

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH  
BUDĚJOVICÍCH**

**ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

**KATEDRA: AGROEKOSYSTÉMŮ**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Rozdělení primární půdní organické hmoty do frakcí  
podle stupně stability v kambizemích oblastí  
Jihočeského kraje**

**Vedoucí bakalářské práce: Váchalová Radka, Ing. Ph.D.**

**Autor bakalářské práce: Coufal Marek**

**České Budějovice, 2016**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Marek COUFAL**  
Osobní číslo: **Z13690**  
Studijní program: **B4131 Zemědělství**  
Studijní obor: **Trvale udržitelné systémy hospodaření v krajině**  
Název tématu: **Rozdělení primární půdní organické hmoty do frakcí podle stupně stability v kambizemích oblasti Jihočeského kraje**  
Zadávací katedra: **Katedra agroekosystémů**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

#### Osnova:

**Literární rešerše.** Vymezeny budou základní pojmy z oblasti rozdělení primární půdní organické hmoty do frakcí podle stupně stability v kambizemích.

**Cíl práce.** Cílem je rozdělení primární půdní organické hmoty do frakcí podle stupně stability v kambizemích Jihočeského kraje.

**Materiál.** Vybrané vzorky kambizemí Jihočeského kraje.

**Metody.** Použít metodiku navrženou kolektivem Váchalová, Kolář, Batt a Váchal z roku 2014 - Rozdělení organické hmoty do frakce labilní, semilabilní a stabilní.

**Výsledky a diskuse.** Vyhodnocení výsledků z metodiky a navržení řešení.

**Závěr.** Shrnuty budou nejvýznamnější poznatky z řešení, včetně doporučení a jejich přínos.

#### Literatura

#### Přílohy


Ke zpracování bakalářské práce budou využita skripta Technika zpracování bakalářských a diplomových prací (Kareš, J., Vaněček, D., Burešová, M., 2007) a Práce s VTI (Milota, J., Nýdl, V., 1996).

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **20-40 stran**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

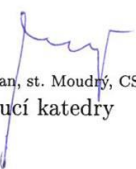
- Hraško J. (1962): Rozbory pŕd. Edicia Rostlinná výroba, svazek 105, s. 335.  
ISO/DIS 14 235 (1995): Soil Quality - Determination of organic carbon in soil by sulfochronic oxidation. International Organization for Standardization.  
ISO/DIS 10 390 (1993): Soil Quality - Determination of pH.  
ISO/DIS 11 265 (1994): Soil Quality - Determination of the specific electric conductivity.  
Kolář L., Ledvina R., Kužel S., Klimeš F., Štindl S. (2006): Soil organic matter and its stability in aerobic and anaerobic condition. Soil & Water Research, 1, 2: 57-64.  
Kolář L., Kužel S., Horáček J., Čechová V., Batt J., Peterka J. (2009): Labile fractions of soil organic matter, its quantity and quality. Plant, Soil and Environment, 55, 181-186.  
Kolář L., Vaněk V., Peterka J., Batt J., Pezlarová J. (2011): Relationship between quality and quantity of soil labile fraction of the soil carbon in Cambisols after limit during a 5-years period. Plant, Soil and Environment, 57, 193-200.  
Kolář L., Horáček J., Váchalová R., Váchal J. (2013): A method for measuring the quantity and quality of soil organic matter. Czech patent number 304 265, Úřad průmyslového vlastnictví ČR, Praha (In Czech: Způsob měření množství a kvality půdní organické hmoty).  
Pospíšil F. (1980): The content and composition of humus in soils in the Czech Republic. Academia, Praha (In Czech: Obsah a složení humusu v půdách v českých zemích).  
Sandhoff H. (1954): Konduktometrische bestimmung der Sorptionkapazität der Organischen Substanz im Boden. Bodenkunde und Pflanzmernaehrung, 21/22, 1940-1941.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Radka Váchalová, Ph.D.**  
Katedra agroekosystémů

Datum zadání bakalářské práce: **13. února 2015**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. dubna 2016**

  
prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.  
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚPISNÁ FAKULTA  
L.S.  
Č. j. 12/2015  
12. 3. 2015

  
prof. Ing. Jan, st. Moudrý, CSc.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 17. března 2015

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 v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných zemědělskou fakultou, elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích 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:

.....  
Coufal Marek

## **Anotace**

Cílem bakalářské práce bylo rozdělení primární půdní organické hmoty do frakcí podle stupně stability v kambizemích oblasti Jihočeského kraje. Nejdříve byly vysvětleny pojmy důležité k pochopení a porozumění danému tématu. Následně byla prováděna série pokusů pomocí metodiky navržené kolektivem Váchalová, Kolář, Horáček a Váchal z roku 2013. Půdní vzorek byl odebrán ze zemědělsky neobdělávané půdy, původně lesní, dnes již orné půdy. Jednalo se o kambizem – KAd, dystrická. Vzorek byl odebrán v blízkosti obce Hvozdec, ležící v okrese České Budějovice. Tento vzorek byl rozdělen na sérii opakování, tak aby bylo možné s odpovídající přesností stanovit stabilní a labilní část organické hmoty. Pokus byl prováděn v roce 2015-2016 v laboratorních podmínkách katedry agroekosystémů na Jihočeské univerzitě. Výsledky byly posléze vyhodnoceny a zaneseny do grafů. Potvrdilo se, že nejvíce zastoupená frakce je semilabilní a stabilní, ty jsou méně náchylné k oxidaci a jejich množství v půdě bývá zpravidla nejvyšší.

## **Anotation**

The aim of this thesis was the distribution of primary soil organic matter into fractions according to the degree of stability in the South Bohemian cambisols. First, there were explained concepts which are important for understanding the topic. After that a series of experiments using a methodology suggested in 2013 by team consisting of Váchalová, Kolář, Horáček, Váchal, was realized. The soil sample was taken from uncultivated land, originally forest, today an arable land. It was cambisol - Kad, Dystric. The sample was collected near the village Hvozdec, located in the district of České Budějovice. This sample was divided into a series of repetitions, so it was possible to establish the stable and the unstable part of the organic matter with adequate accuracy. An attempt was carried out in 2015-2016 in the laboratory of Department of agroecosystems at University of South Bohemia. After that, there were evaluated results and recorded into graphs. It was confirmed that the most abundant fraction is the semilabile and the stabile, which are less susceptible to oxidation and its amount in the soil is usually the highest one.

## Poděkování

Srdečně děkuji vedoucí bakalářské práce Radce Váchalové, Ing. Ph.D. za dobré vedení, materiální prostředky a věcné připomínky. Dále je na místě poděkovat doktorandu Ing. Vojtěchu Ondráčkovi, který dohlížel na průběh mého výzkumu v chemické laboratoři. V neposlední řadě patří velké poděkování mým rodičům, kteří mi byli neustálou oporou.

# Obsah

1 Úvod .....	8
2 Půda .....	9
2.1 Složky půdy .....	9
2.2 Klasifikační systém půd v ČR .....	12
2.3 Referenční třídy půd .....	13
2.4 Půdní typy .....	13
3 Půdní organická hmota (POH) .....	15
3.1 Význam .....	15
3.2 Zdroje půdní organické hmoty .....	15
3.3 Složení rostlinné biomasy .....	17
3.4 Rozklad organické hmoty (mineralizace) .....	19
3.5 Humifikace .....	21
4 Humus .....	22
4.1 Humus a jeho význam .....	22
4.1.1 Fulvokyseliny (FK) .....	22
4.1.2 Huminové kyseliny (HK) .....	23
4.1.3 Huminy .....	23
4.2 Diagnostické horizonty .....	24
4.3 Formy nadložního humusu .....	25
4.4 Kvalita a množství humusu .....	26
5 Cíl práce .....	27
5.1 Půdní vzorek .....	27
5.2 Metodika .....	28
5.3 Výsledky .....	31
5.4 Diskuze a závěr .....	41
Seznam tabulek a obrázků .....	43
Literární zdroje .....	44

# 1 Úvod

Tomášek (1995) ve své knize píše, že půda patří mezi základní předpoklady lidské civilizace, tvoří totiž pedosféru – svrchní část zemského povrchu. Můžeme na ni pohlížet jako na přírodní útvar, který se vlivem prostředí různě vyvíjí. Dodnes velmi uznávanou a výstižnou definici podal V. Novák, který patří mezi zakladatele českého půdoznalství. Definice zní:

*„Půda je přírodní útvar, který se vyvíjí z povrchových zvětralin kůry zemské a ze zbytků ústrojenců a jehož stavba a složení jsou výsledkem podnebí a jiných faktorů půdotvorných“* (Tomášek, 1995).

Šimek dodává: *„S tímto vědomím je třeba na půdu pohlížet jako na přírodní útvar, který sice můžeme využívat, který však současně musíme chránit a pečovat o něj. Půda se vytvářela po staletí, ale nenapravitelně poškodit nebo zničit se dá snadno a rychle“* (Šimek, 2005).

Umění hospodařit na půdě je staré stejně jako civilizace. Tím, jak čelíme výzvám dnešního tisíciletí, novým poznatkům a technologiím, budeme muset chránit životní prostředí, přitom produkovat potraviny a biomasu pro podporu společnosti. Studium půdy nikdy nebylo důležitější (Brady, Weil, 2002).



## 2 Půda

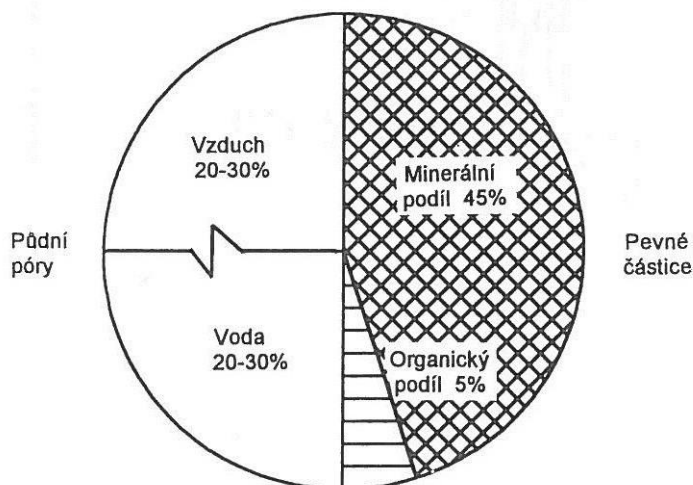
Půdu lze definovat jako směs organických a minerálních látek, které vznikají rozkladem mateční horniny pomocí fyzikálních, chemických a biologických vlivů. Po fyzikální stránce je půda trojfázový systém, zahrnující fázi pevnou, kapalnou a plynnou. Tuhá část obsahuje složky organické a anorganické, kapalnou částí myslíme půdní vodu s roztokem živin a část plynnou - půdní vzduch. Po stránce ekologické je půda charakterizována jako otevřený systém, tvořený dvěma základními složkami a to neživou a živou. Neživou složku tvoří látky jak organického, tak anorganického původu. Živou složkou půdy rozumíme půdní organismy ať už rostlinného, nebo živočišného původu (Kolář, Moudrý, Kopecký, 2015).

Šimek (2005) píše, že půda je dynamický přírodní útvar, umožňující růst rostlin. Vzniká pomalým zvětráváním hornin a minerálů, za přispění půdotvorných faktorů jako jsou klima, terénní vlastnosti, či pomocí vegetace půdních organismů i podzemní vody (Šimek, 2005).

### 2.1 Složky půdy

Půda jako taková obsahuje čtyři hlavní části – minerální podíl půdy, organický podíl půdy, vzduch a půdní vodu. Obsah jednotlivých složek je různý a mění se. Pevná fáze tvoří  $\frac{1}{2}$  až  $\frac{2}{3}$  (45% minerální složka a 5% organická složka),  $\frac{1}{2}$  až  $\frac{1}{3}$  tvoří póry - pravděpodobně z poloviny zaplněné kapalnou fází (voda) a z druhé poloviny fází plynnou (vzduch) (Šimek, 2005).

Obrázek č. 1. Procentuální podíl složek v půdě.



(Šimek, 2003)

### **Minerální podíl půdy**

Zhruba 90 % pevné fáze půdy tvoří podíl minerální. Skládá se z minerálů primárních, sekundárních, rozpustných solí a amorfni složky. Hlavním představitelem minerálů je křemen (Šarapatka, 1996).

