté části závislý na těžbě nerostných surovin, která je prováděna hlubinnými či povrchovými způsoby. Kromě pozitivních ekonomických přínosů má však i značné dopady na krajinný ráz. Devastace krajiny postihuje všechny krajínotvorné prvky, dochází k významnému záboru a ničení produktivní půdy, narušování obdělávatelnosti okolních pozemků a celkového životního prostředí. S vývojem techniky a technologie, se těžby dostávají k hlouběji uloženým ložiskům. Tímto se neustále větší množství odklizených hornin ukládá na 18 odvaly a výsypky. S aktivní těžbou vznikají požadavky na rekultivace a zvýšení produktivního potenciálu území. Jde o dlouhodobý proces, rozvojem technologických postupů těžby i s vývojem vědecko-výzkumných znalostí v oboru rekultivací (Dirner a Smolík, 2006; Hendrychová, 2008). Těžební způsoby i projevy následků těžby jsou velmi odlišné a různě komplikované, to si žádá oddělené řešení rekultivací v oblastech

s povrchovou a hlubinou těžbou. U dobývání dalších nerudných surovin vznikají podobné problémy. Metody rekultivace jsou v podstatě známy, jde o jejich použití v různých podmínkách prostředí (Dirner a Smolík, 2006; Spasić et al. 2021). Kvůli specifickým geologickým, klimatickým, půdním a hospodářskospolečenským podmínkám v oblasti těžby, je cílem České republiky prosazovat rekultivační technologické postupy, jenž dovolují urychlené zapojení devastovaných ploch do produkčního procesu, a obnovení zdravého krajinného a životního prostředí (Dirner a Smolík, 2006). Obnova ekologických funkcí půdy po těžbě lze dosáhnout spontánní sukcesí nebo řízenou rekultivací (Bradshaw, 1997; Frouz et al. 2013; Fair et al. 2015; Woś et al. 2018). Primárním cílem rekultivace je obnovení či vytvoření lesních kultur, zemědělských pozemků a kultur, vodních ploch a toků v souladu s koncepcí ekologicky vyvážené krajiny a životního prostředí (Dirner a Smolík, 2006). Rekultivace je soubor technických a biotechnických opatření. Do technických postupů patří terénní úpravy, navázka úrodné půdy, soustava půdních meliorací ke zlepšení půdních vlastností k urychlení průběhu půdotvorných procesů a hydromeliorační opatření. Biologická opatření jsou druhy zemědělských rekultivací, speciálních osevních postupů, soubor biotechnických zásahů spojených s péčí o lesní kultury, výsadby, sadovnické rekultivace a ošetřování rekreačních oblastí. Výsledkem rekultivace je vytvoření takové krajiny, která by byla ekonomicky hodnotná, pro životní prostředí a odpovídající zájmům společnosti a ekologicky vyvážená (Dirner a Smolík, 2006).

3.5.1 Lesnická rekultivace na výsypkách

Zalesnění nadložních skrývkových zemin je složitý proces, při kterém se na začátku vyskytují extrémní půdní a mikroklimatické podmínky pro vývoj dřevin. Vznik lesních porostů na výsypkových stanovištích je proto zařazen do lesního zákona (289/1995 sb.) do kategorie ochranných lesů, eventuálně do lesů zvláštního určení, které plní mimo rozšíření produkční základny lesa i funkci úpravy klimatických a vodohospodářských poměrů rekultivované krajiny, kvalitativně usměrňují probíhající půdotvorný proces, omezují vodní eroze a plní sociální funkce. Vytvářením příměstských lesů se zvyšuje rekreační hodnota, biologická různorodost apod. (Bažant, 2010).

Úspěšné zakládání lesních porostů na výsypkách ovlivňují zejména pedologické vlastnosti skrývkových zemin použitých k rekultivačním účelům, technologie uplatněné při úpravě deficitních půdních vlastností. Ve smíšeném porostu mohou probíhat specifické chemické procesy, jež nelze předpovídat pouhým spojením poznatků z určitých monokultur (Kreutzer et al. 2002). Obnovu porostů na výsypkách rovněž ovlivňuje způsob zalesnění, výběr druhů dřevin pro odlišné výsypkové substráty, plošné uspořádání porostních směsí, spon, kvalita zalesňovacího materiálu, následné ošetřování a ochrana lesních kultur proti biologickým činitelům (Čermák et al. 2002). Na regeneraci stromů, mohou mít kromě rekultivačních rozhodnutí vliv i silné environmentální faktory, jako je pH půdy (Fridley et al. 2003) nebo nadmořská výška (Peterson a Pickett, 1990, Keeley et al. 2006).

V místech těžby, ve kterých bude následně probíhat lesnická rekultivace je jedinečná možnost manipulovat s faktory proměnnými, jako jsou druh sadby, režim hnojení a typ materiálu pro povrchovou úpravu půdy, které zajistí usnadnění výsadby sazenic stromů a rozvoj rostlinného společenství, a mohou ovlivnit budoucí trajektorii rekultivovaných lesních ekosystémů (Landhäusser et al. 2012; Aronson, 2015).

Úspěšná obnova lesního ekosystému nezahrnuje pouze založení lesa, ale také doprovodné bylinné patro. Byliny zvyšují strukturu a funkci lesa, protože poskytují ekosystémové služby a významně přispívají k biodiverzitě (Nilsson a Wardle, 2005, Macdonald et al. 2015). Také mají schopnost využívat a ovlivňovat fyzikální a chemické procesy v půdě, a tím se podílet na vývoji půdy (Otto, 1994; Munns a Singer, 1996). Zatímco některé druhy bylinného patra mohou být zvláště přínosné na rekultivačních lokalitách, raná sukcese a ruderalní druhy často dominují v oblastech obnovy a mohou vážně konkurovat vysazeným dřevinám (Macdonald et al. 2015).

3.5.2 Druhová skladba dřevin na výsypkách

Pro rekultivace lesnického typu, se v počátcích používaly jen dřeviny pionýrské, hlavně porosty topolů (*Populus* sp.) a olší (*Alnus* sp.), které byly zakládány v monokulturách. Dnešní pojetí rekultivace vychází z předpokladu, že stanoviště jde upravit tak, aby z velké části výsadba mohla být zakládána za účasti cílových, pomocných a melioračních dřevin. Klíčovým faktorem porostu je hospodářsky hodnotná dřevina, která je vysazována do skupin, v těch je doplňována vhodnými pomocnými a melioračními dřevinami, ty se podílejí na tvorbě lesní půdy,

na podpoře cílových dřevin a vytvoření dlouho věkové porostní kostry (Štýs, 1970). Dřevinná skladba má velký vliv na vývoj celého melioračního procesu území. Během návrhu druhového spektra lesnický rekultivovaných výsypek je nutno v prvé řadě brát ohled na plnění stanovených rekultivačních cílů. Hlavní je kategorizace dřevin z hlediska funkčního významu. Převažující funkce jednotlivých druhů může být půdoochranná, meliorační, půdotvorná, krajnotvorná, produkční, estetická. Po důkladné analýze podmínek na stanovištních (pedologické poměry, související s ekologickými nároky jednotlivých druhů dřevin), můžeme volit vhodné dřeviny. Nelze stanovit univerzální schéma rekultivace, z důvodů heterogenosti výsypkového prostředí (substráty od písčitých až po těžké jíly, sklon a expozice jednotlivých ploch) (Bažant, 2010; Chodak a Niklínska, 2010).

