

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Přírodovědecká fakulta



**Kvantifikace zásoby uhlíku v půdě pro účely inventarizace
krajiny**

Bakalářská práce

Gabriela Kotrbová

Vedoucí práce: prof. Ing. Hana Šantrůčková, CSc.

Školitel specialista: Doc. Ing. Emil Cienciala, Ph.D

České Budějovice 2011

Kotrbová G. 2011: Kvantifikace zásoby uhlíku v půdě pro účely inventarizace krajiny [Quantification of carbon supply in soil for purpose of landscape inventory. Bc. Thesis. In Czech] – 24p., Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Anotation

This thesis was written as the groundwork for a submission of grant application. The thesis is focused on soil organic carbon and factors affecting the amount of carbon in soil with the attention to the amount of soil carbon in different types of ecosystems. The thesis suggests a stratified method of soil sampling, which gives results comparable with in all types of ecosystem.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou 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 bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 15. prosince 2011

Gabriela Kotrbová

Poděkování:

Tímto bych chtěla poděkovat profesorce Šantrůčkové za čas, který mi věnovala, za pomoc v nelehké životní situaci a Emilu Ciencalovi, že mi umožnil účastnit se tohoto projektu. Poděkovat bych chtěla Tomáši Pickovi za pomoc a rady při zpracování vzorků, Michalu Šorfovi a Tomáši Hájkovi za pomoc v laboratoři a za trpělivost při zpracování mých vzorků. Dále Veronice Stupkové za spolupráci při zpracování vzorků a Zuzaně Exnerové za spolupráci při manipulaci se vzorky mezi mnou a IFERem. Velmi děkuji příteli Petru Prášilovi za psychickou podporu, v neposlední řadě chci poděkovat své rodině za psychickou a finanční podporu. A na závěr děkuji Pigy a Kapy za rozptýlení při práci.

Obsah

1. Shrnutí projektu (Abstrakt).....	1
2. Současný stav poznání.....	2
2.1 Krajina a půda.....	2
2.2 Půda.....	2
2.3 Uhlík a jeho cyklus.....	3
2.4 Uhlík v půdě.....	4
2.4.1 Terestrický cyklus uhlíku.....	4
2.4.2 Faktory ovlivňující organický uhlík v půdě.....	5
2.4.3 Biologická aktivita v půdě.....	6
2.4.4 Rozklad organické hmoty.....	6
2.4.5 Procesy uvolňování uhlíku z půdy ve formě CO ₂	7
2.4.6 Vertikální distribuce organické hmoty v půdě.....	8
2.5 Druhy ekosystémů a uhlík v půdě.....	8
2.5.1 Lesní ekosystém.....	8
2.5.2 Trvalé travní plochy.....	10
2.5.3 Orné půdy.....	10
2.6 Vzorkování	10
2.6.1 Zemědělské půdy.....	10
2.6.2 Lesní půdy.....	11
2.7 Inventarizace krajiny.....	11
2.7.1 Projekt CzechTerra.....	11
2.7.1.1 Inventarizační systém.....	12
2.8 Shrnutí řešerše.....	14
3. Cíle projektu.....	14
4. Hypotéza.....	14
5. Návrh způsobu monitoringu.....	15
5.1 Odběr půdních vzorků.....	15
5.2 Vlastní zpracování vzorků.....	16
5.3 Příprava vzorků k analýze.....	16
5.4 Analýza vzorků.....	16
5.4.1 Stanovení sušiny.....	16
5.4.2 Stanovení pH.....	17
5.4.3 Stanovení množství C, N v půdě a poměr C/N.....	17
5.5 Výpočty.....	17
6. Předběžné výsledky.....	19
7. Finanční zhodnocení projektu pro všechny ekosystémy	20
8. Časový plán práce.....	20
9. Závěr.....	21
10. Literatura.....	22

1. Shrnutí projektu (Abstrakt)

Půda je největším suchozemským zásobníkem uhlíku. Uhlík se v půdě nachází hlavně v organické formě a z půdy se uvolňuje do atmosféry přirozenými procesy i důsledkem využívání půdy. Uvolňování uhlíku z půdy může přispívat ke zvýšenému obsahu oxidu uhličitého a methanu v atmosféře, kde mohou působit jako skleníkové plyny a podílet se na globálním oteplování. Vzhledem k těmto okolnostem je dobré mít přehled, jaké množství organického uhlíku půda obsahuje a kolik se ho z půdy může uvolnit. Půdy v lesních, travních a zemědělských ekosystémech se v obsahu uhlíku značně liší. V současné době existuje řada metod pro stanovení uhlíku v těchto půdách, avšak metodika odběru se pro různé ekosystémy liší, což výrazně komplikuje jejich porovnatelnost. Naše metoda, stratifikovaný způsob odběru, se provádí do jednotné hloubky 30 cm pro všechny typy ekosystémů. Tato metoda původně navržená v rámci projektu CzechTerra umožňuje vzájemnou porovnatelnost mezi jednotlivými typy ekosystémů a díky přesnému stanovení místa odběru pomocí GPS i mezi jednotlivými časovými horizonty. Zpracováním a vyhodnocením takto odebraných vzorků vznikne ucelená databáze, která bude sloužit k pozorování změn v množství uhlíku v půdě.

Abstract

Soil is the largest terrestrial carbon reservoir. Soils contain carbon mostly in organic form and due to natural processes as well as soil utilisation it is released from soil into atmosphere as carbon dioxide and methane. Carbon dioxide and methane are greenhouse gases and their increase can contribute to global warming. Because of this it is important to know what amount of organic carbon the soil contains and how much of it is likely to be released from soil into the atmosphere. Amounts of soil carbon within forest soils, grassland or agricultural ecosystems vary largely. Currently there are many methods for determination of organic carbon contents in soils. However, these methods are specific to each ecosystem and therefore it is very difficult to compare the results. Our method, stratified sampling, provides mutual comparability of individual ecosystems within a specific timeframe. Samples are always taken from the depth of 30 cm and the exact location of sampling is determined with the aid of GPS. This method was originally introduced as a part of the CzechTerra project. When the samples are processed and evaluated, a comprehensive database is created. This database helps then to observe changes in the amount of soil organic carbon.

2. Současný stav poznání

2.1 Krajina a půda

„Krajina je část prostoru na zemském povrchu zahrnující komplex systémů tvořených vzájemnou interakcí horniny, vzduchu, rostlin, živočichů a člověka, která svým výrazem vytváří zřetelnou jednotku“ (Zonneveld, 1979 ex. Lapka a Cudlíková 2008). Z toho vyplývá, že i půda je nedílnou součástí krajiny. Půda v krajině napomáhá k zachování nebo dokonce rozšíření biologické rozmanitosti, má kulturní, historickou, sociální i zdravotní funkci a hlavně napomáhá k posilování stabilizačních procesů v krajině. Tím je myšleno, že se účastní procesů samočisticích a pufrovacích, zlepšuje vodohospodářské vlastnosti krajiny a v neposlední řadě ovlivňuje látkový koloběh uhlíku, dusíku a síry (Vašků 2007).

2.2 Půda

„Půdu můžeme definovat jako nejsvrchnější část zemské kůry, tvořenou směsí minerálních součástí, odumřelé organické hmoty a živých organismů. Je vertikálně členěná, propojená se svým podložím a vzniká ze zvětralin nebo nezpevněných minerálních a organických sedimentů“ (Bičík, Budňáková, Čermák et al. 2009).