Právě křemičitany mají 92-95% podíl v půdách. Menší část pak tvoří uhličitany, sírany, oxidy, halocce, siřníky a dusičnany. Složení částic půdy ovlivňuje půdní vlastnosti. Ale nejen to. Také tvar a velikost částic hrají důležitou roli. Právě podle velikosti je možné rozdělovat částice do velikostních kategorií. Mezi základní velikost částic (zrn) se uvádí průměr 2 mm. Částice, které jsou větší, se nazývají skelety a ty se dále rozdělují na hrubý písek (2-4 mm), štěrk (4-30 mm) a kameny (>30 mm). Částice, které jsou naopak menší než 2 mm, se nazývají jemnozem. Ty se dále dělí do půdních druhů dle procentuálního zastoupení frakcí (Jandák, Pokorný, Prax, 2010).

## **Půdní voda**

Za půdní vodu se považuje veškerá voda – ve skupenství pevném, kapalném i plynném. Do půdy se dostává díky srážkám, dále infiltrací z vodních toků a nádrží, vztlínáním z hladiny podzemní vody a v neposlední řadě v menším množství z vodních par (Vopravil, 2009). Robertson (1999) píše, že jak povrchová, tak podzemní voda ovlivňuje množství vláh v půdě. Novák (2009) však ve své práci dodává, že vysoký obsah půdní vody způsobuje chemické i fyzikálně chemické změny, které vedou k procesu oglejnímu a glejovému.

## **Formy půdní vody:**

Adhezní voda – je upoutána nejsilněji a je nepřístupná pro rostliny.

Gravitační voda – v půdě dlouho nepobyde, putuje ve směru gravitačního působení

Kohezní voda – využívají ji nejen rostliny, ale i ostatní organismy, žijící v půdě. Je nejvýznamnější (Šimek, 2005).

Kapalná složka půdy je vlastně půdní roztok, který obsahuje rozpuštěné soli, plyny, dále organické sloučeniny a dispergované koloidní částice (Šarapatka, 1996).

## **Půdní vzduch**

Plynnou fází v půdě tvoří půdní vzduch. Ten vyplňuje póry, ve kterých není voda. Je to vlastně vzduch atmosférický, který do půdy vnikl a pozměnil se. Atmosférický a půdní vzduch se od sebe liší obsahem kyslíku, oxidu uhličitého a také vodních par. Půdní vzduch obsahuje více oxidu uhličitého, v průměru 0,2 – 0,7 %. Také vodních par obsahuje půdní vzduch více. Naopak méně obsahuje kyslíku (10-20 %). Dusík se vyskytuje v obou případech stejně – 78 %. Půdní vzduch dále obsahuje – amoniak, sirovodík, metan, vodík, oxidy dusíku, fluor a oxidy síry (Jandák, Pokorný, Prax, 2010).

## **Organický podíl půdy**

Organický podíl tvoří živá organická hmota (rostliny, živočichové) a organická hmota neživá (Dykyjová, 1989).

Samozřejmě se podíl živé a neživé složky v půdách liší. Živé připadají méně než 4 % hmotnosti (kořeny 5-10 %, živočichové 15-30 % a mikroorganismy 60-80 %). Zbytek, přes 90 % organického podílu tvoří složka neživá (Šimek, 2005).

## 2.2 Klasifikační systém půd v ČR

Věda, zabývající se půdou, se nazývá pedologie (Duchaufour, 2012). Stejně jako každá přírodní věda, má i tato svůj určitý systém – klasifikaci. Hlavní a základní klasifikační jednotkou je v tomto případě půdní typ, který můžeme nazvat jako skupinu půd, s podobnými analytickými a morfologickými znaky, které se vyvíjejí za přítomnosti půdotvorných činitelů (Tomášek, 1995). Během svého vývoje byl klasifikační systém půd stále konfrontován s vývojem hlavních světových klasifikačních systémů půd. Česká republika má tedy navržený systém, který představuje základní klasifikaci, budovanou na vlastnostech půdních profilů. Zahrnuje následující kategorie (Němeček a kol., 2001):

- referenční třídy půd
- půdní typy
- půdní subtypy
- půdní variety
- půdní subvariety
- ekologické fáze
- degradační a akumulární fáze
- hlavní substrátové půdní formy
- lokální půdní formy

## 2.3 Referenční třídy půd

Pro velké skupiny půd v České republice užíváme podstatná jména s koncovkou – sol. Tyto skupiny půd se vyskytují i v zahraničních klasifikačních systémech a tudíž s nimi mohou české půdy korelovat. Dělíme je dle hlavních rysů jejich geneze. Třídy, které jsou široce rozšířené, členíme do dalších úrovní podle hydro-termických režimů užívaných v Soil Taxonomy (Kozák a kol., 2009). V knize Taxonomický klasifikační systém půd České republiky dělí Němeček a kol. (2001) referenční třídy následovně: Leptosoly, Regosoly, Fluvisoly, Vertisoly, Černosoly, Luvisoly, Kambisoly, Andosoly, Podzosoly, Stagnosoly, Glejsoly, Salisoly, Natrisoly, Organosoly, Antrosoly.

### Kambisoly

Pro tuto třídu je typický kambický hnědý horizont, který vznikl jako důsledek hnědnutí a bisialitizace. Důsledkem hnědnutí (braunifikace) došlo ke zbarvení horizontu hydrolýzou uvolněných amorfních oxidů a hydroxidů železa. Bisialitizace je chemický jev zvětrávání mírné intenzity, kdy dochází k tvorbě jílu z primárních minerálů (Jandák, Prax, Pokorný, 2004, Kozák a kol., 2009).

## 2.4 Půdní typy

Jsou hlavními jednotkami klasifikačního systému, které charakterizují určité diagnostické horizonty, jejich sekvence a diagnostické znaky. U názvů se užívají tradiční koncovky –zem, nikdy však –sol. Užívají se tradiční názvy jako je glej, podzol, redzina (Jandák, Prax, Pokorný, 2004).

Nejrozšířenějším typem půd v ČR je kambizem (Tomášek, 1995). Pokrývají až 45 % našeho půdního fondu. Kambizemě vznikaly důsledkem *hnědnutí* a *bisialitizace*. Mají typický kambický horizont. Jejich zbarvení je vždy hnědší než zbarvení jejich půdotvorného substrátu (Jandák, Prax, Pokorný, 2004). Vyskytují se v oblastech pahorkatin, v různých nadmořských výškách, různých klimatických podmínkách a odlišných mateřských substrátech. Vzhledem k výskytu v různých podmínkách rozlišujeme kambizemě nižších (300 – 600 m.n.m.) a vyšších poloh (nad 600 m.n.m.) (Sotáková, 1982, Sumner, 2000). Kambizemě nižších poloh

průměrně obsahují méně humusu (3 %), důsledkem rychlejší mineralizace. Obsahují však více jílu než horské půdy. Mají značně nasycený sorpční komplex a vyšší hodnotou pH (Jandák, Prax, Pokorný, 2004). Původní vegetací byly převážně listnaté lesy (dubohabrové a horské bučiny). Jako mateční substrát se uplatňují téměř všechny horniny skalního podkladu (žula, rula, svor, pískovec, břidlice, čedič, fylit, odvápněné opuky a další.) (Zaujec a kol., 2009). Tomášek (2007) popisuje stratigrafii kambizemí takto: Pod mělkým humusovým horizontem leží hnědě až rezivohnědě zbarvená poloha, v níž probíhá velmi intenzivní zvětrávání. Hluběji objevujeme horninu tolik nezasazenou zvětráváním, která je barevně odlišená od předešlého horizontu. Zrnitost je obvykle podmíněna charakterem mateční horniny (Tomášek, 2007). Kvůli kolísavým podmínkám výskytu kambizemí kolísá i jejich obsah humusu a to od 0,8 až do 3-9 % C<sub>ox</sub> (oxidovatelný uhlík). Převládajícími humusovými látkami jsou fulvokyseliny a jejich poměr vůči huminovým kyselinám je 0,75 v humusovém horizontu a v hlubších částech profilu dokonce 0,1 až 0,3. Vyšší obsah fulvokyselin a nízkomolekulárních organických sloučenin ve větších hloubkách svědčí o jejich migraci (Sotáková, 1982).

Kambizemě představují rozmanitou skupinu s různými limitujícími faktory úrodnosti. Pozornost by měla být upřena hlavně na hloubku profilu, mocnost humusového profilu, obsah humusu a jeho složení (Tomášek, 2007).

## **3 Půdní organická hmota (POH)**

### **3.1 Význam**

Organické látky v půdě mají vliv na formování příznivých fyzikálních a technologických vlastností, vodovzdušného a tepelného režimu, sorpční schopnosti a oxidačně-redukčního režimu. Nechybějí mezi nimi ani vitamíny, antibiotika, stimulanty a inhibitory, které se vyznačují přímým fyziologickým účinkem na půdní organismy (Sotáková, 1982). O důležitosti organické hmoty se ví již od pradávna. Půda, která obsahuje větší množství organické hmoty, se lépe zpracovává, lépe hospodaří s vodou a bývá kypřejší (Kolář, Moudrý, Kopecký, 2015).

Organická hmota je zdrojem živin přijatelných pro rostliny, účastní se strukturního stavu půdy, zlepšuje její kationtovou výměnnou kapacitu, zvyšuje zádržnost vody, dodává uhlík pro edafon a zabraňuje erozi (Šarapatka a kol., 2010). Vedle svého významu v globálním koloběhu uhlíku má půdní organická hmota pozitivní vliv na biologické, fyzikální a chemické vlastnosti, které jsou důležité pro určení potenciální produktivity půdy (Baldock a Skjemstad, 1999; Reeves, 1997). Je však třeba rozdělovat POH na dvě části. A to primární půdní organickou hmotu (PPOH) a humus. PPOH má labilní a stabilní frakce z hlediska hydrolýzy, oxidace a biodegradability. V půdě může být rozložena i nerozložena, může mít částečné sorpční vlastnosti, ale nikdy nemá iontovýměnné vlastnosti, protože nemá skupiny disociované s vodíkem (Váchalová a kol., 2016).

### **3.2 Zdroje půdní organické hmoty**

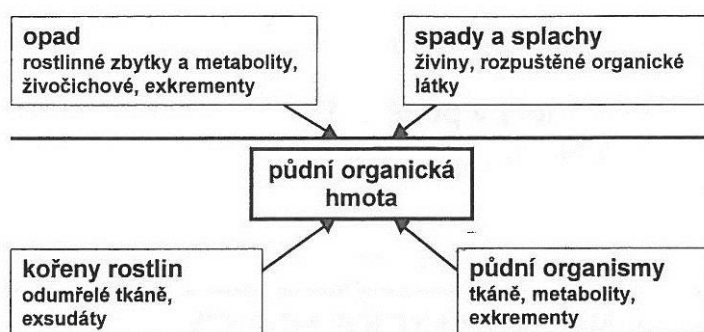
Rostlinné a mikrobiální zbytky představují hlavní zdrojový materiál, z něhož se půdní organická hmota tvoří (Kogel-Knabner, 2002). Zdrojem půdní organické hmoty je především kořeny rostlin a jejich výměšky (exudáty), které svým množstvím představují nejdůležitější zdroj organické hmoty. Dalšími zdroji organické hmoty jsou opad ze stromů, zbytky ze sklizně, odumřelá hmota půdních organismů (Kolář, Moudrý, Kopecký, 2014). Půdní organická hmota se hromadí nebo ubývá rozdílnou rychlostí v závislosti na tom, jak podléhá rozkladu nebo

biologické stabilizaci (Baldock, Nelson, 2000). Pokusy prováděné pomocí radiokarbonového datování a izotopového značení s určitostí prokázaly, že se rozdílné složky POU (půdní organický uhlík) obměňují různou rychlostí (Anderson, Paul, 1984, Ladd, 1981).

Dalším (sekundárním) zdrojem organické hmoty jsou živočichové a heterotrofní půdní mikroorganismy. Živí se rostlinou biomasou, vylučují exkrementy, a když následně odumřou, zůstávají jejich těla v půdě. Někteří půdní živočichové hrají důležitou roli při přemísťování zbytků rostlin a dalších částic v půdě (Šimek, 2005).