4 Metodika

4.1 Způsob odběru vzorků

Na zkoumaném území výsypky Antonín jsme odebírali půdní vzorky z porostů osmi druhů dřevin, a to smrku ztepilého (*Picea abies*), dubu letního (*Quercus robur*), buku lesního (*Fagus sylvatica*), borovice lesní (*Pinus sylvestris*), habru obecného (*Carpinus Betulus*), břízy bělokoré (*Betula pendula*), lípy srdčité (*Tilia cordata*) a douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii*). V každém porostu jsme náhodně vybrali tři místa, odkud jsme odebrali vzorky půdy z horizontů L, F, nebo F/H a A. Vzorky jsme odebrali za pomoci rýče a lopatky. Vzorky jsme umístili do uzavíratelných igelitových sáčků a následně nadepsali druhem dřeviny a lokalitou a takto převezli do laboratoře.

4.2 Laboratorní zpracování vzorků

Každý vzorek, jsme v laboratoři rozdělili na dvě části. Jednu část jsme zmrazili pro následnou extrakci nízkomolekulárních kyselin a druhou část jsme vysušili v laboratorní sušárně při teplotě 30°C. Vysušené vzorky z horizontů L, F a F/H, kde jsme rozmixovali, abychom s nimi mohli dále pracovat. Jednalo se převážně od listí, jehličí a ostatní opadavý materiál. Vzorky z horizontu A jsme rozdrtili na prášek pomocí hmoždíře. Následně pomocí síta s průměrem ok 2 mm jsme připravili vzorky k testování.

4.2.1 Stanovení kvality humusových látek spektrofotometricky

Alkalický roztok humusových látek se připraví jejich extrakcí 0,05M Na – pyrofosfátem se zachováním pověru zemina: extraktans 1:20. Po hodinovém třepání se ze suspenze pomocí centrifugy oddělí čirý roztok zkoumaných humusových látek a upraví se ředěním pomocí extrakčního činidla tak, aby při vlnové délce $\lambda = 400$ nm byla absorbance $A \sim 0,900$. Tento roztok se následně spektrofotometricky proměří při vlnových délkách 400 a 600 nm. Z těchto hodnot se vypočte tzv. barevný kvocient Q4/6.

Výpočet:

$$Q_{4/6} = \frac{\alpha_{400}}{\alpha_{600}} [-]$$

α_{400} – absorbance při 400 nm

α_{600} – absorbance při 600 nm

4.2.2 Množství oxidovatelného uhlíku – C_{ox}

Před vlastním měřením byly suché vzorky přesáty přes síto o průměru ok 0,25mm. Měření C_{ox} probíhá tak, že se odvážená zemina vpraví do kádinky, přidá se přesně 10 cm³ 0,4N chromsírové směsi, kádinka se přikryje hodinovým sklem a vloží na 45 min do sušárny, vyhřáté na 125⁰C. Pak se kádinka vyjme, opláchnou se její stěny a hodinové sklo destilovanou vodou. U některých vzorků se v případě potenciometrické titrace upravil objem směsi pomocí H₂O, tak aby se vložené míchadlo mohlo volně pohybovat pro Pt elektrodami. Po zavedení elektrod se pustí míchadlo a přivede se do systému elektrický proud a titruje se 0,1N Fe(NH₄)₂(SO₄)₂. Průběh titrace se sleduje na galvanometru – před jejím koncem již míchadlo nestačí okamžitě homogenně rozptýlit Mohrovu sůl a ručička galvanometru ukáže výchylku, která však není trvalá. Při dosažení bodu ekvivalence je výchylka trvalá. Na byretě se odečte spotřeba Mohrovy soli a spočítá se výsledek. (Valla a kol., 2000).

Vzorec pro výpočet organického uhlíku.

$$C_{ox} = \frac{(40 - S * f) * 0,3}{N} * 100 [\%]$$

Kde:

f = faktor Mohrovy soli

S = spotřeba Mohrovy soli při titraci vzorku [ml]

N = navážka vzorku [g]

4.2.3 Množství nízkomolekulárních kyselin

Měření začalo vyndáním půdního materiálu z mrazícího boxu a do předem připravených zkumavek byl navážen 1 g substrátu pro horizonty F, F/H a L. Pro horizont A byly naváženy 2 g půdy. Poté k nim bylo přidáno 20/40 ml H₂O, a takto připravené vzorky byly vloženy na hodinu do třepačky. Po uplynutí doby byly vzorky přemístěny do centrifugy na 10 minut s rychlostí 2500 otáček/minutu. Poté bylo třeba vzorky přefiltrovat pomocí stříkačky a diskového filtru a následně jsme takto přefiltrované vzorky měřili pomocí iontové chromatografie.

Pro výsledné přepočty koncentrací v extraktu na koncentrace v suchém půdním vzorku bylo gravimetricky provedeno měření vlhkosti rozmražených vzorků.

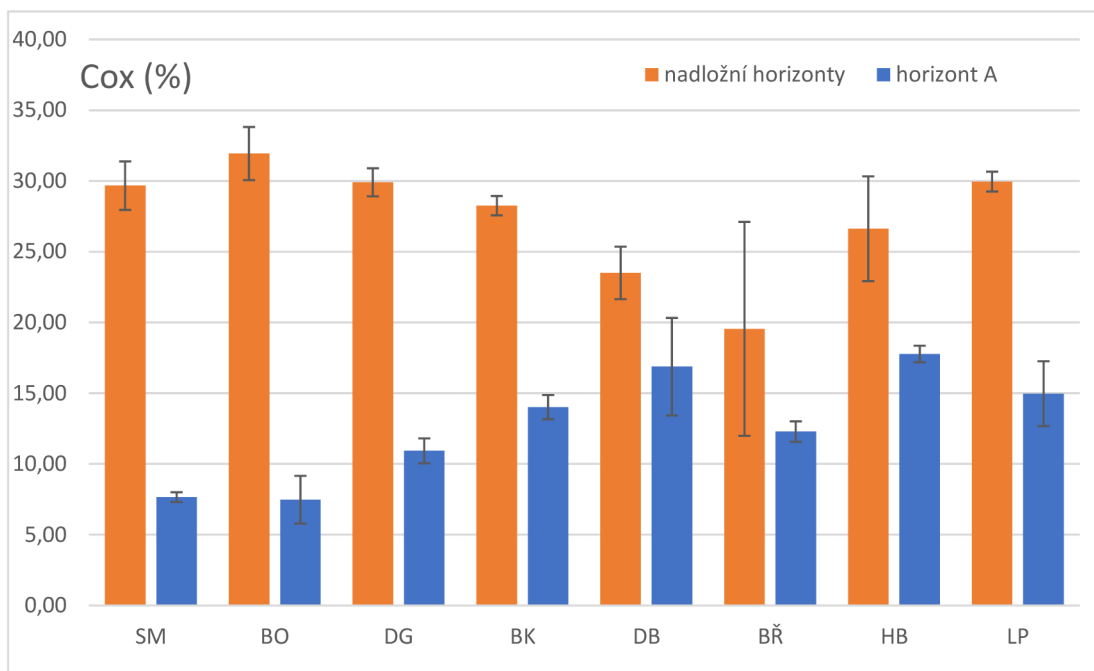
Množství nízkomolekulárních kyselin v půdě se stanovuje pomocí iontové chromatografie tzv. separační metodou, při níž dochází k separaci iontů podle specifických interakcí s nabitým nosičem (Michalski et al., 2020). Podstatou této metody je separovat určitou směs látek přes stacionární fázi, která je poháněna fází mobilní. Stacionární fázi se myslí určitý katex (kolona), kterým postupně protékají anionty, které se tam na určitou dobu zdržují a následně se od sebe oddělují. Vybrané a organické anionty (laktát, acetát, propionát, formát, izobutyryát, butyryát, izovalerát, valerát) byly stanoveny pomocí iontové chromatografie s potlačenou vodivostí (kapilární vysokotlaká iontová chromatografie-HPIC).

