

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: Zemědělství

Studijní obor: Agroekologie

Katedra agroekosystémů

Vedoucí katedry: doc. Ing. Petr Konvalina, Ph.D.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Komparace stupně degradace půdní organické hmoty  
v podmínkách intenzivního a extenzivního způsobu  
hospodaření

Vedoucí práce: doc. Ing. Radka Váchalová, Ph.D.

Konzultant: prof. Ing. Kolář Ladislav, DrSc.

Autor: Bc. Marie Caplová

České Budějovice, 2019

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Marie CAPLOVÁ  
Osobní číslo: Z18058  
Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství  
Studijní obor: Agroekologie – Péče o krajinu  
Téma práce: Komparace stupně degradace půdní organické hmoty v podmínkách intenzivního a extenzivního způsobu hospodaření  
Zadávající katedra: Katedra agroekosystémů

### Zásady pro vypracování

Cíl práce: Zhodnocení stupně degradace půdní organické hmoty u dvou zemědělsky hospodařících subjektů – maloročník a družstva.

1. Úvodní část – úvod do problematiky (rozsah 1 strana, bez literárních odkazů)
2. Literární přehled – sestavit literární přehled shrnující aktuální problematiku hodnocení kvality půdní organické hmoty, vysvětlit termín degradace a popsat procesy, které přispívají k degradaci půdy (rozsah cca 50 % textové části DP)
3. Cíl práce a definice pracovních hypotéz (rozsah 1-2 strany)
4. Metodická část – sběr dat a vzorků z vymezené zájmové oblasti, zpracování a příprava vzorků pro analýzu, provedení analýzy půdní organické hmoty podle čs. patentu 304265, který je založen na modifikaci jediné analytické metody – oxidimetrického stanovení uhlíku. (rozsah 2-4 strany)
5. Výsledková a diskusní část – zpracování experimentálních dat, posouzení degračních procesů v půdní organické hmotě na obou hospodářských subjektech, vyhodnocení výsledků práce a srovnání výsledků s údaji dostupnými v literatuře (rozsah cca 50 % textové části DP)
6. Závěrečná část práce – shrnutí hlavních výsledků práce, provést komparaci zjištěných degračních procesů v obou hospodářských subjektech a navrhnout případná opatření ke snížení degračních procesů. (doporučený rozsah 1-2 strany, bez citací)
7. Seznam citované literatury (minimálně 1/3 literárních pramenů ze zahraničních zdrojů – vědecké časopisy, knihy)

Rozsah pracovní zprávy: 40-60 stran včetně příloh  
Rozsah grafických prací: dle potřeby (tabulky, grafy, fotografická příloha)  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam doporučené literatury:

- [1] LEDVINA, R. a kol. (2000). Geologie a půdoznalství. Studijní texty. ZF JU v Č. Budějovicích, 203 s.
- [2] HORÁČEK, J. a kol. (1994) Geologie a půdoznalství. Studijní texty – cvičení. ZF JU v Č. Budějovicích, 114 s.
- [3] HŮLA, J. PROCHÁZKOVÁ, B. a kol. (2008). Minimalizace zpracování půdy. Profi Press Praha, 2008, 248 s.
- [4] KOLÁŘ L. (2016). Humus a primární organická hmota, KWS, Velké Meziříčí.
- [5] KOPECKÝ M., KOLÁŘ L., BOROVIČKA J. (2014). Nová metoda stanovení kvality a kvantity primární půdní organické hmoty a humusu. Sborník z vědecké konference MZLU Brno.
- [6] KOZÁK, J. a kol. Pedologie. Skriptum ČZU Praha 132 s., 2008.
- [7] NĚMČEK, J. a kol. (2011). Klasifikační taxonomický systém půd České republiky. SZN Praha, 2001.
- [8] TOMÁŠEK, M. (1995). Atlas půd ČR. Praha, ČGÚ.
- [9] VÁCHALOVÁ, R., KOLÁŘ, L., HORÁČEK, J., VÁCHAL, J. Způsob měření množství a kvality půdní organické hmoty. Patent CZ 304 265 B6. Úřad průmyslového vlastnictví Praha, 5. 2. 2014.
- [10] VÁCHALOVÁ, R., KOLÁŘ, L., MUCHOVÁ, Z. (2016). Primární organická půdní hmota a humus, dvě rozdílné složky půdní organické hmoty. Vedecká monografie. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, ISBN 978-80-552-1467-2, s. 122.

Doporučené zdrojové databáze:

- [11] Organic eprints
- [12] SCOPUS
- [13] Scholar.google
- [14] WoS

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Radka Váchalová, Ph.D.  
Katedra agroekosystémů

Konzultant diplomové práce: prof. Ing. Ladislav Kolář, DrSc.  
Katedra agroekosystémů

Datum zadání diplomové práce: 15. října 2019  
Termín odevzdání diplomové práce: 15. dubna 2020

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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Režisova 1996, 370 01 České Budějovice



doc. Ing. Petr Konvalina, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 9. prosince 2019

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě 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.

Datum .....

Podpis studenta

Marie Caplová

## **Poděkování**

Nejvíce bych chtěla poděkovat paní doc. Ing. Radce Váchalové, Ph.D., panu profesoru Ing. Ladislavu Kolářovi, DrSc. a Ing. Marku Kopeckému za velkou trpělivost, ochotu a pomoc při realizaci odborné stránky mé diplomové práce. Za pomoc při praktických činnostech této práce děkuji celé své rodině.

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá porovnáním stupně degradace půdní organické hmoty u dvou zemědělsky hospodařících subjektů – malorolníka a družstva.

V práci jsou rozděleny složky půdní organické hmoty na dvě části – primární půdní organická hmota, která má labilní a stabilní frakce z hlediska hydrolýzy, oxidace a biodegradability. Může být buď rozložená, nebo nerozložená, může mít sorpční vlastnosti, ale nikdy nemá významné vlastnosti iontovýměnné, protože nemá skupiny s disociovatelným vodíkem. Humus, na rozdíl od primární půdní organické hmoty, je tak stabilní, že z hlediska délky lidského věku je prakticky nerozložitelný. Má vždy významnou iontovýměnnou schopnost, kromě vlastností sorpčních. Toto rozdělení lépe vysvětluje hodnocení kvality a kvantity humusu a primární organické hmoty v půdě.

Analýza půdní organické hmoty je provedena podle čs. patentu 304265, který je založen na modifikaci jediné analytické metody – oxidimetrického stanovení uhlíku.

**Klíčová slova:** Organická hmota – humus – primární organická půdní hmota – analytická metoda – degradace půdní organické hmoty

## **Abstract**

The diploma thesis deals with the comparison of the degree of degradation of soil organic matter in two agricultural entities - small farmers and agricultural cooperatives.

The components of soil organic matter are divided into two parts - primary soil organic matter, which has labile and stable fractions in terms of hydrolysis, oxidation and biodegradability. It may be decomposed or non-decomposed, may have sorption properties, but never has significant ion exchange properties because it has no dissociable hydrogen groups. Humus, unlike primary soil organic matter, is so stable that it is virtually indecomposable in terms of human age. It always has a significant ion exchange ability, in addition to sorption properties. This division better explains the assessment of the quality and quantity of humus and primary organic matter in the soil.

An analysis of soil organic matter is performed according to no. patent 304265, which is based on a modification of a single analytical method - oxidimetric determination of carbon.

**Keywords:** Organic matter - humus - primary organic soil matter - analytical method - degradation of soil organic matter

# OBSAH

1	Úvod.....	13
2	Literární rešerše.....	14
2.1	Půda .....	14
2.2	Složení půdy .....	14
2.3	Půdotvorné procesy .....	15
2.4	Struktura půdy .....	17
2.4.1	Pórovitost půdy .....	17
2.4.2	Objemová hmotnost půdy .....	18
2.4.3	Barva půdy .....	18
2.4.4	Teplota půdy.....	19
2.5	Degradace půdy .....	19
2.5.1	Eroze .....	19
2.5.2	Zasolování půd – salinizace .....	22
2.5.3	Kontaminace .....	23
2.5.4	Okyselování půd – acidifikace .....	23
2.5.5	Úbytek organické hmoty v půdě – dehumifikace .....	24
2.5.6	Zastavování území .....	25
2.5.7	Zhutnění půd .....	26
2.6	Půdní organická hmota a humus.....	26
2.6.1	Mineralizace .....	27
2.6.2	Humifikace .....	28
2.6.3	Organická hmota v půdě .....	28
2.6.4	Humus .....	30
2.7	Vyjádření obsahu organické hmoty.....	30
2.8	Vztah k půdní úrodnosti .....	31
2.9	Význam humusu pro půdní úrodnost .....	32
3	Cíl práce .....	34
4	Materiál a metody .....	35
4.1	ZD Borovany .....	35
4.2	Hodnocení půdní organické hmoty .....	36
5	Výsledky .....	40
5.1	Vlastní výsledky .....	41



6	Diskuse.....	45
7	Závěr .....	47
8	Seznam použité literatury.....	49
9	Přílohy.....	54

## **SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1: Zrychlená vodní eroze

## **SEZNAM TABULEK**

Tabulka č. 1: Klasifikační stupnice půdních druhů

Tabulka č. 2: Výsledky

## **SYMBOLY A ZKRATKY**

$C_{ox}$  – oxidovatelný uhlík

$C_{PPOH}$  – frakce primární půdní organické hmoty

$C_{SOF}$  – stabilní organická frakce

FK – fulvokyseliny

HK – huminové kyseliny

HM – huminy

CHSK – chemická spotřeba kyslíku

k – konstanta

pH – potenciál vodíku

POU – půdní organický uhlík

PPOH – primární půdní organická hmota

SH – stupeň humifikace

SOM – půdní organická hmota

TOC – celkový organický uhlík

# 1 ÚVOD

Půda je nejcennějším přírodním bohatstvím a neobnovitelným přírodním zdrojem. Má široký rozsah funkcí a je výrobním prostředkem pro zemědělce i lesníky. V zájmu každého státu i občana by mělo být, aby byla zachována v co nejvyšší kvalitě a největší výměře pro budoucí generace.

S rozvojem civilizace však stále více dochází k jejímu úbytku a degradaci, a to v důsledku různých vlivů. Jednou z největších hrozeb je eroze, zejména vodní a větrná.

„Společnost, která ničí půdu, ničí sama sebe.“ (WINSTON CHURCHILL)

V této práci se podíváme, jaký je rozdíl degradace půdní organické hmoty mezi soukromým hospodářem a ZD.

## 2 LITERÁRNÍ REŠERŠE

### 2.1 Půda

V ekosystému má půda klíčovou roli a je jedno, zda jsme na farmě, v lese, na orné půdě nebo v močálech (BRADY a WEIL, 2002).

Definovat stručně a jasně pojem půda není snadné. Jedná se o nejsvrchnější porézní vrstvu pevné zemské kůry, která se skládá z minerálních částic různé velikosti, živých organismů, odumřelých zbytků a organických látek v různém rozkladu a je prostoupena vodou a vzduchem. Charakteristickým znakem je úrodnost. Jedná se o komplexní dynamickou vlastnost, jež je závislá na řadě vlastností fyzikálních, chemických a biologických, které půda získává v průběhu svého vzniku a vývoje (LEDVINA et al., 1992).

Podle DORANA (1997) je zdraví a kvalita půdy dlouhodobou schopností půdy fungovat jako živý systém uvnitř ekosystému a při daném využití krajiny udržovat biologickou produktivitu, podporovat kvalitu vody a vzduchu a podporovat zdraví rostlin, živočichů a člověka.

POU (půdní organický uhlík) pozitivně přispívá k řadě biologických, fyzikálních a chemických vlastností, které jsou důležité pro určení potenciální produktivity půdy. Poskytuje energii nezbytnou pro biologické pochody a v kombinaci se svými asociovanými živinami (N, P a S) může přispívat k „pružnosti“ systémů půda-rostlina. Fyzikální vlastnosti půdy ovlivněné obsahem POU zahrnují strukturu a stabilitu půdy, retenci vody a tepelné vlastnosti (KOLÁŘ et al., 2003).

### 2.2 Složení půdy

3 Půda se skládá z:

- Fáze tuhá
  1. minerální podíl
    - a) jílové minerály,
    - b) oxidy a hydroxidy,
    - c) primární minerály.
  2. organický podíl
    - a) organické látky nehumifikované,
    - b) organické látky přechodné,
    - c) organické látky humifikované.

- Fáze kapalná
- Fáze plynná (VRBA A HULEŠ, 2007)

### 2.3 Půdotvorné procesy

Na základě půdotvorných procesů dochází často k uplatnění půdotvorných pochodů, kde se z mrtvé horniny stává půda a svým způsobem je živým organismem, jenž je kvalitativně i vizuálně jiný od předešlého materiálu.

#### Rozdělení hlavních (elementárních) půdotvorných procesů:

- Humifikace – při rozkladu organických látek se uvolňuje energie, kterou mohou využívat mikroorganismy, dále vzniká oxid uhličitý a další jednoduché sloučeniny a v neposlední řadě humus (ŠARAPATKA, 2014).
- Zvětrávání – z mateční horniny se zvětráváním vytvořila základní hmota půd (minerální podíl pevné složky půd). Zvětrávání lze definovat jako soubor procesů přeměn materiálů na povrchu půdy a v jeho blízkosti vlivem interakcí litosféry, atmosféry, hydrosféry a biosféry. Zahrnuje působení mnoha procesů včetně fyzikální dezintegrace, anorganických chemických procesů a biologických procesů. (LAVELLE a SPAIN, 2001).
- Eluviace – je proces, při kterém dochází k přemísťování jednotlivých půdních složek (ve formě roztoků nebo koloidních roztoků) prosakujících vodou do spodiny. Zkráceně se jedná o vyplavování a ochuzování (TOMÁŠEK, 2003).
- Iluviace – je protějškem eluviace. Při ní se vyluhované součásti opět v určité vrstvě hromadí (TOMÁŠEK, 2007).
- Glejový a oglejní – pod vlivem stagnující podzemní vody s rozpuštěnými látkami se mobilizuje a redukuje železo a mangan. (ŠARAPATKA, 2014).
- Slancování – dochází k vymývání solí z povrchových vrstev a jejich akumulace ve spodině (TOMÁŠEK, 2000).
- Solončakování – je půdotvorným procesem, u kterého jsou do půdního profilu vnášeny rozpuštěné sol: sírany, uhličitany a chloridy jednomocných kationtů (TOMÁŠEK, 2007).