Množství organických látek, které každoročně vstupují do půdy, je různé a závisí mimo jiné na klimatických podmínkách a vegetaci. Přísun organických látek z nadzemních částí rostlin je relativně dobře znám. Přísun látek, které do půdy vstupují ve formě kořenových exsudátů je značně nejistý. Odhaduje se, že tímto způsobem se do půdy může dostat asi 20 - 40 % uhlíku, který rostliny fixují ve fotosyntéza (Šimek, 2003).

Obrázek č. 2. Zdroje organické hmoty.



(Šimek, 2003)



### **3.3 Složení rostlinné biomasy**

Šarapatka (2014), Kogel-Knabner (2002), Vráblíková a Vráblík (2009) popisují a rozdělují složky biomasy takto:

#### **Jednoduché cukry a organické kyseliny**

Monosacharidy a polysacharidy jsou snadno rozložitelné jak mikrobiálně a chemicky, tak i fyzikálně-chemickými procesy. V aerobním prostředí se monosacharidy i polysacharidy snadno rozkládají na oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) a vodu (H<sub>2</sub>O). V anaerobních podmínkách dochází k tvorbě organických kyselin, alkoholů, vodíku a oxidu uhličitého.

#### **Prvskyřice, tuky, vosky a třísloviny**

Ty na rozdíl od jednoduchých cukrů nejsou rozpustné ve vodě, ale v organických rozpouštědlech. Při srovnání s cukry a aminokyselinami se tyto látky těžko rozkládají mikrobiální cestou. V aerobním prostředí se vosky a třísloviny rozkládají velmi pomalu a v anaerobním prostředí v podstatě vůbec. Tuky, které v aerobních podmínkách podléhají úplné oxidaci, se v anaerobních podmínkách rozkládají velmi těžko.

#### **Celulóza a hemicelulóza**

Celulóza je jednou ze základních složek rostlin, a je důležitým zdrojem energie pro edafon. Chemicky se rozkládá pomocí koncentrovaných kyselin a louhů. Mikrobiální cestou je poměrně snadno rozložitelná pomocí celuláz a beta glukozidázy. Rozklad celulózy do značné míry ovlivňuje prostředí (teplota, vlhkost, pH, provzdušnění), ale také doprovodné látky, kdy například lignin snižuje rychlost rozkladu.

Hemicelulóza je při rozkladu kyselinami a louhy odolná méně, než celulóza. Při mikrobiálním rozkladu dochází ke snadnějšímu odbourávání, které začíná hydrolýzou na cukry.

## Lignin

Jedna z hlavních složek dřevní hmoty. Jeho rozklad probíhá pouze za optimálních podmínek, například teplotních. Podílí se na něm mikromycety a aktinomycety. Produkty tohoto rozkladu pak reagují s dusíkatými látkami mikrobiálního původu. Výsledkem tohoto rozkladu jsou složité heterogenní látky humusové povahy. Lignin se v anaerobním prostředí rozkládá velmi pomalu nebo vůbec.

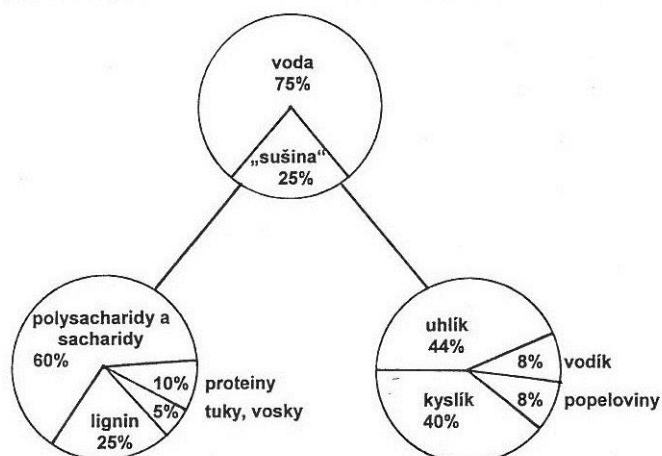
## Organické dusíkaté látky

Organické dusíkaté látky jsou tvořeny asi ze třetiny až poloviny bílkovinami. Zbylý podíl tvoří nukleoproteiny, nukleové kyseliny atd. Z bílkovin se při rozkladu heterotrofními mikroorganismy uvolňuje dusík, který se přeměňuje na minerální formu, která je rostlinám dostupná. Tento proces je nazýván podle jeho konečného produktu - amonizace. Amoniak posléze využívá mikroflóra na biosyntézu.

## Popeloviny

Popeloviny jsou látky, které zůstávají v popelu po spálení organické hmoty. Jsou to látky minerálního charakteru, které jsou v rostlinách obsaženy v různém poměru. Jejich obsah je většinou pod 10% množství sušiny (Šarapatka, 2014, Vráblíková, Vráblík, 2009, Kogel-Knabner, 2002).

Obrázek č. 3. Složení rostlinné biomasy.



(Šimek, 2003)

### 3.4 Rozklad organické hmoty (mineralizace)

Primární půdní organická hmota je více či méně náchylná k rozkladným procesům, které umožňují enzymy půdních mikroorganismů. Především se jedná o chemické reakce s vodou (hydrolýzy), při kterých se ze složitých organických látek stávají organické látky podstatně jednodušší. Ty jsou pak dále oxidovány až na konečný stupeň, kdy u organických látek je to voda, oxid uhličitý a minerální sloučeniny, které byly obsaženy v původní organické hmotě. Z toho důvodu tento proces nazýváme mineralizací (Kolář, Moudrý, Kopecký, 2014). Obecně nejsnadněji se rozkládají jednodušší cukry a škrob, hůře pak bílkoviny, ještě obtížněji hemicelulóza a celulóza, následují tuky a vosky a nejobtížněji se rozkládá lignin (Šimek, 2003). Rychlost rozpadu a mineralizace půdní organické hmoty mohou měnit metody obhospodařování půdy, prostřednictvím jejich vlivu na množství dodaných rostlinných zbytků. Pomocí kultivace mohou měnit půdní teplotu, stav vody a stav živin v půdě (Paustian a kol, 1997, Johnson a Curtis 2001).

#### Rozklad organické hmoty v aerobních půdách

V dobře provzdušněných půdách podléhají všechny organické sloučeniny z rostlinných zbytků oxidaci. Jelikož organická frakce rostlinného materiálu je složena převážně z uhlíku a vodíku, můžeme oxidaci prezentovat rovnicí:



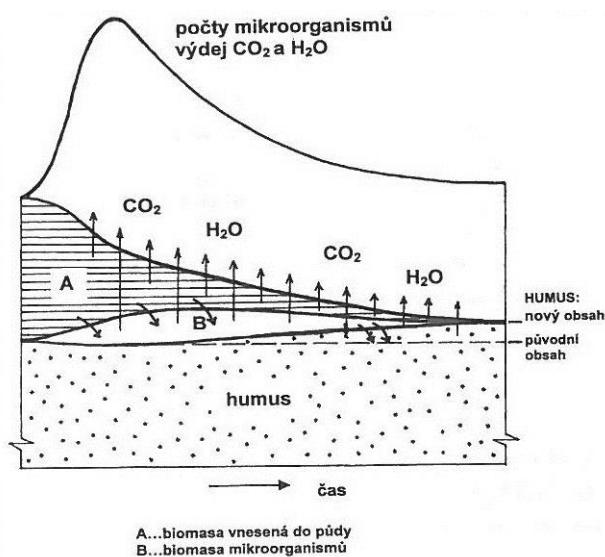
Do toho procesu je zapojeno mnoho mezistupňů a důležitých reakcí které se týkají jiných prvků než uhlíku a vodíku (Brady, Weil, 1999).

Jednotlivé mezi-reakce, kterých je obrovské množství a liší se podle organické látky, podléhají rozkladu. Během souběžných reakcí probíhá přeměna dalších biogenních prvků jako je dusík, fosfor, síra atd. Bílkoviny se například rozkládají na aminokyseliny a ty podléhají rozkladu, jehož konečným produktem jsou ionty  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$  a  $SO_4^{2-}$  (Šimek, 2003).

Malé populace mikroorganismů, které přežívají díky pomalému stravování velmi odolné organické hmoty, zajišťují pomalé, ale stabilní uvolňování uhlíku ve formě

CO<sub>2</sub>. Tyto mikroorganismy zvýší svojí činnost při dodání nové čerstvé a rychle stravitelné organické hmoty jako jsou vodou rozpustné cukry, škroby a aminokyseliny. Se zvýšenou aktivitou narůstá i jejich populace a to má za následek uvolňování velkého množství CO<sub>2</sub>. Populace mikroorganismů narůstá až do chvíle, kdy je veškerá lehce stravitelná organická hmota strávena. V tomto bodě může mikrobiální biomasa dosáhnout až 1/6 celkové organické biomasy v půdě. Následně začínají mikroorganismy odumírat a z mrtvých buněk se uvolňují jednoduché anorganické zbytky jako nitráty a sulfidy. Malé množství zbývajících uhlíku je chemicky chráněno přeměnou v půdní humus. Tato temně zbarvená, heterogenní, koloidní směs přeměněného ligninu odolává dalšímu rozkladu a pevně se váže na jílové částice v půdě (Brady, Weil, 1999). Také bylo zjištěno, že jílové částice obalují částice organické hmoty a chrání organické látky proti rozkladným účinkům mikroorganismů (Baldock, 2002).

Obrázek č. 4. Průběh rozkladu organické hmoty.



(Šimek, 2003)

### Rozklad organické hmoty v anaerobních půdách

Bez přístupu kyslíku nemohou aerobní mikroorganismy rozklad provádět, proto se zde stávají dominantními anaerobní a fakultativní organismy. Za těchto podmínek probíhá rozklad výrazně pomaleji (Jandák, Prax, Pokorný, 2004).

Produkty anaerobního rozkladu zahrnují široké množství částečně oxidovaných

organických sloučenin, jako jsou organické kyseliny, alkoholy a metan. Anaerobní rozklad obsahuje relativně malé množství využitelné energie pro tyto mikroorganismy. Díky tomu si produkty anaerobního rozkladu udržují značnou energii, kterou můžeme využívat, jako palivo (metan) (Brady, Weil, 1999).

### 3.5 Humifikace

Při rozkladu organické hmoty se uvolňuje množství energie, kterou mohou využívat mikroorganismy. Uvolňuje se CO<sub>2</sub> a další jednoduché sloučeniny, a v neposlední řadě vzniká humus. Během procesu humifikace, který zahrnuje biochemické procesy transformace a rozkladu vstupujících organických zbytků a rostlinných biopolymerů, vznikají humusové látky. Ty jsou důležitou složkou globálního koloběhu uhlíku a obsahují ho větší množství než živé organismy. Při vzniku těchto látek se uplatňuje mineralizace, humifikace a rašelinění (Šarapatka a kol., 2010). Humifikace probíhá za optimálních podmínek při střídání aerobních a anaerobních procesů. Proces tvorby pravého humusu je převážně anaerobní, kdy se jedná o biochemické, enzymatické a mikrobiální pochody a výsledkem jsou huminové látky (Šarapatka, 2014).

Brady a Weil (1999) uvádí, že tyto látky, mohou tvořit 60 až 80 % půdní organické hmoty (Brady, Weil, 1999). Jsou charakteristické tím, že mají vyšší molekulovou hmotnost, vyšší obsah uhlíku a podstatně komplikovanější stavbu než původní materiál. V současnosti existují dvě teorie vzniku humusových látek. První z nich předpokládá biochemické modifikace a transformace organických látek. Druhá možnost obsahuje syntézu a polykondenzaci odštěpených molekul z rostlinných prekurzorů. První možnost předpokládá postupnou oxidaci a degradaci již existujících rostlinných polymerů, zatímco druhá předpokládá syntézu nových makromolekul, které jsou postupně oxidativně degradovány (Šarapatka, 2014).

## **4 Humus**

### **4.1 Humus a jeho význam**

Jak již bylo zmíněno dříve, organická hmota by dnes měla být rozdělena na dvě složky. Na primární půdní organickou hmotu, která může být původní nebo i zcela rozložená. Důležité je, že se organická hmota už zcela rozpadla a počala mineralizaci, ale doposud z ní nebyly syntetizovány vysokomolekulární polymery a polykondenzáty, tudíž nedošlo k humifikaci. Mnohostranný význam humusových látek spočívá v kladném působení na půdní úrodnost, i na obsah živin v půdě (Kolář, Moudrý, Kopecký, 2014). Humus je na rozdíl od PPOH natolik stabilní že z hlediska lidského života není prakticky rozložitelný. Kromě vlastností sopčnic má i vlastnosti iontovýmenné (Váchalová a kol., 2016).

