

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Katedra: Katedra agrosystémů
Studijní program: N 4101 Zemědělské inženýrství
Studijní obor: Agroekologie
Vedoucí katedry: doc. Ing. Petr Konvalina, Ph.D.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Rozdělení primární organické půdní hmoty v kambizemích a
pseudoglejích oblasti Třeboňska

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Ladislav Kolář DrSc
Autor: Bc. Miroslava Vrzáková

České Budějovice, 2017

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta zemědělská
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Miroslava VRZÁKOVÁ**
Osobní číslo: **Z15396**
Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**
Studijní obor: **Agroekologie - Péče o krajinu**
Název tématu: **Rozdělení primární organické půdní hmoty v kambizemích a pseudoglejích Třeboňska**
Zadávající katedra: **Katedra agroekosystémů**

Zásady pro vypracování:

1. Podle geologických a půdních map vyberte tři nezemědělské půdy z oblasti Třeboňska, které zde jsou typické. Doporučuji kambizem modální z lokality Džbány severně od Domaňína, kambizem silně kyselou na předkvarterních píscích nekarbonátových severovýchodně od Mladošovic a pseudoglej dystrický na předkvarterních zahliněných píscích nekarbonátových z oblasti severně od lokality Dvorce. Odeberte půdní vzorky a určete případné variety a subvariety.
2. Upravte půdní vzorky podle metodiky, stanovte v nich množství primární půdní organické hmoty a humusu podle nové metodiky.
3. Proveďte rozdělení primární půdní organické hmoty těchto vzorků do tříd podle lability. Použijte k tomu metodiku Chan et al, 2001. Analytické výsledky v diskusi a závěru práce náležitě vyhodnoťte!
4. Pokuste se ve Sbírce půdních vzorků ve VUMOP Praha - Zbraslav najít vzorky z historických odběrů v šedesátých letech minulého století, které patří do souboru pro KKP tehdejší CSR a porovnejte své nálezy obsahu humusu ve Vašich vzorcích s analýzami pro KKP a zjistěte rozdíly. Vysvětlete příčinu těchto rozdílů a v závěru práce srovnajte obě metodiky a práci ukončete důkazem, proč by praxe starou metodiku neměla používat.

Rozsah grafických prací: tabulky výsledků dle potřeby

Rozsah pracovní zprávy: 30-40 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Kolář L.: Humus a primární organická hmota, KWS, Velké Meziříčí, 2016
2. Kopecký M., Kolář L., Borivá-Batt J.: Nová metoda stanovení kvality a kvantity primární půdní organické hmoty a humusu. Sborník z vědecké konference MZLU Brno, 2014.
3. Kolář L.: Způsob měření, množství a kvality půdní organické hmoty. čs patent č. 304265 z 5. 2. 2014, Státní úřad průmyslového vlastnictví, Praha.
4. Kolář L. et al.: Labile fractionsof soil organic, matter, their quantity and quality. Plant, Soil and Environment, 55, 2009, 6, 245-251.
5. CHan k.Y., Bawman A., Oatzes A.: Oxidizable organic carbon fractions and soil Quality changes in a oxic Paleustalf under different pasture leys. Soil Science, 166, 2001, 1, 61-67

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Ladislav Kolář, DrSc.

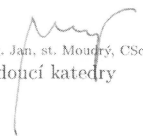
Katedra agroekosystémů

Datum zadání diplomové práce: 3. března 2016

Termín odevzdání diplomové práce: 30. dubna 2017


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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 1898, 370 05 České Budějovice


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

V Českých Budějovicích dne 8. března 2016

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

Bc. Miroslava Vrzáková

V Českých Budějovicích

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce panu profesoru Ing. Ladislavu Kolářovi DrSc. za cenné rady, připomínky a za čas, který mi věnoval při vedení diplomové práce. Ráda bych poděkovala manželovi Jirkovi, který mě pomáhal v situacích, kdy jsem vše chtěla vzdát.

Anotace

Bylo provedeno zhodnocení současného způsobu výpočtu obsahu humusu v půdách násobením faktoru 1,724 a shledáno, že způsob tohoto přepočtu je naprosto nevyhovující. Na vzorcích půd ze západní části lokality Třeboňska byla prokázána vhodnost nové metody dle patentu ČS 304265. Hlavní půdní typy Třeboňska kambizemě a pseudogleje mají úzký obsah humusu a vysoký obsah primární půdní organické hmoty (PPOH). Příčinou je půdní kyselost omezující činnost půdního mikroedafonu.

Klíčová slova: humus (H), primární půdní organická hmota (PPOH), analýza, třeboňské půdy, kambizemě, pseudogleje.

Annotation

Current method for calculation of humus content in soils was evaluated. The conversion method based on multiplication factor of 1,724 was found to be inappropriate. The suitability of a new method according to the patent ČS 304265 was approved on soil samples from the western part of the Třeboň region. The main soil types of Třeboňsko (cambisols and pseudogley) are characterized with a low humus content and a high content of the primary soil organic matter (PSOM). This is consequence of limited soil microedafone activity caused by soil acidity.

Key words: humus (H), primary soil organic matter (PSOM), analysis, Třeboň soils, cambisols, pseudogleys

OBSAH:

1. ÚVOD.....	10
2. LITERÁRNÍ PŘEHLED.....	12
2.1. Půdní organická hmota.....	12
2.2. Rozdíl půdní organické hmoty a humusu v biodegradabilitě.....	13
2.3. Rozdíl prim.organické hmoty a ve schopnosti iontové výměny.....	13
2.4. Kvalitativní znaky primární organické půdní hmoty.....	15
2.5. Půdní organická hmota a hospodaření s vodou v půdě.....	15
2.6. Funkce prim. organické hmoty v půdě ve vztahu k hospodaření s vodou..	17
2.7. Humus.....	20
2.8. Rozdělení humusu, přepočet obsahu C _{ox} faktorem 1,724.....	20
2.9. Kvalitativní znaky humusu.....	25
2.10. Kvalita humusu pro omezení ztrát živin z půdy vyplavením.....	27
2.11. Kvalita humusu pro zlepšení fyz. a technologických vlastností půdy.....	27
2.12. Kvalita humusu pro odolnost půdy proti mechanickému utužení.....	28
3. CÍL PRÁCE.....	29
4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	30
4.1. Materiály a metody.....	32
4.2. Výsledky a diskuse.....	38
5. ZÁVĚR.....	48
6. SEZNAM LITERATURY.....	49

1. ÚVOD

Definovat jednoznačně pojem půdy není snadné. Je to nejsvrchovanější vrstva zemské kůry, která je složená z minerálních částic různé velikosti, živých organismů, odumřelých zbytků, organických látek v různém stádiu rozkladných a syntetických přeměn. Tento přírodní útvar se působením vnitřních a vnějších činitelů neustále mění a rozvíjí. Je to složitý dynamický systém (Ledvina 2000).

Vývoj půdy probíhá dlouhodobým procesem vlivem půdotvorných faktorů, který tento proces podmiňují (mateční hornina, klima, nadmořská výška, teploty, srážky, biologický faktor - půdní mikroorganismus, rostliny, živočichové, podzemí voda a člověk. Tyto jednotlivé faktory se navzájem doplňují a ovlivňují.

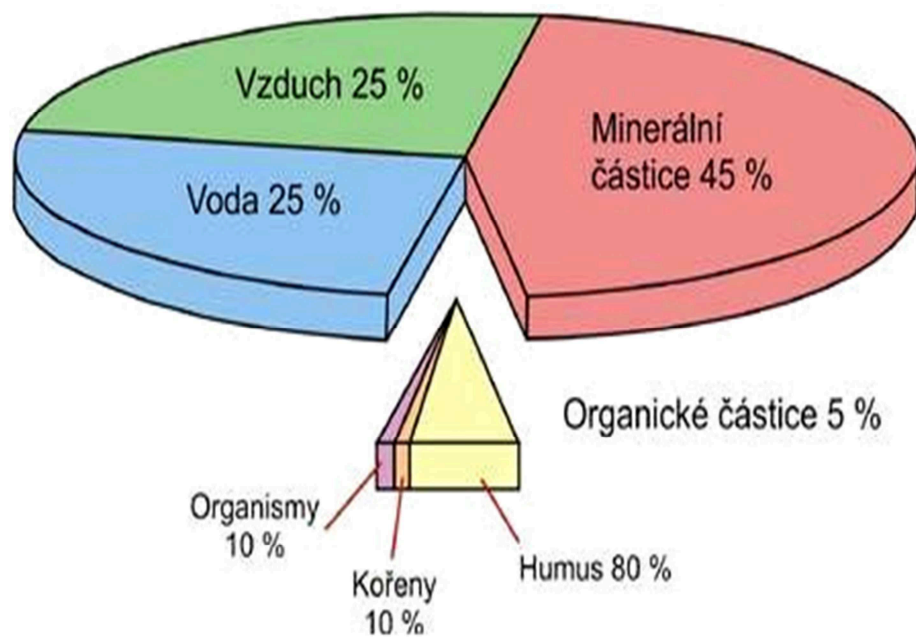
Vzniku půd předchází zvětrávací proces. Jedná se o rozpad a přeměnu mateční horniny zvětrávacími pochody na půdotvorný substrát.

Díky zvětrávacímu procesu a vlivem erozních faktorů se tvrdá skála rozpadá, přeměňuje na mateční horninu, která se drolí na půdotvorný substrát a ten na půdu. Při zobecnění můžeme vývoj půdy vymežit na tři stadia:

- mateční hornina (původní, pouze na povrchu částečně narušená)
- půdotvorný substrát (změněný fyzickým a chemickým zvětráváním)
- půda (produkt především díky biologické činnosti).

Vzhledem k tomu, že na určitých místech Země dochází ke zcela specifické kombinaci faktorů a podmínek (potlačení nebo naopak zvýraznění jednotlivých faktorů), má i půdotvorný proces specifický charakter. Jeho výsledkem jsou půdy odlišné v uspořádání půdního profilu se souborem, fyzikálních, agrochemických i biologických vlastností. Jedná se o třífázový systém, sestávající z pevné, kapalné a plynné fáze. Kapalná a plynná fáze (půdní voda a půdní vzduch) je zastoupena v pórech (Kolář 2014). Půda obsahuje podíl minerální, organický a dále podíl vody, vzduchu. Působení činitelů se neustále mění, rozvíjí a následně ovlivňuje půdní vlastnosti. Vzájemný poměr vody a vzduchu v půdě je dán zejména velikostním zastoupením pórů, ve kterých je obsažen převážně vzduch. Tyto póry umožňují rychlý průchod srážkové vody půdním profilem a jemných

kapilárních pórů. Vzhledem k tomu, že na jednotlivých místech Země dochází ke zcela specifické kombinaci faktorů a podmínek, vzniká tím potlačení nebo naopak zvýraznění některých výše uvedených faktorů. Půdotvorný proces má specifický charakter, jehož výsledkem jsou půdy odlišné v uspořádání půdního profilu mající různorodé zrnitosti a obsahující specifické fyzikální, agrochemické i biologické vlastnosti.



Obrázek 1: zastoupení půdních složek v hmotnostních % (<http://mendelu.cz>).

2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1 Půdní organická hmota

Půdní organická hmota je složitá heterogenní směs organického původu převážně rostlinných a mikrobionálních zbytků. Obsahuje molekuly organických látek, ligninu, různých polysacharidů (celulózy, hemicelulóz, chitinu, peptidoglykanů), lipidů a dalšího alifatického materiálu (vosků, mastných kyselin, kutinu, suberinu, terpenoidů) o jejíž třídění podle chemického složení se pokusil Kogel-Knabcher (2002). I když nemá kvantitativní převahu nad částí minerální, má rozhodující vliv na půdní vlastnosti a tím i na půdní úrodnost. Je to dáno tím, že představuje velmi dynamickou součást půdy, ve které dochází k rychlým přeměnám energie, což se nutně promítá do ovlivňování půdních vlastností a půdní úrodnosti (Ledvina 2000). V pedologické literatuře se vyskytuje mnoho různých forem výkladu třídění půdní organické hmoty, které vychází z historie vývoje této vědní disciplíny. Z hlediska fyzikálně-chemického uspořádal a výsledky své práce uvedl do praxe čs. Patentem č. 304/265 (Kolář 2015).
Rozdělení půdní organické hmoty:

- primární organická půdní hmota - může být původního charakteru, nebo již zcela rozložená. Důležité je, že u ní začal proces mineralizace a dosud z jejích fragmentů nebyly účinkem enzymů půdních mikroorganismů syntetizovány vysokomolekulární polymery a olykondenzáty, čili zatím nedošlo k humifikaci. Jednotlivé chemické sloučeniny jsou různě rozložitelné a složení je odlišné. Její složení je v průměru: 42 % uhlíku, 42 % kyslíku, 8 % vodíku a 8 % popelovin (Santruck 2010).
- humus - soubor mikrobiologických, převážně biochemických a enzymatických procesů, při nichž se z meziproductů rozkladu organických látek tvoří nové látky, označované souborně jako látky huminové (Sotáková 1988). Je to charakteristická a důležitá součást půdy, ovlivňující chemické, fyzikální, biochemické a biologické vlastnosti a procesy v půdě.

2.2. Rozdíl primární organické hmoty a humusu v biodegradabilitě

Primární organická půdní hmota, pokud je přirozeného původu, má větší či menší schopnost podléhat v půdě rozkladným procesům, které jsou zprostředkované díky enzymům půdních mikroorganismů. Jde především o chemické reakce s vodou tzv. hydrolýzy, při které ze složitých organických látek vznikají jednodušší látky, které jsou pak s pomocí jiných enzymů oxidovány do různého stupně. Konečným stupněm u všech organických látek je voda, oxid uhličitý a sloučeniny v organické hmotě obsažených prvků, ale už ve formě minerální. Tento proces se nazývá mineralizace. Produkty mineralizace organických látek jsou stejné, jako bychom organickou hmotu spálili. Mineralizace je proces pomalého spalování (Sotáková 1982). Stejně jako v kamnech některé palivo hoří snadno jiné hůře, i primární organická půdní hmota mineralizuje rychle a pomalu. Dle toho rozlišujeme primární organickou hmotu snadno a hůře rozložitelnou, která ale vždy mineralizuje. Na rozdíl od primární půdní organické hmoty humus mineralizuje tak pomalu, že z hlediska délky lidského života nedochází k mineralizaci 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. Jestliže tedy někdo sleduje obsah prvků jako rostlinných živin v humusu, má to význam pouze z hlediska poznání charakteru určité dané humusové frakce. Pro potřeby výživy rostlin jsou tyto živinné prvky v struktuře humusových látek zcela bezvýznamné, protože se k nim rostliny nikdy nedostanou, jelikož zdrojem živin pro rostliny jsou jen živinné prvky primární organické půdní hmoty, které se dostanou k rostlinám procesem mineralizace dříve nebo později podle jejich stupně stability (Vaněk 2007).

