

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA BIOLOGIE EKOSYSTÉMŮ



Bakalářská práce
Kvantifikace zásoby dusíku v půdě
v závislosti na typu lesa

Vypracovala: Veronika Stupková
Vedoucí práce: Doc. Ing. Emil Cienciala, Ph.D.
Konzultant: Prof. Ing. Hana Šantrůčková, Csc.

České Budějovice 2009

Stupková, V., 2009: Kvantifikace zásoby dusíku v půdě v závislosti na typu lesa [Quantifying nitrogen stocks in soil, in relation to forest type. Bc. Thesis, in Czech.] - 36 p., Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Anotace

The aim of the bachelor thesis *Quantification reserves of nitrogen in the soil, depending on the type of forest* is to test and adapt methodology for the determination of nitrogen content and ratio of C/N in forest soils. This work is linked to the project *CzechTerra - Adaptation of landscape carbon reservoirs in the context of global change, Segment 3: Development of dynamic observational network providing information on state and development of ecosystems and land use*, conducted by IFER - Institute of Forest Ecosystem Research. The output of this project will serve as a source of information for evaluating the status and development of the landscape and as a tool for strategic planning.

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 Přírodovědeckou fakultou - elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

České Budějovice 30.12. 2009

.....

Veronika Stupková

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala Prof. Ing. Haně Šantrůčkové, Csc. za poskytnutí materiálů a rady při psaní této literární rešerše. Dále Doc. Ing. Emilu Cencialovi, Ph.D. za vedení práce, Ing. Tomáši Pickovi, Ph.D. za pomoc při metodických postupech a Gabriele Kotrbové za spolupráci v laboratoři.

Obsah

1. Úvod.....	5
2. Literární přehled.....	8
2.1. Lesní ekosystémy.....	8
2.2. Dusík v půdě.....	10
2.2.1. Půda, její funkce a složení.....	10
2.2.1.1. Závislost rostlin na půdě.....	11
2.2.1.2. Vliv rostlin na půdu.....	12
2.2.2. Význam dusíku v půdě v lesních ekosystémech.....	13
2.2.3. Procesy přeměn a cyklus dusíku v terestrických ekosystémech.....	13
2.2.3.1. Vstup dusíku do ekosystému.....	14
2.2.3.2. Procesy přeměn dusíku.....	15
2.2.3.3. Ztráty dusíku z ekosystému.....	16
2.2.3.4. Vliv N na růst dřevin.....	16
2.3. Dusík a uhlík, poměr C/N.....	18
2.4. Vliv obsahu N a poměru C/N na dekompozici a uvolňování skleníkových plynů.....	20
2.4.1. Vliv obsahu N a poměru C/N na dekompozici.....	20
2.4.1. Vliv obsahu N a poměru C/N na uvolňování skleníkových plynů.....	21
3. Metodiky.....	23
3.1. Metodika monitoringu půd.....	23
3.2. Metodika vzorkování.....	24
3.3. Metodika analýzy půdního odběru.....	26
3.3.1. Příprava vzorků k analýzám.....	26
3.3.2. Sušina.....	26
3.3.3. Objemová hmotnost (redukovaná).....	27
3.3.4. pH půdy.....	27
3.3.5. Stanovení celkového obsahu uhlíku (C), dusíku (N) a poměru C/N.....	28
3.3.6. Statistické zpracování dat.....	29
4. Předběžné výsledky.....	30
5. Návrh plánu řešení pro magisterskou práci.....	32
6. Závěr.....	33
7. Použitá literatura.....	34

1. Úvod

Dusík patří k nejvýznamnějším faktorům ovlivňujícím chemismus půd a růstové poměry v lesních ekosystémech, jejich zdravotní stav a ekologickou stabilitu lesa. Depozice dusíku je dnes nejdynamičtěji se vyvíjejícím antropogenním faktorem působícím na les. Změny v depozici dusíku se promítají jak do produkce biomasy, tak i do intenzity rozkladu odumřelé organické hmoty. To mj. ovlivňuje bilanci skleníkových plynů. Poměr C/N v půdě patří k preferovaným indikátorům stavu lesa, který je nutno sledovat. Obsah dusíku v půdě je nejčastějším limitujícím prvkem pro rostliny a poměr C/N se snižuje právě se zvyšující se depozicí dusíku. Pro rychlost a průběh rozkladu rostlinné biomasy je velmi důležitý poměr C/N, který je v různých organických materiálech rozkládaných mikroorganismy různý. Čím větší je poměr C/N, tím méně organickým materiálem vstupuje dusíku a tím pomalejší je rozklad organické hmoty (Lorencová 2007). Kvantifikace dusíku ve svrchních horizontech lesních půd na úrovni republiky pomocí statistického vzorkování umožní analýzu obsahu dusíku a poměru C/N v půdě podle hlavních typů lesa a posouzení významnosti charakteru lesa a stanoviště na úrovni republiky. V tomto prostorovém měřítku dosud není řešena žádná podobná inventarizace, která by poskytovala informace o množství a změně množství dusíku a poměru C/N ve svrchních horizontech půdy v závislosti na typu lesa.

Celá práce je prováděna v rámci projektu *CzechTerra – Adaptace uhlíkových deponií v krajině v kontextu globální změny*, pod pracovním segmentem 3 – *Rozvoj dynamické observační sítě poskytující informace o stavu, vývoji ekosystémů a využití krajiny*, který má termín řešení srpen 2007 – prosinec 2011 (Černý 2007). Cílem třetího pracovního segmentu projektu CzechTerra je vytvořit efektivní systém v celorepublikovém měřítku, který by sloužil jako zdroj informací pro vyhodnocování stavu a vývoje terestrických ekosystémů a celkové využívání krajiny. Bude sloužit jako nástroj strategického plánování a udržitelného rozvoje krajiny. Systém bude vykazovat veškeré parametry na mezinárodní úrovni tak, aby byl využitelný pro státní instituce v souladu s mezinárodními úmluvami. Jedná se o Ministerskou konferenci o ochraně evropských lesů, Rámcovou úmluvu OSN o změně klimatu a její Kjótský protokol a Úmluvu o biodiverzitě.

Ministerská konference o ochraně evropských lesů (MCPEE) je výsledkem úsilí pan-evropského procesu, který byl zaměřen na zachování životaschopných lesů

obhospodařovaných na základě principu trvalosti s co největší mírou využití přirozených postupů. Zástupci zúčastněných států Ministerské konference podepsali pět rezolucí zaměřených na vhodné využívání lesů. Rezoluce č.1 je zaměřena na podporu hospodaření v lesích prostřednictvím Národního lesnického programu (NLP) a spolupráce mezi jednotlivými resorty. Rezoluce č.2 se zabývá ekonomickou stránkou hospodaření v lesích a zdroji financování. Třetí rezoluce se zabývá sociálně-kulturním hlediskem, především vzdělávání společnosti v oblasti hospodaření v lesích. Rezoluce č.4 se zabývá diverzitou lesa, neboť právě druhová rozmanitost je hlavním faktorem stability lesa. Jedná se o vymezení biocenter, biokoridorů a chráněných území. V poslední rezoluci je zmiňována změna klimatu, tak aby vyhovovala Kjótskému protokolu a Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu (<http://www.silvarium.com>).

Cílem Úmluvy o biologické rozmanitosti (Sbírka zákonů č. 134/1999) je ochrana rostlinných a živočišných druhů, jejich genetického základu, ekosystémů a ochrana trvalého využívání složek ekosystémů. Státy mají právo využívat své zdroje v souladu s politikou životního prostředí, ovšem jsou povinni postupovat tak, aby svým jednáním nezpůsobovaly škody na území cizích států (<http://www.ochranaprirody.cz>).

Podle Kjótského protokolu, který je součástí Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu, se průmyslově rozvinuté země zavázaly snížit emise skleníkových plynů v úhrnu o 5,2% do let 2008 - 2012 oproti roku 1990. Konkrétně pro ČR byla určena hodnota 8%. Jedná se především o oxid uhličitý (CO₂), metan (CH₄), oxid dusný (N₂O) a halogenové uhlovodíky HFC, PFC, SF₆. Při výpočtu povoleného množství pro jednotlivé plyny je potřeba vycházet z účinku plynů. Nejvýznamnějším skleníkovým plynem antropogenního původu je oxid uhličitý (CO₂). Jeho účinek není tak silný jako účinek oxidu dusného (N₂O), ovšem vysoké je jeho množství emitované do ovzduší (<http://www.ekolist.cz>). Lesní ekosystémy jsou spojeny s daleko menšími emisemi CO₂, než například zemědělské půdy. V podmínkách našeho lesnického hospodaření by lesy i nadále mohly snižovat emise skleníkových plynů, a to akumulací uhlíku v lesích využitím vhodných hospodářských postupů a dřevo by mohlo také částečně nahradit neobnovitelné zdroje energie.

