

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Studijní program: B4131 / Zemědělství

Studijní obor: Trvale udržitelné systémy hospodaření v krajině

Katedra: Agroekosystémů

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

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Obsah organického uhlíku v půdách porostů energetických
rostlin**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marek Kopecký, Ph.D.

Autor bakalářské práce: David Bláha

České Budějovice, 2020

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: David BLÁHA
Osobní číslo: Z17366
Studijní program: B4131 Zemědělství
Studijní obor: Trvale udržitelné systémy hospodaření v krajině
Téma práce: Obsah organického uhlíku v půdách porostů energetických rostlin
Zadávací katedra: Katedra agroekosystémů

Zásady pro vypracování

Cíle práce: Sledování obsahu uhlíku v různých hloubkách půdy porostů vybraných energetických rostlin

Práce bude obsahovat následující kapitoly:

1. Úvod – úvod do problematiky (doporučený rozsah 1 strana, bez citací).
2. Literární přehled – energetické využití fytomasy, význam půdního uhlíku (rozsah cca 50% textové části BP).
3. Cíle práce a pracovní hypotézy (doporučený rozsah 1 strana).
4. Metodický postup – založení a údržba experimentálních políček vybraných energetických rostlin, pravidelný odběr půdních vzorků pomocí pedologické sondážní tyče, jejich úprava a analýza.
5. Výsledky a diskuse – zpracování a statistické vyhodnocení získaných výsledků, srovnání získaných dat s literárními údaji formou diskuse (rozsah cca 50% textové části BP).
6. Závěr – shrnutí výsledků práce (doporučený rozsah 1-2 strany, bez citací).
7. Seznam citované literatury (minimálně 1/3 literárních pramenů ze zahraničních zdrojů – vědecké časopisy, knihy).

Rozsah pracovní zprávy: 30-50 stran včetně příloh
Rozsah grafických prací: dle potřeby (tabulky, grafy, fotografická příloha)
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam doporučené literatury:

Gauder, M., Billen, N., Zikeli, S., Laub, M., Graeff-Hönninger, S., & Claupein, W. (2016). Soil carbon stocks in different bioenergy cropping systems including subsoil. *Soil and Tillage Research*, 155, 308-317.

Kolář L., Kužel S., Horáček J., Čechová V., Batt J., & Peterka J. (2009). Labile fractions of soil organic matter, its quantity and quality. *Plant, Soil and Environment*, 55, 181-186.

Kolář, L., Moudrý, J., & Kopecký, M. (2014). *Kniha o humusu. Náměšť nad Oslavou: ZERA.*
Lal, R. (2016). Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*, 5(4), 212-222.

Lehmann, J., & Kleber, M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580), 1-9.

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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marek Kopecký, Ph.D.**
Katedra agroekosystémů

Datum zadání bakalářské práce: **14. února 2019**

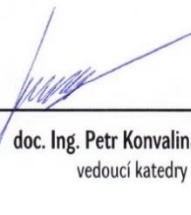
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2020**

V Českých Budějovicích dne 11. března 2019



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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
šestadvaceté 1984, 31. 12. 2018
České Budějovice



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

Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných zemědělskou fakultou – elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 22. 6. 2020

.....

David Bláha

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Markovi Kopeckému Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, trpělivost při častých konzultacích a pomoc při zkompletování této práce. Dále bych rád poděkoval rodině za podporu a svým spolužákům za pomoc při zakládání pokusných ploch a odebírání vzorků.

Abstrakt

Práce je zaměřena na sledování obsahu celkového organického uhlíku v půdách porostů vybraných energetických rostlin (*Dactylis glomerata*, *Elymus elongatus* subsp. *Ponticus*, *Festuca arundinacea*, *Phleum pratense*). Porosty byly založeny 16. 4. 2019 na pokusné lokalitě Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Obsah organického uhlíku byl sledován v závislosti na hloubce odběru a variantě hnojení v pravidelných termínech odběrů. První odběr byl proveden před založením porostů, další odběry následovaly vždy po dvou měsících. Odběry byly prováděny pedologickou sondážní tyčí ze dvou hloubek (0-10 cm a 10-20 cm). Následně byly vzorky upraveny pro analýzu a zkoumány na přístroji SKALÁR v laboratoři na Katedře agroekosystémů. V průběhu výzkumu byl sledován prudký nárůst obsahu organického uhlíku ve vzorku odebraném v jarním období roku 2020. Větší zastoupení organického uhlíku bylo zaznamenáno v hloubce 0-10 cm, avšak statisticky neprůkazně. Dále bylo zjištěno, že hnojení má vliv na celkový obsah organického uhlíku, hnojené varianty vykazovaly vyšší hodnoty než nehnojené. Nejvyšší obsah celkového organického byl zaznamenán u rostliny *Phleum pratense*. Rozdíly mezi jednotlivými rostlinami byly ovšem statisticky neprůkazné.

Klíčová slova: biomasa, energetické rostliny, organický uhlík, půdní organická hmota

Abstract

The aim of the study was to determine the total content of organic carbon in the soils planted by selected energy plants (*Dactylis glomerata*, *Elymus elongatus subsp. Ponticus*, *Festuca arundinacea*, *Phleum pratense*). The plant cultures were established on 16. 4. 2019 at the experimental field of the Faculty of agriculture, University of South Bohemia, České Budějovice. The organic carbon content was monitored regularly depending on the depth of sampling and fertilization of variants. The first sampling was carried out before the plant culture establishment. Further samples were taken every 2 months. All of the samples were taken from the depth of 0-10 cm and 10-20 cm by pedological sounding rod. Subsequently, the samples were adjusted for the analysis and examined with the SKALÁR instrument in the laboratory at the Department of Agroecosystems. During the measurement, a sharp increase of organic carbon in the sample taken in the spring of 2020 was observed. A higher content of organic carbon was observed in the samples taken from the depth of 0-10 cm, though, statistically not significant. It was further found, that fertilization influences the total content of organic carbon. The fertilized variants showed higher values than unfertilized. The highest amount of total organic carbon was recorded at the *Phleum pratense* variant. However, the differences between the plants were not statistically significant.

Key words: biomass, energy crops, organic carbon, soil organic matter

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Literární rešerše.....	11
2.1 Definice půdy	11
2.1.1 Vznik půdy	11
2.1.2 Význam půdy a její ohrožení.....	12
2.2 Využití biomasy jako obnovitelného zdroje energie	14
2.2.1 Pěstování energetických rostlin.....	14
2.2.2 Druhy energetických rostlin	15
2.2.3 Metody získávání energie z biomasy	16
2.3 Půdní organická hmota	17
2.3.1 Význam půdní organické hmoty	17
2.3.2 Složení půdní organické hmoty	18
2.3.3 Humus.....	19
2.4 Půdní uhlík.....	21
2.4.1 Rozdělení půdního organického uhlíku.....	21
2.4.2 Zráty půdního uhlíku	22
2.4.3 Koloběh organického uhlíku v půdě.....	23
2.4.4 Stanovení obsahu uhlíku.....	24
2.4.5 Stanovení obsahu uhlíku žíháním.....	24
2.4.6 Stanovení obsahu uhlíku elementární analýzou	25
2.4.7 Stanovení obsahu uhlíku na mokré cestě.....	25
2.4.8 Modifikovaná Tjurinova metoda.....	25
3. Cíle a hypotézy	26
4. Materiál a metodika	27
4.1 Charakteristika lokality.....	27
4.2 Založení a údržba porostů.....	28

4.3	Odběr a příprava půdních vzorků	30
4.4	Analýza půdních vzorků na přístroji SKALÁR	31
4.4.1	Stanovení obsahu organického uhlíku v půdách porostů energetických trav	31
4.4.2	Pracovní postup laboratorních prací	31
4.4.3	Statistické vyhodnocení.....	31
5.	Výsledky a diskuze	32
5.1	Obsah celkového organického uhlíku v závislosti na termínu odběru	32
5.2	Vliv hloubky odběru na obsah celkového organického uhlíku	34
5.3	Vliv hnojení na obsah celkového organického uhlíku.....	36
5.4	Vliv rozdílného vegetačního pokryvu na obsah celkového organického uhlíku	38
5.5	Interakce sledovaných faktorů na obsah celkového organického uhlíku ..	40
6.	Závěr	42
7.	Použitá literatura	43
8.	Přílohy.....	48

1. Úvod

V dnešní době je půda velmi diskutovaným tématem, je brána jako neobnovitelný environmentální zdroj a je významnou součástí lidských životů. Zásahy člověka a stále rostoucí potřeba stavět má značný vliv na úbytek půdy. Postupem času přibývají poznatky z oblasti pedologie. Každý rok vzniká řada nových studií, které posouvají tuto vědu dopředu.