Jejich schopnost poutat živiny v půdě je 6 – 7x vyšší než u jílových minerálů a jejich přítomnost ovlivňuje drobtovitost půdy, čímž působí kladně na vodní, vzdušný a tepelný režim půdy (Šarapatka, 2014).

Pospíšilová a Tesařová (2009) rozdělily humusové látky do skupin podle jejich chemických vlastností na specifické humusové látky, nespecifické humusové látky a meziprodukty rozkladu (Pospíšilová, Tesařová, 2009). Mezi specifické humusové látky zařazujeme:

#### **4.1.1 Fulvokyseliny (FK)**

V porovnání s ostatními sloučeninami jsou světlejší barvy a mají nejnižší molekulovou hmotnost. Jsou relativně málo odolné k mikrobiálnímu rozkladu a rozpouští se jak ve vodě, tak v minerálních kyselinách a louzích. Stejně tak jsou rozpustné i v hydrolytických roztocích zásaditých solí (Šarapatka, 2014).

Jejich složení je přibližně: C až 49 %, H až 4 - 6 %, O až 49 %, N až 5 %. Jejich nižší relativní molekulová hmotnost jim umožňuje celkem snadnou pohyblivost v půdním profilu (Kolář, Moudrý, Kopecký, 2014). Vznikají hlavně v půdách, kde je nízká mikrobiologická aktivita a kyselé prostředí. Tvoří se štěpením humusových látek s vyšší molekulovou hmotností. Také se předpokládá, že se vytváří v prvních

fázích humifikace a posléze se z nich stávají huminové kyseliny (Šarapatka, 2014).

Fulvokyseliny rozpuštěné ve vodě, vytváří roztok velmi silně kyselého charakteru (pH – 2,6 až 2,8). Jejich molekulová hmotnost kolísá mezi 200 až 5000 mmol na kg (Pospíšilová, Tesařová, 2009). Podle prostředí je poločas rozpadu fulvokyselin asi 10 až 50 let, zatímco u humusových kyselin to mohou být i staletí (Brady, Weil, 1999).

### 4.1.2 Huminové kyseliny (HK)

Oproti fulvokyselinám mají tmavší barvu, hůře se rozkládají a patří do skupin vysoce molekulárních dusíkatých sloučenin s cyklickou stavbou. Jsou rozpustné pouze v hydrolytických roztocích solí a louzích. V kyselinách se srážejí. Chemické složení udávají autoři různé: C – 52 – 65 %, H – 2 – 6 %, O – 30 – 39%, N – 3 – 5 % (Šarapatka, 2014 a Pospíšilová, Tesařová, 2009).

Huminové kyseliny tvoří koloidní soustavu s vysokou sorpční schopností a jejich kationtová výměnná kapacita je až 5000 mmol na kg. Můžeme je nalézt i ve formě solí s různými kationty a v tomto případě je označujeme humáty. Mezi huminové kyseliny patří také **hymatomelanové kyseliny**, které mají nižší molekulovou hmotnost a žluté až žlutohnědé zbarvení (Šarapatka, 2014). Vznikají z huminových kyselin nebo syntézou lehce rozložitelných organických zbytků oxidačně redukčním rozkladem humusových látek za přítomnosti kyslíku a určité vlhkosti. Mohou obsahovat více než 60 % uhlíku (Pospíšilová, Tesařová, 2009).

### 4.1.3 Huminy

Nejsou rozpustné v kyselinách ani zásadách. Mají tmavou barvu a téměř nepodléhají mikrobiologickému rozkladu. Oproti ostatním humusovým složkám mají nejvyšší molekulovou hmotnost a jsou částečně stabilizovány minerální složkou (komplexem). Někteří autoři do huminů zařazují i **humusové uhlí**, které je nejstarší složkou organické půdní hmoty, je bohaté na C i N. Humusové uhlí se již neúčastní půdotvorného procesu, proto ztrácí funkci pravého humusu (Šarapatka, 2014 Jandák, Prax, Pokorný, 2004). Částičky humusového uhlí jednotlivě vyjmuté z půdy nejsou asociované s půdními minerály a mají stejné nebo vyšší radiokarbonové stáří jako

půdní huminové frakce (Pressenda aj. 1996). Baldock a Smernik (2002) prokázali vysokou rekalitranci uhlíku z humusového uhlí vůči biologické mineralizaci, ačkoliv podle Hamera a kol. (2004) mineralizaci části uhlíku z humusového uhlí zvýšilo také přidání glukózy. Duchaufour (2012) píše, že humin zůstává jako neextrahovatelná frakce po extrahování huminových a fulvokyselin a má značný význam, protože jeho podíl činí asi 50 až 70 % celkové organické hmoty (Duchaufour, 2012).

## **4.2 Diagnostické horizonty**

### **Horizont opadanky – L**

Je tvořen relativně čerstvým rostlinným opadem. Patří sem například: jehličí, listí, větvičky, kůra. Rostlinná hmota je zde bez známek rozkladu, tudíž je lehce rozeznatelná. Horizont Ln je tvořen rostlinnou hmotou naakumulovanou za méně než jeden rok a její struktura se téměř nezměnila. Lv horizont tvoří hmota, na níž je už patrný mírný rozklad. Je silně odbarvena.

### **Horizont fermentační – F**

Fermentační horizont tvoří částečně rozložená organická hmota, kdy její původ lze ještě rozeznat a v menším množství hmota humifikovaná u které již původ neurčíme. Fm horizont je charakteristický spojováním a prorůstáním micelií hub. Tento horizont má často až plst'ovitý charakter. Fz horizont je charakteristický kyprou a nesoudržnou strukturou vzniklou činností půdní fauny. Fa horizont je přechodem mezi Fm a Fz horizontem. Rozklad hmoty zde probíhá jak za účasti živočichů, tak i hub.

### **Horizont humifikační – H**

Tento horizont tvoří již silně rozložené rostlinné zbytky, takže jeho struktura není rozeznatelná. Humifikovaný materiál značně převládá nad nerozloženými zbytky organické hmoty. Pro Hh horizont jsou typické černě zbarvené amorfní částice. Jeho struktura je souměrná a celistvá. Při tření mezi prsty za vlhka je kluzký a černě barví. Hz horizont obsahuje velké množství exkrementů půdní fauny a má granulární strukturu. Hr horizont má typickou červenohnědou barvu, mezi prsty je kluzký, ale



nebarví. Jsou zde částečně rozeznatelné rostlinné zbytky, jako například kůra nebo zbytky kořenů (Němeček a kol., 2001 a Jandák, Prax, Pokorný, 2004).

### **4.3 Formy nadložního humusu**

#### **Mor – forma surového humusu**

Tvoří se za podmínek nepříznivých pro rozklad a transformaci humusu, hlavně na kyselých a minerálně chudých půdách v chladném a vlhkém prostředí. K jeho tvorbě přispívá opad jehličí a hromadění odumřelých částí přízemní vegetace acidofilních druhů. Při rozkladu organické hmoty se zde uplatňují hlavně houby a plísňe (Němeček a kol. 2001). U této formy se vyskytují hlavně L, F a H vrstvy, které se dají snadno oddělit od spodního minerálního A horizontu (Šarapatka, 2014).

#### **Moder – přechodná forma humusu**

Tato forma je přechodným stádiem mezi morem a mulem. Formě moru se podobá hlavně akumulací, částečně, až značně humifikovaného organického materiálu. Formě mul se podobá vyšší aktivitou půdní fauny a zoogenní dekompozicí v horizontu Fz. Tento horizont je často dobře vyvinutý a tvoří ho částečně rozložené rostlinné zbytky, jejichž struktura je nesoudržná a kyprá. Při výskytu mycelií hub se vytváří mírně vrstevnatá struktura. Často se vytváří i humusový horizont Hh. Nemá jasnou strukturu a bývá obohacen o minerální částice. Jasně se neodděluje od humózního horizontu A. Moder vzniká pod jehličnatými i listnatými porosty v příznivějších klimatických podmínkách, než je tomu u moru (Němeček a kol., 2001).

#### **Mull**

Vytváří se zejména na místech s mírným až teplým klimatem, na půdách s vyšším obsahem jak jílu, tak živin, kde je optimální poměr vody a vzduchu. Na těchto stanovištích bývá často i velmi bohatá bylinná vegetace. (Šarapatka 2014)

Pro mull je charakteristický vyvinutý humózní horizont A, ten bývá černohnědý až hnědočerný. Nad horizontem může ležet i opadanka L, taktéž i horizont zoogenní Fz, nebo horizont Hz. Celkově jsou horizonty F a H menší než 2 cm. Díky velmi intenzivnímu působení zoedafonu a bakterií je rozklad organické hmoty velmi

rychlý. Exkrementy půdních živočichů, hlavně dešťovek, prospívají drobtovité struktuře svrchní části horizontu A (Němeček a kol., 2001).

#### **4.4 Kvalita a množství humusu**

Kvalita půdní organické hmoty se posuzuje pomocí oxidovatelného uhlíku (Pospíšilová, Tesařová, 2009). Pro stanovení množství oxidovatelného uhlíku je třeba toto množství vynásobit koeficientem 1,724 (obsah uhlíku v humusu je asi 58 %). V půdách České republiky se obsah organické hmoty pohybuje v rozmezí 1,5 – 7 %. V půdním profilu se zásoba humusu pohybuje v hodnotách od 50 do 800 t/ha. Kvůli značnému významu humusu pro půdní úrodnost je nutné regulovat procesy mineralizace a humifikace tak, aby nedocházelo k jeho úbytku (Jandák, Prax, Pokorný, 2004). Poměr HK:FK je základním parametrem pro posouzení kvality humusových látek (Pospíšilová, Tesařová, 2009). Kvalita humusu roste se zvyšováním obsahu humínových kyselin. Poměr humínových kyselin k fulvokyselinám je u většiny našich půd menší než 1. Nejvyšší kvalitou humusu jsou charakteristické černozemě a fluvizemě. Opakem jsou půdy hydromorfnní, kde je kvalita humusu nejnižší (Jandák, Prax, Pokorný, 2004). Podle Orlova (1985) je dalším ukazatelem kvality humusových látek stupeň humifikace (Sh %). Charakterizuje intenzitu chemických a biologických přeměn humusových látek v půdě.

Také se měří optické vlastnosti humusových látek v různých spektrech jako UV – VIS, IČ, fluorescenční a NMR, ze kterých počítáme tzv. barevné indexy (Pospíšilová, Tesařová, 2009). Dále se kvalita humusu určuje pomocí poměru C:N v půdě, kdy je průměrný poměr 10:1. Výrazem vyšší kvality humusu je užší poměr C:N, například v posklizňových zbytcích naměříme tento poměr 25 – 100 : 1 (Jandák, Prax, Pokorný, 2004).