2.3. Rozdíl primární organické hmoty a humusu v schopnosti iontové výměny

Organické koloidní částice tvořené humusem a minerální koloidní částice vytváří v půdě takzvaný „půdní sorpční komplex“, který je schopen hospodařit s rostlinnými živinami (Kolář 2015). Název „sorpční“ je nesmyslný stejně jako

dříve užívaný termín „sorpční kapacita“ a to z toho důvodu, že o sorpci se nejedná a nikdy nejednalo. Takzvaná „sorpční kapacita“ se vždy zjišťovala jako iontová výměna. Iontová výměna neplatí pro molekuly, ale jen pro ionty. Rozdíl sorpce je v tom, že probíhá bez změny elektrického náboje. Například koloidní částice přitáhne z půdního roztoku (kapalná fáze půd) iont Ca^{2+} , jestliže v půdním roztoku v její blízkosti » objeví iont H^+ vznikne například tímto sledem reakcí:



Kyselina uhličitá z CO_2 (z mineralizace) a H_2O (srážky) disociuje na kationt H^+ a aniont HCO_3^- pak vymění jeden iont Ca^{2+} za dva ionty H^+ . Ke změně náboje nedojde. Jestliže se v půdním roztoku objeví iont draslíku K^+ , může půdní částice vyměnit svůj iont H^+ za iont K^+ a je na ní uložen. Např. rostliny spotřebují více K^+ z půdního roztoku, jelikož půdní částice uvolní svůj K doplní půdní roztok přijmou opět H^+ . Tím mezi půdním roztokem a sorpčním komplexem existuje posunutá rovnováha (více iontů je na půdních částicích, méně v půdním roztoku). Proto půdní koloidní částice jsou takzvaným skladištěm živin, z kterého se uvolňují živiny podle jejich úbytku v půdním roztoku. To umožňuje nejen plynulou výživu rostlin, ale také omezení ztrát živin z půdy vyplavením, např. při větších a delších deštích. Z tohoto důvodu je iontová výměna v půdě nesmírně cenná vlastnost půdy, která zemědělcům umožňuje nejen dosažení vysokých výnosů, ale také rentabilitu hnojení. Jediné humusové částice schopné iontové výměny, jsou organické půdní částice.

Organické částice primární organické půdní hmoty mohou sice mít na svém povrchu také elektrický náboj, ale nemají vybudovanou strukturu koloidní micely s nabíjecí plošnou a difusní, prostorovou elektrickou dvojvrstvou, s fázovým rozhraním v difusní vrstvě a proto mohou mít vlastnosti sorpční, ale nikoli iontovýměnné. Humus nemineralizuje z časového hlediska délky lidského života a má iontovou výměnu (Kolář 2016).

2.4. Kvalitativní znaky primární organické půdní hmoty

Základem půdní úrodnosti a půdotvorných procesů je biologický faktor. Bez složitých mikrobiologických dějů a bez mikroorganismů by půda nebyla půdou. Pro činnost mikroorganismů v půdě je nutný zdroj energie a tím je právě labilní primární půdní organická hmota. Čím je labilnější, tím je mikrobiální život v půdě bohatší a proto mnoho vědců považuje labilitu primární půdní organické hmoty za znak půdní úrodnosti. Například když bychom měli půdu s převážně velmi labilní primární organickou půdní hmotou a projevil by se vliv počasí, to znamená zasvítilo by slunce nebo padal déšť, půda by měla vláhu i teplo. V takovém případě by se rychle namnožily půdní organismy, které by labilní frakci rychle rozložily a zůstala by stabilní frakce. Nedostatkem přístupného energetického substrátu by počet půdních mikroorganismů rychle klesl. Proto je pro úrodnou půdu kvalitní primární půdní organická hmota ta, která má labilní, semilabilní a emistabilní frakce (Kolář 2016).

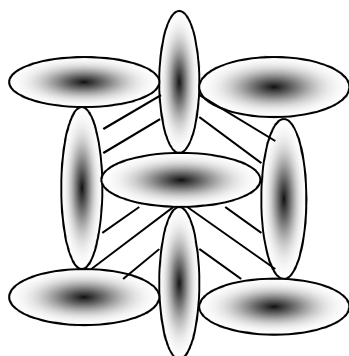
2.5. Půdní organická hmota a hospodaření s vodou v půdě

Hospodaření s vodou znamená, že půda by měla přebytek vody propustit makropóry do spodiny, ale naopak v době sucha z této spodiny čerpat vodu kapilárními mikropóry vzhůru ke kořenům rostlin. Kromě toho však existuje stav půdní vody, nebo-li půdní hydrolimit – rozborová hodnota vlhkosti půdy charakterizující pohyblivost a přístupnost půdní vody. Nás zajímá hlavně základní otázka, jaká frakce půdní organické hmoty má prioritní význam pro zadržení vody půdou, čili pro tzv. „retenční vodní kapacitu půdy“. Každá hmota, složená z jednotlivých částic, má určitou nasákavost, správně řečeno retenční vodní kapacitu, tj. množství vody na jednotku hmotnosti sledované hmoty, kterou je hmota schopna poutat. Kdybychom v takovém případě přidali vody třeba jen nepatrně více, tato nadbytečná voda by z materiálu vytekla. Takové prostory v půdě kromě mikropórů a makropórů vznikají a vždy jsou v půdě přítomny. Ale jejich účinnost v množství poutané vody je samozřejmě velmi rozdílná (Burke 1989) jestliže se jedná o čistě minerální středně hlinitou půdu nebo

půdu mající jen velmi málo organické půdní hmoty. Nejmenší půdní částice takových půd se svým záporným elektrickým nábojem odpuzují navzájem a nemohou vznikat větší shluky jednotlivých částic, čili agregáty. V takovém případě, když zemědělec provede vápnění půdy tak vápno otupí půdní kyselost a zvýší se iontová síla půdního roztoku (tj. součet součinů koncentrací a druhých mocnin valencí iontů v půdním roztoku). Tím se sníží elektrokinetický potenciál na fázovém rozhraní pevné půdní částice a půdního roztoku. Půdní částice se přestanou odpuzovat, protože ztrácí svůj záporný náboj, začnou se shlukovat a vytvářet agregáty. Lepí se k sobě hlinité či jílovité částice, vzniká mikroagregát a následně makroagregát. Jedná se ale o agregát bez vnitřních prostorů neobsahující vzduch, půdní roztok a mikroorganismy. Takový agregát funguje podobně, jako bychom po poli rozhodili drobné oblázky to znamená nejde o agregát, ale o pseudoagregát. V půdě však máme kromě minerálních částic také koloidní částice humusové. Provede-li se v takové půdě vápnění, dojde ke koagulaci půdních koloidních částic a začnou se agregáty vytvářet. Ale na rozdíl od agregátů z minerálních částic se zde vytvářejí agregáty organominerální, čili pravé, žádoucí důležité pro tvorbu půdní struktury. Jejich charakteristickou vlastností je vysoký obsah volných prostorů, které mohou být vyplněny vzduchem, případně vodou, jedná – li se o agregáty takzvaně vodostálé. Ve volných prostorách agregátů mohou probíhat četné chemické reakce včetně iontové výměny. Mohou zde působit i půdní mikroorganismy a účastnit se mnoha mikrobiologických reakcí. Jedním z produktů bohaté mikrobiální činnosti při dostatku energetického substrátu, optimální rovnováze vzduchu a vody v těchto prostorech jsou uronové kyseliny, které působí jako tmelící lepidlo pro vzniklý organominerální bohatě provzdušněný agregát přispívající tak k jeho vodostálosti (Kolář 2012). Mechanismus spojení záporně nabitých koloidních částic humusových a záporně nabitých částic minerálních jsem již vysvětlila. Následující vznik volných prostorů pochopíme z idealizované představy (obrázek 2), že všechny minerální koloidní částice mají tvar datlových pecek rotačního elipsoidu (značeny bíle). Na bázích se usazují koloidní částice humusové, které jsou značeny černě a volné prostory čárkovaně. Agregát se postupně buduje tím způsobem, že nejzápornější místo se spojuje s místem nejméně záporným, tedy relativně kladným.

Ve skutečnosti nejde o částice tvaru rotačních elipsoidů, ale o přirozené různě hranaté tvary (Kolář 2016).

Organominerální jednotky nemohou vytvářet s koloidní minerální částicí organické částice primární organické hmoty. Jelikož nemá potřebný elektrický náboj a nemá volné karboxyly -COOH ani -OH skupiny s oddisociovatelným vodíkem, může se primární organická hmota účastnit zadržení vody v půdě jen svojí přirozenou nasákavostí, která je malá, uvážíme-li i celkové malé množství organické hmoty v půdě. Z tohoto důvodu je důležitá a rozhodující přítomnost humusu v půdě, která je spojena s tvorbou organominerálních agregátů s velkými vnitřními volnými prostory pro poutání vody v půdě (Váchalová 2016).



Obrázek 2: koloidní částice: ■ humus, □ jíl, □ volný prostor (Kolář 2017).

2.6. Funkce prim. organické hmoty v půdě ve vztahu k hospodaření s vodou

Bez primární organické hmoty v půdě by neprobíhala její mineralizace, tím by nevznikala energie pro endotermický proces humifikace. Z tohoto důvodu by humifikace přestala probíhat a půdní mikroorganismy by měly nedostatek energetického zdroje. Produkce organických půdních tmelů, zajišťujících vodostálost půdních agregátů, by ustala a agregáty by se při větších srážkách rozpadaly. Retence vody v půdě by klesala. Nelze opomenout sice malou, ale přece jen nějakou vlastní retenci vody zvláště rozloženou primární organickou půdní hmotou, jejíž jednotlivé částice jsou velmi jemně dispergovány a proto retence vody rozloženou primární organickou půdní hmotou je lepší, než

půdní organickou hmotou nerozloženou. Z všeobecného hlediska je půdní organická hmota tzv. SOM (soil organic matter) složitá heterogenní směs, která je tvořena z převážně organického materiálu rostlinných a mikrobiálních zbytků a obsahuje molekuly organických látek, ligninu, různých proteinů, různých polysacharidů (celulózy, hemicelulóz, chitinu, peptidoglykanů), lipidů a dalšího alifatického materiálu (vosků, mastných kyselin, kutinu, suberinu, terpenoidů) o jejíž třídění podle chemického složení se pokusil Kogel-Knabcher (2002). Z této základní směsi primární organické hmoty v půdě vzniká řada poloproduktů v exothermickém rozkladném procesu mineralizace i endothermickém syntetickém procesu humifikace, včetně samotných produktů humifikace i fulvokyselin, huminových kyselin, huminů a jejich dalších reakčních produktů, solí humusových kyselin a organominerálních sloučenin - komplexně heteropolárních solí a adsorpčních komplexů. Snaha po rychlé, relativně levné informaci o vlastnostech SOM v původním, izolačními postupy neovlivněném stavu v poslední době spoléhá na možnosti moderní instrumentální analýzy, např. difusní reflexní spektroskopie v infračervené (DRIFT) a blízké infračervené oblasti (NIRS). (Capriel 1997, Šimon 2005, 2007, Barančíková 2008) k praktickému určení kvality půdní organické hmoty. Výsledky jsou zatím málo přesvědčivé, stejně jako klasická kritéria, poměr huminových kyselin a fulvokyselin nebo poměr extinkcí dekalcinovaných humusových látek v alkalickém roztoku při vlnových délkách 400 nm a 600 nm, tzv. barevný kvocient $Q_{4/6}$. To proto, že kromě pestrosti nezhumifikované primární organické půdní hmoty v kategorii huminových kyselin i fulvokyselin je značný počet individuů, které se ve vlastnostech silně liší podle své struktury i podle své relativní molekulové hmotnosti. Proto například v sorpčních procesech se nižší huminové kyseliny svými vlastnostmi blíží spíše fulvokyselinám, než vyšším huminovým kyselinám. Je zřejmé, že snaha pokusit se o analytickou charakteristiku tak složité směsi je z chemického hlediska zcela nesmyslná, i když lákavá. Nedělená směs je v přirozeném stavu a proto její eventuelní charakteristika slibuje věrný obraz skutečnosti. Jediným společným znakem ve směsi je obsah uhlíku, ale důležité pro praxi významné vlastnosti SOM stanovení C_{ox} zachytit nemůže. To proto, že soubor organických látek SOM, který zatím neprošel humifikací (primární,

rozložená nebo nerozložená hmota), má zcela jiné vlastnosti, než soubor produktů humifikace SOM. Abstrahujeme-li všechny vedlejší funkce SOM v půdě, zůstane nám nejvíce důležitá funkce a to schopnost k mineralizaci s uvolněním energie pro půdní mikroedafon CO_2 a minerálních živin. To je vlastnost primární části SOM, která může být více či méně rozložitelná. Většinou má sorpční vlastnosti, ale jen nepatrnou nebo žádnou iontovýměnnou kapacitu. Může být i téměř nerozložitelná, samozřejmě v daných půdních podmínkách. Iontovýmienná kapacita je druhá základní funkce SOM. Je charakteristická pro produkty humifikace, které jsou k mineralizaci tím více odolné, čím větší je jejich relativní molekulová hmotnost a čím více jsou schopny tvořit organominerální komplexy, jinými slovy: čím jsou pro praxi kvalitnější. Tak lze rozdělit pestrou směs SOM alespoň na dvě velké skupiny dle rozdílného chování v mineralizaci a iontové výměně. Z charakteru základní funkce SOM, jedná se o schopnost podléhat mineralizaci je zřejmé, že nejcennější jsou ty frakce SOM, které jsou nejméně stabilní, a snadno rozložitelné. Tyto frakce jsou v dnešní době považovány za významný indikátor půdní kvality (Haynes 2005, Ghani 2003, Maia 2007).

