



Zemědělská  
fakulta  
Faculty  
of Agriculture

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

# JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Katedra: Agroekosystémů

## Diplomová práce

Analýza obsahu a kvality organické hmoty ve vybraných  
půdních vzorcích

Autorka práce: Bc. Jana Sládková

Vedoucí práce: Ing. Marek Kopecký, Ph.D

České Budějovice  
2021

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracovala pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne .....

.....  
Podpis

## Abstrakt

Hodnocení množství i kvality půdní organické hmoty prochází neustálým vývojem. Vznikají nové metody, které mohou, ale také nemusí najít uplatnění v praxi. Diplomová práce je zaměřena na hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty prostřednictvím různých metod, aby následně mohlo dojít k jejich porovnání. Mezi tzv. „klasické“ metody jsou v této práci zařazeny obsah celkového organického uhlíku, obsah uhlíku huminových kyselin a fulvokyselin a poměr  $C_{HK} : C_{FK}$ . Za metody „nové“ jsou v práci považovány obsah uhlíku primární půdní organické hmoty ( $C_{PPOH}$ ), uhlík stabilních organických frakcí ( $C_{SOF}$ ), rychlostní konstanta  $k$  oxidace primární půdní organické hmoty a stanovení kationtové výměnné kapacity  $T$  dle Sandhoffa. Analyzované vzorky byly odebrány z trvalých travních porostů v okolí obce Třisov (okres Český Krumlov) tak, aby každý pocházel z jiného půdního typu (luzem, pseudoglej a glej). Po vyhodnocení provedených analýz bylo zjištěno, že jak „klasickými“, tak „novými“ metodami hodnocení množství půdní organické hmoty bude dosaženo velmi podobných výsledků. Ve všech případech zde byl nejkvalitněji hodnocen půdní typ luzem. U hodnocení kvality půdní organické hmoty je obtížné porovnávat nové a klasické metody, vzhledem k tomu, že klasickými metodami nelze stanovit kvalitu nezhumifikované organické hmoty. „Nová“ metoda rozlišuje tzv. primární půdní organickou hmotu a humus.

**Klíčová slova:** humus; kvalita; metody; obsah; půdní organická hmota

## **Abstract**

The evaluation of quantity and quality of soil organic matter is constantly evolving. New arising methods may or may not be put into practice. The aim of this thesis is to qualify the quantity and quality of soil organic matter using different approaches in order for the comparison to be made. Total organic carbon content, carbon content in humic and fulvic acids and the ratio between  $C_{HK} : C_{FK}$  are included among the classical approaches in this thesis. On the other side, carbon content of soil organic matter, stable organic carbon fractions, the rate constant of oxidation of organic matter in the soil, and the setting of cationic bartering capacity according to Sandhoff are considered to be among the innovative approaches.

The analysed samples were extracted from permanent grassland in the area of the village Třísov (Region Český Krumlov) in such a way that each sample was extracted from different soil type (luvisols, pseudogleys, and gleys). The results of analysis carried out on each sample were found to be very similar after applying both the above-mentioned classical and innovative approaches of the evaluation of quantity and quality of soil organic matter. By using the listed approaches, it was proven the luvisols to be the best evaluated. However, the comparison of classical and new methods regarding the evaluation of quality of soil organic matter points out the difficulty of determining quality of non-humified organic matter using the classical approaches. On the contrary, the innovative approaches distinguish so called primary soil organic matter and humus.

**Key words:** humus, quality, approaches, content, soil organic matter

## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala svému vedoucímu práce Ing. Marku Kopeckému, Ph.D za odborné vedení, trpělivost, vstřícnost a milé jednání v průběhu vzniku této diplomové práce.

---

## Obsah

Úvod.....	9
1 Literární rešerše.....	10
1.1 Půda.....	10
1.2 Půdní typy.....	11
1.2.1 Luvizem.....	11
1.2.2 Pseudoglej.....	11
1.2.3 Gleje.....	12
1.3 Půdní organická hmota (POH).....	13
1.3.1 Význam POH.....	14
1.3.2 Zdroje organické hmoty.....	14
1.3.3 Základní půdní procesy.....	15
1.4 Primární půdní organická hmota (PPOH).....	16
1.5 Humus.....	16
1.5.1 Huminové kyseliny (HK).....	17
1.5.2 Fulvokyseliny (FK).....	17
1.5.3 Huminy (H).....	18
1.6 Kvalita půdní organické hmoty.....	18
1.6.1 Poměr huminových kyselin a fulvokyselin (HK:FK).....	19
1.6.2 Barevný kvocient.....	20
1.6.3 Stupeň humifikace ( $S_H$ ).....	20
1.6.4 Rychlostní konstanta $k$ .....	21
1.6.5 Kationtová výměnná kapacita (KVK).....	21
1.7 Hodnocení půdní organické hmoty na základě frakcionace podle specifických stabilizačních mechanismů.....	21
2 Cíle práce a hypotézy.....	24
3 Materiál a metodika.....	25

---

---

3.1	Charakteristika lokality .....	25
3.2	Odběr a úprava vzorků .....	27
3.3	Analýza půdních vzorků.....	28
3.3.1	Stanovení celkového organického uhlíku .....	28
3.3.2	Stanovení kvality primární půdní organické hmoty.....	28
3.3.3	Stanovení obsahu huminových kyselin a fulvokyselin .....	29
3.3.4	Stanovení kationtové výměnné kapacity T dle Sandhoffa.....	30
3.4	Statistické vyhodnocení.....	30
4	Výsledky a diskuse.....	31
4.1	Klasické metody hodnocení obsahu půdní organické hmoty .....	31
4.1.1	Obsah celkového organického uhlíku (TOC) .....	31
4.1.2	Obsah huminových kyselin a fulvokyselin .....	32
4.2	Klasické metody hodnocení kvality půdní organické hmoty .....	35
4.2.1	Poměr uhlíku huminových kyselin a fulvokyselin (poměr $C_{HK} : C_{FK}$ ) .....	35
4.3	Nové metody hodnocení obsahu půdní organické hmoty .....	36
4.3.1	Obsah uhlíku primární půdní organické hmoty ( $C_{PPOH}$ ) .....	36
4.3.2	Obsah uhlíku stabilních organických frakcí ( $C_{SOF}$ ) .....	37
4.4	Nové metody hodnocení kvality půdní organické hmoty .....	38
4.4.1	Rychlostní konstanta $k$ oxidace primární půdní organické hmoty .....	38
4.4.2	Kationtová výměnná kapacita půdních vzorků .....	40
4.5	Porovnání množství půdní organické hmoty dle klasických a nových metod	41
4.6	Porovnání kvality půdní organické hmoty dle klasických a nových metod	41
	Závěr .....	42
	Seznam použité literatury.....	43
	Přílohy.....	54
	Seznam obrázků .....	55

---

---

Seznam tabulek .....	56
Seznam grafů.....	57
Seznam použitých zkratk.....	58

---



---

## Úvod

Půda je pro lidstvo důležitý environmentální neobnovitelný zdroj, a proto je důležité ji věnovat dostatek pozornosti, nejen kvůli budoucím generacím. Půda je dle mnoha autorů označována jako naše největší bohatství. Definice se však různí v závislost na autorovi a jeho vnímání půdy, jakožto celku. V současné době se čím dál tím více definice půd zaměřují na environmentální hledisko, a to nejen kvůli řešenému tématu probíhajících klimatických změn, kde má půda také své významné zastoupení.

V průběhu několika desítek let docházelo k novým poznatkům a způsobům hodnocení půdní organické hmoty, díky kterým je možno pedologii posouvat dále. Významným tématem je slučování pojmů primární půdní organická hmota a humus. Nyní už se dostává do povědomí, že tyto dvě složky nelze spojovat v jeden celek, vzhledem k jejich odlišným vlastnostem a chování se v půdě. Významný rozdíl tkví ve skutečnosti, že humus obsahuje několik složek, konkrétně 3 (huminové kyseliny, huminy a fulvokyseliny), na rozdíl od primární půdní organické hmoty. Tyto dvě složky jsou velmi významné při hodnocení kvality půdní organické hmoty. Důležitým faktorem, který může ovlivňovat půdu a půdní úrodnost je půdní typ, těch je v klasifikačním systému uváděno několik desítek.

Cílem této práce je zhodnotit půdní organickou hmotu ze vzorků odlišných půdních typů různými metodami. Jedná se o vzorky půdních typů luvizem, pseudoglej a glej. Organická hmota se dá hodnotit mnoha způsoby. Nejvýznamnější z nich jsou popsány v teoretické části.

V práci jsou prakticky provedeny tyto metody hodnocení: stanovení celkového organického uhlíku (TOC), stanovení kvality primární půdní organické hmoty podle rychlostní konstanty její oxidace, stanovení obsahu uhlíku huminových kyselin a fulvokyselin, včetně poměru  $C_{HK} : C_{FK}$ , a stanovení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.

---

# 1 Literární rešerše

## 1.1 Půda

Půda je primární složkou ekosystému a její vznik je podmíněn několika faktory (Brady, 1990). Definice půdy je odlišná. Vědci ji popisují velmi rozdílně, a především se její vymezení časem měnilo. Na začátku se popisovala jako produkční médium pro zemědělství, nebo jako rozpadlá hornina smíchaná s organickou hmotou (Hartemink, 2016). Podle ministerstva životního prostředí lze půdu definovat jako „samostatný přírodní útvar vzniklý z povrchových zvětralin zemské kůry a z organických zbytků za působení půdotvorných faktorů. Je životním prostředím půdních organismů, stanovištěm planě rostoucí vegetace a slouží k pěstování kulturních rostlin. Je regulátorem koloběhu látek, může fungovat jako úložiště, ale i zdroj potenciálně rizikových látek“ (MŽP, 2020). Půda je nejdůležitější přírodní, neobnovitelný zdroj, Pokorný a Šarapatka (2003) ve své publikaci popisují, že je srdcem terestrických ekosystémů včetně agroekosystémů a na půdu je, zvláště v ekologickém zemědělství, kladen veliký důraz především v koloběhu – zdravá půda, zdravé rostliny, zdravá zvířata, zdraví lidé (Koutná, 2006).

Hartemink (2016) uvádí, že v současnosti se definice půd zaměřují spíše na environmentální stránku a její rozvoj se bude neustále posouvat a měnit, přičemž tvorba jednoho centimetru půdní vrstvy trvá zhruba 80–150 let. Negativní dopady mají na půdu bezpochyby pesticidy, člověk, a celkové znečištění (Brevik et al., 2015). Díky tomu je půda snadno degradovatelná a k obnově dochází komplikovanými a dlouhodobými procesy (Jandák et al., 2010).

Vznik půdy neboli pedogeneze je dlouhodobý proces, při kterém působí 5 faktorů: klima, organismy, druh matečné horniny, místo a čas (Rajchard, 2002). Vopravil et al. (2009) uvádí, že pokud dojde k narušení horniny chemickými, nebo fyzikálními procesy, nastává zvětrávání, při kterém vzniká půdotvorný substrát. Pomocí chemického a mechanického rozkladu hornin vznikne substrát, který bývá promíchaný s organickou frakcí a postupně dlouhodobým procesem vzniká půda (Kolář et al., 2014).

Krom chemického a fyzikálního zvětrávání máme ještě jeden druh zvětrávání a tím je zvětrávání biologické (Němeček et al., 1990). K tomuto zvětrávání dochází vlivem činností půdních organismů (Šarapatka, 1996). Ve větším měřítku je zvětrávání proces, který pracuje na rozhraní mezi endogenními a exogenními cykly Země (Boc-

---

kheim a Gennadiyev, 2000). Vnitřní síly Země určují rozložení hornin, minerálů, chemických prvků a reliéfu v čase a prostoru. Exogenní systém poté přeměňuje horninotvorné minerály a jejich základní prvky na zbytkové a sekundární pevné látky a rozpuštěné produkty a redistribuuje je fyzicky, chemicky a biologicky (Pokorný a Šarapatka, 2003).

## **1.2 Půdní typy**

Klasifikační systém půd České republiky uvádí celkem 15 referenčních tříd a poté mnoho desítek půdních typů. Vráblíková et al. (1994) uvádí, že půdní typ je přírodní tvar, jenž byl vytvořen působením půdotvorných faktorů na matečnou horninu, či substrát. Půdní typy jsou charakterizovány diagnostickými horizonty, jejich sekvencemi a diagnostickými znaky (Šimek et al., 2019). Též se jedná o hlavní taxonomickou jednotku při genetické klasifikaci půd (Šarapatka et al., 2014). Půdní typ Vopravil et al. (2009) popisují jako skupinu půd, které jsou charakterizované podobnými morfologickými a analytickými znaky. V literární části zmíním pouze půdní typy, se kterými se bude následně pracovat v praktické části práce.

### **1.2.1 Luvizem**

Luvizemě byly vytvořeny hlavně na sprašových hlínách a svahovinách pod listnatými lesními porosty (Kolejka et al., 2020). Jejich půdní reakce je většinou kyselá a stupeň nasycení sorpčního komplexu se v obohacených horizontech vyskytuje nad 50 %.

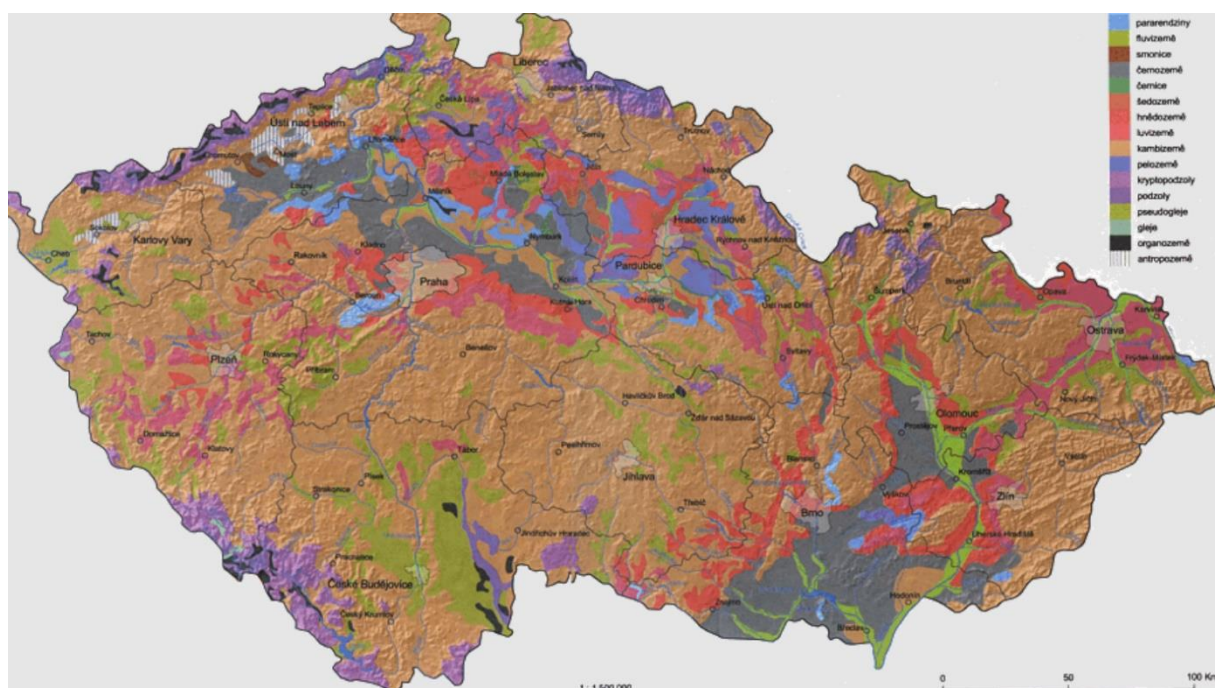
Obsah humusu je cca 1,5–2,5 % a převažují zde fulvokyseliny (Žigová, 2001). Luvizemě se vyskytují v rovinných terénech a do nadmořské výšky 600 m n. m. Využívány jsou jak v zemědělství, tak i v lesnictví (Šarapatka et al., 2014). Šimek et al. (2019) uvádí, že jsou tyto půdy více náchylné k erozi.