Odlišný management obdělávání zemědělských půd má různý vliv na půdu a její úrodnost. V současné době je v České republice rozšířeno pěstování energetických rostlin. Jedná se zejména o produkci kukuřice seté a řepky olejné. Alternativou jsou porosty energetických trav. Mezi jejich výhody patří nenáročnost pěstování a malé zatížení životního prostředí. K produkci travní biomasy mohou sloužit i méně úrodné nebo znečištěné půdy, které nemohou být využity pro produkci potravin.

Významným faktorem půdní úrodnosti, který je ovlivňován zemědělským hospodařením, je obsah a kvalita půdní organické hmoty. Na toto téma je publikována řada studií. Množství organické hmoty se mění v závislosti na průběhu počasí i zvoleném managementu obhospodařování porostů zemědělských kultur.

Tato práce má za úkol pomoci objasnit děje probíhající v půdě při pěstování energetických trav za účelem jejich následného spalování a výroby tepelné, potažmo elektrické, energie. Výzkum je zaměřen na sledování obsahu půdního organického uhlíku v půdě s různými druhy energetických rostlin a odlišnými metodikami jejich hnojení.

2. Literární rešerše

2.1 Definice půdy

Půda (řecky pedon) je nejsvrchnější vrstva zemské kůry, kterou prostupuje voda, vzduch a jiné organizmy. Vznik půdy je složitý proces zvaný pedogeneze, který probíhá díky vnějším vlivům prostředí a času. Půda je produktem přeměny organických a minerálních látek (Němeček a kol., 1990).

Kolář a kol. (2014) definují půdu jako směs organických a minerálních látek, které vznikají rozkladem matečné horniny pomocí fyzikálních, chemických a biologických vlivů. Tento systém zahrnuje pevnou, kapalnou a plynnou fázi. Z ekologického pohledu je půda otevřený systém tvořený živou a neživou složkou.

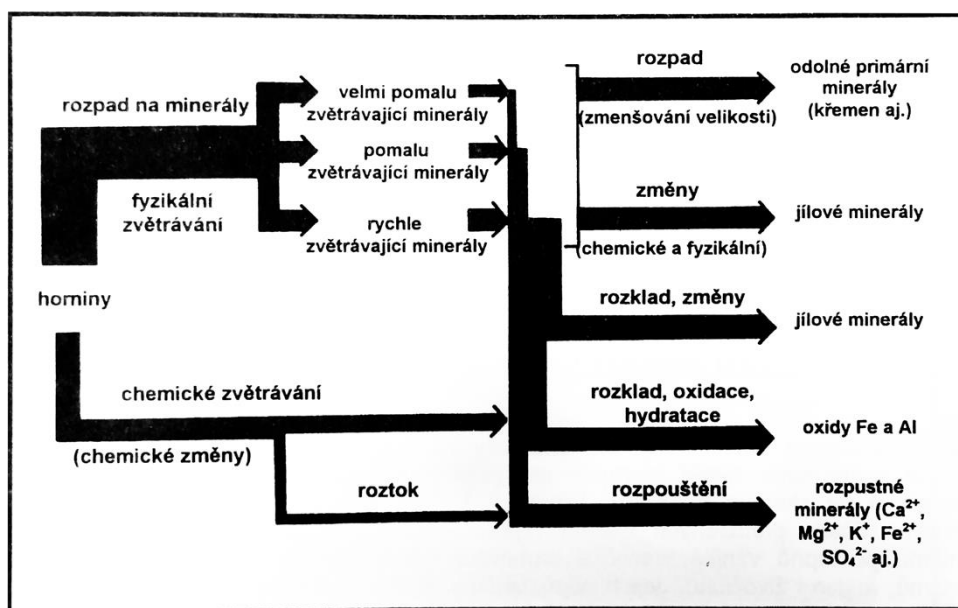
Na půdu může být nahlíženo různými pohledy dle jednotlivých profesí. Pro zemědělce a lesníka je půda základním výrobním prostředkem, který je nezbytný pro existenci lidstva. Má i důležitou krajinnou funkci a je jedním z hlavních přírodních zdrojů (Scialabba a Hattam, 2002). Jiný pohled bude mít geolog, který půdu chápe jako zvětranou povrchovou část zemské kůry. Z pohledu chemika je zásobárnou prvků a sloučenin. Z ekologického hlediska je půda prostředím edafonu, který se účastní základních koloběhů v přírodě (Ledvina a Horáček, 2000).

2.1.1 Vznik půdy

Proces vzniku půdy začíná zvětráváním, které aktivně působí na matečnou horninu (Jenny, 1994). Ta je tvořena hmotou obsahující zpravidla anorganické látky nebo jejich směsi, minerály a horniny. Matečná hornina je tedy pasivní půdotvorný činitel (Smolík, 1957). Pod vlivem fyzikálních a chemických faktorů se jednotlivé horniny rozpadají na menší částice a jednotlivé minerály, které jsou obsaženy v hornině (Šarapatka, 2014).

Šimek (2003) uvádí, že rozpad horniny na jednotlivé minerály patří do takzvaného fyzikálního zvětrávání. Na druhé straně oxidace, rozklad a rozpouštění aj. spadá pod chemické změny. Výsledným produktem zvětrávání jsou jílovité minerály a rozpustné minerály (viz. Obr. č. 1).

Obr. č. 1: Schéma zvětrávání hornin v podmínkách mírného pásu



Zdroj: (Šimek, 2003)

Působením půdotvorných faktorů, které se liší různou kombinací a intenzitou, vzniklo mnoho variant půd, které mají některé rysy společné (Šimek, 2003). Mezi půdotvorné faktory řadíme půdotvorný substrát, podnebí, biologický faktor, podzemní vodu a vliv člověka.

Základní rozdělení půdy je na anorganickou část (jílové částice, prach, písek, štěrk, kameny), dále organickou část (živá a odumřelá organická hmota), plynnou část, do které řadíme půdní vzduch a kaplnou část kterou tvoří půdní voda (Šarapatka, 2014). Všechny půdy jsou anizotropní (závislé na směru). Prostorové rozložení půdních vrstev není náhodné, ale závisí na směru (Jenny, 1994). Jenny (1994) dale uvádí, že formování půdního profilu je závislé na čase a složení odumřelých organických zbytků. Odhaduje se, že 1 centimetr půdy vzniká zhruba 100 let (Tomášek, 2007).

2.1.2 Význam půdy a její ohrožení

Půda je hlavním zdrojem živin pro rostliny, mikroorganismy a živočichy v půdě. Hraje zásadní roli ve stabilitě ekosystémů, v bilanci látek a energií. Je důležitou zásobárnou vody a filtračním prostředím, přes které prochází voda (Šarapatka, 2014). Je také nenahraditelným přírodním bohatstvím, které je omezené a obnovuje se velmi

pomalů. Tvoří základ našeho životního prostředí, je součástí agroekosystémů a lesních i travinných ekosystémů (Ledvina a Horáček, 2000).

Činnost člověka přímo ovlivňuje kvalitu půdy (Kolář a kol., 2014). Její využívání může vést k její degradaci, což je částečná, nebo úplná ztráta úrodnosti (Bot a Benites, 2005). Z dlouhodobého hlediska může půda ztrácet svoji úrodnost zejména díky zemědělským zásahům či špatné rotaci plodin. Velmi často je kontaminovaná pesticidy. To vše vede k utužení půdy, častým erozím a ztrátě organické hmoty (Němeček a kol., 1990). Mechanickým zpracováním půd se také narušuje vodní a vzdušný režim půd (Šimek, 2003). Některé studie uvádějí, že za posledních 40 let byla celosvětově třetina orné půdy poškozena erozí a každoročně se ztrácí více než 10 miliónů hektarů (Šarapatka, 2014).

2.2 Využití biomasy jako obnovitelného zdroje energie

Ochodek a kol. (2006) definují biomasu jako substanci biologického původu, do které spadá rostlinná biomasa pěstovaná v půdě nebo ve vodě, živočišná biomasa, produkce organického původu a organické odpady.

