

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Zemědělská fakulta

Studijní program: N4101 – Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Agroekologie

Katedra: Katedra krajinného managementu

Vedoucí katedry: doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Stav půdního organického uhlíku vybraných stanovišť  
rekultivovaných ploch Velké podkrušnohorské výsypky

Vedoucí diplomové práce: Ing. Lubomír Bodlák, Ph.D.

Autor: Bc. Martina Kobesová

České Budějovice  
duben 2013

Prohlášení:

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 16. 4. 2013

---

Bc. Martina Kobesová

### Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Lubomírovi Bodlákovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mně poskytl a za ochotu a trpělivost. Také děkuji všem, kteří mně pomáhali při práci v laboratoři. V neposlední řadě děkuji rodině a přátelům za podporu a trpělivost.

## **Abstrakt**

Hlavním cílem diplomové práce bylo zhodnotit stav půdního organického uhlíku u nově utvářených půd Velké podkrušnohorské výsypky na Sokolovsku a získané informace posoudit v návaznosti na fyzikálně chemické vlastnosti půd. Dalším cílem bylo určit vztah mezi stabilní a labilní frakcí půdního organického uhlíku. V pevných vzorcích půdy bylo měřeno množství půdního uhlíku (stabilní frakce) a byl provedený rozbor základních fyzikálně chemických parametrů půdy. Největší koncentrace půdního uhlíku byla naměřena v porostu olše lepkavé a modřínu opadavém. Ve vodním výluhu bylo měřeno množství půdního uhlíku (labilní frakce). Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v porostu břízy bělokoré a olše lepkavé. Na základě zjištěných dat byl určený podíl labilní frakce ze stabilní frakce a byla provedena korelace labilní a stabilní frakce. Bylo zjištěno, že kvalitnější půdy se nacházejí u listnatých porostů, avšak dochází k vyplavování organického uhlíku. Z fyzikálních vlastností byla zjišťována objemová hmotnost a hrubozrnná frakce půdy, které byly využity pro výpočet zásoby půdního organického uhlíku. Nejvyšší hodnota byla naměřena v listnatých porostech u lípy srdčité, v jehličnatých porostech u modřínu opadavého. Zásoby půdního organického uhlíku byly převedeny na kódy dle kategorií land cover a byla vytvořena tématická mapa. Bylo zjištěno, že mnohem vhodnější pro lesnickou rekultivaci jsou listnaté porosty, neboť se vyznačují rychlejším počátečním růstem, snadno rozložitelným opadem a stabilnější formou humusu. Listnaté porosty se také vyznačují vyvinutějším půdním substrátem, který je však stále nestabilní.

### **Klíčová slova:**

Velká podkrušnohorská výsypka, půdní organická hmota, stabilní frakce půdního organického uhlíku, labilní frakce půdního organického uhlíku, zásoba půdního organického uhlíku

## **Abstract**

The main aim of this thesis was to assess the status of soil organic carbon in newly shaped soils called Velká podkrušnohorská dump in the Sokolov district and evaluate the information in relation to the physic-chemical properties of soils. Another objective was to determine the relationship between the stable and labile fractions of soil organic carbon. The amount of soil carbon (stable fraction) was measured in the solid soil samples and there was the analysis of basic physic-chemical parameters of the soil performed. The highest concentration of soil carbon was measured in the stand alders and larch. The amount of soil carbon (labile fraction) was measured in the water extract. The highest values were measured in the stand silver birch and alders. Based on this data the quotient of the labile fraction from the stable fraction was determined and the correlation of the labile and stable fractions was made. It was found out that the higher quality soils are located at the leafy trees, but it leads to leaching of organic carbon. The bulk density and coarse-grained soil fraction was determined from the physical properties and these data were used to calculate the stock of soil organic carbon. The highest value was measured in deciduous forests with small-leaved linden, in coniferous forests with larch. The stocks of soil organic carbon were converted into codes by land cover categories and the thematic map was created. It was found out that the leafy trees are much more appropriate for forest restoration, because they are characterized by the rapid initial growth, easily degradable plant litter and stable form humus. Deciduous forests are also characterized by more developed soil substrate, which is however unstable.

### **Key words:**

Velká podkrušnohorská dump, soil organic matter, stable fraction of soil organic carbon, labile fractions of soil organic carbon, stock of soil organic carbon

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce.....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Literární přehled.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>Půda .....</b>	<b>12</b>
3.1.1	Složení půd.....	12
<b>3.2</b>	<b>Fyzikální vlastnosti půd .....</b>	<b>14</b>
3.2.1	Zrnitost půdy .....	14
3.2.2	Struktura půdy .....	16
3.2.3	Pórovitost .....	16
3.2.4	Měrná hmotnost a objemová hmotnost půdy.....	17
<b>3.3</b>	<b>Chemické vlastnosti půd .....</b>	<b>17</b>
3.3.1	Makroelementy .....	18
3.3.2	Mikroelementy .....	20
<b>3.4</b>	<b>Půdní organická hmota.....</b>	<b>21</b>
3.4.1	Třídění půdní organické hmoty.....	22
3.4.2	Pochody přeměn půdní organické hmoty.....	22
3.4.3	Humus .....	23
3.4.4	Půdní organický uhlík a globální cyklus uhlíku.....	25
3.4.5	Stabilní (SOC) a labilní frakce (WSOC) půdní organické hmoty .....	26
<b>4</b>	<b>Charakteristika zájmového území .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1</b>	<b>Velká podkrušnohorská výsypka.....</b>	<b>28</b>
<b>4.2</b>	<b>Cyprisové jíly .....</b>	<b>28</b>
<b>4.3</b>	<b>Rekultivace postižené krajiny .....</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>Metodika .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1</b>	<b>Odběry vzorků pro základní pedologický rozbor .....</b>	<b>32</b>
5.1.1	Základní zpracování vzorků půdy .....	34

<b>5.2 Stanovení organického uhlíku (stabilní frakce)</b> .....	<b>34</b>
5.2.1 Stanovení množství celkového uhlíku .....	35
5.2.2 Stanovení množství anorganického uhlíku .....	35
5.2.3 Použité chemikálie .....	36
5.2.4 Pracovní postup a kalibrace .....	36
<b>5.3 Stanovení organického uhlíku ve vodním výluhu (labilní frakce)</b> .....	<b>36</b>
<b>5.4 Statistické zpracování dat</b> .....	<b>37</b>
<b>5.5 Výpočet zásoby organického uhlíku v půdě</b> .....	<b>37</b>
<b>5.6 Tvorba speciální tématické mapy uhlíkových zásob</b> .....	<b>38</b>
<b>6 Výsledky</b> .....	<b>39</b>
6.1 Výsledky měření stabilní frakce.....	39
6.2 Výsledky měření labilní frakce .....	40
6.3 Korelace WSOC a SOC .....	41
6.4 Výsledky zásoby půdního uhlíku .....	43
6.5 Tématická mapa .....	45
<b>7 Diskuse</b> .....	<b>47</b>
<b>8 Závěr</b> .....	<b>50</b>
<b>9 Seznam použité literatury</b> .....	<b>52</b>
<b>10 Přílohy</b> .....	<b>58</b>

# 1 Úvod

Povrchová těžba nerostných surovin je provázána negativními vlivy na životní prostředí. Těžbou uhlí je deformována krajina, zpracovatelská část zatěžuje životní prostředí emisemi znečišťujících látek vypouštěných do ovzduší a do vody, odkud se následovně dostávají až do půdy. Díky tomuto narušení životního prostředí dochází i ke změnám sociálněekonomické struktury osídlení v dané lokalitě.

Povrchová těžba uhlí dosahuje většinou takové intenzity, kdy nejsou v dané lokalitě žijící druhy schopny adaptace. Výsledkem těžební činnosti je antropogenní krajina s mrtvým substrátem, chybějící vegetací a edafonem. V postižených oblastech je důležitá obnova ekologické funkce krajiny, proto se po povrchové těžbě provádějí rekultivace. Pro nápravu negativních projevů těžby jsou rekultivace klíčovým prostředkem k obnově ekologicky stabilní krajiny. Rekultivovaná krajina by měla splňovat určité podmínky – ekologickou vyváženost, zdravotní a hygienickou nezávadnost, efektivní a potenciální produktivnost, estetickou působivost a rekreační využití. Rozeznáváme čtyři druhy rekultivací – lesnickou, zemědělskou, vodohospodářskou a ostatní rekultivaci. Diplomová práce se zabývá rekultivací lesnickou. Určujícím faktorem lesnické rekultivace jsou pedologické vlastnosti a mikroklimatické podmínky daných stanovišť, limitujícím faktorem je textura a struktura antropogenního substrátu, rozhodujícím faktorem jsou ekologické požadavky vysazovaných dřevin.

Po lesnické rekultivaci, po zapojení lesních porostů, dochází k oživení původního mrtvého substrátu organickou hmotou a k přísunu živin do ekosystému. V souvislosti s rozvojem vegetace dochází k významné akumulaci organické hmoty v půdním profilu a k vytvoření vrstvy humusu. Organickou hmotu tvoří humusotvorný materiál, meziprodukty rozkladu a syntézy a humus. Organická hmota je hlavním zdrojem energie a živin pro většinu půdních organismů, kteří ji rozkládají. Půdní organická hmota má rozhodující vliv na půdní vlastnosti a tím i na půdní úrodnost, její kvalita a množství je dána vstupem organických látek do půdy. Kromě celkové zásoby půdní organické hmoty je důležitým sledovaným údajem aktivní půdní organická hmota. Její obsah se charakterizuje vodorozpustnou frakcí, která zahrnuje podíl rychle odbouratelných uhlovodíků a podíl cyklických uhlovodíků. Rychle odbouratelné uhlovodíky jsou převážně alifatické a tvoří aktivní složku půdní



organické hmoty. Cyklické uhlovodíky tvoří pasivní složku, která je hůře odbouratelná.

Sledování změn v původním mrtvém substrátu je důležité z hlediska stavu a vývoje půdy na výsypce. U nově vytvářených půd se postupně zvyšuje podíl půdní organické hmoty a tedy i hodnota půdního organického uhlíku, což ovlivňuje fyzikálně chemické vlastnosti. Tento přístup vede k obnově ekologicky stabilní krajiny ve smyslu zlepšování kvality půdy a ke zvýšení sequestrace uhlíku.

## **2 Cíl práce**

Hlavním cílem diplomové práce bylo zhodnotit stav půdního organického uhlíku u nově vytvářených půd Velké podkrušnohorské výsypky na Sokolovsku. Při lesnické rekultivaci byly vysazovány jehličnaté i listnaté porosty. Tyto porosty ovlivňují rozdílně tvorbu i vývoj půd, a tedy i akumulaci půdní organické hmoty.

### **Pracovní postup:**

- 1) Odebrání půdních vzorků, jejich rozbor a statistické zpracování
- 2) Stanovení schopnosti půd sequestrovat uhlík
- 3) Porovnání stavu půdního organického uhlíku v listnatých a jehličnatých porostech
- 4) Zhodnocení zjištěných výsledků v návaznosti na fyzikálně chemické vlastnosti půd
- 5) Určení vztahu mezi stabilní a labilní frakcí půdního organického uhlíku na základě získaných dat z vybraných stanovišť

## 3 Literární přehled

### 3.1 Půda

Půdou nazýváme svrchní vrstvu zemského povrchu, v níž se protínají geologické a biologické procesy (Chapin et al., 2002). Vzniká rozpadem podložní horniny působením biologických, chemických a fyzikálních vlivů (Forman and Godron, 1993). Půda vzniká a vyvíjí se při vzájemném působení litosféry, atmosféry, biosféry, hydrosféry a činnosti člověka (Šarapatka, 1996). Je složena z minerálních částic různé velikosti, živých organismů, odumřelých zbytků a organických látek v různém stádiu rozkladných a syntetických přeměn a je prostoupena vodou a vzduchem (Ledvina et al., 2000). Půda je otevřený systém tvořený tuhou, kapalnou a plynnou fází. Nejvýznamnější složkou půdy je organická hmota, rostliny a živočichové (Brady et al., 2002).

Půda je základním článkem potravního řetězce. Tvoří substrát pro růst rostlin, je životně důležitou zásobárnou vody pro rostliny i živočichy, žijí v ní mikroorganismy, kteří se podílejí na průběhu důležitých procesů v ekosystémech. Hlavní terestrickou zásobárnou uhlíku, dusíku, fosforu a síry je půdní organická hmota. V půdě probíhají cykly vody, uhlíku, dusíku, fosforu a síry prostřednictvím interakcí mikrobiální složky s fyzikálními a chemickými vlastnostmi.

#### 3.1.1 Složení půd

Půda je disperzní systém pevné, kapalně a plynné fáze. Procentuální zastoupení jednotlivých fází je 50% pevná složka, 20 – 30% kapalná složka a 25 – 30% plynná složka (Strahler, 1999).

#### **Pevná složka půdy**

Pevná složka půdy obsahuje dvě složky: minerální podíl a organický podíl, kdy minerální podíl silně převažuje nad organickým (výjimku tvoří rašelinné půdy, které patří do skupiny organogenních půd s vysokým podílem organických látek).

Organický podíl dále obsahuje dvě složky: živá organická hmota – edafon a odumřelá organická hmota – humus (Strahler, 1999).

Minerální podíl tvoří minerální částice, které mají různou velikost, tvar a chemické složení. Minerální částice můžeme rozdělit na primárně a sekundárně vytvořené jíly. Primárně vytvořené jíly tvoří v půdě hrubší částice, jedná se o šterk, písek a hlínu. Sekundárně vytvořené jíly tvoří nejjemnější frakci půdy (Šantrůčková, 2001). Půdy můžeme rozdělit na minerální a organické, množství minerálního podílu se liší. Minerální půdy obvykle obsahují 1 – 6% organických látek, organické půdy obsahují více než 50% objemových organických látek. V ČR se většinou setkáváme s minerálními půdami (Šarapatka, 1996).

Organický podíl půd tvoří v průměru 6% hmotnosti půd, ale obsah organické hmoty se v půdě pohybuje v širokém rozmezí (Šantrůčková, 2001). Organický podíl půd je tvořený živou složkou, která spadá do rostlinné nebo živočišné říše (edafon) a neživou složkou, která je zastoupená odumřelými organismy a produkty transformace organických zbytků (půdní organická hmota). I když je organický podíl půd v porovnání s minerálním podílem zastoupený méně, má velmi výrazný vliv na půdní vlastnosti (Ledvina et al., 2000).

Nově vytvořená organická hmota se váže na anorganické látky, vznikají tak velice stabilní organo-minerální komplexy, které jsou důležité pro tvorbu půdní struktury. Základem půdní struktury jsou agregáty. Agregáty vznikají slepováním jílových částíček s houbovými vlákny, bakteriemi, hrubšími minerálními částicemi a nerozloženými zbytky rostlin (Šantrůčková, 2001).

### **Kapalná složka půdy**

Kapalná složka půdy zahrnuje především vodu, ta je hlavní složkou všech organismů. Voda je zásadním zdrojem pro většinu procesů probíhajících v ekosystému. Zaplňuje v půdě póry, je držena různými silami, a proto není vždy snadno dostupná (Chapin et al., 2002). Půdní voda se v půdě vyskytuje ve skupenství kapalném, plynném i pevném. Do půdní vody se zahrnuje i podzemní voda, pokud její hladina dosahuje půdního profilu. Voda v půdě ovlivňuje fyzikální, fyzikálně chemické, chemické i biologické pochody. Podílí se na tvorbě půdotvorného substrátu a na tvorbě půdy (Šarapatka, 1996). Půdní voda obsahuje různé minerální látky, jedná se především o kationty  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Ca_2^+$ ,  $Mg_2^+$  a  $H^+$ . Půdy, které se

vyznačují nízkým pH, obsahují rozpuštěné sloučeniny  $\text{Al}_3^+$  a  $\text{Fe}_3^+$  (Curtin and Smillie, 1984). Z aniontů se v půdním roztoku vyskytuje především  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Cl}^-$  a v nepatrném množství také sloučeniny molybdenu a bóru. Do půdního roztoku se jednotlivé ionty dostávají zvětráváním minerálů, rozkladem organických látek, výměnou ze sorpčního komplexu a z imisí (Rovira, 1969).