### **1.2.2 Pseudoglej**

Pseudogleje můžeme najít na rovinných částech reliéfu humidnějších oblastí. Ve středních výškových polohách, a to hlavně na plošinách, nebo v depresích (Macková, 2014). Humusový horizont a ornice mají většinou zvýšený obsah humusu ve srovnání s okolními půdami. V ornici se obsah humusu pohybuje mezi 2,5 – 3,5 % (Madič, 2018). Matečným substrátem jsou převážně sprašové hlíny, hlinité a jílovité ledovcové uloženiny, smíšené svahoviny a jíly odvápněné slínovce. Mají kyselé až silně kyselé pH (Jandák a Mikulenčák, 2017).

### 1.2.3 Gleje

Tento typ půd můžeme najít po celém území ČR. Především v nivách a u vodních toků (Konečný et al., 2018). Jako půdotvorný substrát se zde uvádí nivní nevápenité a deluviální uloženiny. Jejich pH je silně kyselé. Jedná se převážně o hlinité až jílovité půdy (Šafra, 2004). Gleje se rychle vyvíjejí na extrémních substrátech. Gleje, které jsou z těžkých substrátů, mohou mít planosolické znaky (Vácha et al., 2006). Pro tento typ půd je charakteristická hydrogenní akumulace humusu a může docházet až k tvorbě rašelinného horizontu.



Obrázek 1.1: Mapa půdních typů v ČR (MŽP 2018)

---

### 1.3 Půdní organická hmota (POH)

Jedná se o neobyčejně složitou heterogenní směs organického materiálu složenou převážně z rostlinných, mikrobiálních a živočišných zbytků. POH obsahuje mono – až polymerní molekuly organických látek, ligninu, různých proteinů, polysacharidů (celulózy, hemicelulóz, chitinu, peptidoglykenů), lipidů a dalšího alifatického materiálu (vosků, mastných kyselin, kutinu, suberinu, terpenoidů), o jejíž třídění podle chemického složení se pokusil Kögel-Knabcher (2002).

Brady a Weil (2002) uvádějí, že půdní organickou hmotu lze dělit na pasivní, která je pomalu rozložitelná, stabilní a aktivní, ta je labilní a lehce rozložitelná pomocí půdních mikroorganismů. Ovšem obě tyto formy se často mezi sebou přeměňují v důsledku činnosti mikroorganismů obsažených v půdě. V Německu byla vytvořena humusová teorie (A.D. Thaer), která je založena na myšlence, že úrodnost půdy je úplně závislá na obsahu humusu v půdě. Netrvalo dlouho a německý badatel J. Liebig přišel s teorií novou, minerální. Tato teorie se uplatňuje dodnes. Je založena na tom, že rostlinnými živinami mohou být jen minerální iontové částice (částice s elektrickým nábojem) a organická hmota může být zdrojem těchto iontů až po svém úplném rozkladu čili mineralizaci (Kolář et al., 2014).

Problém, který je v posledních letech často diskutován, je směřování pojmů půdní organické hmota a humus. Váchalová et al. (2016) ještě dodává, že organická hmota by měla v půdě plnit především funkci organického hnojiva. Nejvhodnější jsou například kořenové exsudáty, popisované jako jednoduché, reaktivní organické látky, jež mohou být při procesu přímo využity.

Důrazně na to upozorňují autoři v publikaci Váchalová et al. (2016), kde vybízejí ke dvěma skupinám, na které se POH může dělit, a to:

- a) Primární půdní organická hmota (složka, která ještě neprošla humifikačními procesy),
- b) Humus (organická hmota, která prošla humifikačními procesy).

---

### 1.3.1 Význam POH

Velmi významným atributem je především úrodnost půdy. Bott a Benites (2005) ji popisují jako schopnost zajistit nepostradatelné podmínky pro existenci a reprodukci rostlin a na nich závislých živočichů a lidí. Kolář et al. (2014) uvádí, že význam úrodnosti POH pozorovali zemědělci již dávno, ovšem z vědeckého hlediska se jím začali zabývat až v 18. století.

Mezi pozitivní vlastnosti POH se obecně zařazuje např. schopnost zadržovat vodu v půdě, nebo ovlivňování půdní struktury. Abychom dosáhli co největšího obsahu organické hmoty v půdě je vhodné používání organických hnojiv (Hutchinson et al., 2007). Půdy, které mají nedostatečné množství organické hmoty, jsou charakterizovány horší půdní strukturou, nižší stabilitou půdních agregátů a celkově menší schopností vázat živiny (Leroy et al., 2008). Základní prvek půdní organické hmoty je uhlík, a právě s jejím stanovením je velmi často spojováno určení obsahu POH (Černý et al., 2019).

Sekvestrace (ukládání) uhlíku v půdě, má také vliv na probíhající klimatické změny (Stockmann et al., 2013), to potvrzuje ve své publikaci i Sanderman et al. (2003), kde uvádí, že POH do určité míry souvisí se změnou klimatu. Guo a Gifford (2003) publikují, že v půdě je uloženo 3krát více uhlíku, než v atmosféře a více než 3,8krát v biosféře. V posledních letech je čím dál aktuálnější téma zvyšující se koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře, přičemž Bott a Benites (2005) uvádějí, že diskutabilním řešením by byla možnost „ukládání“ uhlíku právě do půdy.

### 1.3.2 Zdroje organické hmoty

Půdní organická hmota (POH) je neustále doplňována, a to například posklizňovými zbytky nebo kořenovými exsudáty (Šarapatka, 2014), odumřelou hmotou půdních mikro – a makroorganismů a organickou hmotou, která vznikla jejich životní činností (Váchalová et al., 2016). Šimek et al. (2019) uvádí jako hlavní zdroj POH autotrofní organismy, které utvářejí organické látky z anorganických sloučenin za využití světelné, nebo chemické energie. Tyto organismy pomocí svého metabolismu vytvářejí a poskytují potravu pro heterotrofní organismy.

Jako druhý významný zdroj jsou zde uvedené organické zbytky a „hoření“, a to „uhlí“ a saze. Vzhledem k jejich tmavé barvě se označují jako černý uhlík. Do půdy se dostávají buď primárním (přenos atmosférou), nebo sekundárním zdrojem (po místních požárech). Významným zdrojem jsou organická hnojiva, například zelené hnojení, kompost, hnůj nebo čistírenské kaly (Richterová a Římovský, 1996).

---

Organická hmota je rozkládána pomocí půdních mikroorganismů (Gerndtová, 2011). Jedná se biologický proces, na kterém se podílí většina půdních organismů. Živočichové k rozkladu přispívají nejvíce na počátku, a to díky dezintegraci odumřelých tkání a pletiv a jejich trávicími pochody (Šimek et al., 2019). Kvalita zdrojů organické hmoty je určována množstvím sušiny, Váchalové et al. (2016) uvádí příklad na zeleném hnojení: Pokud bychom provedli zaorání stejného množství zelené hmoty hořčice a jílku. Vzhledem k tomu, že jílek obsahuje 20 % sušiny a hořčice kolem 11 %. Z toho vyplývá, že oproti jílku se půda spíše zalévá, než aby se organicky hnojila. Půdní organická hmota se však v půdě většinou nehromadí, jelikož dochází k její transformaci (Kubát et al., 2008).

### **1.3.3 Základní půdní procesy**

V půdě probíhá řada procesů, z nichž mezi nejdůležitější patří mineralizace a humifikace POH.

#### **Mineralizace**

Jedná se o aerobní proces, při kterém dochází k hydrolýze a ze složitých organických látek vznikají látky jednodušší (Kolář et al., 2014). Během mineralizace se rozkládají cukry, polysacharidy, proteiny, aminokyseliny, tuky atd... (Šarapatka et al., 2014) a jejím výsledným produktem je oxid uhličitý a minerální živiny (Černý et al., 2019). Dalo by se říct, že se jedná o tzv. pomalé spalování, při kterém dochází k uvolňování energie, kdy je její větší část vyzařena a pouze malé procento se spotřebuje při procesu humifikace (Sáňka a Materna, 2004). Opakem mineralizace je proces nazývaný imobilizace, oba procesy mají biochemickou povahu a jsou vázány na aktivity organismů tvořících heterotrofní biomasu (Jansson a Persson, 1982).

#### **Humifikace**

Šarapatka et al. (2014) ve své publikaci uvádí, že humifikace je úzce spjata s rozkladem půdní organické hmoty, protože během procesu dochází k syntéze huminových látek z jednoduchých sloučenin, které vznikly právě výše zmiňovaným rozkladem POH. Humifikace nastává, při střídání aerobních a anaerobních podmínek (Brady a Weill, 1999). Jedná se o reakci, kdy se uhlík organických zbytků transformuje na huminové látky pomocí biochemických a abiotických procesů (Guggenberger, 2005). Dochází zde ke spotřebě energie a zformují se zcela nové, vysokomolekulární látky

---

tmavé barvy (Černý et al., 2019). Tyto látky jsou oproti počátečnímu materiálu charakterizovány složitější stavbou, vyšší molekulovou hmotností, uhlíkem a koloidními vlastnostmi (Piccolo et al., 1997). Význačným rysem je také snížení poměru C: N (See a Bronk, 2005).

#### **1.4 Primární půdní organická hmota (PPOH)**

Humus a PPOH se velmi často zaměňuje, nebo označuje za shodné, Váchalová et al. (2016) upozorňuje na odlišné chemické vlastnosti a také rozdílné chování v půdě. U primární půdní organické hmoty se můžeme setkat s původní i rozloženou částí. Pomocí transformačních procesů může být i přeměněná, ale humifikační proces u ní nebyl dokončen (Kopecký et al., 2016). Z tohoto důvodu nemá výraznou iontovýmennou kapacitu, může být tedy tvořena labilními i relativně stabilními organickými látkami. Primární půdní organická hmota se může označovat jako dynamická část POH a může vykazovat kolísání mikrobiálních procesů. V publikaci Váchalová et al. (2016) je uvedeno, že organická hmota by měla v půdě plnit zvláště funkci organického hnojiva, měla by mít tedy následující vlastnosti – labilní a snadno degradovatelná, aby byla zdrojem pro půdní edafon. Jestliže dochází ke změně obsahu organických látek v půdě, jedná se pravděpodobně o tuto část (Černý et al., 2019). Pokud jsou optimální podmínky pro činnost půdního edafonu, zvyšuje se rychlost mineralizace POH a díky tomu se v půdě zvyšuje obsah přístupných živin pro rostliny (Lalande et al., 2009).

#### **1.5 Humus**

Humus je považován za jeden z hlavních přírodních zdrojů pro zemědělské účely (Nardi et al., 1996). Zsulnay (1996) definuje humus jako synonymum pro půdní organickou hmotu, s tímto názorem se neztotožňuje například Váchalová et al. (2016), jež ve své publikaci vysvětluje rozdíl právě mezi těmito pojmy. Humus je zde popisován jako transformovaná půdní organická hmota, která je v takové fázi humifikace, že má zcela vyhraněnou iontovýmennou kapacitu. Kolář et al. (2016) považuje za humus syntetizované, vysokomolekulární sloučeniny. Významným rozdílem oproti PPOH je fakt, že humus obsahuje tři látky – fulvokyseliny, huminové kyseliny a huminy (Badalíková a Novotná, 2017).

Ochrana a vylepšení humusu v půdě má příznivé účinky na zásobování rostlinnými živinami, strukturu půdy, stlačitelnost a schopnost zadržovat vodu (Piccolo,



---

1996). Humus má pozitivní vliv na tepelný režim půdy, chemické vlastnosti půdy, půdotvorné procesy, hygienické funkce a také je považován za zásobárnu energie (C a živiny).

### **1.5.1 Huminové kyseliny (HK)**

Půdní huminové kyseliny jsou základní organické složky POH (DiDonato et al., 2016). Podle Šarapatky (2014) jsou huminové kyseliny organický materiál tmavé barvy, nerozpustný ve zředěných kyselinách.

Základní stavební prvky HK jsou uhlík, vodík, kyslík a síra. Složení může být ovlivněno mnoha faktory, například původní matricí, vegetací, nebo stářím půdy (Steinbüchel a Hofrichter, 2001). Základním stavebním prvkem huminových kyselin je uhlík. Stevenson (1994) uvádí, že průměrný obsah C u huminových kyselin je od 53,8 do 58,7 %. Pokud bychom je porovnali s fulvokyselinami (budou popsány níže), obsahují HK více uhlíku, vodíku a dusíku, ale naopak méně kyslíku a síry (Mikulášková a Lapčík, 1997). HK mají schopnost měnit  $H^+$  ionty za kationty kovů (Kader, 2006) a také umožňují poutat řadu nebezpečných prvků, jako jsou zinek, rtuť, olovo a kadmium do těžce rozpustných sloučenin a tím pádem omezují jejich pohyb v půdě a příjem rostlinami (Vokurková, 2010). Borůvka a Drábek (2004) publikují, že těžké kovy vázané na huminové kyseliny jsou relativně nepohyblivé, ale na druhou stranu, vazbou na menší organické molekuly se může zvýšit pohyblivost a biologická dostupnost kovů.

### **1.5.2 Fulvokyseliny (FK)**

Pro fulvokyseliny je typické světlé zbarvení (Šarapatka, 2014), v barevné škále od žluté až po světle hnědou barvu (Schnitzer a Khana, 1972). Charakteristické pro FK jsou tzv. prázdná místa v molekulách, která jsou schopna poutat nízkomolekulární organické a anorganické sloučeniny, např. pesticidy, nebo ionty kovů (Vokurková, 2010). Formuje je kyselina krenová a apokrenová. Nejvíce obsahují uhlík, poté kyslík a nejméně vodík. V půdě se volně pohybují, vzhledem k jejich koloidnímu charakteru (Vrba a Huleš, 2006). Podle publikace Šarapatka (2014) mají nižší molekulovou hmotnost a jsou poměrně snadno degradovatelné a zároveň lehce obnovitelné v procesu mineralizace a humifikace. Různorodá je i doba, po kterou jsou uchovány v půdě. Brady a Weil (1999) odhaduje řády jednotek až několik desítek let.

