

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**



**Vliv aplikace čistírenských kalů na obsah uhlíku  
mikrobiální biomasy v půdě**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Martina Hašková**

**Vedoucí práce: Ing. Jindřich Černý, Ph.D.**

© 2015 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv aplikace čistírenských kalů na obsah uhlíku mikrobiální biomasy v půdě" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 9. dubna 2015

---

### **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala jako první osobě Ing. Jindřichovi Černému, Ph.D., za odborné vedení mé diplomové práce a za cenné připomínky a rady. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Jakubu Kováříkovi za pomoc při praktické části diplomové práce.

A samozřejmě bych chtěla poděkovat celé své rodině, hlavně svému příteli Jardovi, mamince a tatškovi, kteří mě podporovali jak při psaní diplomové práci, tak i během celého vysokoškolského studia.

# Vliv aplikace čistírenských kalů na obsah uhlíku mikrobiální biomasy v půdě

## Souhrn

Mikrobiální biomasa v půdě je její významnou a nepostradatelnou součástí. Významně se podílí na utváření půdních poměrů, a proto může být cenným nástrojem pro pochopení změn půdních vlastností.

Hlavní náplní práce bylo vyhodnocení vlivu aplikace čistírenských kalů na obsah uhlíku mikrobiální biomasy v půdě v dlouhodobých pokusech.

Byly vyhodnocovány 2 lokality (Červený Újezd a Praha – Suchdol). Na každé lokalitě byly 3 varianty hnojení a jedna kontrolní varianta s nehnojenou zeminou. Odběry byly prováděny ve 4 termínech vegetačního cyklu. Ke stanovení celkového množství organického uhlíku mikrobiální biomasy ve vzorcích zemědělských půd byla použita fumigačně extrakční metoda, při níž byly buňky mikroorganismů rozloženy chloroformem. Během celodenní inkubace nastává lýze buněk a uvolnění do půdního vzorku. Po usmrcení půdních mikroorganismů je využito schopnosti extrakčního činidla k uvolnění uhlíkatých látek. Následně je stanovena koncentrace uhlíku v půdním vzorku. Touto metodou byl změřen a vypočítán obsah uhlíku v lokalitách Červený Újezd a Praha - Suchdol.

Z výsledků hodnocení vyplývá, že v lokalitě Červený Újezd bylo maximální hodnoty obsahu mikrobiálního uhlíku v půdě dosaženo v měsíci květnu, a to u vzorku hnojeného kalem, jehož hodnota byla 286 mg C/kg sušiny. U lokality Praha – Suchdol tomu ale tak nebylo, jelikož nejvyšší obsah uhlíku mikrobiální biomasy byl zjištěn u vzorků hnojených hnojem, konkrétně v měsíci červenci. Výsledná hodnota zde byla cca 173 mg C/kg sušiny. Dávka kalu (9,3 t sušiny/ha) byla u obou lokalit stejná, zatímco dávka hnoje byla rozdílná. Lokalita Červený Újezd byla hnojena dávkou 22 t sušiny/ha, ale lokalita Suchdol pouze 19 t sušiny/ha. Přestože v lokalitě Suchdol byla nižší dávka sušiny hnoje, bylo právě zde dosaženo nejvyšší hodnoty obsahu uhlíku mikrobiální biomasy. Tento rozdíl je dán klimatickými podmínkami a také typem půdy.

**Klíčová slova:** čistírenské kaly, dlouhodobý pokus, mikrobiální biomasa, uhlík

# Effect of sewage sludge application on content of soil microbial biomass carbon

## Summary

Soil microbial biomass is important and indispensable part of soil. It significantly contributes to the formation of soil conditions and therefore can be a valuable tool for understanding the changes of soil properties.

The main aim of this thesis was to evaluate the effect of sewage sludge application on content of the soil microbial biomass carbon in long-term experiments.

Two sites were evaluated (Červený Újezd and Praha - Suchdol). There were three variants of fertilization and one control variant with unfertilized soil at each location. The sampling was performed at 4 times of the growing cycle. Fumigation extraction method was used to determine the total amount of the microbial biomass organic carbon in samples of agricultural soils in which microorganisms cells were decomposed by chloroform. During the all-day incubation occurs lysis of cells and their release into the soil sample. After death of the soil microorganisms was used ability of extractant to release carbon compounds. The concentration of carbon in the soil sample was subsequently determined.

The evaluation results show that the maximum value of the content of soil microbial biomass carbon was achieved in the location Červený Újezd in May in sample fertilized with sludge, whose value was 286 mg C/kg dry matter. This isn't true in location Praha - Suchdol because the highest content of microbial biomass carbon was determined in samples fertilized with manure in July. The value was about 173 mg C/kg dry matter in this location. Dose of sludge (9.3 t dry matter/ha) was the same for both sites, while the dose of manure was different. Location Červený Újezd was fertilized with a dose of 22 t dry matter/ha, but location Praha – Suchdol only 19 t dry matter/ha. Although the dose of manure was lower in Praha – Suchdol just here were reached the highest value of content of microbial biomass carbon. This difference is due to climatic conditions and also soil type.

**Keywords:** sewage sludge, long-term experiment, microbial biomass, carbon

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Vědecká hypotéza a cíle práce</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>Cíl práce</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2</b>	<b>Vědecká hypotéza</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Literární řešerše</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1</b>	<b>Půda</b> .....	<b>10</b>
<b>3.2</b>	<b>Půdní mikroorganismy</b> .....	<b>12</b>
<b>3.3</b>	<b>Půdní organická hmota</b> .....	<b>13</b>
3.3.1	Primární organická hmota.....	14
3.3.2	Humus.....	15
3.3.3	Nepříznivé vlivy.....	16
<b>3.4</b>	<b>Stanovení mikrobiální biomasy</b> .....	<b>17</b>
3.4.1	Mikrobiální biomasa.....	17
3.4.2	Přímé metody stanovení půdních mikroorganismů.....	17
3.4.3	Nepřímé metody stanovení půdních mikroorganismů.....	17
3.4.3.1	Kultivační metody.....	18
3.4.3.2	Biochemické metody.....	18
3.4.3.3	Fyzikální metody.....	18
3.4.4	Stanovení obsahu uhlíku mikrobiální biomasy.....	18
3.4.4.1	Mikrovlnná extrakční metoda.....	18
3.4.4.2	Fumigačně – extrakční metody.....	18
3.4.4.3	Dichromanová metoda.....	19
3.4.4.4	UV – persíranová metoda.....	19
3.4.4.5	Vysokoteplotní oxidace.....	19
3.4.5	Aktivity půdních mikroorganismů.....	19
3.4.5.1	Enzymové aktivity.....	19
3.4.5.2	Respirační aktivita.....	20
3.4.5.3	Nitrifikační potenciál půdy.....	21
3.4.5.4	Potenciální nitroenasová aktivita.....	21
<b>3.5</b>	<b>Uhlík</b> .....	<b>21</b>
<b>3.6</b>	<b>Hnojiva</b> .....	<b>23</b>
3.6.1	Organická hnojiva.....	23
3.6.2	Minerální hnojiva.....	24

<b>3.7 Kaly</b> .....	<b>24</b>
3.7.1 Proces vzniku kalu .....	24
3.7.2 Složení kalů.....	26
3.7.2.1 Složení primárního kalu .....	26
3.7.2.2 Složení sekundárního kalu .....	27
3.7.3 Vlastnosti kalů .....	27
3.7.3.1 Rizikové prvky .....	30
3.7.4 Nakládání s kaly.....	31
3.7.5 Využití kalů.....	31
3.7.6 Kaly jako organické hnojivo .....	33
<b>4 Materiál a metody</b> .....	<b>35</b>
<b>4.1 Charakteristika lokalit a odběr půdních vzorků</b> .....	<b>35</b>
4.1.1 Červený Újezd .....	35
4.1.2 Praha – Suchdol .....	36
4.1.3 Aplikace hnojiv a odběry vzorků.....	37
<b>4.2 Fumigačně – extrakční metoda</b> .....	<b>38</b>
4.2.1 Vzorky ošetřené chloroformem .....	39
4.2.2 Vzorky neošetřené chloroformem.....	40
<b>5 Výsledky</b> .....	<b>42</b>
<b>5.1 Lokalita Červený Újezd</b> .....	<b>42</b>
<b>5.2 Lokalita Praha – Suchdol</b> .....	<b>45</b>
<b>5.3 Vzájemné porovnání výsledků lokalit</b> .....	<b>48</b>
<b>6 Diskuze</b> .....	<b>52</b>
<b>7 Závěr</b> .....	<b>57</b>
<b>8 Seznam literatury</b> .....	<b>58</b>

# 1 Úvod

Půdní prostředí představuje systém tvořený pevnou, kapalnou a plynou fází a je možné ho charakterizovat různými parametry. Tyto parametry, chemické a fyzikální vlastnosti, mají přímý vliv na stav půdního prostředí, respektive na kvalitu a zdraví půdy. Znalost těchto vlastností je nezbytná k porozumění vlivu změn na životní projevy půdních mikroorganismů a dalších složek půdy. Mezi vlivy na mikrobiální biomasu uhlíku patří hnojení zemědělských půd. Vliv má zejména druh hnojiva, tzn. minerální nebo organické hnojivo, ale také četnost hnojení a agrotechnické postupy.

Dostupnost živin v půdě je významným faktorem ovlivňující úrodnost půdy. Jelikož půdní organická hmota může poskytnout tyto živiny důležité pro rostliny, mělo být sledování půdních mikroorganismů součástí každého zkoumání vlastností půdy.



## **2 Vědecká hypotéza a cíle práce**

### **2.1 Cíl práce**

Cílem této diplomové práce je vyhodnocení vlivu aplikace čistírenských kalů na obsah uhlíku mikrobiální biomasy v půdě v dlouhodobých polních pokusech. Byly testovány dva druhy zemědělských půd, jež byly hnojené třemi různými hnojivy. Byla použita tato hnojiva: hnůj, kal a NPK. Pro stanovení obsahu uhlíku v půdní mikrobiální biomase byla využita fumigačně – extrakční metoda, při které byly buňky mikroorganismů rozloženy chloroformem. Během celodenní inkubace nastává lýze buněk a uvolnění cytoplazmy do půdního vzorku. Po usmrcení půdních mikroorganismů je využito schopnosti extrakčního činidla k uvolnění uhlíkatých látek. Následně je stanovena koncentrace uhlíku v půdním vzorku.

### **2.2 Vědecká hypotéza**

Předpokládá se, že vlivem dlouhodobé aplikace čistírenských kalů na ornou půdu se zvýší obsah uhlíku mikrobiální biomasy v půdě.

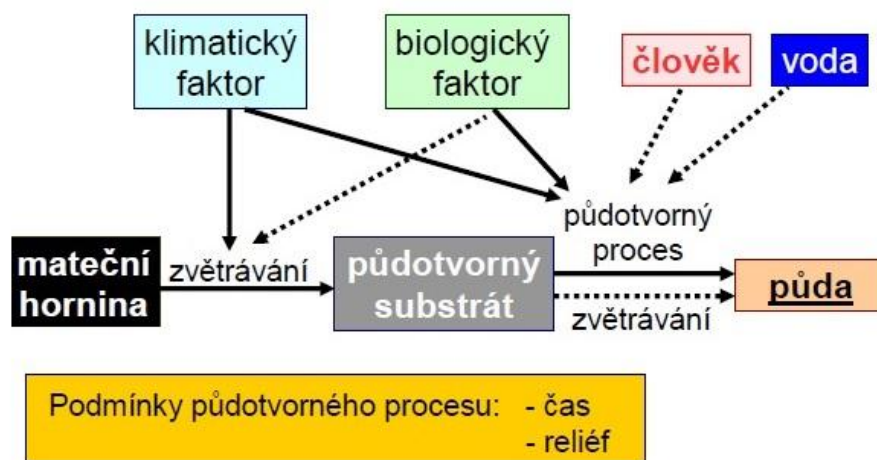
Lze také předpokládat, že na variantách s aplikací čistírenských kalů bude větší kolísání obsahu uhlíku mikrobiální biomasy ve srovnání s variantami hnojenými hnojem z důvodu rychlejší mineralizace čistírenských kalů v půdě.

Na variantách s aplikací pouze minerálních dusíkatých hnojiv se předpokládá nižší obsah uhlíku mikrobiální biomasy ve srovnání s variantou hnojenou čistírenskými kaly.

### 3 Literární rešerše

#### 3.1 Půda

Půda vznikla jako samostatný heterogenní systém ze zemské kůry a organických zbytků za působení půdotvorných faktorů, jako jsou matečná hornina, klima, činnost mikroorganismů, ale i člověka za podmínek času a reliéfu krajiny, viz Obrázek 1. Díky svým třem fázím (pevné, kapalné a plynné) se půda stává dynamickým a pestrým stanovištěm, umožňující přítomnost a vzájemné soužití mikroorganismů, rostlin a živočichů (Elsas et al., 2006) a regulaci koloběhu látek (Schloter et al., 2003).



**Obrázek 1** Proces vzniku půdy včetně ovlivňujících faktorů (Šimek, 2003)

Pevná fáze je podle Šimka (2003) tvořena minerálním a organickým podílem. Minerální podíl tvoří 95 – 98 % z tuhé fáze půdy, zatímco organického podílu je v půdách pouze 2 – 5 % tuhé fáze (Vrba, 2006).

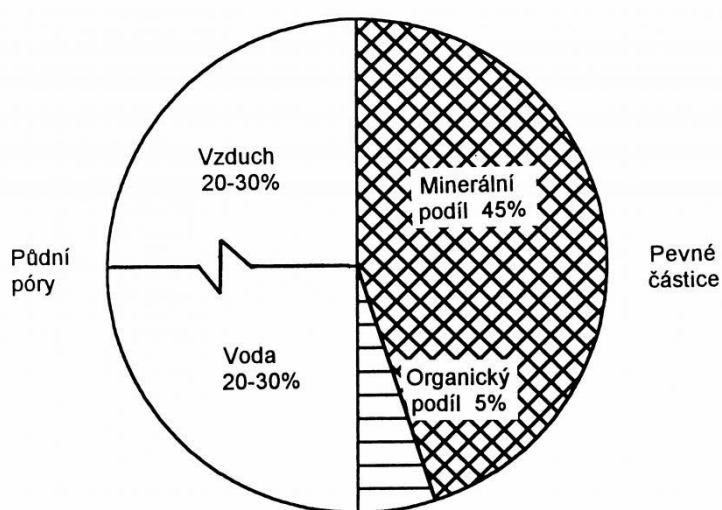
Minerální podíl tvoří primární (křemen, živce, slídy, kalcit) a sekundární minerály (kaolinit, illit, montmorillonit). Primární minerály ovlivňují hodnotu pH, tvorbu sekundárních minerálů, nasycenost sorpčního komplexu a hlavně potenciální rezervu půd. Sekundární minerály mají vliv na sorpci iontů a poutají vodu i živiny (Vaněk et al., 2012). Tyto minerály a horniny jsou zdrojem draslíku, vápníku, železa a stopových prvků (Vavříček et al., 2014).

Organická část má dvě složky: živou a neživou. Živá složka je nazývána edafon. Tuto složku představují bakterie, houby, aktinomycety, mikrofauna a mikrofauna. Neživá část organické složky je tvořena primární organickou hmotou a humusovými látkami (Šrefl, 2012). Hlavní funkcí organické složky půdy je zdroj živin (N, S, P), dále je také zdrojem CO<sub>2</sub>

a energie, má stimulační a inhibiční účinky a je to stabilní základ všech půdních charakteristik (Vavříček et al., 2014).

Kapalná složka půdy představuje půdní roztok, v němž jsou živiny obsaženy ve formě iontů, organických molekul, solí a sloučenin. Tato složka je zastoupena v půdě cca 20 – 30 % objemu. Zajišťuje pohyb látek, průběh chemických reakcí, přístupnost látek pro organismy a tvoří prostředí pro půdní mikroorganismy. Kapalnou fázi půdy je možné dělit na složku anorganickou ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), kde je dominantním kationtem Ca, poté Mg a K a organickou (karboxylové kyseliny, aminokyseliny, herbicidy, fungicidy, PCB, PAH). (Ibrahim, 2008).

Plynná složka je složena z plynů a vodní páry (Vavříček et al., 2014). Hodnoty obsahu půdního vzduchu, který vyplňuje společně s vodou půdní póry, mají velký význam na průběh biologických a chemických procesů v půdách. Složení půdního vzduchu je velmi proměnlivé a závisí na druhu a způsobu obdělávání zemědělských půd. V porovnání s atmosférickým vzduchem obsahuje půdní vzduch méně  $\text{O}_2$  (10 – 20 % objemu), který oxiduje organické a minerální látky a ovlivňuje pH půdy. Vzduch se do půdy dostává z atmosféry a je závislý na aeraci půdy.  $\text{CO}_2$  v půdě (0,1 – 5 % objemu) vzniká dýcháním organismů, rozkladem mikroorganismů, rostlinných a živočišných zbytků, přičemž v atmosféře je zastoupen pouze 0,04 % objemu. Množství  $\text{CO}_2$  se zvyšuje se závlahou a organickým hnojením. Obsah  $\text{N}_2$  v půdě je závislý na obsahu  $\text{O}_2$  a  $\text{CO}_2$  (Raymond et al., 2012).



**Obrázek 2 Průměrné zastoupení jednotlivých složek v hlinité půdě v % objemu (Šimek, 2003)**

## 3.2 Půdní mikroorganismy

Půdní mikrobiální biomasa je často definována jako žijící část organické hmoty a je menší než 10 µm (Schloter et al., 2003). Půdní mikroorganismy jsou považovány za hnací sílu terestrických ekosystémů a produkují hydrolytické enzymy, které jsou schopny rozložit široké množství organických substrátů, včetně organického dusíku, fosforu a síry, jenž jsou nezbytné pro rostliny (Whalen et al., 2009).

K nejvíce aktivní složce půdního systému patří právě společenstva mikroorganismů. Mikroorganismy je možné rozdělit dle morfologie jádra na prokaryotické (bakterie, sinice) a eukaryotické (houby, prvoci). Eukaryota mají na rozdíl od prokaryot diferenciované jádro. Buňky těchto organismů jsou tvořeny uhlíkovými řetězci nebo kruhy, obsahující i mnoho dalších prvků, přičemž uhlík je ústředním prvkem veškeré biomasy (Šimek, 2003). Půdní mikroorganismy využívají uhlíkaté sloučeniny organického původu jako živinu. Na 1 m<sup>2</sup> se vyskytuje 1 – 200 000 jedinců makrofauny a miliardy jedinců mikrofauny (Sáňka et al., 2004). Každý druh má své specifické vlastnosti, které se doplňují a fungují jako celek, přičemž největší pozornost je věnována houbám a bakteriím, poněvadž jsou nejdůležitější s ohledem na tok energie a přenos živin. Největší množství mikroorganismů je možné pozorovat v tzv. rhizosféře, v níž je kořeny rostlin spotřebováván kyslík a vylučován CO<sub>2</sub> (Rajchard, 2002).

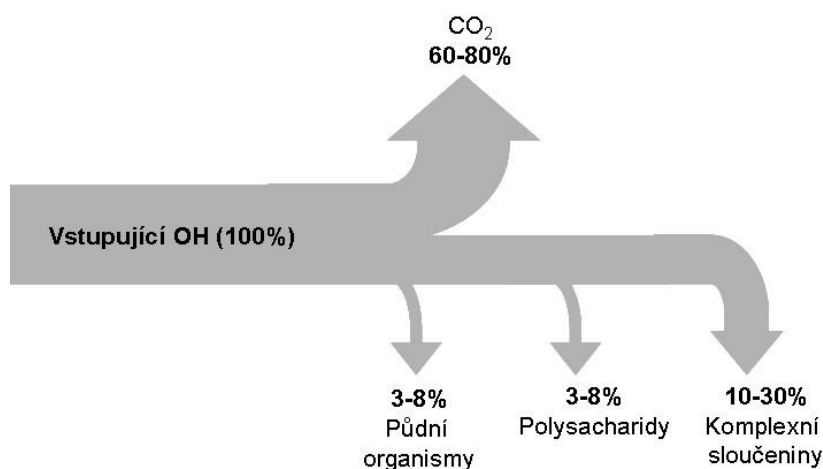
K bakteriím nacházejících se v půdě řadíme např. *Rhodobacter* spp., *Rhizobium* spp., *Acetobacter* a mnoho dalších. K nejvíce rozšířeným bakteriím patří rod *Pseudomonas*, což je aerobní nesporulující bakterie tyčinkovitého tvaru (Buscot, 2005). Ze zástupců z říše hub se zde vyskytují např.: *Aspergillus* nebo *Trichoderma*. Tyto dva druhy hub se podílejí na respiraci uhlíku z atmosféry (Elsas et al., 2006). Dle Sáňky et al., (2004) se v 1 hektaru půdy nachází 2 – 10 tun živé půdní hmoty. Množství živé půdní hmoty, které se bude nacházet v půdě, závisí na druhu půdy, typu hnojiva, klimatických podmínkách a agrotechnickém postupu. K nejdůležitějším funkcím živých mikroorganismů v půdě patří rozklad širokého spektra organických látek, syntéza humusu, tvorba půdní struktury, zpřístupnění živin rostlinám a produkce biologicky aktivních látek.