### **Plynná složka půdy**

Plynná složka půdy je tvořena půdním vzduchem, ten je významný pro chemické a biologické procesy, které v půdě probíhají. Půdní vzduch vyplňuje póry, které nejsou vyplněny vodou a oproti atmosférickému vzduchu obsahuje více  $\text{CO}_2$  a méně  $\text{O}_2$ . Složení půdního vzduchu je mnohem proměnlivější, je to dáno tím, že v půdě je omezený pohyb, a proto se v ní mohou hromadit difúzí plyny, které jsou koncovým produktem biologických procesů (Šantrůčková, 2001).

## **3.2 Fyzikální vlastnosti půd**

Fyzikální vlastnosti půdy značně ovlivňují fungování půd v ekosystému (Brady et al., 2002). Mezi základní fyzikální vlastnosti půd patří zrnitost půdy, struktura půdy, pórovitost, měrná hmotnost a objemová hmotnost půdy (Šarapatka, 1996).

### **3.2.1 Zrnitost půdy**

Zrnitost půdy je určena podílovým zastoupením různých velikostních frakcí půdních částic. Zrnitost výrazně ovlivňuje strukturu, pórovitost a velikostní zastoupení pórů v půdě. Také ovlivňuje záhřevnost půdy, chemický a biologický režim a zpracovatelnost půdy (Ledvina et al., 2000).

Hodnocení zrnitosti je prováděno ve frakci jemnozeme (< 2 mm), částice > 2 mm se nazývají skelet, který určuje skeletovitost půd (Němeček et al., 2001). Jemnozeme můžeme dále rozčlenit podle velikosti na jíl, prach, písek a štěrk (Tabulka 1), (Šimek, 2005).

Tabulka 1: Třídění půdních částic podle velikosti používaný v ČR podle Kopeckého

Název	Průměr částic	Kategorie
Jíl	pod 0,002 mm	
Jemný prach	0,001 – 0,01 mm	I. (jílkaté částice)
Prach	0,01 – 0,05 mm	II.
Práškovitý písek	0,05 – 0,1 mm	III.
Písek	0,1 – 2 mm	IV.

Převzato od: Šimek, 2005

Podle procentuálního zastoupení velikostních kategorií jemnozeme se půdy třídí na půdní druhy (Tabulka 2), (Ledvina et al., 2000).

Tabulka 2: Třídění půdních druhů dle Novákovy stupnice

Půdní druh	Obsah jílnatých částic (pod 0,01 mm)
Písčítá půda	0 – 10% jílnatých částic
Hlinitopísčítá půda	10 – 20% jílnatých částic
Písčitohlinitá půda	20 – 30% jílnatých částic
Hlinitá půda	30 – 45% jílnatých částic
Jílovitohlinitá půda	45 – 60% jílnatých částic
Jílovitá půda	60 – 75% jílnatých částic
Jíl	> 75% jílnatých částic

Převzato od: Ledvina et al., 2000

Půdní druhy můžeme rozdělit na:

- půdy lehké – s vyšším obsahem písku – písčité a hlinitopísčité půdy
- půdy střední – s vyšším obsahem prachu – písčitohlinité a hlinité půdy
- půdy těžké – s vyšším obsahem jílu – jílovitohlinité a jílovité půdy (Šimek, 2005).

### 3.2.2 Struktura půdy

Strukturu půdy můžeme charakterizovat jako uspořádání půdních částic v určitém objemu. Půdní částice se vzájemně spojují a vytvářejí tak půdní agregáty (Hůla et al., 2008). Struktura půdy má významný vliv na půdní podmínky a prostředí. Vyjadřuje se jako stupeň stability agregátů (Bronick and Lal, 2005). Agregace je ovlivněna zastoupením výměnných iontů v sorpčním komplexu, zásobou živin a obsahem půdní vláhy. Pevnost vazby agregátů určuje jejich stabilitu (Vopravil et al., 2009). Stabilita určuje schopnost odolávat vnějším vlivům, které by mohly způsobit rozpad agregátů (Rohošková and Valla, 2004).

Podle velikosti můžeme agregáty rozdělit na mikrostrukturu (agregáty < 0,25 mm), makrostrukturu (agregáty 0,25 – 50 mm) a megastrukturu (hroudy a bloky > 50 mm), (Ledvina et al., 2000). Půdní struktura je charakterizována z hlediska tvaru, velikosti, vyvinutosti a stavu povrchu půdních agregátů (Brady et al., 2002). Je určena fyzikálními faktory (vysychání, zvlhčování, mrznutí a tání), chemickými faktory (mineralogická skladba, chemické vazby, tvorba agregátů) a biologickými faktory (působení půdních mikroorganismů, živočichů a působení kořenů), (Sáňka and Materna, 2004).

Struktura půdy může být elementární - u písčítých půd, koherentní - u prašných půd či agregátová. Agregátovou strukturu můžeme dále rozdělit na strukturu kulovitou, polyedrickou, hranolovitou, sloupkovitou, deskovitou (Brady et al., 2002).

### 3.2.3 Pórovitost

Prostory nacházející se v půdě, které nejsou zaplněné pevnou fází, nazýváme půdní póry. Půdní póry jsou charakteristické rozdílným tvarem i velikostí a jsou různým způsobem propojeny. Díky půdním pórům je v půdě umožněno proudění vody a vzduchu, probíhají v nich látkové přeměny a výměnné reakce mezi mikroorganismy a kořeny rostlin (Pokorný et al., 2007).

Póry můžeme rozdělit:

- Kapilární póry (průměr < 0,2 mm) – umožněno proudění vody proti působení gravitace (omezený pohyb), zajištěno vztlínání vody, neumožněna výměna vzduchu
- Nekapilární póry (průměr > 0,2 mm) – voda odvedena vlivem přitažlivosti do spodních vrstev, póry převážně vyplněné vzduchem (Šarapatka, 1996).

#### 3.2.4 Měrná hmotnost a objemová hmotnost půdy

Měrná hmotnost půdy je hmotnost objemové jednotky půdy, kde pevné částice vyplňují daný prostor (Králová et al., 1991). Závisí na obsahu organických látek a minerálů, které mají různou hustotu. V půdě jsou nejvíce zastoupeny křemičitany, proto se průměrná hmotnost půdy udává dle jejich hustoty (2,65 g.cm<sup>-3</sup>). Hodnota je také závislá na obsahu humusu a obsahu těžkých minerálů v půdě (Ledvina et al., 2000).

Objemová hmotnost půdy udává hmotnost jednoho metru krychlového půdy v jeho přirozeném uložení – s póry vyplněnými momentním obsahem vody a vzduchu. Závisí na půdních vlastnostech (zrnitosti, struktuře, vlhkosti a pórovitosti). Objemová hmotnost půdy má vždy nižší hodnotu než měrná hmotnost půdy (Sánka and Materna, 2004).

### **3.3 Chemické vlastnosti půd**

Složení půdy se z chemického pohledu dělí na minerální a organické látky. Zdrojem minerálních látek je horní část litosféry, která podléhá zvětrávání, a ve které vzniká půdotvornými procesy půda. Organickou složku půdy tvoří půdní organismy. Mezi základní chemické vlastnosti půd patří obsah prvků v půdě (Šarapatka, 1996). Obsah prvků v půdě můžeme rozdělit dle vyskytujícího se množství na makroelementy a mikroelementy. Půda se vyznačuje velmi nevyváženým složením jednotlivých prvků (Ledvina et al., 2000).



### 3.3.1 Makroelementy

Makroelementy tvoří převážnou část půdní hmoty. Největší zastoupení v půdě mají kyslík, křemík, hliník a železo, které se vyskytují v minerálech. Kyslík je dále součástí organických látek, půdní vody a půdního vzduchu. Křemík a hliník tvoří kostru půdní hmoty. Živiny důležité pro růst rostlin jsou dusík, fosfor a draslík. Mezi makroelementy se také řadí sodík, vápník a hořčík (Šarapatka, 1996).

Kyslík ( $O_2$ ) v půdě tvoří 50% obsahu a nachází se v anorganické i organické části půdy. V anorganické části ho nalezneme v podobě primárních a sekundárních minerálů, oxidů, hydroxidů. Kyslík je také součástí půdní vody a půdního vzduchu (Ledvina et al., 2000).

Křemík (Si) se v přírodě vyskytuje výhradně ve sloučeninách, ve kterých vystupuje v oxidačním čísle IV, vzácně též II. V půdě je obsažený přibližně z  $\frac{1}{3}$  obsahu a tvoří kostru půdní hmoty. Nejčastěji se nachází ve formě křemene a silikátů. Křemen ( $SiO_2$ ) je nejdůležitějším minerálem křemíku. Při zvětrávání a vývoji půd se nachází ve formě aniontů orto a meta Si kyselin ( $SiO_4$ )<sup>4-</sup> a ( $SiO_3$ )<sup>2-</sup>, silikátů sodných a draselných. Vodorozpustné formy křemíku se mohou z půdy vymývat nebo se vysrážet v podobě gelu ( $SiO_2 \cdot nH_2O$ ). Mohou také přecházet v sekundární jílové minerály (Šarapatka, 1996).

Hliník (Al) tvoří v průměru přes 7% obsahu půdy a též tvoří kostru půdní hmoty. S kyselinami tvoří hlinité soli  $Al^{3+}$ . Je obsažený v primárních i sekundárních minerálech. Mezi nejdůležitější minerály hliníku patří orthorombický boehmit ( $Al_2O_3 \cdot H_2O$ ) a monoklinický gibbsit ( $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ ), kryolit ( $Na_3AlF_6$ ) a korund ( $Al_2O_3$ ), (Valla et al., 2007).

Železo (Fe) je druhý nejrozšířenější kov a čtvrtý nejrozšířenější prvek. Průměrný obsah železa je zhruba poloviční oproti hliníku. V půdách ho nalezneme v primárních i sekundárních minerálech, v podobě hydroxidů, oxidů, solí a ve formě organominerálních komplexů. Železo se vyskytuje ve sloučeninách jako dvojmocné železo ( $Fe^{2+}$ ), které je jedovaté pro kořeny rostlin, a jako trojmocné železo ( $Fe^{3+}$ ), (Jandák et al., 2004). Mezi nejdůležitější železné rudy patří pyrit ( $FeS_2$ ), magnetit ( $Fe_3O_4$ ), hematit ( $Fe_2O_3$ ) a pyrhotin ( $FeS$ ), (Valla et al., 2007).

Dusík (N) je v minerálech přítomný ve formě amoniového iontu. Obsah dusíku v půdě je závislý na obsahu organických látek v půdě. Nachází se v bílkovinách, je

součástí chlorofylu, enzymů, nukleových kyselin a dalších organických dusíkatých látek. Dusík se fixuje v rámci symbiotického systému zejména s leguminózami (Šimek, 2003).

Fosfor (P) se v přírodě vyskytuje pouze ve sloučeninách, nejrozšířenější jsou soli kyseliny fosforečné - fosforečnany. Nacházíme ho v půdách v anorganické i organické formě. Tvoří sloučeniny s vápníkem a důležité jsou i fosfáty Al a Fe. Fosfor je součástí nukleových kyselin a fosfolipidů, je složkou fosfoproteinů, nukleoproteinů, fyтину a je nezbytný pro řadu metabolických procesů, (Šarapatka, 1996). Nejdůležitější minerály fosforu jsou apatit  $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl},\text{OH})]$  a fosforit  $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$ . Nejvyšší obsah fosforu ze všech minerálů má nerost lithiofosfát  $(\text{Li}_3\text{PO}_4)$ , (Šimek, 2003).

Draslík (K) se v přírodě nevyskytuje volný, přítomný je vždy vázaný ve sloučeninách, ve kterých vystupuje výhradně jako jednomocný kation  $\text{K}^+$ . Draslík je obsažen v primárních a sekundárních minerálech, vyskytuje se ve třech základních formách – relativně nepřístupná forma v živcích a slídách, snadno přístupná forma v půdním roztoku a pomalu přístupná forma, kdy je draslík pevně fixovaný půdními koloidy. Draslík je důležitým prvkem zajišťování fyziologických funkcí v organismech a podporuje syntézu chlorofylu (Ledvina et al., 2000). Nejvíce draslíku je obsaženo v křemičitanech a v ložiscích chloridu draselného (KCl). Další významné minerály draslíku jsou sylvinit (KCl.NaCl), karnalit  $(\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O})$  a kainit  $(\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O})$ , (Šimek, 2003).

Vápník (Ca) se v přírodě nevyskytuje jako elementární prvek, ale v zemské kůře je rozptýlený ve svých sloučeninách. Vápník se vyskytuje v krystalových mřížkách minerálů ve formě výměnné i ve formě solí a má velký význam při tvorbě optimálních fyzikálních, fyzikálně chemických a biologických vlastností půdy. Ovlivňuje koloidní stav plazmy a průběh biochemických reakcí v rostlinách (Šarapatka, 1996). Nejdůležitějšími užitkovými nerosty vápníku jsou minerály kalcit  $(\text{CaCO}_3)$ , dolomit  $(\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3)$ , anhydrit  $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ , apatit  $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl},\text{OH})]$  a fluorit  $(\text{CaF}_2)$ , (Šimek, 2003).

Hořčík (Mg) se v přírodě nevyskytuje jako elementární prvek, je známý pouze jako dvojmocný kation ve sloučeninách. Hořčík se společně s vápníkem vyskytuje v krystalových mřížkách minerálů ve formě výměnné i ve formě solí a mezi jeho významnou funkci patří aktivace enzymatických pochodů, ovlivňování metabolismu

sacharidů, lipidů a nukleových kyselin. Hořčík je obsažený v chlorofylu (Jandák et al., 2004). Mezi nejdůležitější minerály hořčíku patří magnezit ( $\text{MgCO}_3$ ), dolomit ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), olivín ( $\text{MgSiO}_4$ ), azbest ( $\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_9$ ) a mastek [ $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ], (Šimek, 2003).

Sodík (Na) je v přírodě vázaný pouze na sloučeniny, ve kterých se vyskytuje vždy ve formě bezbarvého jednomocného kationu. Sodík je obsažený v živcích, odkud se také při zvětrávání uvolňuje. Snadno se vyluhuje a akumuluje se tak v podzemních vodách. Významně ovlivňuje fyzikální vlastnosti půd, vyšší koncentrace sodíku potlačuje příjem Ca, K a Mg. Nejdůležitějším minerálem sodíku je halit ( $\text{NaCl}$ ), (Šarapatka, 1996).

### 3.3.2 Mikroelementy

Mikroelementy se v půdě nachází jen ve stopovém množství. Jedná se především o prvky, které mají význam ve výživě rostlin. V půdách se mikroelementy nachází ve třech hlavních formách – v anorganické formě (jako součást minerálů nebo ve formě solí), jako součást organických sloučenin a jako součást půdního roztoku.