Tato směs aniontů je dělena podle dvou kritérií, kterými jsou velikost iontu a jeho náboj (Michalski et al. 2020). Náboj zpravidla nabývá hodnot od -1 až do -3 a velikost organického iontu závisí na množství uhlíků tvořící součást jeho struktury. Výsledkem měření je chromatogram, ve kterém každý pík představuje určitou látku. Zpracování a vyhodnocení chromatogramů bylo pomocí počítačového softwaru Chromeleon 7.20 (Dionex, USA). Dalším měřeným aspektem je konduktivita roztoku, podle které zjistím retenční čas (doba zaznamenání dané látky). Na základě shody retenčního času s chemicky čistou látkou a plochou píku z chromatogramu je možné určit koncentraci.

Pro měření iontové chromatografie byl použit systém Dionex ICS 4000 a ICS 6000 (Thermo Scientific, USA), jenž je vybaven ochrannými a analytickými kolonami Dionex IonPac AS11-HC 4 μm (Thermo Scientific, USA). Eluent prochází nejprve tzv. izokratickou eluce trvající od začátku do 10 minut, poté nastává gradientové eluce trvající od 10 do 20 minut a závěrem je znovu izokratická eluce, která trvá od 20 do

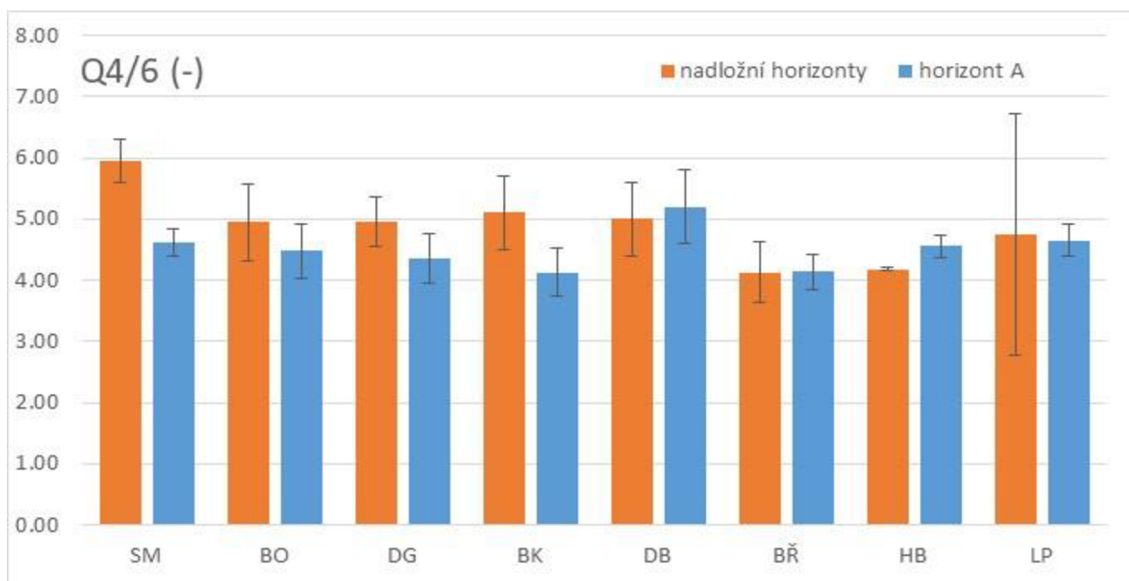
25 minut. Rychlost průtoku bývá nastavena na $0,012 \text{ ml min}^{-1}$. K potlačení vodivosti byl použit supresor ACES 300 (Thermo Scientific, USA). Pomocí přístroje Carbonate Removal Device 200 byl potlačen posun základních linií oxidu uhličitého. Standardy byly připraveny z koncentrátů aniontů o velikosti koncentrace 1 g l^{-1} (Analytika, CZ a Inorganic Ventures, USA) a deionizované vody v rozsahu $0,1\text{-}40 \text{ mg l}^{-1}$. Pro výpočet výsledné hodnoty byla spočítána vlhkost každého vzorku, tak že od hmotnosti vzorku před vysušením se odečetla váha vysušeného vzorku a výsledná hodnota se vydělila hmotností vysušeného vzorku a tím jsme získali vlhkost. Koncentrace v roztoku byla přepočtena na koncentraci hmotnostní, ke které byla použita spočítaná vlhkost vzorku, hmotnost použitého substrátu a množství přidané H_2O .

5 Výsledky



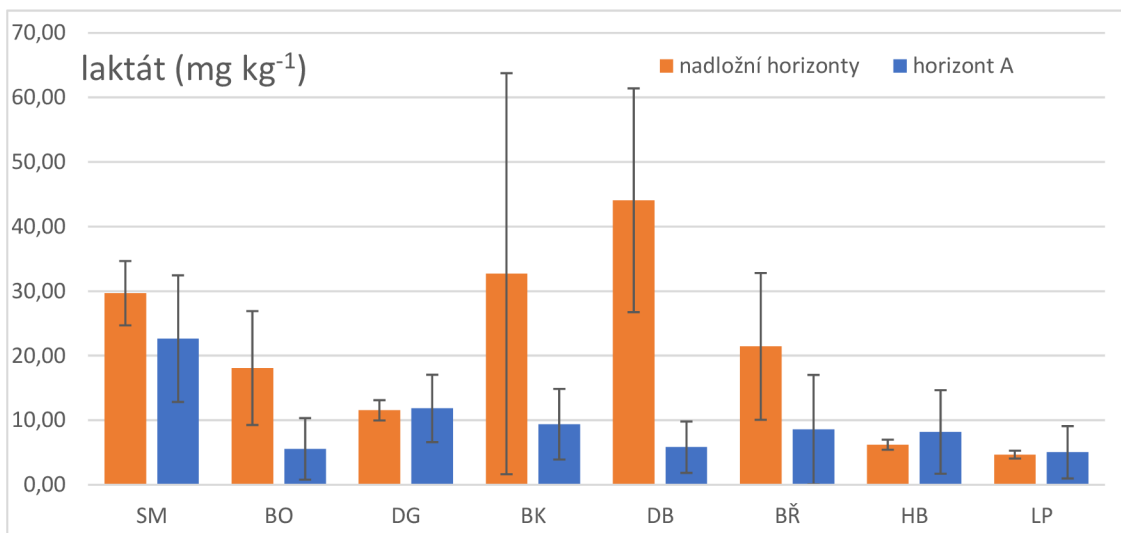
Obr. 1: Průměrné množství oxidovatelného uhlíku v nadložních horizontech a organominerálním horizontu A pro jednotlivé porosty. Chybové úsečky představují směrodatné odchylky (n=3).

V nadložních horizontech zkoumaných dřevin se nachází více organické hmoty než v půdních horizontech A (Obr. 1). Větší rozdíly byly zjištěny pod porosty jehličnatých dřevin. Směrodatná odchylka nám zároveň ukazuje variabilitu v rámci jednotlivých porostů.



Obr. 2: Průměrná kvalita humusových látek v nadložních horizontech a organominerálním horizontu A pro jednotlivé porosty. Chybové úsečky představují směrodatné odchylky ($n=3$).