Projekt *CzechTerra* je reakcí na stávající situaci ohledně potřeb ucelených informací o ekosystémech v České Republice. V současné době sice existují informace o stavu a vývoji ekosystémů a celkovém využívání krajiny, ovšem veškeré tyto informace nejsou nijak

ucelené, nemají shodné prostorové ani věcné měřítko a nejsou vždy v souladu s požadavky mezinárodních úmluv. Cílem celého projektu je vytvořit systém, který je koncipovaný v národním měřítku. Šetřené veličiny budou vykazovat údaje na úrovni republiky, budou využitelné pro státní instituce a především budou použitelné pro mezinárodní výkaznictví.

Nejprve bylo nutné stanovit pravidla pro vytváření takového systému. Dále musely být zanalyzovány informační potřeby klíčových mezinárodních úmluv, které determinují rozsah šetřených aspektů. Musel být určen vhodný postup při inventarizaci krajiny, vytvořena efektivní metodika pro sběr a klasifikaci dat a v neposlední řadě zajištěna logistika a zpracování dat.

Cílem bakalářské práce je otestovat a upřesnit metodiku pro stanovení obsahu dusíku a poměru C/N v půdách odebraných v rámci celorepublikového projektu CzechTerra, na kterém pracuje IFER - Ústav pro výzkum lesních ekosystémů, s.r.o., - toto zpracování přispěje k vytvoření celorepublikového informačního systému o stavu půd v lesních ekosystémech. Tento informační systém pro Českou republiku dosud chybí. V budoucnosti bude sloužit i pro další potřeby sledování krajiny a terestrických ekosystémů, jako je vytváření managementu v daném prostředí. Dalším cílem práce je získat, vyhodnotit a navrhnout interpretaci výsledků na základě předběžných analýz o množství dusíku ve svrchních horizontech půdy v lesních ekosystémech a poměr C/N v závislosti na typu lesa. Pro hodnocení poměru C/N jsou zapotřebí údaje o půdním uhlíku, právě proto je toto téma *Kvantifikace zásoby dusíku v půdě v závislosti na typu lesa* řešeno spolu s tématem *Kvantifikace zásoby půdního uhlíku v závislosti na typu lesa*.

2. Literární přehled

2.1. Lesní ekosystémy

Ekosystém je funkční ekologický systém, tvořený biocenózou - souborem populací organismů a biotopem - jejím prostředím (*Rajchard 2002*). Je to dynamický systém živých organismů v prostředí, které mezi sebou určitým způsobem komunikují a současně žijí v interakcích s vnějším prostředím. Ekosystém je v neustálém vývoji. Nikdy není přesně definováno, jakou rozlohu by měl ekosystém mít. Proto můžeme za ekosystém považovat les, louku, vodní přehradu nebo naopak třeba obyčejnou louži na silnici.

Na strukturu ekosystému lze pohlížet ze dvou hledisek:

1.trojčlenná struktura, kdy se na rovnováze podílejí tři typy organismů, producenti (zelené rostliny), konzumenti (živí se organickou hmotou), destruenti (rozkládají mrtvou organickou hmotu).

2.dvoučlenná struktura je výsledkem rozdělení ekosystému na složku tvořenou živými organismy (biocenózu) a jejich životní prostředí, které tvoří abiotické podmínky (ekotop, popř. biotop) (*Rajchard 2002*).

Ekosystémy dále rozdělujeme na přirozené a uměle vytvořené člověkem. Přirozené ekosystémy se vyznačují přirozeným vývojem, bez zásahu člověka. I díky tomu jsou schopné lepší autoregulace po vnějším zásahu. Umělé ekosystémy jsou podmíněny zásahu člověka, nevyvíjejí se zcela přirozeně a jejich obnova po působení vnějšího vlivu je podmíněna opět zásahu člověka. V našem případě jsme studovali lesní ekosystémy, které byly většinou uměle vytvořené člověkem. I když les může vznikat přirozenou cestou, pokud se ponechá obnově způsobené náletovými dřevinami z matečného porostu, zastoupení takových porostů je nízké, přirozené obnově se nechávají pouze lesy s určenou ochranou. V České republice jsou nejčastějším typem kulturní lesy s převahou monokulturních smrčín, které byly hojně vysazovány pro svůj hospodářský význam.

Rozšíření původních dřevinných druhů pro Českou republiku je určeno nadmořskou výškou a množstvím srážek na území (*Vinš 1996*). Na podnebí ČR má vliv neustálé mísení oceánského a kontinentálního proudění, což způsobuje poměrně časté srážky, nadmořská výška a reliéf krajiny. Z celkové rozlohy ČR 67 % území leží v nadmořské výšce do 500 metrů, 32% ve výšce 500 - 1000 m.n.m. a pouze 1% území leží ve výšce nad 1000 m.n.m. Průměrná nadmořská výška ČR je 430 m.n.m. Lesy zaujímají asi 33% z celkové rozlohy ČR a nejrozšířenějším půdním typem jsou hnědé půdy - kambizemě (<http://web.czu.cz>). Podle lesních vegetačních pásem odpovídá přirozená vegetace ČR dubobukovému a jedlobukovému pásnu (<http://www.mzp.cz>).

Zákon č. 289/1995 Sb., Zákon o lesích definuje les následujícím způsobem: Lesní ekosystémy, tedy lesy, jsou všechny pozemky určené k plnění funkcí lesa a nacházejí se na porostní půdě. Funkcemi lesa se rozumí přínosy podmíněné existencí lesa, které se člení na produkční a mimoprodukční.

Jako produkční funkce se tedy rozumí zejména produkce dřeva. Ovšem velmi důležité, z hlediska životního prostředí, jsou právě mimoprodukční funkce lesa. Tedy klimatická, vodohospodářská, protierozní, půdoochranná, zdravotní, hygienická i rekreační. Les svou produkcí kyslíku a zvyšováním vzdušné vlhkosti ovlivňuje klima krajiny, zadržuje srážkovou vodu a zpomaluje její odtok, brání i rychlé erozi půdy, jako je tomu například u polí a luk (*Mráček 1959*). První přísná ochranná opatření lesů proti vypalování na úkor získání zemědělské a stavební půdy byla zakotvena za Karla IV. v zákoníku *Maiestas Carolina* z roku 1350, jako reakce na netušený rozvoj našeho hospodářství za jeho panování vznikl v roce 1372 první lesní řád (<http://www.lesnictvi.cz>). Dnes platí lesní zákon z roku 1995, *Zákon č. 289/1995 Sb., Zákon o lesích*.

2.2. Dusík v půdě

2.2.1. Půda, její funkce a složení

Půda představuje svrchní, porézní, zvětralou vrstvu zemské kůry, která je složena z minerálních částic, živých organismů a organických látek v různém stupni rozkladu a přeměn. Je prostoupena vodou a vzduchem, důležitý je zde fakt, že tvoří médium pro rostliny a živočichy, a to jak terestrické, litorální i bentické (*Bumerl 1995*).

Půda je jeden z nejdůležitějších přirozených zdrojů. Je základem suchozemských ekosystémů a pochopení procesů v půdě je podstatou jejího správného využívání. Je základem pro život na Zemi. V ekosystému má pět klíčových rolí. Je základním médiem pro růst rostlin, kterým poskytuje především živiny, vlastnosti půdy určují charakter vegetace. Další funkcí je regulace vodního systému. Půda má schopnost zadržovat a pročišťovat vodu. Ve své třetí roli plní půda recyklační funkci. Odumřelá těla organismů a zbytky rostlin jsou rozkládány a dále využívány dalšími organismy. Další důležitou úlohou je poskytnutí prostoru pro půdní organismy. Poslední funkce je urbanizační, tedy poskytnutí prostoru pro novou výstavbu (*Brady, Weil 2002*).

Půda je tvořena látkami ve všech typech skupenství. Nazývají se fáze, u půd tedy rozeznáváme fázi tuhou, tekutou a plynnou. Tuhou fází představují pevné částice minerálního a organického původu. Minerální částice vznikají rozdrobením matečné horniny. Jejich podíl činí 95 - 99 % a je tvořen převážně úlomky hornin a minerálů. Organický podíl je tvořen zbytky odumřelých rostlin a živočichů a organismy žijícími v půdě, představuje zbylých 1 - 5 % tuhé fáze půdy. Činností dekompozitorů, kteří se živí odumřelými organismy, vzniká humus. Organický podíl je ukazatelem úrodnosti půd (*Bumerl 1995*).

Další fází představuje půdní voda, která je získána z vody srážkové, rozpouští se v ní některé, ve vodě rozpustné minerály, čímž je v podstatě z vody vytvářen půdní roztok. Voda v půdě umožňuje zvětrávání, zajišťuje transport látek, je důležitá jako tepelný regulátor, ovlivňuje přilnavost a soudržnost půdních částic a především je nezbytnou podmínkou života všech organismů (*Bumerl 1995*).