Půdní mikroorganismy jsou důležité zejména v zemědělství, jelikož zvyšují půdní úrodnost, která má významný vliv na růst a vývoj rostlin. Další podstatnou vlastností půdy, na kterou mají vliv mikroorganismy, je kvalita půdy, a proto jsou půdní mikroorganismy klíčové v roli zvyšování dostupnosti živin pro rostliny, pomáhají k udržení dobré půdní struktury a

jsou tedy vhodným indikátorem půdní úrodnosti. Hrají také velkou roli v potravních řetězcích, podílejí se na cyklech živin, jsou hlavním činitelem koloběhu látek aj. I přes jejich vysoké množství v půdě jsou zranitelné a to kvůli svému obrovskému aktivnímu povrchu (Mikanová et al. 2010).

### 3.3 Půdní organická hmota

Organická část půdy hraje hlavní roli v koloběhu živin a látek v půdě (Vaněk et al., 2012). Půdní organická hmota je tvořena směsí odumřelých zbytků rostlin a živočichů v různém stupni rozkladu. Dále ji tvoří humus, který vznikl mikrobiálními a biosyntetickými procesy z meziproductů rozkladu organických zbytků s minerálním podílem. Jinak řečeno mezi organické látky tvořící organickou hmotu patří látky organické nehumifikované (uhlovodíky, lipidy a aminokyseliny), přechodné a humifikované. Tento soubor organických látek je obohacen o produkty metabolismu půdních mikroorganismů a kořenovými exsudáty rostlin (Pospíšilová et al., 2009). Rostliny svými kořenovými systémy, mohutností a prokořeněním značně ovlivňují biologické i chemické procesy a po odumření jsou kořeny hlavním zdrojem organického materiálu (Bot, 2005).

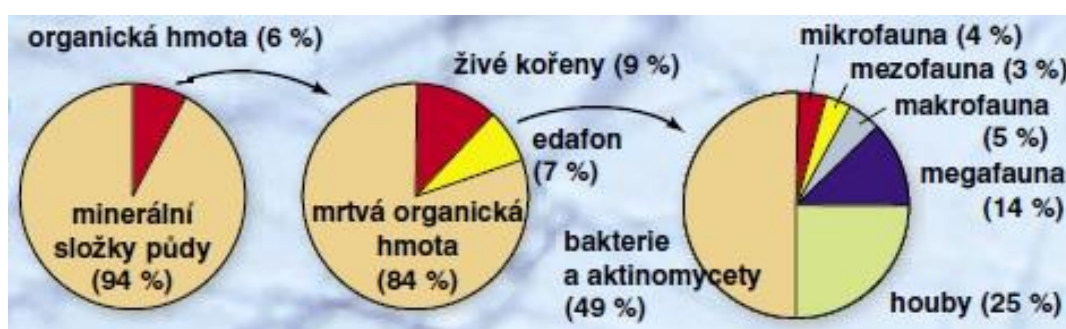


**Obrázek 3 Rozložení půdní organické hmoty v ekosystémech (Záhora, 2012)**

Jak již bylo zmíněno, mikroorganismy jsou nejaktivnější skupinou v organické části půdy a podílejí se na většině rozkladných, ale i transformačních procesů (Bot, 2005). Půdní organická hmota je zdrojem energie a živin právě pro mikroorganismy, čímž zaručuje rozvoj edafonu, mineralizaci organické hmoty a produkci CO<sub>2</sub>. Dále je také primárním zdrojem pro tvorbu humusových látek (Vaněk, 2007).

Půdní organická hmota je úzce spjata s biologickou aktivitou, vodním a vzdušným režimem v půdách, přispívá k produktivitě půdy a schopnosti půdy transformovat a ukládat hmotu a energii (Magdoff et al., 2004), a proto se organická hmota chová v každé půdě jinak. V půdách těžkých způsobuje zvýšenou pórovitost a provzdušnění, zlepšuje vodní jímavost a propustnost a snižuje soudržnost. U půd lehkých organická hmota zvětšuje soudržnost, zmenšuje pórovitost, snižuje propustnost vody a chrání živiny před vyplavováním (Váňa, 2007).

Půdy, které jsou lépe zásobené organickou hmotou, mají vyšší schopnost vyrovnávat biotické a abiotické faktory působící na půdu a obsah organické hmoty má také vliv na stabilitu výnosu plodiny.



Obrázek 4 Zastoupení půdních organismů v půdní organické hmotě v hmotnostních % (Hošek, 2006)

### 3.3.1 Primární organická hmota

Primární organická hmota v půdě podléhá různě rychlé mineralizaci a její malá část je transformována do humusových látek. Rozdíl mezi primární organickou hmotou a humusem je, že primární organická hmota je organickou hmotou původní. Nachází se v různém stupni rozkladu, kde rychlost rozkladu závisí na půdních podmínkách.

Na rychlost mineralizace má vliv řada faktorů, mezi něž je možné zařadit biologickou aktivitu, pH, zrnitostní složení a vodní i teplotní režim půdy (Vaněk et al., 2010). S rostoucí nadmořskou výškou klesá hodnota pH, snižuje se teplota a celkově jsou horší podmínky pro mikroorganismy, tedy pro mineralizaci primární organické hmoty i její transformaci na humus, tzn., že se v půdě hromadí rostlinné zbytky a v podstatě neslouží jako zdroj energie a živin a neovlivňuje fyzikální vlastnosti půd (Whalen et al., 2010).

Ke zdrojům tvořící primární organickou hmotu patří:

- kořenové exsudáty,
- odumřelé mikroorganismy a makroedafon,
- kořenové zbytky a odumřelé části kořenů,
- opad a zbytky nadzemních částí rostlin,
- statková hnojiva (Lal, 2001).

### 3.3.2 Humus

Humus představuje až 80 % půdní organické hmoty (Whalen et al., 2010). Humusové látky vznikají procesem humifikace (Schaetzl, 2005). Proces humifikace je soubor enzymatických, biochemických a mikrobiálních pochodů, vedoucích k tvorbě nových humusových látek z primární organické hmoty (Pospíšilová et al., 2009). Humusové látky mají oproti původní organické hmotě navíc tyto vlastnosti: omezují mobilitu kationtů (i těžkých kovů) a snižují schopnost tvorby organominerálních komplexů s vysokou stabilitou.

Mezi humusové látky v půdě patří:

- fulvokyseliny,
- humínové kyseliny a humáty,
- huminy.

Fulvokyseliny		humínové kyseliny		humíny
světležlutá	žlutohnědá	tmavohnědá	šedočerná	černá
→		růst intenzity zbarvení		→
→		růst stupně polymerizace		→
2 000	→		růst molekulové hmotnosti	→ 300 000 ?
45 %	→		růst obsahu uhlíku	→ 62 %
48 %	→		pokles obsahu kyslíku	→ 30 %
1 400	→		pokles výměnné acidity	→ 500
→		pokles rozpustnosti		→

Obrázek 5 Vlastnosti a rozdělení humusových látek (Záhora, 2012)

Fulvokyseliny jsou velmi pohyblivé a lehce se přemísťující žluté až hnědé látky. Mají jednodušší stavbu než humínové kyseliny. Jsou dobře rozpustné ve vodě, v minerálních kyselinách a v roztocích hydrolyticky zásaditých solí. Vodné roztoky fulvokyselin jsou silně kyselé, přičemž kyselý charakter je dán karboxylovými skupinami.

Humínové kyseliny mají tmavou barvu a jsou charakteristické dobrou rozpustností v louhu a roztocích hydrolyticky zásaditých solí. Ve vodě jsou jen málo rozpustné. Základem huminových kyselin je aromatické jádro (fenolické nebo chinoidní) s účastí alifatických a cyklických dusíkatých sloučenin. Kyselinový charakter je dán přítomností funkčních skupin, ze kterých jsou nejdůležitější karboxylové a fenol – hydroxylové skupiny (Pospíšilová et al., 2009).

**Tabulka 1 Elementární složení humusových látek (Pospíšilová et al., 2009)**

Prvek	Humusové látky	
	Fulvokyseliny	Humínové kyseliny
<b>Uhlík</b>	40 - 52	52 - 62
<b>Vodík</b>	4 - 6	2,8 - 5,8
<b>Kyslík</b>	40 - 48	31 - 39
<b>Dusík</b>	2 - 6	1,7 - 4,9

Huminy reprezentují silně karbonizovanou organickou hmotu, která je pevně vázána na minerální podíl, a proto se nedá získat ani mnohonásobnou extrakcí alkáliemi z půdy zbavené vápníku. Jde o zuhelnatělou tmavou hmotu, která je bohatá na uhlík a dusík. Nerozpouští se, nehydrolyzuje a neúčastní se půdotvorného procesu (Pospíšilová et al., 2009).

### 3.3.3 Nepříznivé vlivy

Vliv změn v hospodaření České republiky, ať už se jedná o ekonomické či majetkoprávní změny, se podepisuje i na množství a kvalitě půdní organické hmoty, např. osevní postupy, které podporují tržní plodiny místo víceletých pícnin na orné půdě, či pokles stavu hospodářských zvířat aj. (Kubát et al., 2008).

Dalším nepříznivým vlivem, který působí na organickou hmotu v půdě a tím i zřejmě na ovlivnění koloběhu látek v agrosystémech, je snížení vstupu organických látek do půdy. To bylo způsobeno snížením stavu hospodářských zvířat (Richter et al., 2003).



### **3.4 Stanovení mikrobiální biomasy**

#### **3.4.1 Mikrobiální biomasa**

Jak již bylo uvedeno v kapitole o půdních mikroorganismech, jedná se o žijící část organické hmoty, a které jsou menší než 10  $\mu\text{m}$  (Schoter et al., 2003). Mikrobiální biomasa je považována za indikátor změn v půdním prostředí a je úzce spjata s obsahem organické hmoty. Pokud bude zemědělská půda hnojena pouze minerálními hnojivy, může docházet ke zvýšené mineralizaci organických látek, což by mělo za následek snížení obsahu lehce rozložitelné organické hmoty v půdě (Buscot et al., 2005).

Při hodnocení mikrobiální biomasy je třeba počítat se sezonními změnami v ekosystémech a charakterem biologických metod. Významný vliv na výsledky biologických metod mají hnojiva, konkrétně jejich použití či absence. Anorganická a organická hnojiva zvyšují nejen úrodnost, ale ovlivňují také chemické, fyzikální a biologické vlastnosti půdy (Mikanová et al., 2010).

#### **3.4.2 Přímé metody stanovení půdních mikroorganismů**

Počet buněk mikroorganismů se stanovuje pomocí mikroskopu. Mezi přímé metody patří fluorescenční a epi – fluorescenční mikroskopie, které jsou založeny na světelné mikroskopii s použitím fluorescenčních barviv a elektronová mikroskopie (Bloem et al., 2006).

#### **3.4.3 Nepřímé metody stanovení půdních mikroorganismů**

Tyto metody jsou založené na měření metabolických procesů, enzymových aktivit, ATP nebo zvýšené spotřeby některých substrátů.

Metody, kterými jsou stanovovány půdní mikroorganismy nepřímo, jsou:

- kulturační,
- biochemické,
- fyziologické,
- fyzikální,
- mikrovlnná metoda stanovení uhlíku půdních mikroorganismů.

#### 3.4.3.1 Kultivační metody

Jsou metody stanovení celkového počtu mikrobiálních buněk po kultivaci. Kultivace probíhá po ředění desítkovým systémem, odečítáním na agarových deskách stanovením kolonie tvořící jednotku (KTJ) nebo hodnocením metodami variační statistiky. Počet mikroorganismů může být stanoven také pomocí membránové filtrace a následné kultivace na agarových deskách.

#### 3.4.3.2 Biochemické metody

Těmito metodami se stanovují kvantitativně buněčné komponenty, tzn. stanovení uhlíku, případně dusíku, fosforu a síry pomocí biomasy půdních mikroorganismů (MBC), stanovení DNA nebo také stanovení celkového obsahu fosfolipidových mastných kyselin.

#### 3.4.3.3 Fyzikální metody

Metodami fyzikálními jsou měřeny změny fyzikálních ukazatelů během kultivace mikroorganismů. Jsou měřeny změny tepla, zákalu či konduktivity.

### **3.4.4 Stanovení obsahu uhlíku mikrobiální biomasy**

#### 3.4.4.1 Mikrovlnná extrakční metoda

Stanovení touto metodou je určeno pro organický uhlík, který je extrahován síranem draselným z přirozeně vlhkých půdních vzorků. Vzorky jsou ošetřeny v mikrovlnné troubě o výkonu 600 W, kde je možné díky poškození cytoplazmy vyextrahovat organický uhlík (Bloem et al., 2006).

#### 3.4.4.2 Fumigačně – extrakční metody

Definování celkové biomasy spočívá ve stanovení obsahu uhlíku, který by měl být přítomen ve všech živých buňkách a po jejich odumření by měl být degradován nebo by se měl stávat lehce extrahovatelný. Na tomto principu je založena metoda fumigačně – extrakční (Mikanová et al., 2010).

Fumigací jsou lyzovány buňky mikroorganismů, jinak řečeno dojde tedy k uvolnění anorganických i organických složek z buněk půdních mikroorganismů (Martens, 1993) a uvolňuje se čerstvá organická hmota. Neživá půdní organická hmota není fumigací ovlivněna. Půdní vzorky se fumigují chloroformem po dobu 24 hodin. Během této doby je extrahován

organický uhlík síranem draselným z fumigovaných a nefumigovaných vzorků. Rozdíl v obsahu uhlíku mezi těmito vzorky je uhlík mikrobiální biomasy (Hu et al., 2011).

#### 3.4.4.3 Dichromanová metoda

Tato metoda je založena na oxidaci organické hmoty přítomné v extraktu fumigované a nefumigované půdy v roztoku silné kyseliny a dichromanu draselného. Množství nezreagovaného dichromanu je stanoveno zpětnou titrací  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ . Poté je dopočítáno množství zoxidovaného uhlíku (Margesin, 2005).

#### 3.4.4.4 UV – persíranová metoda

U této metody se anorganický uhlík odstraní okyselením a zbylý organický uhlík v půdních extraktech je oxidován UV zářením při vlnové délce 210 – 260 nm pomocí  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  na  $\text{CO}_2$ . Množství vzniklého oxidu uhličitého je měřeno pomocí IR absorpčního detektoru (Grace et al, 2006).

#### 3.4.4.5 Vysokoteplotní oxidace

Po fumigaci chloroformem jsou vzorky komplexně oxidovány při 850 °C pomocí platinového katalyzátoru. Vzniklý  $\text{CO}_2$  je odveden do detektoru, který využívá infračerveného spektra (Bloem et al., 2006).

### 3.4.5 Aktivity půdních mikroorganismů

#### 3.4.5.1 Enzymové aktivity

Jde o charakteristiku metabolických aktivit půdních mikroorganismů. Tyto enzymy jsou z produkce mikroorganismů, ale také kořenů či mrtvých mikroorganismů. Toto měření je důležité hlavně pro určení stavu nebo podmínek půdního prostředí, jelikož enzymy jsou nezbytné při koloběhu živin v půdě a pro proces tvorby humusu, výživy rostlin a udržení ekologické rovnováhy. Enzymové aktivity mají tyto výhody: jsou v úzkém vztahu k důležitým půdním charakteristikám a mohou být půdně – biologickým indexem odrážející využívání půdy.

Jsou měřeny aktivity těchto enzymů:

- Arylsulfatasa,
- Ureasa,
- Dehydrogenasa,
- Invertasa,
- Celulasa.

Arylsulfatasa má velmi úzký vztah k organické hmotě. Podílí se na koloběhu S, mineralizuje sloučeniny obsahující síru a hydrolyzuje organické sírany.

Ureasa je využívána při hodnocení půdní úrodnosti. Aktivita ureasy je v úzkém vztahu ke koloběhu dusíku. Enzym rozkládá organické dusíkaté látky v půdě a podílí se také na hydrolyze močoviny v půdním prostředí na  $\text{NH}_3$  a  $\text{CO}_2$ . Dusík je poté zpřístupněn pro rostliny. Aktivita může být ovlivněna teplotou, pH a hospodařením na půdě (Mikanová et al., 2010).

Biologická oxidace organických látek je obecně nazývána jako dehydrogenační proces, na kterém se podílejí enzymy dehydrogenas. Tyto enzymy jsou transferem energie v respiračním procesu a mohou indikovat metabolickou aktivitu půdních mikroorganismů (Mikanová et al., 2010).

#### 3.4.5.2 Respirační aktivita

Respirační aktivita, důležitá zejména pro dynamiku uhlíku v půdě, měla klesající tendenci při hnojení minerálními hnojivy (Kubát et. al., 1999). Odpovídá množství vyprodukovaného  $\text{CO}_2$ , mineralizací organických látek, půdní mikroflórou za stanovený čas. Stanovujeme respiraci bazální a potenciální. Obě respirace vyjadřují produkci  $\text{CO}_2$ , ale s tím rozdílem, že potenciální respirace, respektive půdní vzorek, je obohacen o glukosu jako zdroj energie a uhlíku, nebo o síran amonný, který je zdrojem dusíku. Je zde možná i varianta obohacení o glukosu i síran amonný. Respirační aktivita udává mineralizaci půdní organické hmoty mikrobními společenstvy a je tedy používána jako index půdní úrodnosti (ISO 16072, 2002).

### 3.4.5.3 Nitrifikační potenciál půdy

Tento potenciál půdy definován jako poměr mezi potenciální a kontrolní nitrifikací. Jde tedy o schopnost půdy oxidovat nepohyblivé kationty  $\text{NH}_4^+$  na pohyblivé anionty  $\text{NO}_3^-$  půdními chemolitotrofy (ISO /TS 14256 – 1, 2003).

### 3.4.5.4 Potenciální nitrogenasová aktivita

Princip je založen na nesymbiotické fixaci dusíku. Dusíkem je atmosférický molekulární  $\text{N}_2$ , který je redukován a tím pádem zpřístupňován rostlinám pomocí fixátorů. Podmínkou fixace dusíku je enzym nitrogenasa. Tento biologický proces je velmi specifický pro určitou skupinu mikroorganismů vlastních daný enzym. Jelikož je zde značná citlivost fixátorů na nejrůznější změny v půdě, je možné proces považovat za jeden z indikátorů kvality půdy.

Fixace  $\text{N}_2$  je zprostředkovávána zejména bakteriemi rodu *Azotobacter*. Protože je přirozená nesymbiotická nitrogenasová aktivita v půdě velmi nízká, pro potřeby jejího stanovení se podmínky optimalizují přidávkem glukosy, tedy lehce přístupného uhlíku pro mikroorganismy. K tomuto stanovení se používá plynová chromatografie (Mikanová et al., 2010).

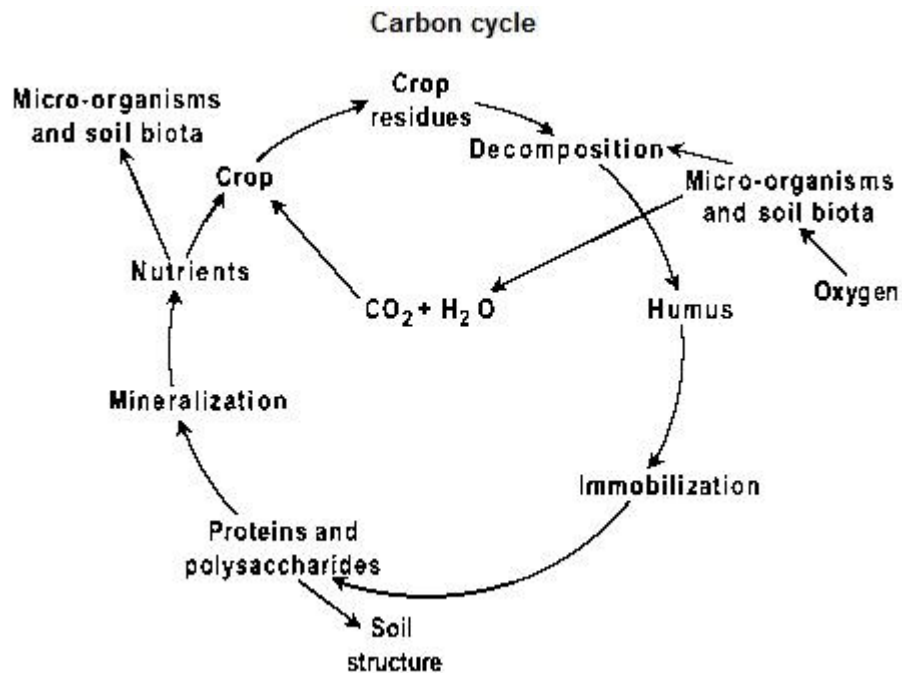
## 3.5 Uhlík

Fotosyntéza je jediný proces, který dokáže sluneční energii uchovat ve formě vazeb chemických sloučenin. Prostřednictvím fotosyntézy vstupuje anorganický uhlík ve formě  $\text{CO}_2$  do organického stavu. Za použití energie fotonů je atmosférický uhlík fixován do formy uhlovodíkových sloučenin, které tvoří 40 – 50 % hmotnosti rostlin (Vaněk, 2007).