Biomasa je získávána zemědělskou činností (pěstování rostlin, chov živočichů), nebo jako odpad ze zemědělské, potravinářské a lesní výroby, z údržby krajiny apod. (Fuksa, 2011). Energetické rostliny pěstované za účelem velkého výnosu biomasy mají velmi perspektivní budoucnost jako obnovitelný zdroj energie (OZE) (Klass, 1998). Nárůst výroby elektřiny z biomasy se bude pravděpodobně nadále zvyšovat (Fuksa, 2011).

Dle Petříkové a Wegera (2015) je problémem biomasy její nedostatečná ekonomická konkurenceschopnost oproti fosilním palivům. Jako další nedostatek můžeme brát malou objemovou hmotnost fytomasy a její nestálé každoroční výnosy. Quaschnig (2010) vidí nevýhodu ve velké objemové hmotnosti fytomasy a díky tomu je obtížné její skladování. Zvyšování poptávky po biomase povede k rozšíření pěstebních ploch a nárůstu intenzity výroby.

Na druhou stranu velkou předností biomasy je její obnovitelnost a dostupnost (Noskievič a kol., 1996). Dalším z přínosů biomasy může být zlepšení struktury půd, efektivní využití přebytečné zemědělské půdy nebo pozitivní vliv na ekologii krajiny (Petříková a kol., 2006). Významné jsou také socio-ekonomické aspekty ve formě vytváření nových pracovních příležitostí (Scheer, 2012).

2.2.1 Pěstování energetických rostlin

Lidstvo je už řadu desetiletí závislé na fosilních palivech, které mají své limity. Vyčerpání fosilních paliv nás nutí hledat alternativní zdroje pro průmyslové a energetické využití (Stražil, 2009). Obnovitelné zdroje energie jsou v současnosti velkým tématem k diskusi. Lidstvo by se mělo zaměřit na zdokonalení využití OZE.

OZE dělíme na (Quaschnig, 2010):

- geotermální energii
- větrnou energii
- vodní energii

- sluneční energii
- biomasu

Kára (2005) tvrdí, že všechny OZE mají své limity ať už geografické, klimatické či jiné. V dnešní době význam energie z obnovitelných zdrojů vzrůstá. Biomasa tvoří jejich velmi důležitou část. Odhaduje se, že biomasa zaujímá až 75 % ze všech obnovitelných zdrojů. Zdrojem jsou především odpadní hmoty, jako např. sláma obilnin a řepky nebo dřevní štěpka (Petříková a kol., 2006).

Poměrně novým trendem je ale i cílené pěstování biomasy pro energetické využití. Petříková a kol. (1996) uvádějí, že pro pěstování energetických rostlin lze využít deficitních pozemků, včetně rekultivovaných. Pro účely pěstování energetických rostlin se dají využívat i pozemky s tradiční zemědělskou půdou. Pěstování fytomasy pro energetické účely nepřináší pouze vyšší podíl obnovitelné energie, ale také efektivní využití přebytečné půdy, vytváří nové pracovní příležitosti, udržuje kulturní krajinu a přispívá k redukci skleníkových plynů.

Pěstování energetických rostlin u nás nemá dlouhou tradici, většina rostlin je málo známých a výsledky z pokusů jsou zatím neucelné. Především se jedná o rostliny vysoce vzrůstné, které mají velký podíl nadzemní hmoty, tudíž jsou vhodné pro energetické využití (Petříková a kol., 2006). Pro energetické účely jsou vhodné plodiny, které jsou při sklizni dostatečně suché, tyto rostliny jsou využívány pro přímé spalování. Lze využívat i rostliny, které nejsou při sklizni dostatečně suché, nebo jsou sklizeny na zeleno. Takové rostliny se využívají pro výrobu bioplynu (Malat'ák a Vaculík, 2008).

2.2.2 Druhy energetických rostlin

Vhodné druhy energetických rostlin by měly poskytovat vysoký výnos nadzemní suché hmoty. Aby bylo pěstování těchto rostlin efektivní, měly by rostliny dosahovat průměrných výnosů alespoň 10-12 t suché hmoty na 1 ha. Jsou druhy pěstované pouze pro energii, ale můžeme se setkat s druhy, které mají i jiné uplatnění například jako léčivky apod. Pro energetické účely se využívá především sláma, která je označována jako vedlejší produkt, místo slámy se dá využít např. zrno (Stražil, 2009).

Energetické rostliny lze rozdělit na 2 hlavní skupiny:

1) Rychle rostoucí dřeviny

Pro energetické účely se rychle rostoucí dřeviny pěstují na speciálně zakládaných plantážích. Pro naše klimatické podmínky jsou nejvhodnější tyto druhy:

Topol – černý, balzámový, nebo kříženci černého a bavlíkového

Vrby – různé formy a kříženci

2) Byliny

Jedná se o rostliny, které jsou bylinného charakteru, pěstované za účelem získávání energie. Zpravidla se tyto rostliny dělí na jednoleté, víceleté, nebo vytrvalé. Dále můžeme tyto rostliny dělit na energetické obilniny a energetické trávy. Další početnou skupinou energetických rostlin jsou rostliny dvouděložné. Do této skupiny se řadí netradiční druhy, které se dříve pěstovaly jako plodiny zemědělské, okrasné, nebo se jedná o druhy planě rostoucí (El Bassam, 2010).

2.2.3 Metody získávání energie z biomasy

Biomasa má na území České republiky z hlediska využití OZE velký potenciál. energii z biomasy lze získat relativně snadno. Energetické využívání biomasy je vhodné pro oblasti, kde současné zemědělství není příliš efektivní. Energetické rostliny lze pěstovat i na méně úrodných půdách nebo na plochách, které jsou kontaminované těžkými kovy, na důlních výsypkách a složištích popele (Fuksa, 2011).

Energie získaná z biomasy se vyskytuje v pevné, kapalné nebo plynné formě a může být dále přeměněna na teplo, elektřinu nebo pohonné hmoty. Způsob zpracování fytomasy závisí na množství látek, na jejich skladovatelnosti, obsahu vody, struktuře a složení. Hodnota 50 % sušiny je přibližná hranice mezi mokrymi a suchými procesy. Látky, které mají vysoký obsah vody, se zpracovávají kvašením, látky s nízkým obsahem vody spalováním nebo suchou destilací (Ochodek a kol., 2006). Výběr vhodné technologie pro výrobu tepla a elektřiny závisí na její dostupnosti, ceně, efektivitě, vlivu na životní prostředí a dalších kritériích. Mezi zmíněné technologie se řadí termochemická přeměna (zplyňování, spalování, pyrolýza), biochemická přeměna (metanové kvašení, alkoholové kvašení), chemická přeměna (esterifikace) a získání odpadního tepla (kompostování, ČOV) (Malatřák a Vaculík, 2008).

2.3 Půdní organická hmota

Dle definice půdní organická hmota zahrnuje živé organizmy, kořeny rostlin, mikroorganismy, odumřelé mikro a makroorganismy, rozpustné organické látky, humus, nehumusové biopolymery, huminové kyseliny, fulvokyseliny, huminy a v poslední řadě zuhelnatělé organické látky (Kubát a kol., 2008). Půdní organická hmota dokáže ovlivnit strukturu půdy, její úrodnost a příznivě působí na fyzikální a chemické vlastnosti půdy (Baldock a Nelson, 2000).

Valla a kol. (1980) rozdělují půdní organickou hmotu takto:

- humusotvorný materiál, který tvoří odumřelé zbytky rostlin, živočichů a mikroorganismů, které dosud nebyly transformované,
- meziprodukty rozkladu a syntézy, jedná se o látky nespecifické (mezistupně přeměň humusotvorného materiálu),
- humus – humusové látky, jedná se o látky specificky půdní (organická hmota transformovaná humifikačními pochody).

Půdní organickou hmotu můžeme dělit také podle Vácholové a kol. (2016) na tyto dvě základní skupiny:

- primární půdní organická hmota, která obsahuje labilní i stabilní frakce z pohledu hydrolyzy, oxidace a biodegradability. Může se vyskytovat ve stavu rozloženém nebo nerozloženém, může mít sorpční vlastnosti, ale nemá iontovýměnné vlastnosti, protože neobsahuje skupiny s disociovatelným vodíkem,
- humus, v porovnání s půdní organickou hmotou je stabilní a prakticky nerozložitelný. Má sorpční vlastnosti a schopnost iontovýměny.