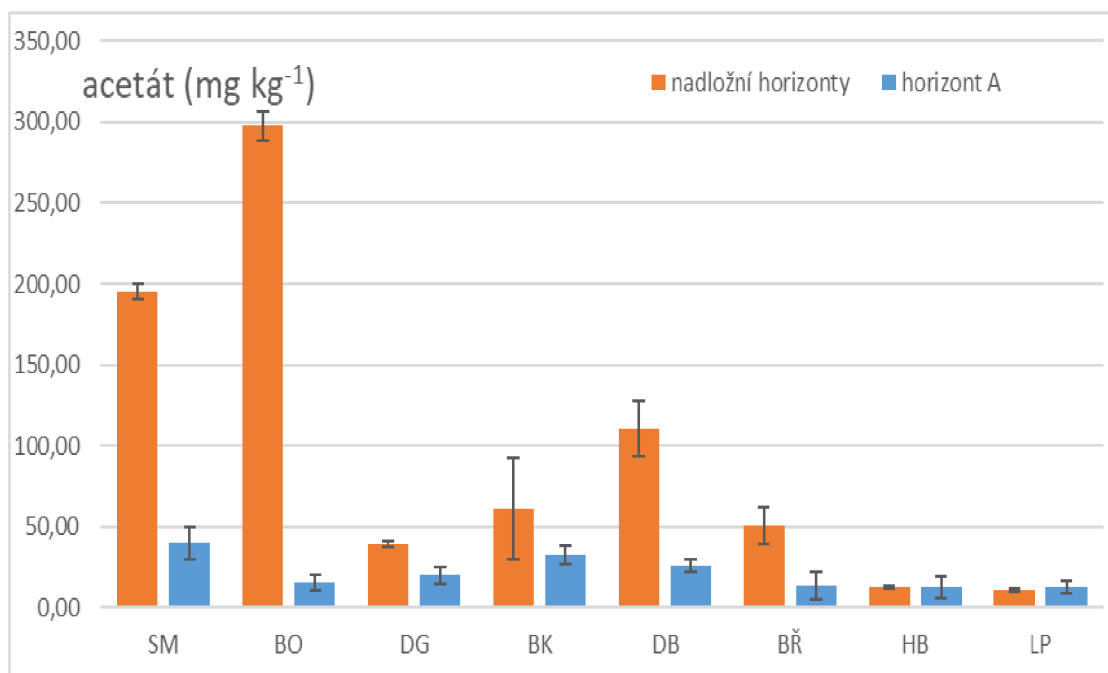
Při stanovování kvality organické hmoty pomocí spektrofotometrické analýzy (obr. 2), vyšly výsledky u horizontu A a nadložních horizontů velmi podobně. Variabilita v rámci porostu je spíše nižší.



Obr. 3: Průměrné hodnoty obsahu laktátů v nadložních horizontech a organominerálním horizontu A pro jednotlivé porosty. Chybové úsečky představují směrodatné odchylky ($n=3$).

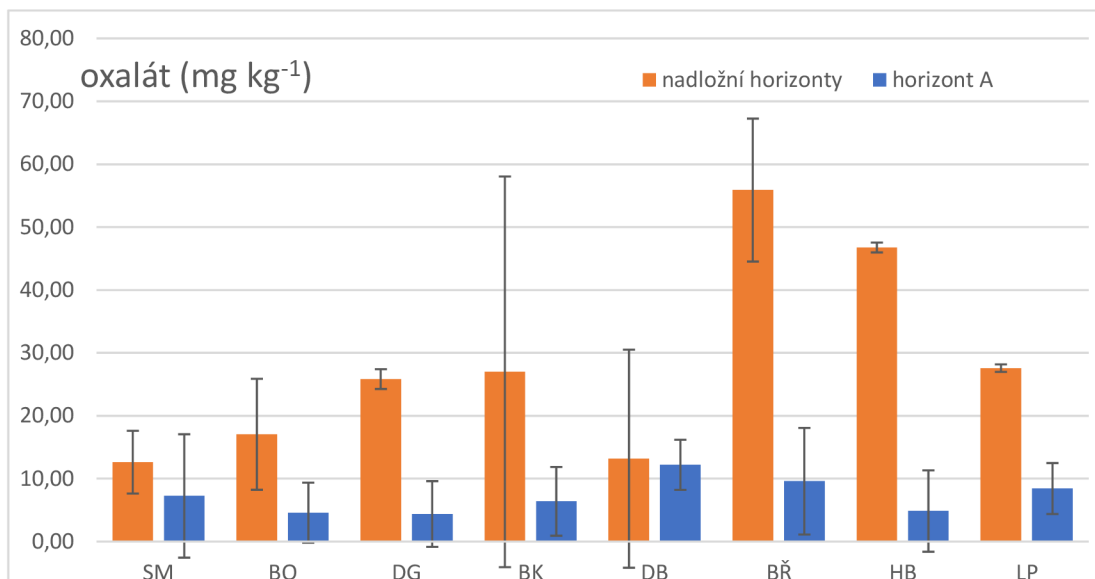
Nejvyšší hodnoty při stanovení obsahu kyseliny mléčné (obr. 3) u odebraných vzorků, byly naměřené u dubu letního v nadložním horizontu a nejmenší hodnota byla zjištěna lípy

srdčité a borovice lesní. Směrodatné odchylky nám ukazují variabilitu, která v porostu může být vyšší nebo nižší.



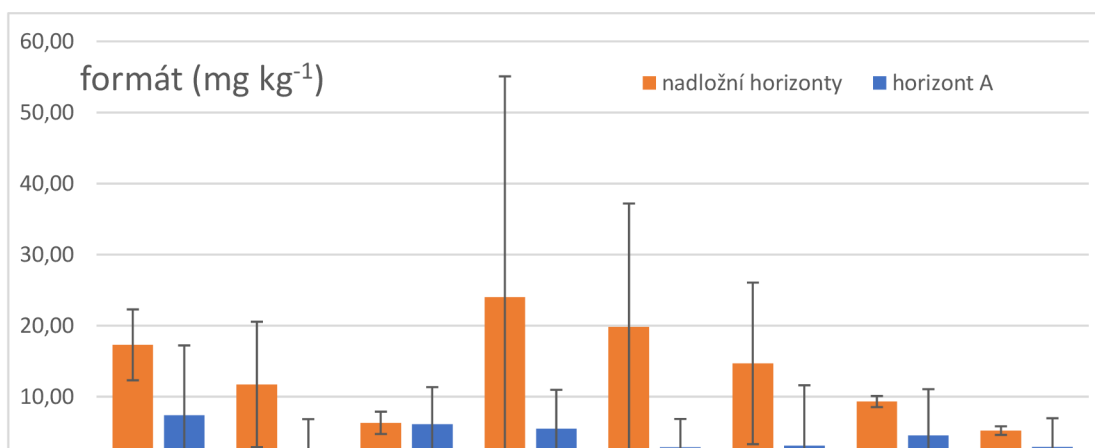
Obr. 4: Průměrné hodnoty obsahu acetátů, v nadložních horizontech a organominerálním horizontu A pro jednotlivé porosty. Chybové úsečky představují směrodatné odchylky ($n=3$).

Měření obsahu octanů (obr. 4) u zkoumaných horizontů ukázalo největší hodnoty u nadložního horizontu borovice lesní a smrku ztepilého. Naopak nejnižší hodnoty byly zjištěny u lípy srdčité a břízy bělokoré. Díky směrodatným odchylkám můžeme pozorovat v jakém rozmezí se hodnoty mohou měnit.