Tabulka č. 1: Klasifikační stupnice půdních druhů

<b>Skupina půd</b>	<b>Půdní druh</b>	<b>Obsah jílnatých částic (pod 0,01 mm) v % hmotnostních</b>
Těžké	Jíl	nad 75
	jílovitá zemina	60-75
	jílovitohlinitá zemina	45-60
Střední	hlinitá zemina	30-45
	písčitohlinitá zemina	20-30
Lehké	hlinitopísčitá zemina	10-20
	písčitá zemina	0-10

Zdroj: TOMÁŠEK, 2000

#### Hlavní typy půd:

- Černozemě – nížiny, silná vrstva humusu, černá barva, přímo na mateční hornině (spraš), nejúrodnější, na vápnatých spraších;
- Hnědozemě – nížiny, nízké pahorkatiny, méně humusu než černozemě (do 30 cm), spraš a sprašová hlína;
- Zamokřené půdy (pseudogleje, gleje) - provlhčené povrchovou nebo podzemní vodou, typická je špatná propustnost (louky), jíly, slíny;
- Hnědé půdy (kambizemě) – pahorkatiny, vrchoviny, hornatiny, slabá vrstva humusu;
- Podzolové půdy – hory, tenká vrstva humusu, vyluhovaný horizont (šedý);
- Rendziny – na silně karbonátových horninách (vápence, dolomity), v krasových oblastech, malý humusový horizont s vyšším obsahem skeletu;
- Pararendziny – na zvětralinách karbonátově-silikátových hornin (vápnité břidlice, pískovce, opuky);
- Litozemě – na zpevněných silikátových až karbonátových substrátech, mělký povrchový humusový horizont;
- Regosoly – na nezpevněných silikátových až karbonátových podkladech;
- Fluvizemě (nivní půdy) – vyplňují dna údolí;
- Černice (lužní půdy) - vznikají na nivách při jejich vnějších okrajích, mimo dosah pravidelných záplav;



- Rašeliništní půdy – vytvořeny intenzivní akumulací slabě rozložených rostlinných zbytků v silně zvodnělém prostředí (NĚMEČEK et al., 1990).

## 2.4 Struktura půdy

Podle CHAPINA et al. (2002) je půdní struktura tvořena shlukováním půdních částic do větších celků, tzv. agregátů. Tyto agregáty se liší velikostí a tvarem od malých drobků až po velké bloky (Soil Structure).

Jako tmel, který spojuje agregáty, slouží organická hmota, oxidy železa, vícemocné kationty, jíly a oxid křemičitý. Stavbu půdní struktury svou činností podporuje i edafon a houby. Pevnost stmelení strukturních agregátů nazýváme stabilitou půdní struktury. Volný prostor mezi půdními částicemi a strukturními agregáty zaujímají půdní póry (HŮLA a PROCHÁZKOVÁ, 2008).

Podle ŠIMKA (2003) patří struktura půdy k nejvýznamnějším fyzikálním charakteristikám půdy. Podobně jako její zrnitost podmiňuje struktura půdy velikostní zastoupení půdních pórů (makropórů a mikropórů), a tím významně ovlivňuje vodní a vzdušné poměry v půdě. Má vliv na záhřevnost půdy a vymezuje a určuje prostor pro chemické a biologické procesy v půdě. Při posuzování struktury půdy se hodnotí velikost a tvar strukturních agregátů a jejich stabilita, zejména vodotělnost.

Aby byly rostliny zdravé, potřebují stabilní přísun živin z půdy.

V relativně velkém množství jsou požadovány makronutrienty:

- dusík (N),
- fosfor (P),
- draslík (K),
- síra (S),
- vápník (Ca),
- hořčík (Mg) (Soil fertility).

### 2.4.1 Pórovitost půdy

Vyjadřuje celkové procentuální množství volného prostoru, který není vyplněný pevnými částicemi půdy (HAUPTMAN et al., 2009).

Povrchové horizonty minerální půdy mají pórovitost 40–60 %. Z uvedeného vyplývá, že 40–60 % objemů půd tvoří póry a zbytek je tvořen pevnými částicemi. Póry jsou vyplněny vzduchem nebo vodou (ŠIMEK, 2003).

Na pórovitosti závisí vodní a vzdušný režim půdy. Písčité půdy jsou poréznější než jílovité. Pórovitost neudává pouze půdní textura, závisí také na činnosti edafonu. U jílovitých půd lze pórovitost zvýšit vápněním. Dochází tím ke shlukování částic jílu a zvyšování pórovitosti (FORMAN a GODRON, 1993).

Podle ŠIMKA (2003) je půdní pórovitost nejvíce ovlivněna texturou a ulehlostí půdy.

Póry se dělí na:

- a) kapilární – pohyb vody je ovlivněn kapilárními silami; průměr  $<0,00002\text{mm}$ ;
- b) semikapilární – fyziologicky přístupná voda, na kterou působí kapilární a gravitační síly průměr  $0,0002\text{--}0,01\text{mm}$ ;
- c) nekapilární póry – na vodu zde působí gravitační síly (za normálních podmínek vyplněné vzduchem), průměr póru  $>0,1\text{mm}$ .

Pro zlepšení pórovitosti je potřeba zlepšit několik opatření:

- vodní filtrace do kořenové zóny a podloží;
- výměna vzduchu s atmosférou;
- infiltrace vody do půdy (Agricultural Soil Compaction).

#### 2.4.2 Objemová hmotnost půdy

Podle BEDRNY et al. (1968) se tímto pojmem rozumí hmotnost určitého objemu půdy ( $1\text{ cm}^3$ ) v přirozeném složení, tedy i s póry obsahujícími vodu nebo vzduch.

Její hodnota je závislá na měrné hmotnosti, na podílu pórů v půdě a míře jejich zaplnění vodou. Je to hodnota nestálá, která se mění během roku v závislosti na vlhkostních poměrech v půdě. Objemová hmotnost minerálních půd kolísá mezi  $0,8\text{--}1,8\text{ g.cm}^{-3}$ , u organických půd většinou mezi  $0,2\text{--}0,3\text{ g.cm}^{-3}$  (POKORNÝ et al., 2007).

#### 2.4.3 Barva půdy

Barva půdy je obvykle první věcí, které si lidé všimnou. Většinou se jedná pouze o ornici, ale neodráží celou půdu. Vrchní půda je obvykle tmavší než spodní vrstvy (nebo horizonty), protože zde se hromadí organická hmota. Barva může být

užitečným ukazatelem některých obecných vlastností půdy, jakož i některých chemických procesů, jež se vyskytují pod povrchem (Soil colour).

#### 2.4.4 Teplota půdy

Vědci považují teplotu v půdě za velmi důležitou fyzikální vlastnost půdy, která řídí mnoho chemických a biologických procesů. Jak rychle se půda „zahřeje“, závisí na složkách půdy. Čím více vody půda obsahuje, tím pomaleji se zahřeje, protože voda potřebuje absorbovat velké množství energie, aby zvýšila svou teplotu. Suchý písek se dokáže zahřát rychle a na vysoké teploty, jak dokládají lidé s horkýma nohama v létě na pláži (What is soil temperature).

## 2.5 Degradace půdy

Pro komplexní hodnocení jsou používány termíny kvalita nebo zdraví půdy. Svým významem reprezentuje tedy určité vlastnosti, které mj. ovlivňují:

- růst rostlin a biologickou aktivitu,
- koloběhy živin,
- pohyb vody v životním prostředí,
- pufraci ve spojitosti s cizorodými látkami v prostředí (ŠARAPATKA et al., 2002).

Zjednodušeně lze říci, že vše, co snižuje kvalitu půdy, je degradací půdy. Za degradovanou lze označit půdu, která přestane plnit některou ze svých funkcí (ŠIMEK, 2004).

Jedním z činitelů, kteří způsobují degradaci půdy, jsou kontaminanty v půdě. Jedná se o přírodní nebo člověkem vytvořené látky. Do půdy mohou vstupovat zvenčí a mohou v ní nově vznikat. Kontaminanty v půdě mohou být přítomny v malém množství a až jejich zvýšení nad únosnou míru může vyvolat škodlivost. Škodí zejména půdním mikroorganismům, jež jsou hlavními nositeli půdní úrodnosti. Dále mohou přecházet do celých potravních řetězců (TOMÁŠEK, 2000).

Na EAGRI jsou rozlišovány tyto typy degradace půd:

#### 2.5.1 Eroze

Mezi nejzávažnější degradační procesy působící na kvalitu půdních vlastností a produkční schopnost půd patří eroze – jedná se o celosvětový problém (JANEČEK, 2012).

Příčiny eroze půdy v ČR jsou specifické a souvisí s intenzifikací zemědělské výroby a velkovýroby, která byla počata kolektivizací. Jde o zvýšení produkčních ploch na úkor mezí, alejí, luk, břehů a dříve nevyužité nevhodné půdy (NOVOTNÝ et al., 2014).

Od 90. let se situace nezlepšila. Důvodem je, že stav, kdy se jednotliví zemědělci starali o vlastní zemědělské pozemky, se nikdy neobnovil. Nikdy nedošlo k rozdělení velkých půdních celků a obnově původních remízků (JANEČEK, 2012).

Eroze představuje činnost vody, větru a ledu, která způsobuje rozrušování půdního povrchu a přemísťování uvolněné hmoty do jiných poloh, kde se ukládají ve formě nánosu. Vodní a větrná eroze patří u nás mezi nejškodlivější přírodní jevy (HŮLA a PROCHÁZKOVÁ, 2008).

Největší intenzita eroze probíhá na rovinatém povrchu nechráněném vegetací (HAUPTMAN et al., 2009).

### **1. Vodní eroze**

Vodní eroze ohrožuje více než 50 % výměry orné půdy v rámci ČR. Na převážné ploše erozí ohrožených půd však není prováděna žádná systematická ochrana zabraňující dalším ztrátám (KVÍTEK a TIPLL, 2003).

Vodní eroze je řízena klimatickými charakteristikami, topografií, půdními vlastnostmi, vegetací a obhospodařováním půdy (Satellite remote sensing for water erosion assessment).

- normální – geologicko-erozní procesy probíhají s malou intenzitou, ztráta půdních částic je doplňována tvorbou nových částic z půdního podkladu (mocnost půdního profilu se nesnižuje, mění se zrnitostní složení vrchního půdního horizontu→stává se hrubozrnějším);
- zrychlená – půdní částice se smývají v takovém rozsahu, že nemohou být nahrazeny půdotvorným procesem z půdního podkladu⇒ostře modelovaný tvar povrchu (způsobená lidským faktorem).

Obrázek č. 1: Zrychlená vodní eroze



Zdroj: (Klasifikace eroze)

#### Hlavní faktory ovlivňující vodní erozi:

- faktor erodovatelnosti půdy – vlastnost půdy ovlivňující infiltraci vody do půdy a odolnost půdních agregátů vůči účinku kapek a transportu povrchově odtékající vody;
- faktor délky svahu;
- faktor sklonu svahu a členitosti území;
- faktor ochranného vlivu vegetace – ochrana vegetačního pokryvu před působením kapek a zpomalování povrchového odtoku, nepřímo pak působí na zlepšení půdních vlastností – pórovitost a propustnost, nižší utuženost (HŮLA a PROCHÁZKOVÁ., 2008).

#### Mezi protierozní opatření patří:

- organizační opatření – delimitace kultur, osevnický postup, dělení pozemků do pásů, tvar a velikost pozemku;
- agrotechnická opatření – pásové zatravnění, pásové střídání plodin, redukované zpracování půdy, setí do mulče vymrzajících meziplodin nebo posklizňových zbytků atd;
- technická opatření – terénní urovnávky, terasy, kanály, průlehy, protierozní nádrže aj. (HŮLA a PROCHÁZKOVÁ., 2008).

Jedním z nejdůležitějších agrotechnických protierozních opatření je zpracování půdy. Způsob zpracování ovlivňuje propustnost půdy pro vodu

(TISDALL a ADEM, 1986). To se vyznačuje hlavně ochranným obděláváním půdy (konzervační zpracování půdy):

- a) redukce intenzity běžného základního zpracování půdy a počtu mechanických opatření;
- b) ponechání zbytků rostlin na povrchu půdy nebo jen mělké zapravení (HŮLA a PROCHÁZKOVÁ., 2008).

Dlouhodobé bezorebné nebo naopak konvenční zpracování půdy může změnit objem pórů, stabilitu agregátů a obsah organické hmoty => změna půdní struktury (DRESS et al., 1994).

Erozi orbou prozatím není věnována příliš velká pozornost, i když se svými průměrnými ročními hodnotami nekompromisně blíží vodní erozi.

Další typy destrukce půdy:

Na destrukci půdy se podílejí kromě eroze též soliflukce, sesuvy a laviny. Jejich působení na zdraví a život člověka a zvířat je často bezprostřední a přímé. Nejčastěji ale působí tyto přirozené přírodní jevy bez přičinění člověka (ŠARAPATKA et al., 2002).

## **2. Větrná eroze**

Větrná eroze spočívá v rozrušování půdní hmoty kinetickou energií větru, v přemísťování uvolněných částic a jejich následném ukládání při poklesu energie vzdušného proudu (HOLÝ, 1978).

Větrná eroze obnažuje kořínky rostlin, přesekává jemné stonky mladých rostlin větrem unášenými zrnky zeminy (TOMAN, 1995).

Větrná eroze nejen snižuje produktivitu půdy prostřednictvím ztráty půdy a živin, ale také snižuje potenciál půdy vázat uhlík z atmosféry (TISDALL et al., 2012).

Poznatky o různých druzích eroze ukazují, že větrná eroze není v celosvětovém měřítku tak závažným problémem jako je eroze vodní, přesto se však vyskytují rozsáhlé oblasti, v nichž větrná eroze působí stejně velké nebo i větší škody (HOLÝ, 1978).

### **2.5.2 Zasolování půd – salinizace**

Zasolování půd znamená akumulaci rozpustných solí. Přirozeně se tento jev vyskytuje v aridním prostředí. Je spojen s vyšším obsahem solí v půdním roztoku či podzemních vodách. Při zvýšení hladiny podzemních vod a následném vypařování dojde ke krystalizaci solí v půdě nebo na jejím povrchu (BATYSTA, 2015).

Hlavní příčinou je zavlažování zemědělských pozemků vodou, která má vysoký obsah rozpuštěných látek. Voda se ze zavlažovaných oblastí odpařuje, ale soli a jiné látky zůstávají, což způsobuje zasolování půd. Další příčinou je také populační růst, průmyslový a městský vývoj a v neposlední řadě rozvoj turismu. Mezi další příčiny patří také solení vozovek a nadměrné hnojení průmyslovými hnojivy (ŠARAPATKA et. al., 2002).

Zasolení půdy v České republice se týká velmi malého území, není zde tedy vážným problémem (BRTNICKÝ et.al., 2012).

### 2.5.3 Kontaminace

Kontaminace půdy je způsobena chemikáliemi v půdě nebo jiným pozměněním přírodního prostředí půd včetně kontaminace těžkými kovy. Kontaminace obvykle vzniká protržením podzemních zásobníků, používáním pesticidů, prosakováním kontaminovaných povrchových vod do podzemních vrstev, vyluhováním odpadů ze skládek nebo přímým vypouštěním průmyslových odpadů do půdy (BATYSTA, 2015).