2.7. Humus

Humus je charakteristická součást půdy, která ovlivňuje chemické, biochemické, fyzikální a biologické vlastnosti v půdách. Jedná se o důležitý faktor pro výživu rostlin a výrazný půdotvorný činitel. Je to produkt rozkladu a syntézy organických látek rostlinného původu. Podle Stevensona (1982) tvoří humus zbytky odumřelých rostlin a živočichů, které jsou v různém stupni rozkladu. Je to půdní hmota procházející přetrvávajícími změnami, jak po stránce chemického složení, tak i po stránce vlastností a funkcí v půdě.

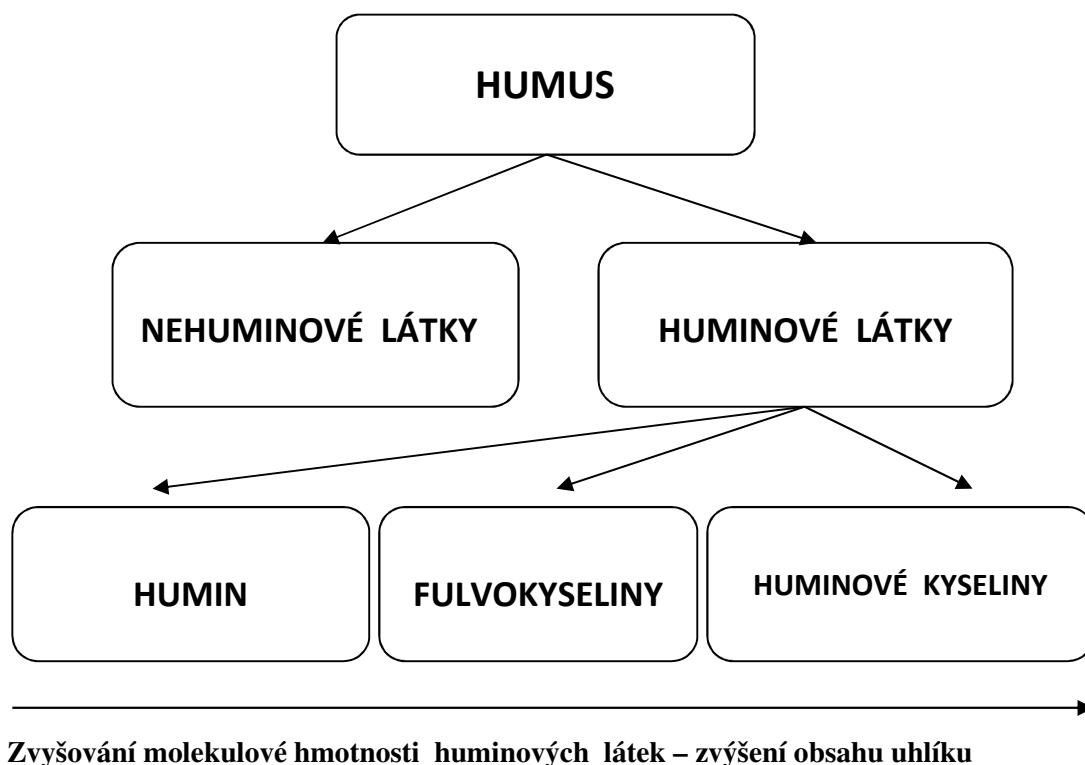
Z chemického hlediska se jedná o soubor organických polyfunkčních látek kyselinové povahy, koloidního charakteru. Humus zbarvuje půdy černě až hnědě a povrch těchto půd vypadá v některých případech jako mastný.

2.8. Rozdělení humusu, přepočítání obsahu C_{ox} faktorem 1,724

Humusové látky je možné rozdělit podle Urbana (2003), Jandáka a kol. (2008):

- nehumínové látky organické povahy, snadno rozložitelné a odbouratelné mikroorganismy. Do této skupiny patří pektiny, glycidy, bílkoviny, třísloviny, vosky, tuky, pryskyřice atd. Tvoří energetickou a živinnou zásobu půdy.
- humínové látky, které obsahují vysokomolekulární organické sloučeniny. Jsou 85 – 90 % obsaženy v celkové organické hmotě. Mají vysokou biologickou rezistenci s většinou tmavým zbarvením a třídí se na základě jejich rozpustnosti v kyselinách nebo zásadách dále dle barvy, fyzikálních a optických vlastností.

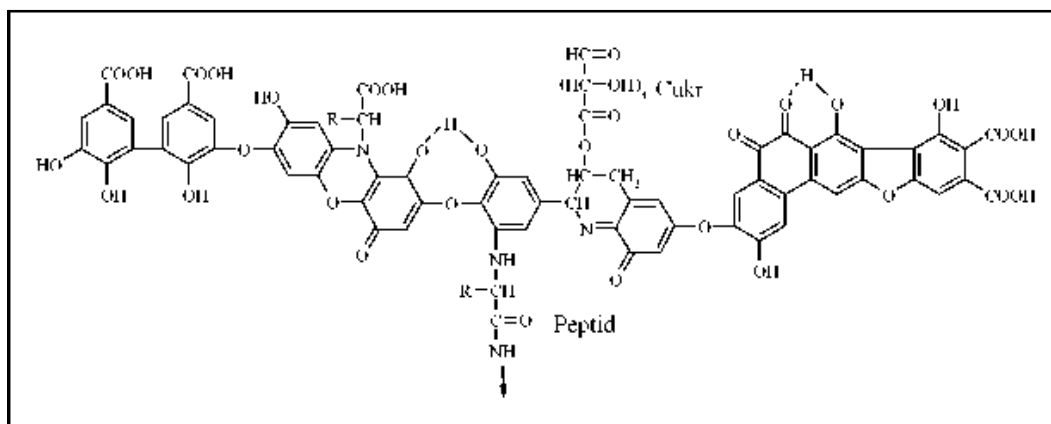
Za humus (obrázek 3) považujeme humusové kyseliny, humínové kyseliny a fulvokyseliny. Svými vlastnostmi, strukturou i chemickým složením tvoří spojitou řadu, lišící se jen tím, že z alkalického roztoku se humínové kyseliny sráží, ale fulvokyseliny i v kyselém prostředí v roztoku zůstávají.



Obrázek 3: Schéma zjednodušeného složení humusu (Urban 2003)

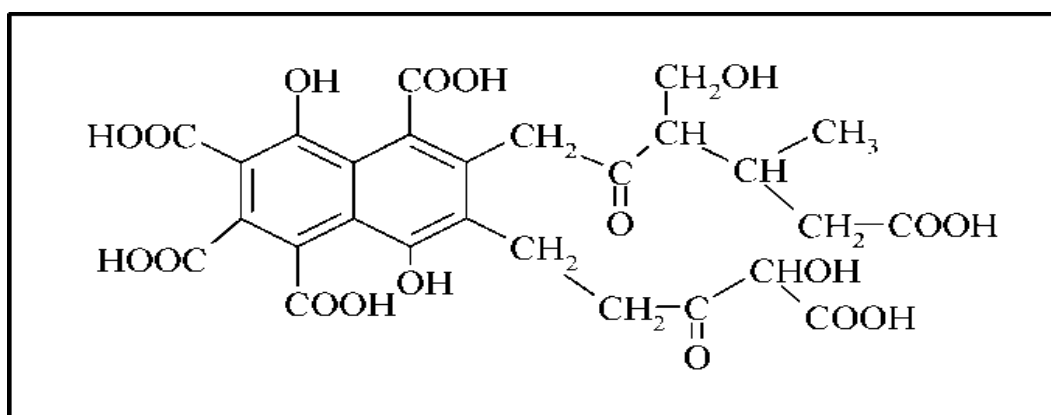
Huminy jsou charakteristické svojí malou reaktivitou, vysokým obsahem minerálního popela a velkou relativní molekulovou hmotností (Stevenson 1982). Vzhledem k tomu, že se špatně rozpouštějí v polárních i nepolárních rozpustidlech, prakticky nejsou schopny oddisociovat svůj vodík a proto se nemohou uplatnit ani v iontové výměně v půdě, tak se huminům připisuje jen malý význam. Někteří vědci je považují za produkty reakcí mezi huminovými kyselinami a minerální koloidní půdní frakcí. Jiní za adsorpční organo-minerální komplexy vysokomolekulárních huminových kyselin a pro jejich nepatrnou chemickou reaktivitu jsou považovány za přechod k nereaktivní, vysokomolekulární humusové hmotě (humusové uhlí). Tyto látky jsou interní formou půdního organického uhlíku a mají pro zemědělce minimální význam. Při výpočtu stupně huminifikace SH se s nimi nepočítá. Huminové kyseliny a fulvokyseliny tvoří svými vlastnostmi, strukturou i chemickým složením spojitou řadu, ve které se liší jen tím, že z alkalického roztoku se huminové kyseliny sráží, zatímco fulvokyseliny v kyselém prostředí zůstávají. Rozhraní, kde se huminové

kyseliny sráží ovlivňuje druh, síla kyseliny a teplota. Proto na tomto rozhraní existují huminové kyseliny, které reagují spíše jako fulvokyseliny a naopak fulvokyseliny, které svými vlastnostmi jsou spíše huminovými kyselinami.



Obrázek 4: Struktura molekuly huminové kyseliny (Sparks 2003)

Skupina huminových kyselin (obrázek 4) i skupina fulvokyselin (obrázek 5) neobsahuje nikdy jen několik jedinců, ale skupina huminových kyselin je vždy obrovská. O izolaci chemického individua nemůže být ani řeči. Pokroky v chromatografii a gelové chromatografii na dextranových gelech, tzv. „molekulových sítích“ nám v dnešní době umožňují tento takzvaný chaos velkého počtu např. huminových kyselin rozdělit zhruba na několik skupin, samozřejmě podle jejich relativní molekulové hmotnosti, s odhadem procentního zastoupení jednotlivých skupin. Měřícím kritériem je obsah uhlíku (Váchalová 2016).



Obrázek 5: Předpokládaná struktura molekuly fulvokyseliny (Weber 1997)

V minulosti se směřoval pojem „humus“ a „půdní organická hmota“ a tyto pojmy byly považovány za synonyma. Později si badatelé uvědomili, že půdní organická hmota obsahuje kyselé reagující látky a tak vznikl název humusová kyselina. Nejprve se domnívali, že je jich jen několik, dokonce existovala představa, že humusová kyselina je jen jedna. Ta byla nazvána nejprve jako „kyselina krenová“ dále jako „kyselina apokrenová“ a nakonec jako „kyselina huminová“. Odborníci se jí snažili z půdy izolovat, stanovili v ní obsah dusíku, fosforu, vodíku a kyslíku ale výsledky byly velmi rozdílné, těžko se daly zobecnit. Až posléze dospěli k závěru, že humusových kyselin bude podstatně více a že budou mít také velmi rozdílný charakter. Rozhodli, že nejlépe bude organickou půdní hmotu charakterizovat podle celkového obsahu uhlíku. Ale uhlík se v té době dal chemicky stanovit jen dvěma metodami:

- elementární analýzou, při které se vzorek dokonale spálil a analyticky se stanovil vzniklý oxid uhličitý vzorku na mokré cestě roztokem bichromanu draselného v kyselině sírové
- pomocí zpětné titrace spotřebovaného oxidovadla Mohrovou solí roztokem síranu železato-amonného. Uhlík takto stanovený se nazýval „uhlík oxidovatelný“ a byl označován symbolem C_{ox} . C_{ox} byl a do dnešní doby je mírou organické hmoty v půdě

Vědecké práce pokračovali dál a pokračoval i výzkum humusových kyselin. Vědci potřebovali analytický standard, podle kterého by mohly být výsledky výzkumu organických kyselin půdní organické hmoty srovnávány. Na počátku 19. století, začala v Německu pracovat firma MERCK, která se specializovala na výrobu chemikálií a laboratorního zařízení pro vědecké instituce. Zájem zákazníků o standard humusové kyseliny vyřešili tak, že vzali starý zahradnický kompost, ten vyluhovali alkalickým roztokem, a extrakt ve finále upravily kyselinou. Došlo ke sražení kyseliny. Z výsledného roztoku vznikla tmavě zbarvená koloidní frakce, která měla velkou molekulovou hmotnost a byla schopna disociace tj. odštěpený vodík nahradit ionty kovů. Jednalo se o kyselinu a protože ji vyrobili z organické hmoty obecně označované jako humus, nazvali ji

Acidum humicum Merck tedy název pro kyselinou huminovou. Vědci ji podrobili analýze a zjistili, že obsahuje 58 % uhlíku. Začali tento analytický standard prodávat laboratořím a došlo k omylu vycházející z předpokladu, že kyselina huminová je jen jedna a obsah C_{ox} v půdě se díky Merckovy huminové kyselině začal přepočítávat násobícím faktorem 1,724. Tento faktor vznikl z úvahy, že má-li huminová kyselina 58 % uhlíku je třeba zjistit, kolik huminové kyseliny (tedy humusu) odpovídá celkovému 100 % obsahu uhlíku, tedy:

$$100 : 58 = 1,724$$

Zcela bezdůvodně se přepočítává obsah C_{ox} na humus násobením faktoru 1,724. Je to ale nesmysl, jelikož humusové kyseliny jsou rozdílné a můžeme je členit na huminové kyseliny a fulvokyseliny. Veškerý C_{ox} organické hmoty v půdě patří kromě humusu také nezhumifikované, primární organické půdní hmotě, tedy rozloženým a nerozloženým kořenům, kořenovým vláskům, exudátům, posklizňovým rostlinným zbytkům, opadu listů, organickým hnojivům a odumřelým mikroorganismům i makroorganismům. Jaký je podíl humusu v tomto rozdělení C_{ox} mezi humusem a primární organickou půdní hmotou zjistíme z tzv. stupně humifikace“, označovaném SH. Je to podíl C_{ox} huminových kyselin a fulvokyselin, dělený celkovým půdním C_{ox} . Zlomek se násobí 100, aby údaj stupně humifikace vyjadřoval množství humusu v procentech celkové půdní organické hmoty:

$$SH = \frac{(C_{ox} \text{ HK} + C_{ox} \text{ FK})}{C_{ox} \text{ celkový}} \cdot 100$$

Stupeň humifikace je podle kvality půdy a hlavně v závislosti na rostlinách, které jsou na dané půdě pěstovány, velmi rozdílný. Pohybuje v mezích 5-40 % to znamená, že primární organická hmota je v půdě oproti humusu v převaze. A to z

toho důvodu, že organická hmota v půdě snadno mineralizuje, mnohem méně humifikuje a v organicky nehnojené půdě se stále doplňuje. I v ladem ležící půdě je život a rostou rostliny, jejichž kořeny odumírají, listy opadávají, žijí a umírají mikroorganismy a makroorganismy.