2.3.1 Význam půdní organické hmoty

Organická hmota stabilizuje půdní strukturu, zadržuje v sobě energii a slouží jako zdroj živin, má vliv na retenci vody, kationtovou výměnnou kapacitu, pufrací schopnosti atd. (Šarapatka, 2014). Je nezbytnou složkou půdy, příznivě působí na fyzikální a chemické vlastnosti, je základním faktorem půdní úrodnosti a poskytuje příznivé podmínky pro existenci velmi bohaté a diverzifikované půdní bioty (Kubát a kol., 2008).

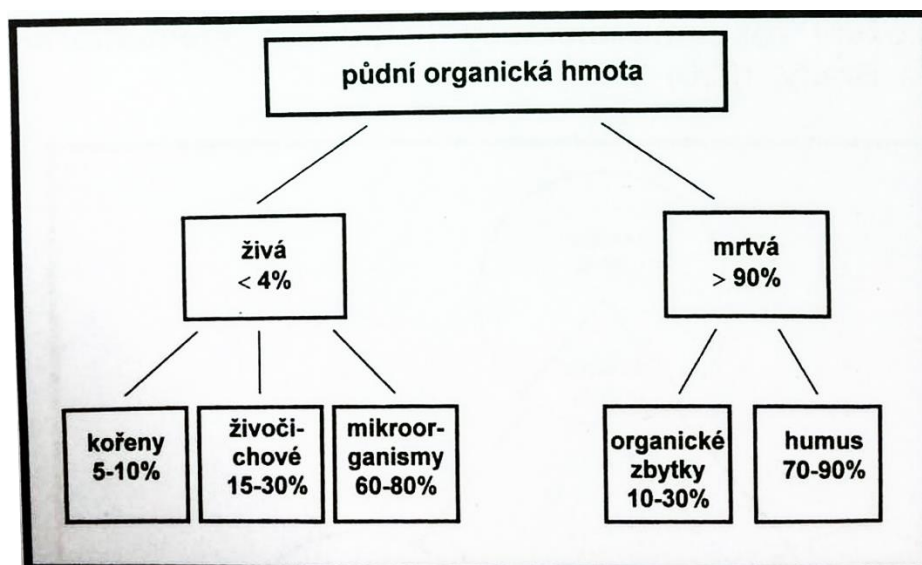
Organická hmota je schopná pohlcovat vodu, dokáže zadržet až šestinásobek své vlastní hmotnosti, také zlepšuje strukturu půdy a snižuje náchylnost ke zhutnění, erozi a sesuvům (Bot a Benites, 2005). Podmínkou zdravé půdy je organická hmota, avšak její úbytek vede k degradaci půdy (Šarapatka, 2014). Půdní organická hmota má zásadní význam pro úrodnost půd, bez ní by neprobíhala mineralizace ani humifikace půdní organické hmoty (Váchalová a kol., 2016).

Základní a hlavní komponent půdní organické hmoty je organický uhlík. V půdě je obsaženo 3x více uhlíku, než je obsaženo v atmosféře nebo ve vegetaci. Půda je největší rezervoár aktivně cyklického uhlíku, který hraje hlavní roli v různých funkcích ekosystému (Sáňka a Materna, 2004). Z tohoto důvodu může uvolňování a přeměna i malého podílu uhlíku obsaženého v půdní organické hmotě způsobit významné změny atmosférických koncentrací skleníkových plynů (Lehmann a Kleber, 2015). Akumulovaný uhlík tvoří primární zdroj organického materiálu, podstatný je však jeho koloběh, který tvoří geologický a biologicko-fyzikální cykly (Kubát a kol., 2008).

2.3.2 Složení půdní organické hmoty

Primárním zdrojem půdní organické hmoty jsou rostliny, především jejich zbytky včetně kořenů a jejich exsudátů (odumřelé buňky půdních autotrofních mikroorganismů). Sekundárním zdrojem jsou živočichové a heterotrofní půdní mikroorganismy (Šimek, 2005). Většinou se jedná o heterogenní směs organického materiálu obsahující mono- až polymerní molekuly nebo organické látky, lignin, různé proteiny, polysacharidy (celulóza, hemicelulózy, chitin, peptidoglykany), lipidy a další alifatické materiály (Kolář a kol., 2009). Rozdělení půdní organické hmoty podle původu je znázorněno v Obr. č. 2. Složení půdní organické hmoty se v důsledku času mění díky biologickým, chemickým a fyzikálním procesům v půdě. Hlavní složky jsou zejména C, H, O, N, P, které slouží jako zásobárna energie a živin pro edafon a rostliny (Foth, 1978). Hromadění nebo úbytek půdní organické hmoty závisí na tom, jak podléhá rozkladu nebo biologické stabilizaci (Baldock a Nelson, 2000).

Obr. č. 2: Zastoupení jednotlivých složek v půdní organické hmotě



Zdroj: (Šimek, 2005)

2.3.3 Humus

Humus zahrnuje organické látky v půdě, které jsou původem ze zbytků rostlin, živočichů a mikrobů smíchané s minerálním podílem půdy. Má značný vliv na půdní úrodnost, i na obsah živin v půdě. Zatímco Vrba a Huleš (2007) uvádějí, že v případě humusu se jedná o heterogenní a labilní směs podílející se na dynamice půdních pochodů, Váchalová a kol. (2016) tvrdí, že humus je stabilní a z hlediska lidského života prakticky nerozložitelná složka půdy, která disponuje sorpčními vlastnostmi i vlastnostmi iontovýměnnými. Humusové látky dokážou 7x více poutat živiny v půdě, oproti jilovitým minerálům a jejich přítomnost ovlivňuje drobtovitost půdy, což má kladné účinky na vodní, vzdušný a tepelný režim půdy (Šarapatka, 2014).

Problematikou rozdělení humusových látek se zabíraly Pospíšilová a Tesařová (2009), které je rozdělily dle chemických vlastností na specifické-humusové látky, nespecifické-humusové látky a meziprodukty. Mezi specifické humusové látky zařazujeme:

2.3.3.1 Fluvokyseliny

Mají světlou barvu a nízkou molekulovou hmotnost, jsou málo odolné vůči mikrobiálnímu rozkladu a rozpouští se ve vodě, v minerálních kyselinách i loužích (Šarapatka, 2014). Díky nižší relativní molekulové hmotnosti mají snadnou

pohyblivost v půdním profilu. Vznikají především v půdách, kde je kyselé prostředí a nízká mikrobiologická aktivita (Kolář a kol., 2014). Vznikají štěpením humusových látek s vyšší molekulovou hmotností. S vodou vytváří roztok velmi silně kyselého charakteru (Šarapatka, 2014). Poločas rozpadu závisí na podmínkách prostředí, ale jedná se o dobu asi 10 až 50 let (Pospíšilová a Tesařová, 2009).

2.3.3.2 Huminové kyseliny

Ve srovnání s fluvokyselinami mají tmavší barvu, nižší biodegradabilitu a řadíme je do skupiny vysoce molekulárních dusíkatých sloučenin s cyklickou stavbou. Dají se rozpustit pouze v hydrolytických roztocích solí a loužích (Šarapatka, 2014). Huminové kyseliny tvoří koloidní soustavu, disponují vysokou sorpční schopností a kationtovou výměnnou kapacitou (Pospíšilová a Tesařová, 2009).

2.3.3.3 Huminy

Huminy mají tmavou barvu, nejsou rozpustné v kyselinách ani zásadách a nepodléhají mikrobiologickému rozkladu. Disponují nejvyšší molekulovou hmotností a jsou stabilizovány minerální složkou (Šarapatka, 2014). Po extrahování huminových a fulvokyselin zůstává humin jako neextrahovatelná frakce. Duchaufour (2012) se domnívá, že jeho podíl činí asi 50 až 70 % celkové organické hmoty.

2.4 Půdní uhlík

Půdní uhlík se v půdě nachází ve dvou formách. Jedná se o uhlík organický a anorganický. Výzkum se zaměřuje zejména na organický uhlík, anorganický uhlík se v půdě nachází v malém množství (<1 %) (Huntington a kol., 1989). Uhlík v půdě je nedílnou součástí půdní organické hmoty, která podmiňuje produkční i mimoprodukční funkce půdy a je základním předpokladem půdní úrodnosti. Potenciál půdy akumulovat, vázat a zadržovat různé formy uhlíku včetně toho atmosférického (CO₂) je vysoký (Albrecht a Kandji, 2003). Organický uhlík v půdě může být původem rostlinný, živočišný, nebo mikrobiální. Klasifikace původu uhlíku je založena na sledování fyzikálních, chemických, fyzikálně-chemických a biochemických transformací uhlíku v půdě (Wang a Hsieh, 2002).