Uhlík je fotosyntetickými procesy odebírán z atmosféry a po odebrání se stává součástí organických sloučenin tvořící biomasu. Mimo biotickou složku ekosystému, ke které patří zejména autotrofní rostliny, se část uhlíku uvolňuje také chemickou oxidací uhlikatých sloučenin (Marek et al., 2011). V půdě je obsaženo asi 1 % uhlíku (Vaněk et al., 2012).

Do primární organické hmoty je z atmosféry procesem fotosyntézy přeměněno asi  $1,05^{11}$  tun uhlíku, přičemž se v atmosféře nachází  $6^{11}$  tun uhlíku za rok. Vaněk (2007) přímo uvádí, že z celkového množství přeměněného uhlíku z atmosféry je cca  $426 \text{ g C/m}^2$  poutáno v terestrických ekosystémech a  $140 \text{ g C/m}^2$  v oceánech. Je předpoklad, že stejné množství uhlíku je vráceno do atmosféry respiračními pochody. Stávající bilance uhlíku je narušena

vyšším obsahem CO<sub>2</sub> v atmosféře, a to převážně spalováním fosilních paliv. Dále se snižuje jeho spotřeba rostlinami kvůli odlesňování a záborům půdy pro stavební pozemky. Uhlík, který je uložený v kořenech nebo stoncích rostlin, je uložen na delší dobu než uhlík, který je zpětně uvolňován do atmosféry (Vaněk, 2007), viz Obrázek 6.



**Obrázek 6 Koloběh uhlíku (Bot et al., 2005)**

Půdní organická hmota a žijící biomasa obsahuje asi 4x více uhlíku než je v atmosféře. Část asimilovaného uhlíku rostlinami je uložena v půdě prostřednictvím opadané biomasy. Uhlík obsažený v rozkládající se biomase vstupuje do půdního roztoku a je transformován do půdní organické hmoty. Další část uhlíku je vrácena zpět do atmosféry (Whalen et. al., 2010).

Organický uhlík obsažený v půdě může být ve třech základních frakcích:

- volný uhlík,
- stabilní uhlík,
- aktivní uhlík.

Volný uhlík se nejvíce účastní globálního koloběhu. Tento uhlík není v půdě vázán na minerály a není asociován s minerálními agregáty.

Za stabilní uhlík je možné považovat takový uhlík, který je spjat s půdní organickou hmotou, neúčastní se mineralizačních procesů a jeho obsah závisí na mnoha faktorech, např.: způsobu hospodaření, kvalitě organického a minerálního hnojení, na vápnění půdy apod.

Aktivním uhlíkem je lehce rozložitelný anebo lehce metabolizovatelný organický uhlík. Někdy je označován jako labilní, jelikož snadno podléhá oxidaci (Pospíšilová et. al., 2009).

V dlouhodobých pokusech sloužících k určení obsahu organického uhlíku bylo zjištěno, že ve variantách hnojených minerálními hnojivy docházelo k poklesu organického uhlíku v půdě oproti variantám hnojených organickými hnojivy. Podíl uhlíku v biomase z celkového množství uhlíku byl stejný u organicky hnojených variant i u kontrol, kdežto u minerálně hnojených variant došlo k jeho poklesu (Kubát et al., 1999).

Vegetace ovlivňuje koloběh uhlíku a to zejména tím, že je rezervoárem uhlíku v biomase. Průměrná celková zásoba uhlíku v biomase zemědělských plodin byla v roce 2000 cca 4,21 tun na hektar orné půdy v České republice. V okresech, kde byla pěstována cukrová řepa, která má největší množství biomasy na hektar ze všech zemědělských plodin, byly hodnoty zásob uhlíku nejvyšší. To ovšem nemuselo být dáno pouze plodinou, ale také i klimatickými podmínkami (Marek et. al., 2011).

## **3.6 Hnojiva**

Hnojivo je ze zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd v aktuálním znění definováno jako látka způsobilá poskytnout účinné množství živin pro výživu kulturních rostlin a lesních dřevin, pro udržení nebo zlepšení půdní úrodnosti a pro příznivé ovlivnění výnosu či kvality produkce. Hnojiva jsou dělena na organická a minerální.

### **3.6.1 Organická hnojiva**

Organická hnojiva jsou dělena na:

- statková:
  - stájová (hnůj, hnojůvka, močůvka, kejda),
  - ostatní (zelené hnojení, sláma, statkové komposty, silážní šťávy),
- průmyslová:
  - průmyslové komposty,
  - humáty.

Za organické hnojivo je považováno hnojivo, v němž jsou deklarované živiny obsaženy v organické formě. Tento druh hnojiv má vysokou hnojivou hodnotu a jsou jimi do půdy dodávány rostlinné živiny, organické látky, mikroorganismy a také stimulační, růstové a hormonální látky.

Aplikace organických hnojiv způsobuje zlepšení fyzikálně - chemických vlastností půd, snazší příjem vody, lepší zadržování živin a zvýšenou mikrobiální činnost. Organická hnojiva jsou zdrojem energie a uhlíku pro půdní mikroorganismy (Vaněk et al., 2012).

### **3.6.2 Minerální hnojiva**

Hnojiva minerálního původu jsou většinou vyráběna chemicky z přírodních surovin (Vaněk et al., 2012) a jejich účelem je zvýšení obsahu živin v půdě. Toto zvýšení pozitivně ovlivňuje výživu rostlin, s čímž souvisí i produkční schopnost půdy (Mikanová et al, 2010).

## **3.7 Kaly**

Kaly vznikají jako odpad při čištění odpadních vod. Jedná se o směs vody (70 – 75 %) a pevných látek (25 – 30 %). Během čistírenských procesů jsou odpadní vody zbaveny obsahu znečišťujících látek, které se koncentrují do kalu (Raclavská, 2007). Celkové množství vyprodukovaných kalů závisí na množství zpracovávaného znečištění, způsobu čištění odpadních vod a typu kanalizace. Koncentrace prospěšných i znečišťujících složek v kalu závisí na počáteční kvalitě odpadní vody a na úrovni požadované technologie, která zaručí dosažení kvalitativních požadavků na vyčištěnou odpadní vodu (Dohányos, 2004).

V České republice je používání kalů v zemědělství legislativně upraveno zákonem č. 185/2001 Sb., o odpadech a vyhláškou č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě. Tato vyhláška je plně v souladu se směrnicí Rady Evropské Unie č. 86/278/EEC. Tato směrnice určuje, za jakých podmínek je možné čistírenské kaly v zemědělství využívat (Raclavská, 2007).

### **3.7.1 Proces vzniku kalu**

Prvním procesem, kterým přicházející znečištěná voda prochází, je mechanické předčištění. Nejprve zde dochází k odstranění nerozpuštěných látek větších rozměrů obecně známých jako šterk. Po lapáku šterku následují tzv. česle, které zachycují plovoucí nečistoty.

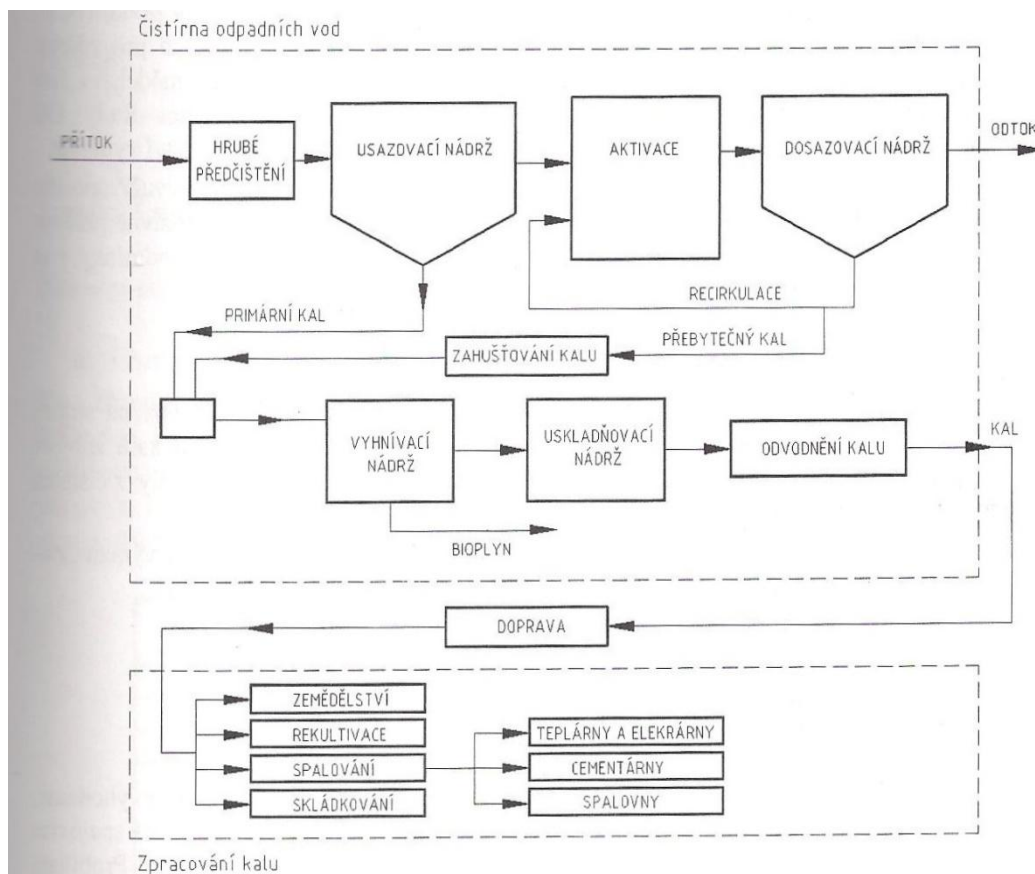


Tyto zachycené předměty jsou nazývány shrabky. Za česlemi je umístěn lapák písku. Toto technologické zařízení slouží k separaci nerozpuštěných usaditelných minerálních částic.

Po odstranění minerálních částic následují objekty primární sedimentace, tzv. usazovací nádrže. Tyto nádrže slouží k odstranění usaditelných organických a anorganických látek a současně umožňují stírání plovoucích látek na hladině. Plovoucí nečistoty a usazený sediment tvoří tzv. primární kal. Sušina primárního kalu je tvořena až ze 75 % organickými látkami. Tento druh kalu velmi rychle zahnívá, a proto je základním substrátem pro výrobu bioplynu (Drinan et al., 2013).

Druhým čistícím procesem je biologické čištění, tedy čištění sekundární. V tomto procesu se uplatňují, stejně jako u většiny čistíren odpadních vod v České republice, biochemické aerobní procesy podmíněné činností mikroorganismů, které rozkládají organické látky v odpadních vodách. Aerobní čištění je realizováno v tzv. aktivačním systému, kde je v aktivační nádrži udržována určitá koncentrace kalu, v které mikroorganismy rozkládají organické látky na  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$ . V důsledku získávání živin mikroorganismy rostou a zvyšují koncentraci kalu. Z tohoto důvodu musí docházet k průběžnému odstraňování kalu. Tento druhu kalu je nazýván sekundární (přebytečný) kal. Sekundární kal je odčerpáván do dosazovací nádrže, v níž dochází k odseparování kalu, jeho zahuštění a akumulaci (Rao et al., 2013).

Dalším technologickým celkem je kalové hospodářství. Prvním zařízením kalového hospodářství je zahuštění kalu. Zde se primární a sekundární kal z důvodu úspory objemu zahušťuje. Po zahuštění je kal čerpán do stabilizačních nádrží, kde se používá anaerobní stabilizace. Kal je rozkládán na  $\text{CH}_4$  a  $\text{CO}_2$ . Vzniká tedy bioplyn, který je energeticky využíván v kogeneračních jednotkách (Vítěz et al., 2008). Stabilizovaný kal je druh kalu, který prošel procesem stabilizace a byl zbaven patogenních mikroorganismů. Je to proces, kde se upravují konečné vlastnosti kalu tak, aby nepodléhal spontánnímu rozkladu. Jedná se o biochemický postup snižování množství snadno rozložitelných organických látek (Tarrasón, 2010). Stabilizovaný kal by se neměl samovolně rozkládat a neměl by zatěžovat okolí zápachem. Biologicky stabilizovaný kal je odvodněn, aby se zvýšil podíl sušiny na 25 – 30 % z původních 10 %. Odvodňování probíhá na kalolisech, odstředivkách nebo sítopásových lisech (Černý, 2009). Takto upravený kal prochází procesem hygienizace, kde je zbaven dalších patogenů. Po procesu hygienizace je kal možné využít k přímé aplikaci na zemědělskou půdu. Nejvíce prováděným způsobem úpravy čistírenského kalu v České republice, pro využití v zemědělství, je anaerobní stabilizace (Dohányos, 2003).



**Obrázek 7 Proces vzniku kalu (Št'asta et al., 2003)**

### 3.7.2 Složení kalů

Čistírenský kal je směsí látek organických (živé a odumřelé buňky mikroorganismů) a anorganických. Tato vodná suspenze obsahuje netoxické organické látky, toxické látky, mikroorganismy, minerály a vodu. Mezi netoxické organické látky, které tvoří až 60 % látek v sušině, lze zařadit cukry, tuky, bílkoviny a huminové látky (primární kal). K těm toxickým patří zejména těžké kovy (Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, Cd, As), dále se k toxickým látkám řadí PAU, PCB, PDCC/F, pesticidy a polyfenoly. Minerály obsažené v sušině čistírenského kalu jsou především křemen, živce, karbonáty a Fe – oxidy (Raclavská, 2007).

#### 3.7.2.1 Složení primárního kalu

Primární kal tvoří suspendované látky zachycené v usazovací nádrži nacházející se v mechanickém stupni čištění odpadních vod. Složení tohoto kalu je ovlivněno znečištěnou vodou přicházející ze stokové sítě na čistírnu odpadních vod a také účinností předřazeného čištění. Obsah organických látek v primárním kalu, stanovený ztrátou žiháním, se pohybuje v rozmezí 70 – 75 %.

### 3.7.2.2 Složení sekundárního kalu

Sekundární kal vzniká při biologickém procesu čištění odpadních vod, kdy dochází k produkci biomasy a odstraňování organického znečištění. Produkce přebytečného kalu je závislá na primární sedimentaci, technologii biologického čištění, stáří kalu, teplotě vody, zatížení kalu, chemickém srážení fosforu a účinnosti dosazovací nádrže. U složení sekundárního kalu nejsou znatelné rozdíly od kalu primárního, které je ovlivněno přicházející odpadní vodou. Složení sekundárního kalu je ale ovlivněno kromě odpadní vody i technologiemi čištění. Obsah organických látek stanovovaných ztrátou žiháním je 60 – 70 % hmotnosti, z čehož vyplývá, že je asi o 10 % nižší než u primárního kalu. Obsah uhlíku je 47 – 52 % hmotnosti. V primárním kalu je uhlík obsažen jako huminové kyseliny, celulóza, lignin apod. Chemické složení je dáno stářím kalu a technologickým zařízením čistírny.

**Tabulka 2 Organická hmota a rostlinné živiny ve vybraných organických hnojivech (Váňa, 2007)**

Organická hmota a rostlinné živiny ve vybraných organických hnojivech v % sušiny						
	Spalitelné látky	N celkem	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Čistírenský kal odvodněný	40	3,6	3,7	0,5	4	0,8
Čistírenský kal vápněný	36	2,4	3,1	0,5	19	0,7
Chlévský hnůj	59	1,9	1,1	2,5	2	0,6

### 3.7.3 Vlastnosti kalů

Vlastnosti čistírenských kalů závisí na jejich původu a úpravě na čistírně odpadních vod. Za běžné rozdělení vlastností kalů je považováno rozdělení na:

- fyzikální vlastnosti určující upravitelnost kalů,
- chemické vlastnosti poskytující informace o přítomnosti živin, toxických nebo nebezpečných látek,
- biologické parametry určující mikrobiální aktivitu a organickou složku kalů,
- ekotoxické vlastnosti, které jsou posuzovány podle zvláštní vyhlášky

V zemědělství jsou za důležité charakteristiky kalu považovány:

- obsah sušiny,
- obsah organických látek,
- obsah živin, těžkých kovů, organických mikropolutantů, patogenů a pH.

Obsah sušiny je důležitý především pro dopravu a vlastní aplikaci na půdu. Obsah organických látek významně ovlivňuje vlastnosti kalů, ale změny v jejím obsahu zase tolik neovlivňují jejich využití v zemědělství. Četnost aplikace je dána obsahem živin, těžkých kovů a organických mikropolutantů. Mezi nejvýznamnější živiny obsažené v kalech můžeme považovat fosfor a dusík. Jsou zde obsaženy i živiny jako je draslík a hořčík, ale jejich obsahy jsou nízké. Množství živin je závislé na technologických úpravách a na charakteru kalu.

U kalů aplikovaných na půdu je kontrolována zdravotní závadnost a to na základě přítomnosti patogenů v kalech (Raclavská, 2007). Dle zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech je za upravený považován kal, který byl podroben biologické, chemické nebo tepelné úpravě, dlouhodobému skladování nebo jakémukoliv vhodnému procesu, který významně snížil obsah patogenních mikroorganismů v kalech, a tím i jeho zdravotní riziko spojené s jeho aplikací.

K potenciálně patogenním organismům pro člověka v kalech řadíme tyto 4 skupiny: termotolerantní koliformní bakterie, Enterokoky, *Salmonella* spp., vajíčka helmintů a enteroviry. Zatímco viry a helminti jsou těžko stanovitelní, některé rody bakterií se stanovit dají a jsou tzv. indikátorovými organismy, k nimž patří *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, *Listeria* a *Vibrio*. Z kalů jsou izolovány i organismy patogenní pro rostliny, např. viry, plísňe a cysty hlístů (vyhláška č. 382/2001 Sb.).

Pro využití čistírenských kalů v zemědělství umožňuje legislativa ČR i EU klasifikaci hygienizovaného kalu do dvou kategorií podle platné vyhlášky Ministerstva životního prostředí č. 382/2001, Sb., rozlišující kal Kategorie I. a II.. Kritéria jsou uvedena v tabulce 3.

**Tabulka 3 Kategorizace hygienizovaného kalu dle vyhlášky 382/2001 Sb.**

<b>Kritérium</b>	<b>Kategorie I. (KTJ/g)</b>	<b>Kategorie II. (KTJ/g)</b>
Termotolerantní koliformní bakterie	$< 10^3$	$10^3 - 10^6$
Enterokoky	$< 10^3$	$10^3 - 10^6$
<i>Salmonella</i> spp.	negativní	nestanovuje se

Aby bylo možné hygienizovaný kal zařadit do Kategorie I., musí projít jedním z několika možných technologických postupů. Těmito postupy jsou myšleny např.:

- sušení kalu při teplotě vyšší než 80 °C na sušinu vyšší než 90 %,
- autotermní aerobní termofilní stabilizace při teplotě 55 °C a přerušovaným dávkováním surového kalu a odběru s odstupem 20 hodin,
- alkalizace vápnem při dosažení pH nad 12 a teploty nad 55 °C a udržení těchto podmínek po dobu 2 hodin apod.

Do této kategorie jsou zařazeny kaly, které je možné aplikovat na půdy využívané v zemědělství, pokud jsou dodrženy ostatní ustanovení ve vyhlášce č. 382/2001 Sb. (vyhláška 382/2001 Sb.).

Do Kategorie II. jsou zařazeny kaly, pokud kaly projdou tzv. konvenčními procesy s částečnou stabilizací, mezi něž řadíme např.:

- autotermní aerobní termofilní stabilizace při teplotě nad 55 °C s následnou anaerobní mezofilní nebo termofilní stabilizací s průměrnou dobou zdržení asi 20 dní a bez omezení způsobu odběru a dávkování kalu,
- kondicionaci vápnem při pH 12 po dobu 24 hodin, oddělenou a řízenou aerobní stabilizací při teplotě prostředí po dobu 35 – 45 dní apod.

Podle vyhlášky MŽP č. 382/2001 Sb. jsou v této kategorii kaly, které je možné aplikovat na zemědělské půdy určené k pěstování technických plodin a na půdy, na kterých se nejméně 3 roky po použití čistírenských kalů nebude pěstovat polní zelenina nebo intenzivně plodící ovocná výsadba.

Nejvíce prováděným způsobem úpravy čistírenského kalu v České republice, pro využití v zemědělství, je anaerobní stabilizace (Dohányos, 2003).

Primární kal obsahuje velké množství mikroorganismů, které jsou obsaženy již ve splaškové vodě, a proto je vysoce reaktivní. Tato vlastnost způsobuje tvorbu metanu bez přístupu vzduchu a vznik bioplynu. Další důležitou vlastností primárního kalu je schopnost snadno sedimentovat. Této schopnosti se využívá při tvorbě zahušťování. Tento kal má i vysoký obsah patogenů.