Půda má řadu důležitých funkcí, které napomáhají k udržení stability v krajině. Má velký význam pro vodní režim krajiny, protože je důležitým prostředím pro filtraci, akumulaci a retenci (zadržetí) vody. Půda vytváří substrát pro růst rostlin, umožňuje jejich přichycení a je pro ně zásobárnou vody a živin. Pufrační schopnost napomáhá odolávat změnám pH v půdě při okyselování a alkalizaci. Tato funkce má význam v souvislosti s výskytem kyselých dešťů. Půdní struktura má v krajině protierozní funkci (Bičík, Budňáková, Čermák et al. 2009).

Půdní profil se skládá z několika různě barevných vrstev, které se nazývají horizonty. Každá vyvinutá a neporušená půda se skládá z několika charakteristických horizontů, podle kterých se pak řadí do určité skupiny půd – půdních typů (Šimek 2007). Na území České republiky se vyskytuje celkem 28 půdních typů. Mezi nejčastější patří: Kambizemě, pseudogleje, černozemě a luvizemě (Bičík, Budňáková, Čermák et al 2009).

Půda se skládá z následujících hlavních složek: minerální složka, organická hmota a póry, které jsou buď zaplněné vodou nebo vzduchem.

Minerální složka je tvořena různými anorganickými sloučeninami a částicemi o různé

velikosti (kameny, úlomky hornin, koloidní částice). Podle uspořádání půdních částic můžeme stanovovat strukturu půdy, podle zastoupení velikostních skupin určujeme texturu půdy.

Organická hmota může být v půdě v živé (5%) nebo mrtvé formě (95%). Mrtvou organickou hmotu primárně tvoří zbytky rostlin včetně kořenů a také odumřelá těla půdních organismů. Přestože je obsah organické hmoty v půdě poměrně malý (v průměru 5%), jeho množství velmi ovlivňuje vlastnosti půdy jako jsou kationtová výměnná kapacita nebo struktura a stabilita půdních agregátů. Je také hlavním zdrojem fosforu, síry a uhlíku, což jsou tři důležité elementy pro růst rostlin i všech organismů (Brady 1990).

2.3 Uhlík a jeho cyklus

Uhlík je základní částí všech organických sloučenin a tedy i základní součástí všech živých organismů na naší planetě. Koloběh uhlíku funguje na Zemi prakticky od jejího vzniku. Dá se také nazvat cyklem života, protože uhlík je základní součástí živých tkání a pletiv a je v podstatě zahrnut do všech biologických a biochemických procesů na Zemi. Jelikož jsou živé tkáně a pletiva složeny hlavně z uhlíku, slouží odhady globální produkce a destrukce organického uhlíku jako celkový ukazatel zdraví biosféry a to jak současné, tak minulé (Berner a Lasaga 1989).

Největší množství uhlíku je vázáno v horninách, sedimentech a oceánech. Většina uhlíku zde uložená má avšak pomalý obrat a jen malou měrou se podílí na krátkodobém koloběhu (koloběh uhlíku trvající měsíce až století). Na krátkodobém koloběhu uhlíku se podílí především atmosféra, půda a povrchové vrstvy oceánu, ve kterých je vázáno jenom několik procent z celkové zásoby uhlíku na Zemi. Zásoba uhlíku v suchozemských ekosystémech a atmosféře tvoří zhruba dvě třetiny z celkových krátkodobých zásobníků uhlíku. Největší toky v globálním cyklu uhlíku spojují atmosferický oxid uhličitý se suchozemskou vegetací a s oceány (Schlesinger 1990).

Uhlík se vyskytuje v atmosféře ve formě oxidu uhličitého, methanu a antropogenních uhlíkatých sloučenin. Hlavní formou je oxid uhličitý, ve kterém je vázáno 99% celkového množství atmosférického uhlíku. Oxid uhličitý představuje v celkovém objemu vzduchu 388 ppm (= 0,039%) (Tans 2011). Množství CO₂ v atmosféře reprezentuje pouze 2% množství anorganického uhlíku v oceánu. Jen malá změna v množství uhlíku v oceánu, v půdě nebo v sedimentech může značně ovlivnit obsah CO₂ v atmosféře (Lerman 1979 ex Wollast et al. 1991).

Množství uhlíku v atmosféře se postupně zvyšuje, v 1. pol. 80. let byla koncentrace CO₂ v atmosféře okolo 270 – 280 ppm. Na uvolňování CO₂ do atmosféry se podílí významně člověk a to průmyslovou výrobou, zemědělstvím a lesnictvím (viz kapitola 2.4.5). CO₂ spolu s methanem patří mezi skleníkové plyny, které absorbují dlouhovlnné infračervené záření, díky čemuž je ohřívána spodní vrstva atmosféry a zemský povrch (<http://cs.wikipedia.org>). Působením skleníkových plynů dochází ke globálnímu oteplování.

2.4 Uhlík v půdě

2.4.1 Terestrický cyklus uhlíku

Hlavním zdrojem uhlíku v půdě jsou rostliny (primární producenti). Rostliny přijímají oxid uhličitý z atmosféry a v procesech fotosyntézy ho za využití sluneční energie přeměňují na organické látky. Živočichové z těchto látek získávají živiny a energii pro růst a následně navrací odpady a zbytky do půdy. Makro a mikroorganismy v půdě potom rozkládají tento organický materiál a uvolňují přitom živiny pro zelené rostliny a také oxid uhličitý a humus jako relativně stabilní produkty. Ve formě humusu je část uhlíku v půdě dočasně vázaná. Vzniklý oxid uhličitý doplňuje zásobu uhlíku v atmosféře, kde je opět dostupný pro rostliny a cyklus se znovu opakuje (Brady 1990).

Půda je největším suchozemským zásobníkem uhlíku. Proto je důležité mít přehled, kolik se ho v dané půdě nachází a kolik se ho může v budoucnu uvolnit. Uhlík se v půdě vyskytuje hlavně v organické formě. Celkové množství organického uhlíku v půdách je 1100-2400 Pg (Pg = 1 x 10¹⁵ g). V půdě se také vyskytuje uhlík vázaný v anorganických látkách, zejména v uhličitanech (700 Pg), které jsou stabilní (Šimek 2009). Organický uhlík v terestrickém ekosystému je představován ze 60% - 80% organickou hmotou nebo humusem, zbytek představuje vegetace a půdní organismy (<http://www.isric.org>).

Obsah uhlíku v organické hmotě v půdě je zhruba trojnásobný oproti obsahu uhlíku v nadzemní části vegetace. Obsah uhlíku se také liší v různých půdních typech. V půdních typech polopouští je ve svrchních 20 cm v průměru okolo 0,8% uhlíku, v černozemích 4%, v trvale zamokřených půdách 10% a v rašelinných půdách dokonce okolo 50% (Kutílek 2001). Zásoba uhlíku v půdě a jeho schopnost uvolnění se nazývá vulnerabilita. Celkové množství organického uhlíku je ovlivněno především stářím půdy, podnebím, druhem vegetace,

fyzikálními (textura a struktura), chemickými (pH) a biologickými (vegetace) vlastnostmi půdy, topografií a lidskými zásahy.

2.4.2 Faktory ovlivňující organický uhlík v půdě

Množství organické hmoty v půdě je úzce spojeno se stářím půdy. Je prokázáno, že množství organické hmoty v půdě roste rychle během prvních let vzniku půdy, následně pomalu klesá, až se dosáhne rovnováhy prostředí, ve kterém se půda tvořila. K tomuto procesu také napomáhá přesun organické hmoty do nižších vrstev půdy, který je zprostředkovaný půdní faunou a tokem vody v půdním profilu (Šourková et al. 2005).