Mezi mikroelementy patří například bór, mangan, zinek, měď nebo molybden. Bór a molybden se nachází v aniontové formě. Bór se v přírodě jako elementární prvek nevyskytuje (Jandák et al., 2004). K známým minerálům bóru patří borax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), kernit ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) a kotoid ( $\text{Mg}_3\text{B}_2\text{O}_6$ ). Molybden se v přírodě nejčastěji vyskytuje v minerálech molybdenit ( $\text{MoS}_2$ ), wulfenit ( $\text{PbMoO}_4$ ) a powellit ( $\text{CaMoO}_4$ ), (Šimek, 2003). Mangan a měď se v půdě nachází v různém oxidačním stupni a způsobují tak různé zbarvení půd. V přírodě se mangan vyskytuje značně rozptýlený, většinou doprovází železo (Ledvina et al., 2000). Mezi nejdůležitější manganové rudy patří pyroluzit ( $\text{MnO}_2$ ), braunit ( $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ) a manganit [ $\text{MnO}(\text{OH})$ ]. Měď se v přírodě vzácně nalézá ryzí, běžnější je její výskyt v nerostech jako chalkopyrit ( $\text{CuFeS}_2$ ), chalkosin ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), kuprit ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) a tetradrit ( $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ). Zinek se v přírodě nalézá ryzí a v rudách smithsonit ( $\text{ZnCO}_3$ ), sfalerit ( $\text{ZnS}$ ), hemimorfit ( $\text{Zn}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) a zinkit ( $\text{ZnO}$ ), (Šimek, 2003).

### 3.4 Půdní organická hmota

Půdní organická hmota je souborem všech neživých organických látek, které se nachází v půdě nebo na jejím povrchu (Kolář et al., 2009). Jedná se o složitý, heterogenní, polydisperzní soubor organických látek různého původu, který má proměnlivé složení a vyznačuje se různým stupněm disperzity, aktivity a tím i vztahem k ostatním složkám půdní hmoty a živým organismům (Sotáková, 1982). Půdní organická hmota je klíčovým atributem kvality půdy, neboť má obrovské účinky na fyzikální, chemické i biologické vlastnosti půdy (Haynes, 2005). Půdní organická hmota přispívá k vytváření drobtovité půdní struktury, neboť pojí minerální částice, zlepšuje schopnost půdy zadržovat vodu (Brady et al., 2002), působí na snižování utužení půdy (Avnimelech and Cohen, 1988) a také může snižovat toxicitu určitých prvků (Reicosky, 2003).

Organickou hmotu z chemického hlediska tvoří jednodušší cukry a organické kyseliny, pryskyřice, tuky, vosky a třísloviny, celulóza a hemicelulóza, lignin a organické dusíkaté látky.

Jednodušší cukry a organické kyseliny jsou lehce rozpustné ve vodě, jsou snadno rozkládány chemickými, fyzikálně chemickými i mikrobiálními procesy. Pryskyřice, tuky, vosky a třísloviny jsou rozpustné pouze v organických rozpouštědlech, jedná se o látky těžko rozložitelné chemickými a mikrobiálními procesy. Celulóza je součástí rostlin, rozkládá se mikrobiálními procesy, chemicky je rozkládána vlivem koncentrovaných kyselin a louhů. Hemicelulóza je snadněji odbourávána mikrobiálními i chemickými procesy než celulóza. Lignin je součástí dřevní hmoty a tvoří komplexy s celulózou. Mikrobiálními procesy je velmi těžko rozložitelný. Organické dusíkaté látky jsou tvořeny z  $\frac{1}{3}$  bílkovinami, dále nukleoproteiny nebo nukleovými kyselinami (Šarapatka, 1996).

### 3.4.1 Třídění půdní organické hmoty

Existují různé způsoby třídění půdní organické hmoty. Mezi nejvíce rozšířené patří třídění do 3 základních skupin:

- 1) **Humusotvorný materiál** = odumřelé zbytky rostlin, živočichů a mikroorganismů nepodléhající prozatím transformačním pochodům
- 2) **Meziprodukty rozkladu a syntézy** = mezistupně přeměn humusotvorného materiálu – látky nespecifické
- 3) **Humus** = organická hmota již transformovaná humifikačními pochody – látky specificky půdní (Ledvina et al., 2000).

Po dodání organické hmoty do půdy dochází k enzymatické oxidaci materiálu, čímž dochází k produkci  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$  a dále k uvolňování energie a tepla. Také dochází k uvolňování esenciálních prvků (dusík, fosfor) a k rozkladu, modifikaci a mikrobiální syntéze složek, které jsou rezistentnější mikrobiálnímu rozkladu (Šarapatka, 1996).

### 3.4.2 Pochody přeměn půdní organické hmoty

Odumřelé organické látky, které se v půdě nacházejí, podléhají odlišným přeměnám. Charakter přeměn je závislý na původu organických látek a prostředí, v němž dané pochody probíhají. Jedná se o mineralizaci a humifikaci, méně časté pochody jsou ulmifikace a karbonizace (Horáček et al., 1999). Pro optimální rozklad půdní organické hmoty je důležité, aby aerobní fáze následovala po fázi anaerobní.

#### **Mineralizace**

Mineralizace je proces rozkladu organických látek, který vede ke vzniku anorganických forem. Vzniklé minerální látky jsou bezprostředně využívány mikroorganismy a rostlinami jako živiny nebo dochází k jejich adsorpci na půdních koloidech (Šimek, 2003). Mineralizace probíhá na dobře propustných půdách, kde se nachází optimální poměr mezi vodou a vzduchem v pórech. Velký důraz je kladený i na poměr uhlíku a dusíku (poměr C:N). Optimální poměr pro mineralizaci by neměl

být nižší než 1:25 (Kolář, 1987). Při tomto procesu dochází k enzymatické oxidaci, jejímž výsledkem jsou jednoduché sloučeniny (např. CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O a oxidy prvků), při rozkladném procesu bílkovin vznikají aminokyseliny, které podléhají dalším změnám (následný vznik anorganických iontů – např. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> či SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), (Šarapatka, 1996).

### **Humifikace**

Humusové látky mohou vznikat dvěma cestami, kdy první fáze je ukončena vznikem rozkladných produktů s následnou mikrobiální resyntézou. Při tomto procesu využívají mikroorganismy část substrátu k syntéze vlastních bílkovin, tuků, sacharidů a aromatických komplexních sloučenin. V druhé fázi dochází k vlastní tvorbě humusových látek. Podstatou tvorby humusových látek je kondenzace a polymerizace aromatických sloučenin s aminokyselinami a bílkovinami. Samozřejmě je dostatečný přísun energie (Šarapatka, 1996).

Vzniklé humusové látky se člení na základě odolnosti vůči mikrobiálnímu rozkladu a rozpustnosti v alkáliích a kyselinách do 3 skupin. Jedná se o fulvokyseliny, huminové kyseliny a humin. Fulvokyseliny mají nejnižší molekulovou hmotnost, jsou nejméně odolné mikrobiálnímu rozkladu a jsou rozpustné ve vodě a v kyselinách. Vyznačují se velmi světlou barvou. Jsou snadno rozložitelné a poměrně rychle dochází k jejich obnově. Huminové kyseliny patří mezi vysokomolekulární dusíkaté organické sloučeniny s cyklickou stavbou a vyznačují se tmavší barvou. Jsou snadno rozpustné v alkáliích, ale v kyselinách dochází k jejich vysrážení. Humin se vyznačuje nejvyšší molekulovou hmotností a tmavou barvou. Je nerozpustný v kyselinách i zásadách a je zároveň nejodolnější mikrobiálnímu rozkladu (Ledvina et al., 2000).

#### **3.4.3 Humus**

Proces humifikace zahrnuje částečný rozklad organické hmoty s následnou syntézou meziproductů tohoto rozkladu. Výsledkem jsou složité humusové látky, které tvoří podstatu pravého humusu (Římovský, 1994). Humus je tvořený zbytky rostlinných a živočišných organismů, které se nachází v různém stupni rozkladu

(Pokorný et al., 2007). Zahrnuje půdní organickou hmotu, která prochází neustálými změnami v chemickém složení, mění se však i jeho vlastnosti a funkce v půdě. Z chemického hlediska se jedná o soubor tmavě zbarvených organických dusíkatých polyfunkčních látek kyselinové povahy s vysokou molekulovou hmotností a s poměrně vysokou odolností vůči mikrobiálnímu rozkladu (Prax, 1997). Humus velmi výrazně ovlivňuje půdní vlastnosti a tím napomáhá růstu rostlin (Brady et al., 2002).

Nadložní humus je nezbytný v hydrologii lesních půd, kde slouží jako regulátor odtoku srážkových vod, snižuje riziko povodí, zachytává převážnou část srážek propuštěných korunami stromů a tuto vodu odvádí do spodních vrstev půdy, odkud proudí do podzemních vod. Také tedy rozhoduje o odtoku, výparu a průsaku vody (Remeš et al., 2005). Nadložní humus také slouží jako zásobárna energie a uhlíku pro půdní rostliny a edafon. Významně působí na fyzikální, chemické i biologické vlastnosti půdy (Baldock and Nelson, 2000).

Lesní porosty jsou specifické různou dřevinnou skladbou, a proto se také vytváří různé typy humusu (Wollum, 1973). Z opadu jehličnatých i listnatých porostů se tedy tvoří jiný typ humusu. Opad a rozklad organické hmoty jsou hlavním zdrojem ukládání uhlíku, dusíku a dalších živin do půdy, kde slouží jako zdroj energie pro mikroorganismy (Podrázský, 2001).

Horizont nadložního humusu lesních půd se nazývá anhydrogenní horizont. Vzniká na propustných půdách, které nejsou zamokřené. Anhydrogenní horizont dělíme na horizont opadanky (L), horizont drti - fermentační (F) a horizont měli – humifikační (H). Horizont opadanky je tvořený relativně čerstvým rostlinným opadem, jež tvoří jehličí, listí, větvičky, kůra a odumřelé části rostlin. Horizont opadanky se dále dělí na horizont nové opadanky - Ln (čerstvě opadlý a málo rozrušený materiál akumulovaný v období jednoho roku) a na horizont změněné opadanky - Lv (starší opad s patrnými známkami rozkladu). Horizont drti (fermentační) tvoří částečně rozložené organické zbytky. Můžeme ho dále rozdělit na mykogenní horizont drti – Fm (charakteristický prorůstáním a spojováním rostlinných zbytků myceliem hub), zoogenní horizont drti – Fz (charakteristický činností půdní fauny, obsahuje značné množství exkrementu) a amfigenní horizont drti – Fa (tvoří přechod mezi Fm a Fz, proto zde probíhá rozklad za účasti hub i půdních živočichů). Horizont měli je tvořený rostlinnými zbytky ve značném stádiu

rozkladu, struktura již není rozeznatelná, převládá již humifikovaný materiál. Můžeme ho dále rozčlenit na humusový horizont měli – Hh (převládají jemné amorfní částice, organický materiál nestrukturní, celistvý), zoogenní horizont měli – Hz (charakteristický velkým množstvím exkrementů půdní fauny) a rezidální horizont měli – Hr (převažují jemné amorfní částice, jsou přítomny také rozpoznatelné rostlinné zbytky), (Němeček et al., 2001).

#### 3.4.4 Půdní organický uhlík a globální cyklus uhlíku

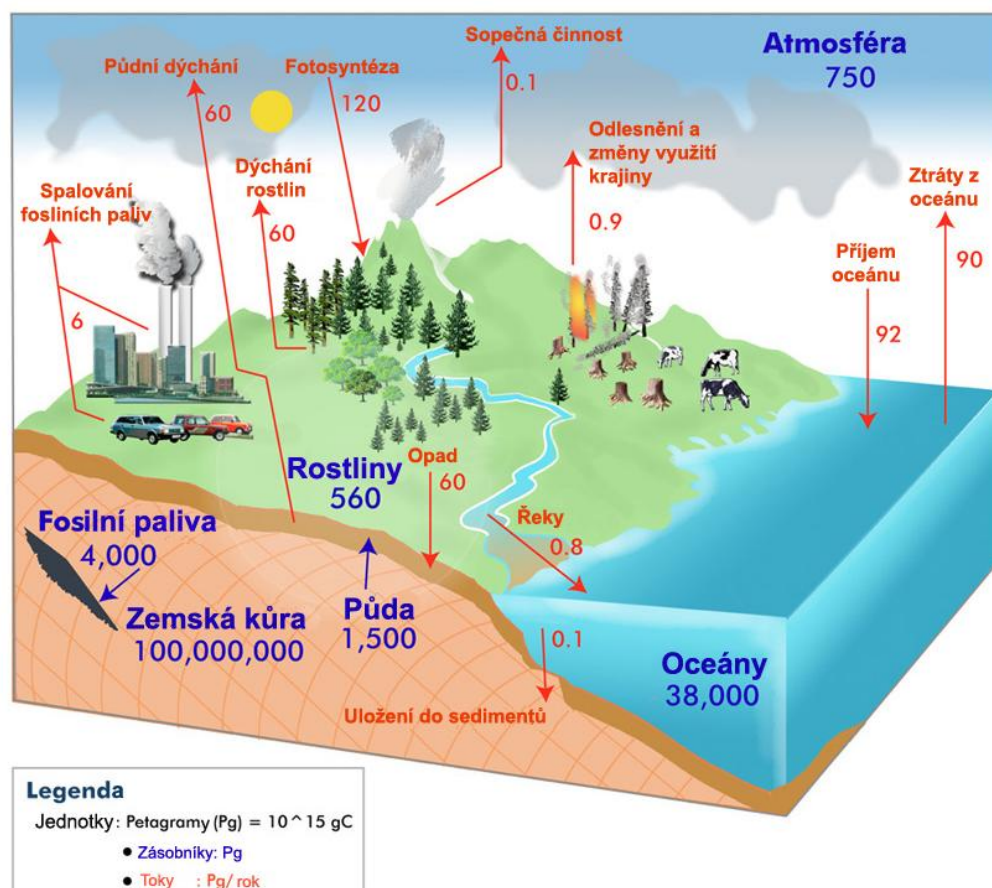
Půdní organická hmota má značný význam pro životní prostředí. Jedná se o sequestraci půdního organického uhlíku, což vede k lepšímu udržení ekologických funkcí půdy (Kubát et al., 2008). Sequestraci uhlíku můžeme popsat jako vázání atmosférického uhlíku do rostlinné biomasy během procesu fotosyntézy, odkud dochází k následnému vázání v půdě (LeCain et al., 2002). Půdní organická hmota představuje hlavní zásobárnu uhlíku, její kvalita a množství je dána vstupem organických látek do půdy, úrovní rozkladu, na mineralizaci, struktuře půdy a podnebí, a proto se množství organické hmoty mění (Coleman et al., 2009). Odhady zásoby uhlíku v půdě jsou od 1500 petagramů (Nátr, 2000) do 2400 petagramů (Batjes, 1996). Absolutní množství uhlíku se značně liší u různých půd, písčité půdy obsahují 1% nebo i méně půdního uhlíku, stepní půdy obsahují i 3,5% půdního uhlíku a špatně odvodněné půdy mohou obsahovat až 10% půdního uhlíku. Za účelem přeměny organického uhlíku do organické hmoty se obvykle používá faktor 1,724. Tento faktor je však založený na předpokládaném obsahu uhlíku 58% v organické hmotě, proto je třeba poznamenat, že obsah uhlíku v půdě se podstatně liší a klesá s hloubkou profilu (Stevenson, 1986). Poměr půdního organického uhlíku je spjatý s osvojením doporučených technologií závisajících na půdní struktuře, srážkách, teplotě a způsobu hospodaření s půdou (Lal, 2004).

Uhlík je základem všeho živého, nalezneme ho v rostlinách, u živočichů i u člověka (Brady et al., 2002), je akumulovaný v půdě a v opadu. Obsah uhlíku v půdě je asi dvakrát až třikrát větší oproti obsahu uhlíku v atmosféře ve formě CO<sub>2</sub> (Davidson et al., 2000). Přibližně 15% atmosférického uhlíku je asimilováno suchozemskými rostlinami. Dýcháním rostlin, rozkladem půdní organické hmoty a rostlinného opadu je přibližně stejné množství uhlíku navraceno zpět do atmosféry



(Amthor, 1995), (Obrázek 1). Díky tomuto procesu jsou cykly uhlíku a kyslíku nerozlučitelně spojeny (Schlesinger, 1997). Vodorozpustný organický uhlík se nachází ve všech ekosystémech (Neff and Asner, 2001).