Kontaminace půd je v České republice problémem lokálním, který má často historický původ (báňská činnost, průmyslový výroba apod.). Mezi nejvýznamnější zdroje antropogenní kontaminace půd potenciálně toxickými chemickými prvky patří: hlušina, popílky, hnojiva, emise, polutanty, kaly, jiné odpady a v neposlední řadě sedimenty vodních nádrží. V České republice zatím nedošlo ke kontaminaci půdy v širším rozsahu (BRTNICKÝ et al., 2012).

### 2.5.4 Okyselování půd – acidifikace

Acidifikace neboli okyselování je jedním ze závažných typů degradace půd. Acidifikace je však přírodním degradačním procesem, jenž je možné definovat jako snížení pufrční schopnosti půdy. Obecně jde o důsledek tvorby kyselin v půdě nebo jejich přísunu zvenčí. Druhotnými jevy je v půdách především ztráta bazických kationtů a uvolňování hliníku a železa. Zhoršení kvality půd vlivem acidifikace lze také sledovat ve vlastnostech sorpčního komplexu, kdy klesá zejména saturace bázemi. Sorpční komplex zabezpečuje omezenou odolnost půd vůči vnějším vlivům, typu přísunu a kationtům vodíku (ŠARAPATKA et al., 2002).

Acidifikaci měříme jako časovou změnu kyselosti vyjádřenou pomocí pH, které je relativně nejjednodušeji zjištělnou a bezprostřední mírou acidifikace. (BATYSTA, 2015). Omezuje příčiny kyselých vstupů (průmyslových a organických hnojiv), pravidelné střídání plodin v rotaci, omezení monokultur, větší zastoupení

víceletých pícnin, pravidelné vápnění půd udržovacími dávkami Ca hnojiv (zejména mletého vápence) (Eagri).

#### 2.5.5 Úbytek organické hmoty v půdě – dehumifikace

Organickou hmotu v půdě představuje primární organická hmota tvořená nerozloženými organickými zbytky a organickou hmotou v různém stádiu rozkladu a dále vlastní humusové látky (BRTNICKÝ et al., 2012).

Půdní organická hmota příznivě ovlivňuje fyzikální a chemické vlastnosti půdy, je základním faktorem půdní úrodnosti a v převážné míře je podmínkou existence velmi bohaté a diverzifikované půdní bioty. Má příznivý účinek na produktivitu půdy, tj. na výnosy pěstovaných plodin a stabilitu výnosů. Stejně významná je také role půdní organické hmoty pro stabilitu výnosů. Půdy, jež jsou dobře zásobené organickou hmotou, mají vyšší schopnost vyrovnávat výkyvy počasí nebo jiných abiotických a biotických faktorů (ŠIMEK, 2004).

Akumulace organických látek závisí na celé řadě faktorů, klimatu, půdotvorném substrátu, vegetaci, vodním režimu, vzdušném režimu a tepelném režimu. Udržení vhodného obsahu půdní organické hmoty v půdách je jedním ze závažných problémů ochrany přírodních zdrojů po celém světě. Je nutné zásobovat půdu dostatečným množstvím kvalitního organického materiálu jako je například chlévský hnůj (BRTNICKÝ et al., 2012).

Zásadní vliv na obsah humusu má využití půdy, kdy vyšší obsah vykazují půdy zatravněné než půdy pravidelně orané. Udržování příznivého obsahu humusu závisí na způsobu hospodaření. Největším nebezpečím je nedostatečné doplňování kvalitní organické hmoty do půdy. Nedostatek kvalitních organických hnojiv je způsoben především poklesem chovu hospodářských zvířat po roce 1989. Dalším výrazným nebezpečím pro půdy z pohledu dehumifikace je proces vodní a větrné eroze, při které jsou humusové látky navázané na půdní částice z půdy odnášeny (smyv půdy) (Eagri).

Důsledky úbytku půdní organické hmoty lze shrnout takto:

- ztráta stability půdních agregátů (degradace fyzikální),
- větší zranitelnost vodní a větrnou erozí,
- snížení pufrální schopnosti půdy a vzrůst zranitelnosti acidifikací,
- snížení filtrační schopnosti a snížení retenční kapacity,
- snížení poutání kontaminujících látek a obecně zvýšení jejich mobility,



- snížení poutání živin,
- zvýšení obsahu dusičnanů v půdě s časově omezeným vlivem na výživu rostlin a s negativním dopadem na hydrosféru,
- snížení produkční schopnosti půdy v důsledku všech předchozích bodů (Eagri).

Je potřeba zachovat trvalé travní porosty, citlivé zásahy do vodního režimu půd a dostatečné organické hnojení orných půd. Dále je nezbytná podpora pěstování meziplodin a plodin, které svým působením a rozkladem omezují alespoň částečně nedostatek organické hmoty živočišného původu.

Vztah struktury osevního postupu a obsahu organické hmoty je řešen v rámci webové aplikace: Výpočet bilance uhlíku. Webová aplikace počítá bilanci organického uhlíku pro půdní bloky na základě zvoleného sledu pěstovaných plodin (včetně meziplodin) a dávek organického nebo statkového hnoje, případně upravených kalů nebo vlastních kompostů. V případě záporného (deficitního) výsledku je nutné uvažovat o úpravě osevního postupu nebo zvýšit dávky hnojení takovým způsobem, aby výsledek nebyl deficitní (Eagri).

Cílem je dosažení vyrovnané bilance mezi vstupy a ztrátami organické hmoty. Trvalého zvýšení obsahu humusu v půdách nelze dosáhnout ani vysokými dávkami organických hnojiv (Eagri).

#### 2.5.6 Zastavování území

Zastavování území (soil sealing) je definováno jako zakrytí půdy nepropustnými materiály (beton, asfalt), čímž půda ztrácí své přirozené vlastnosti a není nadále schopna plnit své přirozené funkce. Rozšiřování měst je přirozeným a neodvratným procesem. Nekontrolovaný průběh však může do budoucna vést k výrazným ztrátám často nejkvalitnější zemědělské půdy se všemi negativními důsledky pro krajinu a člověka.

Zastavování půdy (soil sealing) spolu s nekontrolovatelným rozšiřováním sídel je patrně nejvýznamnějším degradačním procesem, protože při něm dochází ke zničení všech ekologických a produkčních funkcí půdy. V roce 2007 ubylo v České republice denně cca 15 ha zemědělské půdy, z velké části půdy velmi kvalitní. Za období od roku 1966 do roku 2007 ubylo v ČR 235 tisíc ha zemědělské půdy. Vzhledem k poloze České republiky uprostřed Evropy je zde vysoký potenciál pro výstavbu tranzitních center a skladišť (Eagri).

### 2.5.7 Zhutnění půd

Podle ŠARAPATKY et al. (2002) je utužení půdy vážným poškozením půdy, při kterém se zmenšuje její objem a snižuje se pórovitost, tedy prostor pro vodu a vzduch.

LHOTSKÝ (2000) tvrdí, že v ČR je dle odborného odhadu ohroženo zhutněním 45 % zemědělských půd, z toho 15 % představuje genetické zhutnění dané přirozenými parametry těžkých půd.

#### Zhutňování půd a opatření proti němu

Za hlavní rizika pro půdu a její kvalitu jsou považovány: eroze, úbytek organické hmoty, omezení biologické aktivity půdy a její zhutňování (HŮLA a PROCHÁZKOVÁ, 2008).

Pedokompakce nepříznivě ovlivňuje:

- výnosy pěstovaných plodin,
- život v půdě,
- vodní poměry,
- obdělávání půdy a zvyšuje náklady (ŠARAPATKA et al., 2014).

Nadměrné zhutnění půdy negativně působí na mimoprodukční (ekologickou) funkci půdy tím, že:

- zpomaluje a omezuje infiltraci vody do půdy, čímž se podporuje povrchový odtok a následná vodní eroze půdy se všemi jejími důsledky;
- snižuje retenční (zádržnou) schopnost půdy – urychluje a zintenzivňuje se vysychání půdy (výpar vody).

Technogenní zhutnění půdy dále vykazuje i negativní nepřímé vazby (interakce) s technologií pěstování plodin, např. s agrotechnickými termíny některých polních operací (setí, sázení, kultivační práce, sklizeň) (JAVŮREK a VACH, 2008).

## **2.6 Půdní organická hmota a humus**

Pojmy „půdní organická hmota“ a „humus“ se často považují za synonyma, což je velkým problémem.

Mezi organickou hmotou a humusem je velký rozdíl. Když se podíváme do historie, zjistíme, že výzkum půdní hmoty sahá až do roku 1786. Další významnější práce pochází z počátku 20. století. Původně si vědci mysleli, že humus

je tvořen několika málo sloučeninami, které jsou přesně definované (VÁCHALOVÁ, 2016).

Došlo k tak velkému chaosu, že roku 1936 Waksman označil za humus směs organických látek v půdě, které pocházejí z rostlin, včetně tuků, vosků, pryskyřic, celulózy, hemicelulóz a lignoproteinového komplexu. Ve výzkumu se tedy vrátil o několik let zpět, vysokomolekulární látky vzniklé humifikací neodděloval (VÁCHALOVÁ et al., 2016).

Organická hmota v půdě má značný význam. V rámci biologických vlastností je zásobárnou energie, zdrojem živin, ovlivňuje resilienci ekosystému, má vliv na aktivitu enzymů, společenstva organismů a růst rostlin (ŠARAPATKA et al., 2002).

K hlavním příčinám nadměrné mineralizace humusu a organických látek v půdě můžeme zařadit vykácení lesa, rozorání louky a pastviny, nesprávné obdělávání půdy nebo vysušování půdy.

Likvidací deštných lesů dochází k mineralizaci a ke ztrátě organické hmoty v půdě. Snaha využít půdu pro pěstování zemědělských plodin tak končí neúspěšně. Rovněž tak vykácení lesa nebo rozorání luk a pastvin má negativní dopad na obsah humusu v půdě (ŠARAPATKA et al., 2002).

#### 2.6.1 Mineralizace

Mineralizace je rozklad organických látek, na němž se podílejí fyzikální, chemické, ale zejména biologické procesy. V průběhu primární mineralizace jsou rozkládány cukry, polysacharidy, proteiny atd. (ŠARAPATKA, 2014).

Mineralizace by nemohla existovat bez činnosti mnoha enzymů, které produkují půdní mikroorganismy. Proto všechny faktory, které záporně působí na aktivitu půdní mikroflóry (extrémní hodnoty pH, vlhkosti půdy, intoxikace půdy vysokým obsahem solí či mikrobiálních jedů), působí záporně také na mineralizaci (VÁCHALOVÁ et al., 2016).

Mineralizace je procesem pomalého spalování. Jedná se o proces exothermický, protože při pálení organické hmoty se uvolňuje teplo (VÁCHALOVÁ et al., 2016).

Zajímavou otázkou je, zda je mineralizace prospěšná pro zemědělství. Mezi nejvýznamnější efekty mineralizace patří, že je zdrojem energie pro půdní mikroorganismy a ovlivňuje jeden ze základních faktorů půdní úrodnosti – biologickou (mikrobiální) aktivitu půdy. Jedná se o zdroj hnojiva pro rostliny, CO<sub>2</sub>. Dále je zdrojem minerálních živin uvolněných z nepřístupné formy v organické

hmotě. A v neposlední řadě je zdrojem energie pro druhý transformační proces půdní organické hmoty – pro humifikaci (KOLÁŘ, 1988).

### 2.6.2 Humifikace

Humifikace je proces endotermický, tzn. energie je spotřebovávána. Zatímco mineralizace reprezentovala proces rozkladný, kde z velkých organických molekul vznikají molekuly menší (až nakonec se uvolní CO<sub>2</sub>), během humifikace molekuly rostou. Humifikace = proces syntetický. => Např. Když máme čerstvý kompost, tak žádný humus neobsahuje (VÁCHALOVÁ, 2016).

To však můžeme změnit, když o kompost budeme déle pečovat. Pokud jej budeme oxidovat přehazováním a udržovat v něm správnou vlhkost, pak každým rokem bude obsahovat více humusových kyselin. Dříve si zahradníci na kompostu zakládali a šlechtili jej deset i více let. Z kompostového příkladu je zřejmé:

- a) Tempo mineralizace a substrátová přeměna je u mineralizace nesrovnatelně vyšší než u humifikace.
- b) Humifikace je proces velmi pomalý (nelze jej posuzovat jen podle změny barvy, či stupně rozpadu původních částic půdní organické hmoty).
- c) Měřítkem stupně humifikace je jen zvýšení kapacity iontové výměny.
- d) Humifikace je nemyslitelná bez současně probíhající mineralizace, která je pro humifikaci, respektive pro mikroorganismy produkující enzymy, které ji realizují, zdrojem nutně potřebné energie (VÁCHALOVÁ, 2016).

### 2.6.3 Organická hmota v půdě

Hlavním zdrojem půdní organické hmoty je rostlinná biomasa, která vzniká fotosyntetickou aktivitou primárních producentů – vyšších rostlin, řas, sinic.

Nerozložený rostlinný materiál je směsí čerstvého nadzemního odpadu, kořenů, různě starých rostlinných zbytků. Lze sem zařadit i kořenové exudáty (polysacharidy, organické kyseliny, aminokyseliny, cukry a biologicky aktivní látky) kontinuálně vstupující do půdy během celé vegetační sezóny (ŠANTRŮČKOVÁ et al., 2018).

Primární organická hmota má v každé půdě nadvládu. Je to proto, že organická hmota v půdě snadno mineralizuje, mnohem méně humifikuje, a především i v nehojené půdě je stále doplňována. I v neobdělávané půdě se neustále něco děje, rostou rostliny, odumírají kořeny, padá listí/listy a v neposlední řadě tam žijí/umírají mikro a makroorganismy (VÁCHALOVÁ et al., 2016).

Dnes dělíme na 2 skupiny:

- Primární organická hmota půdní – může být původní nebo rozložená. Podstatou je, že se zcela rozpadla a začala mineralizovat, ale dosud z jejích fragmentů nebyly účinem enzymů půdních mikroorganismů syntetizovány vysokomolekulární polymery a polykondenzáty čili zatím nedošlo k humifikaci.
- Humus – už proběhla humifikace, jedná se o syntetizované, vysokomolekulární sloučeniny.

a) HK – z alkalického roztoku se HK sráží, jsou tmavší barvy;

b) FK – zůstávají i v kyselém prostředí v roztoku, mají nejnižší molekulovou hmotnost a jsou nejsvětější barvy (HŮLA a PROCHÁZKOVÁ, 2008).