Obsah organické hmoty v půdě je závislý na teplotě a vlhkosti. Podnebí je důležitý faktor, který na půdu působí nepřímo prostřednictvím vstupů organické hmoty, nebo přímo ovlivněním dekompoziční (= rozklad organické hmoty) aktivity půdních mikroorganismů. Mikrobiální aktivita je nejvyšší při teplotě 20 – 30°C a optimální vlhkosti (Brady 1990). Obsah uhlíku je tedy nižší v teplých a vlhkých oblastech než v drsnějším podnebí nebo na trvale zaplavených územích s nižší aktivitou mikroorganismů.

Na obsah organického uhlíku v půdě má také nemalý vliv druh a primární produkce vegetace, která půdu pokrývá. Obsah organického uhlíku v půdách travinných ekosystémů je daleko vyšší než v lesních půdách a dokonce záleží na tom, zda se jedná o les listnatý nebo jehličnatý (Stevenson a Cole 1999). O vlivu porostu bude pojednáno v kapitole 2.5.

Půdní kyselost působí na řadu faktorů, které ve finále opět ovlivní množství organického uhlíku v půdě. Značně ovlivňuje mikrobiální aktivitu, protože každý mikrob má své optimum pro ideální růst a pro procesy rozkladu. Půdní kyselost má podstatný vliv na růst rostlin skrze dostupnost živin, protože každý prvek je dostupný v jiné optimální hodnotě pH (Killham 2001).

Z fyzikálních faktorů jsou nejdůležitější textura a struktura půdy. Základní materiál, tedy geologický materiál nebo skalní podloží půdy, má vliv na půdní texturu a také na schopnost absorpce, což se projeví i v obsahu organického uhlíku a půdní struktuře. Těžké jílovité půdy budou obsahovat daleko více uhlíku než lehké písčité půdy.

Následujícím faktorem je topografie místa. Příkladem vlivu topografie jsou lokální rozdíly mezi vrcholky, srázy a prohlubněmi. Tyto lokality se mimo jiné liší lokálním klimatem, které ovlivňuje i utváření půdy. Je tomu tak proto, že vzniká takzvané studené údolí, protože chladný vzduch je těžší a klesá dolů, v půdě se zpomalí mikrobiální aktivita a tím se zvětší obsah organického uhlíku v půdě. Na vrcholcích tento proces probíhá

naopak (Stevenson a Cole 1999).

2.4.3 Biologická aktivita v půdě

V půdě se skrývá obrovské množství různorodých organismů. Jejich množství je ovlivněno klimatem, vegetací, fyzikálními a chemickými vlastnostmi půdy. Například lesní půdy mají diverzifikovanější faunu než travní půdy, ale v travních půdách je větší počet organismů na m². Půdní organismy se dělí do třech hlavních skupin: mikroorganismy (60-80%), makroorganismy nebo-li faunu (15-30%) a půdní kořeny (5-10%) (Stevenson a Cole 1999). Organismy v půdě také můžeme dělit na primární producenty (rostliny), kteří jsou konzumováni primárními konzumenty (např.: roztoči, stinky, chvostoskoci). Primární konzumenti jsou dále konzumováni sekundárními a terciárními konzumenty (stonožky, termiti) a dekompozitory (organismus v půdě rozkládající organickou hmotu na jednodušší látky - bakterie, houby, kvasinky a plísně) (Brady 1990).

Půdní organismy se podílí na mineralizaci látek. Mineralizace znamená přeměnu prvku z jeho organické formy na formu anorganickou, v našem případě přeměnu uhlíku na oxid uhličitý a methan. Vznikají tak látky, které jsou opět dostupné pro rostliny. Mineralizace je konečným produktem rozkladu organické hmoty - dekompozice (Brady 1990).

Na rozkladu organické hmoty se nejvíce podílí mikroorganismy a měřítkem jejich aktivity je rychlost přeměny prvků – mineralizace. Mineralizace závisí na počtu mikroorganismů a jejich aktivitě, ale také na podmínkách půdního prostředí a složení organické hmoty. Mezi mikroorganismy řadíme bakterie, archeobakterie, aktinobakterie a půdní houby. Mikroorganismy plní důležitou ekologickou roli, protože rozkládají jednoduché cukry nebo aminokyseliny, ale dokáží rozložit i odolné polymery jako jsou lignin nebo huminové kyseliny (Killham 2001).

2.4.4 Rozklad organické hmoty

Rychlost dekompozice a mineralizace se liší podle složení organické hmoty. Nejrychleji se rozkládají cukry, škroby a jednoduché proteiny, následují složitější proteiny, hemicelulóza, celulóza, poté tuky a vosky a nejpomaleji se rozkládá lignin. Organické sloučeniny se většinou začínají rozkládat zároveň s přidáním čerstvé rostlinné části do půdy. Rozklad probíhá ve třech základních reakcích (Brady 1990):

1. Většina materiálu prochází enzymatickou reakcí, kde vznikají oxid uhličitý, voda,

energie a teplo jako finální produkty.

2. Esenciální prvky, jako dusík, fosfor a síra jsou buď uvolňovány nebo imobilizovány (= zabudovány do těl organismů nebo zpět do organické hmoty) specifickými reakcemi pro každý prvek.
3. Sloučeniny odolné vůči rozkladu jsou formovány buď přeměnou látek přímo v rostlinné tkáni nebo mikrobiální syntézou. Tyto odolné látky jsou potom většinou obsaženy v humusu.

Z hlediska rychlosti rozložení organického materiálu ve svrchní části půdního profilu rozeznáváme dva typy zásobníků uhlíku. Je to organický materiál s rychlým koloběhem, při kterém vzniká přechodný zásobník uhlíku a pomalu se přeměňující organický materiál. Jeho přeměnou vzniká pasivní zásobník uhlíku. Čas přeměny rychle cyklujícího organického materiálu se různí podle klimatu a vegetace a pohybuje se od 20 let (v nízkých nadmořských výškách) do 60 let (vysoké nadmořské výšky). Je složen hlavně z nerozloženého rostlinného materiálu a z hydrolizovatelných komponentů spojených s povrchem minerálních částic (Trumbore 1997).

2.4.5 Procesy uvolňování uhlíku z půdy ve formě CO₂

Jak již bylo řečeno, při rozkladu organické hmoty se uvolňuje do atmosféry uhlík ve formě oxidu uhličitého a v autotrofních podmínkách ve formě methanu. Únik CO₂ z půdy do atmosféry se nazývá půdní dýchání a ročně se tak uvolňuje 4 – 5 % z půdních organických zásob (Kutílek 2001), což je přibližně 75 Pg uhlíku (Schlesinger a Jeffrey 1999). Tok uhlíku mezi atmosférou a půdou je největší, proto jen malé změny v půdní respiraci mohou mít velký dopad na koncentraci CO₂ v atmosféře (Schlesinger a Jeffrey 1999).

Na množství uhlíku uvolněného z půdy se podílí nemalou měrou člověk a to změnami ve využívání půdy. Například pokud jsou původně travní půdy obdělávané, půda se rozruší a obsah organického materiálu v ní klesá. To je způsobeno tím, že narušením půdy se zlepší podmínky (vlhkost, provzdušnění) pro mikrobiální aktivitu, která organický materiál rychleji rozkládá. Kromě toho je část primární produkce odstraněna s úrodou (Six at al 1998). Stejný efekt zvýšení respirace má i převedení lesních porostů na zemědělskou půdu nebo vysušení rašelinišť, kde je uložena velká vrstva organického materiálu a při odstranění vody se tento materiál stane snadno dostupným pro mikroorganismy (Šimek 2008).