Obrázek 1: Globální cyklus uhlíku



Staženo z: <http://kfrserver.natur.cuni.cz>

### 3.4.5 Stabilní (SOC) a labilní frakce (WSOC) půdní organické hmoty

Kromě celkové zásoby půdní organické hmoty (stabilní frakce) je důležitým sledovaným údajem aktivní půdní organická hmota (labilní frakce). Labilní frakce je složena ze zbytků rostlin a živočichů, kořenových exsudátů, meziproductů rozkladu (ligninocelulózový komplex) a z produktů rozkladu (sacharidy, aminokyseliny, jednoduché lipidy), (Chan et al., 2001). Stabilní frakce má dobu rozkladu trvající desetiletí až staletí a je v půdě těžko ovlivnitelná. U labilní frakce se jedná o dobu rozkladu ve dnech, měsících či rocích (Campbell et al., 1999). Mezi ukazatele labilní

frakce patří biochemická spotřeba kyslíku (Kolář et al., 2006), oxidovatelnost (Lefroy et al., 1993), hydrolyzovatelnost (Rovira and Vallejo, 2000), organické částičky, CO<sub>2</sub> uvolněný respirací půdního vzorku nebo uhlík vodorozpustných látek (Haynes, 2005). Obsah labilní frakce tedy lze charakterizovat vodorozpustnou frakcí.

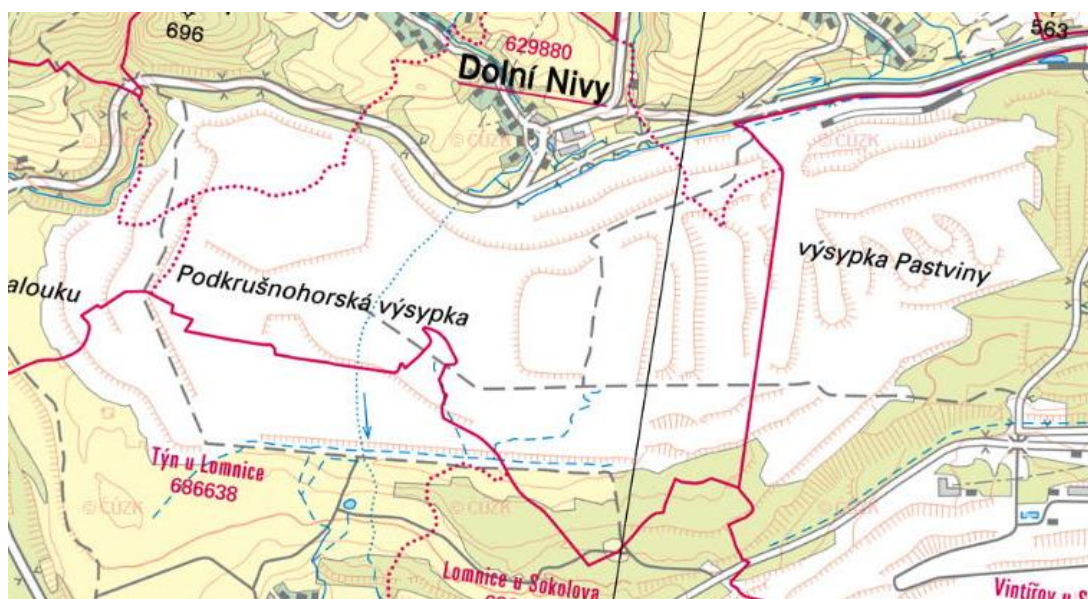
Vodorozpustný organický uhlík je vlastně vodorozpustná labilní frakce půdní organické hmoty s určitým podílem pomalu rozložitelné organické hmoty (Vanhala et al., 2008). Vodorozpustný organický uhlík zaujímá v půdě významné funkce. Slouží jako zdroj energie a živin pro mikroorganismy (Haynes, 2005), zlepšuje strukturu půdy vytvořením vyšší stability agregátů (Chan et al., 2001), podporuje symbiózu mikroorganismů s houbami, což přispívá k vyšším výnosům a dlouhodobému zlepšení půdní úrodnosti (Rovira and Vallejo, 2000).

## 4 Charakteristika zájmového území

### 4.1 Velká podkrušnohorská výsypka

Velká podkrušnohorská výsypka se nachází v západních Čechách severovýchodně od města Sokolov. Obklopuje ji několik obcí: Vintřív, Vřesová, Lomnice, Dolní Nivy, Horní Rozmyšl či Stará Chodovská (Mapa 1). Rozloha výsypky činí 1957,06 ha (Frouz et al. 2007) a je 8,5 km dlouhá a 2 – 2,5 km široká (Ripl, 1995). Pata výsypky se nachází v nadmořské výšce 445 – 595 m. n. m., na území se nachází dva vrcholy, které dosahují nadmořské výšky 600 m. n. m. Hornická činnost na celé ploše výsypky byla ukončena v roce 2003, převážnou část ukládaného materiálu tvoří cyprisové jíly (Bejšovec and Milič, 1994).

Mapa 1: Velká podkrušnohorská výsypka



Staženo z: <http://geoportal.gov.cz>

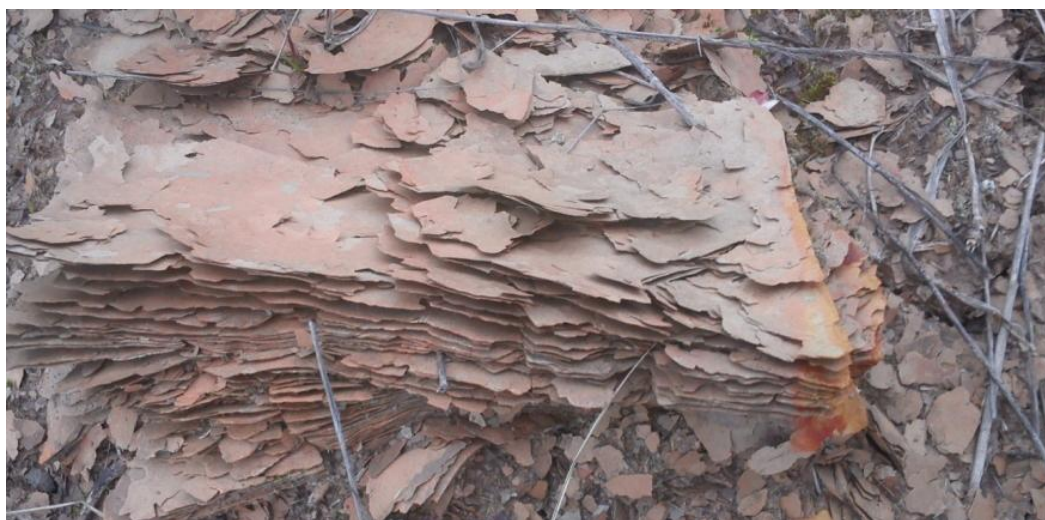
### 4.2 Cyprisové jíly

Cyprisové jíly spadají do Cyprisového souvrství. Terciární vulkanicko-sedimentární výplň pánve je rozdělena do čtyř souvrství. Jedná se o Starosedelské souvrství, Novosedelské souvrství, Sokolovské souvrství a Cyprisové souvrství. Cyprisové souvrství bylo vytvořeno ve spodním miocénu, což odpovídá době před

21 – 17 milionů let. Na stáří spodního miocénu poukazuje nálezy otisků listů dubu druhu *Quercus rhenana* a dalších prvků známých z podkrušnohorských pánví. Cyprisové souvrství s lokálně vyvinutým členem čapkovských písků je charakteristické postupným vyhasínáním dynamiky endogenních procesů (Rojík, 2004). Na Sokolovsku převládají jíly cyprisového souvrství, které díky historické interakci a působením okolních faktorů mají složení, které patří mezi příznivé výsypkové substráty z hlediska půdotvorného vývoje (Cejpek et al., 2011).

Cyprisové souvrství dosahuje v centrální části pánve mocnosti 182 m. Je tvořeno lakustrinními modrošedými, výše hnědošedými bitumenními jíly. Nalezneme zde však také cyprisové břidlice, které obsahují nálezy zbytků rybí fauny, planktonu nebo rostlin a zbytky pyritu a pyrotinu. Čankovské písky dosahují mocnosti až 30 m a jsou složeny z písků, pískovců a slepenců. Souvrství obsahuje 28 korelačních horizontů a obzorů, které reprezentují události vulkanického, klimatického nebo anoxického původu (Horváth, 2012). Pro sokolovské výsypky jsou charakteristické cyprisové jíly (Obrázek 2) tzv. cyprisové série nazvané podle přítomnosti fosilií koryšce *Cypris augusta* (Řehounek et al., 2010).

Obrázek 2: Cyprisové jíly – Velká podkrušnohorská výsypka



### 4.3 Rekultivace postižené krajiny

Povrchová těžba nerostných surovin je provázána negativními vlivy na životní prostředí. Těžbou uhlí je deformována krajina, zpracovatelská část zatěžuje životní prostředí emisemi znečišťujících látek vypouštěných do ovzduší a do vody, odkud se následovně dostávají až do půdy (Frouz et al., 2007). Povrchová těžba uhlí dosahuje většinou takové intenzity, kdy nejsou v dané lokalitě žijící druhy schopny adaptace (Forman and Godron, 1993).

Výsypky jsou tvořeny holým substrátem, který neobsahuje žádnou organickou hmotu, půdní organismy a vegetaci. Substrát je tvořený pouze zbytky fosilních kousků uhlí (Sklenička, 2003). Hlavním problémem výsypek je extrémní zrnitostní složení a další nepříznivé fyzikální vlastnosti, nedostatek organické hmoty a toxicita substrátu (Bradshaw, 1997). Za další problém, který se vyskytuje na výsypkách, se považuje utužení půd. Dochází k němu v důsledku rozrušení půdní struktury a pojezdem těžké techniky. Utužení půdy je řazeno mezi významné problémy, neboť významně omezuje obnovu lesů (Burger et al., 2005). Vývoj půd je velmi komplexní proces, který může být charakterizovaný vývojem půdních horizontů a změnami fyzikálních a chemických vlastností půdy (Šourková et al., 2005). Půdní vlastnosti na výsypce ovlivňuje také vývoj svrchních humusových horizontů a akumulace půdní organické hmoty. Jedná se o zadržování vody a živin v půdě (Lavelle et al., 1997).

V postižených oblastech je tedy důležitá obnova ekologické funkce krajiny (Häge et al., 1996), proto se po povrchové těžbě provádějí rekultivace. Rozeznáváme čtyři druhy rekultivací – lesnická, zemědělská, vodohospodářská a ostatní rekultivace. Na území Velké podkrušnohorské výsypky se prováděly rekultivace zemědělské, lesnické a vodohospodářské. Zemědělská rekultivace se provádí buď s použitím ornice sejmuté při záborech půdy, nebo bez ornice rovnou na cyprisových jílech, ze kterých je výsypka tvořena. Biologický cyklus zahrnuje organické i anorganické hnojení, setí obilovin či jetelotravních směsí.

Vodohospodářská rekultivace spočívá v zakládání rybníků, přehrad, mokřadů a dalších vodních ploch, které by měly být součástí protipovodňové ochrany území (Frouz et al., 2007).

Lesnická rekultivace sestává z technické a z biotechnické fáze. Technická fáze zahrnuje terénní úpravy, odstranění překážek, odvodnění a úpravu vodních toků

a ploch. Biotechnická fáze zahrnuje samotné zalesnění, výsadbu lesních pásů, větrolamů, umístění porostů a výsadbu do jamek či brázd. Lesnická rekultivace zahrnuje 3 etapy – diagnostika příčin, odstranění příčin devastace a výsadba dřevin. Diagnostika příčin zahrnuje vytipování ploch vhodných pro zalesnění, odstranění příčin devastace zahrnuje upravení ploch k výsadbě a urovnání povrchu. Výsadba dřevin zahrnuje samotnou výsadbu dřevin (Vráblíková et al., 2008). Zalesnění sestává z pěti etap: výsadba, ožínání, okopání, vylepšování sazenic a ochrana sazenic proti okusu zvěří. Po zapojení porostu by mělo dojít k prořezávce. Určujícím faktorem lesnické rekultivace jsou pedologické vlastnosti a mikroklimatické podmínky daných stanovišť. Limitujícím faktorem je textura a struktura antropogenního substrátu (Kubát, 2010). Rozhodujícím faktorem jsou také ekologické požadavky vysazovaných dřevin (Dimitrovský and Kupka, 2006).

Po lesnické rekultivaci, po zapojení lesních porostů, dochází k oživení původního mrtvého substrátu organickou hmotou a k přísunu živin do ekosystému. V půdě tak dochází k rozvoji půdních organismů a tím k vytvoření vrstvy humusu. Činností půdních organismů dochází k promíchání půdní organické hmoty s minerálními částicemi půdy, čímž dojde ke změnám ve fyzikálních vlastnostech půdy - objemové hmotnosti a zrnitosti (Rusek, 2000).

Z dřevin se v zájmovém území Velké podkrušnohorské výsypky vysazovala zejména olše lepkavá (*Alnus glutinosa*) a borovice lesní (*Pinus sylvestris*). Mezi další vysazované jehličnaté dřeviny patří borovice vejmutovka (*Pinus strobus*), smrk ztepilý (*Picea abies*), jedle obrovská (*Abies grandis*) a modřín opadavý (*Larix decidua*). Mezi další vysazované listnaté dřeviny patří lípa srdčitá (*Tilia cordata*), bříza bělokorá (*Betula pendula*) nebo dub zimní (*Quercus petraea*).

## 5 Metodika

### 5.1 Odběry vzorků pro základní pedologický rozbor

Základním krokem pro samotný odběr vzorků byl výběr reprezentativních území. Výběr reprezentativních území byl provedený tak, aby se jednalo o oblasti se shodnými klimatickými, geologickými a pedologickými charakteristikami. Odběry vzorků byly provedeny ve východní části výsypky, kde již proběhla biologická rekultivace a v současné době je předávána k hospodářskému využití.

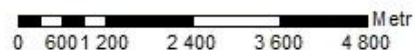
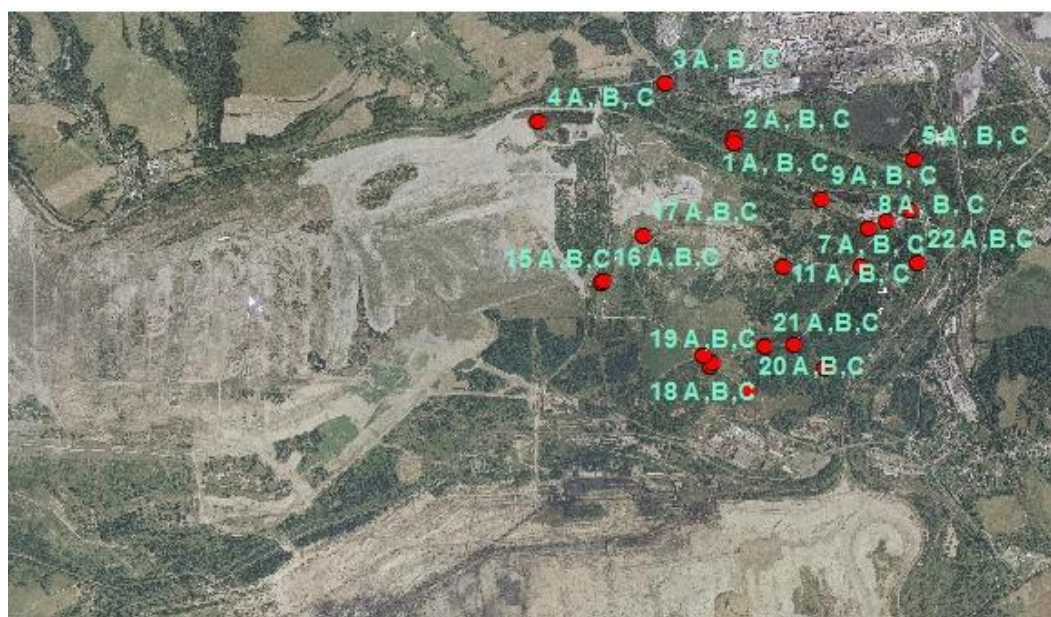
Odběr půdních vzorků byl provedený v roce 2009. Na každém odběrovém místě byla odstraněna nadložní opadová vrstva. Odběry vzorků půdy byly provedeny pomocí vrtací sondovací tyče do hloubky 0,1 m (porušený půdní vzorek), celkem bylo odebráno 22 vzorků (Tabulka 3). V každém odběrovém místě byly odběry provedeny 3x (Mapa 2). U odběrových míst byly určeny přesné souřadnice pomocí GPS.