Plynnou fází představuje půdní vzduch. Vyplňuje veškeré volné prostory v půdě, pokud v nich není půdní voda, je potřebný pro dýchání organismů a umožňuje oxidační procesy. Jeho složení není totožné se vzduchem atmosférickým; je chudší na kyslík a naopak bohatší na oxid uhličitý. Toto zvýšené množství oxidu uhličitého je způsobeno dýcháním organismů a kořenů rostlin.

2.2.1.1. Závislost rostlin na půdě

Půda slouží pro rostlinu jako medium jejího růstu. Rostliny jsou díky půdě dobře ukotveny v prostředí, získávají vzduch, vodu, teplotní zmírnění, ochranu před toxiny a živiny. Půdní medium zabezpečuje ukotvení kořenového systému tak, aby se rostlina nemohla převrhnout. Ta je pak odolná vůči větru, sněhu a dalším sněhovým podmínkám. Kořenový systém získává energii z procesů respirace a ventilace, kdy vstupuje kyslík do kořenů rostlin, tyto procesy probíhají skrz půdní póry. Stejně důležité jsou póry v půdě pro absorpci vody, kterou zadržují, aby byla voda využita kořeny rostlin ve vhodné době. Rostlina si pomocí vody reguluje teplotu, využívá jí pro transport látek, vyrovnávání napětí a pro fotosyntézu. Půda tlumí teplotní kolísání prostředí pro rostliny. Izolační vlastnosti půdy chrání hlubší části kořenového systému před extrémním teplem nebo zimou. V půdě je možný výskyt fyto toxinů, které většinou pocházejí z lidské činnosti, z činnosti mikroorganismů, nebo z přirozených reakcí probíhajících v půdě. Půda chrání rostliny před nebezpečnými toxiny odvětráváním plynů přes průduchy, rozkladnými reakcemi, pohlčováním organických toxinů. Půda zásobuje rostliny anorganickými a minerálními látkami ve formě rozpustných iontů. Jsou to především draslík, vápník, železo, měď, dusík, síra, fosfor a bór (*Brady, Weil 2002*).

Anorganické látky obsažené v půdě jsou zdrojem živin potřebných pro růst a vývoj rostlin. Tyto látky se do půdy dostávají zvětráváním původní matečné horniny, z atmosféry nebo rozkladem z organických zbytků. Rostliny jsou závislé na tom, v jaké formě se potřebné látky vyskytují, neboť jsou schopné přijímat pouze rozpuštěné látky. 98% živin v půdě je ovšem vázáno v těžko rozpustných sloučeninách, 2% živin jsou vázány na půdní koloidy a

jen kolem 0,2% živin je snadno dostupných pro rostliny (*Bumerl 1995*).

Zvláště důležitou živinou je dusík, jehož zdrojem není matečná hornina, jako je tomu u ostatních prvků. Do půdy dostává především ze vzduchu, činností mikroorganismů fixujících vzdušný N (fixátorů N) nebo při bouřkách ve formě kyseliny dusičné nebo dusité a rozkladem organické hmoty. O zásobování rostlin dusíkem nerozhoduje jeho celkové množství v půdě, ale jen množství v přijatelných formách, tedy v podobě nitrátů amonných iontů a aminokyselin.

2.2.1.2. Vliv rostlin na půdu

Vegetace vždy ovlivňuje chemické složení půdy a je tomu tak i u lesních ekosystémů. Rostliny zabudovávají potřebné látky do svých těl a po odumření jsou tyto látky rozkladnými procesy uvolňovány zpět do půdy. Rychlost rozkladných procesů a jejich vliv na půdu závisí na složení rostlinného opadu (*Bumerl 1995*). Nejrychleji se rozkládá rostlinný opad s nízkým obsahem ligninu, fenolických látek a vosků s vysokým obsahem dusíku. Naopak nejpomaleji se rozkládá opad s vysokým obsahem ligninu, fenolických látek a vosků s nízkým obsahem dusíku (*Šantrůčková, ústní sdělení*). Opad svým charakterem ovlivňuje kromě uvolňování živin do půdy i její pH. Půda pod listnatými lesy je bohatší na vápenaté, hořečnaté a draselné kationty, než půda pod jehličnatými lesy. Jehličnaté stromy okyselují půdu svým opadem a naopak listnaté udržují půdu neutrální až zásaditou (*Bumerl 1995*).

V profilu lesních půd lze vertikálně rozlišit organický a minerální horizont. Organický humusový horizont je nejsvrchnější a biologicky nejaktivnější částí lesních půd. Jsou rozlišovány tři typy půdního humusu lesních půd: mor, moder, mull. Mor (surový humus) charakterizuje vysoká vrstva nerozloženého opadu a vysoký poměr C/N (>30). Moder (drť) je přechod mezi vrstvami mor a mul, poměr C/N se pohybuje kolem 20. Mull (měl) charakterizuje tenká vrstva nerozloženého opadu, vysoká biologická aktivita a poměr C/N se pohybuje v rozmezí 10-20 (*Hruška, Cienciala 2005*).

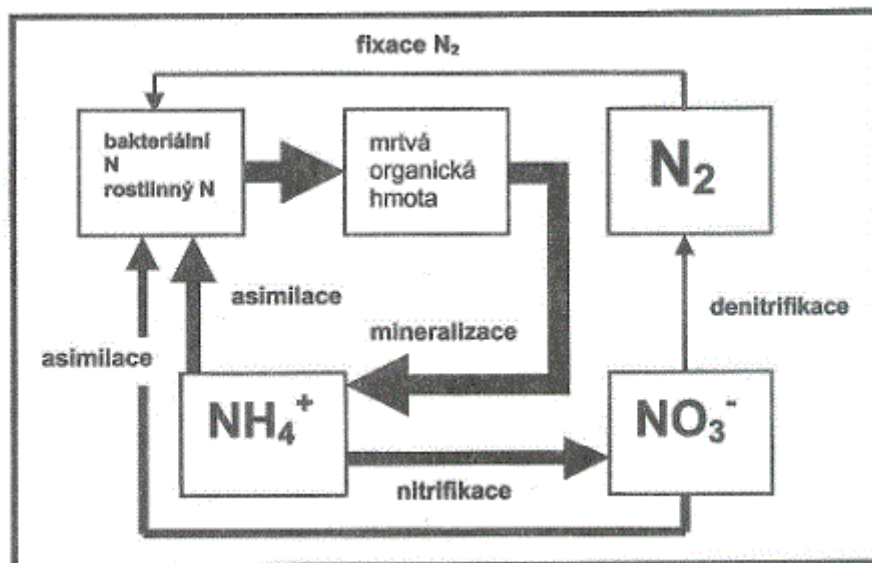
2.2.2. Význam dusíku v půdě v lesních ekosystémech

Dusík představuje jeden z nejdůležitějších prvků. Je nepostradatelný při tvorbě biomasy a především je důležitou součástí mnoha buněk a látek, jako jsou například aminokyseliny, bílkoviny, nukleové kyseliny, nebo chlorofyl. Dusík ovlivňuje růstové poměry v lesích a chemismus půd (*Pregitzer 2008*). To má vliv na zdravotní stav a ekologickou stabilitu lesa. V lesních ekosystémech je nejdůležitějším vstupem dusíku dekompozice organické hmoty. Kromě toho měly v druhé polovině minulého století velký vliv na pH půdy kyselá dešť. Na půdách ovlivněných kyselou depozicí probíhá pomalejší rozklad opadu, dochází k vyplavování živin a zvyšuje se toxicita hliníku (*Šantrůčková, ústní sdělení*). Od depozice dusíku se odvíjí produkce biomasy a rychlost rozkladu odumřelé organické hmoty, což ovlivňuje bilanci skleníkových plynů. Poměr C/N patří k důležitým indikátorům rychlosti rozkladu a používá se také jako indikátor stavu lesa. V půdě je množství dusíku stanoveno v rozmezí 0,2 – 0,4 %, což představuje 2,7 - 14,6 tun N / ha. Většina je vázána v organické hmotě a pouze řádově několik procent je ve formě minerální (*Šantrůčková 2001*).

Dusík je důležitou živinou pro růst rostlin a v půdě bývá často limitujícím prvkem. Přídavkem dusíku atmosférickou depozicí je možno limitaci dusíkem snížit až odstranit, ovšem při přemíře dusíku dochází k poklesu stability ekosystému (*Churkina et al. 2007*). Lesní ekosystémy jsou na nízkou dostupnost dusíku adaptovány a jejich druhová diverzita je zpravidla vyšší. Většina druhů rostlinných společenstev těchto ekosystémů je totiž kompetičně úspěšná právě a jen při nízké dostupnosti dusíku. Dlouhodobě zvýšený vstup dusíku do ekosystému může být z těchto důvodů příčinou změn v jeho druhovém složení (*Hruška, Cienciala 2005*).

2.2.3. Procesy přeměn a cyklus dusíku v terestrických ekosystémech

V půdě je 93,5% dusíku vázáno v organických látkách (zbytek v minerálních látkách). Z toho 96% je v mrtvé organické hmotě a jen 4% v biomase (z toho 94% v rostlinách). Půdní organická hmota je tedy zásobárnou dusíku pro půdní organismy a rostliny (*Šimek 2003*).