Sekundární kal je oproti kalu primárnímu méně reaktivní a má podstatně horší sedimentační vlastnosti.

### 3.7.3.1 Rizikové prvky

Čistírenské kaly mohou kromě rostlinných zbytků obsahovat také rizikové organické látky, které mohou negativně ovlivnit lidské zdraví. Rizikové prvky (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) jsou jedním z limitujících faktorů využití kalů na zemědělskou půdu (Váňa, 2007). Při aplikaci hygienizovaných čistírenských kalů, podle vyhlášky MŽP č. 382/2001 Sb., musí být dodrženy mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových prvků a na zemědělskou půdu mohou být použity pouze kaly vyhovující mezním hodnotám stanovených touto vyhláškou. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4 a v tabulce 5. Nesmějí být překročeny limity stanovené pro zemědělskou půdu a také limitní koncentrace rizikových prvků v kalech aplikovaných na zemědělskou půdu (vyhláška č. 382/2001 Sb.). Dostupnost těžkých kovů z upravených čistírenských kalů pro rostliny je dána hlavně půdními vlastnostmi. Mobilita kovů v půdě závisí hlavně na chemických a fyzikálních vlastnostech systému kal – půda (Kubík, 2009).

**Tabulka 4 Ukazatele rizikových prvků pro hodnocení půd dle 382/2001 Sb.**

Rizikový prvek	Mezní hodnoty koncentrací prvků v kalech(mg/kg sušiny půdy)
<b>Arzen</b>	30
<b>Kadmium</b>	5
<b>Chrom</b>	200
<b>Měď</b>	500
<b>Rtuť</b>	4
<b>Nikl</b>	100
<b>Olovo</b>	200
<b>Zinek</b>	2 500

**Tabulka 5 Ukazatele rizikových prvků pro hodnocení kalů při aplikaci na zemědělskou půdu dle 382/2001 Sb. (\*celkový obsah)**

Mezní hodnoty koncentrací rizikových prvků v extraktu lučavkou královskou v mg/kg sušiny v půdě				
	Arzen	Kadmium	Chrom	Měď
<b>Běžné půdy</b>	20	0,5	90	60
<b>Písky, hlinité písky, štěrkopísky</b>	15	0,4	55	45
	Rtuť	Nikl	Olovo	Zinek
<b>Běžné půdy</b>	0,3*	50	60	120
<b>Písky, hlinité písky, štěrkopísky</b>	0,3*	45	55	105

### 3.7.4 Nakládání s kaly

Způsoby nakládání s kaly z čistíren odpadních vod jsou dány technologickým zpracováním, které bývá závislé na místních podmínkách a fyzikálních, chemických a biologických vlastnostech samotných kalů. Kaly je možné konečně zpracovávat různými způsoby, např. energetickým zhodnocením, využitím anorganických látek z kalu k výrobě hnojiva (státy Evropské Unie), použitím v zemědělství anebo pro rekultivaci (Dohányos, 2004).

Pro všechny způsoby konečného využití kalů je nejdůležitější snížení množství vody v kalu. Pokud bude kal využíván k zemědělským účelům anebo rekultivaci, je důležitá hygienická nezávadnost a stabilizace kalů. V zemědělství zaručuje kal přídavek živin do půdy. Tento způsob využití kalu je ukotven v legislativě (Raclavská, 2007).

### 3.7.5 Využití kalů

Produkcí kalů nelze zabránit, lze pouze zmenšit jejich množství a to výběrem vhodné technologie zpracování (Dohányos, 2003).

Kaly můžeme využívat několika způsoby:

- materiálově – jako organické hnojivo (Zábranská, 2004),
- využití energie z kalu – přímé spalování, spoluspalování, produkce paliva pyrolýzou, mokrá oxidace apod.,
- skládkování,
- kompostování (Šťasta et al., 2003).

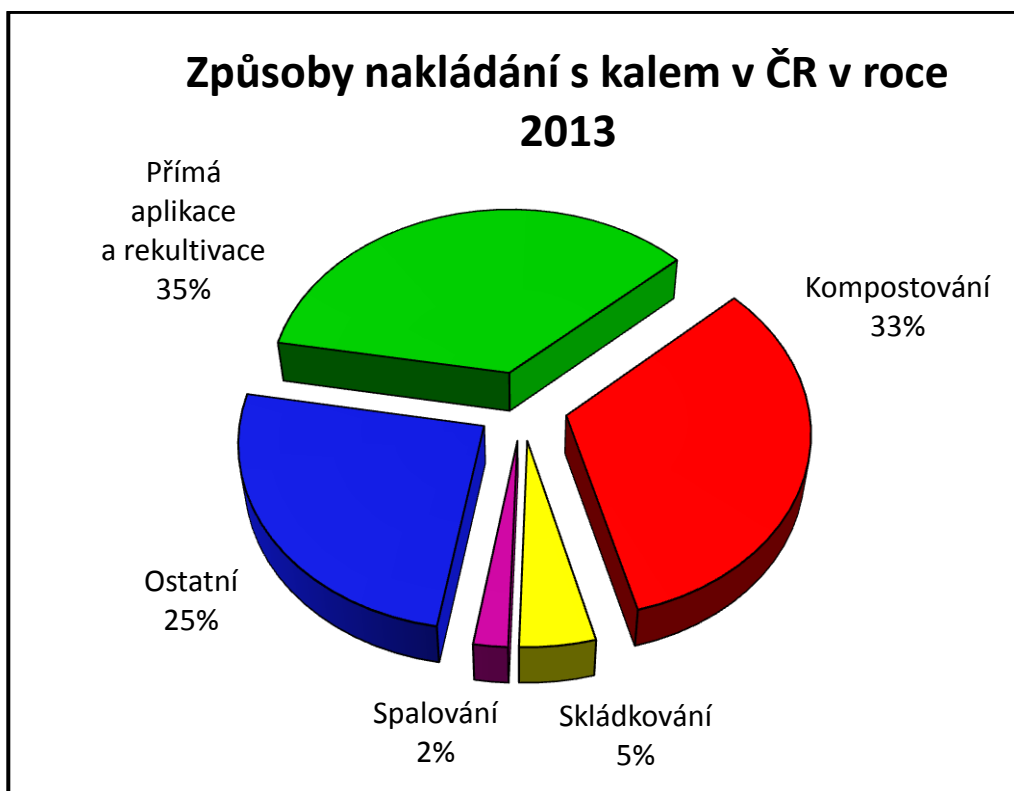
Podle Statistické ročenky České republiky pro rok 2014 bylo v České republice v roce 2013 vyprodukováno 154 274 tun sušiny kalu. V tabulce 6 jsou uvedeny způsoby nakládání s kaly z čistíren odpadních vod v ČR.

Tabulka 6 Produkce kalů v ČOV a způsob jejich zneškodnění (převzato z www.czso.cz)

Rok	Způsob zneškodnění kalů (tuny sušiny)				
	Přímá aplikace na zemědělskou půdu a rekultivace	Kompostování	Skládkování	Spalování	Ostatní
2005	34 467	88 820	12 027	20	36 554
2006	48 304	89 932	13 979	27	23 229
2007	55 349	80 393	8 536	47	27 978
2008	46 776	78 289	11 986	712	37 945
2009	42 442	80 727	5 931	2 179	36 885
2010	60 639	45 528	6 177	3 336	55 009
2011	61 750	45 985	9 527	3 538	43 018
2012	51 912	53 222	9 340	3 528	50 188
2013	54 713	50 384	7 123	3 232	38 822

Pro názornější představu jsou v následujícím v grafu 1 znázorněny způsoby nakládání s kaly za rok 2013.

Graf 1 Způsoby nakládání s kalem v roce 2013 (upraveno z www.czso.cz)



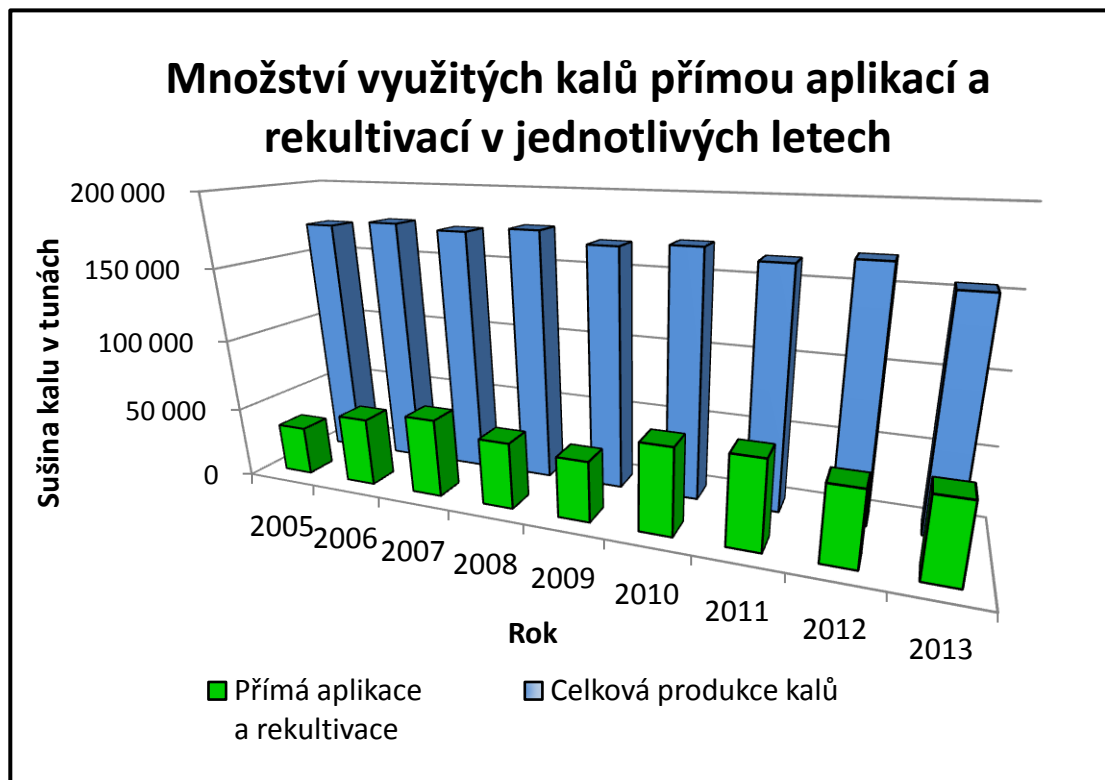


### 3.7.6 Kaly jako organické hnojivo

Čistírenské kaly jsou zdrojem stabilizované organické hmoty a rostlinných živin. Hnojení těmito surovinami je levný způsob získávání živin, které jsou rostlinami efektivně využívané (Váňa, 2007). Kaly obsahují i ve více jak 50 % organické hmoty (Sponar, 2004), která má příznivý poměr uhlíku a dusíku a je tedy vhodná pro recyklaci v zemědělství (Gergel'ová, 2008). Množství organických látek obsažených v čistírenských kalech je až 3x vyšší než u chlévského hnoje. U těchto látek je důležitá i stabilita, protože organické látky obsažené v čistírenských kalech jsou méně stabilní díky nižšímu poměru C/N. Zároveň mají tyto látky nižší stupeň humifikace, jelikož oproti chlévskému hnoji obsahují méně uhlíku v huminových kyselinách a to způsobuje rychlejší přístup pro rostliny. I přes všechny tyto údaje zvyšují množství organického uhlíku v půdě a z dlouhodobého hlediska tak ovlivňují i obsah mikrobiální biomasy (Černý, 2009). Tím, že hnojení kaly zvyšuje obsah organické hmoty v půdě, se zvyšuje i biologická aktivita (Poláková, 2011). Těmito látkami se mohou zlepšovat fyzikálně – chemické a biologické vlastnosti půd (Sponar, 2004). Čistírenské kaly jsou tedy vhodnou alternativní hnojivou látkou, která vyrovnává deficit minerálních a organických látek v půdě a zajišťuje dlouhodobé ukládání uhlíku v půdě (Uš'ak et al, 2013). Ve srovnání s ostatními organickými hnojivy je zde nižší obsah draslíku a vyšší obsah dusíku a fosforu, a proto je nutné při aplikaci kalů dodržet stanovenou dávku a kvalitu aplikace (Balík et al., 2000). Maximální dávka kalu je 5 tun sušiny na hektar půdy v průběhu tří po sobě následujících let (vyhláška č. 382/2001 Sb.). Tato dávka je z pohledu obsahu dusíku vyhovující. Dávka dusíku, kterou dodáváme v kalech, nesmí překročit 70 % celkového potřebného množství dusíku pro danou plodinu. Dávka, doba a množství kalů se řídí také požadavkem hnojených plodin na obsahy živin. Množství kalů může být zvýšeno až na 10 tun sušiny v průběhu 5 po sobě následujících let, pokud kaly splňují podmínku, že obsahují méně než polovinu limitního množství každé ze sledovaných rizikových látek a prvků.

Mezi negativní vlastnosti hnojení čistírenskými kaly patří možný obsah patogenů, organických polutantů a přítomnost rizikových prvků. Obsahy rizikových prvků v kalech jsou jednou z možností, jak regulovat tok těchto prvků v prostředí. Při použití kalů v zemědělství je nutné sledovat celkový přísun rizikových prvků do půdy a jejich celkovou bilanci (Balík et al., 2000).

**Graf 2 Množství přímé aplikace a rekultivace čistírenských kalů na zemědělskou půdu v ČR (upraveno z czso.cz)**



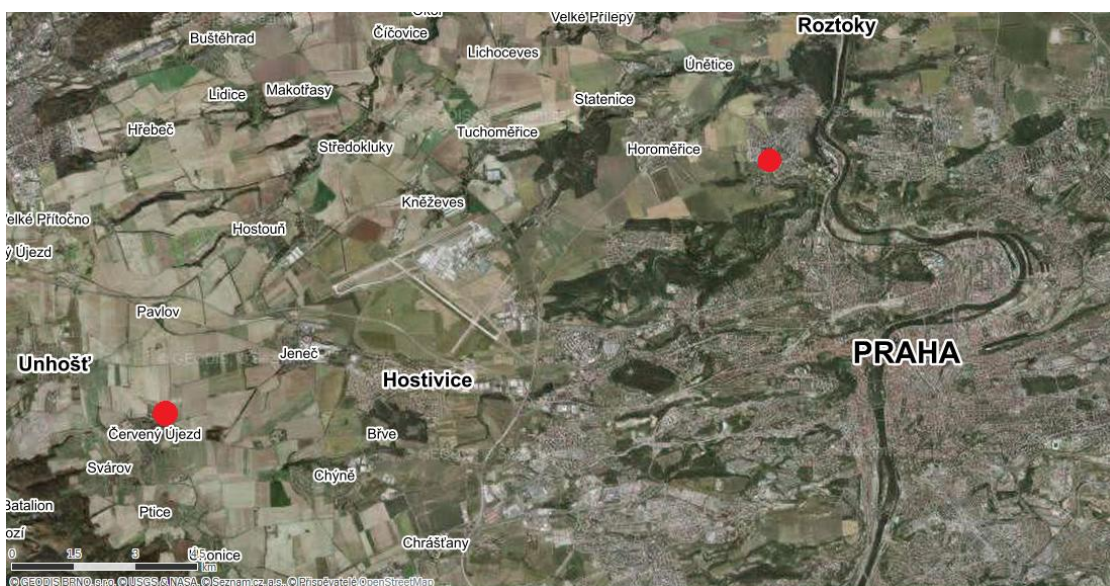
V grafu 2 je znázorněn vývoj využívání přímé aplikace a rekultivace čistírenských kalů na zemědělskou půdu v České republice v porovnání s celkovým množstvím vyprodukovaných kalů. Největší podíl kalů využitých pro přímou aplikaci a rekultivaci byl v roce 2011 a to 38 % z celkového množství roční produkce čistírenských kalů. Vzhledem k účinkům přímé aplikace kalů na zemědělskou půdu a rekultivace by měly být tyto způsoby využívány ve větší míře obdobně jako v zemích EU, ve kterých je tento podíl i více než 50 % z celkové produkce kalů (Černý, 2014).

## 4 Materiál a metody

### 4.1 Charakteristika lokalit a odběr půdních vzorků

Experimentální část diplomové práce probíhala v laboratořích České zemědělské univerzity v Praze.

Vzorky pro stanovení obsahu mikrobiálního uhlíku v půdě byly odebrány ze stanovišť dlouhodobých polních pokusů s rotací plodin s rozdílnými půdně – klimatickými podmínkami. Pokusy byly založeny na pěti odlišných stanovištích a pro účely této diplomové práce byly vybrány vzorky pouze ze dvou stanovišť: Červený Újezd a Praha – Suchdol, viz obrázek 8.



**Obrázek 8** Zobrazení zkoumaných lokalit (upraveno z [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz))

Založení pokusů bylo provedeno na podzim roku 1996. V rámci pokusu jsou střídány tři plodiny (brambory – ozimá pšenice – jarní ječmen), přičemž na stanovišti Červený Újezd je vzhledem k agrotechnickým možnostem místo brambor využívána jako pokusná plodina silážní kukuřice.

#### 4.1.1 Červený Újezd

Lokalita Červený Újezd (souřadnice GPS 50°4'22"N, 14°10'19"E) má rozlohu pokusné parcely 80 m<sup>2</sup> a nachází se na západ od hlavního města Prahy u obce Unhošť. Jde o stanoviště s nadmořskou výškou 410 m. n. m. s průměrnou roční teplotou 7,7 °C a průměrnými ročními srážkami 493 mm. Půdním typem je zde luvizem. Tato půda se vytváří

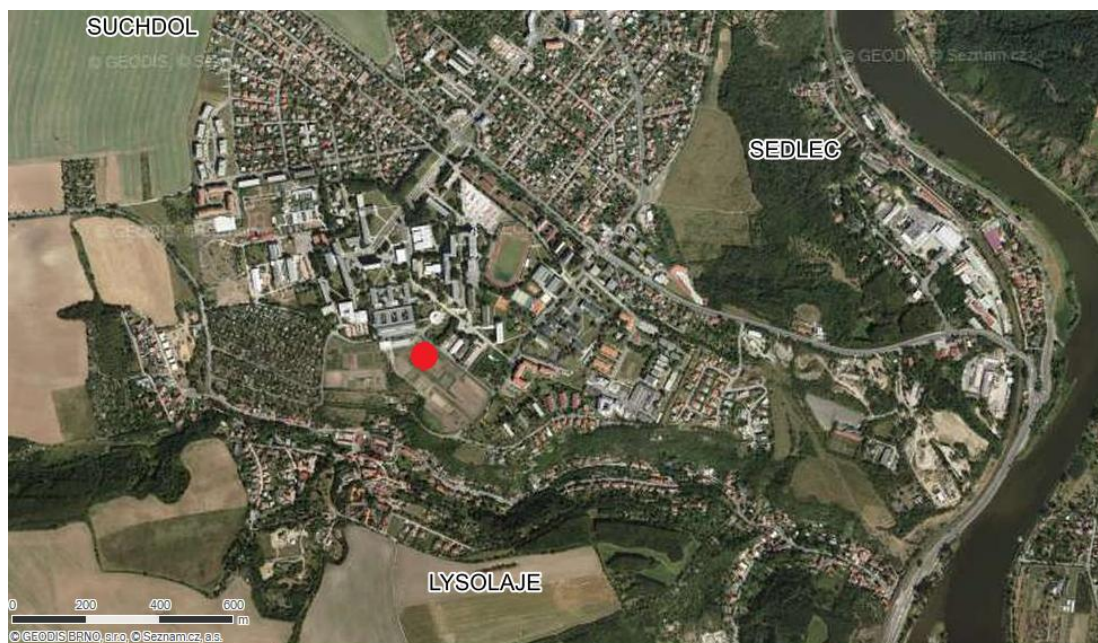
hlavně v rovinách a v mírně zvlněném terénu. Luvizem je charakteristická výrazně vyběleným eluviálním horizontem. Druhem půdy je hlinitá půda a podle Novákovy klasifikační stupnice je zařazena do skupiny středně těžkých půd s obsahem zrn 30 – 45 % o velikosti  $< 0,01$  mm. Hlinité půdy jsou považovány za neúrodnější a mají optimální proces vsakování. Obsah  $C_{ox}$  je 1,7 %. Další charakteristiky této oblasti jsou uvedeny v tabulce 7. Na obrázku 9 je možné vidět, kde přesně se stanoviště nachází.