Tabulka 3: Odběry porušených půdních vzorků

<b>Lokalita:</b>	<b>Porost:</b>
<b>1 A, B, C</b>	Lípa srdčitá s podrostem
<b>2 A, B, C</b>	Olše lepkavá s podrostem
<b>3 A, B, C</b>	Borovice vejmutovka
<b>4 A, B, C</b>	Modřín opadavý s podrostem
<b>5 A, B, C</b>	Bříza bělokorá s podrostem
<b>6 A, B, C</b>	Olše lepkavá
<b>7 A, B, C</b>	Borovice vejmutovka s podrostem
<b>8 A, B, C</b>	Olše lepkavá s podrostem
<b>9 A, B, C</b>	Borovice lesní
<b>10 A, B, C</b>	Borovice lesní
<b>11 A, B, C</b>	Olše lepkavá
<b>12 A, B, C</b>	Olše lepkavá s podrostem
<b>13 A, B, C</b>	Borovice lesní

<b>14 A, B, C</b>	Modřín opadavý
<b>15 A, B, C</b>	Modřín opadavý
<b>16 A, B, C</b>	Borovice lesní
<b>17 A, B, C</b>	Smrk ztepilý
<b>18 A, B, C</b>	Borovice lesní
<b>19 A, B, C</b>	Smrk ztepilý
<b>20 A, B, C</b>	Jedle obrovská
<b>21 A, B, C</b>	Smrk ztepilý
<b>22 A, B, C</b>	Smíšené listnaté porosty (bříza bělokorá, dub zimní, olše lepkavá)

Mapa 2: Odběrová místa porušených půdních vzorků – Velká podkrušnohorská výsypka





### 5.1.1 Základní zpracování vzorků půdy

Půdní vzorky byly vysušeny v laboratoři. Sušení proběhlo na vzduchu bez přímého účinku slunečních paprsků (AD frakce). Během sušení byly odstraněny větší částice skeletu, rostlinné i živočišné zbytky. Po vysušení došlo k homogenizaci půdních vzorků, při které došlo k oddělení částic skeletu, které byly větší než 2 mm. Homogenizované půdní vzorky byly vysušeny v sušárně při teplotě 105°C do konstantní hmotnosti (OD frakce). Po zpracování půdních vzorků byly analyzovány základní pedologické veličiny: objemová hmotnost a zrnitost (před homogenizací vzorku), obsah půdního organického uhlíku a vodorozpustná frakce půdního vzorku. Základní pedologické hodnoty (mimo půdní uhlík) byly stanoveny v laboratoři VÚMOP. Pro vodní výluhy byla používána AD frakce, stanovený obsah látek byl přepočítaný na obsah látek v sušině.

### **5.2 Stanovení organického uhlíku (stabilní frakce)**

Ve zpracovaných vzorcích byly měřeny hodnoty celkového uhlíku (TC) a anorganického uhlíku (IC). Hodnoty byly stanoveny pomocí přístroje FORMACS<sup>HT</sup> TOC/TN ANALYZER; fa Skalar – CARBON Instruments s.r.o. (Obrázek 3). Organický uhlík (TOC) je počítaný z rozdílů TC a IC měřených při nízké a vysoké teplotě. TOC v pevném vzorku představuje hodnotu půdního organického uhlíku SOC (soil organic carbon).

Obrázek 3: Příklad přístroje FORMACS<sup>HT</sup> TOC/TN ANALYZER; fa Skalar – CARBON Instruments s.r.o.



Převzato z: <http://www.skalar.com>

#### 5.2.1 Stanovení množství celkového uhlíku

Vzorek je nastříknutý pomocí integrovaného dávkovače do vysokoteplotního reaktoru. V reaktoru je při 950°C (kobaltový katalyzátor) veškerý organický a anorganický uhlík oxidovaný na plynný CO<sub>2</sub>. Katalyzátor zabezpečuje úplnou oxidaci. Proud vzduchu nese tyto produkty do detektorů, do infračerveného detektoru, kde je stanoven CO<sub>2</sub>.

#### 5.2.2 Stanovení množství anorganického uhlíku

Druhý nástřik vzorku se provede do nízkoteplotního kapalinového reaktoru, v kyselém prostředí (2% kyselina fosforečná), při laboratorní teplotě je veškerý anorganický uhlík převedený na CO<sub>2</sub>. Proud vzduchu transportuje oxid uhličitý do detektoru pro měření.

### 5.2.3 Použité chemikálie

Hydrogenftalan draselný  $C_8H_5KO_4$  , zásobní roztok **TC** 1000 mg C/l (1 ml = 1 mg C) - 2,125 g  $C_8H_5KO_4$  se rozpustí v 1 l destilované vody

Uhličitan sodný  $Na_2CO_3$  , hydrogenuhličitan sodný  $NaHCO_3$ , zásobní roztok **IC** 1000 mg/l (1 ml = 1 mg C) - 4,415 g  $Na_2CO_3$  + 3,5 g  $NaHCO_3$  do 1 l destilované vody

Pracovní roztok TC – 100 mg C/l - 10 ml základního roztoku TC; doplnit do 100 ml destilovanou vodou.

Pracovní roztok IC – 100 mg C/l - 10 ml základního roztoku IC; doplnit do 100 ml destilovanou vodou.

Pracovní roztok TN – 100 mg N/l - 5 ml základního roztoku TNA + 5 ml základního roztoku TNB; doplnit do 100 ml destilovanou vodou.

### 5.2.4 Pracovní postup a kalibrace

Před vlastním stanovením se provozuschopnost přístroje ověřuje slepým stanovením a stanovením se standardním roztokem. Do přístroje se podle pokynů výrobce dávkuje stejné objemy vzorků a standardních roztoků, každé stanovení se opakuje nejméně třikrát. Z těchto hodnot se vypočítá průměr, k výpočtu koncentrace uhlíku ve vzorku se použije kalibrační křivka.

K přípravě kalibračních roztoků se používají pracovní roztoky (viz. Chemikálie) dávkované podle očekávaného koncentračního rozsahu uhlíku a dusíku ve vzorku. Kalibrační roztoky se připravují tentýž den.

## **5.3 Stanovení organického uhlíku ve vodním výluhu (labilní frakce)**

K určení labilní frakce půdní organické hmoty byla zvolena metoda WSOC (= water soluble organic carbon). Vzorek půdy (~2,5 g AD frakce) byl navážený do 100 ml PE lahvíček, do kterých bylo následně přidáno 50 ml destilované vody. Poté se lahvíčky uzavřely a jejich obsah byl po dobu 24 hodin protřepávaný. Následně

byly vzorky odstředěny na odstředivce při 2500 otáčkách/min. po dobu 10 min. Odstředěné vzorky byly přefiltrovány přes skleněné filtry Whatman GF/C, velikost pórů 1,2  $\mu\text{m}$ .

Obsah celkového uhlíku a anorganického uhlíku byl stanovený pomocí přístroje FORMACS<sup>HT</sup> TOC/TN ANALYZER; fa Skalar – CARBON Instruments s.r.o. Organický uhlík je počítaný z rozdílů výsledků měření při nízké a vysoké teplotě:  $\text{TOC} = \text{TC} - \text{IC}$ . Hodnota TOC ve vodním výluhu představuje výslednou hodnotu WSOC.

#### 5.4 Statistické zpracování dat

Výsledky byly zpracovány v programu Statistica CZ 10. Pro každé odběrové místo byly stanoveny hodnoty základní statistiky - průměr a směrodatná odchylka. Výsledky byly zpracovány vícerozměrnou analýzou rozptylu (Anova). Byly testovány hodnoty dat všech vzorků (A, B, C) z každého odběrového místa, všech kategorií využití území (listnaté a jehličnaté porosty) a jednotlivých pěstovaných druhů listnatých a jehličnatých porostů. Analýzy rozptylu byly testovány pomocí Tukeyho post-hoc testu na hladině pravděpodobnosti  $p \leq 0,05$ . Vzájemný vztah SOC a WSOC byl znázorněn pomocí lineární korelace.

#### 5.5 Výpočet zásoby organického uhlíku v půdě

Výpočet celkové zásoby půdního uhlíku byl provedený dle vzorce (Meersmans et al., 2011):

$$C_{\text{pool}} = \rho \frac{\text{SOC}}{1000} h \left( 1 - \frac{G}{100} \right)$$

$C_{\text{pool}}$  = zásoba organického uhlíku v půdě přepočítaná na jednotku plochy [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ]

$\rho$  = objemová hmotnost půdy [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

SOC = koncentrace organického uhlíku [ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]

$h$  = hloubka půdy (0,1 m)

$G$  = obsah hrubozrnných částic (%)

## **5.6 Tvorba speciální tématické mapy uhlíkových zásob**

Pro vytvoření tématické mapy zásoby půdního uhlíku se vycházelo z GIS vrstvy land cover pro modelové území. Vrstva land cover pro modelové území byla získána od Laboratoře aplikované ekologie. Vrstva land cover zohledňuje porostní a věkové složení zejména lesních porostů. Jednotlivým kategoriím land cover byly přiřazeny hodnoty Cpool dle odpovídajících odběrových míst. Jednotlivým kategoriím land cover, které jsou seřazeny podle věkového gradientu, odpovídá příslušný interval půdní zásoby. Hraniční hodnoty tvořící interval zařazení do kategorií land cover byly vytvořeny na základě hodnot Cpool ze vzorků odebraných v roce 2008 (Kobesová, 2011) a ze vzorků odebraných v roce 2009. Na základě rozdělení Cpool dle tříd gradientu byla vytvořena tématická mapa zásoby půdního uhlíku.

## 6 Výsledky

### 6.1 Výsledky měření stabilní frakce

V Tabulce 4 nalezneme hodnoty celkového uhlíku TC, anorganického uhlíku IC a organického uhlíku TOC (= SOC). Z tabulky vyplývá, že nejméně SOC bylo naměřeno v lokalitě 9 s porostem borovice lesní a v lokalitě 20 s porostem jedle obrovské. Nejvíce SOC bylo naměřeno v lokalitě 4 s porostem modřínu opadavého s podrostem a v lokalitě 6 s porostem olše lepkavé. Průměrná hodnota SOC v listnatých porostech je 6,1%, nejbližší této hodnotě je lokalita 8 (olše lepkavá s podrostem) s hodnotou SOC 6,29%. Průměrná hodnota SOC v jehličnatých porostech je 5,54%, nejbližší se této hodnotě přibližuje lokalita 18 (borovice lesní) s hodnotou SOC 5,67%.

Tabulka 4: Hodnoty TC, IC a SOC v pevném vzorku

V tabulce jsou rozlišeny listnaté porosty (zelená barva) a jehličnaté porosty (žlutá barva). Zvýrazněné hodnoty značí minimální a maximální naměřené hodnoty.

Odběr:	Porost:	TC [%]	IC [%]	SOC [%]
1	Lípa srdčitá s podrostem	7,29±3,24	0,12±0,15	7,17±3,39
2	Olše lepkavá s podrostem	7,72±3,31	0,07±0,07	7,65±3,38
3	Borovice vejmutovka	7,24±3,34	0,00	7,24±3,34
<b>4</b>	<b>Modřín opadavý s podrostem</b>	<b>8,85±2,68</b>	<b>0,38±0,55</b>	<b>8,47±2,19</b>
5	Bříza bělokora s podrostem	5,87±0,25	0,00	5,87±0,25
<b>6</b>	<b>Olše lepkavá</b>	<b>8,23±1,44</b>	<b>0,00</b>	<b>8,23±1,44</b>
7	Borovice vejmutovka s podrostem	6,78±1,06	0,38±0,19	6,4±1,23
8	Olše lepkavá s podrostem	6,44±0,73	0,4±0,13	6,29±0,96
<b>9</b>	<b>Borovice lesní</b>	<b>3,28±2,86</b>	<b>1,98±2,82</b>	<b>3,04±2,65</b>
10	Borovice lesní	3,94±0,16	0,46±0,05	3,48±0,17
11	Olše lepkavá	4,34±0,14	0,87±0,06	3,47±0,08
12	Olše lepkavá s podrostem	7,05±0,88	0,43±0,09	6,61±0,95
13	Borovice lesní	7,25±0,33	0,36±0,09	6,88±0,41
14	Modřín opadavý	4,68±1,00	0,49±0,07	4,19±1,03
15	Modřín opadavý	6,11±1,02	0,37±0,08	5,73±0,94
16	Borovice lesní	5,68±0,14	0,57±0,05	5,11±0,13
17	Smrk ztepilý	5,82±0,27	0,73±0,06	5,1±0,29
18	Borovice lesní	6,04±0,60	0,37±0,04	5,67±0,57
19	Smrk ztepilý	5,75±0,41	0,66±0,16	5,33±0,18

20	Jedle obrovská	3,31±1,51	0,13±0,23	3,18±1,41
21	Smrk ztepilý	7,92±0,80	0,25±0,05	7,67±0,81
22	Smíšené listnaté porosty	3,48±1,36	0,00	3,48±1,36

## 6.2 Výsledky měření labilní frakce

V Tabulce 5 nalezneme hodnoty celkového uhlíku TC, anorganického uhlíku IC a organického uhlíku TOC (= WSOC). Největší množství WSOC bylo naměřeno v lokalitě 5 s porostem břízy bělokoré s podrostem a v lokalitě 6 s porostem olše lepkavé, nejnižší množství bylo naměřeno v lokalitě 19 s porostem smrku ztepilého a v lokalitě 11 s porostem olše lepkavé. Průměrná hodnota WSOC v listnatých porostech je 46,24 mg.l<sup>-1</sup>, nejbližše této hodnotě je lokalita 1 (lípa srdčitá s podrostem) s hodnotou WSOC 47,01 mg.l<sup>-1</sup>. Průměrná hodnota WSOC v jehličnatých porostech je 33,32 mg.l<sup>-1</sup>, nejvíce se této hodnotě přibližuje lokalita 13 (borovice lesní) s hodnotou WSOC 33,72 mg.l<sup>-1</sup>.

Tabulka 5: Hodnoty TC, IC a WSOC ve vodním výluhu

V tabulce jsou rozlišeny listnaté porosty (zelená barva) a jehličnaté porosty (žlutá barva). Zvýrazněné hodnoty značí minimální a maximální naměřené hodnoty.