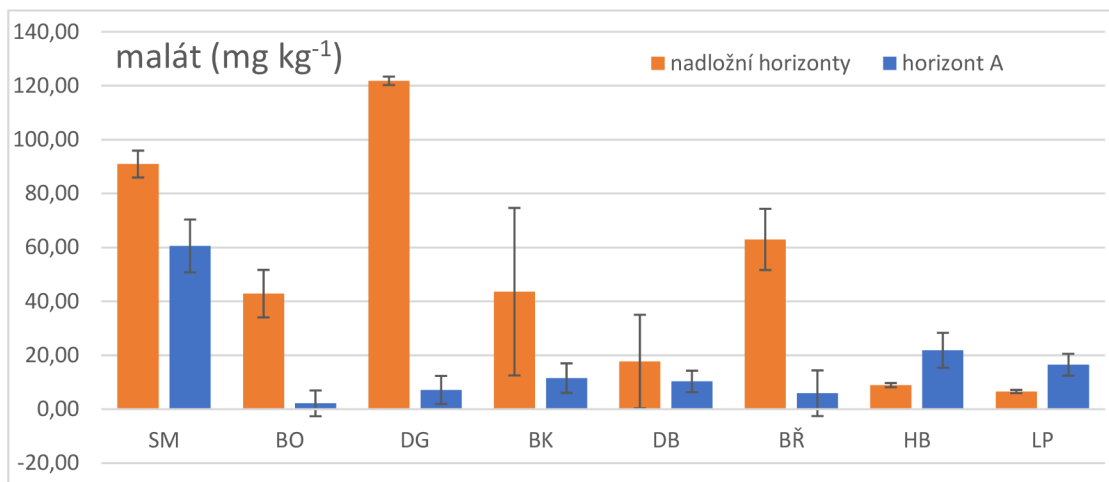
Obr. 5: Průměrné hodnoty obsahu oxalátů a v nadložních horizontech a organominerálním horizontu A pro jednotlivé porosty. Chybové úsečky představují směrodatné odchylky ($n=3$).

Na obrázku 5 můžeme vidět výsledky měření oxalátů v nadložním horizontu a horizontu A, přičemž nejvyšších hodnot dosáhla bříza bělokorá a habr a nejnižší hodnoty byly naměřeny u douglasky tisolisté a borovice. Směrodatná odchylka nám ukazuje rozmezí toho, jak se výsledky mohou lišit.



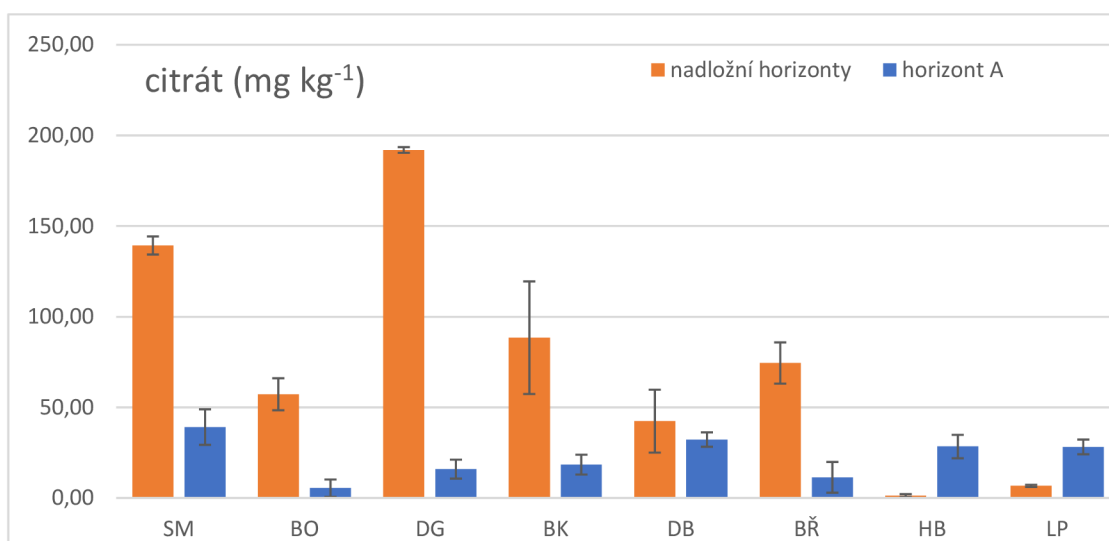
Obr. 6: Průměrné hodnoty obsahu formátů a v nadložních horizontech a organominerálním horizontu A pro jednotlivé porosty. Chybové úsečky představují směrodatné odchylky ($n=3$).

Výsledné hodnoty po měření formátu (obr 6) vyšly nejvyšší pro nadložní horizont buku letního. Nejmenší hodnota vyšla u horizontu A borovice lesní.



Obr. 7: Průměrné hodnoty obsahu malátů a v nadložních horizontech a organominerálním horizontu A pro jednotlivé porosty. Chybové úsečky představují směrodatné odchylky ($n=3$).

Jak můžeme vidět na obrázku 7, tak nejvyšší hodnota obsahu malátů byla naměřena u nadložního horizontu douglasky tisolisté a nejméně u horizontu A borovice lesní. Směrodatná odchylka nám ukazuje variabilitu výsledků, která může být vyšší, nebo nižší.



Obr. 8: Průměrné hodnoty obsahu citrátů a v nadložních horizontech a organominerálním horizontu A pro jednotlivé porosty. Chybové úsečky představují směrodatné odchylky ($n=3$).

Nejvyšší hodnota obsahu citrátů (obr.8) vyšla u nadložního horizontu douglasky tisolisté a nejmenší hodnota u horizontu A břízy tisolisté. Směrodatná odchylka nám ukazuje variabilitu výsledků, která může být vyšší, nebo nižší.

Průkaznost rozdílů mezi jednotlivými variantami porostů a půdních horizontů byla nejprve hodnocena vícecestnou analýzou rozptylu (tabulka 1).

	Hlavní efekty ANOVA	Cox	Q 4/6	laktát	acetát	formát	malát	oxalát	citrát
horizont	F	59.553	2.175	4.371	4.277	3.834	1.952	9.975	3.082
	p	0.000	0.091	0.006	0.006	0.011	0.123	0.000	0.028
porost	F	4.389	0.708	1.089	1.444	0.724	0.847	0.687	0.632
	p	0.001	0.665	0.391	0.219	0.653	0.557	0.682	0.727

Tab. 1: Vícecestná analýza rozptylu. V tabulce jsou červeně vyznačeny veličiny, které se statisticky významně liší mezi variantami (Fisher LSD; $\alpha=0,05$).

Bylo potvrzeno, že na rozložení hodnot většiny studovaných veličin má zásadní vliv půdní horizont. Nadložní horizonty se významně liší od horizontů minerálních. Proto bylo následné statistické posouzení vlivu porostu provedeno odděleně pro tyto dvě skupiny půdních horizontů.

n hor	porost	Cox	Q 4/6	laktát	acetát	formát	malát	oxalát	citrát
F	SM	ab	a	ab	ab	a	ab	c	ab
FH	BO	a	ab	ab	a	a	ab	bc	ab
FH	DG	ab	ab	b	bc	a	a	abc	a
FH	BK	ab	ab	ab	bc	a	ab	abc	ab
LF	DB	bc	ab	a	bc	a	ab	c	ab
L	BŘ	c	b	ab	bc	a	ab	a	ab
L	HB	ab	b	b	c	a	b	ab	b
L	LP	ab	ab	b	c	a	b	abc	b

Tab. 2: Výsledky jednocestné analýzy rozptylu pro nadložní horizonty (Fisher LSD; $\alpha=0,05$).