### 1.5.3 Huminy (H)

Huminy jsou nerozpustné v alkalických a kyselých rozpouštědlech. Při extrakci zůstávají jako poslední neextrahované v půdě (Tan, 2003). Pokud bychom mezi sebou srovnávali všechny látky humusu, huminy mají nejvyšší molekulovou hmotnost a také nejtmaší barvu (Šarapatka, 2014). Doposud nebyl docela popsán vznik H, jedná se hned o několik teorií, konkrétně se jedná o – ligninovou teorii, polyfenolovou teorii a kondenzaci cukrů s aminy (Weber, 2002). Jsou odolné vůči mikrobiálnímu rozkladu, mají vlastnosti koloidů (Pivokonský et al., 2010) a jedná se o složku bohatou na uhlík a dusík. Ztrácí funkci pravého humusu (Karbanová, 2015). Huminy obsahují 20–30 % dusíku z celkového dusíku v půdě (Song et al., 2011).

Složka humusu	Poločas rozkladu
Fulvokyseliny (fyzikálně stabilizovaná organická hmota)	30–80 let
Huminové kyseliny a humáty (chemicky stabilizovaná organická hmota)	600–3 000 let
Huminy (složka humusu, která je pevně vázaná na anorganické půdní koloidy)	> 3 000 let

Obrázek 1.2: Stabilita humusových látek v půdě (Černý et al., 2019)

### 1.6 Kvalita půdní organické hmoty

Půdní organická hmota prochází neustálými změnami např. humifikace, mineralizace, ulmifikace aj. Základním principem zjištění obsahu organické hmoty v půdě je oxidace uhlíku půdních organických látek. Obecně je známo, že kvalita humusu je zásadnější než kvantita (Franzluebbers, 2002). Existuje několik metod, jak určit kvalitu humusu. Ale řada z nich je spíše orientační. Jde například o poměr HK:FK nebo barevný kvocient. Někdy je stav a množství POH odvozováno od celkového oxidovatelného uhlíku v půdě ( $C_{ox}$ ) (Mrázková et al., 2017). Kopecký et al. (2016) navrhuje kvalitu humusu hodnotit dle jeho kationtové kapacity.

Analytické postupy ke stanovení obsahu a kvality humusu se odvíjí od základní chyby, kdy se stanovení množství uhlíku přepočítává tzv. „humus“ faktorem 1,724

---

(Kolář et al., 2014). Vědci si totiž mysleli, že v humusu se vyskytuje pouze jedna kyselina, a to huminová. Pomocí alkalických extrakcí a sražení kyselinou byl průměrný obsah stanoven na 58 % C, proto se začal  $C_{ox}$  v půdě přepočítávat na huminovou kyselinu. Za pomoci vzorečku mezi sebou vydělili  $100 / 58 = 1,724$  a od té doby se všichni půdní uhlík přepočítává chybně (Pospíšilová a Tesařová, 2009). V současné době je známo, že veškerý  $C_{ox}$  nepatří pouze humusu, ale také PPOH čili nezhumifikované hmotě (Kolář et al., 2014).

### **1.6.1 Poměr huminových kyselin a fulvokyselin (HK:FK)**

Humus se považuje za kvalitnější, pokud je jeho větší část tvořena huminovými kyselinami. Genetické půdní typy by měly mít poměr HK:FK vždy vyšší, a to na základě poznatku, že se obecně považuje za kvalitnější. Opakem jsou genetické půdní typy málo úrodných půd, kde se tento poměr blíží k nule (Dufková et al., 2014). Fulvokyseliny nemůžeme obecně považovat za špatné, protože umožňují pohyb fosforu z povrchové půdní vrstvy do spodnějších horizontů a podle Šarapatky (2014) na tom jsou huminové kyseliny velmi podobně. Jejich projev v půdě je dle toho, jaká je jejich molekulární hmotnost. Chemické reakce nízkomolekulárních huminových kyselin jsou téměř shodné s fulvokyselinami. Díky tomuto základu si lze vyvodit, že popisovaná metoda nemá zcela vypovídající hodnotu (Kolář et al., 2014).

Humusové kyseliny jsou závislé na relativní molekulové hmotnosti, díky tomu může nastat situace, kdy je například nižší huminová kyselina ve vztahu k mobilitě těžkých kovů často bližší fulvokyselinám, než vyšším huminovým kyselinám (Stevenson, 1999). V našich podmínkách je poměr HK:FK převážně menší než 1 (Pospíšilová a Tesařová 2009). Vysoce kvalitní humus má mít poměr HK:FK vyšší než 1,5:1. Takové půdy jsou odolnější vůči zhutnění i okyselení (Pokorný et al., 2007).

Stanovení probíhá pomocí frakcionace (rozdělení) huminových látek (Jandák et al., 2009). V současné době existuje spousta teorií, proč je tento způsob hodnocení kvality humusu zpochybňován. Heymann et al. (2014) zpochybňuje stabilitu huminových látek a Sutton a Sposito (2005) poukazují na problematiku velkého rozsahu molekulových hmotností. Rice (2001) ještě uvádí, že velké množství půdní organické hmoty je v alkalickém roztoku nerozpustné a z toho důvodu zvyšuje obsah huminů.

---

### 1.6.2 Barevný kvocient

Dalším, ovšem možná ještě méně spolehlivým indikátorem, je tzv. barevný kvocient. Jedná se o poměr absorbancí roztoku humusových kyselin, při určitých vlnových délkách, cca 450 a 650 nm (Orlov et al., 1987). Barevný kvocient lze určovat po extrakci humusu z půdy (Váchalová et al., 2016).

Čím nižší je hodnota kvocientu, tím jsou humusové látky polymerovanější, a co se týče stálosti v půdě, kvalitnější (Zoubková, 2014). Hlavní výhodou při určování barevného kvocientu je měření spekter, bez potřeby separovat jednotlivé humusové látky. Ovšem tato spektra neposkytují hodnotné informace o struktuře a kvalitě organických látek. Proto je dáván větší prostor složitějším metodám, kde dochází k separaci jednotlivých složek humusových látek (Vokurková, 2008).

Hodnota barevného kvocientu byla původně stanovena k důkazu huminových kyselin a jejich odlišností v odlišných genetických půdních typech. Vzhledem k tomu, že bylo stanovení kvocientu relativně jednoduché, začalo se v laboratořích běžně používat a výsledkům se přikládal význam, který ale ve skutečnosti nikdy neměl. Extrakce mění charakteristické znaky humusu, včetně kationtové výměnné kapacity (Váchalová et al., 2016).

### 1.6.3 Stupeň humifikace ( $S_H$ )

Stupeň humifikace je velmi rozdílný, a to v závislosti na kvalitě půd a rostlinách, které jsou na dané půdě pěstovány.

Většinou se pohybuje v rozmezí 5–40 %, to poukazuje na fakt, že primární půdní organická hmota je v každé půdě, oproti humusu, v převaze. To je dáno tím, že PPOH snadno mineralizuje a daleko méně humifikuje a také proto, že je i v organicky nehojených půdách stále doplňována (Fasurová a Pospíšilová, 2010). Stupeň humifikace ( $S_H$ ) je definován podle článku Kopecký et al. (2018a) jako množství uhlíku fulvokyselin a huminových kyselin v celkovém organickém uhlíku půdního vzorku, vyjádřeno v %.  $S_H$  se přepočítává dle následujícího vzorce.

$$S_H = \frac{C_{OX\ HK} - C_{OX\ FK}}{C_{OX\ celk}} \times 100 (\%)$$

(2.1)

---

#### **1.6.4 Rychlostní konstanta $k$**

Tato metoda je založena na principu, který je popsán v publikaci Kopecký et al. (2016), cílem je separátní hodnocení humusových látek a PPOH. Zjištěním rychlostní konstanty oxidace PPOH lze hodnotit kvalitu primární půdní organické hmoty. Čím je hodnota konstanty vyšší, tím je frakce méně stabilní, a proto je považována za kvalitnější. Konstanta je vypočtena na základě pozorování reakční kinetiky oxidace PPOH v půdních vzorcích. Metoda je založena na postupné oxidaci vzorku roztokem dichromanu draselného v kyselině sírové za teploty 60 °C. Při těchto podmínkách se humus díky své stabilitě oxidační reakce neúčastní.

#### **1.6.5 Kationtová výměnná kapacita (KVK)**

Určováním KVK se lze vyhnout vyluhování humusových látek z půdy. Půdní sorpční komplex je vyznačován právě kationtovou výměnnou kapacitou, tj. množství vazebných míst na jednotku půdy v mmol. ekv. · kg<sup>-1</sup> což tvoří maximální sorpční kapacitu (Pokorný et al., 2007). Hodnota KVK určuje množství náboje kationtů na povrchu půdních koloidů (McHale et al., 2007).

Intovýmiennou kapacitu půdy lze sledovat, jako hlavní znak kvality humusu. Hodnota KVK se měří odděleně od KVK minerálního koloidního podílu půdy tak, že se provádí stanovení před a po destrukci organické hmoty oxidací H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Váchalová et al., 2016). Zbíral et al. (1997) ve své publikaci uvádějí metodu dle Melicha III. Která je založena na principu pufování chloridu barnatého v roztoku triethanolaminem při pH 8,1. Nejmodernější metodu popisuje v publikaci Váchalová et al. (2016), kdy se jedná o měření celkové KVK v řadě půdních vzorků s různým obsahem jílové a humusové frakce a následující regresivní analýzou kumulovaných dat. Výsledkem měření jsou regresivní rovnice, s regresivními koeficienty zvlášť pro minerální složku a pro humus (Stevenson, 1994).

### **1.7 Hodnocení půdní organické hmoty na základě frakcionace podle specifických stabilizačních mechanismů**

Půdní organická hmota se skládá z několika funkčních pólů, které od sebe odlišujeme tempem dekompozice. von Lützwow et al. (2007) je označuje jako labilní (aktivní), pomalé (střední) a stabilní (odolné, pasivní interní). Nejlabilnější vodorozpustná část tvoří pouze malou část celkové SOM. Přesto se považuje za hlavní zdroj energie a substrátu pro půdní mikroorganismy a také přispívá k živinnému režimu půd (Qualls

---

et al., 1991). Frakcionací půdní organické hmoty za použití ultrazvukové dispergace je možné oddělit tři rozdílné frakce, a to podle rozdílných mechanismů fyzikální ochrany (Sohi et al., 2001). Podíl celkového dusíku a uhlíku v půdě může být podstatně rozdílný a jeho množství je v partikulární organické hmotě (POM) často větší, než ve volné frakci (LF) (Paul and Clark, 1996).

Rozdíl mezi okludovanou a volnou frakcí POH je v izolaci, přičemž volná frakce je izolována před ultrazvukovou dezintegrací a okludovaná až po ultrazvukovém procesu. Zůstává organominerální frakce (těžká) (John et al., 2005). Fyzikálně neoddělená organická hmota je izolována pomocí frakcionační techniky, která odděluje půdní materiál na základě velikosti a hustoty částic. Volná frakce (LF) a partikulární organická hmota (POM), jsou dvě nejčastěji izolované formy organické hmoty (Gregorich et al., 2006). Termín lehká frakce se podle Sikory et al., (1996) často používá jako synonymum pro partikulární organickou hmotu. Podle Gregorich et al. (2006) si jsou LF a POM podobné, ale nemají stejné frakce (např. různý obsah C, nebo N) a z toho důvodu by se neměla jako synonyma využívat. S tímto názorem se ztotožňují i autoři článku SOM fraktionation methods (Lützow et al., 2007). Fyzická frakcionace zahrnuje použití různých stupňů dezagregačního ošetření (proseívání za sucha i za mokra, hašení), disperze (ultrazvukové vibrace ve vodě), hustota separace a sedimentace (Lützow et al., 2007).

### **Partikulární organická hmota (POM)**

Tato část organické hmoty je dána samotnou velikostí částic (např. >53 nm) (Gregorich a Beare 2008). Frakce se stanoví po dispergaci vzorku v hexametafosfátu sodném a materiál, který odpovídá velikosti částic 2000–53  $\mu\text{m}$  se definuje jako POM (Gregorich et al., 2006).

### **Volná frakce (FF/LF)**

Skládá se především ze směsi relativně čerstvých rostlinných zbytků, které ještě nemají rozeznatelnou strukturu původních tkání a z více rozloženého materiálu, podle sníženého obsahu sacharidů a nezměněné úrovně aminokyselin tak usuzuje autor Poirer et al. (2005). Běžně je LF pokládána za dobrý indikátor aktivní části POH. Její rozdělení probíhá hustotní frakcionací pomocí roztoku s hustotou 1,6–2,0  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ . Prvním krokem je rozptýlení v roztoku a vzniklý supernatant (tekutina nad sedimentem) je filtrována jako lehká frakce fLFOM (Gregorich et al., 2006).

---

Ve druhém kroku je zbývající hmota energeticky třepána v roztoku stejné, nebo ještě vyšší hustoty. Supernatant je opět filtrován a vzniká okludovaná lehká frakce oLFOM (Sequeira et al., 2011). Velikost LF silně kolísá, von Lützow et al. (2007) uvádějí obsah POH v LF v širokém rozmezí 10–70 % z  $C_{org}$  v půdách mírného pásma.

### **Lehká frakce (fLFOM)**

Lehká frakce je většinou původem z organické hmoty vnějšího povrchu agregátů, nebo pseudoagregátů (Bird et al., 2008). Jedná se o labilnější frakci POH, vyskytuje se uvnitř agregátů a je těsně spojena rostlinným materiálem (Gulde, 2008).

### **Okludovaná lehká frakce (oLFOM)**

oLFOM pochází ze stabilních agregátů, jedná se stabilnější frakci, je rozložitelná, ale musí být uvolněna z vnitřku půdních agregátů (Gulde et al., 2008). Bird et al. (2008) uvádí, že oLFOM je stabilnější, čím je větší množství vodostálých agregátů v půdě. Labilní frakce SOM, partikulární organická hmota a lehké frakce organické hmoty jsou velmi citlivými ukazateli změn půdního managementu a vykazují změny kvality půdy již v krátkodobém časovém hledisku (Sharifi et al., 2008).

POM a oLFOM jsou podle výzkumu Sequeira et al. (2011) náchylnější ke změnám půdního managementu než fLFOM. Dalším významným ukazatelem změn SOM je půdní mikrobiální biomasa (Warembourg et al., 2003). Podle Li et al. (2019) je nejvíce doporučovaným indikátorem kvality SOM celkový půdní dusík, celkový organický uhlík a poměr C: N.