Odběr:	Porost:	TC [mg.l <sup>-1</sup> ]	IC [mg.l <sup>-1</sup> ]	WSOC [mg.l <sup>-1</sup> ]
1	Lípa srdčitá s podrostem	59,4±15,97	12,39±3,51	47,01±17,12
2	Olše lepkavá s podrostem	64,56±10,44	12,22±6,27	52,34±16,53
3	Borovice vejmutovka	47,99±5,81	0,15±0,20	47,84±6,01
4	Modřín opadavý s podrostem	64,51±19,67	10,21±4,67	54,3±22,28
5	<b>Bříza bělokorá s podrostem</b>	<b>56,02±3,01</b>	<b>0,19±0,12</b>	<b>55,83±3,03</b>
6	<b>Olše lepkavá</b>	<b>82,42±8,64</b>	<b>2,17±0,66</b>	<b>80,26±8,46</b>
7	Borovice vejmutovka s podrostem	52,88±7,54	15,52±7,13	37,35±14,66
8	Olše lepkavá s podrostem	61,96±5,57	14,68±5,71	47,27±8,51
9	Borovice lesní	57,28±1,54	21,48±1,78	35,81±2,40
10	Borovice lesní	41,5±6,62	16,74±1,32	24,76±5,40
11	<b>Olše lepkavá</b>	<b>40,11±1,45</b>	<b>17,16±1,69</b>	<b>22,95±1,56</b>
12	Olše lepkavá s podrostem	56,99±4,14	20,99±0,76	36±3,39
13	Borovice lesní	48,09±7,10	14,38±5,23	33,72±2,08
14	Modřín opadavý	42,39±14,79	17,62±4,87	24,78±9,98
15	Modřín opadavý	42,85±5,82	15,41±0,92	27,44±6,62
16	Borovice lesní	41,42±2,10	14,01±2,02	27,41±0,59
17	Smrk ztepilý	37,02±3,61	12,21±0,81	24,81±3,47

18	Borovice lesní	38,83±6,20	9,26±1,12	29,58±5,11
<b>19</b>	<b>Smrk ztepilý</b>	<b>29,66±7,88</b>	<b>8±3,67</b>	<b>21,66±5,50</b>
20	Jedle obrovská	34,75±11,37	5,29±8,53	29,46±9,32
21	Smrk ztepilý	54,71±8,32	7,21±1,45	47,5±8,79
22	Smíšené listnaté porosty	28,23±14,85	0,00	28,23±14,85

### 6.3 Korelace WSOC a SOC

V Tabulce 6 nalezneme hodnoty půdního organického uhlíku v pevném vzorku (SOC) a hodnoty půdního organického uhlíku ve vodním výluhu (WSOC) přepočtené na jednotky  $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . Poslední sloupec tabulky znázorňuje podíl WSOC z SOC. Bylo zjištěno, že největší podíl se nachází v lokalitě 20 s porostem jedle obrovské a v lokalitě 6 s porostem olše lepkavé. Nejmenší podíl se nachází v lokalitě 19 s porostem smrku ztepilého a v lokalitě 15 s porostem modřínu opadavého.

Tabulka 6: Hodnoty SOC, WSOC a podíl WSOC z SOC

V tabulce jsou rozlišeny listnaté porosty (zelená barva) a jehličnaté porosty (žlutá barva). Zvýrazněné hodnoty značí minimální a maximální naměřené hodnoty.

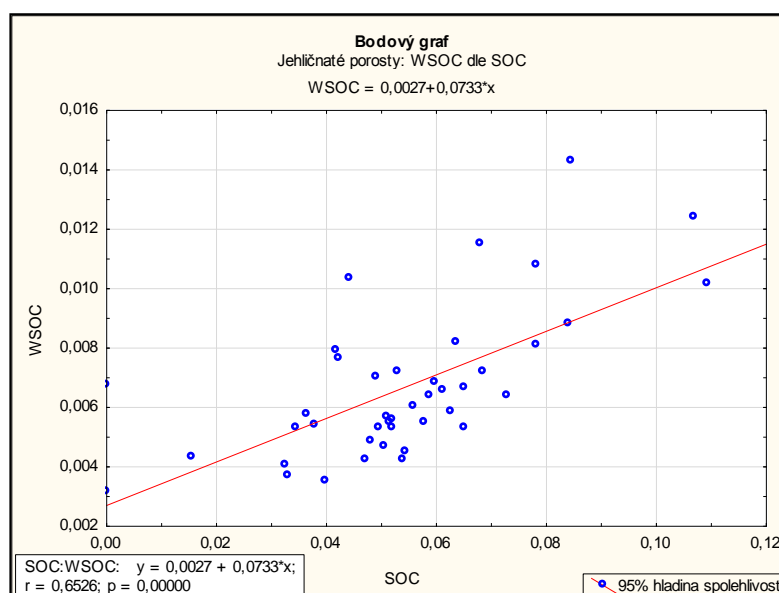
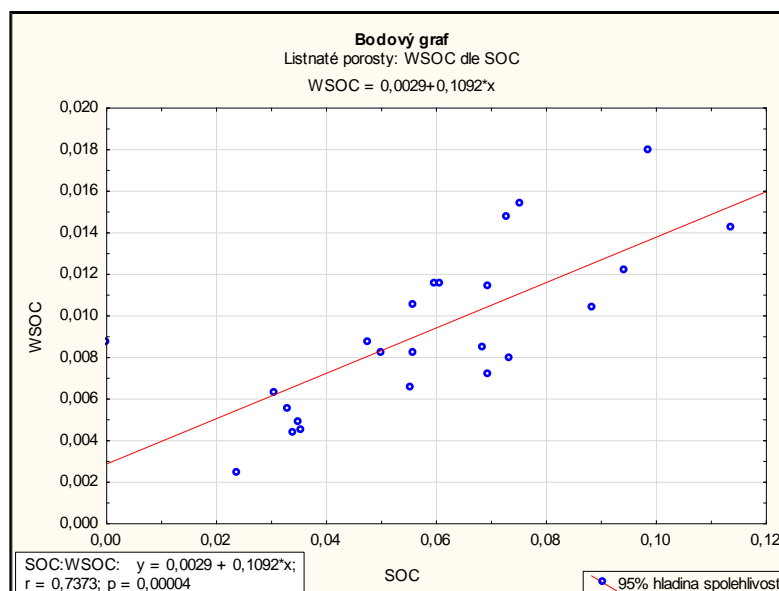
Lokalita:	SOC [g/g]	WSOC [g/g]	Podíl WSOC z SOC [%]
1	0,072±0,034	0,009±0,003	13,929±2,734
2	0,077±0,034	0,010±0,003	14,388±3,348
3	0,072±0,033	0,010±0,001	15,193±7,342
4	0,085±0,022	0,011±0,004	12,626±3,943
5	0,059±0,002	0,011±0,001	19,017±0,275
<b>6</b>	<b>0,082±0,014</b>	<b>0,016±0,002</b>	<b>19,658±1,270</b>
7	0,064±0,012	0,007±0,003	11,412±2,232
8	0,042±0,037	0,009±0,002	15,524±1,177
9	0,030±0,027	0,007±0,000	16,277±2,705
10	0,035±0,002	0,005±0,001	14,175±2,528
11	0,035±0,001	0,005±0,000	13,212±0,766
12	0,066±0,009	0,007±0,001	10,951±0,779
13	0,069±0,004	0,007±0,000	9,829±0,966
14	0,042±0,010	0,005±0,002	11,663±2,461
<b>15</b>	<b>0,057±0,009</b>	<b>0,005±0,001</b>	<b>9,582±1,754</b>
16	0,051±0,001	0,005±0,000	10,729±0,063
17	0,051±0,003	0,005±0,001	9,779±1,649
18	0,057±0,006	0,006±0,001	10,379±0,828



19	0,036±0,031	0,004±0,001	9,259±1,413
20	0,032±0,014	0,006±0,002	20,272±6,741
21	0,077±0,008	0,010±0,002	12,636±3,713
22	0,035±0,014	0,006±0,003	15,730±5,384

Obrázek 4 znázorňuje vzájemné korelace mezi SOC [g.g<sup>-1</sup>] a WSOC [g.g<sup>-1</sup>] v listnatých a jehličnatých porostech. Je zřejmé, že se zvyšujícím se množstvím SOC dochází k zvyšujícímu se množství WSOC. Vzájemná závislost je větší v listnatých porostech.

Obrázek 4: Vzájemná korelace SOC a WSOC v jehličnatých a listnatých porostech



## 6.4 Výsledky zásoby půdního uhlíku

V Tabulce 7 jsou znázorněny hodnoty základních pedologických analýz z jednotlivých lokalit. Jedná se o organický uhlík (SOC v  $\text{g.kg}^{-1}$ ), zrnitostní frakci (0,25 – 2,1) a objemovou hmotnost (OHR). V posledním sloupci nalezneme zásobu uhlíku (Cpool). Zásoba uhlíku se v listnatých porostech pohybuje od  $0,24 \text{ kg.m}^{-2}$  (lokalita 11 – olše lepkavá) do  $3,53 \text{ kg.m}^{-2}$  (lokalita 1 – lípa srdčitá s podrostem). V jehličnatých porostech byla nejnižší hodnota Cpool  $0,71 \text{ kg.m}^{-2}$  (lokalita 9 – borovice lesní), nejvyšší hodnota  $3,28 \text{ kg.m}^{-2}$  (lokalita 4 – modřín opadavý s podrostem). Průměrná hodnota Cpool je v listnatých porostech  $2,12 \text{ kg.m}^{-2}$ , nejvíce této hodnotě odpovídá lokalita 8 (olše lepkavá s podrostem) s hodnotou Cpool  $2,22 \text{ kg.m}^{-2}$ . Průměrná hodnota Cpool v jehličnatých porostech je  $0,78 \text{ kg.m}^{-2}$ , nejbližší této hodnotě je lokalita 9 (borovice lesní) s hodnotou Cpool  $0,71 \text{ kg.m}^{-2}$ .

Tabulka 7: Hodnoty základních pedologických analýz z daných lokalit a zásoba uhlíku

V tabulce jsou rozlišeny listnaté porosty (zelená barva) a jehličnaté porosty (žlutá barva), zvýrazněné hodnoty značí kritické hodnoty.

Lokalita:	SOC [ $\text{g.kg}^{-1}$ ]	Zrnitost 0,25 – 2,1 [%]	OHR [ $\text{g.cm}^{-3}$ ]	Cpool [ $\text{kg.m}^{-2}$ ]
1	<b>0,0072±0,0034</b>	<b>15,71±8,18</b>	<b>0,98±0,15</b>	<b>3,53</b>
2	0,0077±0,0034	16,87±8,17	0,96±0,15	3,26
3	0,0072±0,0033	15,86±8,06	0,98±0,15	3,02
4	<b>0,0085±0,0022</b>	<b>18,84±5,29</b>	<b>0,93±0,10</b>	<b>3,28</b>
5	0,0059±0,0002	12,56±0,59	1,04±0,01	1,52
6	0,0082±0,0014	18,26±3,47	0,94±0,07	3,01
7	0,0064±0,0012	13,83±2,97	1,02±0,06	1,83
8	0,0042±0,0037	13,58±2,32	1,12±0,17	2,22
9	<b>0,0030±0,0027</b>	<b>9,39±1,13</b>	<b>1,1±0,02</b>	<b>0,71</b>
10	0,0035±0,0002	6,78±0,41	1,15±0,01	0
11	<b>0,0035±0,0001</b>	<b>6,77±0,20</b>	<b>1,15±0,00</b>	<b>0,24</b>
12	0,0066±0,0009	14,36±2,29	1,01±0,04	2,43
13	0,0069±0,0004	15,01±0,98	0,99±0,02	2,58
14	0,0042±0,0010	8,5±2,48	1,12±0,05	0,92
15	0,0057±0,0009	12,23±2,28	1,05±0,04	1,72
16	0,0051±0,0001	10,72±0,33	1,079±0,01	1,42
17	0,0051±0,0003	10,69±0,70	1,08±0,01	1,56

18	0,0057±0,0006	12,08±1,37	1,05±0,03	1,69
19	0,0036±0,0031	11,26±0,44	1,15±0,14	1,6
20	0,0032±0,0014	6,06±3,41	1,17±0,06	0
21	0,0077±0,0008	16,9±1,96	0,96±0,04	2,95
22	0,0035±0,0014	6,78±3,28	1,15±0,06	0,78

V Tabulce 8 jsou znázorněny hodnoty základních pedologických analýz z roku 2008 (Kobesová, 2011). Jedná se o organický uhlík (SOC v g.kg<sup>-1</sup>), zrnitostní frakci (0,25 – 2,1) a objemovou hmotnost (OHR). V posledním sloupci nalezneme zásobu uhlíku (Cpool). Tato data jsou nezbytná k vytvoření tématické mapy.

Tabulka 8: Hodnoty základních pedologických analýz a zásoba uhlíku z roku 2008

V tabulce jsou rozlišeny listnaté porosty (zelená barva) a jehličnaté porosty (žlutá barva).

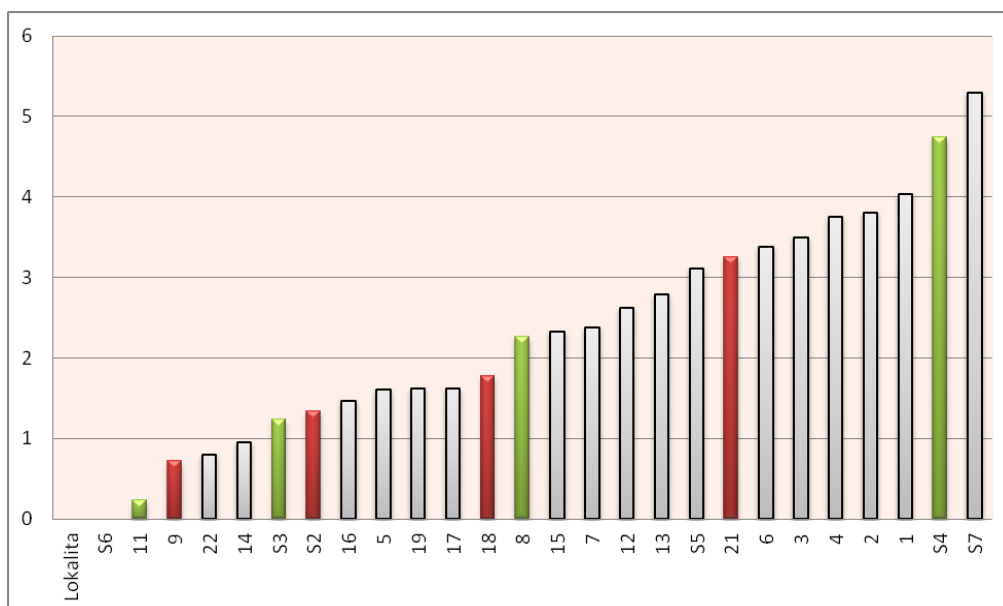
<b>Lokalita:</b>	<b>SOC</b> [g.kg <sup>-1</sup> ]	<b>Zrnitost</b> <b>0,25 - 2,1</b> [%]	<b>OHR</b> [g.cm <sup>-3</sup> ]	<b>Cpool</b> [kg.m <sup>-2</sup> ]
S2	0,0035±0,0010	6,07±2,03	1,14±0,09	1,34±1,13
S3	0,0033±0,0000	4,20±1,32	1,24±0,06	1,23±0,03
S4	0,0082±0,0027	20,77±6,15	1,02±0,03	4,75±2,17
S5	0,0067±0,0014	19,23±3,06	0,85±0,07	3,11±1,20
S6	0,0023±0,0003	1,63±0,21	1,24±0,05	0
S7	0,0113±0,0011	23,20±7,79	0,76±0,01	5,3±0,95

(Kobesová, 2011)

V Grafu 1 jsou znázorněny hodnoty Cpool v jednotlivých lokalitách. Lokalita S2 – S7 znázorňuje odběr neporušených půdních vzorků, kde bylo největší Cpool v lokalitě S7 (listnatý les - přírodní dědictví - věk > 30 roků) a nejnižší Cpool v lokalitě S6 (paseka - počáteční fáze sukcese). Nejvyšší množství Cpool bylo zjištěno v lokalitě 1 (lípa srdčitá s podrostem), nejnižší množství bylo zjištěno v lokalitě 11 (olše lepkavá).

Graf 1: Hodnoty Cpool v jednotlivých lokalitách

Zelená barva znázorňuje listnaté porosty, červená barva znázorňuje jehličnaté porosty.