Jestliže pěstujeme na půdě rostliny, které mají velké kořenové baly a kořeny do hloubky takové rostliny vylučují mnoho jednodušších organických látek, tzv. „exudáty“, např. víceleté pícniny jako je jetel, vojtěška, potom se obvykle dostává do půdy nová primární organická hmota a takovou půdu vůbec není nutno hnojit organickými hnojivy (Stevenson 1994).

Z předcházející strany je zřejmé, že přepočítávat C_{ox} hypotetický humus faktorem 1,724 je nesmysl. Ale ještě v roce 2004 vydalo Ministerstvo životního prostřední ČR publikaci „Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR“, kde se stále nerozeznává rozdíl mezi humusem a organickou hmotou v půdě a doporučuje se zde počítat obsah humusu C_{ox} násobením faktorem 1,724.

2.9. Kvalitativní znaky humusu

U humusu se očekává splnění více cílů. Humus by měl vést k vysokým hodnotám iontovýměnné kapacity, z důvodu pružného živinného režimu pro rostliny.

Rentabilita rostlinné výroby vyžaduje dosažení vysokých výnosů a proto jsou nutné poměrně vysoké dávky živin při hnojení. Cena moderních hnojiv stále stoupá a ztráty živin vyplavením je nutno omezit (Sotáková 1982).

Úrodné půdy vyžadují rovnováhu mezi vzduchem a vodou v půdě, dobrou strukturu, příznivé technologické vlastnosti, aby např. vysoký orební odpor nás nenutil používat stále silnější a těžší stroje, které z polí tvoří utužené silnice. Je požadovaná kvalita humusu, působící na zlepšení fyzikálních a technologických vlastností půdy a zlepšení vodně-vzdušného režimu půd. Humus, který potřebujeme v půdě pro optimální iontovou výměnu je odlišný od humusu, tvořící s minerální půdní frakcí humuso - jílovité komplexy, samovolně regenerující s účinkem vlastních elektrických nábojů (Váchalová 2014, Kolář 2015).

Moderní stanovení kvality humusu je dnes založeno na dvou metodách:

- pomocí frakcionace roztoku izolovaných huminových kyselin na frakce, které jsou intervaly relativní molekulové hmotnosti gelovou chromatografií. Jedná se o metodu určení poměru procentického podílu uhlíku v těchto frakcích (Baldock 2007, Banu 2004).

Tab. 1: rozdělení huminových kyselin na frakce dle zastoupení uhlíku

Frakce	Relativní molekulová hmotnost	%
1	do 100 000	18
2	100 000- 150 000	47
3	150 000-300 000	28
4	nad 300 000	7

Ve výše uvedené tabulce byly huminové kyseliny rozděleny na 4 frakce a podle zastoupení jejich uhlíku je procentické zastoupení huminových kyselin ve frakcích. Je zřejmé, že huminové kyseliny daného půdního vzorku obsahují většinou huminové kyseliny nižší. Jsou to tedy huminové kyseliny relativně mladší, velmi reaktivní (s relativní molekulovou hmotností se snižuje reaktivita) a lze je považovat pro iontovou výměnu za vysoce kvalitní (Lai 2004).

- metoda stanovení kvality humusu pomocí sledování ionto výměnné kapacity původního půdního vzorku a vzorku, ve kterém byla organická půdní hmota spálena peroxidem vodíku (Hraško 1980).

2.10. Kvalita humusu pro omezení ztrát živin z půdy vyplavením

Jde v podstatě o humus, který je maximálně účinný v iontové výměně v půdě. K tomu jsou ideální vysoce reaktivní mladší huminové kyseliny, jejichž jádra koloidních micel mají vysoký elektrochemický potenciál.

Potom jsou schopny poutat a také vyměňovat značné množství iontů na jednotku své hmotnosti. Půda, která tyto huminové kyseliny obsahuje, má vysokou hodnotu (Kozák 2008).

2.11 Kvalita humusu pro zlepšení fyz. a technologických vlastností půdy

Huminové kyseliny, které jsou maximálně účinné při iontové výměně, mohou fungovat buď ve vazbě na minerální koloidní částice, nebo bez vazby na minerální koloidní částice a to úplně samostatně.

Pro zlepšení fyzikálních a technologických vlastností půdy včetně rovnováhy vodně-vzdušného režimu je nutné spojení minerálních a humusových koloidů. Samostatně operující huminové kyseliny jsou k tomuto cíli v podstatě nepotřebné. Samozřejmě, že je nutno mít v půdě huminové kyseliny, které mají vysoce aktivní povrchy, ale současně je zapotřebí mít i velké molekuly, u nichž pravděpodobnost vzniku spojení záporně nabitých jílových a záporně nabitých humusových částic je vysoká. Můžeme si položit otázku jak může dojít ke spojení dvou stejně elektricky nabitých částic? U kulové částice s homogenním elektrickým polem by to možné nebylo. Ale u částice jiné než kulové, se soustřeďuje elektrický náboj na místech s nejmenším poloměrem křivosti - na výstupcích a na rozích. Místa, která jsou plochá jsou místa méně záporná, tedy relativně kladná. Na těchto bázích záporně nabitých minerálních koloidních – jílovitých částic se usazují koloidní částice humusové, také záporně nabitá. Pravděpodobnost přiblížení výstupkových a bázových míst je pochopitelně vyšší u větších molekulových celků, tedy u polymerů a polykondenzátů.

Proto pro zlepšení fyzikálních vlastností půdy mají největší význam a jsou tedy nejkvalitnější huminové kyseliny s vyšší relativní molekulovou hmotností. Jedná se o huminové kyseliny zhruba střední a vyšší relativní molekulové hmotnosti (Kolář 2016).

2.12. Kvalita humusu pro odolnost půdy proti mechanickému utužení

Je-li povrch půdy mechanicky enormně přetížen, může dojít v podstatě k dvěma krajním možným změnám, s množstvím mezistupňů:

- půdní agregáty se rozdrťí, půdní částice se tlakem zdeformují a trvale stlačí. Následuje utužení a půda reaguje jako cihlářská hlína nebo beton. Voda a vzduch přes stlačenou vrstvu nemůžou.
- půda stlačí organominerální agregáty, složené z koloidní jílové frakce a velkých molekul huminových kyselin, následuje deformace a tato deformace je neslučitelná s rovnovážnými elektrostatickými silami každé jednotlivé organominerální částice. Jakmile kritické zatížení pomine, snaží se každá organominerální částice dostat do původního, elektricky normálního, rovnovážného stavu. Půda je pružná a zpozdolna se vrací do původního stavu (Gleixner 2002).

Otázka zní, které huminové kyseliny vytváří stálé, deformovatelné a pružné organominerální částice s koloidní minerální frakcí? Bohužel jsou to úplně jiné huminové kyseliny než ty, které jsou cenné z hlediska iontové výměny. Jedná se o huminové kyseliny, které kdysi ve svém vývoji patřily k středně reaktivním huminovým kyselinám, se střední až vyšší relativní molekulovou hmotností. Tyto huminové kyseliny jsou cenné pro fyzikálně technologické vlastnosti půdy. Jenže jak stárly, zvyšovaly svoji relativní molekulovou hmotnost a ztrácely svoji chemickou reaktivitu, ale už jen ve spojení s jílovitou minerální frakcí. Nyní se jedná o huminové kyseliny s nejvyšší relativní molekulovou hmotností ještě, spolu s huminy a adsorpčními komplexy jílu s huminovými kyselinami (Váchalová 2014, Lai 2004).

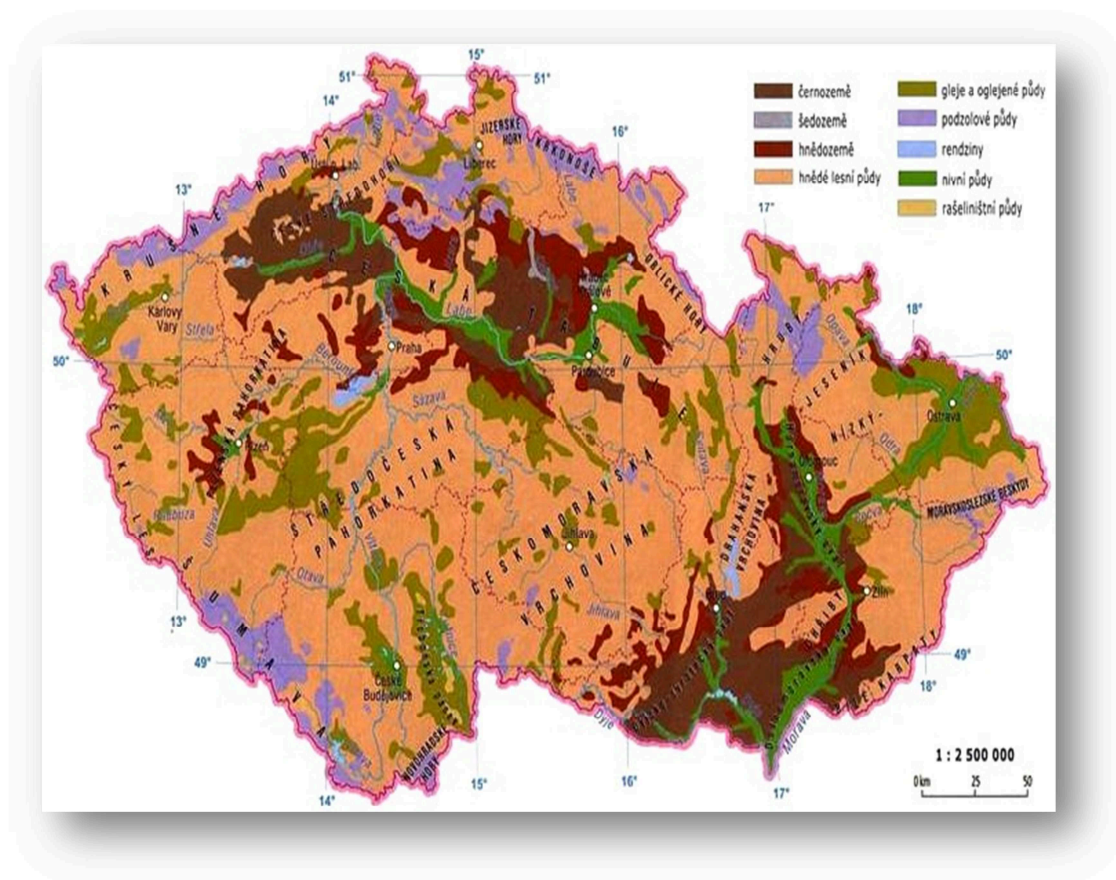
3. CÍL PRÁCE

Potencionální půdní úrodnost významně ovlivňuje aktivitu půdního mikroedafonu, která je závislá na energetickém zdroji a to na primární organické půdní hmotě. O té se ale v půdách v lokalitách jižních Čech neví mnoho, protože dosud se monitoruje pouze C_{ox} , což je společný uhlík primární organické hmoty i humusu. Nic však už není známo o kvalitě primární organické hmoty v typických jihočeských půdách.

Cílem práce bylo stanovit kvalitu a kvantitu primární organické půdní hmoty na typických půdách v lokalitě jižních Čech. Jednalo se o typ půdy kambizem a pseudoglej. V diplomové práci jsem se zaměřila na dvě metody pro určení. A to na metodu oxidimetrickou a metodu přepočtu oxidovatelného uhlíku faktorem 1,724. Z důvodu omezených výzkumných možností se jedná jen o část oblasti mezi Českými Budějovicemi a Třeboní. To je důvodem spíše metodického charakteru mé práce.

4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Půdy na území ČR nevznikají přímo na matečních horninách, ale na zvětralinách, na svahových usazeninách, na spraších a na náplavech údolních řek a potoků. Naším nejúrodnějším půdním typem jsou černozemě, jak dokládá níže uvedená mapa 1. Tento půdní typ se vyskytuje v sušších oblastech na spraších v rovinatém terénu v Polabí, Podohří, Dyjsko-svrateckého, Dolnomoravského a Hornomoravského úvalu. Na černozemě navazují méně úrodné hnědozemě či šedozemě. Jedná se hlavně o přechodové oblasti rovin do mírných pahorkatin. Nejrozšířenějším půdním typem na našem území jsou hnědé lesní půdy.



Mapa 1: výskyt půdních typů v České republice (www.mendelu.cz)

Objevují se v nadmořských výškách do 700 metrů pahorkatiny až vrchoviny. V oblastech s vysokou hladinou podzemní vody vznikají tzv. glejové či oglejené půdy. typickými oblastmi jsou pánve v jižních Čechách, na Ostravsku či Sokolovsku. Vyskytují se i na Brdské vrchovině.