---

## 2 Cíle práce a hypotézy

Cílem práce bylo analyzovat půdní organickou hmotu ze vzorků odlišných půdních typů různými metodami a následně vyhodnotit, zda bylo dosaženo srovnatelných výsledků všemi použitými metodami.

Dílčí cíle:

1. Vytipovat lokalitu, kde se v malé geografické vzdálenosti vyskytují alespoň tři různé půdní typy.
2. Odebrat půdní vzorky z orniční vrstvy, vysušit je a připravit pro analýzy.
3. Provést analýzy množství a kvality půdní organické hmoty v půdních vzorcích.
4. Vyhodnotit výsledky.

Hypotézy:

1. Budou zjištěny rozdíly v množství a kvalitě půdní organické hmoty mezi různými půdními typy.
2. Nebudou zjištěny rozdíly v kvalitě půdní organické hmoty při hodnocení různými metodami.



---

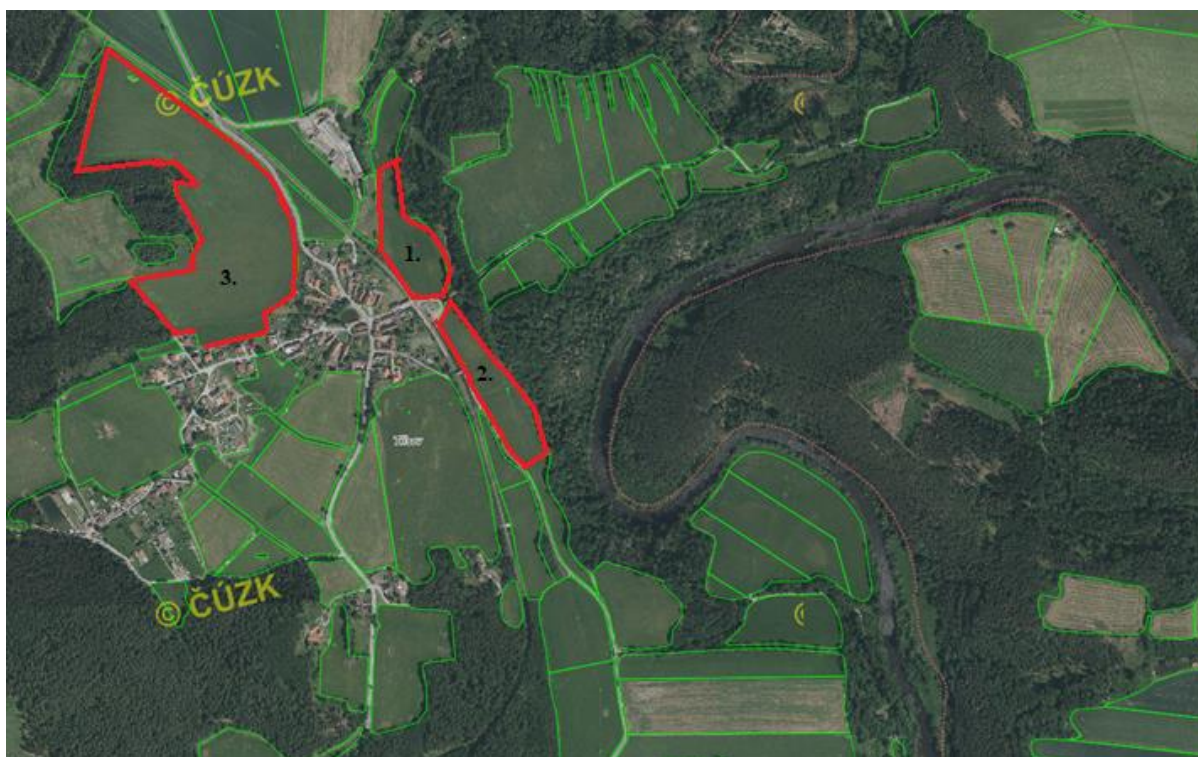
## 3 Materiál a metodika

### 3.1 Charakteristika lokality

Vzorky půd byly odebírány v Třísově. Jedná se o vesnici spadající pod obec Holubov, okres Český Krumlov a Jihočeský kraj. Nachází se v plošně nejvíce rozšířeném, sedmém klimatickém regionu a spadá pod Blanský les. Český hydrometeorologický ústav uvádí, že průměrná roční teplota je v této oblasti 6–7 °C a roční úhrn srážek 650–750 mm. Nadmořská výška v této lokalitě je 512 m n. m.

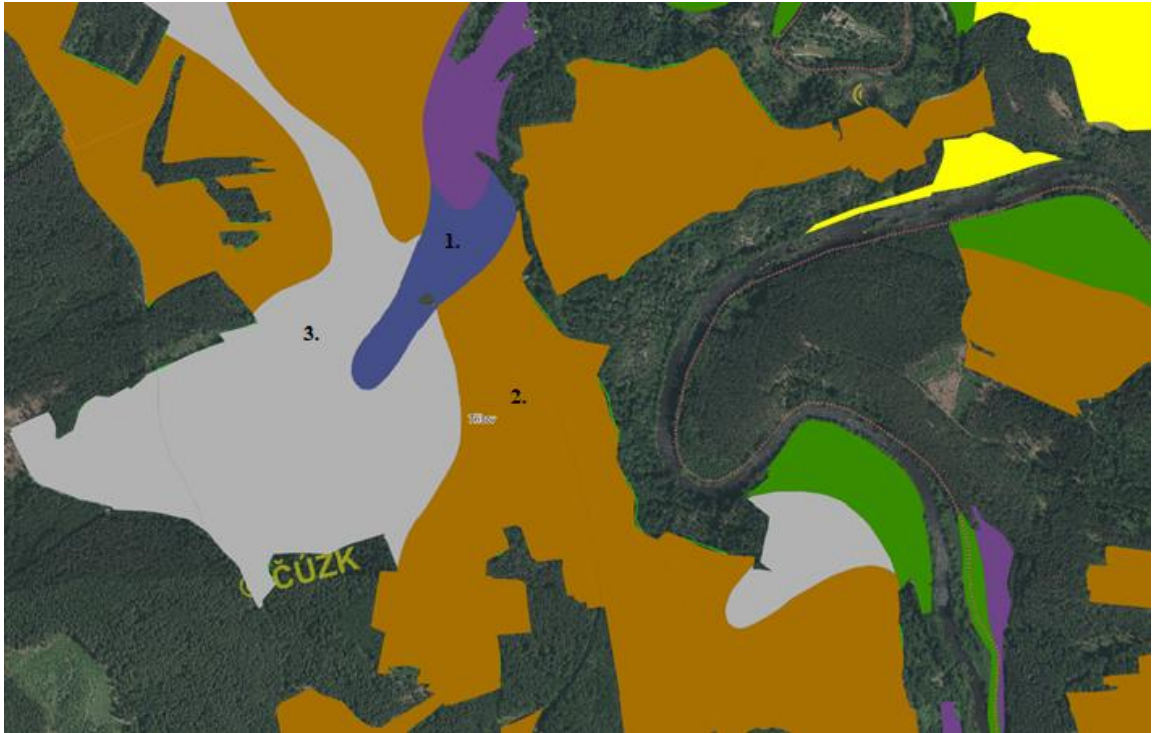
Podle Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy se jedná o bezskelovité půdy s celkovým obsahem skeletu do 25 %. Jde o velmi málo produkční půdy s mírnou sklonitostí.

Vzorky byly odebírány na třech různých místech. Jednalo se o trvale zatravněné porosty s odlišným půdním typem. Na lokalitě 1 se jednalo o půdní typ glej, na lokalitě 2 luvizem a na lokalitě číslo 3 se nachází pseudoglej (Obrázek 3.1 a Obrázek 3.2). Na všech lokalitách je totožný způsob hospodaření, a to konvenční.



Obrázek 3.1: Mapa lokality (LPIS)

Poznámka: č.1.: glej, č.2.: luvizem, č.3.: pseudoglej



**Obrázek 3.2: mapa půdních typů na lokalitě Třísos (LPIS)**

*Poznámka. č. 1: glej, č. 2: luvizem, č. 3: pseudoglej.*

---

### 3.2 Odběr a úprava vzorků

Vzorky byly odebrány 1. března 2021 (Obrázek 3.3). Z každé lokality bylo odebráno zhruba 4 kg půdní hmoty z celého profilu orníční vrstvy. Poté se půda vysušila na vzduchu. V laboratoři byla půda dosušena při 60 °C v termostatu do konstantní hmotnosti.

Půda byla následně zpracována v půdním deglomerátoru, čímž došlo k částečné homogenizaci půdy a odstranění skeletu. Vzniklá jemnozem (částice <2 mm) byla dále rozdrovena v achátovém hmoždíři a proseta sítím s velikostí ok 0,25 mm. K dalším analýzám byla použita tato jemnozem.



Obrázek 3.3: Odběr vzorků (zdroj vlastní)

---

### 3.3 Analýza půdních vzorků

#### 3.3.1 Stanovení celkového organického uhlíku

Obsah celkového organického uhlíku (TOC = total organic carbon) ve vzorcích půdy byl stanoven prostřednictvím přístroje SKALÁR. Přístroj disponuje dvěma pecemi, které umožní oddělené stanovení celkového uhlíku TC (total carbon) a celkového anorganického uhlíku IC (inorganic carbon). Celkový uhlík je stanoven při spálení vzorku za teploty 1100 °C, kdy dochází k převodu uhlíku na plynný CO<sub>2</sub>, jehož obsah je měřen na infračerveném detektoru. Okyselením půdního vzorku zředěnou kyselinou orthofosforečnou je stanoven obsah uhlíku anorganického (IC). Obsah organického uhlíku je dán rovnicí  $TOC = TC - IC$  (%). Všechna měření byla opakována 4x, navážka půdy činila 0,2 g.

#### 3.3.2 Stanovení kvality primární půdní organické hmoty

Kvalita primární půdní organické hmoty byla hodnocena podle metodiky, jejíž princip je popsán v publikaci Kopecký et al. (2016).

V pěti skleněných baňkách bylo v 5 ml chromsírové spalovací směsi (0,4 mol·l<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> v 12 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) rozptýleno 0,2 g upraveného půdního vzorku. Baňky byly vloženy do předehřáté (60 °C) vodní lázně, čímž byla spuštěna oxidace organické hmoty. Baňky byly postupně vyjímány a ihned zchlazovány (přilítím 50 ml vychlazené demineralizované vody), aby došlo k ukončení oxidačních reakcí. Vyjímány byly v 10., 20., 30. a 45. minutě. Pátá baňka byla po 45 minutách přemístěna do termostatu vyhřátého na 100 °C, kde se oxidovala organická hmota dalších 30 minut. Za těchto podmínek byla dooxidována zbývající relativně labilní organická hmota (stabilní frakce zoxidovány nebyly – C<sub>SOF</sub>). Poté došlo, stejně jako u baňek předchozích, k jejímu rychlému zchlazení.

Průběžně byla prováděna titrace Mohrovo solí do bodu ekvivalence, čímž bylo stanoveno množství zoxidovaného organického uhlíku ze vzorků v jednotlivých baňkách. Zjištěné hodnoty byly zaneseny do předem připraveného excelového souboru, kde došlo k výpočtu rychlostní konstanty *k* oxidace primární půdní organické hmoty. Množství organického uhlíku zoxidovaného v baňce 5, odpovídá množství uhlíku primární půdní organické hmoty (C<sub>PPOH</sub>). Pro zjištění obsahu uhlíku stabilních organických frakcí (C<sub>SOF</sub>) byl proveden výpočet  $C_{SOF} = TOC - C_{PPOH}$  (%).

---

### 3.3.3 Stanovení obsahu huminových kyselin a fulvokyselin

Během prvního kroku došlo k přípravě chemických roztoků.

1) extrakční roztok pyrofosforečnanu a hydroxidu sodného

- 44,6 g  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  a 4 g NaOH se rozpustí v destilované vodě a doplní na 1000 ml.

2) 0,1 M NaOH

- 4 g NaOH se rozpustí v 800 ml destilované vody a pak se doplní destilovanou vodou na 1000 ml.

3) 0,05 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$

- 2,9 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  bylo nalito do 800 ml destilované vody, potom doplněno destilovanou vodou v odměrné baňce na 1000 ml.

Vzorek připravené jemnozeme II byl navážen v množství 5 g do baňky o objemu 250 ml a přelit 100 ml extrakčního roztoku pyrofosforečnanu a hydroxidu sodného. Baňka byla zazátkována, protřepána a ponechána v klidu do dalšího dne.

Po 24 hodinách byly vzorky zfiltrány přes filtrační papír. Za stálého míchání se do filtrátu přidávala kyselina sírová, až dokud nedošlo k objevení zákalu (spotřeba byla 2 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Baňky s kalem byly promíchány a po dobu 30 minut vloženy do vodní lázně o teplotě 70 °C. Následně se vyjmuly a nechaly 24 hodin odstát.

Druhý den byla suspenze filtrována pomocí papírového filtru předem smočeným roztokem 0,05 mol/l  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Z filtrátu každého vzorku bylo odebráno 0,5 ml a stanoveno  $\text{C}_{\text{ox}}$  (náleží fulvokyselinám). Sraženina (huminové kyseliny), která vznikla na filtru byla promyta 5 ml 0,05 mol/l  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Filtr s promytými huminovými kyselinami byl vložen do nálevky, ta do hrdla odměrné baňky a poté byl gel rozpuštěn roztokem 0,1 M NaOH. Odměrná baňka byla doplněna destilovanou vodou na 100 ml. Z baňky byl odebrán vzorek, ve kterém byl stanoven obsah  $\text{C}_{\text{ox}}$  podle metodiky stanovení C na mokré cestě ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  s  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , pak titrace Mohrovo solí – princip viz. kapitola 3.3.2 ovšem při teplotě 135 °C po dobu 30 minut).

Zjištěné výsledky obsahů CHK a CFK byly přepočítány podle množství použité zeminy.

---

### 3.3.4 Stanovení kationtové výměnné kapacity T dle Sandhoffa

Do širokohrdlé kádinky o objemu 250 ml bylo naváženo 5 g jemnozeme, následně se přidalo 100 ml 0,01 mol/l hydroxidu sodného. Roztok se po dobu 24 hodin nechal odstát. Následující den bylo přidáno 200 ml HCl (poměr 1 : 1), promícháno a zemina spláchnuta na filtr v nálevce pomocí stříčky s roztokem HCl (poměr 1:10). Poté byla zemina na filtru opakovaně promývána demineralizovanou vodou, aby byla zbavena chloridů. Vodou promytá zemina se za pomoci destilované vody smyla do připravené vodivostní nádobky o objemu 250 ml. Vodivostní nádobka s promytou zeminou se postavila na elektromagnetickou míchačku a v pravidelných intervalech (1 min.) bylo přidáváno 0,2 ml 0,1 mol l<sup>-1</sup> hydroxidu barnatého (Ba(OH)<sub>2</sub> · 8H<sub>2</sub>O). Po každé aplikované dávce Ba(OH)<sub>2</sub> pomocí konduktometru s elektrodou došlo ke změření vodivosti. Z výsledků byla vytvořena parabolická křivka a vypočtena hodnota T (mmol chem. eq. · 1000 g půdy<sup>-1</sup>).