## 6.5 Tématická mapa

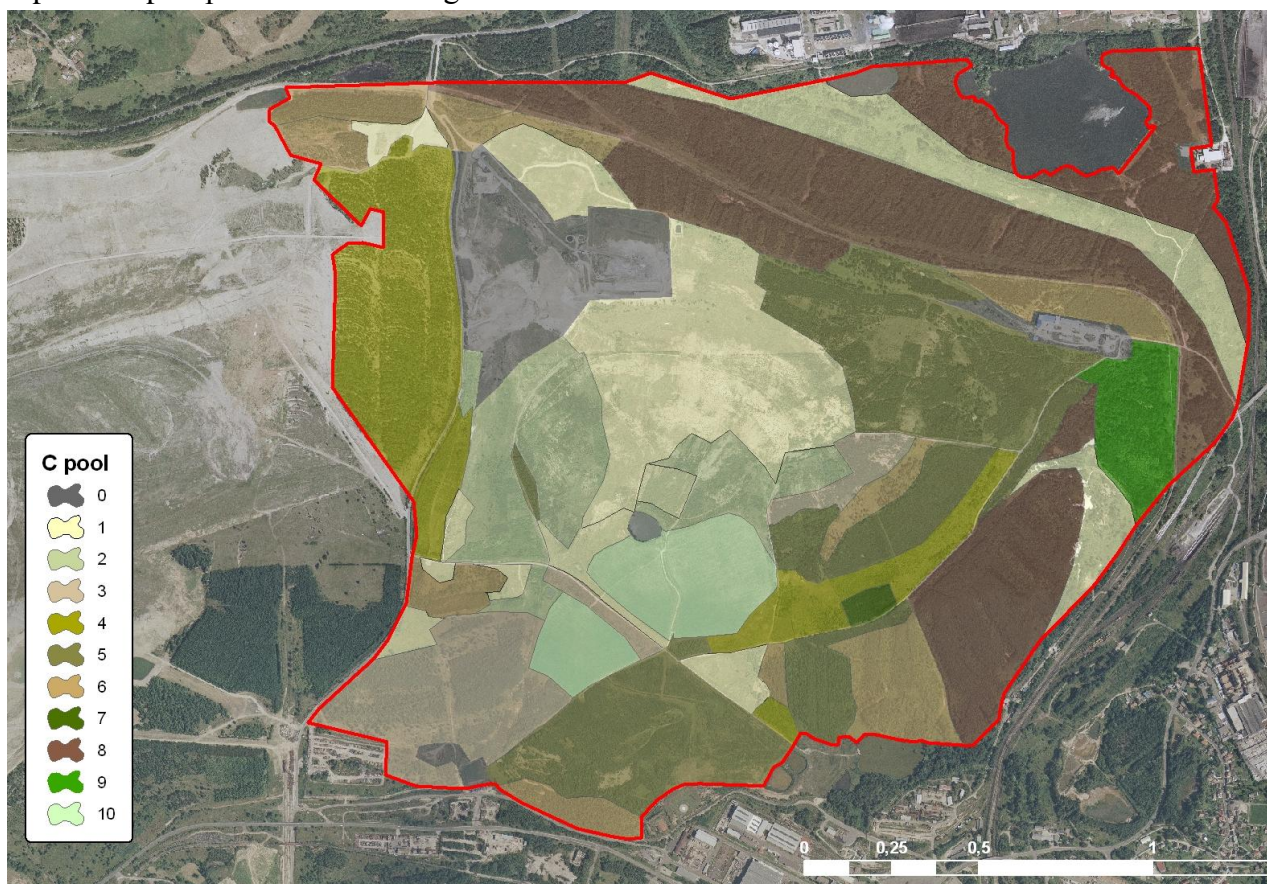
Tabulka 8 udává hraniční hodnoty Cpool vztahované ke kategorii land cover s přiřazeným kódem. Kategorie land cover je stanovena podle úrovně obsahu uhlíku v půdě. Jedná se o nízké hodnoty v počátečních fázích sukcese, mladé porosty, staré porosty a tabulka je zakončena vysokými hodnotami obsahu uhlíku v místech spontánní sukcese.

Tabulka 8: Průměrné hodnoty Cpool vztahované ke kategorii pokryvu

Kód	Cpool [kg.m <sup>-2</sup> ]	Kategorie land cover
0	0	ostatní země (zastavěné plochy, pustiny)
1	0 - 0,24	degradované oblasti s třtinou rákosovitou
2	0,24 - 0,71	lesní porosty do 10 let - jehličnaté porosty
3	0,71 - 1,23	lesní porosty 10 - 20 let - listnaté porosty
4	1,23 - 1,34	lesní porosty 10 - 20 let - jehličnaté porosty
5	1,34 - 1,83	lesní porosty 20 - 30 let - jehličnaté porosty
6	1,83 - 2,43	lesní porosty 20 - 30 let - listnaté porosty
7	2,43 - 3,11	lesní porosty nad 30 let - jehličnaté porosty
8	3,11 - 4,75	lesní porosty nad 30 let - listnaté porosty
9	> 4,75	pokročilá sukcese
10	2,47	zemědělská rekultivace - louky

Mapa 3 znázorňuje mapu obsahu uhlíku v půdě, který byl převedený na kódy dle kategorií.

Mapa 3: Mapa Cpool dle kódů kategorií



Kód	Cpool [kg.m <sup>-2</sup> ]
0	0
1	0 - 0,24
2	0,24 - 0,71
3	0,71 - 1,23
4	1,23 - 1,34
5	1,34 - 1,83
6	1,83 - 2,43
7	2,43 - 3,11
8	3,11 - 4,75
9	> 4,75
10	2,47

## 7 Diskuse

Nadložní humus tvoří jednu ze složek lesního ekosystému, která zásadním způsobem ovlivňuje produktivitu lesního stanoviště. Nadložní humus představuje část půdního profilu, která je nejnáze ovlivnitelná a náchylná k porušení jeho stavu a dynamiky (Green et al., 1993). Kvalita humusu je zásadně ovlivňována druhovým složením a stavem lesního porostu (Podrázský, 2001).

Po lesnické rekultivaci došlo k oživení původního mrtvého substrátu, s rozvojem vegetace došlo k vytvoření vrstvy nadložního humusu a k akumulaci půdní organické hmoty v půdním profilu. Humusové formy poskytují životní prostředí pro půdní organismy, díky kterým dochází k promíchání půdní organické hmoty s minerálními částicemi a tedy ke změnám ve fyzikálních vlastnostech půdy. Půdní živočichové také ovlivňují biogeochemické cykly v půdě.

Z výsledků naměřených hodnot v pevném vzorku vyplývá obsah organického uhlíku v jednotlivých lokalitách. Se stářím půdy klesá obsah anorganického uhlíku a stoupá množství organického uhlíku. Zastoupení anorganického uhlíku svědčí o stále se ještě vyvíjejících půdách. Ve všech lokalitách převládá organický uhlík, nejvíce ho bylo naměřeno v lokalitě s porostem modřínu opadavého a v lokalitě s porostem olše lepkavé. Olše lepkavá je schopna vázat vzdušný dusík prostřednictvím kořenových hlízek, což pozitivně ovlivňuje rozklad organického materiálu bakteriemi, který probíhá rychleji (Kremer, 1995). Modřín opadavý se vyznačuje ektotrofní mykorhizou, tvoří jí hlavně ryzec modřínový. Houby infikují kořenové špičky a postranní kořeny, které se jejich vlivem silně rozvětvují. Kolem kořenů se postupně tvoří houbový plášť, hustá síť houbových vláken shromažďuje v půdě živiny, čerpá vodu a předává obojí stromu. Jedná se o jednoletou mykorhizu, která se obnovuje každý rok (Procházka et al., 1998).

Převažující množství organického uhlíku ve vodním výluhu znamená, že uhlík je snadno vyluhovatelný z půdního prostředí. WSOC představuje jen malou část celkového organického uhlíku v půdě (Metting, 1993), avšak i malé množství může značně ovlivňovat řadu fyzikálních, chemických a biologických půdních procesů (Marschner and Kalbitz, 2003). WSOC je nejdůležitějším zdrojem uhlíku pro půdní mikroorganismy (Schnabel et al., 2002). Největší hodnota byla naměřena v lokalitách s porostem břízy bělokoré a olše lepkavé. Labilní frakce organického uhlíku působí

pozitivně na půdní strukturu a vede ke zlepšení hydrologických vlastností (Campbell et al., 1999), organický uhlík je však náchylný k vyplavení.

Důležitým půdním faktorem je podíl WSOC z SOC, jedná se o kvalitativní hledisko půdy. Čím je podíl vyšší, tím jsou půdy vyvinutější, ale méně stabilní. Z výsledků vyplývá, že nejvyšší podíl byl zjištěn v lokalitě s porostem jedle obrovské a olše lepkavé, nejnižší podíl byl naopak zjištěn v lokalitě s modřínem opadavým a smrkem ztepilým. WSOC představuje jen malou část z celkového množství půdní organické hmoty, tato hodnota se pohybuje okolo 1% (Jiang and Xu, 2006). Hodnoty zjištěné ve sledovaném území jsou několikanásobně vyšší, což znamená, že půda v daných lokalitách je nestabilní a dochází stále k jejímu vývoji. Toto zjištění potvrzuje i vzájemná korelace SOC a WSOC. Ze vzájemné korelace vyplývá, že kvalitnější půdy se nachází u listnatých porostů, půda je však náchylnější k vyplavování organického uhlíku.

Objemová hmotnost se u lesních půd pohybuje od  $0,12 \text{ g.cm}^{-3}$  (půdy s minimální minerální příměsí – surový humus a hrabanka) do  $0,18 \text{ g.cm}^{-3}$  (půdy s vyšší příměsí minerálních složek s vyšší intenzitou rozkladu), (Sáňka and Materna, 2004). Nejvyšší objemová hmotnost byla naměřena v lokalitách s porostem jedle obrovské, smrku ztepilého a olše lepkavé. Nejnižší hodnoty byly naměřeny v lokalitách s porostem modřínu opadavého s podrostem a olše lepkavé. Vyšší objemová hmotnost se vyznačuje nižším obsahem organických látek a tvorbou agregátů (Šarapatka, 1996), při nižším obsahu dochází k vylehčování půd. Hrubo zrná frakce půdy (0,25 – 2,1) má značný význam pro část lesních půd. Příměs hrubších částic značně ovlivňuje jak půdotvorné procesy, tak i úrodnost půdy (Sáňka and Materna, 2004). Nejvyšší podíl hrubých částic byl zjištěn v lokalitách s porostem modřínu opadavého s podrostem a olše lepkavé, nejnižší podíl byl zjištěn v lokalitách s porostem jedle obrovské a olše lepkavé. Objemová hmotnost i zrnitost půdy na rekultivovaných plochách je ovlivněna stářím porostu. Hodnoty objemové hmotnosti a hrubo zrné frakce půdy byly využity zejména pro výpočet Cpool.

Zásoba Cpool vykazuje rozdíly v jehličnatých a listnatých porostech. Zásoba Cpool v listnatých porostech byla nejvyšší v lokalitě s porostem lípy srdčité, v jehličnatých porostech se jednalo o lokalitu s porostem modřínu opadavého. Je to ovlivněno převážně opadem. Opad je klíčovým parametrem v biogeochemickém koloběhu, propojuje jednotlivé části lesního ekosystému – stromy s půdou a vodou

v ekosystému. Rozklad opadu je nejdůležitějším procesem při určování toku živin a organické hmoty v ekosystému a jejich vstupu do půdy (<http://www.vulhm.cz>). Listnaté porosty každý rok opadávají, do půdy se tedy dostává větší množství organického materiálu, který je snadno rozložitelný půdními organismy na organickou hmotu. V listnatých porostech dochází díky tomuto jevu k rychlejšímu koloběhu látek, do půdy se dostává větší množství exsudátů. Jehličnaté porosty se vyznačují malým množstvím organického materiálu, neboť se jedná o neopadavé porosty, navíc jehlice jsou z velké části tvořeny těžko rozložitelným ligninem (Wedderburn & Carter, 1999). Koloběh uhlíku je velmi úzce vázaný právě na opad. Hodnoty Cpool jsou také ovlivněny stářím porostu, kdy listnaté porosty mají rychlejší počáteční růst než jehličnaté porosty.

Hodnota Cpool je kvantitativní hledisko, které odpovídá kvalitativnímu hledisku (podíl WSOC z SOC). Hodnoty Cpool lze tedy použít k hodnocení provedení rekultivace. Výsledné hodnoty obsahu uhlíku, které byly vypočtené pro různé kategorie land cover ukazují na rozdíly zejména v lesních porostech, kde se jednalo o rozdíly mezi mladými a starými porosty. Rozdíl byl zpozorovaný i mezi listnatými a jehličnatými porosty, mladé porosty vykazují vyšší hodnoty v jehličnatých porostech, avšak starší porosty vykazují vyšší hodnoty u listnatých porostů. Na základě zjištěných hodnot Cpool, které byly převedeny na kódy dle kategorií, byla vytvořena tématická mapa obsahu uhlíku. Tato mapa může sloužit jako rychlá orientace rekultivací na základě půdního organického uhlíku.



## 8 Závěr

Povrchová těžba uhlí deformuje krajinu, výsledkem je antropogenní krajina s mrtvým substrátem, chybějící vegetací a edafonem. Klíčovým prostředkem k obnově ekologicky stabilní krajiny je rekultivace. Po lesnické rekultivaci dochází k oživení původního mrtvého substrátu organickou hmotou, k vytvoření vrstvy humusu a k přísunu živin do ekosystému. Následně dochází k rozvoji edafonu a ke zlepšení mikroklimatických podmínek. Veškeré tyto faktory jsou však ovlivněny stářím porostu.

Stabilní frakce půdy udává hodnoty uhlíku v pevném vzorku. Organický uhlík převládá ve všech lokalitách, nejvíce ho však bylo naměřeno v olšovém a modřínovém porostu. Důvodem je pravděpodobně schopnost vázat vzdušný dusík olší lepkavou a ektotrofní mykorhiza modřínu opadavého s ryzcem modřínovým. Nezanedbatelné hodnoty byly zjištěny také u anorganického uhlíku, z čehož vyplývá, že se půdy v zájmovém území stále vyvíjí.

Labilní frakce půdy udává hodnoty uhlíku ve vodním výluhu. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny u organického uhlíku. Znamená to, že organický uhlík je z půdy snadno vyluhovatelný. Vyluhovatelný organický uhlík tvoří nejdůležitější zdroj uhlíku pro půdní mikroorganismy. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v lokalitách porostu břízy bělokoré a olše lepkavé. Můžeme předpokládat, že v těchto lokalitách se půdy vyvíjí lépe, neboť labilní frakce organického uhlíku značně ovlivňuje fyzikální, chemické i biologické procesy v půdě, působí pozitivně na půdní strukturu a zlepšuje hydrologické vlastnosti.

Podíl labilní frakce ze stabilní frakce je velice důležitým půdním faktorem. Nejvyšší podíl byl zjištěn v porostu jedle obrovské a olše lepkavé. Znamená to, že půdy jsou v těchto lokalitách vyvinutější, avšak méně stabilní. Toto tvrzení potvrzuje také vzájemná korelace labilní a stabilní frakce. Kvalitnější půdy se dle vzájemné korelace nacházejí u listnatých porostů, půda ale podléhá vyplavování organického uhlíku.

Objemová hmotnost je důležitým fyzikálním faktorem půdy. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v porostu jedle obrovské, smrku ztepilého a olše lepkavé. Organický uhlík přibývá se stářím porostu a dochází tak ke snižování hodnot objemové

hmotnosti a k vylehčování půd. Naměřené hodnoty tedy poukazují na nižší obsah organických látek v půdě.