4.1. Materiály a metody

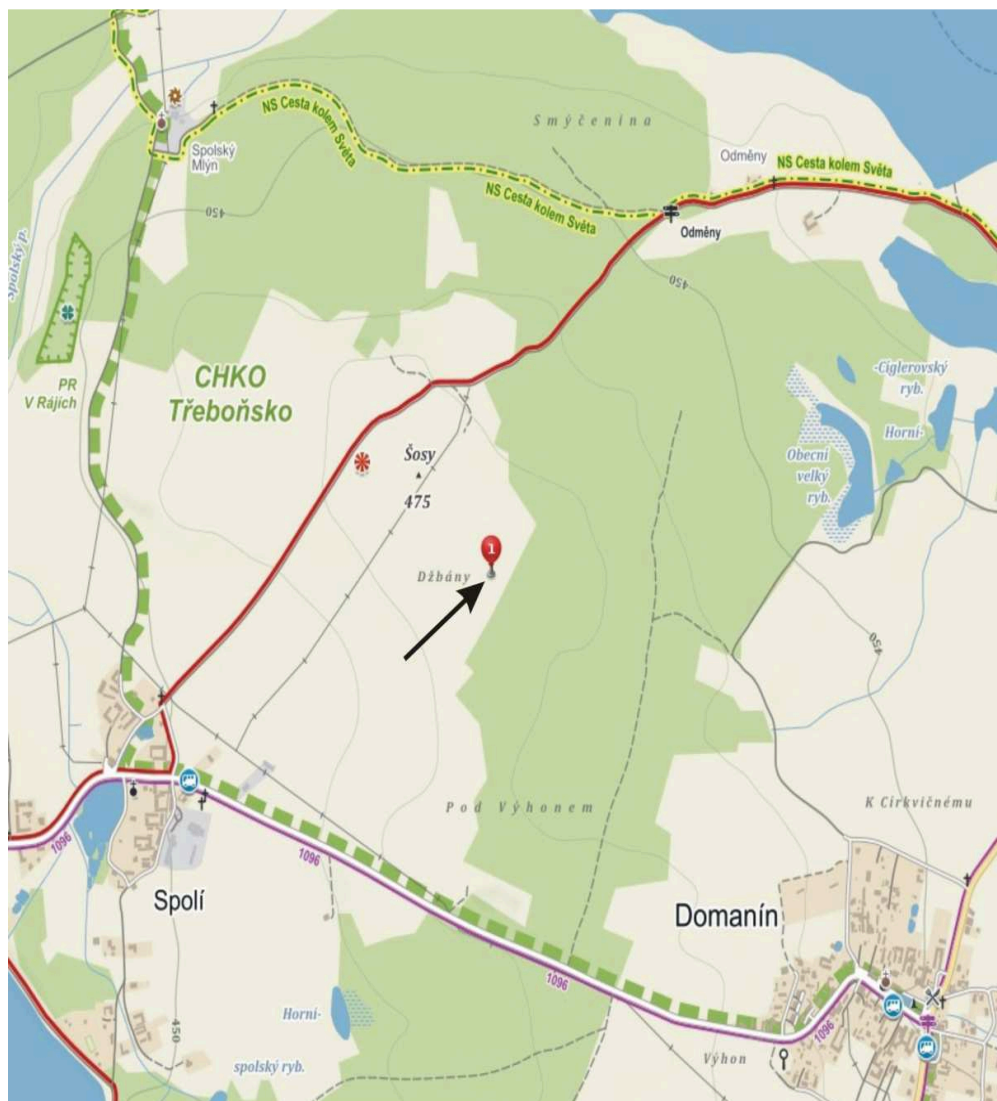
Byly odebrány tři vzorky půd nacházející se v lokalitě Třeboňska v jižních Čechách. Vzorek číslo 1. kambizem modální byl odebrán v lokalitě Džbány, severozápadním směrem od obce Domanín (viz. mapa číslo 2) , vzorek číslo 2. kambizem kyselá v lokalitě severovýchodně od obce Mladošovice (viz. mapa č. 3) vzorek číslo 3. v lokalitě severně od obce Dvorce, (viz. mapa číslo 4) v tomto případě se jednalo o pseudoglej bystrický.

Horizont H charakteru A je uveden proto, že tyto odběry se týkaly nezemědělské půdy a v minulosti se v dané oblasti nevyskytovala orná půda. Další horizont typu Bm je výrazně mramorovaný redoximorfni horizont, s typickými rezavými difusními konkracemi.

U jednotlivých odběrů jsem měla určit varietu, tzn. odebrat vzorky od povrchu půdy do hloubky 25 cm vyjadřující se méně výrazné znaky hydroformismu a měla určit subvarietu tj, minerální sílu substrátů a nasycenost sorpčního komplexu. Tuto část zadání jsem provést nemohla, protože úkol vyžaduje spolupráci pedologické laboratoře. Ta na mateřské katedře není a finanční prostředky na analýzu ve VÚMOP Zbraslav se nepodařilo opatřit. Z tohoto důvodu byla zvolena k určení kvality a kvantity primární organické půdní hmoty oxidimetrická metoda a jako metoda pro srovnání obsahu humusu v půdní organické hmotě byla zvolena metoda klasického výpočtu množství obsahu humusu - metoda přepočtu oxidovatelného uhlíku faktorem 1,724.

Název a oblast výskytu odebraných vzorků

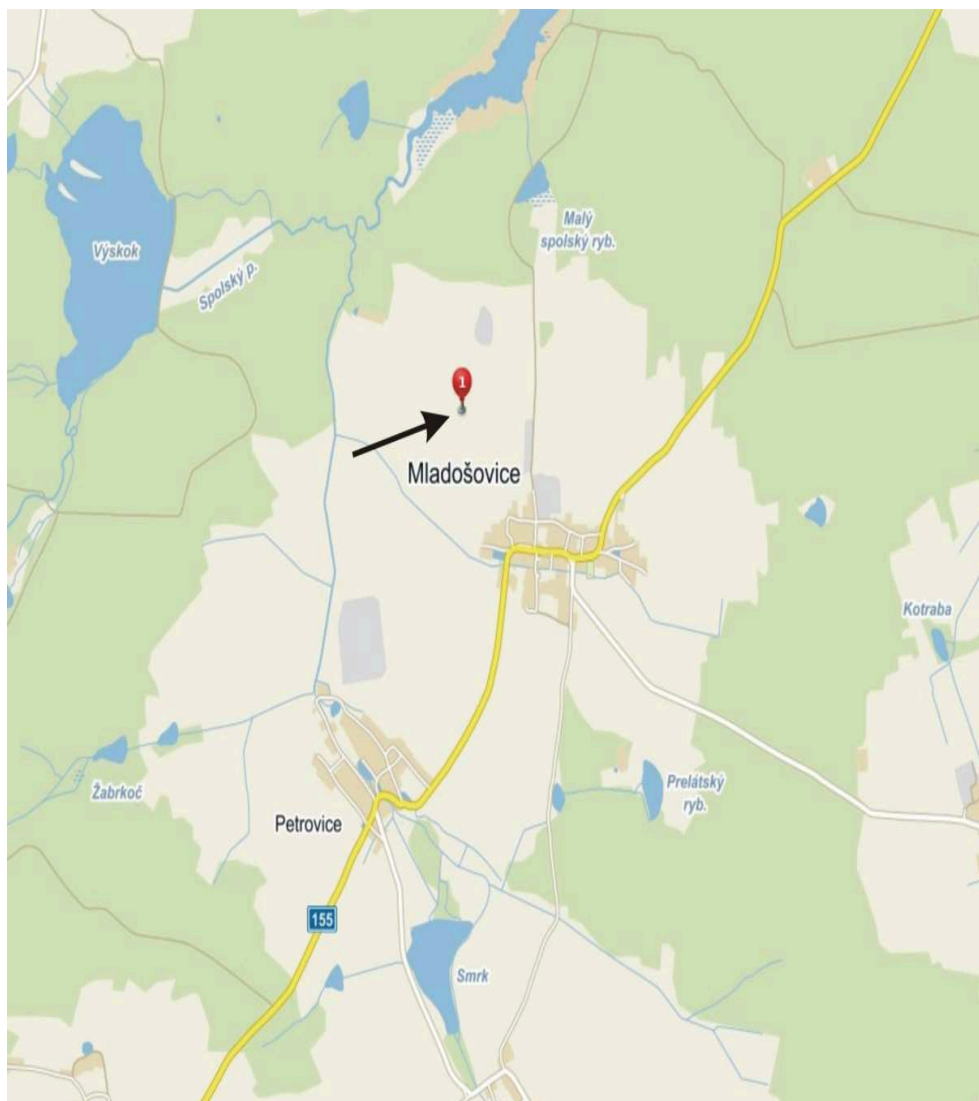
1. Kambizem modální - lokalita Džbány (severozápadně od obce Domanín)



Mapa 2: lokalizace odběrového místa Džbány (zdroj: www.mapy.cz)

V lokalitě Džbány jsem odebrala půdní typ kambizem modální. Vyskytuje se v mírném humidním klimatickém pásmu v členitém terénu přechodového pásu listnatého lesa. Místo odběru se vyznačuje kambickým hnědým metamorfovaným horizontem bez jílových povlaků. Vzorek zaujímá půdní profil horizontu O (Ah, Ap) a Bv až k hranici C. Jedná se o vzorek s tmavě hnědou hlinitou zrnitostí.

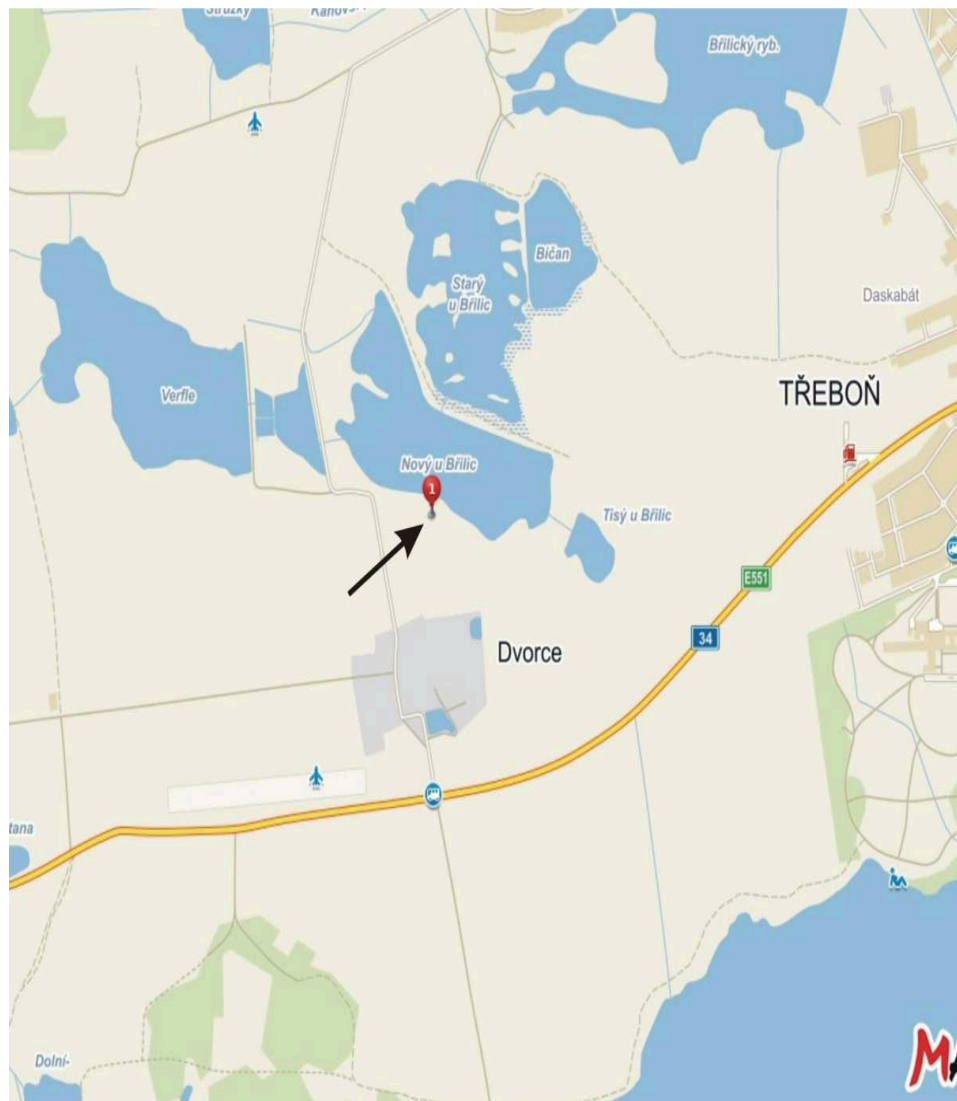
2. Kambizem kyselá – lokalita severovýchodně od obce Mladošovice



Mapa 3: lokalizace odběrového místa Mladošovice (zdroj: www.mapy.cz)

V lokalitě Mladošovice jsem odebrala půdní typ kambizem kyselou. Je to půdní typ v této oblasti nejrozšířenější. Jedná se o půdu s kambickým hnědým horizontem a skeletovitostí s výrazným profilovým zvrstvením a zrnitostí. Místo odběru se vyznačuje svažitém terénem. Vzorek zaujímavý půdní profil horizontu O (Ah, Ap) a Bv k hranici C (půdotvorný substrát předkvarterní nekarbonátový písek.)

3. Pseudoglej dystrický - lokalita oblasti severně od obce Dvorce



Mapa 4 : lokalizace odběrového místa Džbány (zdroj:www.mapy.cz)

V lokalitě severně od obce Dvorce byl odebrán vzorek půdního typu pseudoglej dystrický. Jedná se o oblast periodicky se opakujícího převlhčování a vysušování půdního profilu oxidace železa. Díky tomu má půda výrazné skvrny, pruhy a mramorování. Vzorek zaujímá půdní profil horizontu O (hydrogenní horizont nadložního humusu a organominerální povrchový horizont humozně orniční, předkvarterní zahliněný písek nekarbonátový).

Postup zpracování

Půdní vzorky z výše uvedených lokalit byly odebrány v rámci 4 lokálních odběrů. Jednotlivé půdní vzorky byly převezeny do laboratoře, rozprostřeny do tenké vrstvy 15 mm a přirozeně sušeny na vzduchu. Následně byly rozmělněny a zpracovány metodou nazvanou kvartování. Jedná se o metodu, kdy jsou jednotlivé vzorky rozloženy do tvaru čtverce a dvěma úhlopříčnými liniemi rozděleny na čtvrtiny. Dále byly odstraněny dvě části v protilehlých rozích půdních vzorků a ze zbylých dvou čtvrtin se vyjme větší části skeletu, rostlinné a živočišné zbytky. Následně se půdní vzorky prosely pomocí síta s velikostí ok 2 mm. Takto upravené vzorky byly připraveny k analýze.