2.4.6 Vertikální distribuce organické hmoty v půdě

Organická hmota se hromadí na povrchu půdy a odtud se dostává do spodních vrstev, proto je jí ve spodních vrstvách půdního profilu značně méně. Vrchní vrstva je také nejvíce prokořeněná a je zde i nejvíce mikroorganismů (Brady 1990). Nejvíce uhlíku je v prvním metru půdy a největší rozdíly v obsahu jsou do 20 cm (Jobbágy 2000) nebo 30 cm (Šantrůčková et al. 2010). Množství organického uhlíku v prvních 20 cm půdy porostlé keři je 33%, v půdě porostlé trávou 42% a v lesní půdě dokonce 50%, kdy procenta jsou vztažena na celkovém množství uhlíku v prvním metru. Vertikální distribuce uhlíku v půdě je ovlivněna vegetací rostoucí v dané půdě, kdežto celkové množství uhlíku v půdě je ovlivněno více podnebím a texturou (Jobbágy 2000). Svrchních 30 cm je právě ta vrstva, která je nejvíce prokořeněná. V lesním ekosystému pouze 2% živých kořenů proniknou do hloubky větší než 30 cm a také tato hloubka je nejvíce biologicky aktivní část půdního profilu. Množství uhlíku ve větší hloubce již klesá dle typu půdy (Šantrůčková 2010).

2.5 Druhy ekosystémů a uhlík v půdě

Ekosystém je obecné označení pro ucelenou část přírody, která ovšem není uzavřená a komunikuje s ostatními částmi přírody. Pojetí ekosystému můžeme použít na každé úrovni prostorového měřítka od velikosti planety až po velikost trusu zvířete (Tansley 1935, Evans 1956, Odum 1971 ex. Forman a Gordon 1993). Při jeho zkoumání se musíme zaměřit na dvě důležitá hlediska (Melillo a Aber 2001):

1. Na interakce mezi organismy a jejich životním prostředím uvnitř specifického areálu.
2. Na procesy způsobující růst nebo rozklad rostlin, které tvoří půdy a sedimenty, a procesy pozměňující chemismus vody a vzduchu.

Pro účely své bakalářské práce použiji vymezení termínu ekosystém pro prostředí s různým vegetačním pokryvem a s různým typem obhospodařování půd: lesní, travní a orné půdy. Každý z těchto ekosystémů obsahuje různé množství organického uhlíku v půdě a tento uhlík je naopak důležitý pro funkci ekosystémů, protože ovlivňuje fyzikální vlastnosti půdy, zadržování a zásoby vody a poskytuje živiny pro organismy (Milne 2009).

2.5.1 Lesní ekosystém

Lesní ekosystém pokrývá na Zemi 30% povrchu, na území České republiky 34% a je

zásobníkem 45% veškerého suchozemského uhlíku. Všechny lesní ekosystémy slouží jako zásobníky uhlíku (Oulehle a Hruška 2009).

V lesním ekosystému se na obsahu uhlíku v půdě podílí velké množství tlejícího dřeva. Tlející dřevo přidává značné množství organického materiálu do půdy a poskytuje stanoviště pro půdní mikroorganismy, kteří organickou hmotu rozkládají. Dále napomáhá k udržení vlhkosti v sušších obdobích a slouží jako zásobník živin pro ekosystém. Avšak také přispívá k acidifikaci lesních půd, protože při dekompozici vznikají organické kyseliny, které mají na půdu okyselující účinky (Stevens 1997).

Obsah uhlíku v lesních půdách se liší jednak dle typu lesa (listnatý, jehličnatý, smíšený, lužní les) a také podle nadmořské výšky. V celosvětovém průměru obsahují lesní půdy 787 Pg C v hloubce do jednoho metru (Dixon at al. 1994).

V jehličnatých lesích dochází k pomalému rozkladu opadu, protože se rozkládá ve velmi kyselém prostředí, které pochází jednak z jehličí a také z přízemní vegetace (mechy, lišejníky). Přebývá zde typ humusu mor (Nieder a Benbi 2008). Mor vzniká při hromadění opadu s velkým obsahem dusíku a fenolických látek v silně kyselém prostředí. Díky nedokonalému rozkladu vznikají organické kyseliny, které ještě prostředí více okyselují. Takto nepříznivé prostředí nepodporuje rozvoj půdních organismů a naopak je podpořena aktivita hub. Tento typ humusu se hromadí ve velkých vrstvách, které jsou silně ohraničené od minerální části půdy (Šantrůčková 2001).

Ve smíšených a opadavých lesích dochází k daleko rychlejšímu rozkladu opadu, což je podmíněno i přítomností půdních živočichů. Na povrchu pak zůstává jen 15 – 25 % organické hmoty, zbytek je díky půdním organismům přesunut do spodnějších vrstev. Zde převažuje typ humusu moder (Aber a Melillo 2001). Moder vzniká při hromadění opadu s vysokým obsahem dusíku, ale již menším obsahem fenolických látek. Tyto podmínky jsou příznivější pro existenci půdních organismů. Většinu organické vrstvy tvoří exkrementy půdních živočichů. Organická vrstva již není striktně oddělena od minerální části půdy (Šantrůčková 2001).

Lužní lesy mají jen velmi malou zásobu povrchového humusu a jsou charakterizovány rychlým rozkladem organické hmoty. V lužních lesích je časté nestejněměrné druhové složení porostu, čímž vzniká povrchový humus rozličných vlastností a dochází k jeho nerovnoměrnému rozkládání (Klimo 2003). V lužních lesích se vyskytuje typ humusu mul. Na tvorbě mulu se podílí hlavně větší živočichové (žížaly) a mnoho mikroorganismů. Žížaly promíchávají minerální a organické části půdy, takže se na povrchu nevytváří ostře ohraničený horizont. Při rozkladu jsou dokonale rozloženy organické zbytky

a vzniká stabilní organická hmota (Šantrůčková 2001).

2.5.2 Trvalé travní plochy

Travní ekosystémy jsou zásobníkem 10% celkového suchozemského uhlíku a v průměru obsahují 200-300 Pg uhlíku (Batjes a Sombroek 1997). V České republice představují 12% z celkové rozlohy (http://web2.mendelu.cz/af_222_multitext/trek/index.php?N=0&I=0).

Travní porosty produkují rozsáhlý a jemný kořenový systém, který zahrnuje mnoho organického materiálu ve spodních vrstvách půdy a to vytváří velmi bohatý svrchní půdní horizont. Obecně v travních porostech probíhá velká aktivita mikroorganismů a dochází k minimálnímu hromadění organické hmoty na povrchu, protože ji organismy aktivně zabudovávají do minerální vrstvy půdy. V travinných půdách převládá stejně jako v lužních lesích typ humusu mul (Aber a Mellilo 2001). Travní půdy mají obecně větší množství uhlíku než lesní půdy a díky tomu má travní půda tmavší barvu. Množství uhlíku v těchto půdách je různý dle způsobu hospodaření (kosení, spásání, bez údržby) (Brady 1990).

2.5.3 Orné půdy

Na území České republiky zaujímají orné půdy celkem 54 % (www.calla.cz). Orné půdy mají oproti ostatním půdám značně menší obsah organického uhlíku. V lesních a travinných půdách se téměř všechen organický materiál vyprodukovaný vegetací vrací zpět do půdy. V orných půdách je většina organického materiálu vyprodukovaného vegetací sklizena, takže zpět do půdy se dostane jen velmi malá část uhlíku a živin. Také orba napomáhá ke snížení množství uhlíku v půdě, protože půda se při orání provzdušní a zlepší se její podmínky pro dekompozici a tím se zvýší její rychlost. Díky orbě je uhlík pravidelně rozložen do svrchních 20 - 30 cm půdního profilu (Brady 1990).