Hrubozrná frakce půdy má značný význam u lesních porostů, neboť ovlivňuje půdotvorné procesy a tím i úrodnost půd. Nejvyšší podíl hrubých částic byl naměřený v porostech modřínu opadavého s podrostem a v porostu olše lepkavé. Znamená to, že v těchto lokalitách je nejlepší půdní úrodnost a půdy jsou v těchto lokalitách vyvinutější.

Zásoba půdního organického uhlíku je ovlivněna hlavně opadem. Rozklad opadu tvoří nejdůležitější proces při určování toku živin a organické hmoty v půdě. Zásoba půdního organického uhlíku vykazuje značné rozdíly mezi listnatými a jehličnatými porosty. Je to způsobeno tím, že listnaté porosty mají rychlejší počáteční růst, opadávají každý rok, a proto se do půdy dostává větší množství snadno rozložitelného organického materiálu a dochází tak k rychlejšímu koloběhu látek. Jehličnaté porosty se oproti tomu vyznačují malým množstvím těžce rozložitelného organického materiálu, neboť je z velké části tvořený ligninem. Nejvyšší zásoba půdního uhlíku v listnatých porostech byla naměřena v porostu lípy srdčité, v jehličnatých porostech byla naměřena v porostu modřínu opadavém.

Tématická mapa byla vytvořena na základě zjištěných hodnot zásoby půdního organického uhlíku, které byly převedeny na kódy dle kategorií land cover. Výsledné hodnoty ukazují na rozdíly v listnatých a jehličnatých porostech, kde byly zjištěné hodnoty vyšší u mladých jehličnatých porostů a u starších listnatých porostů. Rozdíly byly znatelné také mezi mladými a starými jehličnatými porosty. Tématická mapa zásoby půdního organického uhlíku dle kódů kategorií land cover může sloužit jako rychlá orientace rekultivací.

Podpora sequestrace půdního organického uhlíku po lesnické rekultivaci vyžaduje dlouhodobý vývoj porostu. V porovnání listnatých a jehličnatých porostů jsou listnaté porosty mnohem vhodnější pro lesnickou rekultivaci, neboť mají rychlejší počáteční růst, snadno rozložitelný opad a stabilnější formy humusu. Na základě zjištěných výsledků můžeme konstatovat, že listnaté porosty se vyznačují vyvinutějším půdním substrátem, který je však stále nestabilní.

## 9 Seznam použité literatury

- Amthor J. S.** (1995): Terrestrial higher-plant response to increasing atmospheric [CO<sub>2</sub>] in relation to the global carbon-cycle. *Global change biology*, 1 (4): 243 - 274.
- Avnimelech Y., Cohen A.** (1988): On the use of organic manures for amendment of compacted clay soil: effects of aerobic and anaerobic conditions. *Biological Wastes*, Volume 26, 29: 331-339.
- Baldock J. A., Nelson P. N.** (2000): Soil Organic Matter. In: **Summer M. E.:** Handbook of soil science. Soil Chemistry, Section B, CRC Press Book, 1 – 71.
- Batjes N. H.** (1996): Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European journal of soil science*, 47: 151-163.
- Bejšovec Z., Milič J.** (1994): Hydrologie jako limitující faktor těžební činnosti v Sokolovské pánvi – DŮ Zhodnocení vodního režimu v okolí vytypovaných zbytkových jam vlivem těžby po jejím ukončení. Dílčí výzkumná zpráva úkolu R – 2, Výzkumný ústav pro hnědé uhlí, a.s., Most, 32 s.
- Bradshaw A.** (1997): Restoration of mined lands-using natural processes. *Ecological Engineering*, 8: 255 – 269.
- Brady N. C. et al.** (2002): *The Nature and Properties of soils*. Pearson Education, New Jersey, 960 s.
- Bronick C. J., Lal R.** (2005): Soil structure and management: a review. *Geoderma*, Volume 124, 3 – 22.
- Burger J. et al.** (2005): The forestry reclamation approach. U. S. office of surface mining. Forest reclamation advisory number 2: 4.
- Campbell C. A. et al.** (1999): Seasonal trends in selected soil biochemical attributes: Effects of crop rotation in the semiarid prairie. *Canadian Journal of Soil Science*, 79: 73 – 84.
- Cejpek J., Kuráž V., Frouz J.** (2011): Vodní režim rekultivovaných a nerektivovaných výsypek. *Acta environmentalica universitatis comenianae* (Bratislava), 19: 52 – 55.
- Coleman K., Johnston E. A., Poulton P. R.** (2009): Soil organic matter: Its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. *Advances in Agronomy*, 101: 1 - 57.

- Curtin D., Smillie G. W.** (1984): Soil Solution Composition as Affected by Liming and Incubation. *Soil Science Society of America Journal*, 47, 701 – 707.
- Davidson A. E., Trumbore E. S. & Amundson R.** (2000): Biogeochemistry: Soil warning and organic carbon content. *Nature*, 408: 789 – 790.
- Dimitrovský K., Kupka I.** (2006): Silvicultural assessment of reforestation under specific spoil bank conditions. *Journal of forest science*, 410 – 416.
- Forman R. T. T., Godron M.** (1993): *Krajinná ekologie*. Academia, Praha, 583 s.
- Frouz J., Popperl J., Přikryl I., Štrudl J.** (2007): Tvorba nové krajiny na Sokolovsku. *Sokolovská uhelná, právní nástupce a.s., Sokolov*, 26 s.
- Green, R. N., Trowbridge, R. L., Klinka, K.** (1993): Towards a taxonomic classification of humus forms. *Forest Science*, 39, Monograph, 29: 49.
- Häge K. et al.** (1996): Landscaping and ecology in the lignite mining area of Maritzacast. *Water, air and soil pollution*, 91, 135 – 144.
- Haynes R. J.** (2005): Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. *Advances in Agronomy*, Academic Press, 85: 221 – 268.
- Horáček J., Ledvina R., Stach J. et al.** (1999): Posouzení fyzikálních vlastností půd při klasické a bezorebné technologii pěstování brambor. *Zemědělská technika*, 45 (3): 81 – 87.
- Horváth D.** (2012): Charakteristika třetihorních limnosilitů v sokolovské pánvi [Bakalářská práce]. Brno, Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav geologických věd, 33 s.
- <http://geoportal.gov.cz/web/guest/map>, staženo dne 04. 02. 2013.
- <http://kfrserver.natur.cuni.cz/globe/others-CZ.htm>, staženo dne 01. 03. 2013.
- <http://www.skalar.com/analyzers/total-organic-carbon-toc-and-total-nitrogen-tn-analyzers/#formacs-ht>, staženo dne 06. 02. 2013
- [http://www.vulhm.cz/index.php?p=o\\_ustavu&site=default](http://www.vulhm.cz/index.php?p=o_ustavu&site=default), staženo dne 05. 04. 2013.
- Hůla J., Procházková B. et al.** (2008): Minimalizace zpracování půdy. Praha, Profi Press, s.r.o., 248 s.
- Chan K. Y., Bowman A., Oates A.** (2001): Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture leys. *Soil Science*, 166: 61 – 67.

- Chapin F. S. III., Matson P. A., Mooney H. A.** (2002): Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. Springer Science and Business Media, New York, 436 s.
- Jandák J., Prax A., Pokorný E.** (2004): Půdoznalství. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 139 s.
- Jiang P., Xu Q.** (2006): Abundance and dynamics of soil labile carbon pools under different types of forest vegetation. *Pedosphere*, 16, 505 - 511.
- Kobesová M.** (2011): Procesy sequestrace půdního uhlíku na rekultivovaných plochách Velké podkrušnohorské výsypky [Bakalářská práce]. České Budějovice, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra rostlinné výroby a agroekologie, 50s.
- Kolář L.** (1987): Výživa rostlin a hnojení: zvláštnosti vyšších poloh. Praha, Vysoká škola zemědělská, 42 s.
- Kolář L. et al.** (2006): Soil organic matter and its stability in aerobic and anaerobic conditions. *Soil & Water Research*, 1: 57 – 64.
- Kolář L. et al.** (2009): Labile fractions of soil organic matter, their quantity and quality. *Plant, Soil and Environment*, 55: 245 – 251.
- Králová M. et al.** (1991): Vybrané metody chemické analýzy půd a rostlin. Praha, Academia, 160 s.
- Kremer B. P.** (1995): Stromy: v Evropě zdomácnělé a zavedené druhy. Praha, Knižní klub Ikar, 287 s.
- Kubát J.** (2010): Vliv antropogenních substrátů výsypek na Sokolovsku na obnovu lesa [Disertační práce]. Kynšperk na Ohří, Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnická a environmentální, Katedra pěstování lesa, 123 s.
- Kubát J., Cerhanová D., Mikanová O., Šimon T.** (2008): Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách. Metodika pro praxi. Praha, Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 34 s.
- Lal R.** (2004): Soil carbon sequestration impacts on climate change and food security. *Science* 304: 1623 - 1627.
- Lavelle P. et al.** (1997): Soil function in changing world: the role of invertebrate ecosystem engineering. *European journal of soil biology*, 33: 159 – 193.
- LeCain D. R. et al.** (2002): Carbon exchange and species composition of grazed pastures and exclosures in the shortgrass steppe of Colorado. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 93 (1 – 3): 421 – 435.

- Ledvina R., Horáček J., Šindelářová M.** (2000): Geologie a půdoznalství. České Budějovice, 203 s.
- Lefroy B. D. R., Blair J. G., Strong M. W.** (1993): Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic carbon fractions and <sup>13</sup>C natural isotope abundance. *Plant and Soil*, 155 – 156: 399 – 402.
- Marschner B., Kalbitz K.** (2003): Controls of bioavailability and biodegradability of dissolved organic matter in soils. *Geoderma*, 113: 211 – 235.
- Meersmans J., Wesemael B., Goidts E., Molle M., De Baets S., De Redder F.** (2011): Spatial analysis of soil organic carbon evolution in Belgian croplands and grassland, 1960 - 2006. *Global change biology*, 17: 466 - 479.
- Metting F. B.** (1993): Structure and physiological ecology of soil microbial communities. In: Metting F. B.: *Soil microbial ecology – applications in agricultural and environmental management*. New York, Marcel Dekker, 3 – 25.
- Nátr L.** (2000): *Koncentrace CO<sub>2</sub> a rostliny*. Praha, ISV nakladatelství, 257 s.
- Neff C. J., Asner P. G.** (2001): *Dissolved Organic Carbon in Terrestrial Ecosystems: Synthesis and a Model*. Springer – Verlag, 29 – 48.
- Němeček J. et al.** (2001): *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*, ČZU, VÚMOP Praha, 78 s.
- Podrázský V.** (2001): *Možnosti revitalizace lesních půd imisních oblastí*. ČZU Praha, 56 s.
- Pokorný E., Šarapatka B., Hejátková K.** (2007): *Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku. Náměšť nad Oslavou, ZERA – Zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s.*, 28 s.
- Prax A.** (1997): Ubývá půdní humus. *Úroda*, 1: 14 – 15.
- Procházka S. et al.** (1998): *Fyziologie rostlin*. Praha, Academia, 484 s.
- Reicosky D. C.** (2003): Conservation agriculture : Global environment benefits of soil carbon management. In: **García-Torres L., Benites J., Martínez-Vilela A., Holgado-Cabrera A.**: *Conservation agriculture: environment, farmes experiences, innovations, socio-ekonomy, policy*. Cab direkt, 3 – 12.
- Remeš M. et al.** (2005): Srovnání humusových poměrů pod porosty s různou dřevinnou skladbou, III. Konference ČPS – Ochrana a využívání půdy v podhorských oblastech. Nové Hrady, Sborník z konference, České Budějovice, Jihočeská univerzita, 173 – 180.

- Ripl W.** (1995): Management of water cycle and energy flow for ecosystem control – the energy – transport – reaction (ETR) model. *Ecological Modelling*, 78: 61 – 76.
- Rohošková M., Valla M.** (2004): Comparison of two methods of aggregate stability measurement – a review. *Plant Soil Environment*, 50 (8): 379 – 382.
- Rojík P.** (2004): New stratigraphic subdivision of the Tertiary in the Sokolov Basin in Northwestern Bohemia. *Journal of the Czech Geological Society*, 49/ 3 – 4-
- Rovira A. D.** (1969): Plant root exudates. *The Botanical Review*, 35, 35 – 57.
- Rovira P., Vallejo V. R.** (2000): Examination of thermal and acid hydrolysis procedures in characterization of soil organic matter. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31: 81 – 100.
- Rusek J.** (2000): Sukcesní vývoj půdy a ekosystémů. *Živa* 5: 217 – 221.
- Řehounek J., Řehouňková K. & Prach K.** (2010): Ekologická obnova území narušených těžbou nerostných surovin a průmyslovými deponiemi. Calla, České Budějovice, 178 s.
- Římovský K.** (1994): Organické hnojení a úrodnost půdy. *Úroda*, 8: 8 – 9.
- Sáňka M., Materna J.** (2004): Indikátory kvality zemědělských a lesních půd. *Planeta*, XII: 11.
- Schlesinger W. H.** (1997): Biogeochemistry - an analysis of global change. San Diego, California, Academic Press, 588 s.
- Schnabel R. R., Dell C. J., Schaffer J. A.** (2002): Filter, inokulum and time effects on measurements of biodegradable water soluble organic carbon in soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 34: 737 – 739.
- Sklenička P.** (2003): Základy krajinného plánování. Naděžda Skleničková nakladatelství, Praha, 321 s.
- Sotáková S.** (1982): Organická hmota a úrodnost půdy. Bratislava, *Príroda*, 123 – 126.
- Stevenson F. J.** (1986): Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York, Wiley, 380 s.
- Strahler A.** (1999): *Introducing Physical Geography*. Wiley, New York, 575 s.
- Šantrůčková H.** (2001): Ekologie půdy. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 29 s.

- Šarapatka B.** (1996): Pedologie. Olomouc, Vydavatelství Univerzity Palackého, 233 s.
- Šimek M.** (2003): Základy nauky o půdě: 3. Biologické procesy a cykly prvků. České Budějovice, Johanus, 151 s.
- Šimek M.** (2005): Základy nauky o půdě: 1. Neživé složky půdy. České Budějovice, Johanus, 160 s.
- Šourková M., Frouz J., Šantrůčková H.** (2005): Accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus during soil formation on alder spoil heaps after brown-coal mining, Nera Sokolov (Czech Republic). *Geoderma*, 124: 203 – 214.
- Valla M. et al.** (2007): Pedologické praktikum. Praha, ČZU, 151 s.
- Vanhala P. et al.** (2008): Temperature sensitivity of soil organic matter decomposition in southern and northern area of the boreal forest zone. *Soil Biology & Biochemistry*, 40, 1758 – 1764.
- Vopravil J. et al.** (2009): Kniha o půdě – I. díl. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha, 148 s.
- Vráblíková J. et al.** (2008): Revitalizace antropogenně postižené krajiny v Podkrušnohoří: II. část Teoretická východiska pro možnost revitalizace území modelové oblasti. Ústí nad Labem, Univerzita J. E. Purkyně, 154 s.
- Wedderburn M. E. & Carter J.** (1999): Litter decomposition by functional tree types for use in silvopastoral systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 31: 455 - 461.
- Wollum A. G.** (1973): Characterization of the forest plot in stands along a moisture gradient in Southern New Mexico. *Soil Science*, 37: 637 – 640.



## 10 Přílohy

Obrázek 5: Odebírání půdního vzorku – borovice lesní



Obrázek 6: Odebírání půdního vzorku – borovice lesní



Obrázek 7: Odebírání půdního vzorku – olše lepkavá



Obrázek 8: Odebírání půdního vzorku – olše lepkavá s podrostem



Obrázek 9: Velká podkrušnohorská výsypka – porost olše lepkavé



Obrázek 10: Velká podkrušnohorská výsypka – porost břízy bělokore s podrostem



Obrázek 11: Velká podkrušnohorská výsypka – porost borovice lesní



Obrázek 12: Velká podkrušnohorská výsypka – porost modřinu opadavého