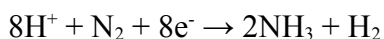
Obrázek 1: Cyklus dusíku v terestrických ekosystémech (převzato z: Šimek 2003)

Dva hlavní vstupy při cyklu dusíku jsou depozice dusíku a biologická fixace molekulárního N_2 . Poté nastává vnitřní cyklus, který je spojen s okolím prostřednictvím několika procesů: mineralizace, nitrifikace, imobilizace, spotřebovávání rostlinami a uvolnění v opadu. Ztráty dusíku nastávají při těžbě dřeva, erozi půdy (NH_4^+ , NO_3^- , organický N), vypařováním plynného amoniaku (NH_3) do ovzduší, při denitrifikaci, vyplavováním nitrátů (NO_3^-) a odnosem v biomase rostlin (Gundersen 1991).

2.2.3.1. Vstup dusíku do ekosystému

Dusík se dostává do terestrických ekosystémů biologickou fixací molekulárního dusíku za přispění bakterií, mineralizací organické hmoty, a suchou nebo mokrou depozicí.

K fixaci molekulárního dusíku (N_2) dochází za pomoci bakterií, které jsou vybaveny speciálním enzymem. Enzymový komplex známý jako nitrogenáza je přítomen pouze u určitých mikroorganismů. Nitrogenáza katalyzuje dvě současně probíhající, v živých organismech neoddělitelné, redukce: plynného dusíku a protonů (Sprent 1987).



Za každou redukovanou molekulu dusíku vznikne jedna molekula vodíku, za určitých okolností, je vytvořeno značně větší množství vodíku. Fixátoři N, kteří nejsou autotrofní, potřebují zdroj uhlíku, na kterém by rostli. Tento zdroj může být získán z prostředí (voda, půda, kořenové exudáty...). Pokud je přítomen dusík, organismy využívají také jej, neboť je to energeticky výhodné. Potom se dostávají do konkurence s dalšími organismy které využívají dusík. Fixace dusíku většinou probíhá v symbiotických systémech (rod *Rhizobium*, *Frankia*, *Nostoc*, *Anabaena*). Fixátoři N jsou zvláště důležití v zemědělství a lesnictví, kde doplňují dusík odstraněný zemědělskými plodinami nebo zvířaty (*Sprent 1987*). Význam biologické fixace dusíku spočívá v tom, že je hlavním mechanismem, kterým se získává dusík z, pro většinu organismů, nedostupné formy N_2 (z atmosféry). Symbióza mezi rostlinou a mikroorganismy hraje důležitou roli v úrodnosti půd, zlepšuje růst rostlin a jejich minerální výživu (*Hammerová 2006*).

Dalším vstupem dusíku do ekosystému je rozklad organické hmoty, která se rozkládá na jednoduché minerální formy a dusík se tak stává přístupným pro organismy. Organismy se liší velikostí od velkých až k velmi malým (mikroorganismy). Velikost sama o sobě může být problém při procesu mineralizace. Velká zvířata jsou rozkládána do menších jednotek řadou jiných zvířat a mikroorganismů. Dřevo velkých stromů je rozkládáno hlavně houbovými organismy, ale listy spotřebovávají bezobratlí. Mineralizace je řízena množstvím uhlíku a amoniakových iontů dostupných pro mikroorganismy (*Sprent 1987*).

Depozice neboli spad dusíku na zem probíhá díky chemickým reakcím různých dusíkatých sloučenin v atmosféře. Nejvýznamnější sloučeninou dusíku v atmosféře je amoniak, který poměrně snadno reaguje v ovzduší s vodními parami a přechází v iontovou formu (NH_4^+) (*Šimek 2003*)

2.2.3.2. Procesy přeměn dusíku

Hlavními procesy přeměn dusíku v půdě jsou fixace dusíku, nitrifikace, denitrifikace, mineralizace organické hmoty na amoniak a asimilace dusíku. Fixace N a mineralizace už byla zmíněna v předchozí kapitole.

Nitrifikace je oxidace amonné formy dusíku (NH_4^+) na nitrát (NO_3^-). Probíhá za přispění nitrifikačních bakterií rodů *Nitrosomonas* a *Nitrobacter*, které řídí nitrifikační reakce. Během celé reakce se vytváří 2H^+ za N, což může vést k okyselení prostředí (Sprent 1987).

Denitrifikace probíhá podle schématu: $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow [\text{NO}] \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$. Většina mikroorganismů a rostlin umí přijímat nitráty a přeměňovat je až na organický dusík. Pomocí enzymů nitrát reduktáza a nitrit reduktáza rostliny přeměňují nitráty na amonium a amonná forma dusíku je využita v biosyntéze látek (Sprent 1987).

Imobilizace znamená asimilaci dusíku a jeho zabudování do těl rostlin a organismů ve formě amonných a nitrátových iontů (Šimek 2003).

2.2.3.3. Ztráty dusíku z ekosystému

Ke ztrátám dusíku z terestrických ekosystémů dochází vyplavováním dusíkatých látek, denitrifikací, odnosem dusíku při erozi a těžbou dřeva. Pouze 7% veškerého dusíku obsaženého v porostní vegetaci je zabudováno v kořenech, větvích, jehlicích, kmeni a kůře stromů. 50% N je obsaženo v opadu a humusu a zbylých 43% zaujímá minerální vrstva (Šantrůčková, ústní sdělení). Vyplavování dusíkatých látek z půd vede především k eutrofizaci vod. Vyplavují se nitráty a spolu s nimi bazické kationty, čímž dochází k ochuzování svrchních vrstev půdy a k acidifikaci.

Procesem denitrifikace dochází k redukci oxidovaných forem dusíku (NO_3^- a NO_2^-) na sloučeniny N_2O a N_2 . Dochází k navrácení dusíku zpět do atmosféry, tím je ekosystém ochuzován o dusík jako o živinu a roste koncentrace oxidu dusného v atmosféře (Šimek 2003).

2.2.3.4. Vliv N na růst dřevin

Výzkumy ukazují, že rychlost růstu dřevin závisí na množství dusíku, to může vést k závěru, že lesní ekosystémy jsou schopny akumulovat větší spád dusíku z atmosféry, což povede k rychlejšímu růstu. Otázkou pak zůstává, zda ztráty dusíku způsobené denitrifikací budou větší v ekosystémech, které jsou nasyceny dusíkem (Gundersen 1991).

Depozice dusíku ovlivňuje zadržení uhlíku v temperátních lesích jen malou měrou. Lidská činnost významně ovlivňuje cyklus dusíku tak, že převádí relativně stálý atmosférický dusík do reaktivních forem. Emise NO_x vznikající při spalovacích procesech zvyšují vstup dusíku do lesních ekosystémů. Jelikož růst lesních ekosystémů je často limitován množstvím dusíku, při zvýšení depozice dusíku se zvyšuje i množství vázaného CO_2 hromaděním lesní biomasy (*Nadelhoffer 1999*).

2.3. Dusík a uhlík, poměr C/N

Uhlík je základem veškeré biomasy na Zemi, jeho zásobárnou je atmosféra, hlavně ve formě oxidu uhličitého (CO₂). Do atmosféry se dostává respirací rostlin a živočichů, rozkladem rostlinné a živočišné biomasy a spalovacími procesy. Naopak nejdůležitější ztrátou je proces fotosyntézy. Rostliny s obsahem zeleného barviva chlorofylu za využití energie ze slunečního záření pohlcují CO₂ a vodu. CO₂ přeměňují na energeticky bohaté cukry a vodu rozkládají na kyslík. Cukry dále využívají na stavbu vlastního těla. V lesních ekosystémech má uhlík asimilovaný do biomasy dlouhou dobu zadržení jednak díky dlouhověkosti stromů a jednak díky špatné rozložitelnosti dřeva, které obsahuje velké množství ligninu a je chudé na dusík (*Šimek 2003*).

Poměr C/N je důležitý z hlediska rychlosti rozkladu organické hmoty. Podle experimentu, který byl prováděn v severní Evropě bylo zjištěno, že přídavek dusíkatých hnojiv přímo úměrně ovlivňuje zásobu uhlíku v kořenech, kmenech, větvích a jehlicích stromů a ve svrchní organické vrstvě půdy. Přídavek dusíku zapříčiňuje větší zadržení uhlíku v lesních ekosystémech, protože čistá primární produkce ve většině lesů mírného pásma je limitována nedostatkem dusíku (*Gundersen 1991*). Na druhé straně dlouhodobý přídavek N snižuje poměr C/N v půdě i biomase a to zvyšuje dekompozici organické hmoty. Obvykle jsou zvýšeny procesy mineralizace N, nitrifikace, vyluhování N, emise N₂O, ale nebyly prokázány zvýšené emise CO₂ (*Aber et al. 1998*). Růstová odezva porostu závisí na dávce dusíku a úrodnosti půdy“ (*Hyvönen et al. 2008*). Bude nižší po hnojení dusíkatými hnojivy na půdách bohatých na živiny než na chudých půdách (*Ingerslev 2001*).