2.6 Vzorkování

Pravidla pro odběry vzorků jsou stanoveny zákonem. Jelikož se v odebraných půdách kromě uhlíku stanovuje i řada jiných veličin, jsou odběry prováděny do nejednotné hloubky dle typu plodiny nebo vegetace vyskytující se nad půdou. Nejčastěji je to hloubka 30 cm, ale také 10, 20 nebo 60 cm. Pro naše účely je tato nejednotná hloubka nevyhovující, protože množství uhlíku s hloubkou klesá (viz kap: 2.4.6) a poté se v takto odebraných vzorcích

těžko porovnává celková zásoba uhlíku.

2.6.1 Zemědělské půdy

Odběr vzorků zemědělských půd je dán zákonem č. 275/1998 Sb. Základ je vždy stejný. Vzorek se odebírá výhradně sondovací tyčí nejméně 30 vpichy rozmístěnými rovnoměrně po ploše pozemku se stejnou plodinou a jednotným hnojením. Hloubka a plocha pro odběr se liší dle typu plodin. Orná plocha v bramborářské a horské oblasti se odebírá dle hloubky ornice a nejhluběji do 30 cm. U travních porostů, bramborářské horské oblasti a kukuřičných porostů do hloubky 15 cm. Půda chmelnic se odebírá do 40 cm s tím, že vrchní deseticentimetrová vrstva půdy se z použité sondovací tyče odstraňuje. U vinic se provádí odběr odděleně z vrstvy do 30 cm a z vrstvy od 30 cm do 60 cm. U intenzivních sadů se vzorky odebírají do hloubky 30 cm (Sbírka zákonů 1998).

2.6.2 Lesní půdy

Odběr vzorků v lesních půdách je také dán zákonem. Z každého odběrového místa se minimálně odebere organická vrstva složená ze 3 horizontů (opad, fermentační a humusový horizont) z plochy 25 x 25 cm. Odběr se provádí kvantitativně až k rozhraní s minerální půdou. Z minerální půdy se odebere ze stejného místa odděleně minimálně vzorek z hloubky do 10 cm a z hloubky od 10 cm do 20 cm (Sbírka zákonů 1998).

2.7 Inventarizace krajiny

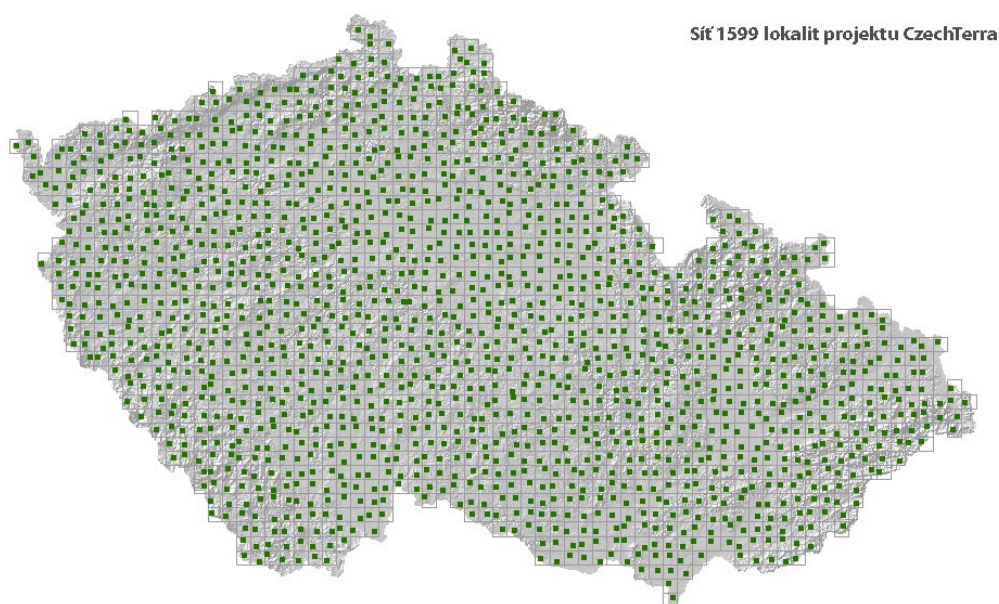
Vzhled, složení a vlastnosti krajiny se v čase mění, abychom měli přehled, jak moc se mění, provádíme inventarizaci (neboli průzkum) krajiny.

2.7.1 Projekt CzechTerra

CzechTerra je originální projekt, zadaný Ministerstvem životního prostředí, jehož část (segment číslo 3) má jako hlavní cíl inventarizaci krajiny pro trvalé sledování vývoje terestrických ekosystémů a využívání území na celorepublikové úrovni. Projekt probíhá od roku 2007 a jeho hlavním řešitelem je firma IFER, Ústav pro výzkum lesních ekosystémů. Tento projekt kombinuje analýzu leteckých snímků a pozemní průzkum (Inventarizace krajiny Czech Terra 2010).

2.7.1.1 Inventarizační systém

Celá republika je v rámci projektu CzechTerra rozdělena do systematické sítě čtverců o velikost 7x 7 km (celkem 1599) (Obr. 1). Do každého z těchto čtverců je náhodně (avšak přesně známými GPS souřadnicemi) umístěn další čtverec o velikosti 450 x 450 m, což je takzvaná „lokalita“ a uprostřed této lokality je umístěna kruhová vzorkovací plocha o poloměru 12 m takzvaná „inventarizační plocha“ (Obr. 2). Na lokalitě se provádí letecké snímky a na inventarizační ploše je prováděn pozemní průzkum. Celý systém je vytvořen tak, aby se měření dalo pravidelně opakovat a porovnávat.



Obr. 1: Schéma rozdělení ČR do čtverců 7 x 7 km

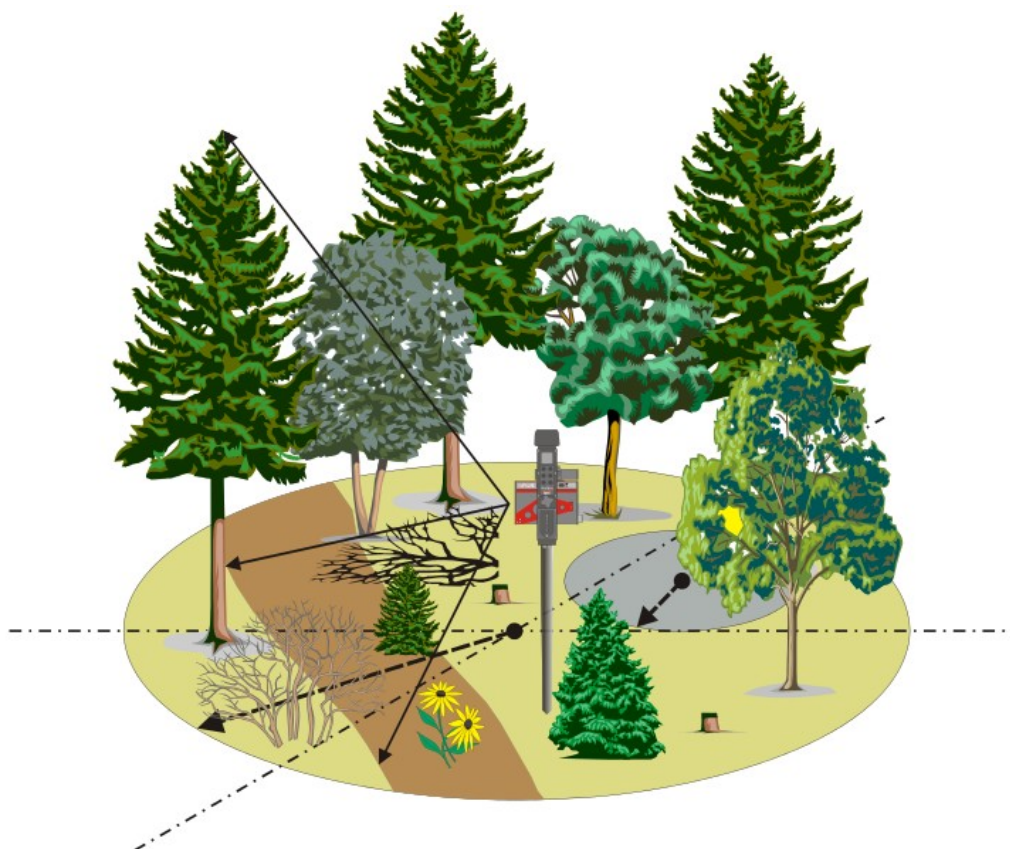
(zdroj:www.czechterra.cz)