**Obrázek 9** Lokalizace stanoviště Červený Újezd (upraveno z [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz))

#### **4.1.2 Praha – Suchdol**

Stanoviště Praha – Suchdol (souřadnice GPS  $50^{\circ}7'40''N$ ,  $14^{\circ}22'33''E$ ) má velikost pokusné parcely  $60,5$  m<sup>2</sup> a nachází se na severozápadě Prahy. Jedná se o lokalitu s nadmořskou výškou 286 m. n. m. s průměrnou roční teplotou  $9,1$  °C a průměrným ročním úhrnem srážek 495 mm. Půdním typem je zde černozem, která se vyznačuje velkou úrodností. Jedná se o půdu s horizontem bohatým na humus, je slabě vápenitá a vzniká hlavně na spraších. Půdním druhem je zde taktéž hlinitá půda. Obsah  $C_{ox}$  je 2,6 %, tedy o 0,9 % vyšší než u půd v lokalitě Červený Újezd. Další charakteristiky oblasti jsou uvedeny v tabulce 7. Na obrázku 10 je znázorněno stanoviště Praha – Suchdol.



Obrázek 10 Lokalizace stanoviště Praha – Suchdol (upraveno z [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz))

Tabulka 7 Charakteristika pokusných stanovišť

Stanoviště	Červený Újezd	Praha - Suchdol
pH (CaCl <sub>2</sub> )	6,5	7,5
Kationtová výměnná kapacita (mmol <sup>(+)</sup> /kg)	145	230
P* (mg/kg)	100	91
K* (mg/kg)	80	230
Mg* (mg/kg)	110	240
Ca* (mg/kg)	3 600	9 000

\* Mehlich III 1:10 w/v

#### 4.1.3 Aplikace hnojiv a odběry vzorků

Aplikace organických, fosforečných a draselných hnojiv byla prováděna na podzim. K organickému hnojení aplikovanému pod brambory jsou používány kaly z Ústřední čistírny odpadních vod v Praze, které byly termofilně anaerobně stabilizované při teplotě 55-56 °C. Dále byl aplikován hnůj a sláma z jednotlivých pokusných stanic.

Fosforečná a draselná minerální hnojiva jsou aplikována ke všem plodinám na podzim. Dusíkatá minerální hnojiva jsou aplikována u brambor a ječmene před založením porostu. U pšenice je dávka dusíku rozdělena na dvě poloviny, kde první je aplikována jako regenerační přihnojení a druhá jako produkční přihnojení. Dávky hnojiv a obsah živin v aplikovaných hnojivech jsou uvedeny v tabulce 8, tabulce 9 a tabulce 10.

**Tabulka 8 Celkové množství dodaných organických hnojiv (t/ha) na podzim před rokem pokusu**

Druh hnojiva	Suchdol		Červený Újezd	
	dávka [t.ha <sup>-1</sup> ]	dávka sušiny [t.ha <sup>-1</sup> ]	dávka [t.ha <sup>-1</sup> ]	dávka sušiny [t.ha <sup>-1</sup> ]
<b>Kal</b>	31,4	9,3	31,4	9,3
<b>Hnůj</b>	62,0	19,3	66,4	22,1

**Tabulka 9 Obsah živin v hnojivech dodaných na podzim před rokem pokusu u lokality Červený Újezd**

Obsah živin v hnojivech	N [%]	P [ mg.kg <sup>-1</sup> ]	K [ mg.kg <sup>-1</sup> ]	Ca [ mg.kg <sup>-1</sup> ]	Mg [ mg.kg <sup>-1</sup> ]
<b>Kal</b>	1,05	32805	3038	52741	5440
<b>Hnůj</b>	0,53	5288	23225	14865	5060

**Tabulka 10 Obsah živin v hnojivech dodaných na podzim před rokem pokusu u lokality Praha - Suchdol**

Obsah živin v hnojivech	N [%]	P [ mg.kg <sup>-1</sup> ]	K [ mg.kg <sup>-1</sup> ]	Ca [ mg.kg <sup>-1</sup> ]	Mg [ mg.kg <sup>-1</sup> ]
<b>Kal</b>	1,05	32805	3038	52741	5440
<b>Hnůj</b>	0,5	3772	15048	8120	5518

Vzorky byly odebírány ve čtyřech různých měsících (tabulka 11) sondovací tyčí v hloubce 0 – 30 cm a z každé varianty vznikl i směsný vzorek. Bylo vytvořeno celkem 7 minimálních dílčích vzorků, tedy vpichů sondovací tyčí. Vzorky byly poté uloženy v termoboxu a k následnému měření byly homogenizovány přes síto.

**Tabulka 11 Termíny odběru a jejich pořadí**

Termín odběru	Rok 2014			
	8. dubna	28. května	23. července	20. srpna
Pořadí odběru	1.	2.	3.	4.

## 4.2 Fumigačně – extrakční metoda

Hlavní princip fumigačně extrakční – metody byl již popsán v literární rešerši. Dále bude popisována metodika upravená pro laboratoře Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin České zemědělské univerzity v Praze.

Před vlastním měřením byla provedena příprava vzorků, tzn., čerstvé vzorky zeminy byly prosáty přes drátěné síto s velikostí ok 5 mm.

Vzorky jsou děleny na:

- ošetřené chloroformem,
- neošetřené chloroformem.

#### **4.2.1 Vzorky ošetřené chloroformem**

Každý vzorek, který je ošetřen chloroformem, je analyzován dvakrát s dvěma slepými vzorky. Do slepých vzorků není navažována zemina, ale ošetření probíhá stejně jako u vzorků se zeminou.

Vzorky byly naváženy do teflonových lahvíček, které jsou odolné vůči chloroformu. Nejprve byla zvážena samotná lahvička. Vážení vzorku homogenizované zeminy probíhalo na filtračním papíře a následně bylo přesně navážených 15 g zeminy opatrně přesypáno do lahvičky.

Do navážených i slepých vzorků bylo nadávkováno 50 ml  $K_2SO_4$  o koncentraci 0,05 mol/l. Takto upravené vzorky byly 15 minut třepány při frekvenci 90 kmitů za minutu. Po vytřepání byly vzorky přemístěny do odstředivky, kde byly centrifugovány 5 minut při 3 000 otáčkách za minutu. Po odstředění byl extrakt vylit a lahvičky se zeminou i slepé vzorky byly zváženy a připraveny na ošetření chloroformem.

Ošetření vzorků chloroformem probíhalo v exsikátoru. Na dno exsikátoru byly umístěny kádinky. Jedna kádinka obsahovala natronkalk, což je směs hydroxidu sodného a hydroxidu vápenatého v podobě bílých kuliček, druhá byla naplněna chloroformem. Vedle kádinky byl na misce vložen vodou ovlhčený filtrační papír. Dno exsikátoru bylo zakryto deskou, na kterou byly umístěny lahvičky se vzorky zeminy a i se slepými vzorky, které by měly být umístěny naproti sobě. Do odměrného válce bylo nalito 30 ml čistého chloroformu, a proto bylo potřeba vykonávat práci velmi rychle, aby uniklo co nejméně chloroformu do prostředí. Z tohoto množství chloroformu bylo pipetováno 200  $\mu$ l do každého vzorku. Poté byl zbytek chloroformu nalit pomocí trychtýře a nástavce do připravené kádinky na dno exsikátoru. Následně byl exsikátor řádně zavřen a na ventil byla nasazena hadička vývěvy. Chloroform se při podtlaku -75 kPa začal vařit, ale zcela se vařil až při -80 kPa. Chloroform byl vařen 2 minuty, přičemž vaření ztrácí postupně na intenzitě. Po 2 minutách byla vypnuta vývěva a uzavřen ventil exsikátoru. Vedlejším ventilem byl uvolněn podtlak v hadičkách, a

proto bylo možné hadičku sundat z kohoutu exsikátoru. Vzorky byly ponechány v prostředí chloroformu 24 hodin ve tmě. Po 24 hodinách byl napuštěn exsikátor vzduchem. Následně byl dvakrát odsán na podtlak -50 kPa kvůli odstranění zbylých par chloroformu, které by mohly vadit při stanovení obsahu uhlíku. Dalším důvodem bylo, aby vzorky při další manipulaci nezapáchaly. Chloroform působí na mikroorganismy tak, že rozpouští jejich buněčné stěny, čímž se uvolní cytosol, který obsahuje dusík a uhlík, do prostředí.



**Obrázek 11 Vzorky před a po aplikaci chloroformu v exsikátoru (vlastní zdroj)**

Ošetřené vzorky byly po 24 hodinách inkubace chloroformem zality 50 ml  $K_2SO_4$  o koncentraci 0,5 mol/l. Vzorky takto ošetřené byly umístěny do třepačky na 45 minut. Po 45 minutách třepání byly centrifugovány na odstředivce 5 minut při otáčkách 3 000 za minutu.

Po odstředění bylo pipetováno 4,5 ml extraktu z nefumigovaných vzorků a 4,5 ml připravené demineralizované vody do umělohmotných kyvet o objemu 10 ml určených pro měření přístrojem Skalar.

#### **4.2.2 Vzorky neošetřené chloroformem**

Zkoumané vzorky byly naváženy do PET lahviček. Nejprve byla zjištěna hmotnost lahvičky a poté bylo naváženo přesně 15 g homogenizované zeminy obdobně jako v předchozím případě ošetřované zeminy chloroformem. Navážené vzorky byly zality 50 ml  $K_2SO_4$  o koncentraci 0,05 mol/l. Dále byly lahvičky se vzorky umístěny do třepačky na 15 minut při frekvenci 90 kmitů za minutu. Po vytřepání byly celé vzorky i se slepými centrifugovány 5 minut při otáčkách 3 000 otáčkách za minutu. Po odstředění bylo odpipetováno 9 ml extraktu z preextrakce do umělohmotných kyvet o objemu 10 ml určených pro měření na přístroji Skalar. Lahvičky s odstředěnou zeminou byly znovu zváženy a po poté do nich bylo přidáno 50 ml  $K_2SO_4$  o koncentraci 0,5 mol/l. a dále umístěny na třepačku, kde byly ponechány 45 minut. Následně byly vzorky opět centrifugovány po dobu 5 minut při 3 000 otáčkách za minutu. Po odstředění Bylo napipetováno 4,5 ml extraktu



z nefumigovaných vzorků a 4,5 ml demineralizované vody do kyvet o objemu 10 ml určených k měření na přístroji Skalar.

Samotné stanovení probíhalo na již zmiňovaném Skalaru. Na tomto přístroji byl měřen extrahovatelný organický uhlík.



**Obrázek 12 Přístroj SKALAR**

## 5 Výsledky

Pro každý druh hnojiva bylo měření provedeno 2x, jak pro vzorek ošetřený fumigací, tak i pro vzorky neošetřené. Celkový obsah organického uhlíku půdní mikrobiální biomasy je vyjádřen jako zprůměrovaný rozdíl celkového množství organického uhlíku fumigovaného a nefumigovaného vzorku. Tento rozdíl je dále upraven podle vztahu (Vance et al., 1987):

$$\text{Biomasa C} = \frac{F_c}{k_c}$$

kde veličina  $F_c$  je pro toto měření zprůměrovaný rozdíl mezi obsahem  $\text{CO}_2 - \text{C}$  fumigovaného a nefumigovaného vzorku a koeficient  $k_c$  je poměr mikrobiální biomasy uhlíku vypočítán z mnoha měření a jeho hodnota je 0,45.

### 5.1 Lokalita Červený Újezd

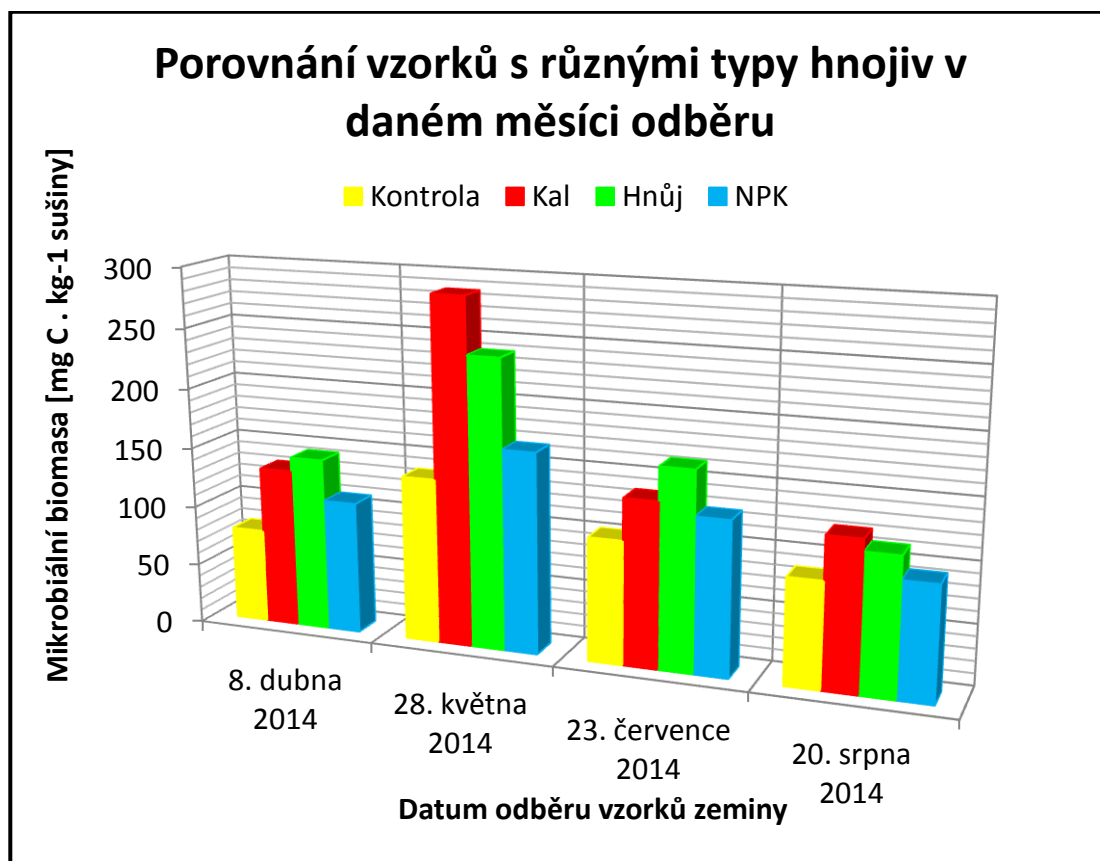
Naměřený obsah extrahovatelného organického uhlíku v půdě pro fumigované a nefumigované vzorky v lokalitě Červený Újezd je možné vidět v tabulce 12.

**Tabulka 12 Naměřené hodnoty obsahu extrahovatelného organického uhlíku v lokalitě Červený Újezd [mg C/kg sušiny]**

Lokalita Červený Újezd								
Pořadí odběru vzorků	1.		2.		3.		4.	
Druh vzorku	N	F	N	F	N	F	N	F
Kontrola	21,2	56,9	34,2	98,3	14,2	57,5	16,1	55,1
	21,0	55,8	38,0	97,0	14,9	63,6	16,0	55,8
Kal	31,1	91,2	61,4	189,1	17,7	79,8	20,6	74,3
	33,5	92,4	56,5	186,6	15,5	76,5	22,4	79,6
Hnůj	40,5	108,6	61,3	173,9	18,7	88,4	29,2	81,7
	43,7	105,2	59,4	162,4	18,7	96,9	29,0	78,6
NPK	35,7	84,0	67,8	140,1	18,7	72,9	25,9	67,1
	36,3	86,8	62,3	139,7	19,0	79,6	25,1	68,9

Pro lepší názornost byly výsledky prezentovány v následujících grafech. V grafu 3 bylo porovnáváno množství mikrobiální biomasy uhlíku v jednotlivých typech hnojiv v daném měsíci.

Graf 3 Porovnání vzorků s různými typy hnojiv v daném měsíci odběru v ČÚ



V prvním termínu odběru byla nejnižší hodnota uhlíku mikrobiální biomasy naměřena u kontrolního vzorku. Tato hodnota byla 78 mg C/kg sušiny. Druhý nejnižší naměřený výsledek byl stanoven u varianty hnojené NPK, a to cca 110 mg C/kg sušiny. Naopak největší množství mikrobiální biomasy uhlíku obsahovala varianta hnojená hnojem, jehož hodnota byla 144 mg C/kg sušiny. Další hodnotou, která byla dle mého názoru srovnatelná s hodnotou vzorku hnojeným hnojem, byla varianta hnojená kalem. Zde obsah uhlíku mikrobiální biomasy dosáhl hodnoty 132 mg C/kg sušiny. Rozdíl mezi zeminou hnojenou hnojem a kalem byl 12 mg C/kg sušiny, který mohl být způsoben obsahem organických látek v jednotlivých druzích hnojiv a dávkou hnojiva použitou k aplikaci.

Ve druhém termínu odběru byla, obdobně jako u předchozího odběru, naměřena nejnižší hodnota u kontroly, cca 137 mg C/kg sušiny. Zatímco kal dosahoval nejvyšší hodnoty 286 mg C/kg sušiny, varianta hnojená hnojem obsahovala o cca 46 mg C/kg sušiny méně. U kalu se jednalo o nejvyšší dosažený obsah uhlíku mikrobiální biomasy, který byl u lokality Červený Újezd naměřen. Vzhledem ke kontrolnímu výsledku byla tato hodnota větší o více jak dvojnásobek hodnoty kontrolního vzorku. Hodnota NPK byla 166 mg C/kg sušiny a jako

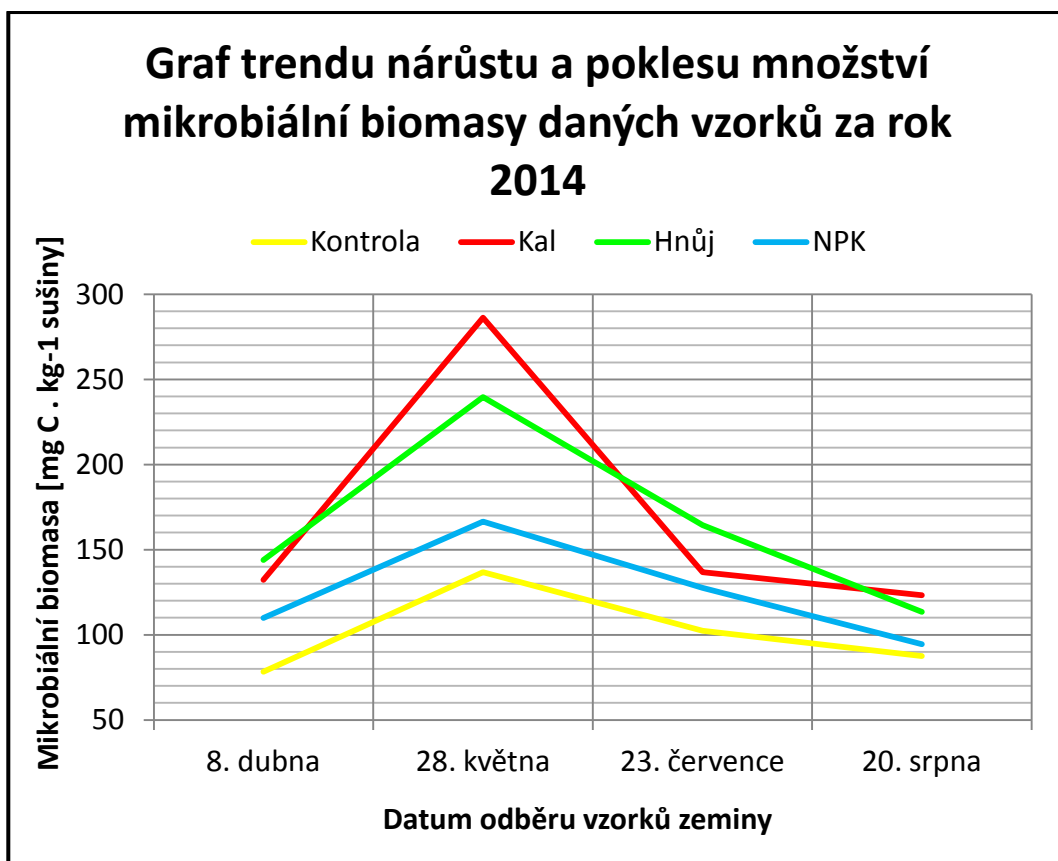
v předešlém termínu měření je druhým nejnižším naměřeným obsahem mikrobiální biomasy uhlíku.

Z další části grafu je patrné, že ze vzorků odebíraných ve třetím termínu odběru bylo v kontrole naměřeno 102 mg C/kg sušiny, což bylo opět nejnižší množství mikrobiálního uhlíku v půdě. Varianta hnojená NPK byla vyšší o cca 25 mg C/kg sušiny, což stále odpovídalo pouze druhé nejnižší hodnotě. Nejvýše dosaženou hodnotou byl obsah uhlíku mikrobiální biomasy u varianty hnojené hnojem. Tato hodnota byla 164 mg C/kg sušiny. U zeminy hnojené kalem bylo naměřeno 137 mg C/kg sušiny.

Ve čtvrtém termínu odběru byla nejnižší naměřená hodnota u kontrolního vzorku. Obsah mikrobiální biomasy v něm byl 87 mg C/kg sušiny. Druhou nejnižší naměřenou hodnotou bylo množství mikrobiální biomasy uhlíku u varianty hnojené NPK, konkrétně 94 mg C/kg sušiny. Pokud bychom srovnávali varianty hnojené hnojem a kalem, rozdíl mezi nimi byl 10 mg C/kg sušiny ve prospěch kalu. Tato varianta obsahovala 123 mg C/kg sušiny.