Dusíkatá hnojiva a depozice dusíku mohou ovlivňovat zásoby organického uhlíku v půdě a v biomase stromů. Zásoba C v půdě se mění jako důsledek změny mineralizace uhlíku – půdní respirace. Bylo pozorováno jak zvýšení tak i snížení respirace jako odpovědi na snížení poměru C/N. Větší množství N obecně urychluje rozklad rostlinných tkání s nízkým i vysokým obsahem ligninu (*Vries 2006*). Jehličnatý opad je bohatý na lignin, pozitivní vztah mezi poměrem C/N a CO₂ byl pozorován v humusové a opadové vrstvě půdy (*Persson*

2002). To, jestli budou rostlinné tkáně rozloženy až na oxid uhličitý nebo jestli v půdě zůstanou ve formě meziproduktů rozkladu, závisí i na dalších podmínkách půdního prostředí, jako je pH, dostupnost vody, zásobenost kyslíkem. V případě, že dochází k hromadění meziproduktů rozkladu, pak nedochází ke zvýšení produkce oxidu uhličitého, přestože se rostlinný materiál rychleji rozkládá. Zásoba C v biomase stromů se zvyšuje s přidavkem N, závisí i na dalších faktorech. Mladší stromy zadržují více C díky větší produkci, stejně tak jako určité druhy stromů (např. smrky). Dusík je v půdách využitelný pro růst stromů v závislosti na zeměpisné poloze, stavu půdy, druhu, věkové skladbě a složení a množství hnojiv (*Ernfors et al. 2007*).

2.4. Vliv obsahu N a poměru C/N na dekompozici a uvolňování skleníkových plynů

2.4.1. Vliv obsahu N a poměru C/N na dekompozici

Poměr C/N v organických zbytcích vztahující se k půdě je důležitý ze dvou důvodů:

1) velká konkurence mezi mikroorganismy a rostlinami o dostupný půdní dusík nastává, pokud organické zbytky s vysokým poměrem C/N obohatí půdu,

2) poměr C/N v organických zbytcích pomáhá rozpoznat míru jejich rozkladu a množství dusíku dostupného pro rostliny (*Brady, Weil 2002*).

Uvolňování minerálních forem dusíku využitelných pro výživu rostlin z organického materiálu probíhá prostřednictvím dekompozice (rozkladu odumřelých rostlinných a živočišných materiálů (*Hruška, Cienciala 2005*). Během dekompozice dochází k procesům mineralizace a imobilizace dusíku v závislosti na množství dusíku v půdě a tak i na poměru C/N. Tomuto procesu napomáhají půdní organismy a půdní enzymy. Při výrazné mineralizaci se v půdě hromadí amoniakální dusík, který pak vstupuje do řady procesů (viz 2.2.3.2. Procesy přeměn dusíku). Opačným procesem je imobilizace dusíku, kdy organismy a rostliny spotřebovávají minerální formy dusíku a zabudovávají jej do biomasy. Tohoto procesu se účastní půdní organismy a kořeny rostlin (*Brady, Weil 2002*). „Procesy imobilizace a mineralizace dusíku však závisí i na dalších faktorech prostředí, především na vlhkosti, teplotě a množství a složení organické hmoty. Mění se množství dusíku a tak i mění se poměr C/N má vliv na to, jaké procesy dekompozice probíhají a převažují“ (*Šimek 2003*).

Rovnováha mezi procesy imobilizace a mineralizace nastává pokud je poměr C/N přibližně roven 20 (*Šantrůčková 2001*). Mineralizace začíná převládat nad imobilizací, pokud je poměr C/N menší než 20. Znamená to tedy, že se snižuje množství uhlíku a zvyšuje se množství dusíku. Dusík v nadbytku je pak uvolňován do prostředí a je jako živina dostupný pro organismy. Naopak imobilizace převládá pokud nastanou opačné podmínky, tedy poměr

C/N je větší než 20, a to nastává tehdy, pokud se zvyšuje množství uhlíku a snižuje množství dusíku. Dusík, jelikož je v nedostatku, se pak stává částečně nedostupný pro rostliny.

Pokud poměr C/N překročí hranici 25, půdní mikrobi pro svůj růst potřebují aditivní zdroj N. Většinou přijímají minerální formy N z půdního roztoku. Tudíž při vysokém poměru C/N mikrobi konkurují rostlinám o minerální formy N a může se stát, že rostliny trpí nedostatkem dusíku. Rozklad organického materiálu může být zdržen, pokud dusík, který podporuje růst mikrobů, není přítomen ani v právě rozkládaném materiálu, ani v půdním roztoku (*Brady, Weil 2002*).

2.4.1. Vliv obsahu N a poměru C/N na uvolňování skleníkových plynů

Stejné množství energie, kterou Země přijímá ve formě slunečního záření, je uvolňováno, ale v jiné části spektra - na rozdíl od přicházejícího záření je emitované záření především infračervené. Některé plyny a částice v atmosféře však mohou IR záření emitované povrchem Země absorbovat a opět uvolňovat - tento jev se nazývá *skleníkový efekt* (*Šimek 2004*). Mezi *skleníkové plyny*, které způsobují tzv. skleníkový efekt patří především oxid uhličitý (CO₂), methan (CH₄), oxid dusný (N₂O) a voda.

Kyselou depozici způsobuje průmyslová činnost, spalování uhlí, ropy, výroba elektrické energie, spalovací výfukové plyny a emise značného množství dusíkatých plynů do atmosféry. Plynný dusík reaguje s vodou a dalšími látkami v atmosféře a vzniká kyselina dusičná (HNO₃), která dopadá zpět na zem v podobě kyselých dešťů (*Brady, Weil 2002*).

Globální klima se mění v závislosti na zvyšující se koncentraci oxidu uhličitého (CO₂) v atmosféře, jakožto jednoho z nejvýznamnějších skleníkových plynů. Množství emisí CO₂ závisí stejně tak na antropogenních zdrojích, jako na přirozených. Růst populace, rozvoj průmyslu a další faktory přispívají ke zvýšené depozici dusíku a rychlejšímu růstu lesních ekosystémů, což je jeden z hlavních důvodů poklesu množství uhlíku v půdách (*Churkina et al. 2007*).

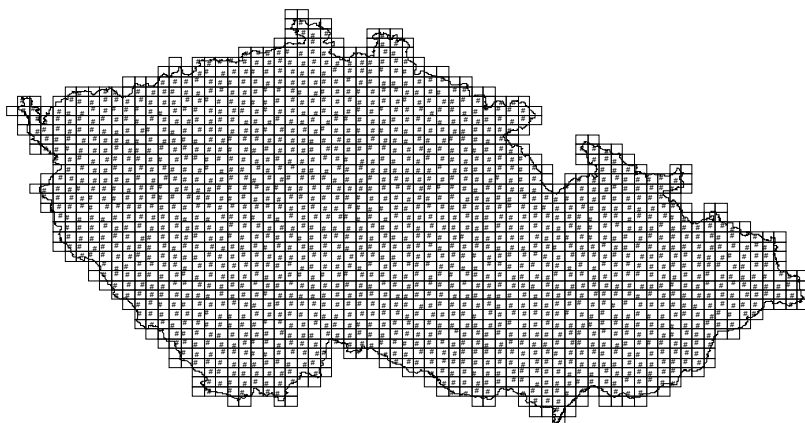
Oxid dusný (N₂O) je jedním z nejvýznamnějších skleníkových plynů, odhaduje se, že až 60% emisí N₂O se do ovzduší dostane z půdy. Organické půdy lesů mírného pásma

uvolňují do ovzduší značné množství N_2O . Zvýšený obsah kyslíku v těchto půdách, způsoben především odvodněním, zapříčiňuje, že dusík zabudovaný v organické hmotě je mineralizován a také může vstupovat do nitrifikace. Při procesech mineralizace a nitrifikace, které jsou úzce spjaty s emisemi N_2O , se snižuje poměr C/N (*Hyvönen et al. 2008*).

3. Metodiky

3.1. Metodika monitoringu půd

Projekt CzechTerra je zaměřen na inventarizaci krajiny, je částečně kompatibilní s metodikou Inventarizace lesů v České republice, ale v mnohých aspektech ji přesahuje. Pro účely projektu CzechTerra byla vytvořena čtvercová síť o velikosti hrany 7x7 km (viz obr. 2). V každém čtverci byla náhodně umístěna lokalita – čtverec o hraně 450x450 metrů. Ve středu této lokality pak byla vyměřena kruhová vzorkovací plocha o výměře 0,05 ha, tedy o poloměru 12,62 metrů. Hustota sítě byla odvozena tak, aby odpovídala reprezentativnímu šetření klíčových veličin na úrovni celé republiky. Podrobné informace o monitorovacích technikách jsou uvedeny v *Metodice nakládání s půdními vzorky a zpracování půdních vzorků (Černý 2009)*. Součástí monitoringu je i hodnocení vegetačních poměrů a množství N a poměru C/N v půdě. Pro účely hodnocení byla vytvořena metodika odběru analýzy půd ve spolupráci s Katedrou biologie ekosystémů PřF JČU v Českých Budějovicích. V rámci této bakalářské práce byly prováděny analýzy půd a dále upřesněna metodika. V rámci šetření krajinného pokryvu České republiky bude celkově vyhodnoceno 1599 lokalit. Půdní šetření prvního cyklu inventarizace CzechTerra se provedlo na 479 plochách s lesním porostem, kde bude hodnocen obsah organické hmoty, množství C, N a poměr C/N v půdě (některé plochy se nepodařilo odebrat).