V tabulce 2 můžeme vidět statistické výsledky nadložního horizontu zkoumaných dřevin. Jednotlivé porosty se nejvíce liší množstvím oxidovatelného uhlíku. V případě ostatních měřených údajů, nebyly rozdíly zcela průkazné. V případě, formátů, zde nevidíme oproti grafu, že by se výrazně lišily.

A hor	porost	Cox	Q 4/6	laktát	acetát	formát	malát	oxalát	citrát
A	SM	e	ab	a	a	a	a	a	a
A	BO	e	ab	b	a	a	b	a	a
A	DG	de	b	ab	a	a	b	a	a
A	BK	bcd	b	ab	a	a	ab	a	a
A	DB	ab	a	b	a	a	b	a	a
A	BŘ	cd	b	b	a	a	b	a	a
A	HB	a	ab	b	a	a	ab	a	a
A	LP	abc	ab	b	a	a	ab	a	a

Tab. 3: Výsledky jednocestné analýzy rozptylu pro horizonty A (Fisher LSD; $\alpha=0,05$).

V tabulce 3 můžeme vidět, že se u jednotlivých porostů výrazně liší především u množství oxidovatelného uhlíku. U ostatních měřených údajů, nebyly rozdíly tak průkazné. V případě laktátů, formátů, oxalátů a citrátů, zde nevidíme oproti grafům, že by se výrazně lišily.

6 Diskuse

Všechny zkoumané dřeviny, které se nachází na výsypce Antonín, mají svůj význam, proč byly v tomto experimentálním prostředí použity na rekultivaci.

Habr obecný se pro rekultivace používá zejména z důvodu vysoké meliorační schopnosti, kvalitnímu opadu a zpevnování povrchu. Díky bohatému kořenovému systému zvyšuje schopnost půdy infiltrovat vodu. Hlavní využití dubu letního při rekultivacích je jeho schopnost stabilizovat povrch půdy. Lípa srdčitá díky svému hustému kořenovému systému dokáže ve svazích zabránit sesuvu půdy a je využitelná na výsypkových zeminách, jako je na výsypce Antonín. Borovice lesní je díky své nenáročnosti na půdní podmínky ideální pro rekultivace a slouží především ke stabilizaci prostředí a zároveň má i hospodářský potenciál (Bažant, 2010).

6.1 Jehličnaté dřeviny

Jehličnaté dřeviny se vyznačují tím, že v listech i kmenech jsou pryskyřičné kanálky, které obsahují pryskyřici a silici, zároveň u jehličnatých stromů se vytváří hodně vosky, které způsobují našedlé až bílé kresby či proužky na jehlici. Jednotlivé jehlice mají kanálky, které obsahují sklerenchymatické či kolenchymatické buňky, které zvyšují ochrannou funkci jehlic, které následně mohou způsobovat spolu s dalšími látkami horší rozložitelnost opadu (Dostál, 2004). Stálozelené jehličnany vyměňují své jehlice postupně během roku (Štursa a Ničová, 2000).

OA (organické kyseliny) spojené s rostlinami jsou většinou z kořenových exsudátů, jakož i z vyluhování opadu listů (Dakora a Phillips, 2002). Mezi mikroorganismy produkují významné množství půdních OA bakterie, houby a druhy lišejníků. Podobně rozložená organická hmota také přispívá k vysokým koncentracím OA, které obohacují půdní prostředí (Aoki et al. 2012).

U výsledků měření obsahu jednotlivých kyselin z obrázků 3 až 8 můžeme pozorovat, že v nadložním horizontu je vidět značný rozdíl v obsahu těchto kyselin oproti horizontu A. Toto je právě způsobeno špatným rozkladem opadu jehličnatých dřevin.

6.1.1 Nadložní horizont jehličnatých dřevin

Z výsledných údajů na obrázcích 1 až 8 a v tabulkách 1 až 3 jsme u jehličnatých dřevin zjistili, že v obsahu oxidovatelného uhlíku u nadložního horizontu není mezi jednotlivými jehličnatými porosty výrazný rozdíl.

V případě acetátů na obr. 4 můžeme vidět výrazný rozdíl v obsahu této nízkomolekulární kyseliny u smrku a borovice v nadložním horizontu oproti všem ostatním dřevinám. Nutno dodat, že co se týče douglasky, tak ta stejně jako zbylé listnaté dřeviny nedosahuje stejných hodnot, jako smrk s borovicí. Toto může být způsobeno vyšší akumulací humusových látek na svrchním horizontu a horší rozložitostí opadu u borovice a smrku. Dalším značně viditelným rozdílem je rozdíl obsahu citrátů v nadložním horizontu viz obr. 8, může být způsoben v závislosti na složení opadu, který zahrnuje i citrát (Puhe, J., 2003).

Ze statistických výsledků nadložního horizontu z tabulky 2, je patrné, že oproti grafům vychází velmi podobně s ostatními dřevinami, to může být výsledkem vyšší variability dat v rámci jednoho porostu.

6.1.2 Horizonty A jehličnatých dřevin

Smrk ztepilý podle výsledků na obrázku 7, má v horizontu A značně vyšší obsah malátu, než douglaska a borovice, toto může souviset s látkami, které produkuje samotný strom a chemickými vlastnostmi opadu. V jehličnatých dřevinách viz obrázek 1, je rozdíl v oxidovatelném uhlíku v horizontu A oproti listnatým dřevinám. Věcí, která pravděpodobně způsobuje tyto výsledky, může být opad listnatých dřevin a zároveň podmínky pro rozkládání opadu. U listnatých dřevin, prostupnost světla a srážek může způsobovat rychlejší rozklad opadů, u jehličnatých stromů husté větve, které často sahají blízko zemi, má opad horší podmínky pro rozklad.

U dalších měřených kyselin nebyly rozdíly mezi jednotlivými jehličnatými dřevinami tak odlišné. Toto tvrzení nám potvrzuje i statistická tabulka 3, kde můžeme vidět, že obsah kyselin je buď statisticky shodný, nebo mírně rozdílný.

6.2 Listnaté dřeviny

Na obr. 1 můžeme vidět rozdíl mezi jehličnatými dřevinami a listnatými dřevinami, kde obsah oxidovatelného uhlíku u listnatých dřevin je nižší. Toto je může být způsobeno horším rozkladem opadu u jehličnatých dřevin, takže větší část zůstane v nadložním horizontu a do spodních částí už se tolik nedostane. Dub letní je světlomilná dřevina, která dobře snáší klimatické výkyvy. Půdy v oblastech jeho přirozeného výskytu bývají minerálně bohatší. Při rekultivacích se používá díky své schopnosti stabilizace a fixace půdního povrchu a dlouhodobě dokáže plnit rekultivační cíle (Bažant, 2010).

Dle statistických výsledků z tabulky 2, jsme zjistili, že ačkoli z výsledných obrázků jsou u obsahů některých měřených nízkomolekulárních kyselin výraznější rozdíly, tak vzhledem ke směrodatným odchylkám statistické rozdíly nejsou tak významné.