Pro názornost změn obsahu uhlíku mikrobiální biomasy v lokalitě Červený Újezd v průběhu času byl vytvořen graf 4.

**Graf 4** Změna množství C mikrobiální biomasy v průběhu času v ČÚ



Z grafu je dobře viditelný relativně pomalý nárůst u kontrolní varianty a variant hnojených hnojem a NPK. Tento pozvolný nárůst může být zapříčiněn klimatickými podmínkami, druhem a typem půd, který se v lokalitě Červený Újezd nachází. Tato úvaha platí i pro variantu hnojení kalem, kde byl nárůst rychlejší. Tento nárůst obsahu mikrobiální biomasy v půdě byl pouze krátkodobý. Množství uhlíku mikrobiální biomasy obsažené v kalu po dosažení maxima ve druhém termínu odběru rychle klesal v porovnání s hnojem kvůli nižší stabilitě a poté téměř stagnoval, jelikož se na poli nevyskytovaly žádné posklizňové zbytky a není možné doplnit organický uhlík. Nárůst obsahu uhlíku mikrobiální biomasy není tak prudký a následující pokles byl pozvolnější, jelikož uhlík, který byl obsažený v mikrobiální biomase vzorku hnojeného hnojem, je odebírán pomaleji.

## 5.2 Lokalita Praha – Suchdol

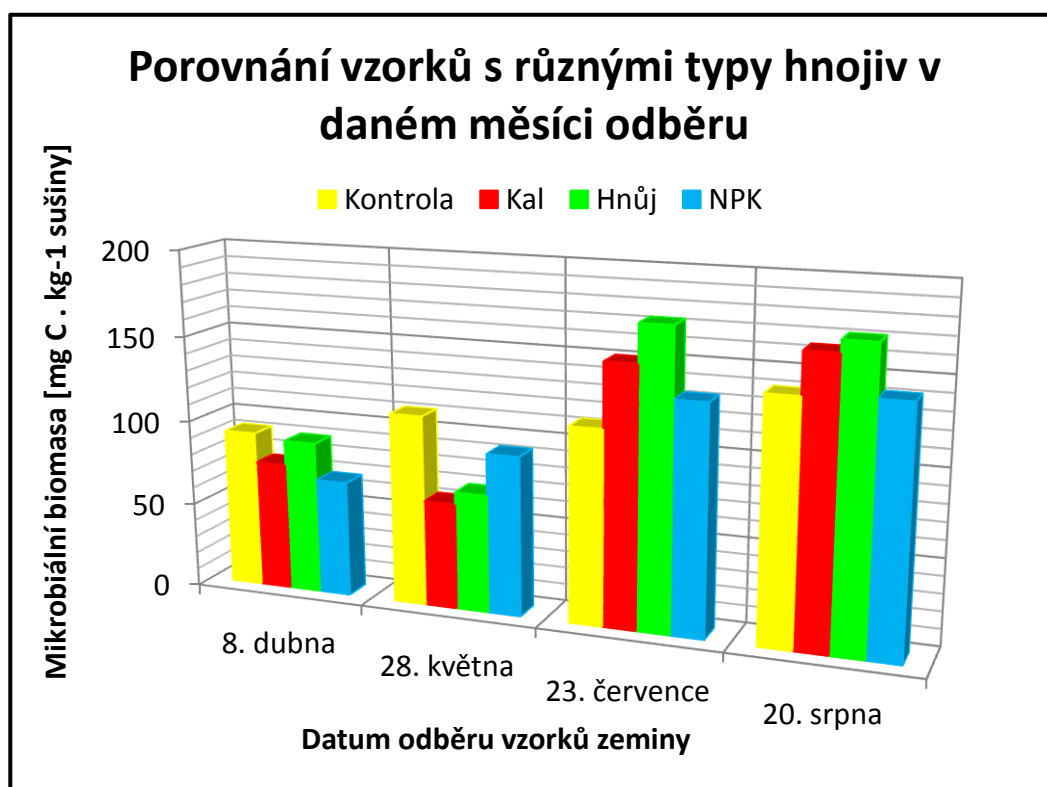
Naměřený obsah extrahovatelného organického uhlíku v půdě pro fumigované a nefumigované vzorky v lokalitě Praha – Suchdol je možné vidět v tabulce 13.

**Tabulka 13 Naměřené hodnoty obsahu extrahovatelného organického uhlíku v lokalitě Suchdol [mg C/kg sušiny]**

Lokalita Praha – Suchdol								
Pořadí odběru vzorků	1.		2.		3.		4.	
Druh vzorku	N	F	N	F	N	F	N	F
Kontrola	45,5	85,7	38,0	98,5	49,2	102,4	30,7	92,9
	48,0	90,8	39,0	78,8	50,2	98,9	32,1	95,9
Kal	80,6	116,0	46,5	70,6	55,0	125,6	44,6	112,8
	76,7	108,7	45,3	76,9	58,2	123,0	43,4	122,8
Hnůj	67,0	102,0	51,2	85,4	59,7	132,2	47,9	125,3
	67,1	112,8	54,0	81,9	59,6	142,5	46,3	122,6
NPK	69,5	102,4	49,4	93,5	58,0	116,2	43,9	107,0
	67,9	96,1	49,2	89,0	57,9	119,2	42,4	106,8

Pro názornější představu byly naměřené výsledky obsahu uhlíku mikrobiální biomasy pro lokalitu Praha – Suchdol zpracovány do následujících grafů. V grafu 5 byly porovnány vzorky s různými typy hnojení v daných měsících odběru.

Graf 5 Porovnání vzorků s různými typy hnojiv v daném měsíci odběru v Suchdole



Mezi dvě nejnižší hodnoty obsahu uhlíku mikrobiální biomasy, které byly v prvním termínu odběru naměřeny, patří vzorky zeminy hnojené NPK a kalem. U varianty hnojené NPK bylo naměřeno cca 68 mg C/kg sušiny, kdežto u varianty hnojené kalem byla tato hodnota jen o 7 mg C/kg sušiny vyšší. Nejvyšší naměřený výsledek obsahu uhlíku mikrobiální biomasy byl u kontrolního vzorku, jehož hodnota byla 92 mg C/kg sušiny. Jen o něco menší hodnota obsahu uhlíku mikrobiální biomasy byla zjištěna u varianty hnojené hnojem, přesněji 89 mg C/kg sušiny.

V druhém termínu odběru byla, obdobně jako u předchozího odběru, naměřena nejvyšší hodnota u kontrolního vzorku, cca 137 mg C/kg sušiny. Výsledné množství uhlíku mikrobiální biomasy pro variantu hnojenou NPK bylo 93 mg C/kg sušiny. Zatímco u kalu byla zjištěna nejnižší hodnota 62 mg C/kg sušiny, varianta hnojená hnojem obsahovala o 7 mg C/kg sušiny více. U kalu byl tento výsledek vůbec nejmenší, který byl v lokalitě Praha – Suchdol naměřen.

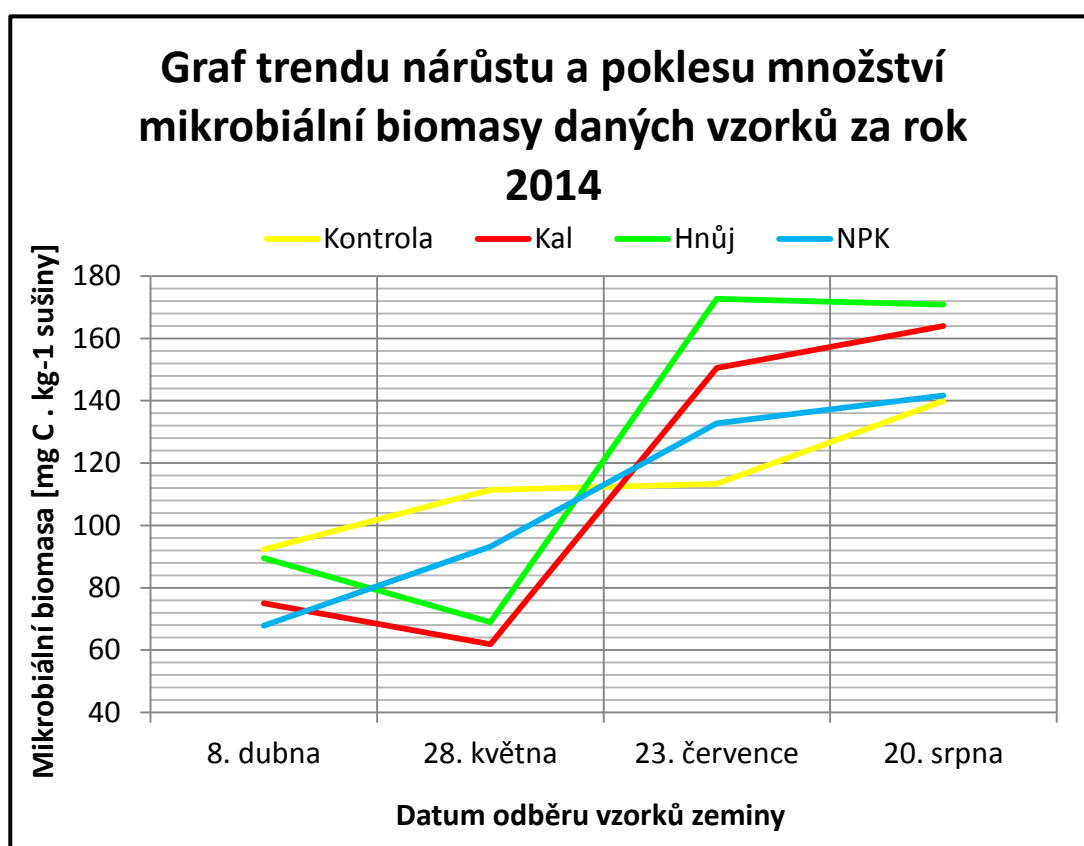
Třetí termín odběru bylo nejvíce uhlíku mikrobiální biomasy naměřeno u zeminy hnojené hnojem, přičemž šlo o hodnotu téměř 173 mg C/kg sušiny. Tato hodnota byla u vzorku hnojeného hnojem nejvyšší ze všech termínů odběru. Druhou nejvyšší zjištěnou

hodnotou bylo množství uhlíku mikrobiální biomasy u varianty zeminy s kalem, která obsahovala 150 mg C/kg sušiny. U vzorku hnojeného NPK bylo naměřeno cca 133 mg C/kg sušiny, kdežto u kontrolního vzorku bylo zjištěno ještě o 20 mg C/kg sušiny méně.

Z poslední části grafu je zřejmé, že ze vzorků odebíraných ve čtvrtém termínu odběru bylo v kontrole a v zemině hnojené NPK naměřeno velmi podobné množství uhlíku mikrobiální biomasy. Kontrolní vzorek obsahoval téměř 140 mg C/kg sušiny, zatímco zemina minerálně hnojená NPK o pouhé 2 mg C/kg sušiny více. Vzájemně blízké hodnoty byly zjištěny i u vzorků hnojených kalem a hnojem, přičemž hodnota obsahu uhlíku mikrobiální biomasy u zeminy s kalem byla 164 mg C/kg sušiny, ale nejvyšší množství uhlíku bylo naměřeno u varianty hnojené hnojem, téměř 171 mg C/kg sušiny.

Pro názornost změn obsahu uhlíku mikrobiální biomasy v lokalitě Praha – Suchdol v průběhu času byl vytvořen graf 6.

**Graf 6** Změna množství C mikrobiální biomasy v průběhu času v Suchdole



V grafu vyjadřující změny množství uhlíku mikrobiální biomasy v průběhu času je viditelný pozvolný, ale takřka pravidelný nárůst obsahu uhlíku v kontrole a ve vzorku hnojeného NPK. Naproti tomu vzorky hnojené kalem a hnojem mají zcela odlišný průběh.

V období prvních odběrů měly klesající tendenci, následoval prudký nárůst a poté až do posledního termínu byly změny obsahu uhlíku mikrobiální biomasy malé.

Křivka kontrolního měření a půdy hnojené NPK si byly až druhého odběru ve svém růstu podobné. Dále množství uhlíku mikrobiální biomasy v kontrolním vzorku začalo stagnovat, kdežto obsah uhlíku v půdě hnojené NPK nadále stoupal. Do posledního termínu odběru obsah uhlíku u obou vzorků opět stoupal a v měsíci srpnu dosáhl téměř stejné hodnoty.

Křivky variant hnojených hnojem a kalem nejprve dosáhly svého minima ve stejný termín odběru, a to ve druhém termínu. Prudký nárůst množství uhlíku mikrobiální biomasy byl u varianty hnojené hnoje ukončen ve třetím termínu odběru, kde dosáhla své maximální hodnoty a poté následovalo období stagnace. Naproti tomu vzorek zeminy hnojený kalem po prudkém nárůstu v období květen – červenec dosáhl svého maximálního obsahu uhlíku až v posledním termínu odběru.

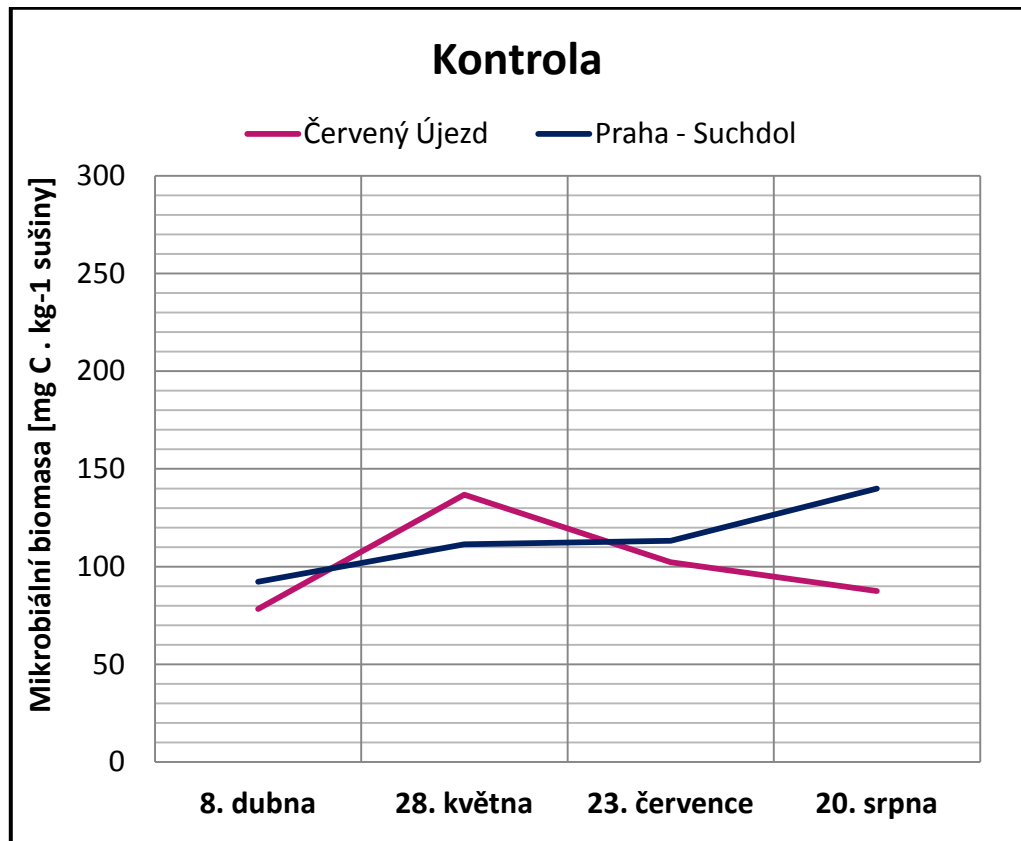
### **5.3 Vzájemné porovnání výsledků lokalit**

V této kapitole je provedeno vzájemné porovnání výsledků pouze zkoumaných lokalit, přičemž u některých druhů hnojiv se naměřená hodnota obsahu uhlíku mikrobiální biomasy značně liší.

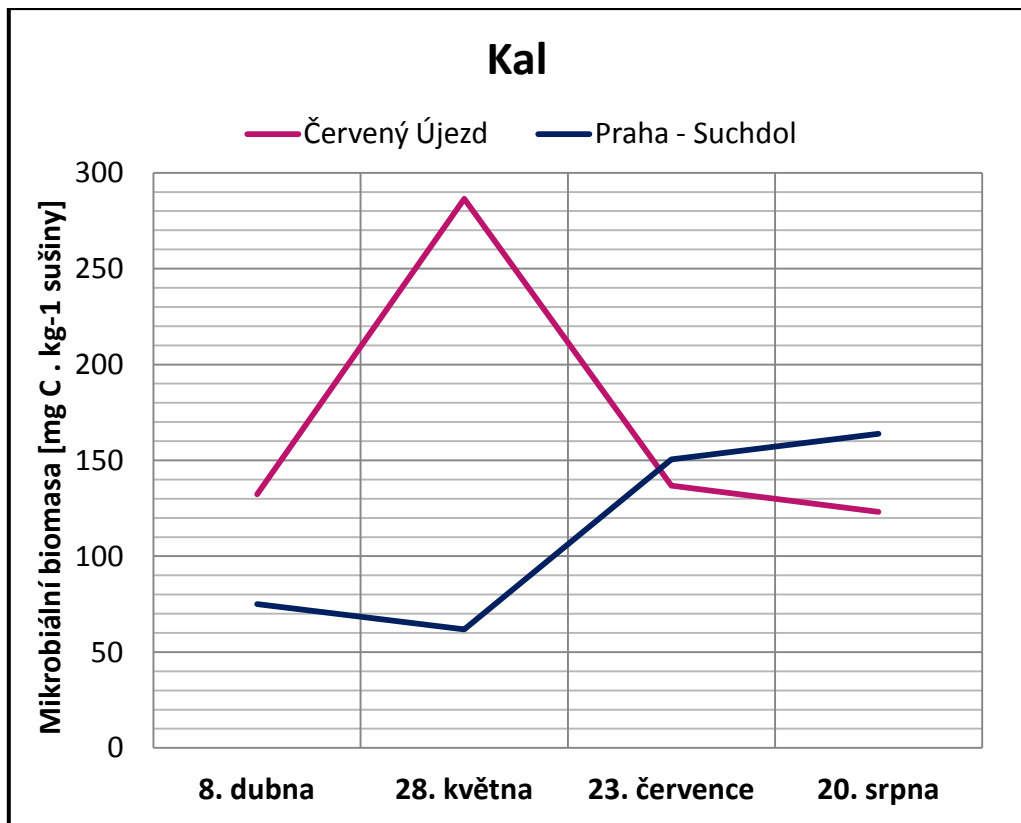
Při porovnání kontrolních vzorků, viz graf 7, je patrné, že získané hodnoty se pro obě lokality nijak výrazně neodlišují a obsah uhlíku se pohybuje v rozmezí cca od 80 do 140 mg C/kg sušiny. Měření kontrolních vzorků, které obsahovaly nehnojenou zeminu, značí, kolik uhlíku mikrobiální biomasy by bylo obsaženo v půdě, pokud by na ni nebylo aplikováno žádné hnojivo.