### 3.4 Statistické vyhodnocení

Všechny statistické analýzy a grafické výstupy, byly zpracovány v programu STATISTICA (verze 12, TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA). Data byla vyhodnocena analýzou rozptylu – ANOVA a výsledky se poté porovnaly pomocí Tukey HSD (honestly significant difference) testu.

## 4 Výsledky a diskuse

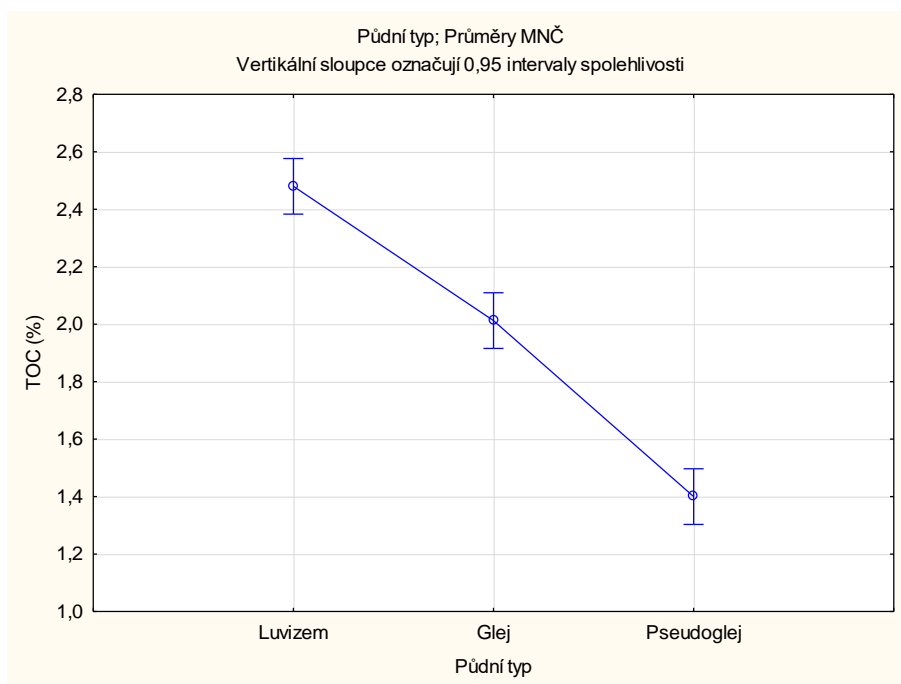
### 4.1 Klasické metody hodnocení obsahu půdní organické hmoty

#### 4.1.1 Obsah celkového organického uhlíku (TOC)

TOC je parametr, kterým se hodnotí celkový organický uhlík v právě analyzovaném vzorku. Z příloženého Grafu 5.1 je viditelný rozdíl mezi všemi hodnocenými vzorky. Největší rozdíl je patrný mezi vzorkem luvizem (2,48 %) a pseudoglej (1,40 %). Kubát et al. (2008) uvádí průměrný obsah uhlíku pro pseudogleje v množství mezi 1,4–2,3 % (medián 1,56 %), tyto údaje jsou uváděny pro ornou půdu. Podle tohoto úsudku lze tvrdit, že na námi analyzované lokalitě se jedná spíše o nižší obsah TOC. Vzhledem k tomu, že naše vzorky byly odebírány na trvale zatravněné ploše, není toto porovnání zcela vypovídající. Podle výsledků je zřejmé, že odlišný půdní typ má vcelku významný vliv na obsah celkového organického uhlíku v půdě, ovšem důležité je zmínit, že vyšší obsah TOC nemusí nutně znamenat kvalitnější půdu (Kolář et al., 2009), to potvrzují i Kopecký et al. (2016) kde uvádějí, že množství TOC nemůže udávat informaci o kvalitě půdní organické hmoty.

Provedený kontrolní HSD Tukey test (Tabulka 5.1) potvrzuje, že všechny rozdíly mezi vzorky jsou statisticky průkazné.

**Graf 5.1: Hodnocení TOC (celkový organický uhlík)**



**Tabulka 5.1: HSD Tukey test – TOC (celkový organický uhlík)**

Půdní typ	TOC (%)
Pseudoglej	1,4000 <sup>a</sup>
Glej	2,0125 <sup>b</sup>
Luvizem	2,4800 <sup>c</sup>

Poznámka: Významné rozdíly mezi variantami jsou zobrazeny odlišnými písmeny (Tukey HSD test;  $p = 0,05$ ).

#### 4.1.2 Obsah huminových kyselin a fulvokyselin

Analýza obsahu huminových kyselin probíhala dle metody, která je popsána v kapitole Materiál a metodika. V příloženém Grafu (5.2) lze vidět, že vzorky s půdním typem glej a pseudoglej dosahují téměř stejných hodnot. Viditelný rozdíl je u vzorku luvizem (0,50 %), kdy je obsah  $C_{HK}$  téměř dvakrát vyšší než u vzorků předchozích. Huminové kyseliny jsou obecně považovány za nejvíce stabilní složku půdní organické hmoty (Pekař et al., 2003). Tvoří ve vodě, spolu s vápníkem a hořčíkem, nerozpustné humáty vápenaté nebo hořečnaté, jež pozitivně působí na technologické vlastnosti půd všech druhů (Vrba a Huleš, 2006).

Po provedeném kontrolním Tukey testu (Tabulka 5.2), můžeme tvrdit, že rozdíly mezi obsahy  $C_{HK}$  nejsou průkazné mezi vzorky pseudoglej a glej. V luvizemi bylo množství huminových kyselin průkazně vyšší než ve dvou předchozích půdních typech.

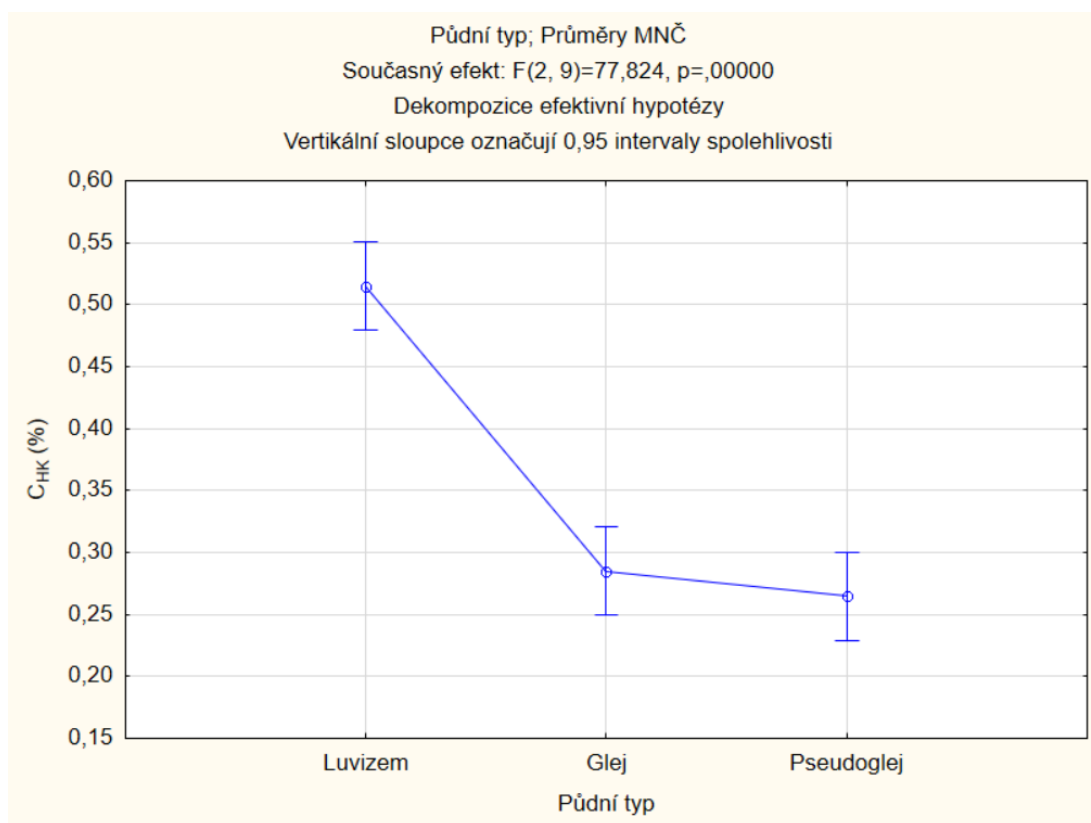
**Tabulka 5.2: HSD Tukey test –  $C_{HK}$  (uhlík huminových kyselin)**

Půdní typ	$C_{HK}$ (%)
Pseudoglej	0,2649 <sup>a</sup>
Glej	0,2849 <sup>a</sup>
Luvizem	0,5149 <sup>b</sup>

Poznámka: Významné rozdíly mezi variantami jsou zobrazeny odlišnými písmeny (Tukey HSD test;  $p = 0,05$ ).



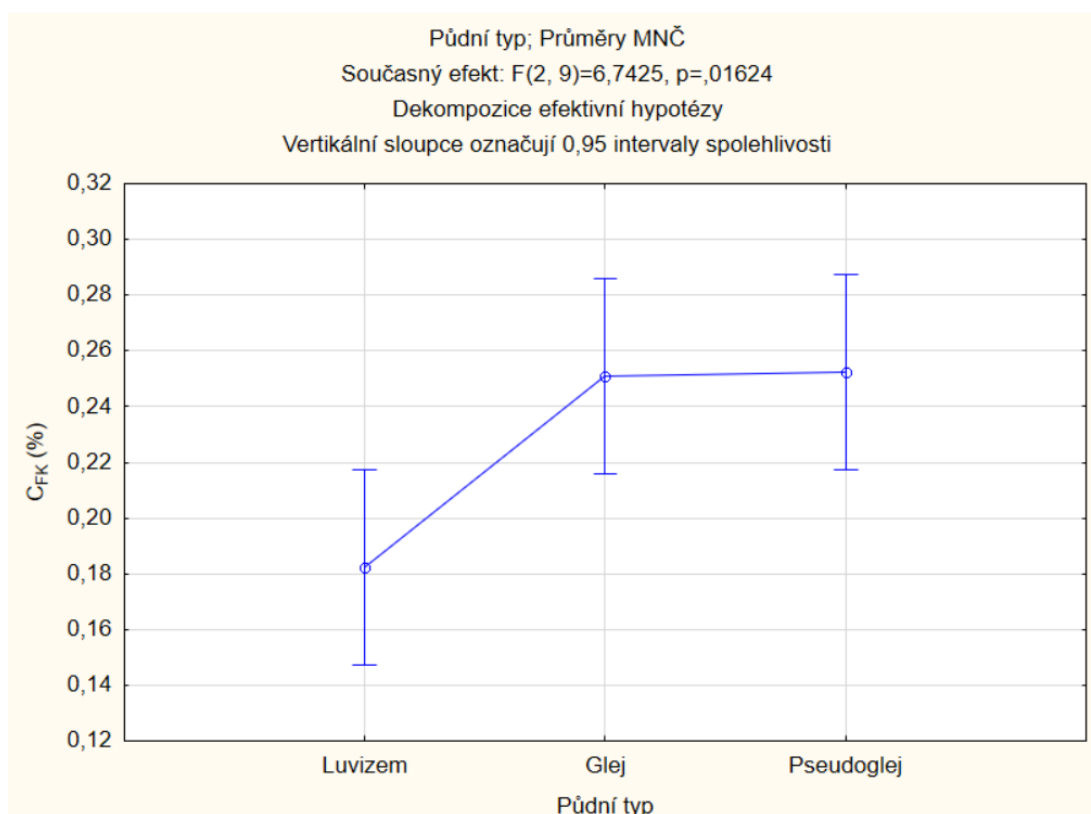
**Graf 5.2: Hodnocení obsahu uhlíku  $C_{HK}$  (uhlík huminových kyselin)**



Obsah uhlíku fulvokyselin ( $C_{FK}$ ) je znázorněn v Grafu 5.3 a Tabulce 5.3. Ve všech půdních vzorcích dosahoval nižších hodnot než  $C_{HK}$ , a proto je poměr  $C_{HK} : C_{FK}$  (následující podkapitola) ve všech případech vyšší než 1.

Nízký obsah byl zaznamenán u luvizemě, byl průkazně nižší než obsah  $C_{FK}$  u dalších dvou typů půdy, v nichž se množství  $C_{FK}$  nelišilo. Fulvokyseliny jsou rozpustné ve vodě, a proto se v půdě velmi dobře pohybují. Dokážou vytvářet sloučeniny s kovy a umožňují tedy přenos minerálních látek. Důležité jsou fulvokyseliny pro transport fosforu v půdě (Kolář et al., 2014). Přesto, že jsou fulvokyseliny považovány za méně kvalitní organickou hmotu než huminové kyseliny, může být jejich nízký obsah příčinou zhoršeného transportu fosforu v půdních vrstvách zkoumané luvizemě. Na druhou stranu se lze domnívat, že právě luvizem má v porovnání s dalšími dvěma typy půd vyšší biologickou aktivitu. To proto, že fulvokyseliny vznikají především v půdách s nízkou biologickou činností (Borovičková, 2005).

**Graf 5.3: Hodnocení obsahu uhlíku C<sub>FK</sub> (uhlík fulvokyselin)**



**Tabulka 5.3: HSD Tukey test – C<sub>FK</sub> (uhlík fulvokyselin)**

Půdní typ	C <sub>FK</sub> (%)
Luvizem	0,182 <sup>a</sup>
Glej	0,251 <sup>b</sup>
Pseudoglej	0,252 <sup>b</sup>

Poznámka: Významné rozdíly mezi variantami jsou zobrazeny odlišnými písmeny (Tukey HSD test; p = 0,05).