Distribuce organického a anorganického uhlíku v půdě je zásadní pro posouzení regionálních, kontinentálních a globálních půdních zásob uhlíku a předpovídání globálních změn (Rawlins a kol., 2011). V půdě se nachází až 2x více uhlíku než v atmosféře, jeho největší množství je obsaženo v oceánech (Šarapatka, 2014).

Množství organického uhlíku v půdě je rovnováhou mezi vstupy C do půdy a ztrátami z ní. Organický uhlík se do půdy dostane prostřednictvím mrtvého rostlinného materiálu nebo kořenového exsudátu, mrtvého živočišného materiálu a organických doplňků, například hnojem. Ztráty nastávají mineralizací půdní organické hmoty, jejímž produktem je mimo jiné CO₂ (Gregorich a kol., 1998). Uhlík je transformován pomocí fotosyntézy z CO₂ do organických látek, které jsou posléze respirací rozkládány zpět na CO₂. Z toho se část uhlíku váže ve formě humusu v půdě (Šimek, 2003). Poutání a uvolňování organického uhlíku je přímo závislé na rostlinných a mikrobiální činnosti. Gauder a kol. (2016) uvádějí, že vytrvalé energetické plodiny mohou zvýšit zásoby organického uhlíku v půdě (hloubka půdy 0-90 cm) o 15-20 Mg ha⁻¹ ve srovnání s ročními energetickými plodinami.

2.4.1 Rozdělení půdního organického uhlíku

Šarapatka (2014) v půdě rozlišuje organický uhlík volný, stabilní a aktivní.

2.4.1.1 Volný uhlík

Je to část uhlíku, která se neváže na žádné minerály a není asociována s minerálními agregáty. Považuje se za nejstarší složku půdní organické hmoty, i když svými vlastnostmi a funkcemi není důležitý (Šarapatka, 2014). Jedná se o koloidně neaktivní uhlík, který nehydrolyzuje, nerozpouští se a nereaguje s minerální složkou půdy. Jeho uplatnění nalezneme v globálním koloběhu uhlíku, protože není nijak poután. Dosud není známo, jak a kde se volný uhlík hromadí (Stevenson, 1994).

2.4.1.2 Stabilní uhlík

Nalezneme ho ve specifických humusových látkách, huminových kyselinách a fluvokyselinách. Je velmi odolný vůči mineralizaci a biodegradaci (Šarapatka, 2014). Jeho obsah značně závisí na typu půdy, způsobu hospodaření, kvalitě organického a minerálního hnojení a vápnění půdy. U této formy uhlíku se jedná o pomalejší koloběh v průběhu staletí až tisíciletí (Stevenson, 1994).

2.4.1.3 Aktivní uhlík

Jinak nazýván také jako labilní uhlík. Tvoří lehce rozložitelné sloučeniny a je snadno metabolizovatelný. Podléhá oxidaci, to vede ke snížení obsahu organické hmoty v půdě a díky mikrobiálnímu rozkladu je zde i úzká souvislost s uvolňováním živin (Šarapatka, 2014). Snadno podléhá mikrobiálnímu rozkladu a má přímý vliv na uvolňování živin do půdy. Zodpovídá za tzv. dočasnou stabilitu humusu (Stevenson, 1994). Přímou ovlivňuje transformační procesy v půdě, jako je pohyb živin, různých solí a polutantů. Má vysokou afinitu k těžkým kovům a je schopen vázat hydrofobní polulanty (Berggren a kol., 1990). Obsah aktivního uhlíku úzce souvisí s půdním typem, půdním druhem, způsobem obhospodařování půdy a jejím hnojením. Změny obsahu humusu se týkají jeho podílu tj. aktivního uhlíku v půdě, většina změn probíhá pomalu a dosažení nové dynamické rovnováhy může trvat i desítky let (Körschens a kol., 1998).

2.4.2 Zráty půdního uhlíku

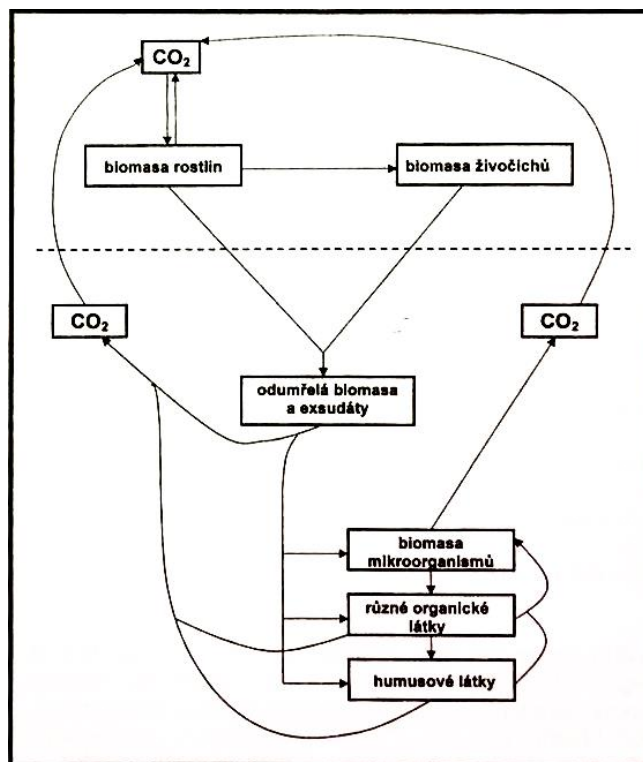
Lidská aktivita ovlivňuje globální cykly uhlíku a přispívá ke změně klimatu. To vytváří viditelné zpětné vazby pro suchozemský ekosystém (He a kol., 2008). Větrná a vodní eroze a zpracování půdy zemědělci mají zpravidla nepříznivý vliv na obsah uhlíku v půdě (Gregorich a kol., 1998). Odhady ztrát půdního uhlíku po

kultivaci půdy se pohybují od 20-30 %, většina ztrát se projeví v prvních letech po kultivaci (Davidson a Ackerman, 1993). Historicky půda ztratila 40-90 Pg uhlíku po celém světě kultivací. Zastavení přeměn využití půdy by bylo účinným mechanismem ke snížení ztrát uhlíku z půdy. Díky stále rostoucí populaci bude zapotřebí více půdy pro zemědělství (Smith, 2008). K největším ztrátám půdního uhlíku na plochu dochází tam, kde jsou jeho zásoby největší např. ve vysoce organických půdách, jako jsou rašeliniště. Tyto ztráty nastávají odvodněním, vápněním, nebo kultivací (Maltby a Immirzi 1993).

2.4.3 Koloběh organického uhlíku v půdě

Uhlík je považován za základní složku veškeré organické hmoty. Na cyklus uhlíku lze pohlížet jako na cyklus života, který v globálním měřítku zabezpečuje kontinuitu života (Šimek, 2003). Nejdůležitějším prvkem cyklu uhlíku na zemi je oxid uhličitý. Pomocí fotosyntézy je uhlík z CO_2 transformován do organických látek, které jsou následně rozkládány zpět na CO_2 . Zjednodušený cyklus uhlíku je znázorněn na Obr. č. 3.

Obr. č. 3: Cyklus uhlíku propojený s atmosférou prostřednictvím CO_2



Zdroj: (Šimek, 2003)

Část uhlíku je vázána ve formě humusu v půdách, který postupem času také podléhá rozkladu a vzniklý CO₂ se dostává zpět do atmosféry (Prentice a kol., 2001). Z plochy 1 hektaru půdy se může denně uvolnit do atmosféry v průměru 25-30 a maximálně až 100 kg oxidu uhličitého (Šimek, 2003). Tento přirozený tok se pravděpodobně bude zvětšovat v důsledku klimatických změn. Rostoucí koncentrace CO₂ v atmosféře zvýší tok CO₂ z půdy a zároveň zanechá větší zásobu uhlíku v půdě (Schlesinger a kol., 2000).