Toto rozhraní je nejisté, je ovlivněno druhem a silou kyseliny, teplotou, ale i oťřesy okolí, dobou stání a mnoha dalšími faktory. Měřicím kritériem u FK a HK je obsah uhlíku

c) huminy-mají malou reaktivitu, vysoký obsah minerálního popela a velkou relativní molekulovou hmotnost. Při výpočtu stupně humifikace (SH) se s nimi vůbec nepočítá (VÁCHALOVÁ et al., 2016).

Primární organická hmota má větší schopnost poddat se rozkladnému procesu.

Rozdělujeme primární organickou hmotu labilní (lehce rozložitelná) a stabilní (těžce rozložitelná). Důležité je chemické složení dané konkrétní součástí primární organické půdní hmoty (např. vyšší obsah ligninu a menší obsah celulózy vede vždy k větší stabilitě), ale také její fyzikálně-mechanický stav (malá částice téhož materiálu má větší specifický povrch a je labilnější než kompaktní velká částice). Částice suchá je stabilnější než částice vlhká, protože voda je pro mikroorganismy a jejich životní činnost základem. Částice se současným vyšším obsahem dusíku je labilnější než bez dusíku. Proto při hnojení slámou, která má k vysokému obsahu uhlíku jen málo dusíku, urychlíme rozklad slámy v půdě přihnojením dusíkatými hnojivy nebo močůvkou či kejdou, které dusík obsahují (KOLÁŘ, 1988).

Labilitu ovlivňuje jak chemické složení (nízký obsah ligninu), tak i přeměna a její rychlost (spoluúčast jejího dusíku). Optimálně by poměr C:N neměl přesáhnout poměr 20:1, jinak organická hmota bere dusík z půdy, který je z dusíkatých hnojiv nebo který vznikl mineralizací, obojí má za následek ochuzení rostlin o dusík (VÁCHALOVÁ et al., 2016).

Ze základní funkce půdní organické hmoty (mineralizace) je zřejmé, že nejcennější jsou ty frakce SOM, které jsou nejméně stabilní, tedy snadno rozložitelné. Tyto frakce jsou dnes považovány za významný indikátor půdní kvality (HAYNES, 2005; GHANI et al., 2003).

Když shrneme předchozí odstavce, dostaneme zjednodušenou větu: Primární půdní organická hmota je labilní nebo stabilní, ale vždy mineralizuje.

#### 2.6.4 Humus

Humus mineralizuje z hlediska lidského života velmi pomalu, téměř vůbec. Poločas rozkladu jednotkového množství fulvokyselin se odhaduje na 40 let, ale poločas rozkladu huminových kyselin je 4 000 – 6 000 let podle jejich relativní molekulové hmotnosti. A stabilita málo reaktivních huminů s vysokým obsahem své minerální složky je ještě mnohem větší (KOLÁŘ, 1988).

Množství humusu v celkové půdní organické hmotě vyjadřujeme stupněm humifikace SH, tj. procentuálním vyjádřením oxidovatelného uhlíku humusových kyselin (fulvokyselin a huminových kyselin) z celkového oxidovatelného uhlíku:

$$SH = \frac{C_{oxFK} + C_{oxHK}}{C_{ox\text{totální}}} \cdot 100$$

Hlavním zdrojem živin rostlin jsou živinné prvky primární organické půdní hmoty, ze které se dostanou k rostlinám dle jejich stupně stability procesem mineralizace.

Existují dva základní znaky:

- 1) Humus nemineralizuje v časovém horizontu lidského života a má iontovou výměnu.
- 2) Primární organická hmota mineralizuje vždy, může mít i schopnost sorpční, ale nemá patrnou iontovou výměnu (VÁCHALOVÁ et al., 2016).

### 2.7 Vyjádření obsahu organické hmoty

- 1) Vyjádření  $C_{ox}$  se používá v systémových studiích, například ekologických, krajinářských atd.
- 2) Ve studiích, kde rozhodující roli hraje oxidační proces, například v energetických úvahách o využití biomasy v bioplynových stanicích, je obvyklé vyjadřovat množství organické hmoty množstvím kyslíku, které je potřeba k jeho oxidaci na mokré cestě

bichromanovou metodou, tzv. „chemickou spotřebou kyslíku“, označenou CHSK (obvykle v hydrochemických publikacích).

3) U zemědělských studií bychom měli rozlišovat 2 základní frakce půdní organické hmoty: humus a primární organickou půdní hmotu. Humus je bohužel tvořen mnoha humusovými kyselinami, které jsou chemicky téměř totožné, ale značně se liší relativní molekulovou hmotností. A právě velikost molekuly jim dává zcela rozdílné vlastnosti. Například reakce s těžkými kovy, vysokomolekulární HK tvoří s kovy ve vodě nerozpustné komplexy, a proto tyto huminové kyseliny těžké kovy imobilizují. Vysoký obsah těchto huminových kyselin v půdách Holandska například umožňuje používat i fosforečná hnojiva s vyšším obsahem kadmia a stroncia, aniž by pěstované rostliny obsahovaly stopu těchto těžkých kovů. Ale nízkomolekulární huminové kyseliny se chovají zcela opačně – s kovy tvoří velmi mobilní komplexy a jejich vstup do rostlin naopak usnadňují! Chovají se tedy spíše jako fulvokyseliny, i když se srážely jako huminové kyseliny (VÁCHALOVÁ, 2018).

## 2.8 Vztah k půdní úrodnosti

Snadno mineralizovatelná půdní organická hmota slouží hlavně pro potřebu a posílení půdního mikroedafonu, a proto je zásadní podporou jeho funkcí:

1) Podporuje celý půdotvorný režim, pro něhož je biologický faktor rozhodující.  
2) Je zdrojem minerálních živin a CO<sub>2</sub>, který slouží nejen jako základní surovina k tvorbě organické hmoty rostlin v procesu fotosyntetické asimilace, ale i k udržení vápenato-uhličitanové a hořečnato-uhličitanové rovnováhy v půdě a rozhoduje o rozpustnosti a nerozpustnosti Ca a Mg v půdě podle rovnic:



nerozpustný ↔ rozpustný

3) Rozvoj mikroedafonu usnadňuje i rozklad a detoxikaci xenobiontů kontaminujících půdu ze znečištěné atmosféry i z vlastní zemědělské činnosti (rezidua pesticidů).

4) Je zdrojem energie, a tudíž předpokladem humifikace a tvorby humusu.

5) Způsobuje nejen mobilizaci přístupného minerálního dusíku z nepřístupného organického dusíku, ale i proces opačný – imobilizaci dusíku, která je důležitým

procesem v naší snaze omezit ztráty minerálního dusíku elucí do půdní spodiny a vod a snížit tak stupeň kontaminace životního prostředí.

6) Snižuje specifickou hmotnost půdy. Snižuje objemovou hmotnost. Zvyšuje provzdušněnost půdy. Zlepšuje základní i odvozené hydro limity půdní. Zlepšuje technologické konstanty půdy. Lze říci, že obecně zlepšuje fyzikální a mechanicko-fyzikální vlastnosti půdy (VÁCHALOVÁ, 2018).

## 2.9 Význam humusu pro půdní úrodnost

Je založen na schopnostech iontovýměnných a na specifických vlastnostech aktivního povrchu humusových částic:

1) Iontová výměna humusu, která je obecně 5–7 x vyšší než iontovýměnná kapacita minerálních, jílových koloidních částic v půdě, je základním mechanismem hospodaření s živinami v půdě. Omezuje eluci živin z půdy, a tím ovlivňuje celý živinný režim půdy, efektivnost hnojení, jeho rentabilitu, ovlivňuje příjem živin a relace mezi nimi. Hospodaření na půdách s nízkým obsahem humusu nebo špatnou kvalitou by dnes, při vysoké ceně všech vstupů, muselo být velikostí ztrát nerentabilní (VÁCHALOVÁ et al., 2016).

2) Humusové koloidní látky mají vysoce aktivní povrchovou energii a tvoří s minerální koloidní frakcí absorpční komplexy. Tyto organominerální jednotky jsou poměrně odolné vůči mineralizaci. Jsou základem stavby a vodotěsnosti pravých, půdních agregátů, které jsou nejen základem půdní struktury, zajištěním žádoucí rovnováhy mezi vzduchem a vodou v půdě, zlepšením mechanicko-fyzikálních vlastností půdy, ale jsou také místem koncentrace půdního mikroedafonu, kde v optimálních podmínkách vodně-vzdušného režimu intenzivně probíhají všechny biochemické reakce. Například:

- mobilizace fosfátů z nerozpustných forem a rozklad xenobiotických látek,
- tvorba specifických, fyziologicky účinných látek,
- tvorba gelů stmelujících dále půdní agregáty (z kategorie uronových kyselin).

3) Humus je svojí iontovýměnnou kapacitou nejvýznamnějším půdním pufrům. Je hmotou, která udržuje v půdě stálé pH, brání výkyvům způsobeným v daném okamžiku rozdílnou koncentrací CO<sub>2</sub> v půdním roztoku. Toto kolísání by bylo pro půdní mikroorganismy brzdou jejich rozvoje.



4) Iontovýměnné a sorpční vlastnosti humusu umožňují imobilizaci organických i minerálních škodlivin v půdě.

a. Jde nejen o těžké kovy, ale i o velmi snadno sorbovatelné kancerogenní polykondenzované aromáty, polychlorované dioxiny a dibenzofurany, polychlorované bifenyly, četné kancerogenní mykotoxiny, nitrosaminy a dokonce i některé mobilní mladé nízkomolekulární humusové kyseliny, jejichž mutagenita a tím i potenciální kancerogenita v poslední době vzrušuje veřejnost.

b. Humus je tedy prokázatelně pro půdu i hygienickou službou, uklízečem, revitalizátorem.

Chtěla bych upozornit na jeden příklad, kdy byla sdělovacími prostředky zveřejněna zpráva, že v některých zemědělských společnostech byl zjištěn pronikavý úbytek humusu a že se tedy o půdu nepečuje a půdní úrodnost klesá.

Při bližším zkoumání bylo zjištěno, že obsah  $C_{ox}$  skutečně poklesl. Je to ale opravdu důkazem, že obsah humusu poklesl? Nemohlo to být také tím, že naopak dobré hospodaření, například starost o úpravu pH, vodního režimu, hnojení atd., na půdě zvýšilo mikrobiální aktivitu půdního mikroedafonu, a tím se zintenzivnily procesy transformace půdní organické hmoty, tedy mineralizace, ale i humifikace!

Obsah  $C_{ox}$  celkový se sice mohl snížit, ale obsah humusu se mohl naopak zvýšit! Vždyť stupeň humifikace a jeho změnu nikdo nestanovil! Je zřejmé, že tato informace je neodůvodnitelná, je to obyčejná novinářská „kachna“.

Pouze podle  $C_{ox}$  nelze půdní úrodnost posuzovat. To bychom za úrodné mohli považovat i půdy v oblasti Kvildy na Šumavě, které mají kolem 8 %  $C_{ox}$ . Mají extrémně nízké pH, mikrobiální aktivitu velmi slabou, organická hmota v nich nehumifikuje, ale ani téměř nemineralizuje. Kromě smilky tuhé a několika dalších super odolných plevelů na této půdě nic neroste (VÁCHALOVÁ, 2018).

### 3 CÍL PRÁCE

Cílem práce je provést porovnání stupně degradace půdní organické hmoty u dvou zemědělských subjektů. Bude provedena literární rešerše o půdní organické hmotě, bude vysvětlen rozdíl mezi humusem a půdní organickou hmotou a rovněž budou nastíněny půdní degradační procesy, jež se zaměřují zejména na půdní organickou hmotu.

Dalším cílem této práce je provést analýzu kambizemí z oblasti okolí Českých Budějovic, resp. ZD Borovany a okolí.

Rovněž v odebraných vzorcích bude stanoven  $C_{ox}$ , rychlostní konstanta a stupeň humifikace SH.

## 4 MATERIÁL A METODY

### 4.1 ZD Borovany

Zemědělské družstvo se zabývá chovem skotu, prasat a drůbeže. Ve velkokapacitním kravínu s volným ustájením v Borovanech má 580 dojnic s užitkovostí 7 400 litrů za rok a kus. Na pastvinách v Mladošovicích a Šalmanovicích se pase 180 ks krav bez tržní produkce mléka. Stav prasnic se pohybuje kolem 120 kusů. Prasnice se selaty jsou umístěny ve středisku Třebeč, žír je vykrmován ve středisku Sosní u Lišova. Družstvo provádí výkrm brojlerů ve čtyřech objektech – v Borovanech, v Hluboké u Borovan, v Nové Vsi nad Lužnicí a v Hranicích. V odchovně v Borovanech a v Hluboké u Borovan vykrmuje tzv. pomalu rostoucí farmářská kuřata.

Družstvo hospodaří na výměře 2 700 hektarů, z toho 1 550 hektarů představuje ornou půdu a 1 150 hektarů tvoří trvalé travní porosty. Specializuje se na výrobu obilovin, tržní plodinou je řepka a pšenice ozimá. Vzhledem k vysokým stavům hospodářských zvířat věnuje patřičnou pozornost krmným plodinám a loukám. V přidružené výrobě se zabývá povrchovou úpravou kovů práškovými barvami, které jsou vypalovány v peci. Jde o povrchovou úpravu s vysokým krytím, která zajistí odolnost proti vnějším přírodním a mechanickým vlivům. Tato metoda je vhodná pro úpravu povrchu kovového zábradlí, konstrukcí zimních zahrad, plotových dílů atd. Maximální možná velikost povrchově upravovaného dílu je dána velikostí vypalovací pece. V lakovně je maximální velikost dílu: 3000 mm délka, 980 mm šířka a 1500 mm výška (ZD Borovany).

Soukromníkem je můj strýc, který hospodaří na 56 ha, z toho je 36 ha pronajatých od spoluobčanů Třebeč a okolí. Přibližně 15 ha je orná půda, zbytek jsou pastviny a louky. Pěstuje převážně obilniny (tritikále, ječmen, kukuřici na siláž, oves). Dále se zabývá také chovem skotu. Na pastvinách ve Třebči se pase 24 ks krav bez tržní produkce mléka.

Pro metodickou část práce byl využit patent čs. 304265 autorů Kolář L., Váchalová R., Váchal J., Horáček J., uděleno: 27. 12. 2013, zveřejněno: 5. 2. 2014 - Způsob měření kvality primární a kvantitativní půdní organické hmoty. Vzorek půdy se disperguje v roztoku  $K_2Cr_2O_7$  v  $H_2SO_4$ , postupně se oxiduje, a v průběžně odebíraných měřených vzorcích suspenze se stanoví hodnoty oxidovatelného uhlíku

$C_{OXI}$  až  $C_{OXn}$  a finální hodnota  $C_{TOT}$ . Množství primární organické hmoty určuje hodnota  $C_{oxn}$ , kvalitu určuje rychlostní konstanta (K) kinetiky postupné oxidace  $K = 2,303 \cdot \text{tg} \alpha$ , kde  $\alpha$  je úhel úsečky (p) postupné oxidace, tvořené hodnotami  $\log(C_{TOT} - C_{OXI})$  až  $\log(C_{TOT} - C_{OXn})$ . Množství humusu se stanoví jako stupeň humifikace  $S = 100 \cdot (C_{TOT} - C_{OXn}) / C_{TOT}$  a kvalita humusu se stanoví Sandhoffovou metodou jako rozdíl iontovýměnné kapacity vzorku půdy před a po oxidaci peroxidem vodíku.