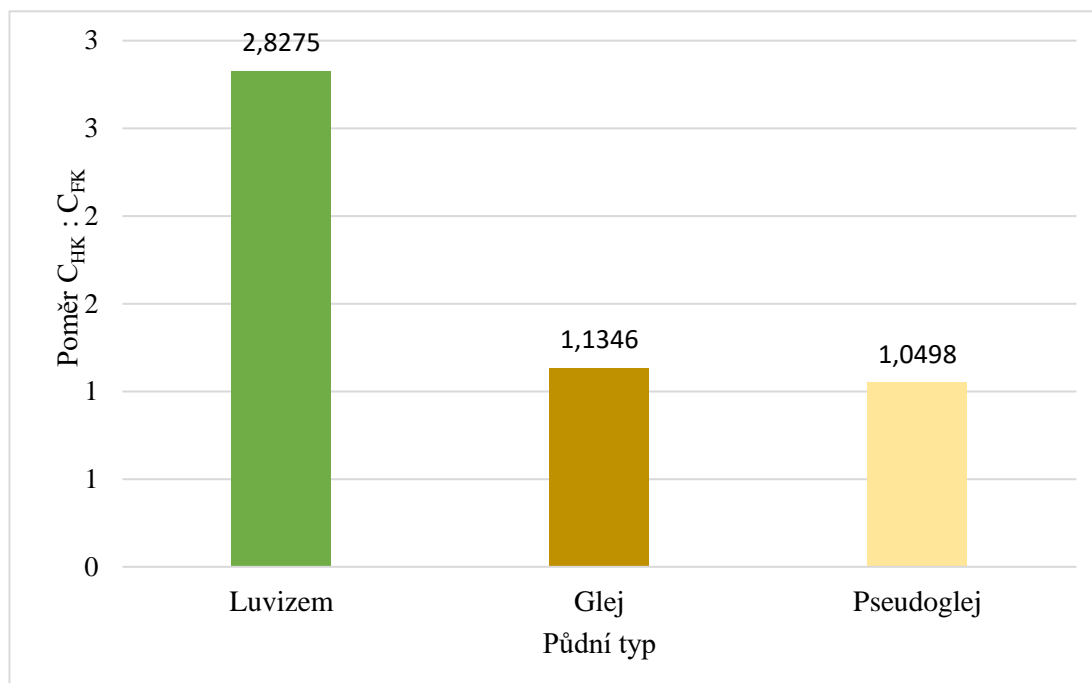
## 4.2 Klasické metody hodnocení kvality půdní organické hmoty

### 4.2.1 Poměr uhlíku huminových kyselin a fulvokyselin (poměr $C_{HK} : C_{FK}$ )

Kolář et al. (2014) považuje tento způsob hodnocení půdní organické hmoty za spíše orientační s řadou problémů a vysvětluje, že toto odvození vychází z poznatku, že genetické půdní typy s obecně kvalitní půdou mají zpravidla poměr  $C_{HK} : C_{FK}$  vždy vyšší než genetické půdní typy málo úrodných půd.

V případě této práce byly poměry  $C_{HK} : C_{FK}$  vypočítány z průměrných hodnot získaných při měření obsahu  $C_{HK}$  a  $C_{FK}$ . Nejvyšší organická hmota na základě výpočtu poměru obsahu huminových kyselin a fulvokyselin byla zaznamenána ve vzorku luvizemě. Byla zde zjištěna poměrně vysoká hodnota (Graf 5.4), která by podle Ledviny et al. (2000) odpovídala spíše černozemi. V gleji a pseudogleji byly hodnoty mírně vyšší, než 1, což indikuje mírnou převahu huminových kyselin. Ani tyto hodnoty však nejsou nízké a mohou být způsobeny dlouhodobou přítomností travních porostů na lokalitě. U neúrodných půd se podle Koláře et al. (2014) hodnoty  $C_{HK} : C_{FK}$  mohou blížit nule.

Graf 5.4: Poměr  $C_{HK} : C_{FK}$  (poměr uhlíku v huminových kyselinách a fulvokyselinách)



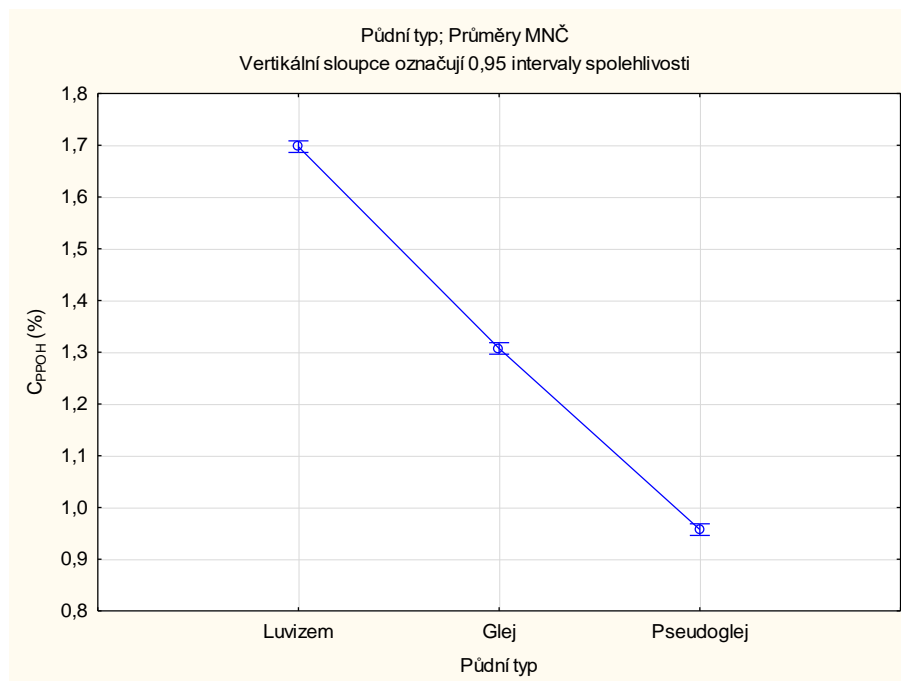
### 4.3 Nové metody hodnocení obsahu půdní organické hmoty

#### 4.3.1 Obsah uhlíku primární půdní organické hmoty ( $C_{PPOH}$ )

V literatuře jsou těžko dohledatelné údaje týkající se primární půdní organické hmoty, neboť, jak je zmiňováno v literárním přehledu, velmi často dochází k jednotnému označování právě PPOH, humusu nebo celkového organického uhlíku. Tomuto tématu ve věnuje například Váchalová et al. (2016). Podle vyhodnocených dat však můžeme tvrdit, že obsah uhlíku, náležející primární půdní organické hmotě, je z hlediska půdních typů kolísající. Podle přiloženého Grafu 5.5 je vidět celkem markantní rozdíl mezi vzorkem pseudoglej a luvizem.

I zde bylo zjištěno stejné pořadí vzorků z hlediska množství půdního organického uhlíku, jako při hodnocení TOC. Největší rozdíl zjištěných hodnot tedy byl u obou parametrů zjištěn mezi stejnými půdními typy. Nejvyšší hodnoty dosahuje luvizem (1,7 %) a nejnižší pseudoglej (0,95 %). Pravděpodobně je to ovlivněno tím, že pseudoglej a glej mají podobné vlastnosti, na rozdíl právě od luvizemí (Šarapatka, 2014). Dle provedeného Tukey HSD testu (Tabulka 5.4), lze opět tvrdit, že jsou všechny zjištěné rozdíly ve výsledcích statisticky průkazné.

**Graf 5.5: Hodnocení obsahu uhlíku primární půdní organické hmoty**



**Tabulka 5.4: HSD Tukey test – C<sub>PPOH</sub> (obsah uhlíku primární půdní organické hmoty)**

Půdní typ	C <sub>PPOH</sub> (%)
Pseudoglej	0,9571 <sup>a</sup>
Glej	1,3072 <sup>b</sup>
Luvizem	1,6972 <sup>c</sup>

Poznámka: Významné rozdíly mezi variantami jsou zobrazeny odlišnými písmeny (Tukey HSD test;  $p = 0,05$ ).

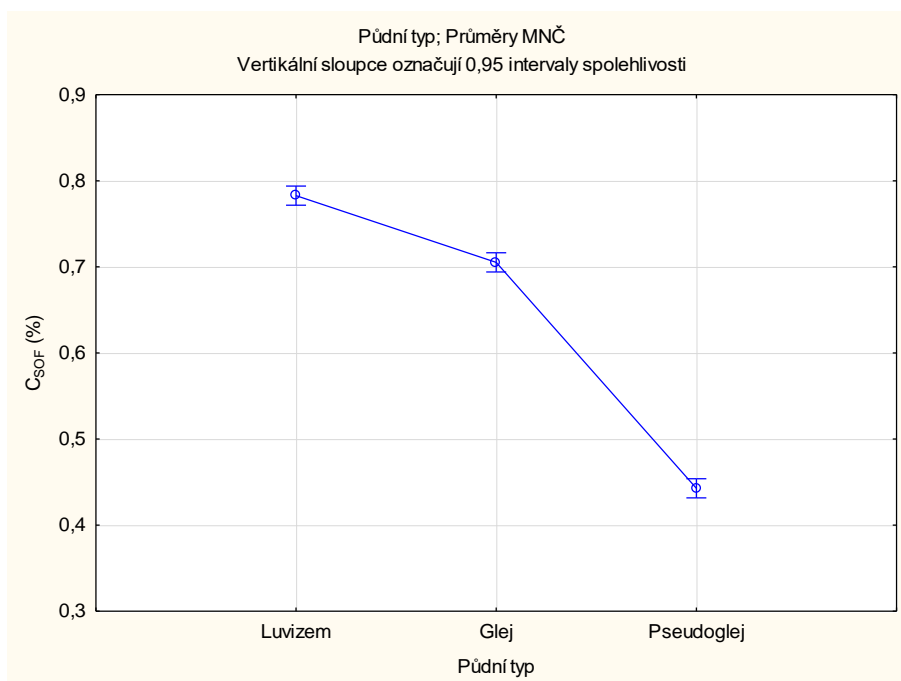
#### **4.3.2 Obsah uhlíku stabilních organických frakcí (C<sub>SOF</sub>)**

Graf 5.6 poukazuje na obsah uhlíku stabilních organických frakcí. Tato hodnota udává především obsah uhlíku huminových kyselin, jelikož primární půdní organická hmota i část fulvokyselin jsou za daných podmínek zoxidovány (Kolář et al., 2014). To potvrzují i výsledky z podkapitoly 5.1.2. Množství C<sub>SOF</sub> je totiž ve všech případech nižší než součet C<sub>HK</sub> a C<sub>FK</sub>.

Je zde opět nejvíce znatelný rozdíl mezi půdním typem pseudoglej a luvizem. Zajímavým zjištěním je zde fakt, že půdní typ glej je z hlediska obsahu stabilních frakcí půdní organické hmoty více podobný luvizemi než pseudogleji. Obsah C<sub>SOF</sub> pseudogleje je téměř dvakrát nižší než u obou zbývajících půdních typů. Všechny vzorky jsou ale průkazně odlišné (Tabulka 5.5).

Stabilní organické frakce představují především kvalitní půdní humus a je pro ně charakteristická iontovýměnná kapacita, uvádí Kopecný (2018b). Hodnocením stabilních organických frakcí se ve své diplomové práci věnoval také Skoba (2020). Výsledky jsou však srovnatelné s touto prací obtížně. Zkoumal sice půdní vzorek pseudogleje, nicméně půda byla odebírána z pozemku, kde je dlouhodobě pěstován *Miscanthus × giganteus*, který v půdě může zanechávat velké množství stabilní organické hmoty – ligninů. V závislosti na termínu odběru zjistil množství C<sub>SOF</sub> v rozmezí 0,51–0,94 %. Obsah C<sub>SOF</sub> na lokalitě v Českých Budějovicích dále sledovali také Černý (2020) a Koblíček (2020).

**Graf 5.6: Hodnocení obsahu uhlíku C<sub>SOF</sub> (stabilních organických frakcí)**



**Tabulka 5.5: HSD Tukey test – C<sub>SOF</sub> (stabilní organické frakce)**

Půdní typ	C <sub>SOF</sub> (%)
Pseudoglej	0,4428 <sup>a</sup>
Glej	0,7052 <sup>b</sup>
Luvizem	0,7827 <sup>c</sup>

Poznámka: Významné rozdíly mezi variantami jsou zobrazeny odlišnými písmeny (Tukey HSD test;  $p = 0,05$ ).

#### 4.4 Nové metody hodnocení kvality půdní organické hmoty

##### 4.4.1 Rychlostní konstanta $k$ oxidace primární půdní organické hmoty

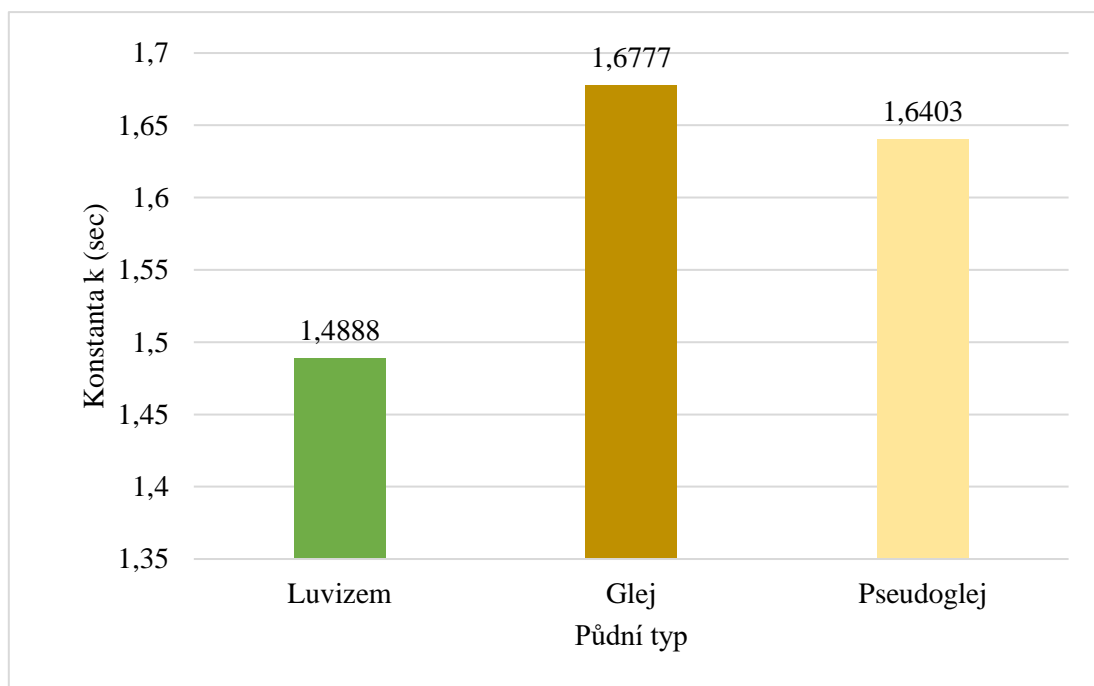
Hodnocení konstanty bylo provedeno dle metodiky Kopecký et al. (2016). Vyšší hodnota konstanty  $k$  predikuje snazší rozklad půdní organické hmoty, což vyznačuje její vyšší kvalitu. Konstanta  $k$  tedy vyjadřuje labilitu PPOH, přičemž se vychází z teorie, že labilnější primární půdní organická hmota je také kvalitnější – podléhá rychleji mineralizaci a tím uvolňuje živiny, které mohou rostliny využít.