6.2.1 Nadložní horizont listnatých dřevin

V případě výsledků na obrázcích 6 a 8 můžeme vidět odlišnost porostu buku letního oproti ostatním listnatým dřevinám. Hodnoty citrátu a formátu mohou být způsobeny tím, že buk výrazně ovlivňuje půdy svým opadem, ale při nedostatku půdních organismů se stává, že rozklad listů probíhá špatně a vzniká tak vysoká vrstva opadu. Opad postupem času slehne, hlavně ve spodní části a vzniká ve spodu kompaktní hmota, která poutá vodu a zabraňuje provzdušnění. Z tohoto problému může vzniknout surový listnatý humus, který následně zabraňuje růstu bylinného patra a vlastnímu zmlazení (Racek, 2005).

V případě obrázku 5, naměřených oxalátů můžeme vidět rozdíl v nadložním horizontu mezi dubem, bukem a zbylými třemi listnatými dřevinami. Tento rozdíl je způsoben tím, že dub a buk mají hůře rozložitelný opad než bříza, habr a lípa. Přičemž bříza má výrazný vliv na půdu, pokud se jedná o mladé porosty. S rostoucím věkem a prosvětlováním porostu se snižuje meliorační efekt. Její rozklad opadu rychlejší, a to díky lepšímu pronikání světla, tepla a srážek pod porost (Atkinson, 2013).

Na obrázku 3, výsledky obsahu laktátu ukazují vyšší naměřenou hodnotu v nadložním horizontu u buku a dubu, oproti bříze, habru a lípě. Toto je způsobeno tím, že buk a dub, patří do skupiny listnatých dřevin, jejíž opad je hůře rozložitelný oproti zbylým listnatým dřevinám.

6.2.2 Horizont A listnatých dřevin

Výsledné hodnoty listnatých dřevin v horizontu A, jak můžeme vidět na obrázcích 1 až 8, se od sebe nijak zvlášť výrazným způsobem neliší. Ať už se jedná o kvalitu humusových látek, kyselin nebo oxidovatelného uhlíku. Dle analýzy rozptylu v tabulce 3, je patrné rozdíly mezi porosty často nejsou statisticky významné. Oproti jehličnatým dřevinám můžeme pozorovat rozdíl na obrázku 1. Obsah oxidovatelného uhlíku v horizontu A je v případě listnatých dřevin vyšší než v jehličnatých porostech. To souvisí s tím, že opad u jehličnatých dřevin se rozkládá hůř a kvůli tomu se akumuluje na povrchu, zatímco u snáze rozložitelného listí se uvolněné organické látky přesouvají do hlubších částí profilu. Rovněž platí, že většina zde porovnávaných listnatých dřevin má husté kořenové systémy, a i proto se při rekultivacích používají (Bažant, 2010). Tyto kořeny vylučují v hojné míře organické látky přímo do horizontu A.

Můj osobní názor na postup a výsledné hodnoty je, že pro přesnější měření by bylo zapotřebí zpracovat větší množství zkoumaných vzorků na větší ploše. Ideální varianta pro měření by byla zkoumané prostředí rozšířit i na jinou výsypku, která je původním využitím a způsobem rekultivace daného prostředí podobná výsypce Antonín. V rámci výzkumu změřit obsah nízkomolekulárních kyselin v oblasti bez lesních porostů, které by ovlivňovaly půdy pod nimi.

7 Závěr

Rekultivace je kombinací technických a biologických činností. Je užívána proto, aby krajina poškozená těžbou byla obnovena na krajinu, kde je rovnováha a ekonomická hodnota v souladu se společenskými zájmy.

Využitá lesnická rekultivace utváří jedinečnou krajinu, díky výběru dřevin a keřů a možnosti transformace půdního povrchu. Konkrétní seznam dřevin pro využití u této rekultivace není jednotný. Záleží na vhodném uvážení, jaké dřeviny by se měly použít. Výsypka Antonín, je experimentálním prostředím, kde bylo vysázeno na 220 druhů dřevin se svými poddruhy, fenotypy a ekotypy. Součástí prostředí jsou i introdukované dřeviny, kterých je více než 30 druhů.

Bakalářská práce byla zaměřena na dřeviny: smrk, dub, buk, douglaska, borovice, lípa, habr a břízu, u kterých bylo zjištěno, že listnaté stromy vytvářejí lepší půdní podmínky, oproti jehličnatým dřevinám, avšak listnaté dřeviny mají horší potenciál v chudších půdách.

Po zpracování vzorků z půdních horizontů jednotlivých dřevin se ukázalo, že obsah LMMOA se v jednotlivých podrostech u daných stromů výrazně liší a to v závislosti na schopnosti rozkladu opadu, jednotlivých vlastnostech dřevin a jejich umístění na experimentálním území.

Studii jsme zjistili, že zastoupení konkrétních LMMOA se v některých případech velmi odlišuje. Toto je způsobeno samotnými dřevinami, jejich vlastnostmi a druhem opadu.

Ze získaných výsledků jsme zjistili, že největší obsah nízkomolekulárních kyselin byl pod porostem borovice lesní v nadložním horizontu. Oproti tomu v půdním horizontu A, byl největší obsah nízkomolekulárních kyselin v porostu habru obecného.

8 Seznam zkratk

C_{ox} – množství oxidovatelného uhlíku

OA – Organická kyselina

LMMOA – organická kyselina s nízkou molekulovou hmotností

9 Literární zdroje

Odborné knihy, monografie:

Čermák P., Ondráček V., 2009: Stanovištní a rhyzologické vlastnosti dřevin využívaných při zalesňování výsypek severočeské hnědouhelné pánve. Metodika.VÚMOP Praha, 180 s.

Munns D.N., Singer J.S., 1996: Soils: an introduction. New Jersey, Prentice Hall. 480 s.

Otto H. J., 1994: Waldökologie. Stuttgart, Ulmer, 383 s.

Pavlů L., 2019: Základy pedologie a ochrany půdy. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha Suchdol, 76 s.

Pešek J. a kol., 2010: Terciérní pánve a ložiska hnědého uhlí České republiky. České geologické služby, Praha, 414 s.

Šantrůčková H., 2014: Základy ekologie půdy. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice, 124 s.

Štýs S., 1970: Rekultivace a tvarování výsypek. Dům techniky SHD, Most. 77 s.

Valla, M., Kozák, J., Němeček, J., Matula, S., Borůvka, L., Drábek, O. (2000): Pedologické praktikum. ČZU Praha, 148 s.

Články v odborném periodiku:

Aoki, M., Fujii, K., & Kitayama, K. (2012). Environmental control of root exudation of low-molecular weight organic acids in tropical rainforests. *Ecosystems*, 15, 1194-1203.

- Aronson J., Bolte A., Bullock J. M., Donoso P. J., Jacobs D. F., Oliet J. A., Weber J. C., 2015: Restoring forests: what constitutes success in the twenty-first century? *New Forests* 46. S.601-614.
- Atkinson, M. D. (1992). *Betula pendula* Roth (*B. verrucosa* Ehrh.) and *B. pubescens* Ehrh. *Journal of Ecology*, 80(4), 837-870.
- Bennett, K. D. (1984). The post-glacial history of *Pinus sylvestris* in the British Isles. *Quaternary Science Reviews*, 3(2-3), 133-155.
- Bernard-Reversat F., Bottinelli N., Jouquet P., Orange, D., Podwojewski P., RoulandLefèvre C., Tran Duc T., 2007: Influence of changes in land use and earthworm activities on carbon and nitrogen dynamics in a steep-land ecosystem in Northern Vietnam. *Biology and Fertility of Soils* 44. S. 69-77.
- Fair J. M., Landhäusser S. M., Macdonald S. E., Snively A. E., 2015: Early trajectories of forest understory development on reclamation sites: influence of forest floor placement and a cover crop. *Restoration Ecology* 23. S.698-706.
- Fridley J. D., Gramling J. M., Peet R. K., 2003: Variation in species richness and species pool size across a pH gradient in forests of the southern Blue Ridge Mountains. *Folia Geobotanica* 38. S. 391-401.
- Frouz J. a kol. 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., Reitschmeidová E., 2016: Sokolovské výsypky: od měsíční krajiny po les. *Fórum ochrany přírody* 1. S. 29-33.
- 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: 63–78.
- Hermann, R. K., & Lavender, D. P. (1990). *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) franco Douglas-fir. *Silvics of North America*, 1: 527-540.