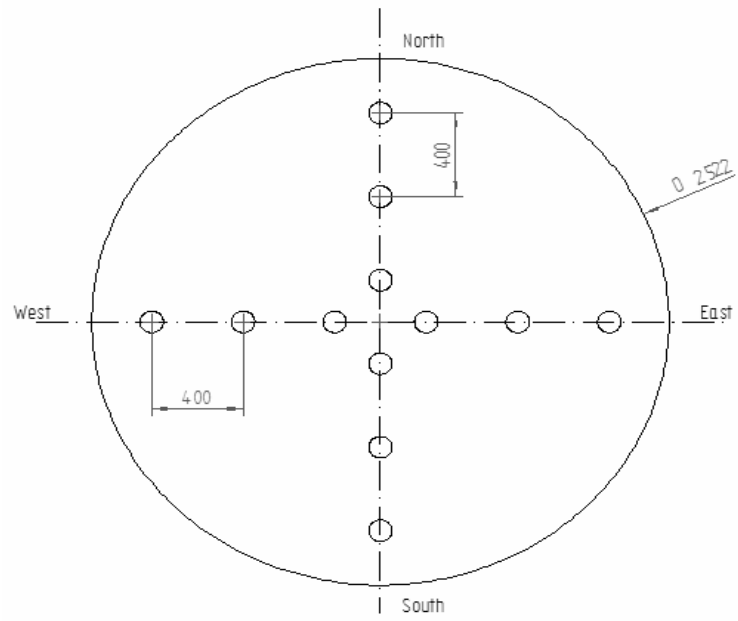
Obrázek 2: vzorkovací síť 7x7 km

3.2. Metodika vzorkování

Střed plochy se vyhledává za pomoci GPS navigace, přesný střed plochy se zaměří laserovou soupravou v kombinaci s elektronickým kompasovým modulem. Používá se souřadnic v geografickém systému Křovákova zobrazení a mapové projekci S-JTSK - Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální (Černý 2009). Střed každé inventarizační plochy se v terénu musí zajistit tak, aby jej bylo možno zpětně dohledat při opakovaném sběru dat. K zabezpečení středů ploch byl použit hliníkový štítek s číslem, toto číslo identifikuje právě jednu určitou plochu. Štítek s identifikačním číslem byl za pomoci nerezového drátu umístěn do kořenové části vybraného stromu v blízkosti středu plochy. Tyto štítky s identifikačním číslem jsou také zaznamenány do databáze a budou sloužit pro pozdější opakování sběru dat.

Z každé vzorkovací plochy se odebírá v ideálním případě 12 dílčích vzorků (viz obr. 3). Při nižším počtu odběrů je zaznamenán počet skutečně odebraných vzorků, přičemž minimální počet musí činit sedm odebraných vzorků. Půda je odebírána pomocí sondy do hloubky 30cm (viz obr. 4). Pokud se nepodaří odebrat půdu do 30cm, musí být zaznamenána hloubka odběru.

Vzorky byly odebírány v letech 2008 a 2009. V průběhu vegetační sezony 2008 bylo odebráno 384 vzorků, zbylých 125 vzorků bylo odebráno v roce 2009. Hned po odběru jsou vzorky vysušeny a uchovány v chladu (4°C) až do zpracování.



Obrázek 3: Schéma odběru půdních vzorků



Obrázek 4: Sonda pro půdní odběr

3.3. Metodika analýzy půdního odběru

3.3.1. Příprava vzorků k analýzám

Analýza půdních odběrů probíhá od září 2008 ve studentské laboratoři v prostorách Přírodovědecké fakulty JČU v Českých Budějovicích. Každý dílčí vzorek je zpracováván samostatně a posléze jsou tyto jednotlivé vzorky smíchány ve směsný vzorek. Cílem je zhomogenizovat vzorky a získat frakci < 2mm (jemná frakce půdy), která se standardně používá k chemickým a fyzikálním analýzám.

Dílčí vzorky jsou zváženy na laboratorních předvážkách s přesností na setiny gramu. Poté se v misce rozdrťí půdní agregáty za pomoci skleněného tloučku, popřípadě teflonového kladiva a pinzetou se odeberou kořínky, mechy, nerozložené zbytky opadu - organický materiál, který je zvážen a uložen do samostatného sáčku. Zbylá půda se přeseje přes pedologické síto s oky < 2mm, čímž se odstraní kameny a šterk. Jemná frakce, která projde sítem, se zváží a uloží do samostatného sáčku. Tímto vznikne 12 sáčků s jemnou frakcí a 12 sáčků s organickým materiálem, ze kterých se smícháním vytvoří dva směsné vzorky. Dále se pracuje se dvěma směsnými vzorky, které reprezentují jemnozem a organický materiál jedné inventarizační plochy a ze kterých se dělají všechny následné analýzy.

3.3.2. Sušina

Zpracovaný vzorek půdy v sobě vždy obsahuje neznámé a variabilní množství vody. Pro srovnatelnost výsledků analýz jednotlivých vzorků, které jsou vztaženy na běžně upravený vzorek, je potřeba údaje přepočítat na 1g suché půdy.

Do hliníkové váženky o známé hmotnosti se odváží z každého dílčího vzorku asi 4 g jemné frakce a 5 g organického materiálu. Vzorky se suší v sušárně při teplotě 105 °C po dobu 24 hodin. Poté se vzorky znovu zváží a z rozdílu hmotnosti se vypočítá sušina vzorku podle vzorce:

$$\text{Sušina [g]} = 1 - [(\text{vzorek před vysušením} - \text{suchý vzorek}) / (\text{vzorek před vysušením} - \text{váženka})]$$

3.3.3. Objemová hmotnost (redukovaná)

Objemová hmotnost udává hmotnost 1 cm³ půdy v jejím přirozeném uložení. Na její výpočet je potřeba znát celkovou hmotnost půdy a její odebrané množství. Každý dílčí vzorek půdy, který je odebrán sondou o známém průměru do známé hloubky, se zváží a podle vzorce se spočítá příslušná objemová hmotnost:

$$BD = m_{\text{suš}} * \text{sušina} / H * \pi r^2$$

kde BD je objemová hmotnost vzorku půdy (g/cm³), $m_{\text{suš}}$ je hmotnost suché půdy (g), sušina se udává v %, H je hloubka odebraného vzorku (cm) a r je poloměr hlavice sondy ($r = 1,25$ cm).

3.3.4. pH půdy

Aktivní kyselost neboli pH půdy, z anglického *potential of hydrogen* - potenciál vodíku - vyjadřuje, zda suspenze vzniklá smícháním půdy s vodou reaguje kyselé či zásaditě. Hodnota pH se uvádí od 0 do 14, přičemž voda s neutrálním pH má hodnotu 7. Kyselé roztoky mají hodnoty pH menší než 7, naopak zásady mají hodnoty pH větší než 7. Reakce půdního roztoku je jednou z nejdůležitějších chemických vlastností, protože většina procesů v půdě závisí právě na koncentraci vodíkových a hydroxylových iontů (Šimek 2005).

Standardně se pro měření aktivního pH používá půdní roztok s vodou. Měření s KCl slouží k zjištění výměnné půdní reakce, protože KCl je neutrální sůl, která napomáhá k uvolňování iontů z výměnného sorpčního komplexu (Šimek 2005). Pro naše potřeby bylo aktivní pH měřeno s destilovanou vodou a výměnné pH s 1M roztokem chloridu draselného (KCl). Do 100 ml sérovek se naváží vždy 5 gramů vzorku. Do jedné se přidá 25 ml destilované vody, do druhé 25 ml 1M roztoku KCl. Vzniklá suspenze se nechá třepat po dobu dvou hodin a posléze se změří hodnota pH pomocí pH metru se skleněnou elektrodou tak, aby byla elektroda v kontaktu se zeminou, ne pouze s roztokem nad zeminou. Při měření je třeba vždy počkat do ustálení rovnováhy. Pro měření byl používán pH metr od firmy WTW, typ Multi 340i.