Graf 7 Porovnání lokalit pro kontrolní vzorky



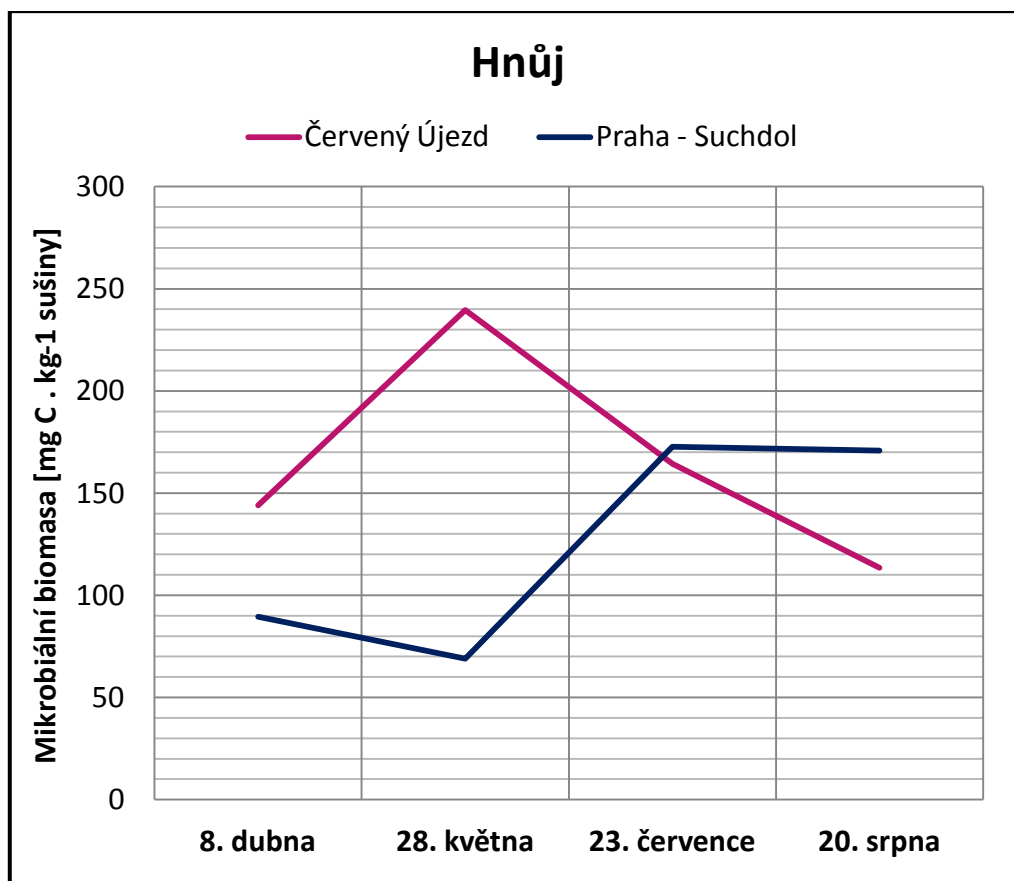
Graf 8 Porovnání lokalit pro vzorky hnojené kalem



Při pohledu na graf 8 je zcela zřejmý hlavní rozdíl mezi zjištěnými výsledky z obou lokalit pro vzorky zeminy hnojené čistírenským kalem. Zcela odlišné jsou hodnoty obsahu uhlíku mikrobiální biomasy naměřené v měsíci květnu (2. termín odběru), přičemž v lokalitě Červený Újezd bylo dosaženo maximální hodnoty a naopak v lokalitě Praha – Suchdol byla hodnota minimální. Tento zásadní rozdíl je dán zejména půdním typem ve zkoumaných lokalitách, jejichž vlastnosti jsou uvedené v tabulce 7, ale také klimatickými podmínkami. Den před odběrem (27. května) bylo naměřeno na meteorologické stanici České zemědělské univerzity v Praze 36 mm srážek.

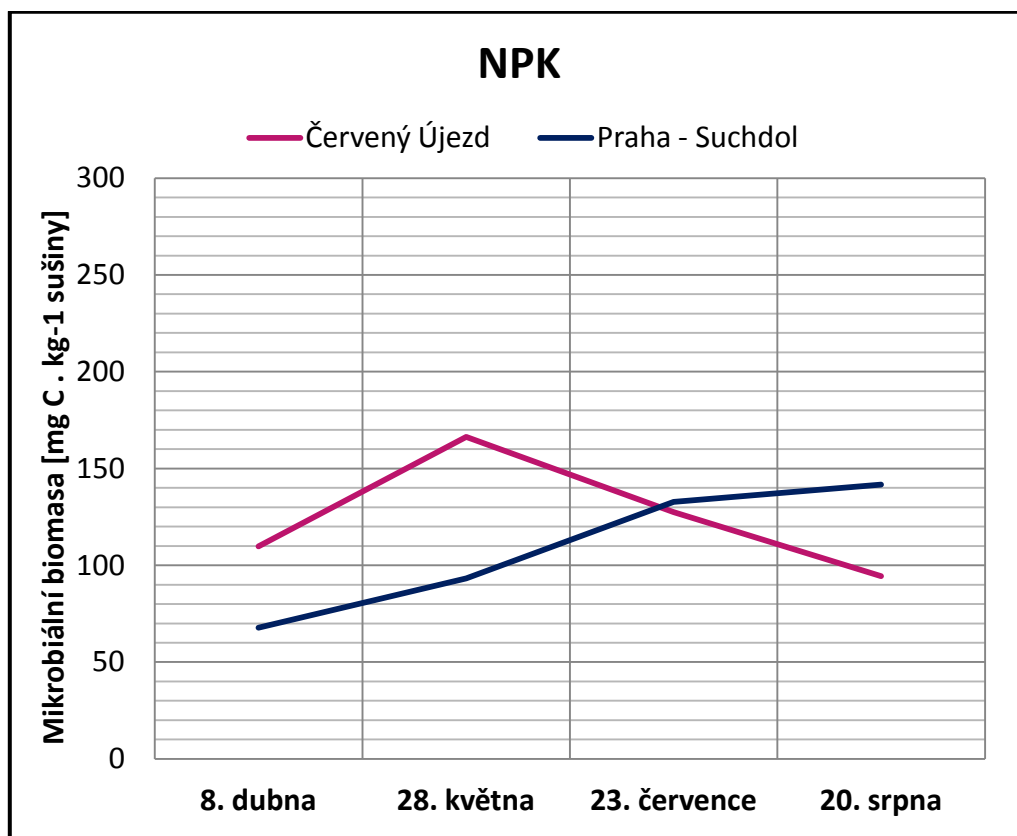
Podobnou charakteristikou jako u kalu se vyznačují vzorky zeminy hnojené hnojem s nepatrnou odlišností, která je dána pouze nižším rozdílem maximální a minimální hodnoty obsahu uhlíku mikrobiální biomasy ve druhém termínu odběru, viz graf 9.

**Graf 9 Porovnání lokalit pro vzorky hnojené hnojem**



Rozdíl mezi křivkami popisující vzorky hnojené NPK v daných lokalitách je způsoben totožnými vlivy jako u předchozích variant, viz graf 10. Oproti variantám hnojených kalem a hnojem, tedy organickými hnojivy, nedosahuje obsahu uhlíku mikrobiální biomasy tak vysokých maximálních hodnot.

Graf 10 Porovnání lokalit pro vzorky hnojené NPK



## 6 Diskuze

V této kapitole je provedeno porovnání získaných výsledků dosažených v této diplomové práci s výsledky dalších pokusů s odlišnými podmínkami. Pro přehlednost jsou výsledky získané v této diplomové práci uvedeny pro lokalitu Červený Újezd v tabulce 14 a pro lokalitu Praha – Suchdol v tabulce 15.

**Tabulka 14 Množství mikrobiální biomasy uhlíku ve vzorcích hnojených různými druhy hnojiv v lokalitě Červený Újezd**

<b>Mikrobiální biomasa [mg C/kg sušiny]</b>				
Datum odběru vzorků	1.	2.	3.	4.
Kontrola	78,3	136,8	102,3	87,5
Kal	132,2	286,3	136,7	123,2
Hnůj	144,0	239,5	164,4	113,4
NPK	109,9	166,4	127,5	94,5

**Tabulka 15 Množství mikrobiální biomasy uhlíku ve vzorcích hnojených různými druhy hnojiv v lokalitě Praha – Suchdol**

<b>Mikrobiální biomasa [mg C/kg sušiny]</b>				
Datum odběru vzorků	1.	2.	3.	4.
Kontrola	92,3	111,4	113,3	139,9
Kal	75,0	61,9	150,5	163,9
Hnůj	89,5	69,0	172,7	170,9
NPK	67,8	93,2	132,8	141,7

V této práci bylo stanoveno množství uhlíku mikrobiální biomasy ve dvou lokalitách. Jednou z nich byl Červený Újezd. Zde byl u varianty hnojené kalem nárůst mikrobiální biomasy uhlíku rychlejší oproti ostatním variantám, a to z důvodu, že v kalech byly již obsaženy odumřelé buňky mikroorganismů, které představují snadno rozložitelný substrát pro půdní mikroorganismy. Dále je to dáno užším poměrem C/N, kdy kal je méně stabilní oproti hnoji.

Druhou měřenou lokalitou byla Praha – Suchdol, kde byly prudké vzrůsty obsahu uhlíku u variant hnojených hnojem a kalem dány množstvím mikrobiální biomasy a mineralizací těchto hnojiv. Jak již bylo zmíněno, vzorek hnojený kalem byl snadněji a rychleji mineralizován kvůli užšímu poměru C/N oproti zeminám hnojených hnojem, v nichž byly organické látky stabilnější, a proto zde mineralizace probíhala pomaleji. Tyto pokusy a

nárůsty nebyly dány pouze množstvím organických látek v hnojivech, jejich způsobem aplikace a dávkováním, ale také půdními a klimatickými podmínkami v této lokalitě, které jsou v obou lokalitách odlišné. Navíc pokles uhlíku mikrobiální biomasy v této lokalitě v druhém termínu odběru byl dán vysokým úhrnem srážek den před odběrem vzorků.

V letech 1992 – 2007 probíhal v České republice monitoring zemědělských půd pod záštitou ÚKZÚZ. Tento výzkum byl prováděn na orných půdách a na trvalých travních porostech, z nichž se některé nacházely v CHKO. Vzorky byly odebírány maximálně do hloubky 15 cm. Výsledky ukázaly, že na trvale travních porostech v CHKO dosáhl obsah uhlíku mikrobiální biomasy nejvyšší hodnoty 703 mg C/kg. Na trvalých travních porostech ÚKZÚZ byla naměřena průměrná hodnota obsahu uhlíku 360 mg C/kg, přičemž na orných půdách byl průměrný obsah uhlíku o polovinu nižší (Poláková et al., 2011). Z uvedeného vyplývá, že zjištěné průměrné výsledky orné půdy v České republice se relativně blíží výsledkům získaných v lokalitě Červený Újezd, přesněji hodnota obsahu uhlíku mikrobiální biomasy byla u varianty hnojené kalem 286 mg C/kg sušiny.

Fernandes et al. (2005) provedl v Brazílii, konkrétně v Sao Paulu, experiment na tmavě červených jílovitých půdách v polních tropických podmínkách. Na tuto půdu byl aplikován kal, který pocházel z biologického čištění odpadních vod z domů a také z průmyslových odpadních vod. Celek byly provedeny 4 aplikace tohoto kalu s rozdílnou koncentrací dusíku. V místě experimentu byla ve 4 po sobě jdoucích obdobích pěstována kukuřice. Odběry byly provedeny ve dvou různých hloubkách.

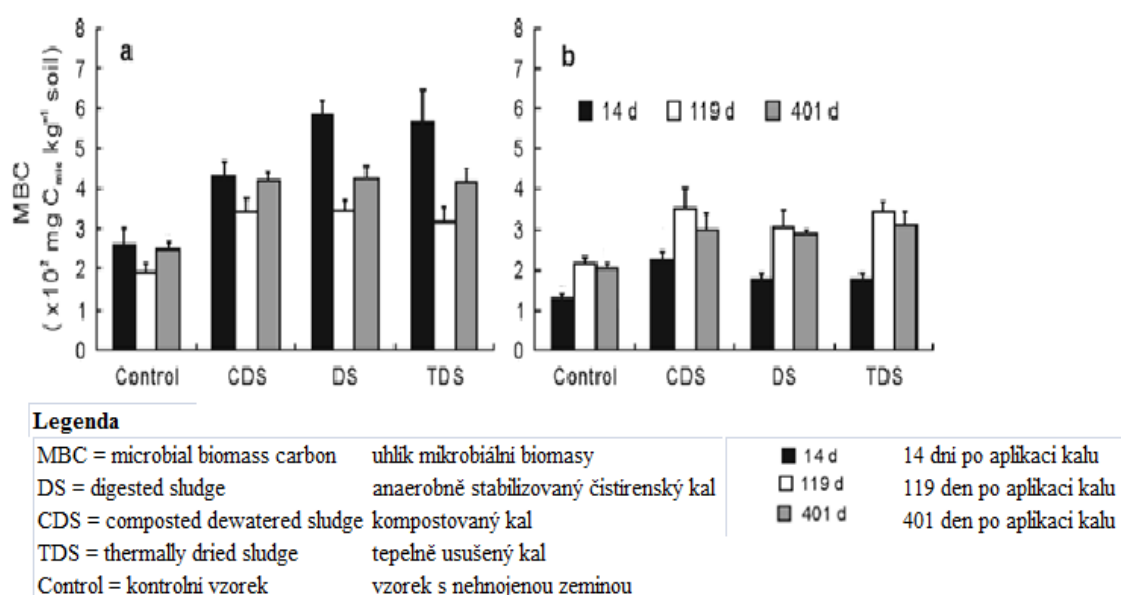
V hloubce 10 – 20 cm byly naměřeny hodnoty obsahu uhlíku mikrobiální biomasy pro kontrolní vzorek v rozmezí 71 až 102 mg C/kg sušiny. Pro vzorky hnojené NPK byly hodnoty v rozsahu 165 až 243 mg C/kg sušiny. Při aplikování nejnižší koncentrace kalu dusíku v kalu dosahovaly hodnoty obsahu uhlíku 236 až 301 mg C/kg sušiny (Fernandes et al., 2005). Z uvedených hodnot plyne, že pro vzorky hnojené kalem a NPK jsou hodnoty získané v této práci průměrně nižší u obou lokalit, než uvádí výše zmíněný autor. Tento rozdíl může být dán koncentrací použitého kalu, odlišností hloubky odběru, klimatickými podmínkami a také tím, že jílovité (těžké) půdy v základu obsahují více uhlíku než hlinité (středně těžké) půdy.

Ve Španělsku, přesněji v centrálním Katalánsku, kde průměrná teplota vzduchu je 12,5 °C a průměrný roční úhrn srážek je 750 mm, byl proveden experiment se třemi druhy kalů aplikovanými na dva druhy půdy. První druh byla půda hlinitá s velmi bohatou zásobou uhličitánů s dobře stabilizovanou organickou hmotou na rozdíl od druhého druhu půdy, která má nízký obsah organických látek. Na tyto půdy byl použit anaerobně stabilizovaný

čistírenský kal při 35 °C po dobu 25 dní, kompostovaný odvodněný kal a tepelně usušený kal získaný sušením ve vyhřívaném válci s rotačním systémem pod proudem horkého vzduchu 130 °C po dobu 15 minut. Termíny odběru vzorků byly po 14, 119 a 401 dnech od aplikace kalů (Tarrasón et al., 2010).

Výsledky tohoto pokusu jsou uvedeny v grafu 11. Z grafu je zřejmé, že nejnižší hodnoty obsahu uhlíku mikrobiální biomasy jsou naměřeny u kontrolních vzorků pro oba druhy půdy, čímž je dokázán pozitivní vliv aplikace čistírenských kalů na půdu. Podle očekávání byly vyšší hodnoty naměřeny u půdy hlinité oproti půdě hlinito-písčité. U hlinité půdy byly získány maximální hodnoty 14 dní po aplikaci kalů (440 až 580 mg C/kg sušiny), zatímco u druhého druhu půdy byly maximální hodnoty obsahu uhlíku mikrobiální biomasy až po 119 dnech od aplikace kalů (300 až 350 mg C/kg sušiny), které byly ale výrazně nižší než v předchozím případě. Z uvedeného plyne, že na obsah uhlíku mikrobiální biomasy v půdě má zásadní vliv druh (zrnitost) dané půdy.

**Graf 11 Obsah uhlíku mikrobiální biomasy (MBC) v hlinité (a) a hlinito - písčité půdě (b) v Katalánsku (Tarrasón et al., 2010)**



Z porovnání těchto výsledků s výsledky získanými v této práci je patrné, že ve Španělsku byly pro hlinito-písčitou půdu dosaženy více podobné hodnoty než pro půdu hlinitou, na které byly pokusy v lokalitách Červený Újezd a Praha - Suchdol. Pro přiblížení se výsledkům obsahu uhlíku mikrobiální biomasy hlinité půdy ve Španělsku bychom v České

republiky potřebovali vyšší průměrnou teplotu a vyšší roční úhrn srážek, který je u nás oproti Španělsku o 33 % nižší.

Na univerzitě v Kazani byl prováděn pokus se třemi druhy kalů (neošetřený, anaerobně stabilizovaný a kompostovaný) na polních plochách. Tyto plochy se nacházejí v lesostepním pásu, který je charakteristický šedými lesními půdami, které jsou obdobně úrodné jako černozemě. Na těchto plochách byl vyset jarní ječmen. Kaly byly získány z městské čistírny odpadních vod. Odběry vzorků zeminy probíhaly pouze do hloubky 10 cm (Selivanovskaya et al., 2000).

Výsledky z experimentu jsou uvedeny v tabulce 16. První den po aplikaci kalů byly naměřeny maximální hodnoty obsahu uhlíku mikrobiální biomasy pro všechny typy použitých kalů. Množství uhlíku v kontrolním vzorku, který obsahuje pouze čistou zeminu bez jakýchkoliv uměle přidaných minerálních či organických hnojiv, mohlo být dáno začleněním snadno biologicky rozložitelných organických látek. Z tabulky dále vyplývá, že aplikace neošetřeného a anaerobně stabilizovaného kalu nemá nijak výrazný vliv na obsah uhlíku mikrobiální biomasy v půdě. Oproti tomu při aplikaci kompostovaného kalu na šedou lesní půdu byl znatelný pozitivní vliv na obsah uhlíku.

**Tabulka 16 Změny obsahu uhlíku mikrobiální biomasy v šedé lesní půdě bez aplikace a po aplikaci čistírenských kalů [mg C/kg] (Selivanovskaya et al., 2000)**

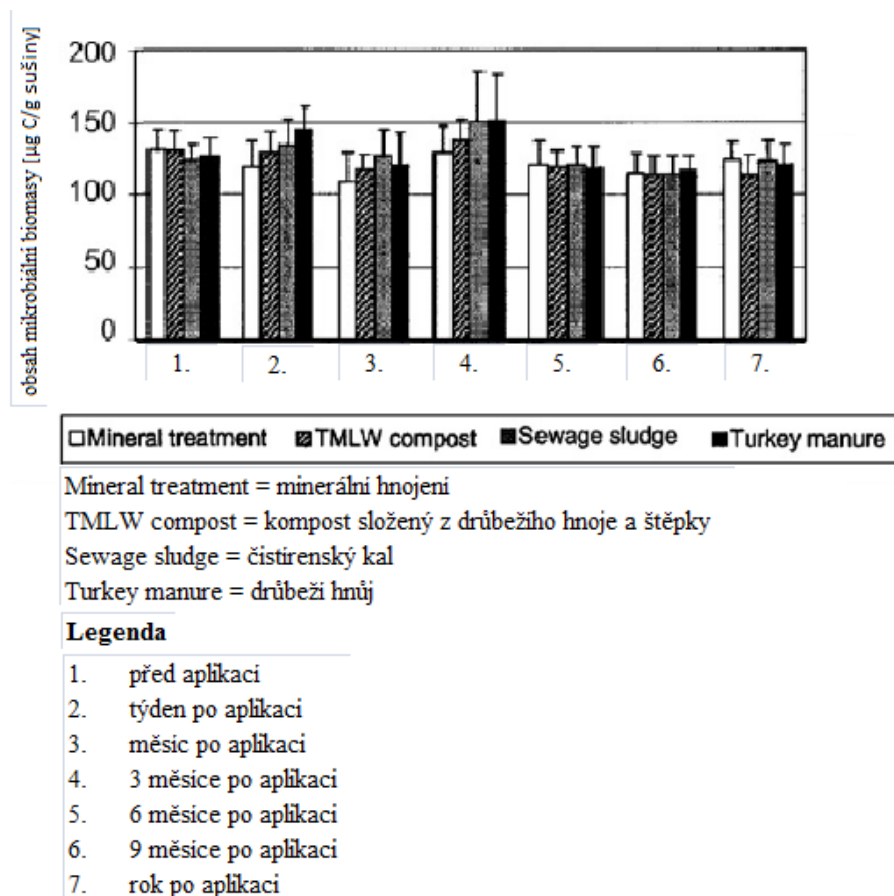
Den po aplikaci kalu	Aplikace			Kontrolní vzorek
	neupraveného kalu	anaerobně upraveného kalu	kompostovaného kalu	
1	4020	3960	4970	2450
3	1120	1220	3910	890
7	990	580	2150	924
15	871	720	1980	910
30	856	910	2240	812
60	711	420	1640	854
90	1190	1590	1920	824

Hodnoty v tabulce 16 byly nepoměrně vyšší než hodnoty naměřené v lokalitách Červený Újezd a Praha – Suchdol. Tento několikanásobný rozdíl může být dán velmi nízkými teplotními podmínkami, kdy je zpomalena mikrobiální aktivita a tím je více organického uhlíku v půdě, který je výrazně pomaleji rozkládán.

V severozápadní Francii byly provedeny pokusy v úrodných oblastech pro rostlinnou výrobu vzniklých z vápencových útvarů pocházejících z období Jury. Nalézá se zde středně těžká hlinito-písčité půda až do hloubky 120 cm. Na pokusných plochách byla vyseta pšenice setá, po její sklizni (srpen) byla aplikována organická a minerální hnojiva. Z organických hnojiv byl využit částečně odvodněný čistírenský kal s přidavkem vápna, drůbeží hnůj a kompost složený z drůbežího hnoje a štěrky. Vzorky byly odebrány z hloubky 0 – 10 cm.

Z grafu 12 lze vyvodit závěr, že změny obsahu uhlíku mikrobiální biomasy po aplikaci minerálního nebo různých organických hnojiv byly malé a statisticky zcela bezvýznamné v celém zkoumaném časovém období. Tzn., nebyly znatelné rozdíly mezi původním vzorkem a dalšími odběry (Calbrix et al., 2007).