- Chodak M., Niklińska M. (2010): The effect of different tree species on the chemical and microbial properties of reclaimed mine soils. *Biology and Fertility of Soils*, 46: 555–566.
- Keeley J. E., Stephenson N. L., van Mantgem P. J., 2006: Forest reproduction along a climatic gradient in the Sierra Nevada, California. *Forest Ecology and Management* 225. S. 391-399.
- Kreutzer K., Kuchenhoff H., Rothe A., 2002: Influence of tree species composition on soil and soil solution properties in two mixed spruce-beech stands with contrasting history in Southern Germany. *Plant and Soil* 240. S. 47–56.
- Křížová, P., Tejnecký, V., Ash, C., Borůvka, L., Drábek, O. Low molecular mass organic acids in the forest soil environment. *Mini reviews in organic chemistry*, 2017, roč. 14, č. 1, s. 75-84. ISSN: 1570-193X.
- Kuter N., 2013: Reclamation of Degraded Landscapes due to Opencast Mining. *Advances in Landscape Architecture* 2013. S. 823-858.
- Landhäuser S. M., Macdonald S. E., Quideau S. A., 2012: Rebuilding boreal forest ecosystems after industrial disturbance. *Restoration and reclamation of boreal ecosystems, attaining sustainable development*. Cambridge University Press, Cambridge. S.123-161.
- Macdonald a kol., 2015: Forest restoration following surface mining disturbance: challenges and solutions. *New Forests* 46. S. 703-732.
- Marrs R., Miao Z., 2000: Ecological restoration and land reclamation in open-cast mines in Shanxi Province, China. *Journal of Environmental Management* 59. S. 205-215.
- Nilsson M. C., Wardle D. A., 2005: Understory vegetation as a forest ecosystem driver: evidence from the northern Swedish boreal forest. *Frontiers in Ecology and the Environment* 3. S. 421-428.

Peterson C. J., Pickett S. T. A., 1990: Microsite and elevational influences on early forest regeneration after catastrophic windthrow. *Journal of Vegetation Science* 1. S.657-662.

Pietrzykowski M., 2019: Tree species selection and reaction to mine soil reconstructed at reforested post-mine sites: Central and eastern European experiences. *Ecological Engineering* 142. S. 1-10.

Pigott, C. D., & Huntley, J. P. (1981). Factors controlling the distribution of *Tilia cordata* at the northern limits of its geographical range III. Nature and causes of seed sterility. *New phytologist*, 87(4), 817-839.

Puhe, J. (2003). Growth and development of the root system of Norway spruce (*Picea abies*) in forest stands—a review. *Forest ecology and management*, 175(1-3), 253-273.

Sikkema, R., Caudullo, G., & De Rigo, D. (2016). *Carpinus betulus* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. *European atlas of forest tree species*, S. 73-75.

Spasić M., Borůvka L., Vacek O., Drábek O., Tejnecký V. (2021): Pedogenesis problems on reclaimed coal mining sites. *Soil and Water Res.*, 16: 137–150.

Woś a kol., 2018: Reclaimed mine soil substrates and tree stands vs. successional forest floor vegetation: A case study of developing ecosystems on afforested mine sites. *Ecological Engineering* 120. S. 504-512.

Internetový zdroj:

Bažant V. 2010: Růstové vlastnosti dřevin na výsypkových stanovištích Mostecké pánve (Severočeské hnědouhelné pánve) (online), dostupné z <<https://docplayer.cz/32263843-Rustove-vlastnosti-drevin-na-vysypkovych-stanovistich-mostecke-panve-severoceske-hnedouhelne-panve.html>>.

Dirner V., Smolík D., 2006: Význam rekultivace jako proces obnovy narušené biosféry, dostupné z

https://www.hgf.vsb.cz/export/sites/hgf/546/.content/galerie_souboru/Studijni-materialy/EV-modul7.pdf.

Horvát D., 2012: Charakteristika třetihorních limnosilicidů v sokolovské pánvi, dostupné [https://is.muni.cz/th/qmmco/BP-](https://is.muni.cz/th/qmmco/BP-Limnoselicity_sokolovska_pamev.pdf)

[Limnoselicity_sokolovska_pamev.pdf](https://is.muni.cz/th/qmmco/BP-Limnoselicity_sokolovska_pamev.pdf).

Končel K., 2016: Charakteristika humusových forem na vybraných lokalitách ŠLP Křtiny, ML, dostupné z

https://lesy.cz/wpcontent/uploads/2018/03/Hospodareni_s_brizou_v_CR_2018.pdf.

Michalski R., Pecyna-Utylska P. & Kernert J. (2020): Ion Chromatography and Related Techniques in Carboxylic Acids Analysis, Critical Reviews in Analytical Chemistry, DOI: 10.1080/10408347.2020.1750340, dostupné z

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408347.2020.1750340.pdf>.

Kapitoly v knize, články ve sbornících:

Dakora, F. D., & Phillips, D. A. (2002). Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. Food security in nutrient-stressed environments: exploiting plants' genetic capabilities, S. 201-213.

Dostál, P. Anatomie a morfologie rostlin v pojmech a nákresech. Praha: Univerzita Karlova, 2004. ISBN 80-7290-179-6.

Šarapatka, B. Pedologie a ochrana půdy. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-3736-1.

Šimek, Miloslav et al. Živá půda: biologie, ekologie, využívání a degradace půdy. Praha: Academia, 2019. 789 s. ISBN 978-80-200-2976-8.

Štursa, J., Ničová, V. Stálezelené dřeviny. Praha: Aventinum, 2000. ISBN 80-7151-126-9.

Internetový zdroj – webové stránky institucí:

LČR ©2018: Vyhodnocení plnění funkcí lesa u březových porostů, ekonomiky březového hospodářství a návrh východisek pro hospodaření s břizou (online), dostupné z
<https://lesycr.cz/wpcontent/uploads/2018/03/Hospodareni_s_brizou_v_CR_2018.pdf>.

LČR ©2019: Využití multifunkčního potenciálu rekultivačního lesnického arboreta Antonín–Sokolov (online), dostupné z <https://lesycr.cz/wp-content/uploads/2016/03/ZZ_arboretum_13_2016.pdf>.

Městský úřad Sokolov, ©2020: Územně analytické podklady obce s rozšířenou působností Sokolov, dostupné z
<https://www.sokolov.cz/assets/urad/odbory/odbor_stavebni_a_uzemniho_planovani/uapo_orp-sokolov2020_verze-i.pdf>.

Diplomové práce:

Racek T., 2005: Predikce skutečné vzcházivosti buku lesního (*Fagus sylvatica* L.) pomocí metody kritického kořenové délky v podmínkách ČR. Česká zemědělská univerzita v Praze, fakulta lesnická a environmentální, Praha. 67 s. (disertační práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.