## 4.2 Hodnocení půdní organické hmoty

### Odběr a příprava vzorků

Odběr vzorků pro analýzu byl proveden na podzim roku 2019 (15.11.). Vzorky původní organické hmoty byly odebrány z horizontů nadložního humusu a pod nimi ležícího humusového horizontu A.

Na vzduchu vysušené vzorky v prosevu sítím 2 mm byly na síti 0,25 mm rozděleny na 2 frakce Větší než 0,25 mm s převahou nerozložené organické hmoty a na frakci menší než 0,25 mm.

Bylo odebráno celkem 40 vzorků z konkrétně vybraných míst => 20 vzorků z polí ZD a 20 vzorků z polí maloročníka.

### Stanovení kvality primární půdní organické hmoty

Kvalita půdní organické hmoty byla hodnocena dle čs. Patentu 304265, který je založen na modifikaci jediné analytické metody – oxidimetrického stanovení uhlíku (VÁCHALOVÁ et al., 2014).

Došlo k měření kvality primární organické hmoty i humusu. Vzorek půdy se disperguje v roztoku  $K_2Cr_2O_7$  v  $H_2SO_4$ , postupně se oxiduje a v průběžně odebíraných měřených vzorcích suspenze se stanoví hodnoty oxidovatelného uhlíku  $C_{OXI}$  až  $C_{OXn}$  a finální hodnota  $C_{TOT}$ . Množství primární organické hmoty určuje hodnota  $C_{oxn}$ , kvalitu určuje rychlostní konstanta (K) kinetiky postupné oxidace  $K = 2,303 \cdot \text{tg} \alpha$ , kde  $\alpha$  je úhel úsečky (p) postupné oxidace, tvořené hodnotami  $\log(C_{TOT} - C_{OXI})$  až  $\log(C_{TOT} - C_{OXn})$ . Množství humusu se stanoví jako stupeň humifikace  $S = 100 \cdot (C_{TOT} - C_{OXn}) / C_{TOT}$  a kvalita humusu se stanoví Sandhoffovou metodou jako rozdíl iontovýměnné kapacity vzorku půdy před a po oxidaci peroxidem vodíku.

## Postup laboratorních prací

1. Do pěti kádinek s číselným označením 1–5 je naváženo po 0,15 g analyzované jemnozemi II. Kádinky jsou ve třech barvách po 5 ks (=> celkem 15 ks za ZD a 15 ks za maloročníka).
2. Do těchto kádinek je přidáno 5 ml chromsírové spalovací směsi ( $0,4 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1} \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  v  $12 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ ) a krouživými pohyby kádinkou je zemina rozptýlena v kapalině.
3. Všechny kádinky označené číslem 1–4 jsou vloženy do předem vyhřátého termostatu ( $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ), čímž je katalyzována oxidační reakce PPOH s dichromanem draselným.
  - a. V přesně stanovených intervalech jsou kádinky postupně vyjímány a ihned zchlazovány v předem připravené vodní lázni (zastavení oxidační reakce).

10. minuta – kádinka č. 1,

20. minuta – kádinka č. 2,

30. minuta – kádinka č. 3,

45. minuta – kádinka č. 4.

Kádinky č. 5 byly přesunuty na 30 minut do termostatu předehřátého na  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ , kde je PPOH dále oxidována.

- b. Po zchlazení je obsah kádinek filtrován pomocí podtlakové aparatury přes fritu.
- c. Do filtrátu je přidáno 2,5 ml kyseliny orthofosforečné ( $85\% \text{ H}_3\text{PO}_4$ ) a 5 kapek difenylaminového indikátoru.
- d. Takto upravený filtrát je titrován roztokem Mohrovy soli ( $0,1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ) do bodu ekvivalence (roztok mění barvu ze špinavě hnědé přes modrofialovou do modrošedé). Pro zjištění procentuálního množství zoxidovaného organického uhlíku je spotřeba roztoku Mohrovy soli vzorků č. 1–5 zanesena do vzorce:

$$\%C_{ox} = \frac{(a - b) \cdot 0,03 \cdot f}{g}$$

a = množství roztoku Mohrovy soli v ml na slepý pokus bez zeminy,

b = množství roztoku Mohrovy soli v ml na vzorek (kádinky č. 1–5),

f = faktor Mohrovy soli (faktor je z důvodu zachování přesnosti výpočtu, stanovován vždy před každým novým měřením),

g = navážka vzorku půdy.

### **Princip výpočtu rychlostní konstanty $k$ oxidace primární půdní organické hmoty**

Ve výše uvedených intervalech bylo odebráno celkem 2krát 15 vzorků. V nich byl stanoven uhlík  $C_{ox}$ , který je možné označit  $C_{ox1}$  až  $C_{ox4}$ . Vzorky označené č. 1–4 byly stanoveny při oxidaci za teploty  $60^{\circ}C$  a vzorky s č.5 při stanovené teplotě  $100^{\circ}C$  (30 minut).

Oxidace organické hmoty je y hlediska reakční kinetiky reakcí I. řádu a její rychlost je úměrná koncentraci ještě neoxidované organické hmoty.

$$\frac{dy}{dt} = K \cdot (L - y) = K \cdot L_z$$

L = celková organická hmota,

T = čas,

y = oxidovaná část organické hmoty v čase t,

K = rychlostní konstanta,

$L_z$  = ještě neoxidovaná organická hmota v čase t.

Integrací od 0 do t lze psát rovnici:

$$L_z = L \cdot e^{-Kt}$$

e = Eulerovo číslo

a po převedení na dekadické logaritmy se změní na K na k:

$$L_z = L \cdot 10^{-kt}$$

Pro oxidovanou část organické hmoty v čase t lze psát rovnici:

$$y = L \cdot (1 - 10^{-kt})$$

Praktický výpočet lze provést graficky či v programu Excel:

K hodnotám  $C_{ox1}$  až  $C_{ox4}$  se vypočítají rozdíly  $C_1 - C_{ox1}$  až  $C_4 - C_{ox4}$ . Poté se stanoví logaritmy těchto rozdílů. Tyto logaritmy se v pravoúhlém souřadnicovém systému zaznamenávají na osu y proti času v minutách na ose x. Protože tg  $\alpha$  je poměrem mezi protilehlou odvěsnou pravoúhlého trojúhelníku, jehož přeponou je

zaznamenaná přímka (spojnice trendu), je výpočet konstanty  $k$  2,303 násobkem tohoto poměru a má rozměr (min). Rychlostní konstanta  $k$  je směrnici vzniklé přímky a lze ji vypočítat ze vztahu:

$$k = 2,303 \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

### **Stanovení obsahu humusu a stupně humifikace**

Půdní vzorky byly analyzovány na přístroji Skalár, který slouží mimo jiné k určení celkového množství organického uhlíku ( $C_2$ ). Jelikož hodnota  $C_1$  udává množství organického uhlíku náležejícího PPOH, výpočtem  $C_2 - C_1$  získáme množství uhlíku, který náleží humusu. Poté je možné stanovit také stupeň humifikace půdní organické hmoty:

$$SH = \frac{C_2 - C_1}{C_2} \cdot 100 (\%)$$

## 5 VÝSLEDKY

Dříve než přistoupím k výsledkům, chtěla bych základní myšlenky mé práce ještě trochu shrnout. Jelikož je literární přehled už daleko, je třeba si některé zákonitosti znovu připomenout.

Půdní organická hmota je složitá heterogenní směs organického materiálu převážně rostlinných, živočišných i mikrobiálních zbytků s obsahem mono-polymerních molekul organických látek, ligninu, proteinů, polysacharidu (celulózy, hemicelulóz, chitinu, peptidoglykanů), lipidů, vosků, a dalšího alifatického materiálu (mastných kyselin, kutinu, suberinu, terpenoidů) a jiných minoritních organických látek. Obsahuje také produkty humifikace, fulvokyseliny, huminové kyseliny a huminy.

Půdní organická hmota je přeměňována či transformována mineralizací a humifikací.

**Mineralizace** je exotermický proces s uvolněním energie, je to pomalé spalování. Je nemyslitelná bez činnosti enzymů, které produkují půdní mikroorganismy. Proto všechny faktory, které záporně působí na aktivitu půdní mikroflóry (extrémní hodnoty pH, vlhkosti půdy, intoxikace půdy vysokým obsahem solí či mikrobiálních jedů), působí záporně také na mineralizaci.

Organické látky, které snadno mineralizují, označujeme jako frakci labilních půdních organických látek. Frakce, které mineralizují velmi pomalu, tvoří stabilní půdní organické látky. Mezi těmito dvěma mezními frakcemi existuje pochopitelně velmi mnoho mezistupňů.

Mineralizace je pro zemědělce prospěšná, protože je zdrojem základního hnojiva pro rostliny.

Je zdrojem minerálních živin uvolněných z nepřístupné formy v organické hmotě. Je zdrojem energie pro druhý transformační proces půdní organické hmoty – pro humifikaci.

**Humifikace** je proces endotermický, to znamená, že neuvolňuje, ale naopak spotřebovává energii. Při humifikace naopak velikost molekul roste, je to proces syntetický.

Oba dva transformační procesy půdní organické hmoty probíhají v půdě současně, ale ve velmi rozdílné míře.



Příkladem je podle zásad vědeckého kompostování správně sestavená kompostová směs. Ta se brzy zahřeje na 50–60°C a její objem se zmenší. Teplota začne klesat, ale redukce objemu dále pokračuje, částice hmoty tmavnou a rozpadají se. Hmota začíná mít příjemnou dehtovito-zemitou vůni, je drobivá a sousedův obdiv máme zaručený. Typickou vlastností humusu je schopnost iontové výměny.

Kdybychom však ze vzorku udělali rozbor fulvokyselin a huminových kyselin, tedy skutečný obsah humusu, do kterého sice patří ještě huminy, ale ty se pro obtížnost analytiky nestanovují, tak bychom zjistili, že iontovýměnná kapacita našeho kompostu je jen 40–60 mmol.chem.ekv.H+/1000 g. Barvu způsobují melaniny (tmavá barviva). Kdybychom však o kompost pečovali, každý rok by v něm bylo více humusových kyselin.

### **Organická hmota a humus**

Z historie je patrné, že stanovit definice těchto termínů je velice problematické. Faktor 1,724 je tedy jen přepočtem obsahu uhlíku v půdě na obsah této jediné Acidum humicum Merck. Nepravost takové operace není třeba vysvětlovat. V organické hmotě půdy není přece pouze humus, který navíc nemůže být charakterizován jen jednou huminovou kyselinou.

**Primární půdní organická hmota** může být původní i rozložená. Může být transformačními procesy i přeměněná, ale humifikační proces u ní nebyl dokončen. Proto nemá výraznou iontovýměnnou kapacitu. Může být vytvořena velmi labilními i dosti stabilními organickými látkami. Může tedy rychle či pomalu mineralizovat (ale z hlediska časového úseku lidského věku).

**Humus** jsou jen látky vzniklé v procesu humifikace. Jsou charakteristické schopností iontové výměny a také mineralizují, ale z hlediska lidského věku prakticky nikoli. Poločas jejich mineralizace je u huminových kyselin cca 5 000–6 000 let, u fulvokyselin cca 40–50 let, přičemž není dosud zcela jasné, zda u fulvokyselin jde o samotnou mineralizaci, či o úbytek způsobený dalšími přeměnami v polymeračních a polykondenzačních reakcích).

## **5.1 Vlastní výsledky**

Cílem práce bylo zjistit, zda je kvalita půdní organické hmoty vyšší, či nižší ve srovnání s kvalitou SOM soukromého zemědělce a zemědělské společnosti

na pozemku stejného druhu, genetického půdního typu i stejného managementu péče o půdy, včetně agrotechniky, ochrany rostlin, hnojení, osevního sledu pěstovaných rostlin a také stejného vodního režimu.

Výsledky jednoznačně prokázaly, že organická půdní hmota soukromého zemědělce má horší kvalitu než SOM (stabilní organická hmota) zemědělské společnosti. Celkový obsah uhlíku v SOM pozemku zemědělské společnosti je zhruba o ¼ vyšší, což ovšem není podstatné. Významnějším faktorem je skutečnost, že frakce primární půdní organické hmoty je rovněž na povrchu zemědělské společnosti vyšší než u soukromníka.

To už jednoznačně znamená, že půda pozemku společnosti má větší zdroj energie pro půdní mikroedafon. Zřejmě by se snadno dalo dokázat, že tedy i mikrobiální aktivita pozemku společnosti je vyšší, a proto jsou jeho půdy, podle HAYESE (2004), úrodnější.

Tabulka č. 2: Výsledky

Lokalita	C <sub>OX1</sub> (%)	C <sub>OX2</sub> (%)	C <sub>OX3</sub> (%)	C <sub>OX4</sub> (%)	C <sub>PPOH</sub> (%)	TOC (%)	C <sub>SOF</sub> (%)	C <sub>H</sub> (%)	k (sec)
ZD	1,02525	1,15675	1,3045	1,3849	1,5177	2,1	0,542	26,325	2,312
ZD	1,03195	1,14565	1,3288	1,37255	1,51585	2,02	0,544	26,415	2,217
ZD	1,00305	1,1643	1,3244	1,39105	1,524	2,07	0,536	26,019	2,413
Soukromník	0,8043	0,903	0,9921	1,0534	1,2348	1,64	0,44	26,281	1,501
Soukromník	0,7942	0,89985	0,963	1,0785	1,2216	1,71	0,453	27,069	1,851
Soukromník	0,7944	0,9102	0,989	1,01735	1,2301	1,68	0,445	26,561	1,232

Zdroj: Vlastní práce

To by ovšem platilo pouze za předpokladu, že frakce primární půdní organické hmoty (PPOH) na pozemku společnosti je dostatečně labilní. To znamená, že je tvořena převážně nezhumifikovanými, ale velmi labilními zdroji organické hmoty, např. kořenovým vlášením, rostlinným opadem, rostlinnými zbytky s nízkým obsahem ligninu, čerstvou rostlinnou hmotou, kořenovými exudáty, nikoli organickou hmotou digestátů, průmyslových kompostů, rostlin s vysokým obsahem ligninů. Hodnota rychlostní konstanty oxidace organické hmoty půdního vzorku podává jasný důkaz o labilitě PPOH. Z výsledků je zřejmé, že rychlostní konstanta **k** je u organické hmoty společnosti téměř o zhruba 50 % vyšší než u SOM soukromníka. To znamená, že je labilnější, a proto skutečně platí, že je úrodnější než půda soukromníka.