Konstanta byla vypočtena z průměrných hodnot  $C_{ox(10)}$  až  $C_{PPOH}$ , které jsou součástí Přílohy. Na výsledné hodnoty kvality PPOH poukazuje Graf 5.7. Je viditelné, že nejvíce labilní primární půdní organická hmota byla ve vzorku gleje, mírně nižší hod-

nota byla vypočtena u pseudogleje a naopak nejnižšího výsledku bylo dosaženo u luvizemě. Výsledky se zdají být logické, navazují na výsledky obsahu  $C_{PPOH}$ . U luvizemě je hodnota konstanty nejnižší, což znamená, že nejsložitěji podléhá mineralizaci, a proto se tato část organické hmoty v půdě hromadí.

V bakalářské práci (Sládková, 2019) jsem se věnovala kvalifikaci PPOH podle rychlostní konstanty oxidace v různě zpracovávaných půdách. Vzorky byly odebrány z lokality u Štěpánovic, půdním typem byla pseudoglej. Byl prokázán vliv rozdílného zpracování půdy na kvalitu PPOH vyjádřenou rychlostní konstantou  $k$  její oxidace. Nejvyšší hodnota byla zjištěna u podryvání (2,03 sec), následovalo diskování (1,47 sec) a nejnižší hodnota byla zjištěna u orby (1,30 sec). Jednalo se ovšem o ornou půdu. Kvalitou PPOH travních porostů se zabývali Černý (2020) a Koblic (2020). Zjistili, že kvalitu PPOH ovlivňují jak jednotlivé travní druhy, tak i aplikace minerálního hnojiva či termín odběru vzorků.

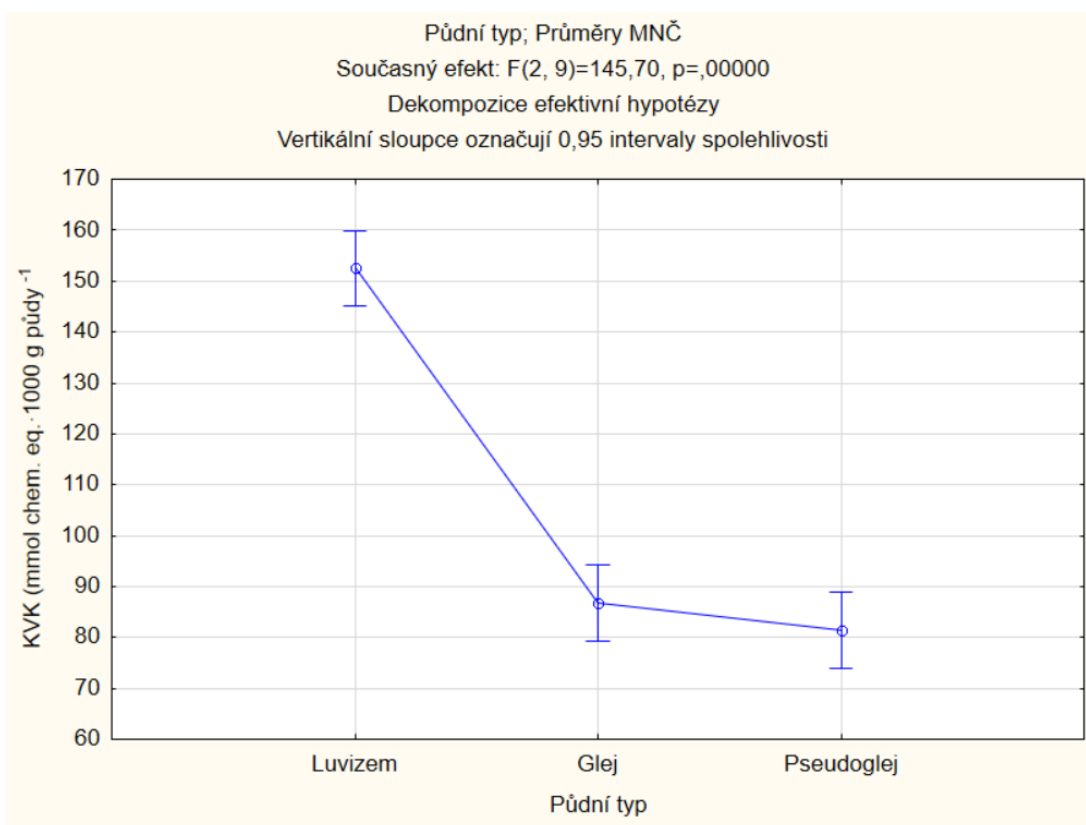
Graf 5.7: rychlostní konstanta  $k$  oxidace primární půdní organické hmoty



#### 4.4.2 Kationtová výměnná kapacita půdních vzorků

Hodnota kationtové výměnné kapacity je důležitá například proto, aby nedocházelo ke ztrátám živin z půdy vyluhováním (Pokorný et al., 2007). Iontovými výměnnou kapacitu půdy lze sledovat, jako hlavní znak kvality humusu. Změřené hodnoty jsou nízké obzvláště u gleje a pseudogleje (Graf 5.8, Tabulka 5.6), odpovídají však méně produktivním půdám v podobných lokalitách. Jejich přehled uvádí Kolář et al. (2011) – Světlík 55, Brloh 58, Malonty 83, Besednice 121 mmol chem. eq. · 1000 g půdy<sup>-1</sup>. Hodnota KVK v této studii byla vyšší u luvizemě, což souvisí s vyšším obsahem huminových kyselin. V této souvislosti je třeba zmínit, že měření KVK humusu by se mělo vypočítat z rozdílů stanovení před a po destrukci organické hmoty oxidací H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Váchalová et al., 2016). V této práci jsou tedy hodnoty navýšeny o KVK minerálního podílu.

**Graf 5.8: Kationtová výměnná kapacita**





**Tabulka 5.6: HSD Tukey test – kationtová výměnná kapacita**

Půdní typ	KVK (mmol chem. eq. · 1000 g <sup>-1</sup> )
Pseudoglej	81,5000 <sup>a</sup>
Glej	86,7500 <sup>a</sup>
Luvizem	152,5000 <sup>b</sup>

Poznámka: KVK – kationtová výměnná kapacita; Významné rozdíly mezi variantami jsou zobrazeny odlišnými písmeny (Tukey HSD test;  $p = 0,05$ ).

#### **4.5 Porovnání množství půdní organické hmoty dle klasických a nových metod**

Budou-li v tomto přehledu zhodnoceny pouze získané absolutní hodnoty (bez ohledu na statistickou (ne)průkaznost), bude dle klasických i nových metod dosaženo velmi podobného výsledku. Ve všech případech bude nejvíce organické hmoty ve vzorku luvizemě. Na druhém místě je téměř vždy glej, výjimku tvoří pouze obsah  $C_{FK}$ , kdy bylo větší množství zjištěno v pseudogleji.

#### **4.6 Porovnání kvality půdní organické hmoty dle klasických a nových metod**

Porovnání klasických a nových metod z hlediska hodnocení kvality půdní organické hmoty je složitější. Klasická metoda totiž hodnotí půdní organickou hmotu jako jeden celek, zatímco nová metoda rozlišuje primární půdní organickou hmotu a humus. Podle poměru  $C_{HK} : C_{FK}$  i hodnoty KVK je možné za nejkvalitnější půdní vzorek považovat luvizem, za nejhorší pseudoglej. Jiný případ ale nastane, pokud bude hodnocena jen nezhumifikovaná PPOH, což klasické metody neumožňují. Tato část organické hmoty byla naopak nejméně kvalitní u luvizemě a nejkvalitnější u gleje.

---

## Závěr

Tato diplomová práce byla rozdělena na část teoretickou a praktickou. V teoretické části byla řešena témata jako půdní typ, půda jakožto celek, její vznik a vlastnosti, poté pojmy „primární půdní organická hmota“ a „humus“, také zde byly popsány různé metody, kterými lze hodnotit půdní organickou hmotu. Došlo i k obecnému popsání moderní metody, jež je založena na hodnocení půdní organické hmoty na základě frakcionace podle specifických stabilizačních mechanismů.

V kapitole Materiál a metodika byly popsány analýzy, které byly následně prakticky využity. Jednalo se o hodnocení obsahu celkového organického uhlíku (TOC), obsah uhlíku huminových kyselin a fulvokyselin, poměr  $C_{HK} : C_{FK}$ , uhlík stabilních organických frakcí a primární půdní organické hmoty, rychlostní konstantu  $k$  oxidace primární půdní organické hmoty a kationtovou výměnnou kapacitu. Hodnoceny byly vzorky odlišného půdního typu (luvizem, pseudoglej, glej).

Výsledkem bylo jednak porovnání jednotlivých vzorků mezi sebou, ale také porovnání „nových“ a „klasických“ metod z hlediska dosažení shodných výsledků při analýzách. Na základě vyhodnocených dat lze tvrdit, že půdní typ značně ovlivňuje výsledné hodnoty. Pokud bychom se zaměřily na část výsledků, které vypovídají o množství půdní organické hmoty na základě, již zmiňovaných, klasických a nových metod, nejkladněji ve všech případech vyšel vzorek s půdním typem luvizem. Dále bylo zajímavé, že půdní typy glej a pseudoglej měly, až na malé výjimky, relativně podobné hodnoty. Náročnější bylo porovnávání kvality půdní organické hmoty. Vzhledem k tomu, že starší metody hodnotí půdní organickou hmotu jako jeden celek a nerozlišují ji na dvě odlišné složky (humus a primární půdní organická hmota), nešlo zcela jasně porovnat výsledky „klasických“ a „nových metod“. Bylo prokázáno, že půdní typ velmi význačně ovlivňoval výsledné hodnoty. I v tom případě byl prokazatelně nejkvalitnější půdní vzorek luvizem.

Je však důležité zmínit, že pro přesnější a prokazatelnější výsledky by bylo lepší v pokusu dlouhodoběji pokračovat.

---

## Seznam použité literatury

Bird, J. A., Kleber, M., & Torn, M. S. (2008). *<sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N stabilization dynamics in soil organic matter fractions during needle and fine root decomposition. Assessing soil quality by testing organic matter.* In: Hanlon, Jr., E.A. Organic Geochemistry.

Bockheim, J. G., & Gennadiyev, A. N. (2000). *The role of soil-forming processes in the definition of taxa in Soil Taxonomy and the World Soil Reference Base. Geoderma, 95(1-2), 53-72.*

Borovičková, M. (2005). *Procesy agregace huminových látek při úpravě vod: Pojednání k disertační práci – VUT Brno.*

Boruvka, L., & Drábek, O. (2004). *Heavy metal distribution between fractions of humic substances in heavily polluted soils.* Plant Soil and Environment.

Bott A.; Benites, J. (2005). *The importance of soil organic matter: key to drought-resistant soil and sustained food production.* FAO Soils Bulletin 80, Rome.

Brady N. C., Weil R. R. (2002). *The nature and properties of soils.* Prentice Hall, Thirteenth Edition.

Brady N. C.; Weil R. R. (1999). *The nature and properties of soil.* Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River.

Brady N.C. a Weil R.R. (1999). *The nature and properties of soils.* 12th ed. Prentice Hall Inc., New Jersey, USA

Brady, C. (1990). *The Nature and Properties of Soils.* 10. vyd. New York: Macmillan Publishing Company. ISBN 0023133619.

---

Brevik, E. C., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, J. N., Six, J., & Van Oost, K. (2015). *The interdisciplinary nature of soil*. Soil.

Černý, J., Balík, J., Kulhánek, M., Sedlář, O. (2019). *Organická hmota v půdě, její obsah, složky a význam*. [online]. Česká zemědělská univerzita v Praze. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/organicka-hmota-v-pude-jeji-obsah-slozky-a-vyznam>

Černý, M. (2020). *Kvalifikace primární půdní organické hmoty podle rychlostní konstanty oxidace v půdách energetických rostlin*. Bakalářská práce, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta zemědělská.

DiDonato, N., Chen, H., Waggoner, D., & Hatcher, P. G. (2016). *Potential origin and formation for molecular components of humic acids in soils*. *Geochimica et Cosmochimica acta*.

Dufková, J., Toman, F., & Šťastná, M. (2014). *Comparison of methods for determination of soil erodibility factor K*. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*.

Franzluebbers, A. J. (2002). *Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality*. *Soil and Tillage Research*, Vol. 66, Issue 2.

Gerndtová, I. (2011). *Vliv obhospodařování trvalých travních porostů na obsah organické hmoty v půdě*. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. Praha.

Gregorich, E. G., & Beare, M. H. (2008). *Physically uncomplexed organic matter*. *Soil sampling and methods of analysis*.

---

Gregorich, E. G., Beare, M. H., McKim, U. F., & Skjemstad, J. O. (2006). *Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter*. Soil Science Society of America Journal.

Guggenberger, G. (2005). *Humification and mineralization in soils*. In *Microorganisms in soils: roles in genesis and functions* (pp. 85-106). Springer, Berlin, Heidelberg.

Gulde, S., Chung, H., Amelung, W., Chang, C., & Six, J. (2008). *Soil carbon saturation controls labile and stable carbon pool dynamics*. Soil Science Society of America Journal.

Guo L. B., Gifford R. M. (2002). *Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis*. Global Change Biology 8.

Hartemink, A. E. (2016). *The definition of soil since the early 1800 s*. In *Advances in Agronomy*. Academic Press.

Heymann, K., Lehmann, J., Solomon, D., Liang, B., Neves, E., & Wirrick, S. (2014). *Can functional group composition of alkaline isolates from black carbon-rich soils be identified on a sub-100 nm scale*. *Geoderma*.

Hutchinson, J. J., Campbell, C. A., & Desjardins, R. L. (2007). *Some perspectives on carbon sequestration in agriculture*. Agricultural and forest meteorology, DOI: 10.1013/j.agrformet.

Jandák J. et al. (2009). *Cvičení z půdoznalství*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 9788071577331.

Jandák, J., & Mikulenčák, (2017). C. Š. *Vliv vápnění a způsobu sklizně travních porostů na fyzikální a hydrofyzikální vlastnosti pseudogleje*.

---

Jandák, J., Pokorný, E., &Prax, A. (2010). *Půdoznalství*. Brno, Czech Republic: Mendel University in Brno

Jansson, S. L., & Persson, J. (1982). *Mineralization and immobilization of soil nitrogen*. Nitrogen in agricultural soils.

John, B., Yamashita, T., Ludwig, B., & Flessa, H. (2005). *Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use*. *Geoderma*.

Kader M. A. (2006) *Comparison of physical fractionation method – diploma thesis*. Faculty of Bio-Science Engineering, University Gent, Belgium.

Karbanová, K. (2015). *Disociační chování huminových kyselin*.

Koblic, Š. (2020). *Kvalita a množství organické hmoty v půdách energetických rostlin*. Bakalářská práce, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta zemědělská.

Kögel-Knabcher, I. (2002). *The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter*. *Soil Biol. Biochem*.