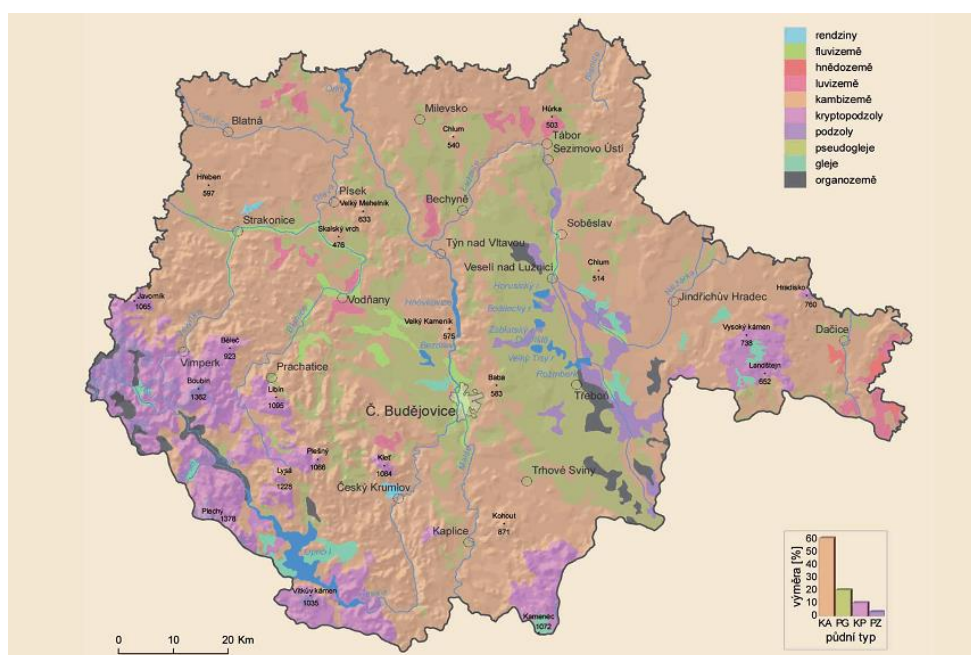
## 5 Cíl práce

Bakalářská práce byla rozdělena na dvě části. V první, teoretické části, jsem se zabýval, jak částmi organické hmoty, jako je primární organická hmota a humus, tak vysvětlením procesů přispívajících k rozkladným procesům. Byla popsána mineralizace a procesy které ji ovlivňují. Taktéž proces humifikace, formy jeho stanovení a určení kvality. V experimentální části mé bakalářské práce jsem se dle zadání zaměřil na rozdělení primární půdní organické hmoty vzorku kambizemě, do frakcí podle stupně stability. Metodiku pro tento výzkum navrhl kolektiv Váchalová, Kolář, Horáček a Váchal z roku 2013. Tento vzorek jsem rozdělil na sérii opakování tak, aby bylo možné s odpovídající přesností stanovit stabilní a labilní část organické hmoty. Pokus jsem prováděl v roce 2015-2016 v laboratorních podmínkách Katedry Agroekosystémů na Zemědělské fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.

### 5.1 Půdní vzorek

Půdní vzorek byl odebrán ze zemědělsky neobdělávané půdy, původně lesní, dnes již orné půdy. Jednalo se o kambizem – KAd, dystrická. Vzorek byl odebrán v blízkosti obce Hvozdec ležící v okrese České Budějovice, který spadá do mírně teplého až vlhkého klimatického regionu. Půda je zde hluboká až středně hluboká bez skeletovitosti až slabě skeletovitá, bez větších sklonitostí. Podle dělení hlavních půdních jednotek se jedná o Kambizemě pseudoglejové a pseudogleje na zahliněných štěrkopísčích a morénách; lehké až středně těžké, bez štěrku nebo slabě štěrkovité, náchylné k dočasnému zamokření. Lokalita je zařazena do Bramborářské výrobní oblasti (původně obilnářská) s nadmořskou výškou okolo 500 m n. m. Průměrné roční teploty se pohybují v rozmezí od 5 – 8,5 °C s ročním úhrnem srážek od 550 – 700 mm.

Obrázek č. 5. Mapa půdních typů Jihočeského kraje.



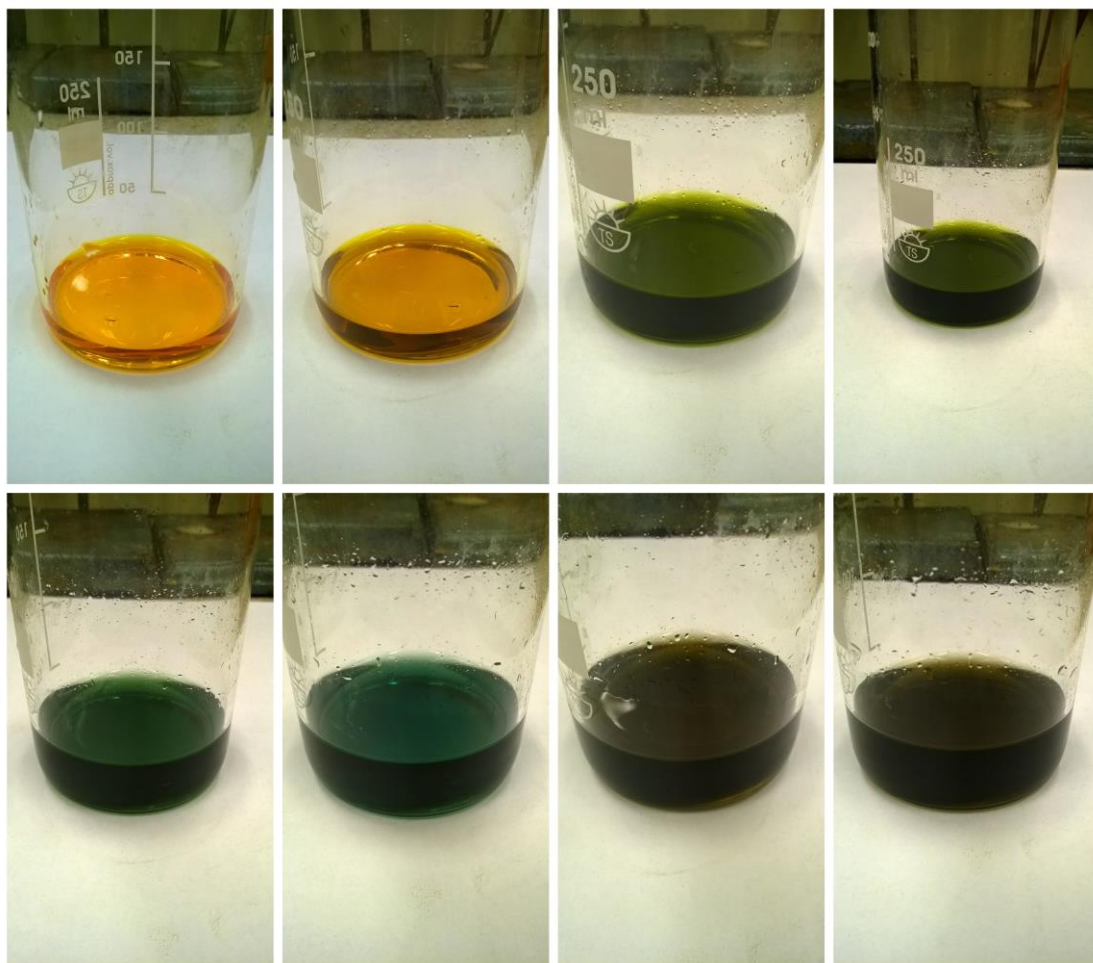
(MZP, 2016)

## 5.2 Metodika

- 1) Vzorek jemnozeme byl rozetřen v keramické třecí misce a síťován sítím 0,25 mm na jemnozeme II třídy. Následně bylo připraveno 8 kádinek, do nichž bylo naváženo přesně 0,4 g jemnozeme.
- 2) Do každé z 8 kádinek bylo přidáno 10 ml chromsírové směsi (oxidační chromsírová směs: 19,6148 g  $H_2Cr_2O_7$  rozpustit v 72%  $H_2SO_4$  ( $h = 1,635$ ) nejprve ve 400 ml a po vychladnutí doplnit na 1000 ml 72% kyselinou  $H_2SO_4$ ).
- 3) Kádinky byly zakryty hodinovým sklem a vloženy do termostatu předehřátého na 60°C. Prvních šest kádinek bylo postupně vyjmuto a ihned ochlazen v ledové vodě v intervalech po 10, 30, 45, 75, 90, 120 minutách.

- 4) Sedmá kádinka byla ponechána v termostatu při zvýšené teplotě na 100°C a době zdržení 45 min. Paralelně bylo stanoveno  $C_{ox\ tot}$  více zmíněnou metodou, ale při teplotě 125°C a době zdržení 60 min.
- 5) U prvních pokusných vzorků byla jako indikátor použita kyselina autranilová, která se neosvědčila z důvodu nejasného bodu ekvivalence a ze stejného důvodu byl vyloučen i difenylamin. Jako indikátor se osvědčil  $\delta$  - fenantrolin ( 1,624g  $\delta$  - fenantrolinu a 0,695g  $FeSO_4$  se rozpustí v destilované vodě a doplní se na 100 ml).
- 6) Do kádinky bylo přidáno 2,5 ml 85% kyseliny orthofosforečné, promíchala se a přidali se 3 – 4 kapky  $\delta$  - fenantrolinu. Následně se titrovalo 0,1 M Mohrovou solí z hnědozelené barvy přes zelenou, modrozelenou až do hnědočervené (bod ekvivalence).

Obrázek č. 6. Barevné spektrum titrace.



7) (0,1 M Mohrová sůl - ve 300 ml destilované vody se rozpustí 39,21 g  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , po rozpuštění přidat 20 ml koncentrované  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a doplnit na 1000 ml destilovanou vodou).

8) Dále byl určen faktor roztoku Mohrovy soli tak, že se do 10 ml chromsírové směsi přidaly 3 – 4 kapky indikátoru  $\delta$  - fenantrolinu a titrovalo se Mohrovou solí až do bodu ekvivalence. Následně se faktor vypočítal dle vzorce:

$$f = \frac{b}{a}$$

(b = 40 ml teoretická spotřeba, a = skutečná spotřeba).

9) Výpočet oxidativního uhlíku byl proveden podle vzorce:

$$C_{ox} = \frac{(12 - 0,3 \times S \times f)}{400} \times 100$$

(S = spotřeba Mohra v ml, f = faktor Mohra)

10) Pro vytvoření grafu  $\log C_{oxN} - C_{ox(1,2,3,4,5,6)}$  bylo třeba vypočítat rozdíl mezi oxidativním uhlíkem  $C_{ox}$  (1,2,3,4,5,6) a  $C_{oxN}$  ( $C_{oxN}$  - oxidativní uhlík veškeré organické hmoty) toto číslo zlogaritmovat a zanést do grafu.

11) Následně vypočítat konstantu K a ze všech šesti  $C_{ox}$  vypočítat průměr.

$$K = 2,303 \times \text{tg } \alpha$$

$$K = [\text{min}]$$

$\text{tg } \alpha = \text{délka protilehlé odvěsny} / \text{délka přilehlé odvěsny}$

12) V závěru je pro všechny vzorky třeba vypočítat stupeň humifikace půdní organické hmoty podle vzorce:

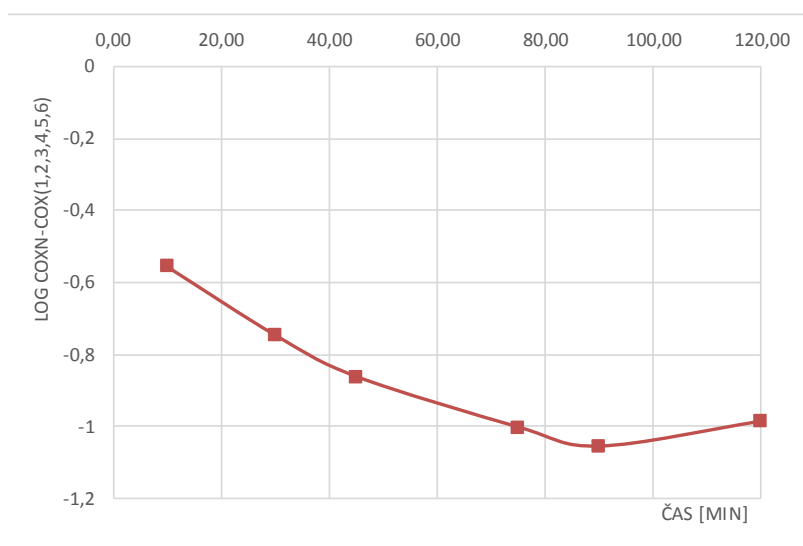
$$SII = \frac{C_{ox\text{tot}} - C_{oxN}}{C_{ox\text{tot}}} \times 100$$

### **5.3 Výsledky**

Jak je patrné z grafů a tabulek, ve vzorku byla nejvíce zastoupena semilabilní a stabilní frakce PPOH. Frakce labilní je zastoupena v menší míře, což dokazuje, že kambizemě nepatří mezi nejúrodnější půdy (jako například černozemě), ale množstvím labilní frakce, tedy té, kterou v půdách vyhledáváme, převyšuje méně kvalitní půdy. Ostatní půdní typy budou předmětem zkoumání v příštích letech.