Většina organického uhlíku v půdě se pomalu rozkládá na anorganické formy v časových intervalech od staletí do tisíciletí. Půdní minerály hrají stabilizační roli a řídí množství a obrat organického uhlíku. Složení minerálů půdy je proto důležité při určování množství organického uhlíku uloženého v půdě (Torn a kol., 1997). Odhady celkové zásoby uhlíku na Zemi se pohybují od 1500 Pg do 2400 Pg. Pro srovnání v atmosférickém CO₂ je obsaženo 750-775 Pg uhlíku. Ročně se do atmosféry uvolní 5 až 6 Pg uhlíku spalováním fosilních paliv (Batjes, 1996).

2.4.4 Stanovení obsahu uhlíku

Stanovení obsahu uhlíku v půdě souvisí s chemickým složením jednotlivých složek půdní organické hmoty. Uhlík se může vyskytovat ve formě volné, stabilní a aktivní (Pospíšilová a Tesařová 2009). Specifické humusové látky se dají rozdělit na vázané a volné humínové kyseliny a na vázané a volné fluvokyseliny. Podle metody IHSS je možné oddělit humínové kyseliny od fluvokyselin rozpouštěním v louhu a srážením silnou minerální kyselinou. Jejich množství se poté stanoví oxidimetrickou titrací. Po jejich separaci je možné studovat jejich kvalitu a chemické vlastnosti. Využívají se při tom standardní chemické, fyzikálně-chemické a fyzikální postupy (Kolář a kol., 2014).

Klasické postupy stanovení celkového obsahu uhlíku v půdě dělíme na:

- spalování za sucha (ztráta žíháním, elementární analýza)
- spalování za mokra (oxidimetricky, spektrofotometricky)

2.4.5 Stanovení obsahu uhlíku žíháním

Tato metoda se řadí mezi metody přímé. Jedná se o oxidaci organického uhlíku v žíhací peci. Aby se zabránilo rozkladu karbonátů, provádí se žíhání při maximální teplotě 530 °C. Výsledky mohou být nepřesné díky úbytku konstituční vody u jílu (tato

metoda není vhodná pro jílovité půdy a jíly). Použití metody žíhání se doporučuje pro vzorky s vysokým obsahem organických látek (Jandák, 2003).

2.4.6 Stanovení obsahu uhlíku elementární analýzou

Elementární analýza se řadí mezi metody nepřímé. Slouží, jak ke stanovení uhlíku, tak i dalších prvků (H, S, N, O). Principem je spalování vzorku za vysoké teploty (až 1800 °C). Produkty spalování jsou následně separovány a kvantitativně stanoveny na GC koloně s detekcí (TCD – Thermal Conductivity Detector). Obsah prvků je stanoven výpočtem pomocí kalibračního faktoru, který je znám z analýzy standardu, nejčastěji to bývá sulfonylamid (Jandák, 2003).

2.4.7 Stanovení obsahu uhlíku na mokré cestě

Stanovení na mokré cestě má v dnešní době spoustu modifikací, jejichž společným základem je oxidace organického uhlíku kyslíkem oxidantu v prostředí kyseliny sírové (H₂SO₄). Jako oxidat se používá dichroman draselný (K₂Cr₂O₇), který nahradil manganistan draselný (KMnO₄) (Zbiral, 2002). Množství zoxidovaného uhlíku se stanoví buď z množství vyprodukovaného CO₂, nebo výpočtem z oxidačního činidla. Nejeefektivnější a nejpoužívanější metodou v dnešní době je Tjurinova metoda, která poskytuje až 93 % výtěžek spálení (Jandák, 2003).

2.4.8 Modifikovaná Tjurinova metoda

Podstatou této metody je oxidace organického uhlíku příslušným oxidantem (K₂Cr₂O₇) v prostředí kyseliny sírové. Množství spotřebovaného oxidantu se zjišťuje titrací Mohrovou solí, nebo zpětnou titrací chromosírovou směsí (Zbiral, 2002).

3. Cíle a hypotézy

Cílem práce je sledování obsahu uhlíku ve vzorcích půd z porostů vybraných energetických rostlin.

Dílčí cíle

- 1) Založení porostů vybraných energetických trav.
- 2) Údržba porostů dle stanovené metodiky a pravidelný odběr půdních vzorků z dvou odlišných hloubek půdního profilu (0-10 cm, 10-20 cm).
- 3) Příprava půdních vzorků pro analýzu.
- 4) Stanovení obsahu organického uhlíku (C_{org}) v upravených vzorcích.
- 5) Vyhodnocení a interpretace získaných výsledků.

Hypotézy

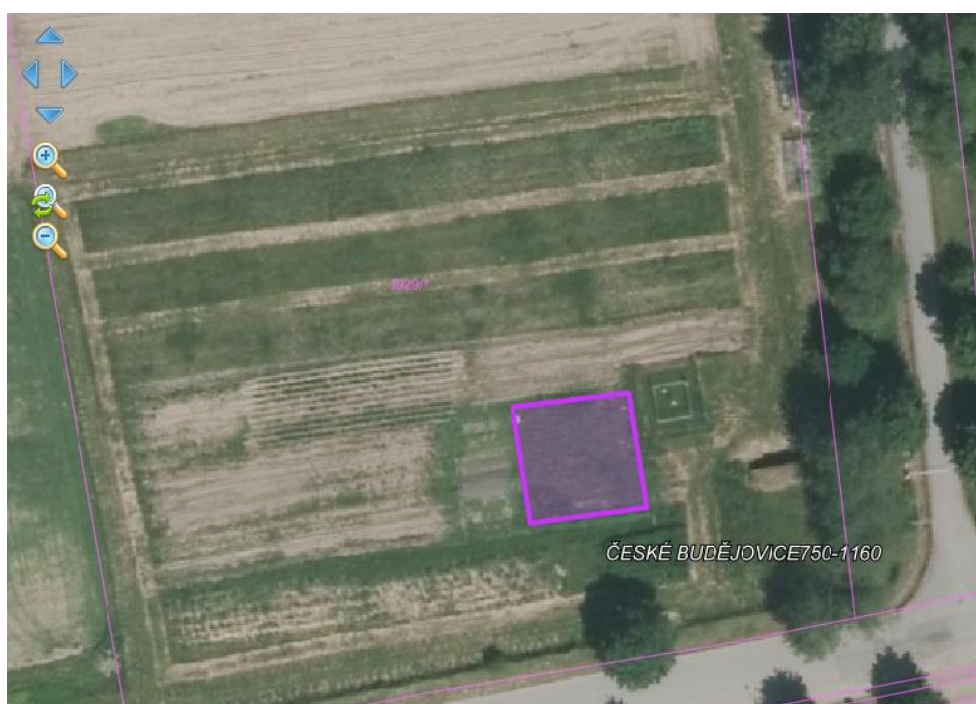
- 1) Rhizosféra mělce kořenících trav přispívá k většímu oživení půdy (vylučování kořenových exsudátů, bohatý mikrobiální činnost), proto lze očekávat vyšší obsah organického uhlíku v hloubce 0-10 cm.
- 2) V důsledku měnících se půdně-klimatických podmínek budou zaznamenány rozdíly v obsahu C_{org} v závislosti na termínu odběru.

4. Materiál a metodika

4.1 Charakteristika lokality

Vzorky půdy byly odebírány z pokusných polí Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích (viz. Obr. č. 4). Klimatický region je mírně teplý/vlhký. Nadmořská výška činí 381 m. Průměrný úhrn srážek je 550-650 mm a průměrná roční teplota se pohybuje kolem 7-8 °C. Podle podkladů Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půd jsou v této lokalitě půdním typem pseudogleje s celkovým obsahem skeletu do 25 %. Pozemek se dle dostupných podkladů nachází na rovině se všesměrnou expozicí, půdy jsou zde hluboké až středně hluboké a velmi málo produkční, bodová výnosnost na stupnici od 6 do 100 je vyjádřena hodnotou 42.