Zvolení metod určení obsahu uhlíku v humusu

V zadání diplomové práce jsem měla určit kvalitu a kvantitu primární organické půdní hmoty dle tříd metodou Chana (2001). Tato metoda vyžaduje celkově značně zdlouhavé laboratorní činnosti a dostatek laboratorního vybavení. Z tohoto důvodu byla zvolena metoda oxidimetrická a pro porovnání právnosti výsledku metoda přepočtu oxidovatelného uhlíku faktorem 1,724.

A. metoda oxidimetrická

Vedoucí diplomové práce navrhl novou metodu, kterou pracovníci katedry poprvé publikovali na mezinárodní pedologické konferenci na Mendelově univerzitě v Brně (Kopecký 2015). Jedná se o metodu oxidimetrickou, kdy se měří oxidace C půdních vzorků v opakujících se cyklech. Tato činnost se provádí vícenásobně za sebou s různě silnými roztoky oxidovadla. Největší předností této metody je její jednoduchost před jinými velmi pracnými a náročnými analýzami k stanovení složek půdní organické hmoty. Princip metody je, že oxidovadlo 0,07 MK₂Cr₂O₇ v 12 M H₂SO₄ při 100° C v časovém rozmezí 45 minut zoxiduje všechny organické půdní látky kromě humusu, humusového uhlí a ligninu. Jelikož humusového uhlí a ligninu obsahují půdy velice málo, je možná výsledná chyba

zanedbatelná. Výsledkem je úbytek C ve vzorku po mírné oxidaci množství primární organické hmoty. Provádí-li se tato oxidace postupně při teplotě 60° C a měří se doba mezi jednotlivými odběry, lze ze závislosti úbytku C na době v minutách určit rychlostní konstantu oxidace, která je mírou lability primární organické půdní hmoty ve vzorku. Provedeme - li pak stejně oxidaci roztoku 0,27M K₂Cr₂O₇ v koncovém H₂SO₄ při 135° C za 30 minut (metoda ISO DIS 14235) zoxiduje se celkový vzorek primární organické hmoty i humusu. Odečteme-li od analytického výsledku uhlík primární organické půdní hmoty, získáme údaj o obsahu uhlíku v humusu. Podrobný popis analytického postupu výpočet a hodnocení nalezneme v metodice Kopeckého (2015). Matematicko-statistické hodnocení výsledků: všechny analýzy byly 4x opakovány. Interval spolehlivosti průměru \bar{x} byl počítán z rozpětí R, tj. rozdílem největšího a nejmenšího výsledku podle vzorku (Eckschlager 1980):

$$\bar{x} \pm K_u \cdot R$$

K_u je koeficient odvozený Deanem a Dixonem (2015) pro zvolenou pravděpodobnost danou koeficientem spolehlivosti (1-2) v hodnotě 0,95. Postup je vhodný pro malý počet opakovaných analýz.

B. metoda přepočtu faktorem 1,724

Tato metoda spočívá v přepočtu oxidovatelného uhlíku faktorem 1,724 tedy:

$$100 : 58 = 1,724$$

za předpokladu, že vorky odebraných půd obsahovali 58 % uhlíku a že huminová je jen jedna. Celkový obsah C_{ox} v půdě se přepočtl násobícím faktorem 1,724 z důvodu, že má - li huminová kyselina 58 % uhlíku bylo třeba zjistit, kolik huminové kyseliny (tedy humusu) odpovídalo celkovému 100 % obsahu uhlíku.

4.2. Výsledky a diskuse

A. metoda oxidimetrická

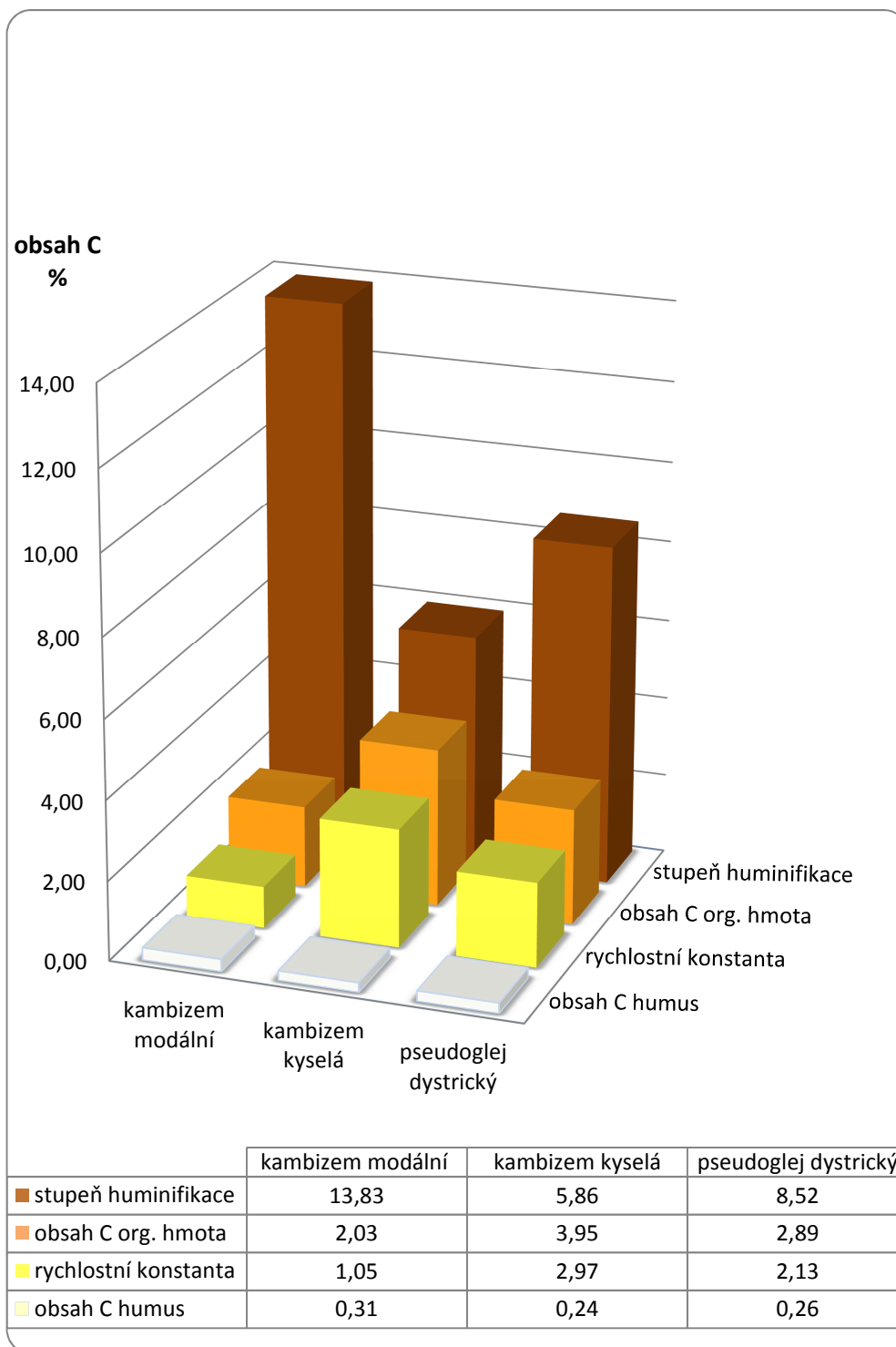
Zástupci všech 3 genetických půdních typů západní části třeboňska jsou z hlediska kvantity a kvality půdní organické hmoty půdy podle metody oxidimetrické hodnoceny poměrně velmi špatně.

Tab. 2: obsah uhlíku a stupeň huminifikace prim. organické hmoty u vzorků půd

Označení vzorku	Klasifikace (Němeček)	Obsah C půdní org. hmota (%)	Obsah C humus (%)	Rychlostní konstanta oxidace K (min)	Stupeň huminifikace půdní org. hmota (%)
1.	Kambizem modální	2,03 ± 0,11	0,31± 0,05	1,05± 0,14	13,83
2.	Kambizem silně kyselá	3,95 ± 0,15	0,24± 0,03	2,97± 0,25	5,86
3.	Pseudoglej dystrický	2,89 ± 0,12	0,26± 0,06	2,13± 0,22	8,52

Všechny mají velmi úzký stupeň huminifikace půdní organické hmoty, nejsilněji u kambizemě modální, kde stupeň huminifikace dosahuje 13,83 % ačkoliv u genetického půdního typu v daných klimatických a půdních podmínkách bychom mohli očekávat hodnotu tohoto kritéria v rozmezí 20 - 40 %.

U ostatních půdních vzorků je stupeň huminifikace ještě podstatně užší. Kambizem silně kyselá obsahuje stupeň huminifikace v daných klimatických a půdních podmínkách 5,86 % a pseudoglej dystrický 8,52 %.

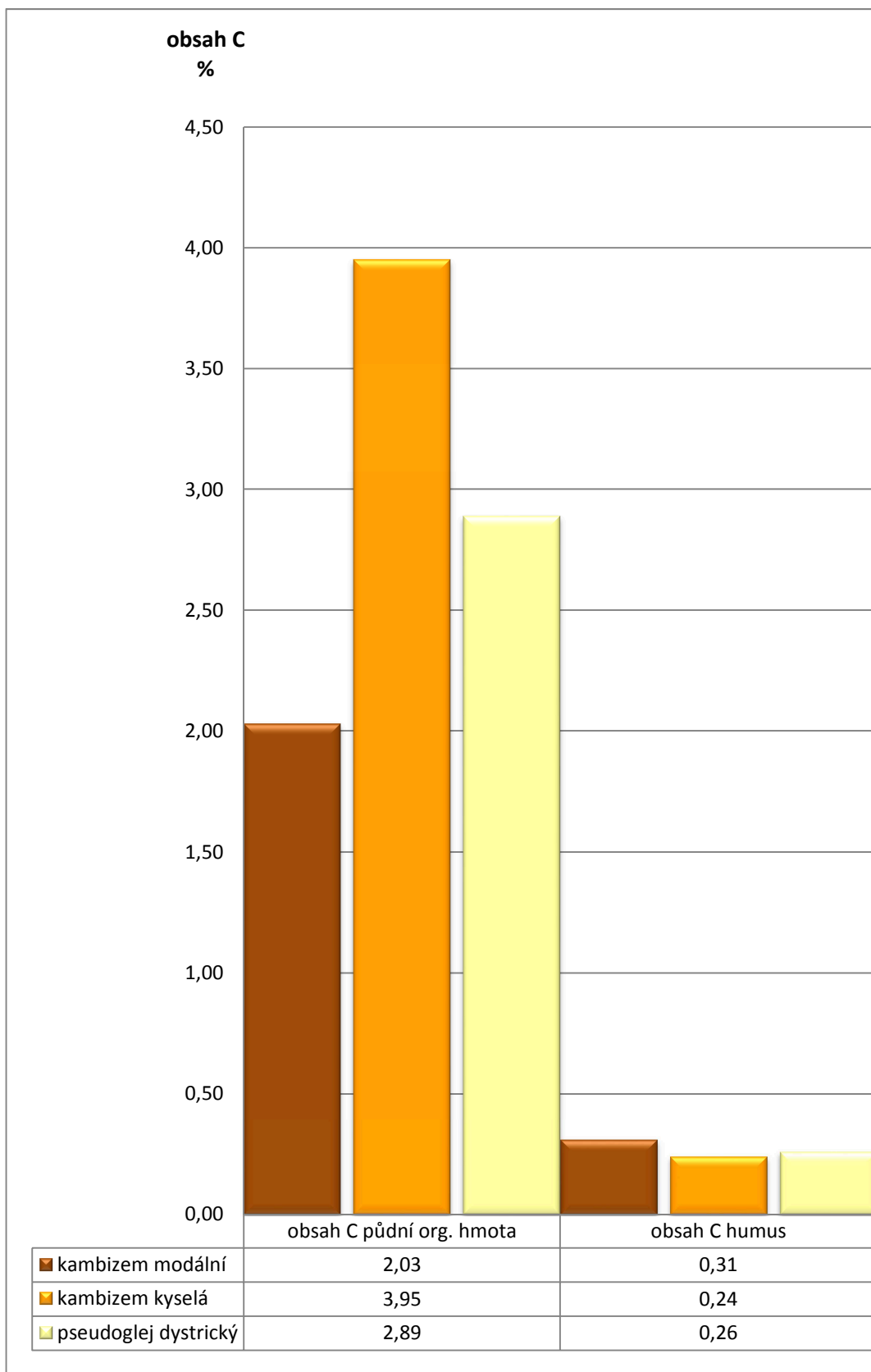


Graf 1: zhodnocení výsledných hodnot dle metody A- metoda oxidimetrická

Uhlík primární organické hmoty je nejvyšší u vzorku kambizemě kyselé, zde dosáhla destrukční účinnost kyselé půdní reakce takové úrovně, že potlačila i odolnější mikroorganismy. Primární organická hmota se v této silně kyselé kambizemi hromadí, protože nedochází k jejímu úbytku nejen procesem

humifikace, ale dokonce ani procesem mineralizace. U této půdy dochází vinou vysoké kyselosti k podvázání huminifikačních procesů, což ničí aktivitu mikroorganismů podílejících se na syntéze vysokomolekulárních látek humusu mnohem více než mikroorganismů, které svými enzymy oxidují organickou hmotu v procesu mineralizace v půdě.

Rychlostní konstanta oxidace organických půdních látek je u všech testovaných půd poměrně vysoká. To prozrazuje nejen málo stabilních organických látek například humusu, ale i transformaci primární organické hmoty, která, díky nesourodosti složení hromadí labilní organické složky. Vzniká tak velká potenciální rezerva pro mineralizaci. Tyto půdy nejsou schopny držet živiny, jelikož nemají dostatek humusu. Tím nejsou schopny energií zásobit půdní mikroedafon a jsou hodnoceny jako půdy neúrodné.