Zajímavé jsou výsledky stanovení stabilní organické frakce (SOF) ve srovnání s organickou hmotou soukromníka a společnosti. V obou případech je nalezené množství SOF velmi vysoké a liší se celkem málo, přičemž je opět vyšší u SOM společnosti. Považujeme-li SOF za stabilní huminové kyseliny, výpočet nás přivede k mylným údajům o množství uhlíku humusu – přes 25 % z celkového organického uhlíku (TOC) a to je samozřejmě nesmysl. Je nutno si uvědomit, že ve středních kambizemích Jihočeského kraje bychom mohli očekávat stupeň humifikace 5–15 % a to ještě jen při stanovení množství humusu (huminových kyselin a fulvokyselin) klasickou metodou. V nově navržené metodě stanovení SOF podle metodiky mateřské katedry na ZF JČU dochází k oxidaci nízkomolekulárních (nekvalitních) huminových kyselin a prakticky všech fulvokyselin při stanovení PPOH, a proto očekávaný obsah huminových kyselin je ještě podstatně nižší, 1–4 % uhlíku TOC.

Jaké jsou tedy příčiny enormně vysokého uhlíku huminových kyselin (kvalitního humusu) v této práci? Příčiny mohou být v zásadě jen dvě. S největší pravděpodobností je to způsobeno poměrně vysokým inputem ligninu spolu s PPOH. Ligniny bohužel reagují úplně stejně jako huminové kyseliny a zkreslují tak starou i novou metodu. Dochází k tomu např. při organickém hnojení digestátem, a ještě více separátem, při hnojení průmyslovým kompostem a také při hnojení slámou s nízkým přídatkem dusíku. Problém může působit i časté pěstování kukuřice. Druhou příčinou může být okolnost, že při stanovení PPOH nebylo správně stanoveno množství  $C_1$  (po stanovení  $C_{ox4}$  nebyla reakční směs dohřáta ze 60°C na 100°C) z důvodu nestability tepelného zdroje (vybavení laboratoře není nejmodernější), a tím je stanovení množství PPOH v SOM společnosti i soukromníka poněkud nižší. Protože však charakter práce je srovnávací, tato chyba se na většině výsledků neprojevuje.

Bez ohledu na tuto nesrovnalost je možno učinit závěr. Zemědělská společnost má organickou hmotu v pořádku, nemusí více organicky hnojit. Je potřeba pouze zachovat současný trend dodávky organických hnojiv. Stav by mohla zlepšit tím, že by se více orientovala na pěstování meziplodin a omezila hnojení digestátem. Soukromníkovi lze doporučit jen podstatné zvýšení dodávky labilní organické hmoty do půdy, zvláště prostřednictvím meziplodin. Ideálně by se stav jeho SOM zlepšil aplikací kvalitního hnoje v předepsaných půdních dávkách, bude-li mít hnůj k dispozici. Jiným řešením je časté zelené hnojení. Zaorání porostu hořčice je

v suchých létech výhodné i tím, že hořčice obsahuje značné množství vody, a to zvyšuje labilitu její organické hmoty.

## 6 DISKUSE

Z celé literární rešerše je zřejmé, že většině renomovaných autorů dělá v rozvíjení myšlenek o transformaci půdního uhlíku základní potíže fakt, že chápou půdní organickou hmotu jako jeden celek, i když se jedná o velmi heterogenní směs.

Víme, že základní rozdíl mezi primární půdní organickou hmotou a humusem je v tom, že primární půdní organická hmota různě rychle mineralizuje, humus v časovém období stovek let nemineralizuje. Humusové uhlí už nemineralizuje vůbec a pochybuji, že by šlo vyprovokovat přidáním glukózy (HAMER et al., 2004).

Skjemstadův model (SKJMESTAD et al. 2004) tvrdí, že doba trvání humifikovaných organických minerálů je 116,76 let. To je podivně krátká doba, platná snad jen pro fulvokyseliny, které dále nepolymerovaly do kategorie huminových kyselin. Ale doba trvání huminových kyselin je tisíce let, huminů ještě delší.

Ochuzení půd o organickou hmotu vlivem eroze je obecně známé. FENTON et al. (2005) dělají chybu v tom, že sledují celkový uhlík. Profesoři ZF JČU, Ledvina a Kolář už v 80. a 90. letech publikovali výsledky, ve kterých přišli s tím, že erodované půdní částice obsahují z organického půdního materiálu to nejčinnější – huminové kyseliny. Proto se indexy obohacení pro  $C_{\text{celk}}$  a  $C_{\text{HK+FK}}$  mohou značně lišit (VÁCHALOVÁ, 2018).

BALDOCK et al. (2004) dochází ve snaze charakterizovat biologickou stabilitu ke třem řídicím faktorům a interakci souboru ekosystémových vlastností. Model je zbytečně složitý – v podstatě jde o hydrolytickou labilitu dané organické látky a o složení a hydrolytickou kapacitu rozkladných společenstev v půdě – a pak už jen kladné a záporné reakční vlivy.

Při studiu fyzikálních mechanismů ochrany půdní organické hmoty před mineralizací dochází MUNEER a OADES (1989a) k závěru, že přídavek  $\text{Ca}^{2+}$  do půd mineralizaci snižuje. Tato formulace je velmi problematická. Víme, že vápnění, zvláště kyselých půd, vede nejen k otupení půdní kyselosti, ale také ke snížení dzeta-potenciálu na fázovém rozhraní minerálních i organických koloidních micel, a tím ke spontánní koagulaci. Tím dojde zároveň k lepšímu provzdušnění půdy. To má však za následek prudké zvýšení mineralizace, při kterém je děj, jenž popisují MUNNER a OADES (1989a), naprosto překryt.

Teorie půdní organické hmoty, jež je sledovaná z různých aspektů ekologických, klasifikačních, otázek její sekvestrace, mineralizace až po možné důsledky na globální změny klimatu, se dostala velmi daleko. S tím nepochopitelně kontrastuje skutečnost, že i odborníci, kteří s pojmem „půdní organická hmota“ manipulují, často nerozlišují mezi primární organickou půdní hmotou a humusem, obě dvě složky chápou společně. Pak snadno dochází k názoru, že  $C_{ox}$  stanovený v půdě lze faktorem 1,724 přepočítat na humus. Tím dochází k paradoxní kritice zemědělců. Vytýká se jim, že „spotřebovali“ humus, ačkoliv by měli být pochváleni za to, že agrotechnikou, vápněním, hnojením a úpravou vodního režimu půd zvýšili aktivitu půdního mikroedafonu, a tím podpořili transformaci primární organické hmoty na žádoucí humus v humifikaci, ale také snad nežádoucí  $CO_2$  v mineralizaci, podle mnohých ekologů. Je však obecně známé, že  $CO_2$  je sice skleníkovým plynem, ale také základním hnojivem. Spíše než starat se o jeho nižší produkci, bychom se měli starat o jeho větší spotřebu. Je však zřejmé, že praxe půdní organické hmoty zůstala velmi pozadu za teorií, a to tak mnoho, že v zemědělské, ale i společenské praxi už je problémem, jenž připomíná babylonskou věž (VÁCHALOVÁ et al., 2016).

## 7 ZÁVĚR

Primární půdní organická hmota a humus jsou dvě složky půdní organické hmoty, které se nesmí významově směřovat, protože mají rozdílné vlastnosti. PPOH s různou rychlostí mineralizuje, humus mineralizuje, ale z hlediska lidského věku je téměř zcela stabilní. PPOH může mít sorpční vlastnosti, ale někdy nemá vlastnosti iontovýměnné, které jsou naopak pro humus typické.

Jak už jsem vysvětlila v celé práci, tak není správné přepočítávat  $C_{ox}$  na humus faktorem 1,724. Veškerý  $C_{ox}$  v půdách patří především PPOH, mnohem méně humusu.

Významným faktorem je skutečnost, že frakce primární půdní organické hmoty je na povrchu zemědělské společnosti vyšší než u soukromníka.

To znamená, že půda pozemku společnosti má větší zdroj energie pro půdní mikroedafon. Dalo by se dokázat, že i mikrobiální aktivita pozemku společnosti je vyšší, a proto je i úrodnější.

To by ovšem platilo pouze za předpokladu, že frakce primární půdní organické hmoty (PPOH – viz. příloha č.5, str. 56) na pozemku společnosti je dostatečně labilní – je tvořena např. kořenovým vlášením, rostlinným opadem, rostlinnými zbytky s nízkým obsahem ligninu, čerstvou rostlinnou hmotou, kořenovými exudáty, nikoli organickou hmotou digestátů, průmyslových kompostů, rostlin s vysokým obsahem ligninů. O tom podá jasný důkaz hodnota rychlostní konstanty oxidace organické hmoty půdního vzorku. Rychlostní konstanta  $k$  (viz. příloha č.9, str. 58) je u organické hmoty společnosti téměř o zhruba 50 % vyšší než u SOM soukromníka, je tedy labilnější, a proto skutečně platí, že je úrodnější než půda soukromníka.

Zajímavé jsou výsledky stanovení stabilní organické frakce (SOF - viz. příloha č.7, str. 57). V obou případech je nalezené množství SOF velmi vysoké a liší se nepatrně. Považujeme-li SOF za stabilní huminové kyseliny, výpočet nás přivede k mylným údajům o množství uhlíku humusu – přes 25 % z celkového organického uhlíku (TOC), což je samozřejmě nesmysl, protože ve středních kambizemích Jihočeského kraje bychom mohli očekávat stupeň humifikace 5–15 %, a to ještě jen při stanovení množství humusu (huminových kyselin a fulvokyselin) klasickou metodou. V nově navržené metodě stanovení SOF podle metodiky mateřské katedry na ZF JČU dochází k oxidaci nízkomolekulárních (nekvalitních) huminových kyselin a prakticky všech fulvokyselin při stanovení PPOH, a proto očekávaný obsah

huminových kyselin je ještě podstatně nižší, 1–4 % uhlíku TOC (viz. příloha č.6, str. 56).

Příčiny enormně vysokého uhlíku mohou být v zásadě jen dvě. S největší pravděpodobností je to způsobeno poměrně vysokým inputem ligninu spolu s PPOH. Ligniny bohužel reagují úplně stejně jako huminové kyseliny a zkreslují tak starou i novou metodu. Dochází k tomu např. při organickém hnojení digestátem, a ještě více separátem, při hnojení průmyslovým kompostem a také při hnojení slámou s nízkým přídatkem dusíku. Problémem může být i časté pěstování kukuřice. Druhou příčinou může být okolnost, že při stanovení PPOH nebylo správně stanoveno množství  $C_1$  (po stanovení  $C_{ox4}$  nebyla reakční směs dohřáta ze 60°C na 100°C) z důvodu nestability tepelného zdroje, ale jelikož je práce srovnávací, tato chyba se neprojevuje.

Závěr tedy zní: Zemědělská společnost má organickou hmotu v pořádku, nemusí více organicky hnojit, stačí zachovat současný trend dodávky organických hnojiv. Případného zlepšení lze dosáhnout lepší orientací na meziplodiny a omezení hnojení digestátem. Soukromníkovi lze poradit podstatné zvýšení dodávky labilní organické hmoty do půdy, zvláště prostřednictvím meziplodin. Ideálně by se zlepšil stav jeho SOM aplikací kvalitního hnoje v předepsaných půdních dávkách, bude-li mít hnůj k dispozici nebo také časté zelené hnojení. Nejlepší volbou je asi hořčice, protože je v suchých letech výhodná i tím, že obsahuje značné množství vody, a to zvyšuje labilitu její organické hmoty.

Jak v národním, tak i v celosvětovém měřítku bychom se měli zamyslet nad otázkou, která se týká dotací pro zemědělce. Zemědělci sice dostávají dotace na obdělávanou půdu, ale nikdo se už nestará, jakým způsobem hospodaří, což je velikým problémem. V dotačním systému totiž neexistuje dostatečná kontrola efektivnosti využívání přidělených dotací. Dalším problémem z mého pohledu je, že všichni víme, že  $CO_2$  je sice skleníkovým plynem, ale také základním hnojivem. Měli bychom se více starat o jeho větší spotřebu než se snažit zamezit jeho vzniku. Hospodařme v krajině rozumně a respektujme moudrost našich předků. Kdysi tomu tak bylo, půjde to i dnes. Zdravý sedlácký rozum na naše pole.



## 8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- BALDOCK, J. et al. (2004). Cycling and composition of organic matter in terrestrial and marine ecosystems. *Mar Chem.*
- BATYSTA, M. et al. (2015). Situační a výhledová zpráva. *Půda*. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR.
- BRADY, N. C., & WEIL, R. R. (2002). *The nature and properties of soils* (Prentice-Hall).
- BEDRNA, Z., HRAŠKO J., A SOTÁKOVÁ S., (1968). *Polnohospodárske pôdoznalectvo* (1. vyd.) Bratislava: Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry.
- BRTNICKÝ et. al. (2012). *Degradace půdy v České republice*. Brno: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy.
- DORAN, J. W., & SAFLEY, M. (1997). *Defining and assessing soil health and sustainable productivity*.
- DREES et. al. (1994) *Micromorphological characteristic of longterm no-tillage and conventionally tilled soils*.
- FENTON, T. E., KAZEMI, M., LAUTERBACH-BARRETT, M. A. (2005). Erosional impact on organic matter content and productivity of selected Iowa soils. *Soil Tillage Res.*
- FORMAN, R. T. T., GODRON, M. (1993). *Krajinná ekologie*. Praha: Academia.
- GHANI A., DEXTER M., PERROTT K. W., (2003). *Hot–water extractable carbon in soils; a sensitive measurement for determining impacts of fer.tilisation, grazing and cultivation*. *Soil Biology & Biochemistry*
- HAMER, U. et al. (2004). Interactive priming of black carbon and glucose mineralisation. *Org Geochem*.
- HAYNES R. J., (2005). *Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricul-tural soils*. *Advances in Agronomy*.
- HAUPTMAN, I. et al. (2009). *Půda v České republice*. Praha: Pro Ministerstvo životního prostředí a Ministerstvo zemědělství vydal Consult.
- HOLÝ M. (1978). *Protierozní ochrana*. Praha: Nakladatelství technické literatury.
- HŮLA, J., PROCHÁZKOVÁ, B. (2008). *Minimalizace zpracování půdy*. Praha: Profi Press.