Obr. č. 4: Mapa pokusné lokality

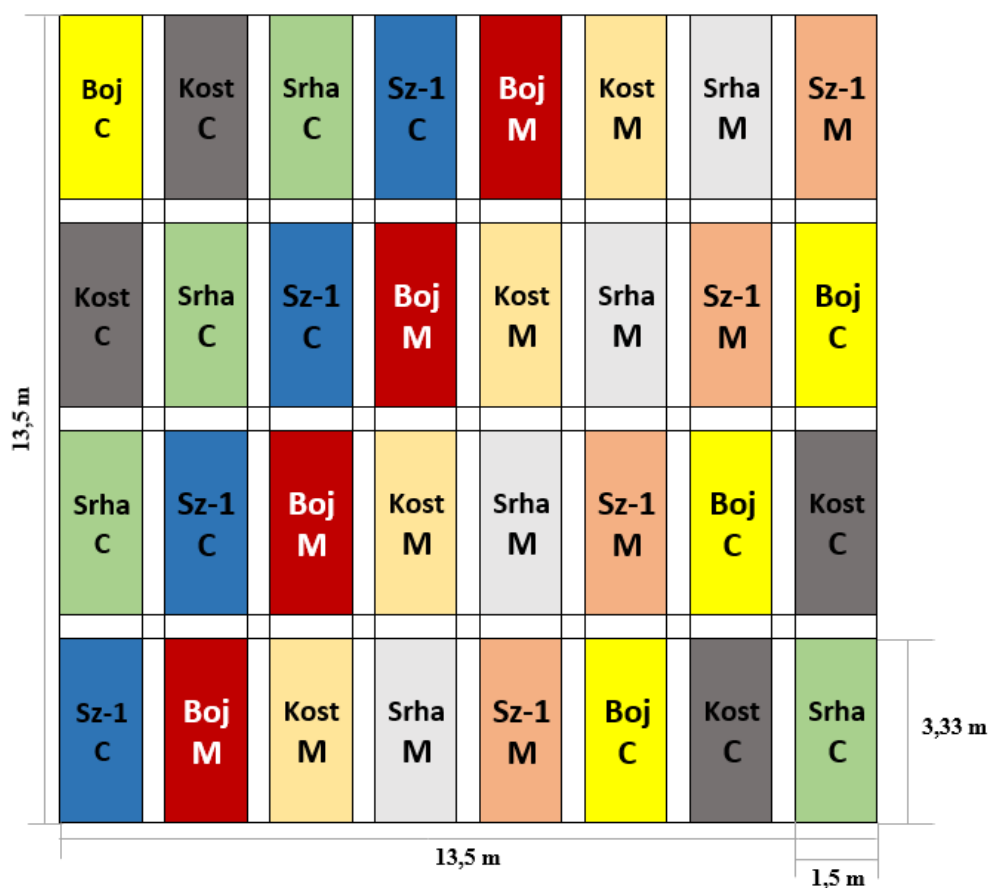


Zdroj: Veřejný registr půd – LPIS

4.2 Založení a údržba porostů

Porosty byly založeny 16. 4. 2019. Jednotlivé parcelky mají rozměr 5 m² (3,33 m · 1,5 m), celkem je na pozemku 32 těchto parcelek. Nachází se zde 4 druhy energetických trav, a to: bojínek luční (*Phleum pratense*), srha laločnatá (*Dactylis glomerata*), kostřava rákosovitá (*Festuca arundinacea*) a Szarvasi-1 (*Elymus elongatus* subsp. *ponticus*). Jednotlivé energetické trávy se zde vyskytují ve dvou variantách. Varianta s označením C (control) je bez minerálních hnojiv, na porosty varianty M (mineral) byla aplikována minerální hnojiva (viz. Obr. č. 5).

Obr. č. 5: Plán parcelek



Porosty byly udržovány dle stanovené metodiky. Po dvou měsících od založení porostů (17. 6. 2019) proběhla odplevelovací seč. Dne 2. 7. 2019 byl aplikován na celé pokusné pole herbicid proti dvouděložným plevelům Starane 250 EC (60 ml + 10 l vody) a u energetických trav s označením M bylo aplikováno hnojivo LAV 200 kg LAV/ha (54 kg N/ha), pro jednotlivé parcelky 0,1 kg LAV/5 m². 15. 7. 2019 od sebe byly jednotlivé parcelky mechanicky odděleny (viz. Obr. č. 6).

Obr. č. 6: Růst vegetace a oddělovací kanálky



4.3 Odběr a příprava půdních vzorků

Odběry byly prováděny pomocí pedologické sondážní tyče. Po vyjmutí tyče z půdy byl vzorek rozdělen na dvě části – zvlášť byla uložena zemina z hloubky 0-10 cm a zvlášť z hloubky 10-20 cm. Na každé konkrétní parcelce byly takto proveneny tři vpichy. Zemina z těchto tří vpichů z hloubky 0-10 cm byla smíchána, čímž vznikl jeden homogenní vzorek. Stejný postup byl proveden se zeminou z hloubky 10-20 cm. Z každé parcelky tedy v konečné fázi vznikly dva vzorky určené k následné analýze (jeden z hloubky 0-10 cm, jeden z hloubky 10-20 cm). První odběr vzorků byl proveden před založením porostů dne 16. 4. 2019. Další odběry následovaly vždy po dvou měsících (s tolerancí ± 3 dny).

V laboratoři byla půda rozdrobena a následně byly vzorky z jednotlivých parcelek sušeny při 60 °C do konstantní hmotnosti. Po vysušení byla půda zpracována půdním mlýnem a výsledným produktem byla jemnozem 1 (půdní částice menší než 2 mm). Dále byla tato jemnozem pro zvýšení homogenity upravena drcením. Posledním procesem přípravy vzorků bylo síťování, při kterém byly odděleny částice menší než 0,25 mm, které byly využívány v následných analýzách.

4.4 Analýza půdních vzorků na přístroji SKALÁR

4.4.1 Stanovení obsahu organického uhlíku v půdách porostů energetických trav

Cílem bylo stanovit celkový obsah organického uhlíku (TOC = total organic carbon) ve vzorcích půdy pomocí přístroje SKALÁR. Přístroj využívá ke stanovení celkového organického uhlíku spalovací metodou, jde tedy o stanovení obsahu uhlíku suchou cestou. Organický uhlík stanovený „na suché cestě“ se také označuje C_{org} . Přístroj SKALÁR je vybaven dvěma pecemi, které umožní oddělené stanovení celkového uhlíku TC (total carbon) a anorganického uhlíku IC (inorganic carbon). Celkový uhlík je stanoven po katalytické oxidaci vzorku při teplotě 1100 °C, kdy dochází k převodu přítomného uhlíku na CO_2 , který je následně měřen na infračerveném detektoru. Anorganický uhlík je stanoven po okyselení vzorku v IC reaktoru zředěnou kyselinou orthofosforečnou. Obsah organického uhlíku je dán vztahem: $TC - IC = TOC$.

4.4.2 Pracovní postup laboratorních prací

Připravené vzorky půdy byly ve speciálních skleněných kelímcích (pro TOC) nebo skleněných zkumavkách (pro IC) naváženy na analytické váze. Navážka činila 150 mg vzorku upravené půdy. Analýza jednoho vzorku trvala zhruba 15 minut (8 minut TC, 7 minut IC). Měření každého vzorku bylo opakováno třikrát.

4.4.3 Statistické vyhodnocení

Zjištěné výsledky byly statisticky zpracovány v programu STATISTICA 12 (StatSoft Inc.). Pro statistické vyhodnocení výsledků byla využita analýza variace (ANOVA). Vybrané výstupy jsou ve formě tabulek a grafů shrnuty v kapitole Výsledky a diskuse. Z důvodu statistické neprůkaznosti některých výsledků, nebo v důsledku nehomogenity datového souboru nemohl být následně využit Tukeyho test (s výjimkou Tab. č. 5 uvedenou v Přílohách).