Obr. 2: Náhodně rozmístěná čtvercová lokalita 450 x 450 m s inventarizační plochou

(zdroj:www.czechterra.cz)

Terénní průzkum byl zatím proveden jen na lokalitách, které jsou identifikovány jako les nebo zeleň mimo les se stromovou vegetací. V terénním průzkumu se hodnotilo množství faktorů jako vývoj porostu včetně obnovy, charakter tlejícího dřeva, kvalita těžebního dřeva, pokryvnost vegetací a základní údaje o stanovišti včetně kvantitativního šetření půd (Obr. 3).



Obr. 3: Schéma inventarizační plochy

(zdroj: <http://www.czechterra.cz/>)

Pro účely tohoto projektu je důležitý průzkum půd, ve kterých se stanovovala výměnná půdní reakce a střední obsah a zásoba uhlíku a dusíku v jemné frakci ve vrchním horizontu do 30 cm. Pro účely toho projektu jsme zpracovali metodiku stratifikovaného odběru půd a použili ji pro část vzorků odebraných v lesních ekosystémech. Takto zanalyzováno bylo zatím 200 vzorků (200 ploch) z celkových 509. Takto by do budoucna měly být dopracovány lesní ekosystémy na území ČR a následovně zpracovány orné půdy a travní půdy.

Půdní odběr se prováděl stratifikovanou metodou odběru a to speciální sondýrkou o přesně známém objemu do hloubky 30 cm, kde je uhlíku nejvíce. Nachází se zde většina kořenů a žije zde nejvíce živočichů. Touto metodou se dá stanovovat množství uhlíku ve všech typech ekosystémů a výsledky jsou vzájemně porovnatelné (Černý 2010). Přesná metodika tohoto odběru a následné stanovování uhlíku je popsáno v další části projektu.

2.8 Shrnutí řešerše

Půda je největším terestrickým zásobníkem uhlíku. Množství uhlíku v půdě závisí na řadě faktorů, z nichž většina jich je spojena s lokalitou, kde se půda vyskytuje a jejími podmínkami, ale někdy množství uhlíku ovlivňuje i člověk. Z půdy se různými procesy uvolňuje do atmosféry oxid uhličitý a metan a při nešetrném zacházení s půdou by se mohly uvolňovat v daleko větším množství. Kolik organického uhlíku je v půdě uloženo a kolik by se ho tedy mohlo eventuálně uvolnit je třeba znát. Současné metody odběru půdních vzorků nejsou koncipovány tak, aby se dali vzájemně jednoduše porovnat. Projekt CzechTerra přichází s novou metodou odběru, která lze porovnávat mezi všemi typy ekosystémů a také v různých časových horizontech.

3. Cíle projektu

Hlavní cíl

Zpracování půdních vzorků v různých typech ekosystémů a stanovení zásoby uhlíku v půdách těchto ekosystémů.

Dílčí cíle

V rámci tohoto projektu plánuji:

1. zpracovat zbývající vzorky z lesních půd, odebrat a zpracovat vzorky z travních a orných půd
2. vyhodnotit a srovnat zásobu uhlíku v těchto půdách
3. vytvořit databázi přístupnou všem veřejným subjektům, na základě které bude možno v budoucnu hodnotit úbytek/přírůstek zásoby uhlíku v půdách České republiky

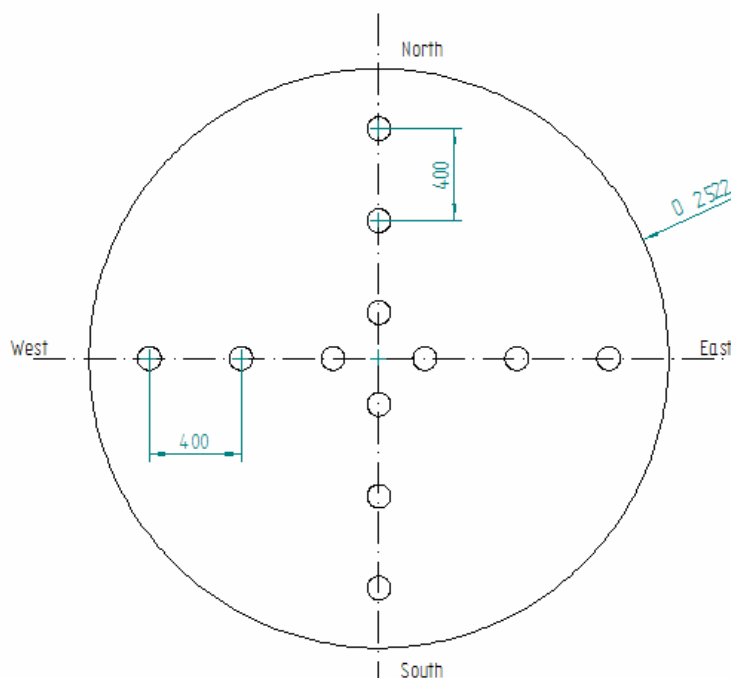
4. Hypotéza

Předpokládám, že nejvyšší obsah uhlíku bude v půdách travinných ekosystémů. Dále předpokládám, že celkové zásoby uhlíku v půdě budou nejvyšší v lesních ekosystémech, protože pokrývají daleko větší rozlohu ČR než travinné ekosystémy.

5. Návrh způsobu monitoringu

5.1 Odběr půdních vzorků

Před vlastním odběrem je nutné odstranit svrchní čerstvou opadovou vrstvu. Pokud je místo odběru pokryto vegetací jako je například tráva nebo mechy, je nutné vegetaci odstranit. Půdní vzorky se odebírají pomocí půdní sondy na přesně stanoveném místě tak, aby se dal odběr tomto místě zopakovat. Odběr na jedné inventarizační ploše se provádí v orientaci hlavních světových stran ve vzdálenosti 2, 6, 10 m od středu plochy pro každou světovou stranu (Obr. 4).



Obr. 4: Schéma rozmístění odběrných míst půdního vzorkování na inventarizační ploše (zdroj: www.czechterra.cz/)

Z jedné plochy se odebere maximálně 12 vzorků. Každý jednotlivý odběr se uloží do samostatného uzavíratelného plastového sáčku. Odběr se provádí do hloubky 30cm, což je délka celé sondy (Obr. 5). Pokud to nedovolí hloubka půdy a skeletovitost a půdní vzorek se nepovede odebrat v plné hloubce, je nutné skutečnou odebranou hloubku zaznamenat. Hloubka se odečítá na sondě, která je pro tyto případy vybavena stupnicí.



Obr. 5: Sonda pro odebrání půdy s vyznačenou stupnicí

(zdroj: <http://www.czechterra.cz/>)

5.2 Vlastní zpracování vzorků

Všechny odebrané vzorky se musí před vlastním zpracováním vysušit při pokojové teplotě, aby se s nimi dalo dále pracovat.