- CHAPIN, F. S., MATSON, P. A., MOONEY, H. A. (2002). *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. New York: Springer.
- JANEČEK, M. (2012). *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika*. Praha: Powerprint.
- KOLÁŘ, L. (1988). *Organické hnojení a humus*. Praha (VŠZ).
- KOLÁŘ, L. et al. (2003). A method to determine mineralization kinetics of a decomposable part of soil organic matter in the soil. *Plant, Soil and Environment*.
- KVÍTEK T., TIPPL M. (2003). *Ochrana povrchových vod před dusičnany z vodní eroze a hlavní zásady protierozní ochrany v krajině*. Praha: Zemědělské informace č. 10/2003.
- LEDVINA, R., KOUBALÍKOVÁ, J., HORÁČEK, J. (1992). *Geologie a půdoznalství: pro 1. ročník studia*. České Budějovice: ZF.
- LHOTSKÝ, J. (2000). *Zhutňování půd a opatření proti němu: (studijní zpráva)*. Praha: ÚZPI.
- MUNEER, M., OADES, J. M. (1989a). The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. I. Laboratory studies with  $^{14}\text{C}$ -glucose,  $\text{CaCO}_3$  and  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . *Aust J Soil Res.*
- NĚMEČEK, J., SMOLÍKOVÁ, L., KUTÍLEK, M. (1990). *Pedologie a paleopedologie*. Praha: Academia.
- NOVOTNÝ I., DOSTÁL T., VÁŇOVÁ V. (2014). *Příručka ochrany proti vodní erozi* (2. vyd.). Praha: Ministerstvo zemědělství.
- POKORNÝ E., ŠARAPATKA B., HEJÁTKOVÁ K. (2007). *Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku: metodická pomůcka*. Náměšť nad Oslavou: ZERA – Zemědělská a ekologická regionální agentura.
- SKJEMSTAD, J. O. et al. (2004). Calibration of the Rothamsted organic carbon turnover model (RothC ver. 26.3), using measurable soil organic carbon pools. *Aust J Soil Res.*
- Soil and water: scientific studies. 1/2002 = Půda a voda: vědecké práce (Variant.)*. (2002) ([1. vyd.]). Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy.
- ŠANTRŮČKOVÁ, H. et al. (2018). *Ekologie půdy*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- ŠARAPATKA, B. (2014). *Pedologie a ochrana půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.

- ŠARAPATKA, B., DLAPA, P., BEDRNA, Z. (2002). *Kvalita a degradace půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého.
- ŠIMEK, M. (2003). *Základy nauky o půdě*. České Budějovice: Biologická fakulta Jihočeské univerzity.
- ŠIMEK, M. (2004). *Základy nauky o půdě*. České Budějovice: Biologická fakulta Jihočeské univerzity.
- TISDALL, ADEM (1986) *Effect of water content of soil and tillage on size-distribution of aggregates and infiltration*.
- TOMAN F. (1995). *Pozemkové úpravy*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita.
- TOMÁŠEK, M. (2000). *Půdy České republiky* (2., dopl. vyd.). Praha: Český geologický ústav.
- TOMÁŠEK, M. (2003). *Půdy České republiky* (3. vyd.). Praha: Česká geologická služba.
- TOMÁŠEK, M. (2007). *Půdy České republiky* (4. vyd.). Praha: Česká geologická služba.
- VÁCHALOVÁ, R., KOLÁŘ, L., MUCHOVÁ, Z. (2016). *Primární organická půdní hmota a humus, dvě složky půdní organické hmoty: vědecká monografie*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre.
- VÁCHALOVÁ R. et al. (2014). *Způsob měření množství a kvality půdní organické hmoty. Patent CZ 304 265 B6*, Praha: Úřad průmyslového vlastnictví.
- VÁCHALOVÁ R. (2018). *Cyklus organického uhlíku v zemském ekosystému-Habilitační práce*, Ostrava.

Internetové zdroje:

- Agricultural Soil Compaction [online]. [cit. 2019-11-12]. Dostupné z:  
[http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex13331](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex13331)
- Eagri [online]. [cit. 2019-11-12] Dostupné z:  
<http://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/acidifikace-pudy/>
- Eagri [online]. [cit. 2019-11-12] Dostupné z:  
<http://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/dehumifikace-pudy/>

Eagri [online]. [cit. 2019-11-12] Dostupné z:

<http://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/zastavovani-uzemi/>

Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění – Javůrek a Vach. [online]. [cit. 2019-11-13]. Dostupné

z: [https://www.agro.basf.cz/Documents/jin%C3%A9/migrated\\_files/information\\_material\\_files/dal\\_\\_\\_materi\\_ly\\_files/isbn978\\_80\\_87011\\_57\\_7.pdf](https://www.agro.basf.cz/Documents/jin%C3%A9/migrated_files/information_material_files/dal___materi_ly_files/isbn978_80_87011_57_7.pdf)

Klasifikace eroze. [online]. [cit. 2019-11-13]. Dostupné

z: [http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/YPEO/eroze%2002\\_klasifikace.pdf](http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/YPEO/eroze%2002_klasifikace.pdf)

Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění – Javůrek a Vach. [online]. [cit. 2019-11-13]. Dostupné

z: [https://www.agro.basf.cz/Documents/jin%C3%A9/migrated\\_files/information\\_material\\_files/dal\\_\\_\\_materi\\_ly\\_files/isbn978\\_80\\_87011\\_57\\_7.pdf](https://www.agro.basf.cz/Documents/jin%C3%A9/migrated_files/information_material_files/dal___materi_ly_files/isbn978_80_87011_57_7.pdf)

Satellite remote sensing for water erosion assessment: A review, -Vrieling A. [online]. [cit. 2019-11-13]. Dostupné

z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816205002031>

Složení půdy [online]. [cit. 2019-11-15]. Dostupné z:

[https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=71346](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=71346)

Soil colour. [online]. [cit. 2019-11-13]. Dostupné

z: <https://www.qld.gov.au/environment/land/management/soil/soil-properties/colour>

Soil ecology – Lavelle P., Spain A. [online]. [cit. 2019-11-15]. Dostupné

z: <https://books.google.cz/books?lr=&hl=cs&id=iCC1sOmFTSMC&dq=Lavelle+P.+Spain+A.V+Soil+ecology+2001&q=citace#v=onepage&q=citace&f=true>

Soil fertility. [online]. [cit. 2019-11-13]. Dostupné

z: <https://www.qld.gov.au/environment/land/management/soil/soil-properties/fertility>

Soil structure. [online]. [cit. 2019-11-15]. Dostupné

z: <https://www.qld.gov.au/environment/land/management/soil/soil-properties/structure>

Stabilisation of soil against wind erosion by six saprotrophic fungi, Soil Biology & Biochemistry – Tisdall et al. [online]. [cit. 2019-11-13]. Dostupné

z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071712001009#7>

What is soil temperature.[online]. [cit.2019-11-13]. Dostupné

z: <https://soilsmatter.wordpress.com/2013/12/31/155/>

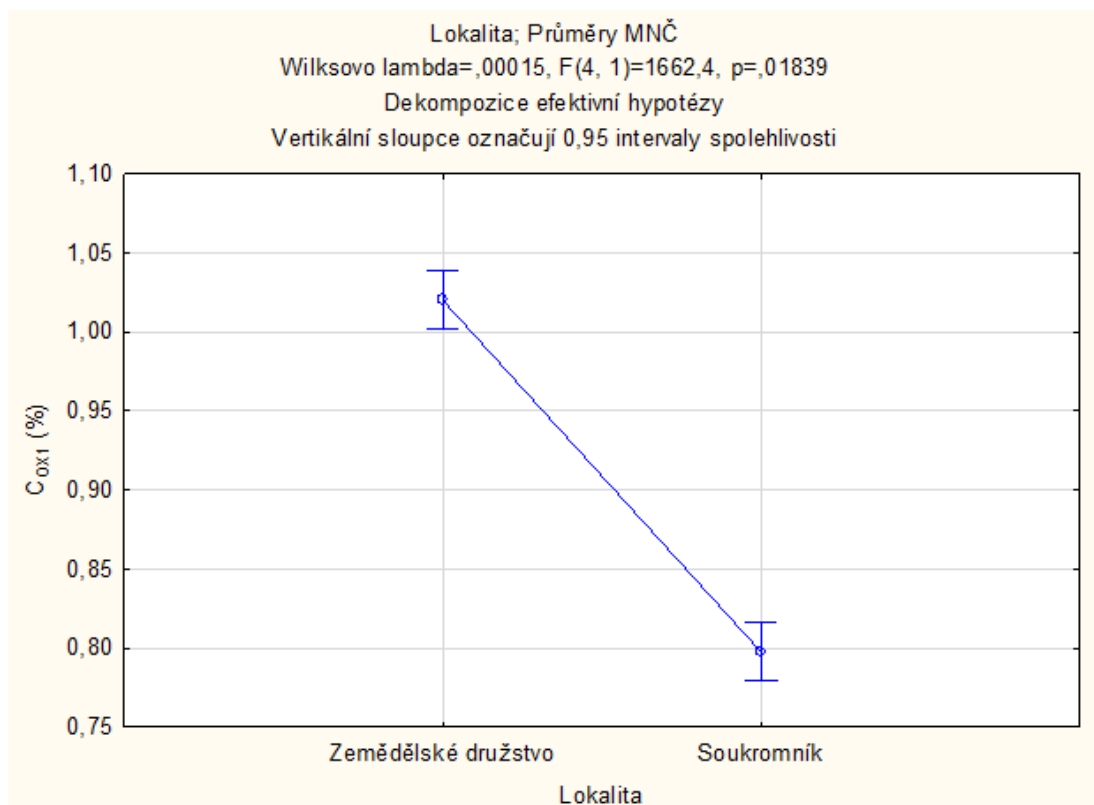
Typizace půd v ČR. [online]. [cit. 2019-11-13]. Dostupné

z: [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=54198](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=54198)

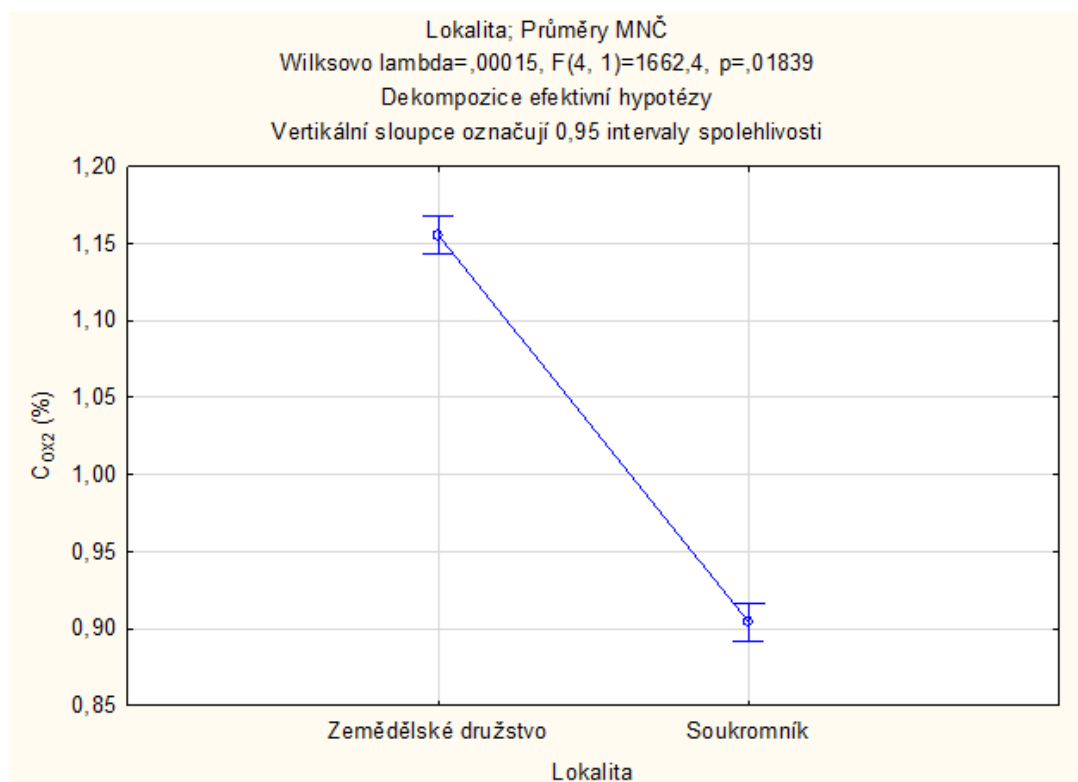
ZD Borovany [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <http://zodborovany.cz/>