## Vzorek č.1

teoretická spotřeba	40					
skutečná spotřeba	20,4					
faktor roztoku	0,51					
Vzorek	Čas	spotřeba Mohra	faktor	%	Rozdíl $C_{oxN} - C_{ox}$	
					%	log %
$C_{ox1}$	10,00	13,5	0,510	2,484	0,279	-0,55405
$C_{ox2}$	30,00	10,9	0,510	2,583	0,180	-0,74527
$C_{ox3}$	45,00	9,8	0,510	2,625	0,138	-0,86107
$C_{ox4}$	75,00	8,8	0,510	2,663	0,099	-1,0024
$C_{ox5}$	90,00	8,5	0,510	2,675	0,088	-1,05564
$C_{ox6}$	120,00	8,9	0,510	2,660	0,103	-0,986
$C_{oxN}$	-	6,2	0,510	2,763	-	-
$C_{oxTOT}$	-	4,3	0,510	2,836		



$K_1$	-0,1276
$K_2$	-0,05721
$K_3$	-0,04407
$K_4$	-0,03078
$K_5$	-0,02701
$K_6$	-0,01892
Průměr	-0,05093

Stupeň humifikace POH		
	vzorek	%
$S_{ii}$	1	12,4104
$S_{ii}$	2	8,903113
$S_{ii}$	3	7,419261
$S_{ii}$	4	6,070304
$S_{ii}$	5	5,665617
$S_{ii}$	6	6,2052

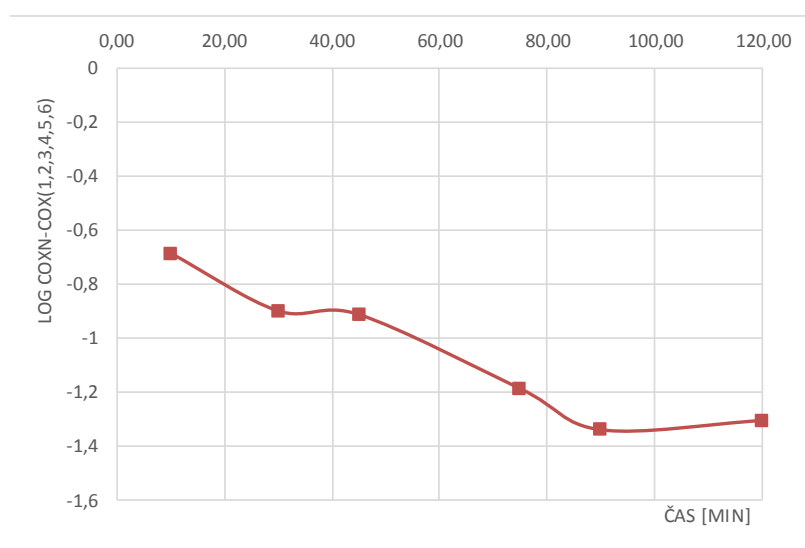
Tabulky a graf vzorku č. 1.

Stupeň humifikace vzorku č. 1 je v rozsahu od 12,4104 až do 6,2052 %. Rychlostní konstanta od -0,1276 po -0,05093 min. Z grafu je patrné nejvyšší zastoupení semilabilní a stabilní frakce.



## Vzorek č.2

teoretická spotřeba	40					
skutečná spotřeba	20,4					
faktor roztoku	0,51					
Vzorek	Čas	spotřeba Mohra	faktor	%	Rozdíl $C_{oxN} - C_{ox}$	
					%	log %
$C_{ox1}$	10,00	12,8	0,510	2,510	0,207	-0,68497
$C_{ox2}$	30,00	10,7	0,510	2,591	0,126	-0,89885
$C_{ox3}$	45,00	10,6	0,510	2,595	0,122	-0,91222
$C_{ox4}$	75,00	9,1	0,510	2,652	0,065	-1,18692
$C_{ox5}$	90,00	8,6	0,510	2,671	0,046	-1,33819
$C_{ox6}$	120,00	8,7	0,510	2,667	0,050	-1,30343
$C_{oxN}$	-	7,4	0,510	2,717	-	-
$C_{oxTOT}$	-	2,8	0,510	2,893		



$K_1$	-0,15775
$K_2$	-0,069
$K_3$	-0,04669
$K_4$	-0,03645
$K_5$	-0,03424
$K_6$	-0,02501
Průměr	-0,06152

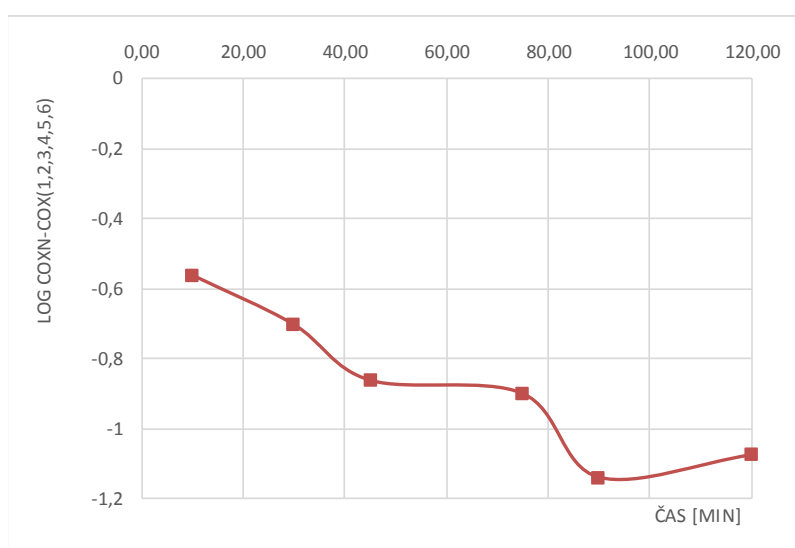
Stupeň humifikace POH		
	vzorek	%
$S_{ii}$	1	13,22203
$S_{ii}$	2	10,4454
$S_{ii}$	3	10,31318
$S_{ii}$	4	8,329877
$S_{ii}$	5	7,668775
$S_{ii}$	6	7,800996

Tabulky a graf vzorku č. 2.

Stupeň humifikace vzorku č. 2, je v rozsahu od 13,22203 až do 7,800996 %. Rychlostní konstanta od -0,15775 po -0,06152 min. Z grafu je patrné nejvyšší zastoupení semilabilní a stabilní frakce.

## Vzorek č.3

teoretická spotřeba	40					
skutečná spotřeba	20,4					
faktor roztoku	0,51					
Vzorek	Čas	spotřeba Mohra	faktor	%	Rozdíl $C_{oxN} - C_{ox}$	
					%	log %
$C_{ox1}$	10,00	13,7	0,510	2,476	0,275	-0,56004
$C_{ox2}$	30,00	11,7	0,510	2,552	0,199	-0,70137
$C_{ox3}$	45,00	10,1	0,510	2,614	0,138	-0,86107
$C_{ox4}$	75,00	9,8	0,510	2,625	0,126	-0,89885
$C_{ox5}$	90,00	8,4	0,510	2,679	0,073	-1,13861
$C_{ox6}$	120,00	8,7	0,510	2,667	0,084	-1,07495
$C_{oxN}$	-	6,5	0,510	2,751	-	-
$C_{oxTOT}$	-	4,5	0,510	2,828		



$K_1$	-0,12898
$K_2$	-0,05384
$K_3$	-0,04407
$K_4$	-0,0276
$K_5$	-0,02914
$K_6$	-0,02063
Průměr	-0,05071

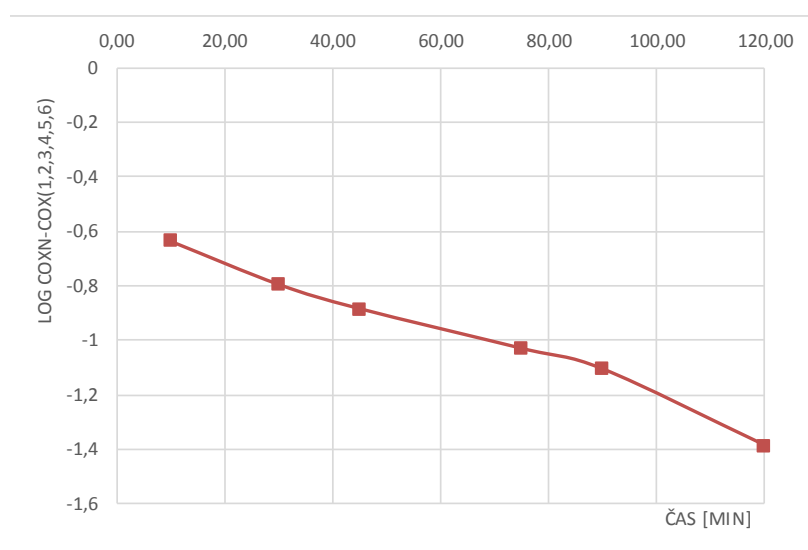
Stupeň humifikace POH		
	vzorek	%
$S_{ii}$	1	12,44397
$S_{ii}$	2	9,738761
$S_{ii}$	3	7,574592
$S_{ii}$	4	7,168811
$S_{ii}$	5	5,275162
$S_{ii}$	6	5,680944

Tabulky a graf vzorku č. 3.

Stupeň humifikace vzorku č. 3, je v rozsahu od 12,44397 až do 5,680944 %. Rychlostní konstanta od -0,12898 po -0,05071 min. Z grafu je patrné nejvyšší zastoupení semilabilní a stabilní frakce.

## Vzorek č.4

teoretická spotřeba	40					
skutečná spotřeba	19,9					
faktor roztoku	0,4975					
Vzorek	Čas	spotřeba Mohra	faktor	%	Rozdíl $C_{oxN} - C_{ox}$	
					%	log %
$C_{ox1}$	10,00	12,8	0,498	2,522	0,231	-0,63575
$C_{ox2}$	30,00	10,9	0,498	2,593	0,160	-0,79468
$C_{ox3}$	45,00	10,1	0,498	2,623	0,131	-0,88408
$C_{ox4}$	75,00	9,1	0,498	2,660	0,093	-1,03021
$C_{ox5}$	90,00	8,7	0,498	2,675	0,078	-1,10593
$C_{ox6}$	120,00	7,7	0,498	2,713	0,041	-1,38675
$C_{oxN}$	-	6,6	0,498	2,754	-	-
$C_{oxTOT}$	-	4,9	0,498	2,817		



$K_1$	-0,14641
$K_2$	-0,061
$K_3$	-0,04525
$K_4$	-0,03163
$K_5$	-0,0283
$K_6$	-0,02661
Průměr	-0,05654

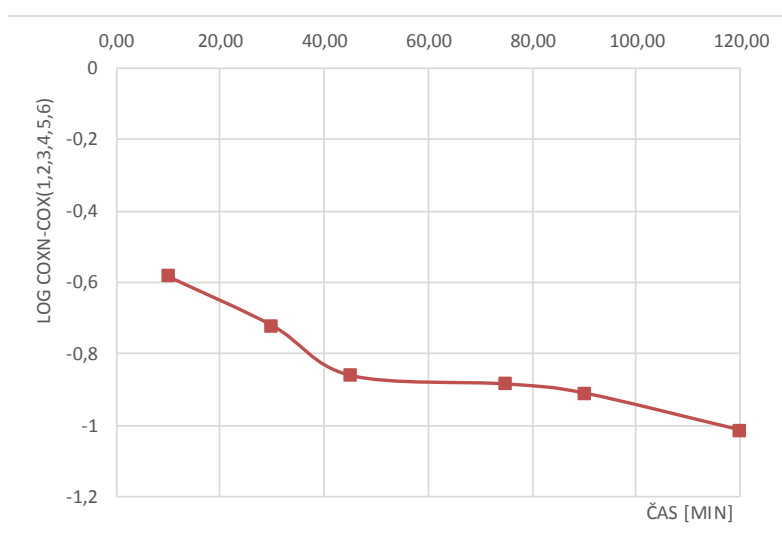
Stupeň humifikace POH		
	vzorek	%
$S_{ii}$	1	10,4633
$S_{ii}$	2	7,946808
$S_{ii}$	3	6,887234
$S_{ii}$	4	5,562766
$S_{ii}$	5	5,032979
$S_{ii}$	6	3,708511

Tabulky a graf vzorku č. 4.

Stupeň humifikace vzorku č. 4, je v rozsahu od 10,4633 až do 3,708511 %. Rychlostní konstanta od -0,14641 po -0,05654 min. Z grafu je patrné nejvyšší zastoupení semilabilní a stabilní frakce.