**Graf 12** Změny obsahu uhlíku mikrobiální biomasy bez aplikace a po aplikaci hnojiv (Calbrix et al., 2007)



Tyto hodnoty obsahu uhlíku jsou s naměřenými výsledky v lokalitách Červený Újezd a Praha – Suchdol nejvíce podobné ze všech provedených analýz dalších experimentů z různých zemí. Tento fakt může být dán velmi podobným druhem půdy a klimatickými podmínkami, které jsou v porovnání s Českou republikou ve Francii nejpodobnější.



## 7 Závěr

Cílem této diplomové bylo vyhodnocení vlivu aplikace čistírenských kalů na obsah uhlíku mikrobiální biomasy v půdě v dlouhodobých polních pokusech. Pro tento účel byla použita 3 vybraná hnojiva včetně zmíněného čistírenského kalu, která byla aplikována na 2 druhy zemědělských půd. K určení vlivu na obsah uhlíku mikrobiální biomasy v půdě byla použita fumigačně – extrakční metoda.

Ze získaných výsledků vyplynulo, že obsah uhlíku mikrobiální biomasy v půdě byl po aplikaci vybraných hnojiv v lokalitě Červený Újezd vyšší než v lokalitě Praha – Suchdol. Nicméně v porovnání s dalšími vybranými experimenty byly tyto naměřené hodnoty v obou lokalitách ve většině případů nižší.

Před vypracováním této diplomové práce byly stanoveny tyto základní předpoklady:

- vlivem dlouhodobé aplikace čistírenských kalů na ornou půdu se zvýší obsah uhlíku mikrobiální biomasy v půdě,
- na variantách s aplikací čistírenských kalů bude větší kolísání obsahu uhlíku mikrobiální biomasy ve srovnání s variantami hnojenými hnojem z důvodu rychlejší mineralizace čistírenských kalů v půdě,
- na variantách s aplikací pouze minerálních dusíkatých hnojiv se předpokládá nižší obsah uhlíku mikrobiální biomasy ve srovnání s variantou hnojenou čistírenskými kaly.

Všechny výše uvedené předpoklady byly potvrzeny s jednou výjimkou v závěrečném předpokladu, kde v lokalitě Praha – Suchdol byl v měsíci květnu naměřen větší obsah uhlíku mikrobiální biomasy v půdě ve variantě hnojené minerálním hnojivem NPK než ve vzorku hnojeného čistírenským kalem, tento fakt mohl být dán vysokým úhrnem srážek v období před odběrem.

## 8 Seznam literatury

Balík, J., Tlustoš, P., Pavlíková, D. 2000. Efektivnost a rizikovost použití čistírenských kalů při hnojení rostlin. Půdní úrodnost: sborník referátů z II. konference s mezinárodní účastí. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 90 s. ISBN: 80 – 7157 – 436 – 8.

Bot, A., Benites, J. 2005. The importance of soil organic matter. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome. 95 p. ISBN: 92 – 5 – 105366 – 9.

Buscot, A., Varma, A. 2005. Microorganisms in soil: roles in genesis and functions. New York: Springer. 419 p. ISSN: 1613 – 3382.

Calbrix, R., Barray, S., Chabrierie, O., Fourrie, L., Laval, K. 2007. Impact of organic amendments on the dynamics of soil microbial biomass and bacterial communities in cultivated land. *Applied Soil Ecology* 35. 511 – 522 p.

Černý, J. 2009. Využití odpadů z ČOV jako zdroje organických látek a živin. Racionální použití hnojiv: zaměřené na půdní úrodnost, organickou hmotu v půdě a použití statkových a minerálních hnojiv: sborník z 15. mezinárodní konference. Praha: Česká zemědělská univerzita. 151 s. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-odpadu-z-cov-jako-zdroje-organickych-latek-a-zivin>>. ISBN: 978 – 80 – 213 – 2006 – 2.

Černý, J. 2014. Využití kalů z čistíren odpadních vod. Racionální použití hnojiv: zaměřené na zdroje živin a využití odpadních látek v zemědělství: sborník z 20. mezinárodní konference. Praha: Česká zemědělská univerzita. 127 s. ISBN: 978 – 80 – 213 – 2511 – 1.

Dohányos, M. 2004. Minimalizace produkce čistírenských kalů. Kaly z čistíren odpadních vod. Sborník semináře. Ekomitor spol. s.r.o. Pardubice. 134 s. ISBN: 80 – 86832 – 00 – 7.

Dohányos, M. 2003. Porovnání energetické bilance spalování kalů a anaerobní stabilizace. Spalování kalů z čistíren odpadních vod. Sborník semináře. Asociace čistírenských expertů České republiky. Ostrava. 84 s. ISBN: 80 – 239 – 1380 – 8.

Drinan, J. E., Spellman, F. R. 2013. Water and wastewater treatment. Boca Raton: CRC Press. 278 p. ISBN: 878 – 1 – 4398 – 5400 – 6.

Elsas, J.D., Jansson, J.K., Trevors, J.T. 2006. Modern soil microbiology. 2. vyd. Boca Raton: CRC Press. Londýn. 646 p. ISBN: 978 – 0 – 8247 – 2749 – 9.

Fernandes, S. A. P., Bettioli, W., Cerri, C. C. 2005. Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity. *Applied Soil Ecology* 30. 65 – 77 p.

Gergel'ová, Z. 2008. Využitie čistiarenských kalov a dnových sedimentov v pôdohospodárstve. Nitra: Agroinštitút Nitra. 27 s. ISBN: 978 – 80 – 7139 – 126 – 5.

Grace, C., Murray, H., Brookers, P. C. 2006. Laboratory manual of the soil microbial biomass group. Rothamsted research. Dostupné z

<<http://www.rothamsted.ac.uk/aen/smbweb1/downloads/labmanual.pdf>>.

Hošek, P. 2006. Půda: tabulka. Vesmír. Dostupné z <<http://www.gymvod.cz/soubor/1328>>.

Hu, J., Lin, X., Wang, J., Dai, J., Chen, R., Zhang, J., Wong, M. H. 2011. Microbial functional diversity, metabolic quotient, and invertase activity of a sandy loam soil as affected by long-term application of organic amendment and mineral fertilizer. *J soils sediments*. 2011 (11). 271 – 280 p.

Ibrahim, A. M. 2008. Soil pollution: Origin, monitoring & remediation. Springer – Verlag Berlin Heidelberg. Berlín. 311 p. ISBN: 978 – 3 – 540 – 70775 – 2.

Kubát, J., Cerhanová, D., Mikanová, O., Šimon, T. 2008. Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. 34 s. ISBN: 978 – 80 – 87011 – 65 – 2.

Kubát, J., Nováková, J., Mikanová, O., Apfelhaler, R. 1999. Organic carbon cycle, incidence of microorganisms and respiration activity in long – term fiel experiment. Udržování vyrovnané bilance organické hmoty v půdě. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací. 30 p. ISSN: 80-7271-032-X.

Kubík, L. 2009. Rizikové prvky v kalech z čistíren odpadních vod (ČOV). *Biom.cz* [online]. 2009-02-09 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rizikove-prvky-v-kalech-z-cistiren-odpadnich-vod-cov>>. ISSN: 1801-2655.

Lal, R., Kimble, J.M., Follet, R.F., Stewart, B.A. 2001. Assessment methods for soil carbon. Boca Raton: Lewis publishers. CRC Press. 676 p. ISBN: 1 – 56670 – 461 – 8.

Magdoff, F., Ray, R.R.W. 2004. Soil organic matter in sustainable agriculture. Boca Raton: CRC Press. 398 p. ISBN: 08493 – 1294 – 9.

Marek, V. M. a kol. 2011. Uhlík v ekosystémech České republiky v měnícím se klimatu. Academia Praha. 255 s. ISBN: 978 – 80 – 200 – 1876 – 2.

Margesin, R., Schinner, F. 2005. Manual for soil analysis – Monitoring and assessing soil bioremediation. Soil Biology. Springer Berlin Heidelberg. New York. 366 p. ISBN: 10 3 – 540 – 25346 – 7.

Martens, R. 1993. Current methods for measuring microbial biomass C in soil: Potentials and limitations. Biol Fertil Soils. 1995 (19). 87 – 99 p.

Mikanová, O., Šimon, T., Cerhanová, D. 2010. Hodnocení kvality půdy biologickými metodami: metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. Praha. 22 s. ISBN: 978 – 80 – 7427 – 044 – 4.

Poláková, Š., Kubík, L., Malý, S. 2011. Monitoring zemědělských půd v České republice 1992 – 2007. Brno. Výzkumný kontrolní a zkušební ústav zemědělský. 118 s. ISBN: 978 – 80 – 7401 – 041 – 5.

Pospíšilová, L., Tesařová, M. 2009. Organický uhlík obhospodařovaných půd = Organic carbon in arable soils: původní vědecká práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Brno. 41 s. ISBN: 978 – 807 – 3752 - 828.

Produkce kalů v ČOV a způsob jejich zneškodnění. Statistická ročenka České republiky – 2014. [online]. Česká republika. Český statistický úřad. 20. prosince 2014. [cit. 2015-03-01]. Dostupné z <[https://czso.cz/csu/czso/320198-14-r\\_2014-0300](https://czso.cz/csu/czso/320198-14-r_2014-0300)>.

Raclavská, H. 2007. Technologie zpracování a využití kalů z ČOV. Ostrava. 171 s. ISBN: 978 – 80 – 248 – 1600 – 5.

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. Knopp. České Budějovice. 197 s. ISBN: 80-7232-191-9.

- Rao, D. G., Senthilkumar, R., Byrne, J. A., Feroz, S. 2012. Wastewater Treatment: Advanced Processes and Technologies. Boca Raton: CRC Press. London. 388 p. ISBN: 978 – 178040 – 034 – 1.
- Raymond, N. Y., Masashi, N., Roland, P. 2012. Environmental soil properties and behaviour. Boca Raton: CRC Press. 372 p. ISBN: 978 – 1 – 4398 – 4529 – 5.
- Richter, R., Hlušek, J. 2003. Půdní úrodnost. 2. vyd. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací. 44 s. ISBN: 80 – 7271 – 130 – X.
- Sáňka, M., Materna, J. 2004. Indikátory kvality zemědělských a lesnických půd ČR. Planeta 2004: Odborný časopis pro životní prostředí. Vol. XII (11). 84 s.
- Selivanovskaya, S. Y., Latypova, V. Z., Kiyamova, S. N., Alimova, F. K. 2001. Use of microbial parameters to assess treatment methods of municipal sewage sludge applied to grey forest soils of Tatarstan. Agriculture, Ecosystems and Environment 86. 145 – 153 p.
- Schaetzl, R., Anderson, S. 2005. Soils: Genesis and geomorphology. Cambridge university Press. 791 p. ISBN: 0 – 521 – 81201 – 1.
- Schlöter, M., O. Dilly, and J.C. Munch. 2003. Indicators for evaluating soil quality. Agriculture Ecosystems & Environment. ISBN: 98 – 255 - 262.
- Sponar, J. 2004. Praktické poznatky k nakládání s kaly na Jižní Moravě. Kaly z čistíren odpadních vod. Sborník semináře. Ekomitor spol. s.r.o. Pardubice. 134 s. ISBN: 80 – 86832 – 00 – 7.
- Šimek, M., 2003. Základy nauky o půdě 3. Biologické procesy a cykly v půdě. JČU Biologická fakulta. České Budějovice. 151s. ISBN 80-7040-630-5.
- Šťasta, P., Boráň, J., Bébar, L., Oral, J., Sponar, J., Stehlík, P. 2003. Alternativní možnosti zpracování čistírenských kalů. Spalování kalů z čistíren odpadních vod. Sborník semináře. Asociace čistírenských expertů České republiky. Ostrava. 84 s. ISBN: 80 – 239 – 1380 – 8.
- Šrefl, J. Kompost je energie vrácená do půdy. Biom.cz [online]. 12. listopadu 2012 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompost-je-energie-vcacena-do-pudy>>. ISSN: 1801-2655.

- Tarrasón, D., Ojeda, G., Ortiz, O., Alcaniz, J. M. 2010. Effects of different types of sludge on soil microbial properties: A field experiment on degraded mediterranean soils. *Pedosphere*. 20: 681–691 p.
- Ust'ak, S., Muñoz, J., Ust'aková, M. 2013. Přípravky ke zlepšení půdních vlastností na bázi hydrotermálně upravených zbytků pro anaerobní fermentaci: certifikovaná metodika. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. 28 s. ISBN: 978 – 80 – 7427 – 147 – 2.
- Váňa, J. 2007. Čistírenské kaly a komposty z odpadu pro využití ke hnojení polních plodin – příležitost či možná nebezpečí. *Agro magazín*. 2007 (1). 62 – 63 s.
- Vance, E. D., Brookes, P. C., Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil biol. biochem.* Vol. 19 (6). 703 – 707 p.
- Vaněk, V. a kol. Výživa polních a zahradních plodin. 2007. Profi Press. Praha. 167 s. ISBN: 976 – 80 – 86726 – 25 – 0.
- Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valtera, J. 2012. Výživa zahradních rostlin. Academia Praha. Praha. 568 s. ISBN: 978 – 80 – 200 – 2147 – 2.
- Vaněk, V., Kolář, L., Pavlíková, D. 2010. Úloha organické hmoty v půdě. Racionální použití hnojiv – sborník z 15. konference 2009. Česká zemědělská univerzita. Praha. 151 s. ISBN: 978 – 80 – 213 – 2006 – 2.
- Vavříček, D., Kučera, A. 2014. Lesnická pedologie pro posluchače LDF Mendelu v Brně. Ústav geologie a pedologie, Mendelova univerzita v Brně. Brno. 184 s.
- Vítěz, T., Groda, B. 2008. Čištění a čistírny odpadních vod. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 126 s. ISBN: 978 – 80 – 7375 – 180 – 7.
- Vrba, V., Huleš, L. Humus - půda - rostlina (2) Humus a půda. *Biom.cz* [online]. 14. listopadu 2006 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz-pelety-a-brikety/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>>. ISSN: 1801-2655.
- Whalen, J.K., Sampedro, L. 2010. Soil ecology and management. Oxford University Press. Oxford. 296 p. ISBN: 978 – 1 – 84593 – 563 – 4.

Zábranská, J. 2004. Technologie stabilizace čistírenského kalu s hygienizačním účinkem. Kaly z čistíren odpadních vod. Sborník semináře. Ekomitor spol. s.r.o. Pardubice. 134 s. ISBN: 80 – 86832 – 00 – 7.

Záhora, J. 2012. Interakce mezi půdou a organismy, In: Vopravil J, Vzdělávací modul ochrana životního prostředí v oblasti půda, ZERA.

### **Zákony**

Česká republika. Zákon č. 158/1998 ze dne 12. června o o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech). In: Sbírka zákonů České republiky. 1998. Dostupné z <[http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe\\_uplna-zneni\\_zakon-1998-156-hnojiva.html](http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe_uplna-zneni_zakon-1998-156-hnojiva.html)>.

Česká republika. Zákon č. 185/2001 ze dne 15. května o odpadech a změně některých dalších zákonů. In: Sbírka zákonů České republiky. 2001. Dostupné z <[http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-ostatni\\_uplna-zneni\\_zakon-2001-185.html](http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-ostatni_uplna-zneni_zakon-2001-185.html)>.

Česká republika. Vyhláška Ministerstva životního prostředí ze dne 17. října 2001 o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě ve znění pozdějších předpisů. In: Sbírka zákonů České republiky. 2001. Dostupné z <[http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-ostatni\\_uplna-zneni\\_vyhlaska-2001-382.html](http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-ostatni_uplna-zneni_vyhlaska-2001-382.html)>.

### **Normy**

ISO 16072. Soil quality – Laboratory method for determination of microbial soil respiration. 2002. International Organization for Standardization. Geneva.

ISO/TS 14256 – 1. Soil quality – Determination of nitrate, nitrite and ammonium in field – moist soils by extraction with potassium chloride solution – part 1: Manual method. 2003. International Organization for Standardization. Geneva.

## Seznam obrázků, grafů a tabulek

### Seznam obrázků

Obrázek 1 Proces vzniku půdy včetně ovlivňujících faktorů (Šimek, 2003) .....	10
Obrázek 2 Průměrné zastoupení jednotlivých složek v hlinité půdě v % objemu (Šimek, 2003) .....	11
Obrázek 3 Rozložení půdní organické hmoty v ekosystémech (Záhora, 2012) .....	13
Obrázek 4 Zastoupení půdních organismů v půdní organické hmotě v hmotnostních % (Hošek, 2006).....	14
Obrázek 5 Vlastnosti a rozdělení humusových látek (Záhora, 2012).....	15
Obrázek 6 Koloběh uhlíku (Bot et al., 2005).....	22
Obrázek 7 Proces vzniku kalu (Šťasta et al., 2003).....	26
Obrázek 8 Zobrazení zkoumaných lokalit (upraveno z <a href="http://www.mapy.cz">www.mapy.cz</a> ).....	35
Obrázek 9 Lokalizace stanoviště Červený Újezd (upraveno z <a href="http://www.mapy.cz">www.mapy.cz</a> ).....	36
Obrázek 10 Lokalizace stanoviště Praha – Suchdol (upraveno z <a href="http://www.mapy.cz">www.mapy.cz</a> ).....	37
Obrázek 11 Vzorky před a po aplikaci chloroformu v exsikátoru (vlastní zdroj) .....	40
Obrázek 12 Přístroj SKALAR .....	41

### Seznam grafů

Graf 1 Způsoby nakládání s kalem v roce 2013 (upraveno z <a href="http://www.czso.cz">www.czso.cz</a> ).....	32
Graf 2 Množství přímé aplikace a rekultivace čistírenských kalů na zemědělskou půdu v ČR (upraveno z <a href="http://czso.cz">czso.cz</a> ) .....	34
Graf 3 Porovnání vzorků s různými typy hnojiv v daném měsíci odběru v ČÚ.....	43
Graf 4 Změna množství C mikrobiální biomasy v průběhu času v ČÚ.....	44
Graf 5 Porovnání vzorků s různými typy hnojiv v daném měsíci odběru v Suchdole .....	46
Graf 6 Změna množství C mikrobiální biomasy v průběhu času v Suchdole .....	47
Graf 7 Porovnání lokalit pro kontrolní vzorky .....	49
Graf 8 Porovnání lokalit pro vzorky hnojené kalem.....	49
Graf 9 Porovnání lokalit pro vzorky hnojené hnojem .....	50
Graf 10 Porovnání lokalit pro vzorky hnojené NPK .....	51
Graf 11 Obsah uhlíku mikrobiální biomasy (MBC) v hlinité (a) a hlinito - písčité půdě (b) v Katalánsku (Tarrasón et al., 2010).....	54
Graf 12 Změny obsahu uhlíku mikrobiální biomasy bez aplikace a po aplikaci hnojiv (Calbrix et al., 2007) .....	56



## Seznam tabulek

Tabulka 1 Elementární složení humusových látek (Pospíšilová et al., 2009) .....	16
Tabulka 2 Organická hmota a rostlinné živiny ve vybraných organických hnojivech (Váňa, 2007) .....	27
Tabulka 3 Kategorizace hygienizovaného kalu dle vyhlášky 382/2001 Sb. ....	28
Tabulka 4 Ukazatele rizikových prvků pro hodnocení půd dle 382/2001 Sb.....	30
Tabulka 5 Ukazatele rizikových prvků pro hodnocení kalů při aplikaci na zemědělskou půdu dle 382/2001 Sb. ....	30
Tabulka 6 Produkce kalů v ČOV a způsob jejich zneškodnění (převzato z www.czso.cz) .....	32
Tabulka 7 Charakteristika pokusných stanovišť .....	37
Tabulka 8 Celkové množství dodaných organických hnojiv (t/ha) na podzim před rokem pokusu .....	38
Tabulka 9 Obsah živin v hnojivech dodaných na podzim před rokem pokusu u lokality Červený Újezd .....	38
Tabulka 10 Obsah živin v hnojivech dodaných na podzim před rokem pokusu u lokality Praha - Suchdol.....	38
Tabulka 11 Termíny odběru a jejich pořadí.....	38
Tabulka 12 Naměřené hodnoty obsahu extrahovatelného organického uhlíku v lokalitě Červený Újezd [mg C/kg sušiny].....	42
Tabulka 13 Naměřené hodnoty obsahu extrahovatelného organického uhlíku v lokalitě Suchdol [mg C/kg sušiny].....	45
Tabulka 14 Množství mikrobiální biomasy uhlíku ve vzorcích hnojených různými druhy hnojiv v lokalitě Červený Újezd .....	52
Tabulka 15 Množství mikrobiální biomasy uhlíku ve vzorcích hnojených různými druhy hnojiv v lokalitě Praha – Suchdol .....	52
Tabulka 16 Změny obsahu uhlíku mikrobiální biomasy v šedé lesní půdě bez aplikace a po aplikaci čistírenských kalů [mg C/kg] (Selivanovskaya et al., 2000).....	55