## 9 PŘÍLOHY

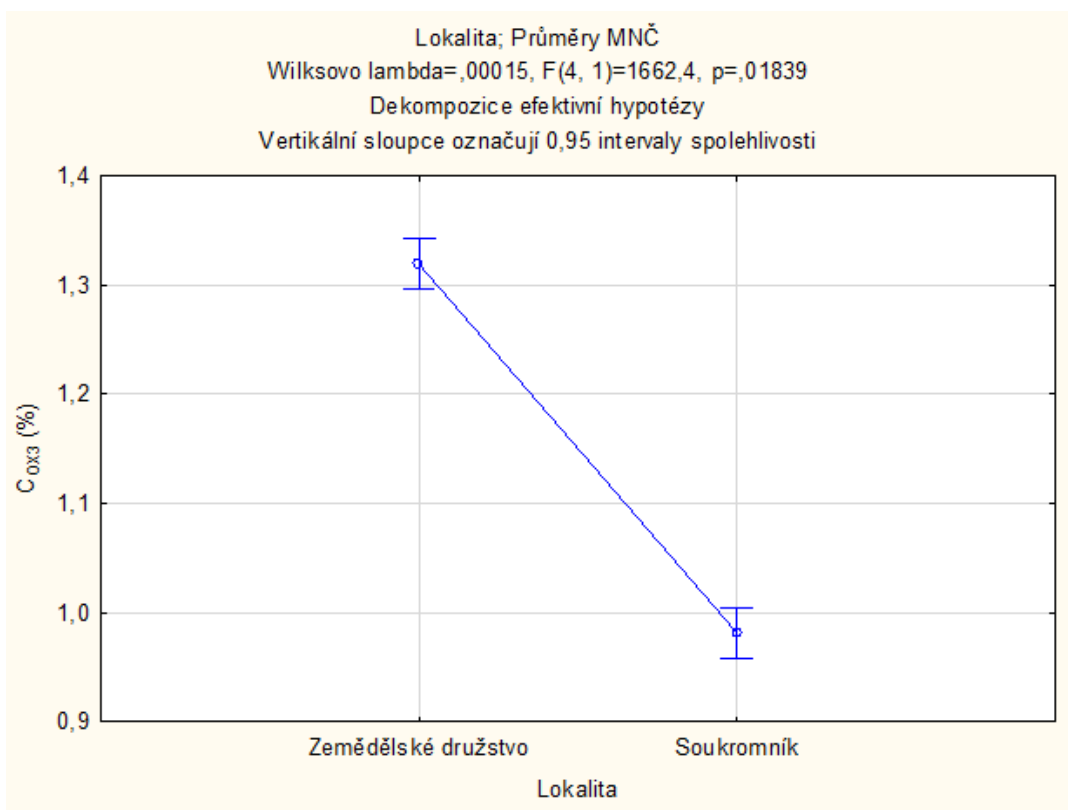
Příloha č. 1: Průměr  $C_{ox1}$



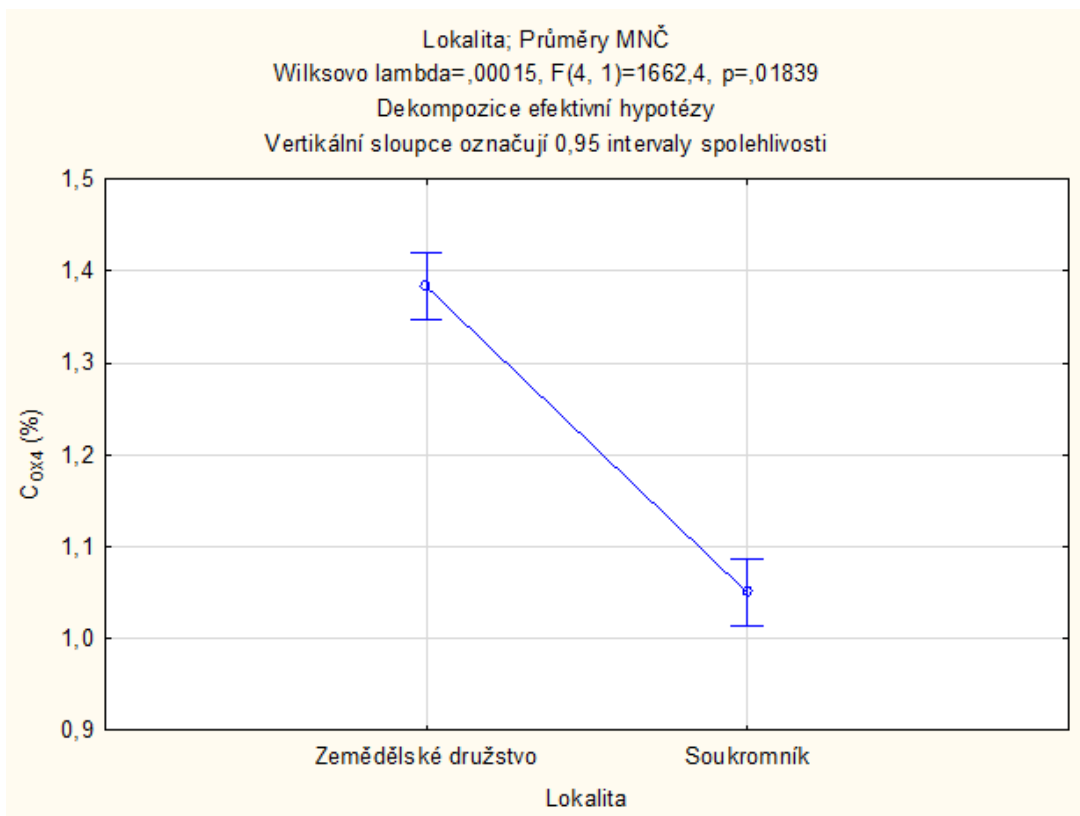
Příloha č. 2: Průměr  $C_{ox2}$



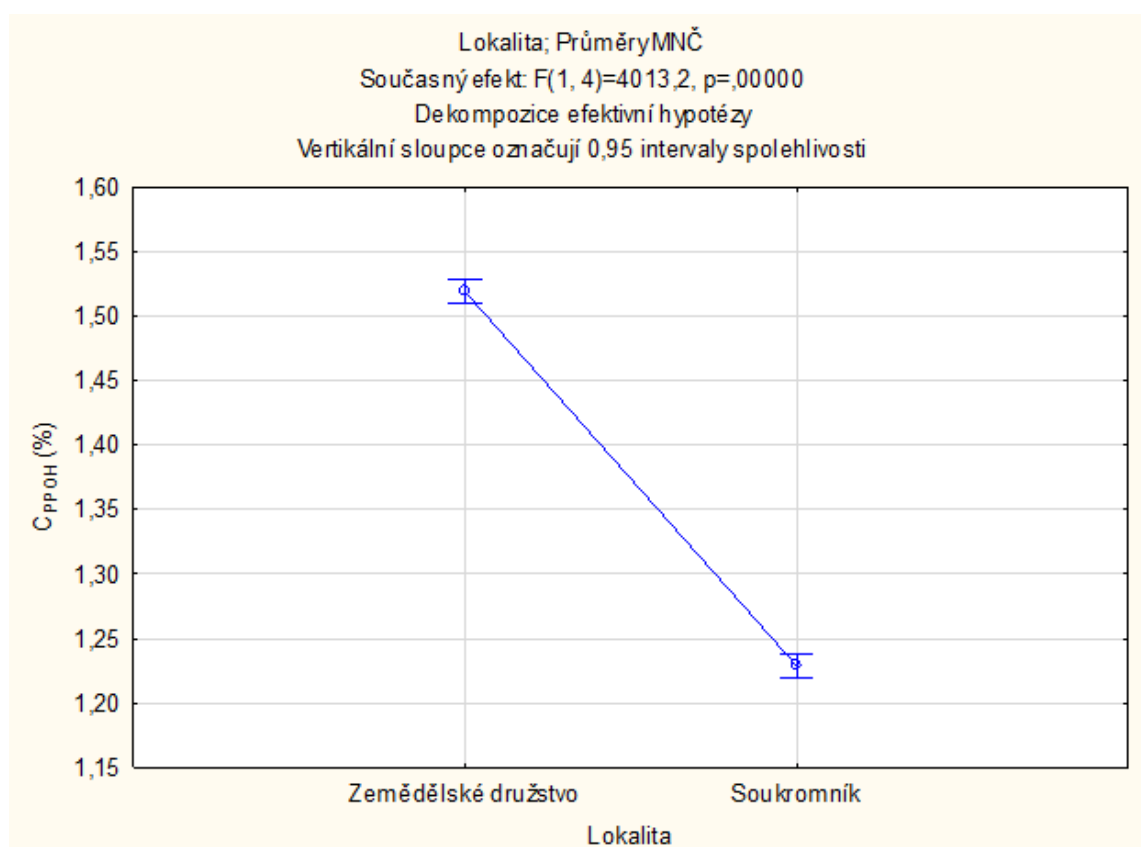
Příloha č. 3: Průměr  $C_{ox3}$



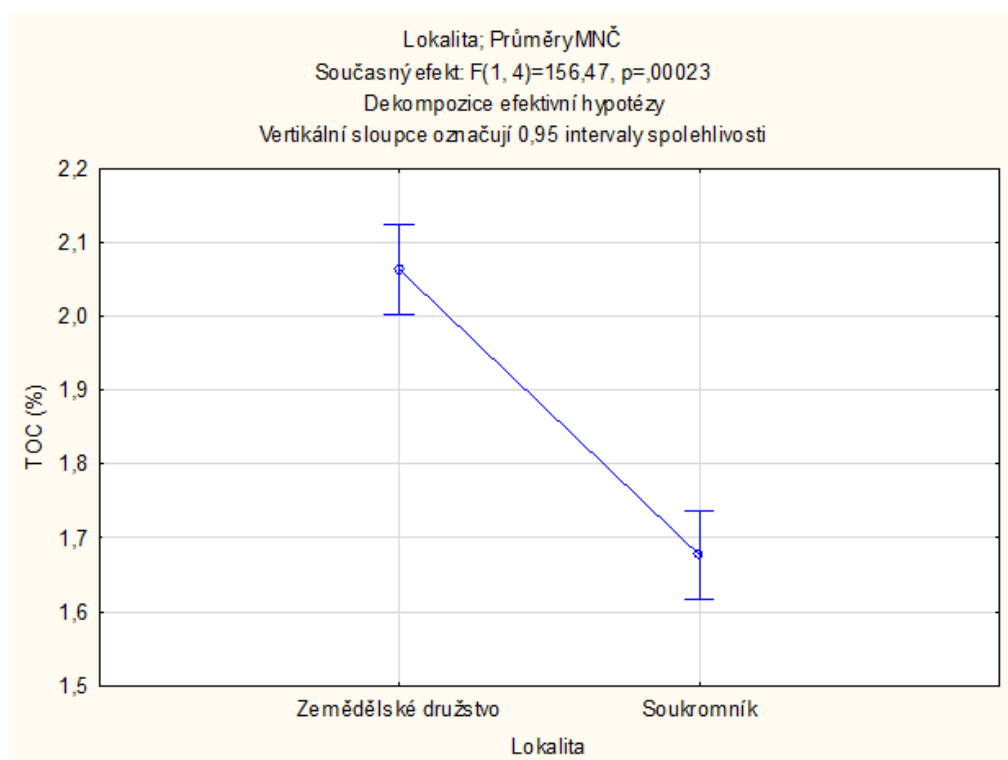
Příloha č. 4: Průměr  $C_{ox4}$



Příloha č. 5: Průměr  $C_{PPOH}$

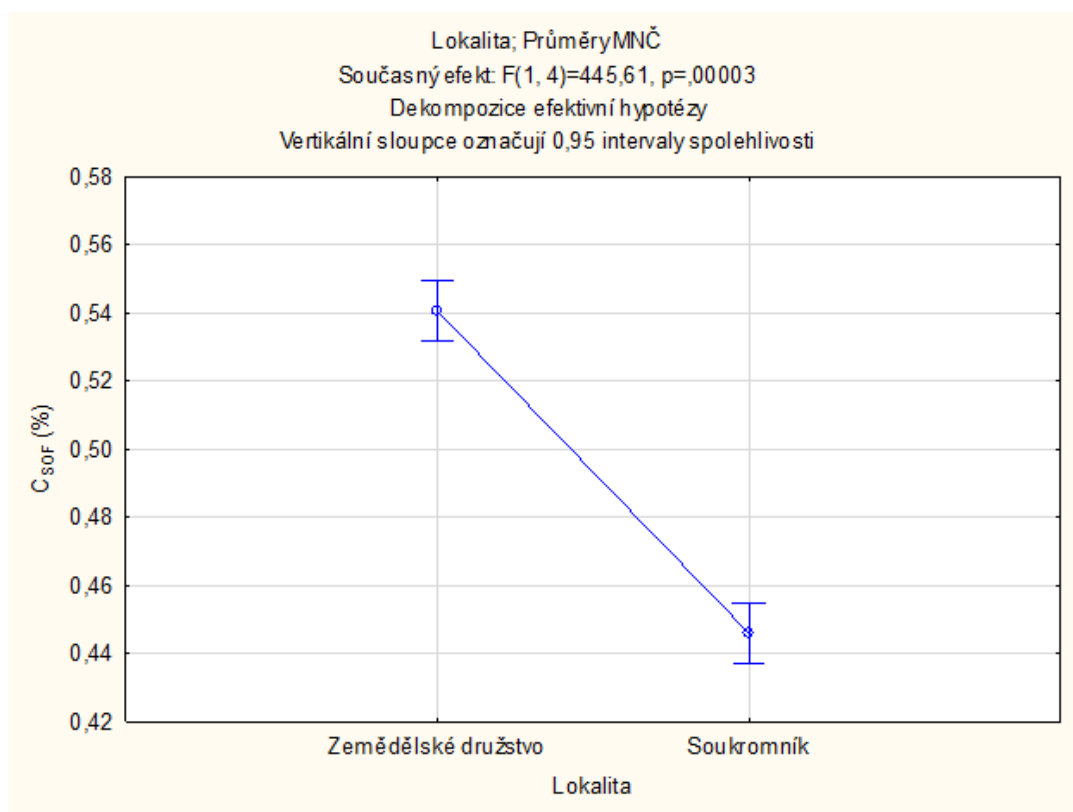


Příloha č. 6: Průměr TOC

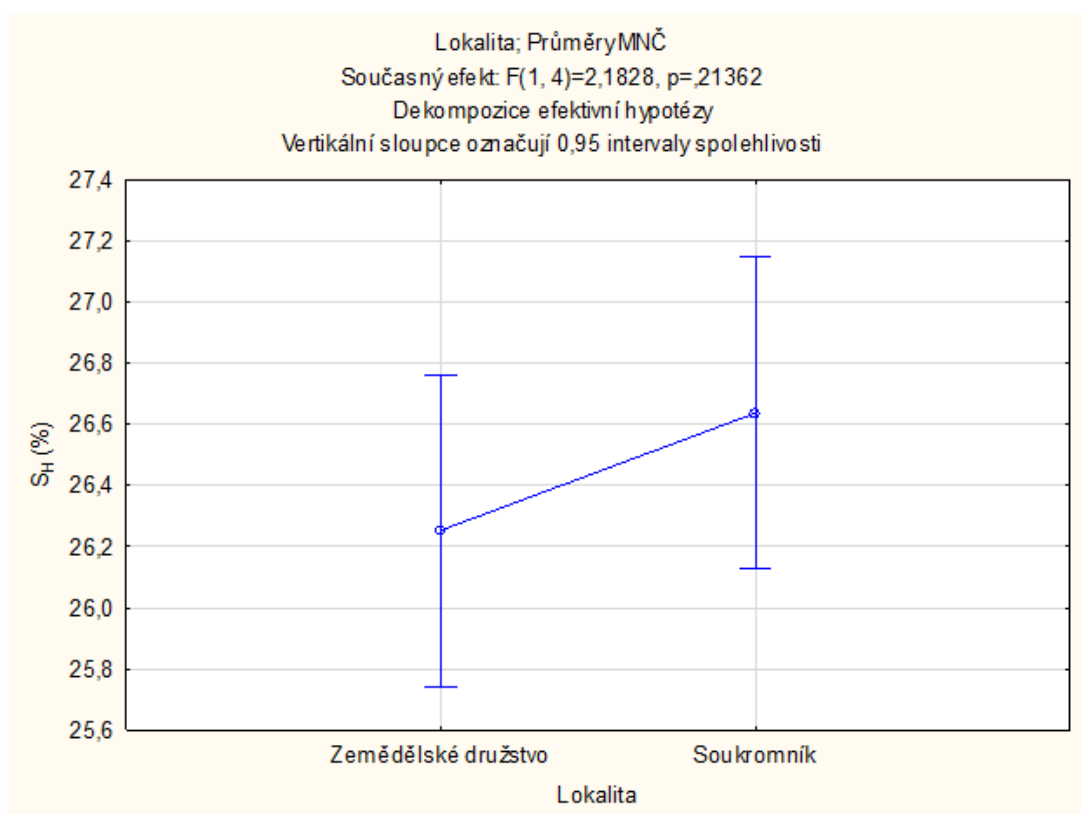




Příloha č. 7: Průměr  $C_{SOF}$



Příloha č. 8: Průměr  $S_H$



Příloha č. 9: Průměr k