Graf 2 : analýza obsahu uhlíku v půdní org. hmotě a humusu u testovaných půd

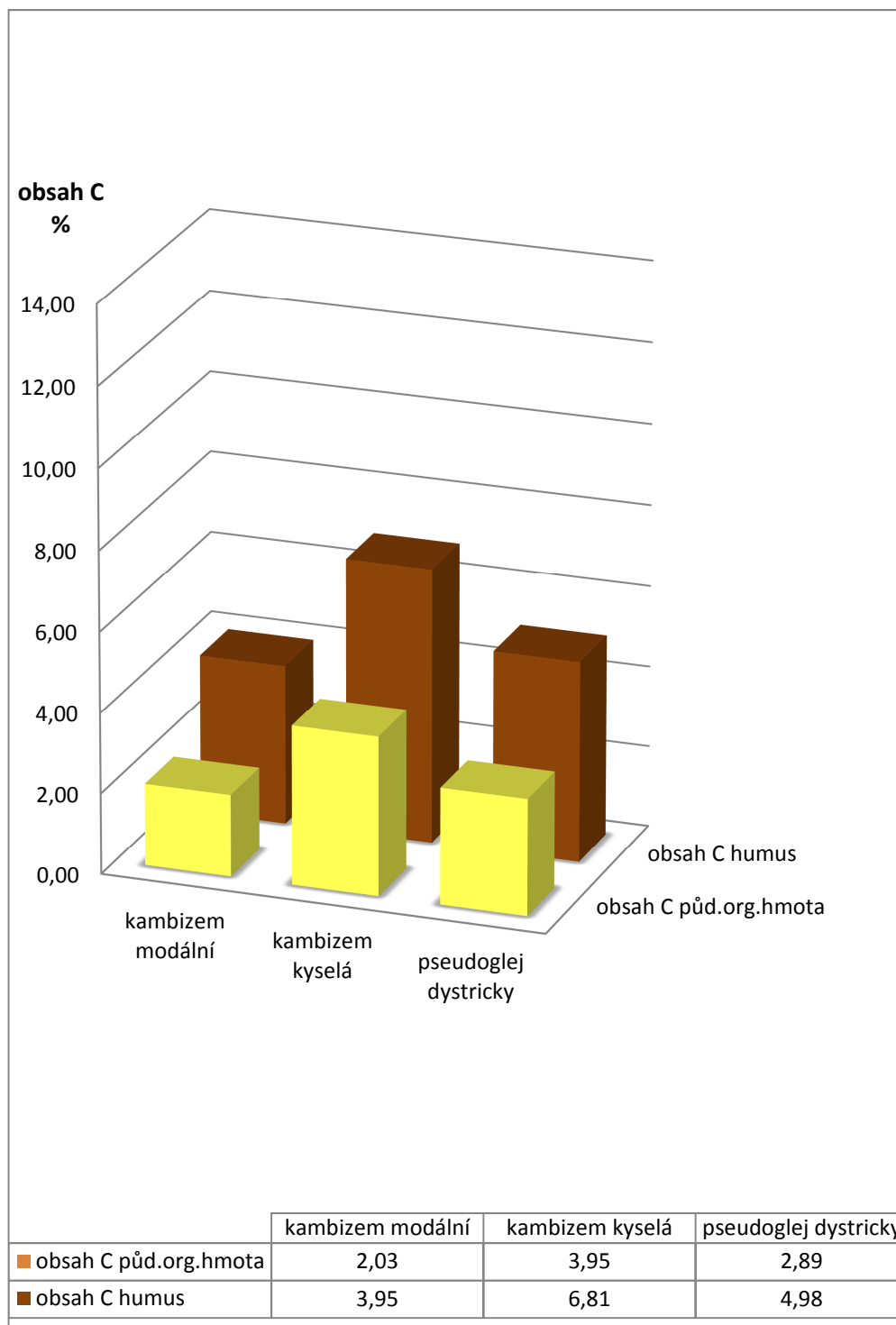
B. metoda přepočtu oxidovatelného uhlíku faktorem 1,724

Výsledná tabulka neobsahuje sloupec rychlostní konstanty oxidace K a stupeň humifikace půdní organické hmoty jelikož tyto údaje nelze u metody B přepočtu oxidovatelného uhlíku faktorem 1,724 určit a to z důvodu, že C_{ox} faktor 1,724 přepočítává všechny půdní uhlík na humus. Předpokládá se, že stupeň humifikace půdní organické hmoty je celkově 100 %.

Tab. 3: obsah humusu podle klasického způsobu výpočtu u vzorků půd

Označení vzorku	Klasifikace (Němeček)	Obsah C půdní org. hmota (%)	Obsah C humus (%)
1.	Kambizem modální	2,03 ± 0,11	3,50
2.	Kambizem silně kyselá	3,95 ± 0,15	6,81
3.	Pseudoglej dystrický	2,89 ± 0,12	4,98

Veškerá organická hmota v půdě však není humusem. Z tohoto důvodu nám metoda přepočtu oxidovatelného uhlíku faktorem 1,724 poskytuje značně nepřesné a mylné informace a při použití metody přepočtu obsahu uhlíku na humus koeficientem 1,724 jsme došli k značně rozdílným a nepravdivým závěrům oproti použití metody oxidimetrické.



Graf 3: zhodnocení výsledných hodnot dle metody B. přepočít faktorem 1,724

Nejlépe byla vyhodnocena kambizem silně kyselá, která obsahovala 3,95 % uhlíku v půdní organické hmotě a 6,81 % uhlíku v humusu. Nejhůře byla vyhodnocena kambizem modální, obsahovala 2,03 % uhlíku v půdní organické hmotě a 3,95 % uhlíku v humusu.

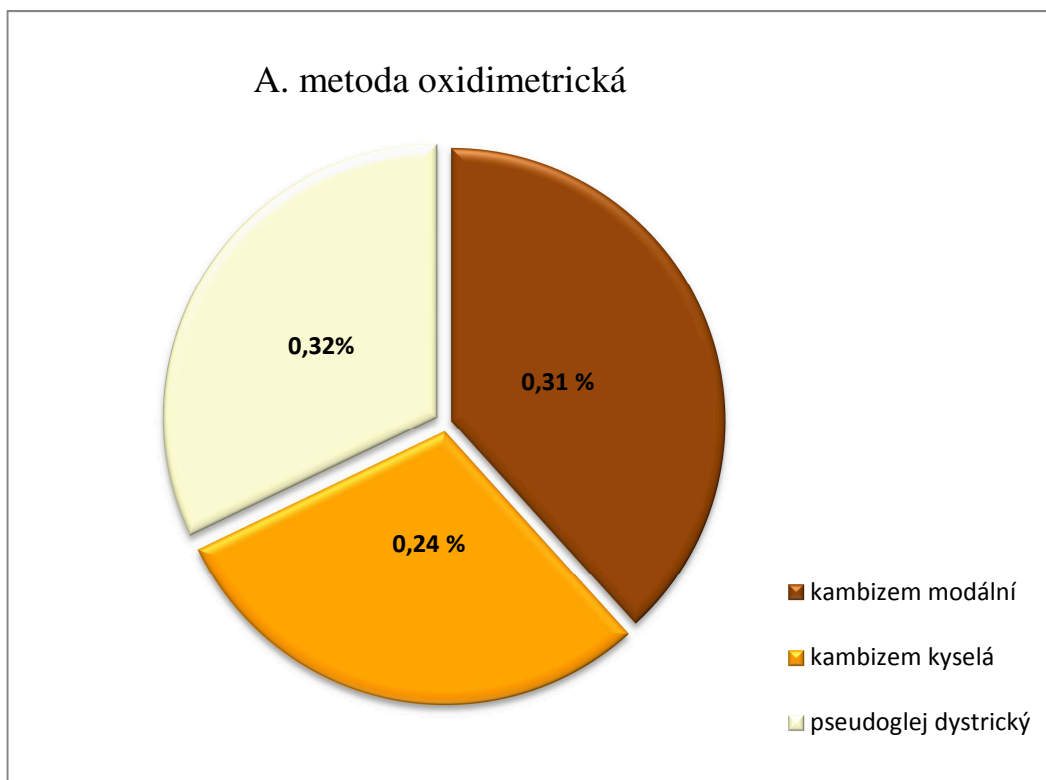
Výsledné zhodnocení metod

Při celkovém zhodnocení obou metod ohledně zjištění skutečného množství obsahu humusu v půdní organické hmotě jsou patrné značné rozpory a nesrovnalosti.

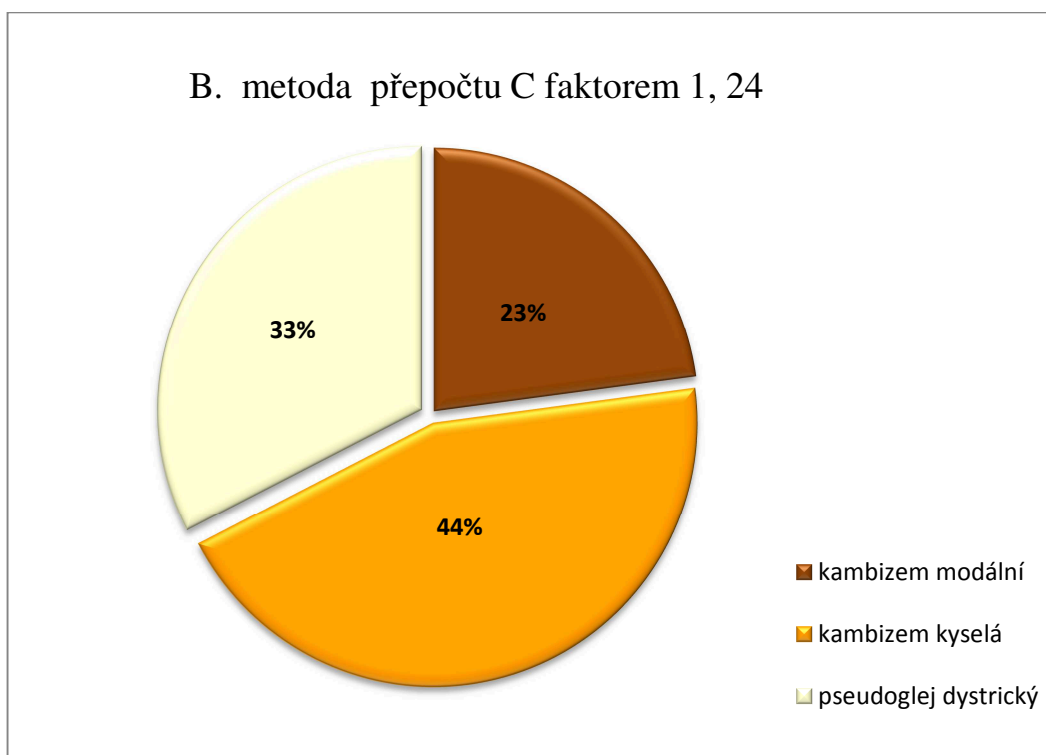
Tab. 4: výsledné zhodnocení metody A, metody B.

Označení vzorku	Klasifikace (Němeček)	Metoda A celkový obsah humusu (%)	Metoda B celkový obsah humusu (%)
1.	Kambizem modální	0,31	3,50
2.	Kambizem silně kyselá	0,24	6,81
3.	Pseudoglej dystrický	0,26	4,98

V současné době je v některých příručkách a učebnicích stále přepočítáván veškerý C_{ox} na humus faktorem 1,724 a je tato metoda doporučována. Tato diplomová práce ukazuje na značné rozdíly a zkreslení při používání této metody ohledně hodnocení úrodnosti půd. Jako srovnávací metoda byla zvolena metoda oxidimetrická.



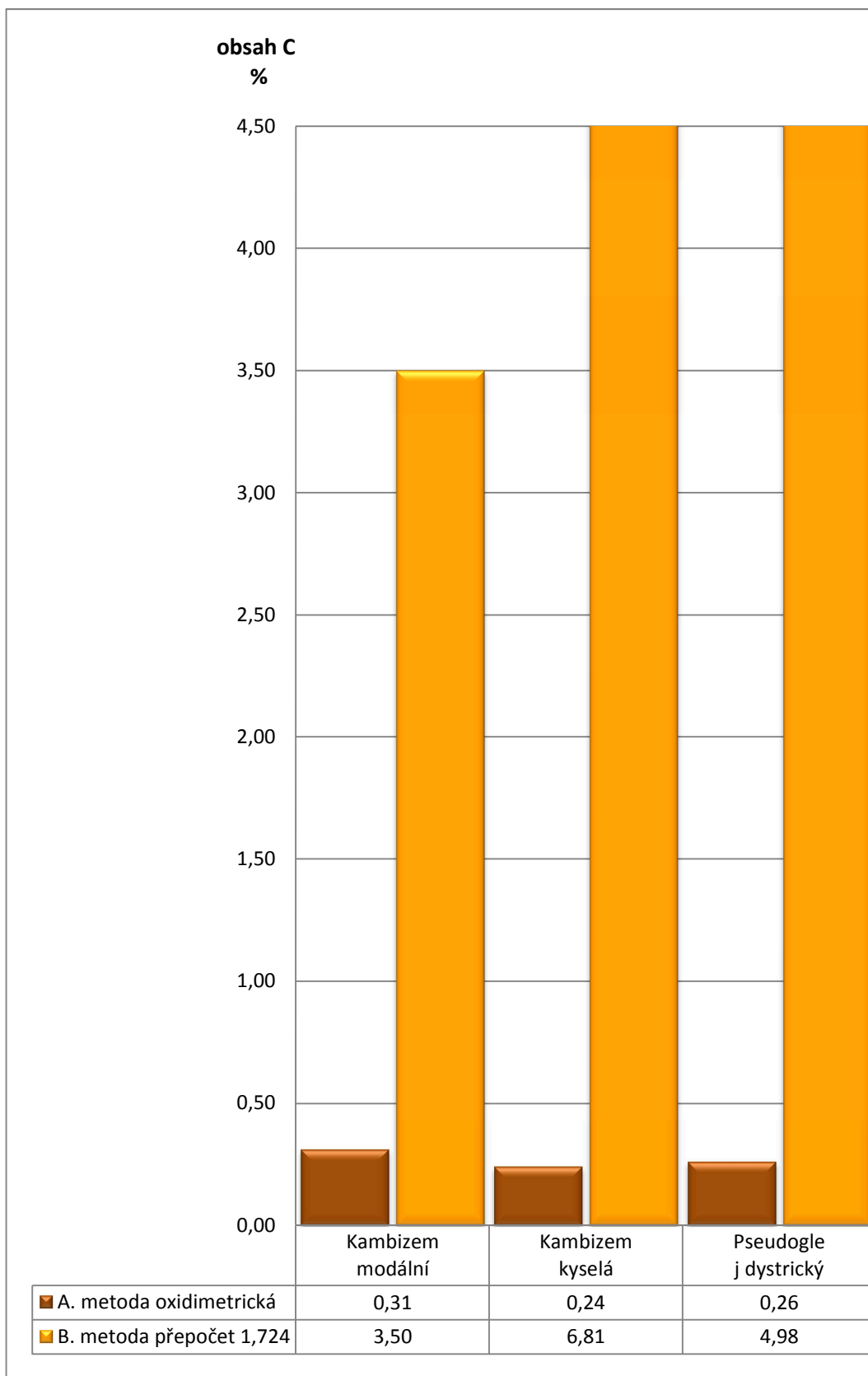
Graf 4 : celkový obsah C v humusu metoda oxidimetrická