3.3.5. Stanovení celkového obsahu uhlíku (C), dusíku (N) a poměru C/N

Obsah celkového N charakterizuje množství a kvalitu organické hmoty v půdě. C a N se stanovuje na elementárním analyzátoru (NC 2100 Soil Analyzer Thermo Quest Italia), který pracuje na principu spálení vzorku při vysoké teplotě. Vzniká oxid uhličitý, dusík a vodní pára, které prostupují chromatografickou kolonou a při průchodu detekčním zařízením jsou hodnoty jejich koncentrace zaznamenány do počítače. Uhlíkaté látky obsažené ve vzorku jsou zmineralizovány na oxid uhličitý, dusíkaté látky na dusík. Tyto plyny jsou odděleny na chromatografické koloně a na teplotně vodivostním detektoru je stanovena jejich koncentrace. Podle přesné navážky vzorku jsou pak vypočteny celkové obsahy organického uhlíku a dusíku ve vzorcích a z těchto hodnot se stanoví i poměr C/N (*Picek, ústní sdělení*).

Vysušené vzorky jemné frakce a organického materiálu se zhomogenizují na kulovém mlýnu (MM 200, Retsch, Germany). Do cínové kapsle se naváží se 5-7 μg zhomogenizovaného vzorku, kapsle se zabalí tak, aby obsahovala co nejméně vzduchu, a použije k vlastní analýze.

Analýza vzorků s obsahem karbonátů: homogenizovaná půda se naváží do stříbrné kapsle a otevřená se dá do mikrotitrační destičky, je zvlhčena přibližně na polní vodní kapacitu. Mikrotitrační destička se umístí do exsíkátoru, kde je kádinka s koncentrovanou kyselinou chlorovodíkovou (12M). Uhlčitany se uvolní ve formě oxidu uhličitého během 6-8 hodin. Poté jsou vzorky vysušeny při teplotě 60°C, kapsle těsně zabaleny a použity k analýze.

3.3.6. Statistické zpracování dat

Pro potřeby zhodnocení, na kterých parametrech závisí množství dusíku a jak se mění poměr C/N v lesních půdách, bylo vybráno několik nezávislých proměnných (viz tab. 1).

Tabulka 1: Nezávislé proměnné a jejich úrovně

Nezávislé proměnné	Úrovně nezávislých proměnných
Typ reliéfu	rovina, úpatí svahu, střední část svahu, vrcholky hor
Expozice	rovina, sever, jih, východ, západ
Kategorie lesa	vyšší, nižší, střední
Bohatost struktury lesa	les s jednoduchou strukturou, podrostní, s bohatou strukturou
Dominantní dřevina	smrk, borovice, dub, buk
Celk. pokryvnost přizemní vegetací	nízká 0-5%, střední 6-50%, vysoká 51-100%
Pokryvnost travinami	nízká 0-5%, střední 6-50%, vysoká 51-100%
Pokryvnost bylinami	nízká 0-5%, střední 6-50%, vysoká 51-100%
Pokryvnost mechy	nízká 0-5%, střední 6-50%, vysoká 51-100%
Pokryvnost kapradinami	nízká 0-5%, střední 6-50%, vysoká 51-100%
Pokryvnost keřky	nízká 0-5%, střední 6-50%, vysoká 51-100%
Pokryvnost plazivými keřky	nízká 0-5%, střední 6-50%, vysoká 51-100%
Pokryvnost keří	nízká 0-5%, střední 6-50%, vysoká 51-100%
Mocnost humusu	malá 16-50 mm, střední 51-100 mm, vysoká nad 100 mm
Typ humusu	mull, moder, mor
Půdní druh	lehká, středně těžká, těžká půda
Hloubka půdy	do 30 cm, nad 30 cm
Ovlivnění půdy vodou	půdy trvale ovlivněné, přechodně ovlivněné, neovlivněné vodou
Skeletovitost půdy	silně skeletovité půdy 50%, ostatní
Typ materiálu opadu	jehličí, listí, traviny, mechy
Typ lesa	jehličnatý, listnatý

Vyhodnocení vlivu nezávislých proměnných na půdní vlastnosti je prováděno pomocí testu Analýzy variance (ANOVA) ve statistickém programu MyStat. V rámci této práce byla provedena předběžná analýza 200 vzorků, které byly odebrány v roce 2008 a následně zpracovány v laboratoři.

4. Předběžné výsledky

Předběžné výsledky analýzy variance ukazují, že obsah dusíku výrazně koresponduje s těmito proměnnými: pokryvnost travinami, bylinami, keři, mocnost a typ humusu, půdní druh, hloubka půdy, ovlivnění půdy vodou, typ materiálu opadu (viz tab. 2).

Obdobně předběžné výsledky analýzy variance pro poměr C/N ukazují korespondenci s proměnnými: dominantní dřevina, pokryvnost přízemní vegetací, bylinami a keři, typ humusu, půdní druh, ovlivnění půdy vodou, typ materiálu opadu, typ lesa (viz tab. 2)

Tabulka 2: Hodnoty signifikantností nezávislých proměnných-předběžné výsledky, proměnná má vliv na vlastnost půdy (konkrétně obsah N a/nebo poměr C/N) při hodnotě signifikantnosti $p < 0,05$

Nezávislé proměnné	Počet vzorků	N signifikance	C/N signifikance
Typ reliéfu	200	0,142	0,135
Expozice	200	0,359	0,715
Kategorie lesa	200	0,245	0,099
Bohatost struktury lesa	200	0,057	0,167
Dominantní dřevina	200	0,067	0,001
Celk. pokryvnost přízemní vegetací	200	0,055	0,024
Pokryvnost travinami	200	0,006	0,397
Pokryvnost bylinami	200	0,004	0,000
Pokryvnost mechy	200	0,069	0,087
Pokryvnost kapradinami	200	0,368	0,180
Pokryvnost keřů	200	0,053	0,329
Pokryvnost plazivými keřky	200	0,439	0,075
Pokryvnost keří	200	0,026	0,000
Mocnost humusu	200	0,000	0,374
Typ humusu	200	0,011	0,001
Půdní druh	200	0,000	0,010
Hloubka půdy	200	0,004	0,706
Ovlivnění půdy vodou	200	0,000	0,016
Skeletovitost půdy	200	0,628	0,375
Typ materiálu opadu	200	0,039	0,001
Typ lesa	200	0,271	0,000

Z tabulky 2 je vidět, které proměnné korespondují s množstvím dusíku, jak se mění poměr C/N a naopak, které proměnné nijak množství dusíku neovlivňují. Ze statisticky vyhodnocených parametrů je zřejmá závislost množství dusíku v půdě na pokryvnosti travinami, bylinami, keři, mocnosti humusu, typu humusu, půdním druhu, hloubce půdy, ovlivnění půdy vodou, typu materiálu opadu.

U některých proměnných: celková pokryvnost přízemní vegetací, pokryvnost keřů, bohatost struktury lesa, ukazují předběžné výsledky analýzy variance vliv řídicích proměnných těsně pod hladinou průkaznosti (viz tab. 2). Ačkoliv by se dalo předpokládat že tyto proměnné by měly mít vliv na obsah N a poměr C/N. Bylo to dáno vysokou variabilitou výsledků a relativně malým množstvím vzorků, které byly hodnoceny.

5. Návrh plánu řešení pro magisterskou práci

Na základě vyhodnocení možných vlivů na obsah N a poměr C/N v půdě a na základě předběžného vyhodnocení výsledků navrhuji, aby se při hodnocení výsledků věnovala pozornost řídicím proměnným, které jsou uvedeny v Tabulce 3. V tabulce je současně uvedeno předběžné hodnocení (interpretace) vlivu jednotlivých řídicích proměnných.