5.3 Příprava vzorků k analýze

Každý dílčí vzorek je před analýzou zvážen, poté je z něj vybrán všechny rostlinný materiál (kořínky, mechy, větvičky, listí atd). Vybraný rostlinný materiál je následně také zvážen. Zbytek vzorku se prosívá přes 2 mm síto tak, aby na sítu zůstaly pouze minerální částice >2 mm. Jemná frakce, která prošla sítem se zváží a vypočítá se její podíl ve vzorku [vzorec 2]. Všech 12 prosátých dílčích vzorků se smíchá do jednoho směsného vzorku. Totéž se provede s vybraným rostlinným materiálem. Dále se pracuje se směsnými vzorky, které reprezentují jednu inventarizační plochu.

5.4 Analýza vzorků

5.4.1 Stanovení sušiny

Vysušený vzorek při pokojové teplotě obsahuje stále vzdušnou vlhkost. Proto se vzorek ještě vysouší v sušárně po dobu 24 hodin při teplotě 105°C do úplného vysušení.

Vzorek je nutné zvážit před i po sušení. Procento sušiny se pak vypočítá z těchto vážení [vzorec 1].

5.4.2 Stanovení pH

Půdní kyselost se stanovuje jednak jako roztok půdy s vodou (aktivní pH) a také jako roztok půdy s KCl (výměnné pH). Vlastní postup měření pH je následující, do lahvičky se naváží 5 g vzorku (frakce) a přidá se 25 ml destilované vody nebo roztoku KCl. Vzorky se nechají dvě hodiny protřepat a poté se měří skleněnou elektrodou tak, aby byla elektroda pokud možno v kontaktu se zeminou, nikoli s roztokem nad ní. Je třeba vyčkat než se hodnota pH ustálí, což může trvat i několik minut.

5.4.3 Stanovení množství C, N v půdě a poměr C/N

Množství C, N v půdě nebo rostlinné vrstvě se stanovuje na přístroji elementární analyzátor. Než se vzorky mohou analyzovat, je nejprve nutné je úplně vysušit a poté zhomogenizovat na kulovém mlýnu. Rozemletý vzorek se navažuje a balí do speciálních kapslí a množství navažovaného vzorku se pohybuje okolo 5-7 µg. Analyzátor pracuje na principu spálení vzorku při vysoké teplotě, kdy vznikají páry analyzovaných prvků (CO₂, N₂), které postupují chromatografickou kolonou a při průchodu detekčním zařízením (teplotně-vodivostní detektor) jsou hodnoty automaticky zaznamenány do počítače. Na základě navážky vzorku se pak vypočítá přesné množství C, N a poměr C/N ve vzorku [vzorec 4].

5.5 Výpočty

Výpočet sušiny

$$sušina = 1 - \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1} \right) \quad [\%] \quad [1]$$

m_1 ...hmotnost vzorku před vysušením [g]

m_2 ...hmotnost vzorku po vysušení [g]

Podíl jemné frakce (JF)

$$JF = \frac{m_{frakce}}{m_{sušina}} \quad [\%] \quad [2]$$

m_{frakce} ...hmotnost frakce menší než 2mm [g]

$m_{sušiny}$...hmotnost suché půdy [g]

Objemová hmotnost (BD)

$$BD = \frac{m_{sušina} * sušina}{H * \pi r^2} \quad \left[\frac{g}{cm^3} \right] \quad [3]$$

$m_{sušina}$...hmotnost suché půdy [g]

sušina [%]

H...hloubka odebraného vzorku (většinou 30 cm) [cm]

r...poloměr hlavice sondy (r= 1,25 cm)

Zásoba uhlíku ve vzorku (SOC) do hloubky 30 cm

$$SOC = C_{conc} * BD * JF * H \quad \left[\frac{kg}{m^2} \right] \quad [4]$$

C_{conc} ...koncentrace uhlíku ve vzorku [%]

BD...objemová hmotnost vzorku půdy $\left[\frac{g}{cm^3} \right]$

JF...podíl jemné frakce ve vzorku [%]

H...hloubka odebraného vzorku

S...plocha odběrového místa (odběrové místo je kruh o poloměru 12,62 m, $S = 500,1 \text{ m}^2$)

6. Předběžné výsledky

Z dosud zpracovaných vzorků (200) jsem zjistila, že v lesní půdě se obsah uhlíku pohybuje okolo 1% - 16% v průměru 4,43%, což je v přepočtu [vzorec 4] 7,8 kg/m² do hloubky 30 cm. Směrodatná odchylka je 3,46. Při dopracování lesního ekosystému by se tyto hodnoty již neměly příliš změnit, protože výsledky ze 200 vzorků mají již velkou vypovídací hodnotu.

Statistické zpracování dat

Stanovený obsah C jsem srovnala s charakteristikami lokalit, které jsou dostupné v databázi IFERu. Tyto charakteristiky jsem použila jako nezávisle proměnné a pomocí statistické metody ANOVA jsem zjišťovala, které proměnné mají průkazný vliv na obsah uhlíku v půdě. Pokud v testu vyšla pravděpodobnost $p < 0,05$ byly rozdíly považovány za statisticky průkazné. Z tabulky je tedy patrné, že množství uhlíku v lesní půdě ovlivňuje **typ reliéfu, dominantní dřevina, pokryvnost travinami, keříky a plazivými keříky, mocnost humusu, typ humusu, hloubka půdy, typ materiálu opadu a typ lesa.**

Tabulka 1: Hodnoty průkaznosti proměnných

Proměnné	Úrovně proměnných	C	p
Typ reliéfu	rovina, úpatí svahu, střední část svahu, vrcholky hor	ANO	0,025
Expozice	rovina, sever, jih, východ, západ	NE	0,498
Kategorie lesa	vysoký, nízký, střední	NE	0,293
Bohatost struktury lesa	les s jednoduchou strukturou, podrostní, s bohatou struk.	NE	0,981
Dominantní dřevina	smrk, borovice, dub, buk	ANO	0,040
Celk. pokryvnost přízemní vegetací	nízká 0-5%, střední 6-50%, vysoká 51-100%	NE	0,590
Pokryvnost travinami	nízká 0-5%, střední 6-50%, vysoká 51-100%	ANO	0,014
Pokryvnost bylinami	nízká 0-5%, střední 6-50%, vysoká 51-100%	NE	0,459
Pokryvnost mechy	nízká 0-5%, střední 6-50%, vysoká 51-100%	NE	0,157
Pokryvnost kapradinami	nízká 0-5%, střední 6-50%, vysoká 51-100%	NE	0,755
Pokryvnost keříky	nízká 0-5%, střední 6-50%, vysoká 51-100%	ANO	0,000
Pokryvnost plazivými keříky	nízká 0-5%, střední 6-50%, vysoká 51-100%	ANO	0,040
Pokryvnost keří	nízká 0-5%, střední 6-50%, vysoká 51-100%	NE	0,328
Mocnost humusu	malá 16-50 mm, střední 51-100 mm, vysoká nad 100 mm	ANO	0,000
Typ humusu	mull, moder, mor	ANO	0,000
Půdní druh	lehká, středně těžká, těžká půda	NE	0,056
Hloubka půdy	do 30 cm, nad 30 cm	ANO	0,003
Ovlivnění půdy vodou	půdy trvale ovlivněné, přechodně ovlivněné, neovl. vodou	NE	0,110
Skeletovitost půdy	silně skeletovité půdy 50%, ostatní	NE	0,894
Typ materiálu opadu	jehličí, listí, traviny, mechy	ANO	0,035
Typ lesa	jehličnatý, listnatý	ANO	0,017

7. Finanční zhodnocení projektu pro všechny ekosystémy

Dopracování lesního ekosystému

Mzdové náklady

Zpracování vzorků (příprava k analýze, statistické zpracování)
-1 rok práce na plný úvazek + zdravotní sociální pojištění **200 000**