## Vzorek č.5

teoretická spotřeba	40					
skutečná spotřeba	19,9					
faktor roztoku	0,4975					
Vzorek	Čas	spotřeba Mohra	faktor	%	Rozdíl $C_{oxN} - C_{ox}$	
					%	log %
$C_{ox1}$	10,00	12,9	0,498	2,519	0,261	-0,58305
$C_{ox2}$	30,00	11	0,498	2,590	0,190	-0,72058
$C_{ox3}$	45,00	9,6	0,498	2,642	0,138	-0,85994
$C_{ox4}$	75,00	9,4	0,498	2,649	0,131	-0,88408
$C_{ox5}$	90,00	9,2	0,498	2,657	0,123	-0,90963
$C_{ox6}$	120,00	8,5	0,498	2,683	0,097	-1,01317
$C_{oxN}$	-	5,9	0,498	2,780	-	-
$C_{oxTOT}$	-	4,2	0,498	2,843		



$K_1$	-0,13428
$K_2$	-0,05532
$K_3$	-0,04401
$K_4$	-0,02715
$K_5$	-0,02328
$K_6$	-0,01944
Průměr	-0,05058

Stupeň humifikace POH		
	vzorek	%
$S_{ii}$	1	11,41702
$S_{ii}$	2	8,923649
$S_{ii}$	3	7,086427
$S_{ii}$	4	6,823967
$S_{ii}$	5	6,561507
$S_{ii}$	6	5,642896

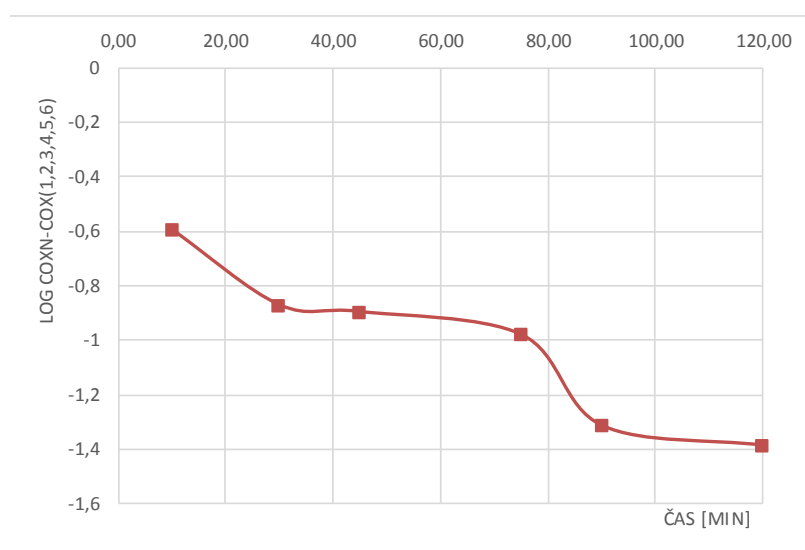
Tabulky a graf vzorku č. 5.

Stupeň humifikace vzorku č. 5, je v rozsahu od 11,41702 až do 5,642896 %. Rychlostní konstanta od -0,13428 po -0,05058 min. Z grafu je patrné nejvyšší zastoupení semilabilní a stabilní frakce.

teoretická spotřeba	40
skutečná spotřeba	19,9
faktor roztoku	0,4975

## Vzorek č.6

Vzorek	Čas	spotřeba Mohra	faktor	%	Rozdíl $C_{oxN} - C_{ox}$	
					%	log %
$C_{ox1}$	10,00	13,9	0,498	2,481	0,254	-0,59564
$C_{ox2}$	30,00	10,7	0,498	2,601	0,134	-0,87184
$C_{ox3}$	45,00	10,5	0,498	2,608	0,127	-0,89667
$C_{ox4}$	75,00	9,9	0,498	2,631	0,104	-0,98099
$C_{ox5}$	90,00	8,4	0,498	2,687	0,049	-1,3142
$C_{ox6}$	120,00	8,2	0,498	2,694	0,041	-1,38675
$C_{oxN}$	-	7,1	0,498	2,735	-	-
$C_{oxTOT}$	-	4	0,498	2,851		



$K_1$	-0,13718
$K_2$	-0,06693
$K_3$	-0,04589
$K_4$	-0,03012
$K_5$	-0,03363
$K_6$	-0,02661
Průměr	-0,05673

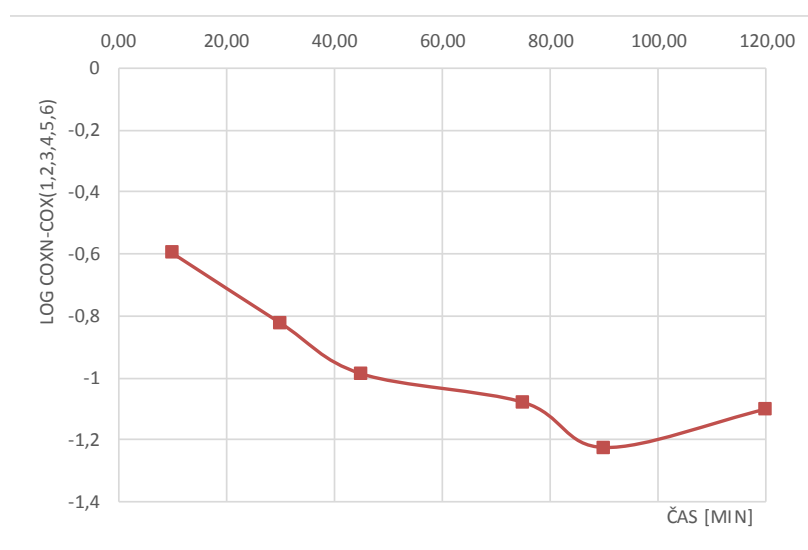
Stupeň humifikace POH		
	vzorek	%
$S_{ii}$	1	12,95777
$S_{ii}$	2	8,769403
$S_{ii}$	3	8,50763
$S_{ii}$	4	7,72231
$S_{ii}$	5	5,759011
$S_{ii}$	6	5,497238

Tabulky a graf vzorku č. 6.

Stupeň humifikace vzorku č. 6, je v rozsahu od 12,95777 až do 5,497238 %. Rychlostní konstanta od -0,137118 po -0,05673 min. Z grafu je patrné nejvyšší zastoupení semilabilní a stabilní frakce.

## Vzorek č.7

teoretická spotřeba	40					
skutečná spotřeba	21,2					
faktor roztoku	0,53					
Vzorek	Čas	spotřeba Mohra	faktor	%	Rozdíl $C_{oxN} - C_{ox}$	
					%	log %
$C_{ox1}$	10,00	12,7	0,530	2,495	0,254	-0,59448
$C_{ox2}$	30,00	10,1	0,530	2,599	0,151	-0,82088
$C_{ox3}$	45,00	8,9	0,530	2,646	0,103	-0,98569
$C_{ox4}$	75,00	8,4	0,530	2,666	0,083	-1,07844
$C_{ox5}$	90,00	7,8	0,530	2,690	0,060	-1,22457
$C_{ox6}$	120,00	8,3	0,530	2,670	0,080	-1,09963
$C_{oxN}$	-	6,3	0,530	2,750	-	-
$C_{oxTOT}$	-	4,6	0,530	2,817		



$K_1$	-0,13691
$K_2$	-0,06302
$K_3$	-0,05045
$K_4$	-0,03312
$K_5$	-0,03134
$K_6$	-0,0211
Průměr	-0,05599

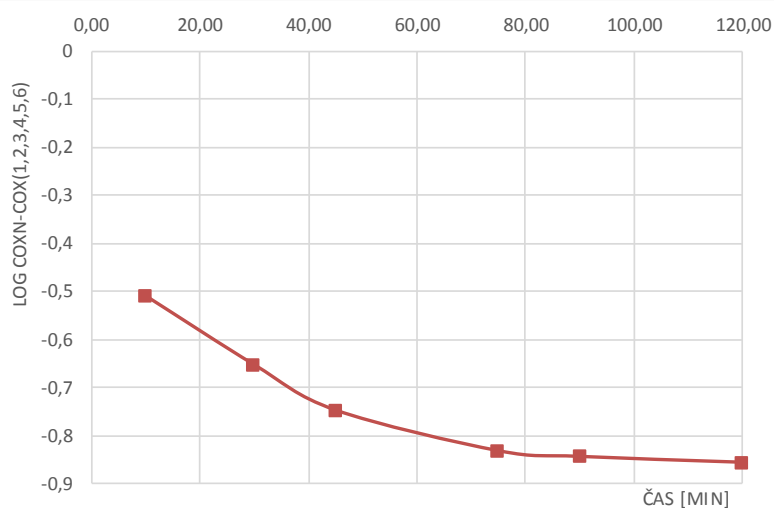
Stupeň humifikace POH		
	vzorek	%
$S_{ii}$	1	11,4291
$S_{ii}$	2	7,760503
$S_{ii}$	3	6,067302
$S_{ii}$	4	5,361802
$S_{ii}$	5	4,515202
$S_{ii}$	6	5,220702

Tabulky a graf vzorku č. 7.

Stupeň humifikace vzorku č. 7, je v rozsahu od 11,4291 až do 5,220702 %. Rychlostní konstanta od -0,13691 po -0,05599 min. Z grafu je patrné nejvyšší zastoupení semilabilní a stabilní frakce.

## Vzorek č.8

teoretická spotřeba	40					
skutečná spotřeba	21,2					
faktor roztoku	0,53					
Vzorek	Čas	spotřeba Mohra	faktor	%	Rozdíl $C_{oxN} - C_{ox}$	
					%	log %
$C_{ox1}$	10,00	12,6	0,530	2,499	0,310	-0,50857
$C_{ox2}$	30,00	10,4	0,530	2,587	0,223	-0,65247
$C_{ox3}$	45,00	9,3	0,530	2,630	0,179	-0,74745
$C_{ox4}$	75,00	8,5	0,530	2,662	0,147	-0,83246
$C_{ox5}$	90,00	8,4	0,530	2,666	0,143	-0,84436
$C_{ox6}$	120,00	8,3	0,530	2,670	0,139	-0,85659
$C_{oxN}$	-	4,8	0,530	2,809	-	-
$C_{oxTOT}$	-	4,9	0,530	2,805		



$K_1$	-0,11712
$K_2$	-0,05009
$K_3$	-0,03825
$K_4$	-0,02556
$K_5$	-0,02161
$K_6$	-0,01644
Průměr	-0,04485

Stupeň humifikace POH		
	vzorek	%
$S_{ii}$	1	10,91089
$S_{ii}$	2	7,793493
$S_{ii}$	3	6,234794
$S_{ii}$	4	5,101195
$S_{ii}$	5	4,959495
$S_{ii}$	6	4,817795

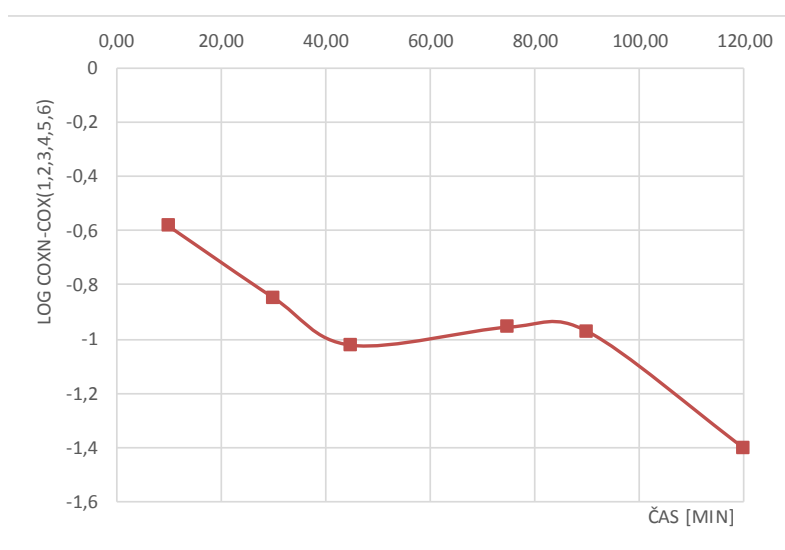
Tabulky a graf vzorku č. 8.