Tabulka 3: Interpretace vlivu nezávislých proměnných na obsah N a poměr C/N

Nezávislé proměnné	zhodnocení vlivu na množství N	zhodnocení vlivu na poměr C/N
Bohatost struktury lesa	podle hodnoty signifikance můžeme předpokládat, že při více pozorování by byla závislost prokazatelná, množství dusíku je větší v lesích s bohatou strukturou	s rostoucí bohatostí lesa klesá poměr C/N
Dominantní dřevina	obecně lze říci, že listnaté stromy (dub, buk) obsahují více N než jehličnaté (smrk, borovice)	poměr C/N je závislý na složení opadu, vyšší poměr C/N je v jehličnatém porostu, kde se vyskytuje více uhlíku → vyšší poměr C/N
Celk. pokryvnost přizemní vegetací	množství dusíku se zvyšuje s rostoucí pokryvností	poměr C/N se snižuje s vyšším obsahem dusíku při rostoucím množství vegetace
Pokryvnost travinami	traviny svým rozsáhlým kořenovým systémem podporují fixaci N v půdě, využívají N jako živinu a zabudovávají si N do biomasy, dalším vliv je v jejich hojném zastoupení	při malé pokryvnosti travinami je vyšší poměr C/N
Pokryvnost bylinami	byliny mají v biomase vyšší obsah N, s jejich rostoucí pokryvností bude stoupat i obsah N a po odumření se N hromadí v půdě	poměr C/N se snižuje s rostoucí pokryvností bylin, neboť se se snižuje množství C a zvyšuje se množství N
Pokryvnost keří	pro tento parametr je důležité rozlišovat o které typy keřů se konkrétně jedná	vyšší poměr C/N je při nízké pokryvnosti keří
Mocnost humusu	s rostoucí mocností humusu se zvyšuje množství N, protože se zvětšuje plocha jílových částic v půdě, na které jsou vázány ionty prvků	s rostoucí mocností humusu roste obsah N a snižuje se poměr C/N
Typ humusu	humus vzniká rozkladem odumřelé vegetace, N se tak dostává do půdy. Obsah N v humusu závisí na typu opadu a stadiu rozkladu.	při nižším poměru C/N dochází k mineralizaci v půdě a rychlejšímu rozkladu - v typu humusu mull, při vyšším poměru C/N naopak dochází k imobilizaci - v typu humusu moder a mor
Půdní druh	půdní druh je rozlišován podle zrnitosti, v těžkých půdách kde je více jílových částic jsou více vázány prvky	v těžkých jílových půdách je více vázán N a ovlivňuje množství C/N
Hloubka půdy	mělké půdy, kde je více N, jsou ovlivněny kořenovým systémem a probíhá zde pomalejší rozklad, protože to jsou většinou půdy nevyvinuté	v mělkých, nevyvinutých půdách je vysoká variabilita poměru C/N, v hlubokých půdách je poměr C/N vyšší
Ovlivnění půdy vodou	v zaplavených půdách neprobíhá nitrifikace a nižší mineralizace dusíku	v půdách trvale ovlivněných vodou je nízký poměr C/N, neboť je zde vyšší obsah N
Typ materiálu opadu	větší vliv na množství N má výskyt opadu než materiál opadu	nejvyšší poměr C/N je v jehličnatém opadu, který obsahuje více C

6. Závěr

Cílem práce bylo otestovat a upřesnit metodiku pro stanovení obsahu dusíku a poměru C/N v půdách odebraných v rámci celorepublikového projektu CzechTerra, který zpracovává IFER – Ústav pro výzkum lesních ekosystémů, s.r.o. Zvláště upřesnění postupu při přípravě půd k analýzám, upravení měření sušiny, vybrání vhodných proměnných pro zhodnocení vlivu na množství N a poměr C/N. Tento projekt probíhá od srpna 2007 do prosince 2011 a jeho výstupem by měl být informační systém o stavu půd v rámci celé České Republiky. Dále vyhodnotit a navrhnout interpretaci výsledků proměnných, které ovlivňují množství N a poměr C/N na základě předběžných analýz o množství dusíku v půdě. V tuto chvíli je do výsledků zahrnuto 200 vzorků z celkových 479, které jsou v rámci tohoto projektu odebrány. Laboratorní zpracování zbývajících vzorků bude probíhat pravděpodobně do března 2010. Celkové výsledky ze všech odebraných půd budou sloužit jako výstup magisterské práce s hlubším zaměřením se na hodnocení těch proměnných, které nejvíce ovlivňují množství N a poměr C/N v půdách v lesních ekosystémech. Zvláště pokrývnost určitými typy vegetace, mocnost humusu, půdní druh, hloubka půdy, ovlivnění půdy vodou a celkový typ lesa.

Pokrývnost vegetací jako jsou například traviny a byliny by měla pozitivně ovlivňovat množství dusíku ve svrchních horizontech v půdě, neboť rostliny dusík asimilují, zabudovávají ho do těl, využívají ho jako živinu a po odumření dochází k jeho navrácení zpět do půdy. S rostoucí mocností humusu roste množství N v půdě, neboť právě v humusu je dusík zastoupen nejvíce. Půdní druh souvisí s hloubkou půdy a ovlivnění půdy vodou a všechny tyto aspekty ovlivňují množství dusíku v půdě. Podle dílčích aspektů lze určit celkový typ lesa a jeho vliv na množství dusíku v půdě ve svrchních horizontech.

7. Použitá literatura

- Aber, J., McDowell, W., Nadelhoffer, K., Magill, A., Berntson, G., Kamakea, M., McNulty, S., Currie, W., Rustad, L., Fernandez, I., 1998.** Nitrogen saturation in temperate forest ecosystems. *Bioscience* vol. 48: 921-934
- Bumerl, M., 1995.** Skripta SOŠ OTŽP, Veselí nad Lužnicí
- Brady, N., Weil, R., 2002.** The nature and properties of soils. Upper Saddle River, New Jersey
- Černý, M., 2007.** Rozvoj dynamické observační sítě poskytující informace o stavu, vývoji ekosystémů a využití krajiny. Výroční zpráva k projektu CzechTerra, IFER s.r.o., Jílové u Prahy
- Černý, M., 2009.** Metodika nakládání s půdními vzorky a zpracování půdních vzorků. Výroční zpráva k projektu CzechTerra, IFER s.r.o., Jílové u Prahy
- Ernfors, M., Arnold, K., Stendahl, J., Olsson, M., Klemetsson, L., 2007.** Nitrous oxide emissions from drained organic forest soils - an up-scaling based on C:N ratios. *Biogeochemistry* vol. 84: 29-41
- Gundersen, P., 1991.** Nitrogen deposition and the forest nitrogen cycle: role of denitrification. *Forest Ecology and Management* vol. 44: 15-28
- Hammerová, J., 2006.** Fixace molekulového dusíku mikroorganismy. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav experimentální biologie, Oddělení mikrobiologie. Brno, s. 50
- Hruška, J., Cienciala, E., 2005.** Dlouhodobá acidifikace a nutriční degradace lesních půd - limitující faktor současného lesnictví. 2.vyd., Česká geologická služba, Praha

Hyvönen, R., Persson, T., Andersson, S., Olsson, B., Agren, G., Linder, S., 2007. Impact of long-term nitrogen addition on carbon stocks on trees and soils in northern Europe. *Biogeochemistry* vol. 89: 121-137

Churkina, G., Trusilova, K., Vetter, M., Dentener, F., 2007. Contributions of nitrogen deposition and forest regrowth to terrestrial carbon uptake. *Carbon Balance and Management*
<http://www.cbmjournal.com/content/2/1/5> - cit. 5.10.2009

Lorencová, H., 2007. Humusové poměry a biologická aktivita lužních lesů. *Bioclimatology and Natural Hazards*
<http://www.cbks.cz/SbornikPolana07/pdf/Lorencova.pdf> - cit. 18.10. 2009

Mráček, Z., 1959. *Les. Orbis, Praha*

Nadelhoffer, K., Emmett, B., Gundersen, P., Kjonaas, O., Koopmans, Ch., Schleppi, P., Tietema, a., Wright, R., 1999. Nitrogen deposition makes a minor contribution to carbon sequestration in temperate forests. *Nature* vol. 11: 145-148

Pregitzer, K., Burton, A., Zak, D., Talhelm, A., 2008. Simulated chronic nitrogen deposition increases carbon storage in northern temperate forests. *Global Change Biology* vol. 14: 142-153

Rajchard, J., Balounová, Z., Květ, J., Šantrůčková, H., Vysloužil, D., 2002. *Ekologie III., Struktura a funkce lesních ekosystémů, produkční ekologie, biogeochemické cykly, chemické faktory prostředí, základy ekologie půdy, ekologie vodního prostředí, aktuální celosvětové ekologické problémy.* Kopp, České Budějovice

Šantrůčková, H., 2001. *Ekologie půdy.* BF JČU, České Budějovice

Šimek, M., 2003. *Základy nauky o půdě, 3. Biologické procesy a cykly prvků.* BF JČU, České Budějovice

Šimek, M., 2004. *Základy nauky o půdě, 4. Degradace půdy.* BF JČU, České Budějovice

Šimek, M., 2005. Základy nauky o půdě, 1. Neživé složky půdy. BF JČU, České Budějovice

Sprent, J., 1987. The ecology of the nitrogen cycle. Cambridge University Press, Cambridge

Vinš, B., 1996. Dopady možné změny klimatu na lesy v České republice. Český hydrometeorologický ústav, Praha

Vries, W., Reinds, G., Gundersen, P., Sterba, H., 2006. The impact of nitrogen deposition on carbon sequestration in Europe forests and forest soils. Global Change Biology vol. 12: 1151-1173

Internetové odkazy:

1. http://www.silvarium.com/lesprace/index_0306.html - cit. 1.11.2009

2. <http://www.ochranaprirody.cz/res/data/067/009784.pdf> - cit.15.10. 2009

3. <http://www.ekolist.cz/zprava.shtml?x=218958> - cit. 5.11.2009

4. <http://web.czu.cz/mksp/kategorie/km/km.html> - cit. 20.11.2009

5. http://www.mzp.cz/www/dav.nsf/rocenka_06/a0.htm- cit. 12.11.2009

6. <http://lesnizakon.cz/2-vymezeni-pojmu.php> - cit. 15.10. 2009

7. <http://www.lesnictvi.cz/clanky/clanek.php?SESSID=9099dc35a60d2afcc3098a3f6abc9945&clanek=1381> - cit. 10.10. 2009