Kolář L., Kužel S., Horáček J., Čechová V., Borová-Batt J., Peterka J. (2009). *Labile fractions of soil organic matter, their quantity and quality*. *Plant Soil Environ*.

Kolář, L., Moudrý, J., a Kopecký, M. (2014). *Humus*. Náměšť nad Oslavou: ZERA – Zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s., ISBN 978-80-87226-34-6.

---

Kolář, L., Vaněk, V., Kužel, S., Peterka, J., Borová-Batt, J., & Pezlarová, J. (2011). *Relationships between quality and quantity of soil labile fraction of the soil carbon in Cambisols after liming during a 5-year period*. *Plant, Soil and Environment*, 57(5), 193-200.

Kolejka, J., Štrbík, J., & Ruda, A. (2020). *Průmyslové cukrovarnictví jako zásadní inovace druhé poloviny 19. století v přeměně říčních niv Moravy*. *Listy Cukrovarnické a Reparské*.

Konečná, J., Karásek, P., Fučík, P., Podhrázská, J., Hanák, R., Ryšavý, S., ... & Křížková, S. (2018). *Principy přístupu k řešení optimalizace ochrany vody a půdy v subpovodích řeky Svratky*. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*.

Kopecký, M. (2018b). *Environmentální aspekty pěstování vybraných energetických rostlin*. *Disertační práce, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta zemědělská*.

Kopecký, M., Kolář, L., & Borová-Batt, J. (2016). The new method of determination of the quantity and quality of primary soil organic matter and humus. In *Proceedings of the International Conference Soil—the non-renewable environmental resource* (pp. 135-142).

Kopecký, M., Kolář, L., Váchalová, R., Bernas, J., Konvalina, P., Moudrý, J., & Tran, D. K. (2018a). *The importance of soil organic matter*. *Proceeding book*.

Koutná, P. (2006). *Ekologické zemědělství* (Doctoral dissertation) Masarykova univerzita, Právnická fakulta.

Kubát, J., Cerhanová, D., Mikanová, O., & Šimon, T. (2008). *Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách*. *Výzkumný ústav rostlinné výroby, vvi, Praha–Ruzyně*. ISBN, 978-80.

---

Lalande, R., Gagnon, B., & Royer, I. (2009). *Impact of natural organic matter on soil properties and microbial activity*. Canadian journal of soil science.

Ledvina, R., Horáček, J., Šindelářová, M. (2000). *Geologie a půdoznalství*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice. ISBN: 80-900364-6-5.

Leroy, B. L. M., Herath, H. M. S. K., Sleutel, S., De Neve, S., Gabriels, D., Reheul, D., & Moens, M. (2008). *The quality of exogenous organic matter: short-term effects on soil physical properties and soil organic matter fractions*. Soil Use and Management.

Li, P., Shi, K., Wang, Y., Kong, D., Liu, T., Jiao, J., ... & Hu, F. (2019). *Soil quality assessment of wheat-maize cropping system with different productivities in China: Establishing a minimum data set*. Soil and Tillage Research.

Macků, J. (2004). *Klasifikace ekotopu v lesnické typologii. Hodnocení stavu a vývoje lesních geobiocenóz*. MZLU v Brně.

McHale M. C., Douglas A. C., Gregory B., Lawrence B., Murdoch P. S., (2007). *Factors controlling soil water and stream water aluminum concentrations after a clearcut in a forested watershed with calcium-poor soils*. Biogeochemistry.

Mikuláňková, B., Lapčík, L., Máňek, I. (1997). *Lignit – struktura, vlastnosti a použití*. Chemické Listy 91. ISSN 1213-7103.

Mrázková, M., Hradilová, M., & Landová, H. (2017). *Srovnání obsahu půdního oxidovatelného uhlíku a kvality humusu u dvou lokalit v rozdílných nadmořských výškách*.



---

Nardi, S., Concheri, G., & Dell'Agnola, G. (1996). *Biological activity of humus. In Humic substances in terrestrial ecosystems.* Elsevier Science BV.

Orlov D.S., Baranovskaja V.A., Okolelova A.A. (1987). *Organičeskoje veščestvo stepnych počv povolžija i procesy ego transformacii při orošeniji.* Počvoveděnije 10.

Paul, E.A., and F.E. Clark. (1996). *Soil Microbiology and Biochemistry.*

Pekař, M., Klučáková, M., (2003). *Alternativní, neenergetické aplikace lignitu.* CHEMagazín, roč. 13, č. 1,

Piccolo, A. (1996). *Humus and soil conservation. Humic substances in terrestrial ecosystems.*

Piccolo, A., Pietramellara, G., & Mbagwu, J. S. C. (1997). *Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability.* Geoderma.

Pivokonský, M., Pivokonská, L., Bubáková, P., & Janda, V. (2010). *Treatment of water containing humic matter.* Chemické listy.

Pokorný, E., Šarapatka, B., & Hejátková, K. (2007). *Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku: metodická pomůcka.* ZERA-Zemědělská a ekologická regionální agentura.

Pokorný, E., Šarapatka, B., & Hejátková, K. (2007). *Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku: metodická pomůcka.* ZERA-Zemědělská a ekologická regionální agentura.

---

Pospíšilová, L., Tesařová M. (2009). *Organický uhlík obhospodařovaných půd: Organic carbon in arable soils*. Původní vědecká práce. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 42 s. Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. ISBN 978-80-7375-282-

Rajchard, J. (2002). *Ekologie III: struktura a funkce ekosystému, produkční ekologie, biogeochemické cykly, chemické faktory prostředí, základy ekologie půdy, ekologie vodního prostředí, aktuální celosvětové ekologické problémy*. 1. vyd. České Budějovice: Kopp, 197 s. ISBN 80-7232-191-9.

Rice, J. A. (2001). *Humin*. Soil Science.

Richter, R., & Římovský, K. (1996). *Organická hnojiva, jejich výroba a použití*. Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství České republiky.

Sanderman, J., Amundson, R. G., & Baldocchi, D. D. (2003). *Application of eddy covariance measurements to the temperature dependence of soil organic matter mean residence time*. Global Biogeochemical Cycles.

Sánka, M., & Materna, J. (2004). *Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR*. Ministerstvo životního prostředí.

See J. H.; Bronk D. A. (2005). *Changes in C/N ratio and chemical structures of estuarine humic substances during aging*. Marine Chem.

Sequeira, C. H., Alley, M. M., & Jones, B. P. (2011). *Evaluation of potentially labile soil organic carbon and nitrogen fractionation procedures*. Soil Biology and Biochemistry.

---

Sharifi, M., Zebarth, B. J., Burton, D. L., Grant, C. A., Bittman, S., Drury, C. F., ... & Ziadi, N. (2008). *Response of potentially mineralizable soil nitrogen and indices of nitrogen availability to tillage system*. Soil Science Society of America Journal.

Schnitzer, M., Khan, S.U., (1972). *Humic substances in the environment*. New York: [s.n.], ISBN 0-8247-1614-0

Sikora, L.J., Yakovchenko, V., Cambardella, C.A., Doran, J.W., (1996). *Society of America, Inc, Madison, WI, USA*.

Skoba, D. (2020). *Kvalita nezhumifikované půdní organické hmoty v půdách porostu rostliny Miscanthus × giganteus*. Diplomová práce, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta zemědělská.

Sládková, J. (2019). *Kvalifikace primární půdní organické hmoty podle rychlostní konstanty oxidace v půdách s odlišným typem zpracování*. Bakalářská práce, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta zemědělská.

Sohi, S. P., Mahieu, N., Arah, J. R., Powlson, D. S., Madari, B., & Gaunt, J. L. (2001). *A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling*. Soil Science Society of America Journal

Song G. X.; Hayes M. H. B.; Novotny E. H.; Simpson A. J. (2011). *Isolation and fractionation of soil humin using alkaline urea and dimethylsulphoxide plus sulphuric acid*. Naturwissenschaften.

Steinbüchel, A.; Hofrichter, M., (2001). *Biopolymers., Volume 1, Lignin, humic substances and coal*. Weinheim: Wiley-VCH. ISBN 3-527-30220-4.

---

Stevenson F. J., Cole M. A. (1999): *Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients*. Wiley and sons.

Stevenson, J. F. (1994). *Humus chemistry*, Canada.

Stockmann U, Adams MA, Crawford JW, Field DJ, Henakaarchchi N, Jenkins M, ..., and Wheeler I., (2013). *The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon*. Agriculture, Ecosystems and Environment.

Sutton, R., & Sposito, G. (2005). *Molecular structure in soil humic substances: the new view*. Environmental science & technology.

Šarapatka, B. (2014). *Pedologie a ochrana půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-3736-1.

Šarapatka, B. (2014). *Pedologie a ochrana půdy*. Univerzita Palackého v Olomouci.

Šarapatka, B., (1996). *Pedologie*, Vydavatelství Univerzity Palackého Olomouc.

Šefrna, L. (2004). *Pedologická charakteristika povodí Otavy ve vztahu k povodním*. Sborník příspěvků GAČR, Z052.

Tan, K., H. (2003). *Humic matter in soil and the environment*. Principles and controversies. - CRC Press.

Vácha, R., Vysloužilová, M., Horváthová, V., & Čechmánková, J. (2006). *Risks following from husbandry on agricultural soils in loaded areas of the Czech Republic*. Soil and Water Research-UZPI (Czech Republic).

---

Váchalová, R., Kolář, L., Muchová, Z. (2016). *Primární organická půdní hmota a humus, dvě složky půdní organické hmoty*. 1. vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitře.

Vokurková P. (2010): *Vliv stanovištních faktorů na vlastnosti organické hmoty lesních půd*. Disertační práce, ČZU v Praze.

von Lützow, M., Kögel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Flessa, H., Guggenberger, G., Matzner, E., & Marschner, B. (2007). *SOM fractionation methods: relevance to functional pools and to stabilization mechanisms*. Soil Biology and Biochemistry.

Vrba, V., Huleš, L: *Humus – půda – rostlina (2) Humus a půda*. Biom.cz [online]. 2006-11-14 [cit. 2021-02-09]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>>. ISSN: 1801-2655.

Warembourg, F. R., Roumet, C., & Lafont, F. (2003). *Differences in rhizosphere carbon-partitioning among plant species of different families*. Plant and Soil.

Weber, J. (2002). *Definition of soil organic matter*, Humintech. [online]. [cit. 2014-12-28]. Dostupné z: <http://www.humintech.com/001/>  
Zbírál, J., Honsa, I., Malý, S. (1997): *Analýza půd III – jednotné pracovní postupy*. ÚKZÚZ Brno.

Zoubková, L. (2014). *Návody k laboratorním cvičením z pedologie*. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta životního prostředí.

Žigová, A. (2001). *Poznámky k taxonomickému klasifikačnímu systému půd ČR*.

---

## Přílohy

**Tabulka: souhrnné výsledky všech získaných hodnot**

Půdní typ	TOC (%)	C <sub>OX(10)</sub> (%)	C <sub>OX(20)</sub> (%)	C <sub>OX(30)</sub> (%)	C <sub>OX(45)</sub> (%)	C <sub>OX(PPOH)</sub> (%)	C <sub>SOF</sub> (%)	Konstanta k (sec)
Luvizem	1,1185	1,3134	1,3628	1,4881	1,6992	1,1185	0,78	1,49
Luvizem	1,1112	1,3485	1,3514	1,4576	1,7146	1,1112	0,77	
Luvizem	1,1457	1,3503	1,3763	1,4711	1,6828	1,1457	0,80	
Luvizem	1,1485	1,3615	1,3663	1,4805	1,6924	1,1485	0,79	
Glej	0,9069	1,0345	1,1285	1,1578	1,3132	0,9069	0,70	1,68
Glej	0,8884	1,0048	1,1298	1,1520	1,3063	0,8884	0,71	
Glej	0,9013	1,0151	1,0753	1,1602	1,3155	0,9013	0,70	
Glej	0,9131	1,0161	1,0903	1,1514	1,2941	0,9131	0,72	
Pseudoglej	0,6275	0,7424	0,7910	0,8357	0,9607	0,6275	0,44	1,52
Pseudoglej	0,6355	0,7215	0,8028	0,8317	0,9616	0,6355	0,44	
Pseudoglej	0,6183	0,7359	0,7847	0,8286	0,9537	0,6183	0,45	
Pseudoglej	0,6207	0,7249	0,7912	0,8245	0,9529	0,6207	0,45	

Poznámka: TOC – celkový organický uhlík; C<sub>OX</sub> – obsah uhlíku stanovený na mokré cestě po daném časovém intervalu; C<sub>SOF</sub> – uhlík stabilních organických frakcí

---

## Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Mapa půdních typů v ČR (MŽP, 2018)

Obrázek 1.2: Stabilita humusových látek v půdě (Černý et al., 2019)

Obrázek 2.1: Odběr vzorků (zdroj vlastní)

Obrázek 3.1: Mapa lokality (LPIS)

Obrázek 3.2: Mapa půdních typů na lokalitě Třísov (LPIS)

---

---

## Seznam tabulek

Tabulka 5.1: HSD Tukey test – TOC (celkový organický uhlík)

Tabulka 5.2: HSD Tukey test –  $C_{HK}$  (uhlík huminových kyselin)

Tabulka 5.3: HSD Tukey test –  $C_{FK}$  (uhlík fulvokyselin)

Tabulka 5.4: HSD Tukey test –  $C_{PPOH}$  (obsah uhlíku primární půdní organické hmoty)

Tabulka 5.5: HSD Tukey test –  $C_{SOF}$  (stabilní organické frakce)

Tabulka 5.6: HSD Tukey test – kationtová výměnná kapacita

---



---

## Seznam grafů

Graf 5.1: Hodnocení TOC (celkový organický uhlík)

Graf 5.2: Hodnocení obsahu uhlíku  $C_{HK}$  (uhlík huminových kyselin)

Graf 5.3: Hodnocení obsahu uhlíku  $C_{FK}$  (uhlík fulvokyselin)

Graf 5.4: Poměr  $C_{HK} : C_{FK}$  (poměr uhlíku v huminových kyselinách a fulvokyselinách)

Graf 5.5: Hodnocení obsahu uhlíku primární půdní organické hmoty

Graf 5.6: Hodnocení obsahu uhlíku  $C_{SOF}$  (stabilních organických frakcí)

Graf 5.7: rychlostní konstanta k oxidace primární půdní organické hmoty

Graf 5.8: Kationtová výměnná kapacita

---

---

## Seznam použitých zkratk

POH – půdní organická hmota

PPOH – primární půdní organická hmota

TOC – celkový organický uhlík

HK:FK – poměr huminových kyselin a fulvokyselin

$C_{HK} : C_{FK}$  - poměr uhlíku huminových kyselin a fulvokyselin

KVK – kationtová výměnná kapacita

$C_{SOF}$  - obsah uhlíku stabilních organických frakcí

$C_{PPOH}$  – obsah uhlíku primární půdní organické hmoty

SH – stupeň humifikace

---