Graf 5 : celkový obsah C v humusu přepočtu faktorem 1,24

Při použití metody oxidimetrické, byl obsah uhlíku v humusu u kambizemě modální vyčíslen hodnotou 0,31 %. Tato půda by byla vyhodnocena jako půda nejméně úrodná. Při použití dosavadního způsobu hodnocení obsahu humusu v půdní organické hmotě založeném na přepočtu oxidovatelného uhlíku Co_x faktorem 1,724 bychom však došli k závěru, že vzorek kambizemě modální by obsahoval 3,50 % humusu. Další nesrovnalost byla zjištěna u půdy kambizemě silně kyselé. Paradoxem je skutečnost, že tento vzorek půdy bycho hodnotili jako jeden z nejlepších, při použití dosud platné metody B tj. přepočtem Co_x faktorem 1,724. V takovém případě by vzorek obsahoval 6,81 % humusu a byl hodnocen jako půda humusem výborně zásobená, ačkoli je skutečný obsah humusu jen 0,24 %. Je to i logické, že tento druh půdy nemůže být tak úrodný, jelikož z výsledků praxe víme, že kambizemě silně kyselé půdami úrodnými nejsou. Mají úzký stupeň PH a tím omezenou aktivitu půdního mikroedafonu. Půdní vzorek pseudoglej dystrický byl metodou oxidimetrickou vyhodnocen jako půda s obsahem humusu 0,26 %, ačkoli v případě použití metody přepočtu oxidovatelného uhlíku faktorem Co_x 1,724 by tato hodnota činila 4,98 %.

V diplomové práci jsem sledovala vzorky zemědělsky nevyužívaných půd. Je nutno doufat, že tak špatné výsledky bychom nenalezli na půdách zemědělsky využívaných. To už ale nejsou jasně charakterizované půdní typy smíšené. Částečně jsou to už antroposoly, tedy kultizem, antozem čili půdní typy přetvořené kultivací a lidskou činností. Bude-li snaha tyto půdy zemědělsky využít je nutno půdy vyvápnit. To by mělo za následek bouřlivou mineralizaci nahromaděné primární půdní organické hmoty a do vzduchu by uniklo mnoho CO_2 (skleníkový plyn). Tím by se uvolnila spousta minerálního dusíku z organické hmoty a zvýšil by se obsah nitrátů.



Graf 6 : výsledné zhodnocení metod obsahu uhlíku v humusu testovaných půd

6.ZÁVĚR

Diplomová práce vede k těmto závěrům:

- Dosavadní způsob hodnocení obsahu humusu v půdách založený na přepočtu oxidovatelného uhlíku C_{ox} faktorem 1,724 je nesprávný, nelogický a vede k mylným závěrům. Dle této metody například vyplývá ve všeobecném pohledu, že horské půdy s omezenou transformací půdní organické hmoty z běžných zdrojů jako je opad listí, kořeny, posklizňové zbytky, organická hnojiva mající humusu ve skutečnosti velmi málo jsou dle přepočtu C_{ox} faktorem 1,724 z důvodu vysokého C_{ox} považovány za velmi úrodné.
- Metodika patentu čs. 304 265 umožňuje kvalitativní a kvantitativní hodnocení obsahu humusu a primární organické hmoty.
- Hlavní genetické půdní typy západní části Třeboňska kambizemě a pseudogleje jsou půdy s velmi nízkým stupněm humifikace. Obsah primární organické půdní hmoty je naopak vysoký a její labilita nízká, to znamená, že by se měla snadno rozkládat a být příčinou vysoké potencionální úrodnosti. K tomu však nedochází, protože půdní mikroedafon je zřejmě silně potlačen kyselou půdní reakcí – jinak by se primární půdní organická hmota v půdách nehromadila. Půdy proto požadují extrémně vysoké dávky vápnění.

7. SEZNAM LITERATURY

1. Appuhn A., Joergensen R. G., Raubuch M., Scheller E., Wilke B., 2004: The automated determination of glucosamine, galactosamine, muramic acid, and mannosamine in soil and root hydrolysates by HPCL. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 167: 17-21
2. Baldock J. A., 2007: Composition and cycling of organic carbon in soil, 1-35
In Marschner P., Rengel Z., 2007: *Nutrient cycling in terrestrial ecosystems. Soil Biology*, Vol. 10, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 390 s.
3. Baldock J. A., Masiello C. A., Gélinas Y., Hedges J. I., 2004: Cycling and composition of organic matter in terrestrial and marine ecosystems. *Mar.Chem.*, 92:
4. Baldock J.A.2007: *Composition and cycling of organic carbon in soil.* Springer Berlag Berlin
5. Baldock J. A., Smemik R. J., 2002: Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa (Red pine)* wood. *Org. Geochem.*, 33: 1093:1109
6. Banu N.A., Singh B., Copland L.,2004: Microbial biomass and microbial biodiversity en some soils. *Austr. Journ. Soil Res* 42, 777 – 782
7. Barančíková G., 2008: Application of NMR spectroscopy in studies of organic matter in soil. *Chemické listy*, 102: 1100-1106
8. Blair G. J., Lefroy R. D. B., Lisle L., 1995: Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Aust. J. Agric. Res.*, 46: 1459-1466

9. Burke I.C., Youker C.M., Partou W.J., Cole CV.: Teschure climate and cultivation effects ou soil organic watter. Soil Soc. Am. Jm,53, 1989, 800-805
- 10 Capriel P., 1997: Hydrophobicity of organic matter in arable soils: Influence of management.
11. Eckschlager K., Horsák J., Kodejš Z., 1980: Vyhodnocování analytických výsledků a metod.SNTL Praha, DT 543, 04-610-80, 223 s.
12. Ghani A., Dexter M., Perrott K. W., 2003: Hot-water extractable carbon in soils; a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation Soil
13. Haynes R. J., 2005: Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils. Advances in Agronomy, 85, 85: 221- 268
14. Hraško J., 1980: Rozbory pod. SVPL Bratislava
15. Chan K. Y., Bowman A., A., 2001: Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic Paleustalf under different pasture leys. Soil Sci., 166, 1: 61-67
16. Christensen B. T., 2001: Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter Eur J. Soil Sci., 52: 345-353
17. Gleixner G., Poirier N., Bol N.: Molecular dynamics of organic veather in a cultivated siol. Org. Geochem., 33, 2002, 357-366.
18. Jandák,J, Pokorný, E, Prax, A, 2008 Půdoznalství 2 vydání dotisk, Brno MZLU v Brně, ISBN 978-80-7375-9

19. Jiang P. K., Xu Q. F., 2006: Abundance and dynamics of soil labile carbon pools under different types of forest vegetation *Pedosphere*, 16 (4): 505-511
20. 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*, 128:63-79
21. Kolář L., 2016: Vliv organické hmoty na hospodaření půdy s vláhou a tvorbu hospodářského výnosu zemědělských plodin.
22. Kukuřice v praxi., 2016: Sborník z mezinárodní konference, MZLU Brno, KWS Osiva s.r.o., 2016 : 14-30
23. Kolář L., 2015: Humus a primární organická půdní hmota. Úvodní text z pedologie ZF JČU katedra adroekosystémů : 1-20
24. Kolář L., : Způsob měření množství a kvality půdní organické hmoty. Čs. patent č.304265 ze dne 5.2.25014
25. Kolář L., Ledvina R., Kužel S., Klimeš F., Štindl S., 2006: Soil organic matter and its stability in aerobic and anaerobic conditions. *Soil & Water Res.*, 1, 2: 57-64
26. Kogel-Knabcher L, de Leeuw J. W., Hatcher P. G., 1992: Nature and distribution of alkyl carbon in forest soil profiles: implications for the origin and humification of aliphatic biomacromolecules. *Sci Total Environ*, 117/118: 175 - 185
27. Kogel-Knabcher L, Hatcher P. G., Tegelarr E. W., de Leeuw J. W., 1992: Aliphatic components of forest soil organic matter as determined by solid-state and analytical pyrolysis. *Sci Total Environ*, 113: 89-106

28. Kógel-Knabcher I., 2002: The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.*, 34: 139 - 162
29. Kopecký M., Kolář L., Borová – Batt J., 2015: The new method of determination of the quality of primary soil organic matter and humus. Příspěvek na I. mezinárodní pedologickou konferenci, Mendelova univerzita v Brně
30. Leavitt S. W., Follett R. F., Paul E. A., 1996: Estimation of slow- and fast-cycling soil organic carbon pools from 6 N HCl hydrolysis. *Radiocarbon*, 38: 231-239
31. Marriot E. E., Wander M. M., 2006: Total and labile soil organic matter in organic and conventional farming systems. *Soil Science Society of America Journal*, 70 (3): 950- 959
32. Martens D. A., Loeffelmann K. L., 2002: Improved accounting of carbohydrate carbon from plants and soils. *Soil Biol. Biochem.*, 34: 1393- 1399
33. Martens D. A., Loeffelmann K. L., 2003: Soil amino acid composition quantified by acid hydrolysis and anion chromatography-pulsed amperometry. *J. Agric. Food Chem.*, 51: 6521-6529
34. Němeček J., 2001: Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. ČZU Praha, ISBN 80-238-8061-6, 78 s.
35. Paul E. A., Collins H. P., Leavitt S. W., 2001: Dynamics of resistant soil carbon of Midwestern agricultural soils measured by naturally occurring C. *Geoderma*, 104: 239-256

36. Peng X., Vassallo A. M., Wilson M. A., 1992: Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solid-state C NMR spectroscopy *Biogeochemistry*, 16: 1-42
37. Rethemeyer J., Kramer C., Gleixner G., John B., Yamashita T., Flessa H., Andersen N., Nadeau, M. J., Grootes P. M., 2005: Transformation of organic matter in agricultural soils: radiocarbon concentration versus soil depth. *Geoderma*, 128: 94-105
38. Rovira P., Vallejo V. R., 2000: Examination of thermal and acid hydrolysis procedures in characterization of soil organic matter. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31: 81-100
39. Rovira P., Vallejo V. R., 2002: Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: an acid hydrolysis approach *Geoderma*, 107 (1-2): 109-141
40. Rovira P., Vallejo V. R. 2007: Labile, recalcitrant and inert organic matter in Mediterranean forest soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 39 (1): 202-215
41. Shirato Y., Yokozawa M., 2006: Acid hydrolysis to partition plant material into decomposable and resistant fractions for use in the Rothamsted carbon model. *Soil Biology & Biochemistry*, 38 (4): 812-816
42. Skjemstad J. O., Spouncer L. R., Cowie B., Swift R. S., 2004: Calibration of the Rothamsted organic carbon turnover model (RothC ver. 26.3), using measurable soil organic carbon pools. *Aust. J. Soil Res.*, 42: 79-88
43. Soon Y. K., Arshad M. A., Haq A., Lupwayi N., 2007: The influence of 12 years of tillage and crop rotation on total and labile organic carbon in a sandy loam soil. *Soil & Tillage Research*, 95 (1-2): 38-46

44. Simon T., 2005: Aliphatic compounds, organic C and N and microbial biomass and its activity in long-term field experiments. *Plant, Soil and Environment*, 51: 276-282
45. Simon T., 2007: Quantitative and qualitative characterization of soil organic matter in the long-term fallow experiment with different fertilisation and tillage. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 53: 241-251
46. Stevenson F. J., 1982: *Humus chemistry - genesis, composition, reactions*. New York: Wiley Interscience Publication, 445s.
47. Stevenson F.J., 1994: *Humus chemistry genesis, composition reactions*, New York
48. Soon Y.K., Arshad M.A., Hag A., Lupwayi N.,: The influence of 12 years of tillage and crop rotation on total and labile organic carbon in soils. *Soil, Tillage Research*, 95: 1-2, 38 – 46
49. Sotáková S., 1982: *Organická hmota a úrodnost půdy*. SVPL Bratislava
50. Tirol-Padre A., Ladha J. K., 2004: Assessing the reliability of permanganate-oxidizable carbon as an index of soil labile carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 68, 3: 969-978
51. Váchalová R., Kolář L., Batt J., 2014: Selectivity of ion exchange as a sign of soil quality. *Communications in Soil Science and Plant Analytiss*, 45 (20), 2673-2679
52. Váchalová R., Kolář L., Borová – Batt J., 2014: Measurement of primary soil organic matter and humus. *Bothalia*, 44 (7), 106-116
53. Váchalová R., Kolář L., Horáček J., 2014: Způsob měření množství a

kvality půdní organické hmoty. Patent CZ 304 265 B6, Úřad průmyslového vlastnictví Praha, 5.2.2014.

54. Váchalová R., Kolář L., Muchova Z., 2016: Primární organická půdní hmota a humus, dvě složky půdní organické hmoty. Vědecká monografie, SPU Nitra
55. Vaněk V., Balík J., Pavlíková D., Tlustoš P., 2007: Výživa a hnojení rostlin. Profi Press Praha
56. Walkley A., 1947: A critical examination of a rapid method for determining organic carbon In soils. Soil Sci., 63: 251-263
57. Zhang J. B., Song C. C., Yang W. Y., 2006: Land use effects on the distribution of labile organic carbon fractions through soil profiles. Soil Science Society of America Journal, 70 (2): 660-667

ELEKTRONICKÉ ZDROJE

1. <http://geo.hajduch.net/cesko/priroda/pudy>
2. <http://klasifikace.pedologie.cz/index.php?action=showPudniSubtyp&id>
3. <http://ldf.mendelu.cz/ugp/wp-content/ugp>
4. <http://www.mapy.cz>
5. <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kambizem>