Stupeň humifikace vzorku č. 8, je v rozsahu od 10,91089 až do 4,817795 %. Rychlostní konstanta od -0,11712 po -0,04485 min. Z grafu je patrné nejvyšší zastoupení semilabilní a stabilní frakce.

teoretická spotřeba	40
skutečná spotřeba	21,2
faktor roztoku	0,53

## Vzorek č.9

Vzorek	Čas	spotřeba Mohra	faktor	%	Rozdíl $C_{oxN} - C_{ox}$	
					%	log %
$C_{ox1}$	10,00	12,9	0,530	2,487	0,262	-0,58112
$C_{ox2}$	30,00	9,9	0,530	2,606	0,143	-0,84436
$C_{ox3}$	45,00	8,7	0,530	2,654	0,095	-1,02045
$C_{ox4}$	75,00	9,1	0,530	2,638	0,111	-0,9535
$C_{ox5}$	90,00	9	0,530	2,642	0,107	-0,9693
$C_{ox6}$	120,00	7,3	0,530	2,710	0,040	-1,40066
$C_{oxN}$	-	6,3	0,530	2,750	-	-
$C_{oxTOT}$	-	4,6	0,530	2,817		



$K_1$	-0,13383
$K_2$	-0,06482
$K_3$	-0,05222
$K_4$	-0,02928
$K_5$	-0,0248
$K_6$	-0,02688
Průměr	-0,05531

Stupeň humifikace POH		
	vzorek	%
$S_{ii}$	1	11,7113
$S_{ii}$	2	7,478303
$S_{ii}$	3	5,785102
$S_{ii}$	4	6,349502
$S_{ii}$	5	6,208402
$S_{ii}$	6	3,809701

Tabulky a graf vzorku č. 9.

Stupeň humifikace vzorku č. 9, je v rozsahu od 11,7113 až do 3,809701 %. Rychlostní konstanta od -0,13383 po -0,05531 min. Z grafu je patrné nejvyšší zastoupení semilabilní a stabilní frakce.



## 5.4 Diskuze a závěr

Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části byly vysvětleny pojmy jako primární půdní organická hmota a humus. Tyto dvě složky půdní organické hmoty se často významově spojují, i když mají zcela odlišné vlastnosti (Kolář, Moudrý, Kopecký, 2015). Primární půdní organická hmota oproti humusu mineralizuje podstatně rychleji, a to až do takové míry, že humus z pohledu délky lidského života nemineralizuje téměř vůbec, a proto se dá označit za stabilní.

V tom případě je nesmyslné přepočítávat  $C_{ox}$  na humus faktorem 1,724, protože většina  $C_{ox}$  patří primární organické hmotě a jen malá část humusu. Tato chyba vznikla na začátku minulého století, kdy byl firmou MERCK izolovaný vzorek huminových kyselin dodávaných do obchodu chybně označen jako jedna kyselina, chemické individuum, Acidum humicum Merck s obsahem 58 % C. Charakterizaci půdní organické hmoty bychom mohli provést rozdělením celkového uhlíku primární organické půdní hmoty na frakce podle skupin stability, dále bychom mohli charakterizovat její kvalitu podle rychlostní konstanty její oxidace. Humus bychom měli hodnotit podle jeho množství po odečtení uhlíku PPOH.

Hodnotit organickou hmotu půdy jen podle  $C_{ox}$  je přinejmenším nedostatečné a hodnocení vede většinou k zmatečným závěrům. Kvalitu PPOH určují především labilní frakce, které jsou přístupným zdrojem energie pro půdní mikroedafon.

Baldock (2002) tvrdí, že mineralizaci půdní organické hmoty může limitovat také tvorba agregátů kolem částí rostlinných zbytků. Toto tvrzení se zdá poněkud zcestné, protože půdní agregát je přesně definován jako spojení jílovito-humusových základních jednotek. I pseudoagregát je definován jako zkoagulované částice bez humusu, tedy bez vnitřních prostor a s minimálním provzdušněním.

Víme, že základní rozdíl mezi primární půdní organickou hmotou a humusem je v tom, že primární půdní organická hmota různě rychle mineralizuje a humus v časovém období stovek let téměř nemineralizuje. Humusové uhlí nemineralizuje vůbec a je nepravděpodobné, že by mineralizaci mohlo vyprovokovat přidání glukózy, jak tvrdí Hamer (2004).

Při zpracování jsem vycházel z posledních poznatků týkajících se půdní organické hmoty a také z již známých a ověřených zdrojů, jakožto z vědeckých prací renomovaných autorů. V praktické části jsem se zabýval výzkumem a chemickou analýzou vzorku kambizemě, u kterého jsem prováděl sérii pokusů. Účelem bylo

rozdělení kambizemě do labilní, semilabilní a stabilní složky. Z výsledků je zřejmé, že v půdě kambizemí je nejvíce zastoupená semilabilní PPOH a hned za ní následuje frakce stabilní. Frakce labilní se v kambizemích vyskytuje v relativně malém množství.

## **Seznam tabulek a obrázků**

Obrázek č. 1. Procentuální podíl složek v půdě.

Obrázek č. 2. Zdroje organické hmoty.

Obrázek č. 3. Složení rostlinné biomasy.

Obrázek č. 4. Průběh rozkladu organické hmoty.

Obrázek č. 5. Mapa půdních typů Jihočeského kraje.

Obrázek č. 6. Barevné spektrum titrace.

Tabulky a graf vzorku č. 1.

Tabulky a graf vzorku č. 2.

Tabulky a graf vzorku č. 3.

Tabulky a graf vzorku č. 4.

Tabulky a graf vzorku č. 5.

Tabulky a graf vzorku č. 6.

Tabulky a graf vzorku č. 7.

Tabulky a graf vzorku č. 8.

Tabulky a graf vzorku č. 9.

## Literární zdroje

1. ANDERSON, D. W.; PAUL, E. A. Organo-mineral complexes and their study by radiocarbon dating. *Soil Science Society of America Journal*, 1984, 48.2: 298-301.
2. BALDOCK, J. A., NELSON, P. N. Soil organic matter. 2000.
3. BALDOCK, J. A. *Interactions of organic materials and microorganisms with minerals in the stabilization of soil structure*. John Wiley & Sons, Ltd: Chichester, West Sussex, UK, 2002.
4. BALDOCK, J. A, SKJEMSTAD, J. O. *Soil organic carbon/soil organic matter*. In: Peverill, K. I., Sparrow, L. A., Reuter, D. J. (eds) *Soil analysis: an interpretation manual*. CSIRO Publishing, Collingswood, Victoria, Australia, 1999, pp 159-170
5. BRADY, N. C., WEIL, R. R. *The nature and properties of Soils*. 13th ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2002, xvi, 960 s. ISBN 0-13-016763-0.
6. DYKYJOVÁ, D. *Metody studia ekosystémů*. 1. vyd. Praha: Academia, 1989, 690 s.
7. DUCHAUFOR, R. *Pedology: pedogenesis and classification*. Springer Science & Business Media, 2012.
8. HAMER, U., MARSCHNER, B., BRODOWSKI, S., AMELUNG, W. Interactive priming of black carbon and glucose mineralisation. *Org Geochem*, 2004. ISSN 35:823-830.
9. JANDÁK, J., PRAX, A., POKORNÝ, E. *Půdoznalství*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2001, 140 s. ISBN 80-7157-559-3.

10. JOHNSON, D. W., CURTIS, P. S. (2001) Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis, *For Ecol Manage*, 2001. ISSN 140:227-238.
11. KOZÁK, J., NĚMEČEK, J. *Atlas půd České republiky*. 2., upr. vyd. Praha: ČZU Praha, 2009, 150 s. ISBN 978-80-213-2008-6.
12. KOLÁŘ, L., MOUDRÝ, J., KOPECKÝ, M. *Humus*. Vydání první. Náměšť nad Oslavou: ZERA - Zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s., 2014, 25 stran. ISBN 978-80-87226-34-6
13. KOLÁŘ, L., HORÁČEK, J., VÁCHALOVÁ, R., VÁCHAL, J. (2013): A method for measuring the quantity and quality of soil organic matter. Czech patent number 304 265, Úřad průmyslového vlastnictví ČR, Praha (In Czech: Způsob měření množství a kvality půdní organické hmoty).
14. KÖGEL-KNABNER, I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34.2: 139-162.
15. LADD, J. N.; OADES, J. M.; AMATO, M. Microbial biomass formed from 14 C, 15 N-labelled plant material decomposing in soils in the field. *Soil Biology and Biochemistry*, 1981, 13.2: 119-126.
16. NĚMEČEK, J. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2001, 79 s. ISBN 80-238-8061-6.
17. NOVÁK, V. *Evapotranspiration in the soil-plant-atmosphere system*. New York: Springer, 2012, xvi, 253 pages. Progress in soil science. ISBN 9400738390.
18. ORLOV, D., 1985: *Chimija počv (Soil Chemistry)*. Moskva: Izd. MGU, 376 s.
19. PAUSTIAN, K., COLLINS, H. P., PAUL, E. A. *Management controls on soil carbon*. In: Paul, E. A., Elliott, E. T., Paustian, K., Cole, C. V. (eds.) *Soil organic matter in temperate agroecosystems. Long-term experiments in North America*.

- CRC Press, Boca Raton, 1997, pp 15-49.
20. POSPÍŠILOVÁ, L., TESAŘOVÁ M. *Organický uhlík obhospodařovaných půd: Organic carbon in arable soils : původní vědecká práce*. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009, 42 s. Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. ISBN 978-80-7375-282-8.
  21. PRESSEDA LCR, ARAVENA R, MELFI AJ, TEILES ECC BOULET R, VANENCIA EPE, TOMAZELLO M (1996) *The use of carbon isotopes (C13, C14) in soil to evaluate vegetation changes during the Holo-cene in central Brazil*. Radiocarbon 38:191-201
  22. ROBERTSON, G. *Standard soil methods for long-term ecological research*. New York: Oxford University Press, 1999, xvii, 462 p. Long-Term Ecological Research Network series, 2.
  23. REEVES DW The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till Res*, 1997. ISSN 43:131-167.
  24. SOTÁKOVÁ, S. *Organická hmota a úrodnost' půdy*. 1. vyd. Bratislava: Příroda, 1982, 234 s. Rastlinná výroba (Příroda).
  25. SUMNER, M. *Handbook of soil science*. Boca Raton, Fla: CRC Press, 2000, 1 v. (various pagings). ISBN 0849331366.
  26. ŠARAPATKA, B. *Pedologie a ochrana půdy*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014, 232 s. ISBN 978-80-244-3736-1.
  27. ŠARAPATKA, B. *Agroekologie: východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření*. Olomouc: Bioinstitut, 2010, 440 s. ISBN 978-80-87371-10-7.
  28. ŠIMEK, M. *Základy nauky o půdě*. 2., upr a rozš. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Biologická fakulta, 2005, 159 s. ISBN 80-7040-747-6.

29. ŠIMEK, M. *Základy nauky o půdě*. Vyd. 1. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 2003, 151 s. ISBN 80-7040-630-5.
30. TOMÁŠEK, M. *Atlas půd České republiky*. Vyd. 1. Praha: Český geologický ústav, 1995. ISBN 80-7075-198-3.
31. TOMÁŠEK, M. *Půdy České republiky*. 4. vyd. Praha: Česká geologická služba, 2007, 67 s., [41] s. barev. obr. příl. ISBN 978-80-7075-688-1.
32. VÁCHALOVÁ, R., KOLÁŘ, L., MUCHOVÁ, Z. *Primární organická půdní hmota a humus, dvě složky půdní organické hmoty*. 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2016. 122 s. ISBN 978-80-552-1467-2.
33. VRÁBLÍKOVÁ, J., VRÁBLÍK, P. *Základy pedologie*. Vyd. 1. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2006, 101 s. ISBN 80-7044-805-9.
34. VOPRAVIL, J. *Půda a její hodnocení v ČR*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2011, 2 sv. ISBN 978-80-87361-02-3.
35. ZAUJEC A., 2009: *Pedológia a základy geológie*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 397 s.

### **36. Internetové zdroje:**

WWW.MZP.CZ. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2015 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z:  
[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/pudni\\_mapy/\\$FILE/OOOPK-Jihocesky\\_kraj-20131128.gif](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/pudni_mapy/$FILE/OOOPK-Jihocesky_kraj-20131128.gif)