Věcné náklady

C/N analýza 190 Kč/vzorek (300 x 190 Kč) **57 000**

Sondýrka **15 000**

Spotřební materiál **10 000**

Cena pro dodělení lesního ekosystému 282 000 Kč

Travní ekosystém

Mzdové náklady

Odběr vzorků - práce 6 měsíců pro dvě osoby **300 000**

Zpracování vzorků - 1,5 roku práce na plný úvazek **350 000**

Věcné náklady

C/N analýza (500 x 190 Kč) **100 000**

Spotřební materiál **10 000**

Celková cena za zpracování travní půdy 750 000 Kč

Zemědělský ekosystém

Mzdové náklady

Odběr vzorků - práce 6 měsíců pro dvě osoby **300 000**

Zpracování vzorků - 1,5 roku práce na plný úvazek **350 000**

Věcné náklady

C/N analýza (500 x 190 Kč) **100 000**

Spotřební materiál **10 000**

Celková cena za zpracování orné půdy 750 000 Kč

Režijní nákladů

- 15% z věcných nákladů **45 000**

Vytvoření databáze

- 2 měsíce práce **60 000**

Konečná částka

1 887 000 Kč

Žádám o 100% podporu projektu.

8. Časový plán práce

	1. pol. 2012	2.pol. 2012	1. pol. 2013	2. pol. 2013	1. pol. 2014	2. pol. 2014
dopracování lesních půd						
odběr vzorků travních půd						
zpracování travních vzorků						
odběr vzorků orných půd						
zpracování orných půd						
vyhodnocení výsledků						

9. Závěr

Realizací tohoto projektu vznikne první ucelená databáze obsahující množství uhlíku v povrchových vrstvách půdy v lesních, travinných a orných ekosystémech. Odběry jsou koncipovány tak, aby se množství uhlíku dalo snadno porovnávat v jednotlivých ekosystémech. Jelikož při odběru se stanoví i přesná poloha, je možné projekt za několik let zopakovat a porovnat vývoj množství uhlíku i během různých časových úseků.

Takto vzniklá databáze by mohla být k dispozici všem veřejným subjektům, které se budou danou problematikou zabývat. Též by pomocí této databáze mohlo být potvrzeno, zda největším zásobníkem organického uhlíku na území České republiky jsou opravdu lesní půdy.

Tento projekt se prolíná s projektem CzechTerra, jehož zodpovědným řešitelem je firma IFER. V rámci projektu CzechTerra byl navržen inventarizační systém České republiky a metoda stratifikovaného způsobu odběru. V rámci projektu CzechTerra byly již odebrány vzorky z celého lesního ekosystému a bylo zpracováno a vyhodnoceno již 200 vzorků z 509 pro lesní ekosystém. V rámci projektu CzechTerra jsem testovala metodiku stratifikovaného odběru, která byla navržena Hanou Šantrůčkovou a Emilem Ciencialou. Dále jsem zpracovala vzorky z lesních ekosystémů a podílela se na jejich předběžném vyhodnocení. Můj projekt by měl na CzechTerra navazovat, dopracovat lesní ekosystém a pokračovat v dalších ekosystémech.

10. Literatura

Batjes N. H., Sombroek W. G. 1997. Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils, *Global Change Biology*, 3, 167-173

Brady C. N. 1990. The nature and properties of soils, tenth edition, Macmillan publishing company, New York, USA, 279-294

Berner R.A., Lasaga A.C. 1989, Modeling the geochemical carbon cycle. *Scientific American* 260 (3): 74-81

Bičík I., Budňáková M., Čermák P., Čtyroká J., Dreslerová D., Fiala P., Hauptman I., Janderková J., Jech K., et al. 2009. Půda v České republice, první vydání, Consult Praha, Praha

Černý M. 2010. Výroční zpráva k projektu SP/2d1/93/07 CzechTerra

Dixon R. K., Brown S., Houghton R. A., Somonon A. M., Trexler C, Wisniewski J., 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems, *Science*, 263, 185-190

Forman T. T. F., Gordon M. 1993, Krajinná ekologie, první vydání, Akademie, Praha

Killham K. 2001. Soil Ecology, first edition, Cambridge university press, Cambridge, 40-61

Jobbágy E. G., Jackson R. B. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation, *Ecological Applications*, 10 (2), 423-436

Klimo E. 2003. Lužní les jako významný biom nívné krajiny, *Pedologické dny 2003*, Sborník příspěvků z konference Ochrana a využití půdy v nívních oblastech, Brno, 39-41

Kutílek M. 2001. Půda a bilance CO₂ v ovzduší, *Vesmír* 80, 153, [2001/3](#)

Lapka. M., Cudlíková. E. 2008. Úvod do krajinné ekologie pro rozvoj venkova, první vydání, Ekonomická fakulta Jihočeská univerzita, Česko Budějovice

Melillo A., Aber J. D. 2001. Terrestrial Ecosystems, Second edition, A Harcourt Science and Technology Company, San Diego, USA

Nieder R., Benbi D.K. 2008. Carbon and Nitrogen in the Terrestrial Environment, first edition, Springer, Germany

Oulehle F., Hruška J. 2009. Lesy v globálním koloběhu uhlíku, Vesmír 88, 496, [2009/7](#)

Schlesinger W. H. 1991. Biogeochemistry. An analysis of global change, second edition, Academic press, San Diego, USA, 358-382

Stevens V. 1997. The ecological role of coarse woody debris: an overview of the ecological importance of CWD in B.C. Forests, Ministry of forest research program, British Columbia, Victoria Pap. 30/1997

Stevenson F.J., Cole M.A. 1999. Cycles of soil, second edition, John Wiley and Sons, Canada, 46-74

Six J., Elliott E.T., Paustian K., Doran J.W. 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils, Soil Science Society of America, 63, 1350-1358

Šantrůčková H. 2001. Ekologie půdy, první vydání, Jihočeská univerzita, České Budějovice

Šantrůčková H., Kaštovská E., Kozlov D., Kurbatova J., Livečková M., Shibistova O., Tatarinov F., Lloyd J. 2010. Vertical and horizontal variation of carbon pools and fluxes in soil profile of wet southern taiga in European Russia, Boreal environment research, 15, 357-369

Šourková M., Frouz J., Šantrůčková H. 2005. Accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus during soil formation on alder spoil heaps after brown-coal mining, near Sokolov, Geoderma, 124, 203 – 214

Šimek M. 2008. Skleníkové plyny v půdě, Vesmír 87, 674, [2008/10](#)

Šimek M. 2007. Základy nauky o půdě, 1. Neživé složky půdy, druhé vydání, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice

Trumbore S. E. 1997. Potential responses of soil carbon to global environmental change, National Academy Of Science, 94, 8284-8291

Wollast, R., Mackenzie F. T., Chou L. 1991. Interactions of C, N, P and S, first edition, Springer-Verlag, Berlin, Germany

Inventarizace krajiny CzechTerra 2010, Koncepce a výstupy programu, Zodpovědný řešitel Černý M.,

Internetové zdroje

Tans P., Keeling R. 2011, Trends in carbon dioxide,
<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

Vašků Z. 2007, Půda je naším největším bohatstvím, (<http://www.ochranapudy.cz/?c=puda-je-nasim-nejvetsim-bohatstvim>)

Milne E. 2009, Soil organic carbon, http://www.eoearth.org/article/Soil_organic_carbon
<http://www.isric.org>

Sbírka zákonů. 1998. (http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe_uplna-zneni_Vyhlaska-1998-275-rostlinnekomodity.html)

www.calla.cz

(http://web2.mendelu.cz/af_222_multitext/trek/index.php?N=0&I=0)