5. Výsledky a diskuze

5.1 Obsah celkového organického uhlíku v závislosti na termínu odběru

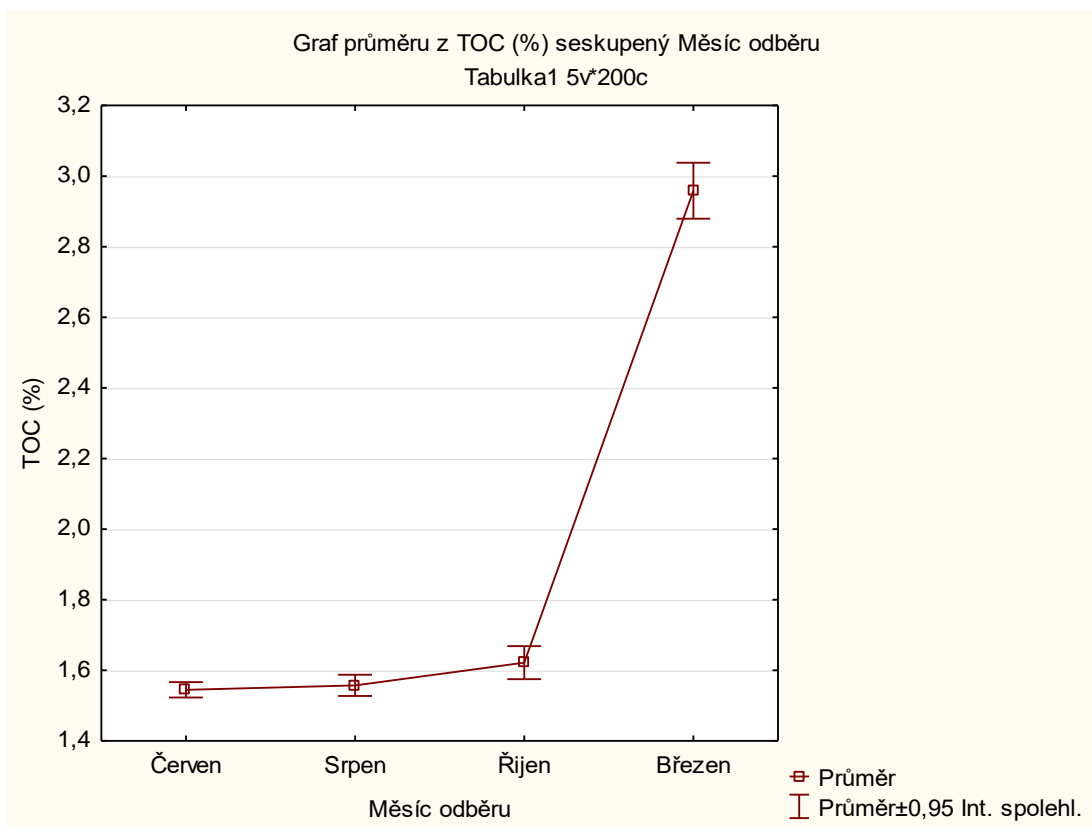
Nejdříve byly statisticky vyhodnoceny hodnoty TOC v závislosti na čase odběru. Hodnoty udávající TOC každé energetické plodiny byly zprůměrovány a byla spočítána směrodatná chyba. Z výsledků můžeme pozorovat trend nárůstu obsahu TOC v závislosti na čase (Tab. 1, Graf 1) (Hypotéza 2). Zjištěné hodnoty vykazují největší nárůst TOC v březnu 2020. Může to být způsobeno tím, že kořenové exsudáty a odumřelá organická hmota nebyla v zimním období činností mikroorganismů mineralizována.

Tab. č. 1: Průměrný obsah TOC v % v závislosti na čase odběru

Č. buňky	Měsíc odběru; Průměry MNČ (Tabulka1) Současný efekt: $F(3, 188)=789,77$, $p=0,0000$ Dekompozice efektivní hypotézy					
	Měsíc odběru	TOC (%) Průměr	TOC (%) Sm.Ch.	TOC (%) -95,00%	TOC (%) +95,00%	N
1	Srpen	1,557292	0,024652	1,508661	1,605922	48
2	Červen	1,544792	0,024652	1,496161	1,593422	48
3	Říjen	1,621667	0,024652	1,573036	1,670297	48
4	Březen	2,958542	0,024652	2,909911	3,007172	48

Podobný výzkum v pseudoglejích v Českých Budějovicích prováděl Skoba (2018), který zkoumal TOC u energetických trav Szarvasi-1 (*Elymus elongatus* subsp. *ponticus*), ozdobnice čínské (*Miscanthus × giganteus*) a chrastice rákosovité (*Phalaris arundinacea*) na jaře 2017. Zjistil tyto hodnoty: Szarvasi-1 – 2,48 %, ozdobnice čínská – 2,43 % a chrastice rákosovitá – 2,44 %.

Graf č. 1: Průměrný obsah TOC v % v závislosti na čase odběru



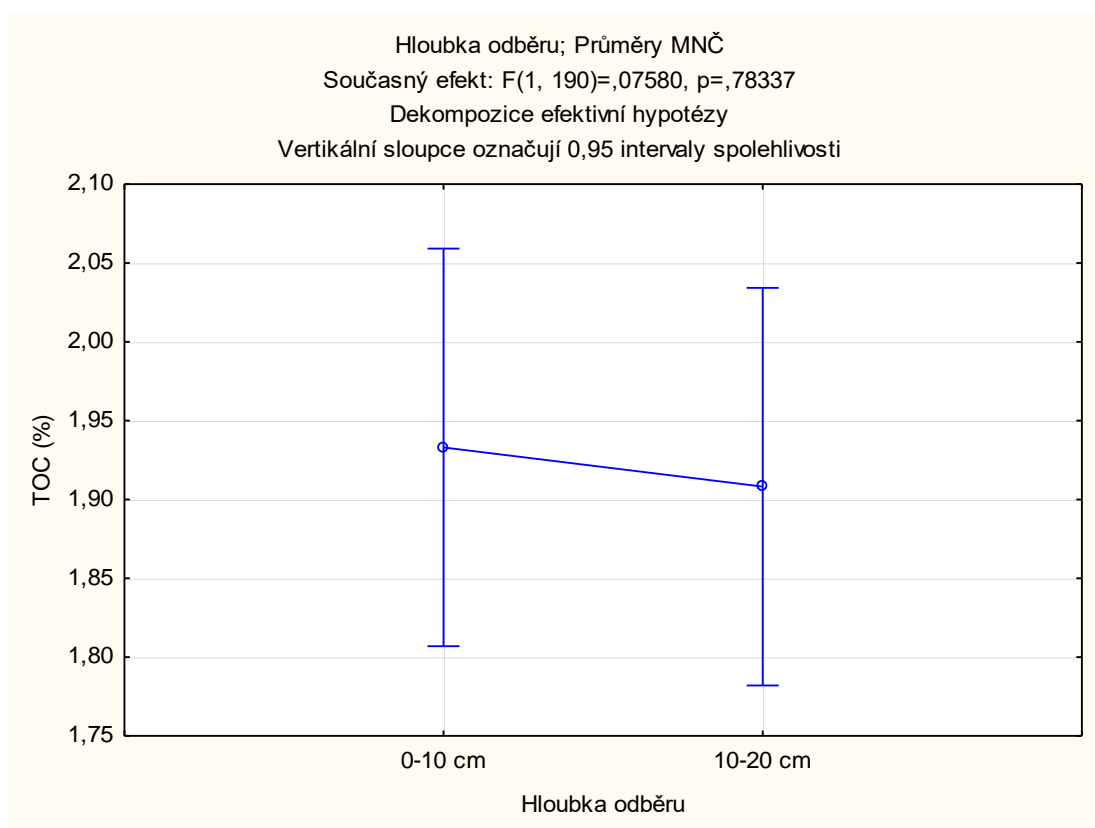
5.2 Vliv hloubky odběru na obsah celkového organického uhlíku

Vzorky se odebíraly ze dvou hloubek (0-10 a 10-20 cm). Bylo zjištěno, že v hloubce 0-10 cm bylo v průměru větší zastoupení TOC (Tab. 2, Graf 2). Větší zastoupení v této hladině odběru může být způsobeno větším množstvím organismů, které se vyskytují převážně kolem kořenového systému energetických plodin (Hypotéza 1). Hodnoty jsou však vyšší jen nepatrně a rozdíly nejsou statisticky průkazné.

Tab. č. 2: Průměrný obsah TOC v % v závislosti na hloubce odběru

Č. buňky	Hloubka odběru; Průměry MNČ (Tabulka1) Současný efekt: $F(1, 190)=,07580, p=,78337$ Dekompozice efektivní hypotézy					N
	Hloubka odběru	TOC (%) Průměr	TOC (%) Sm.Ch.	TOC (%) -95,00%	TOC (%) +95,00%	
1	0-10 cm	1,933021	0,063940	1,806898	2,059143	96
2	10-20 cm	1,908125	0,063940	1,782002	2,034248	96

Graf č. 2: Průměrný obsah TOC v % v závislosti na hloubce odběru



Obsahu organického uhlíku v půdě se věnuje Kubát a kol. (2008). Podle něj se v orných půdách v ČR vyskytuje organický uhlík v množství od 0,60 % do 3,25 %. Pro pseudogleje uvádí v hloubce 0-20 cm rozsah 1,4-2,3 % TOC (medián 1,56 %). Na námi zkoumané lokalitě je obsah organického uhlíku spíše menší. Dle Zaujece a kol. (2009) je obsah TOC nižší než jedno procento považovaný jako velmi nízký a více, jak 6 %, jako obsah vysoký.

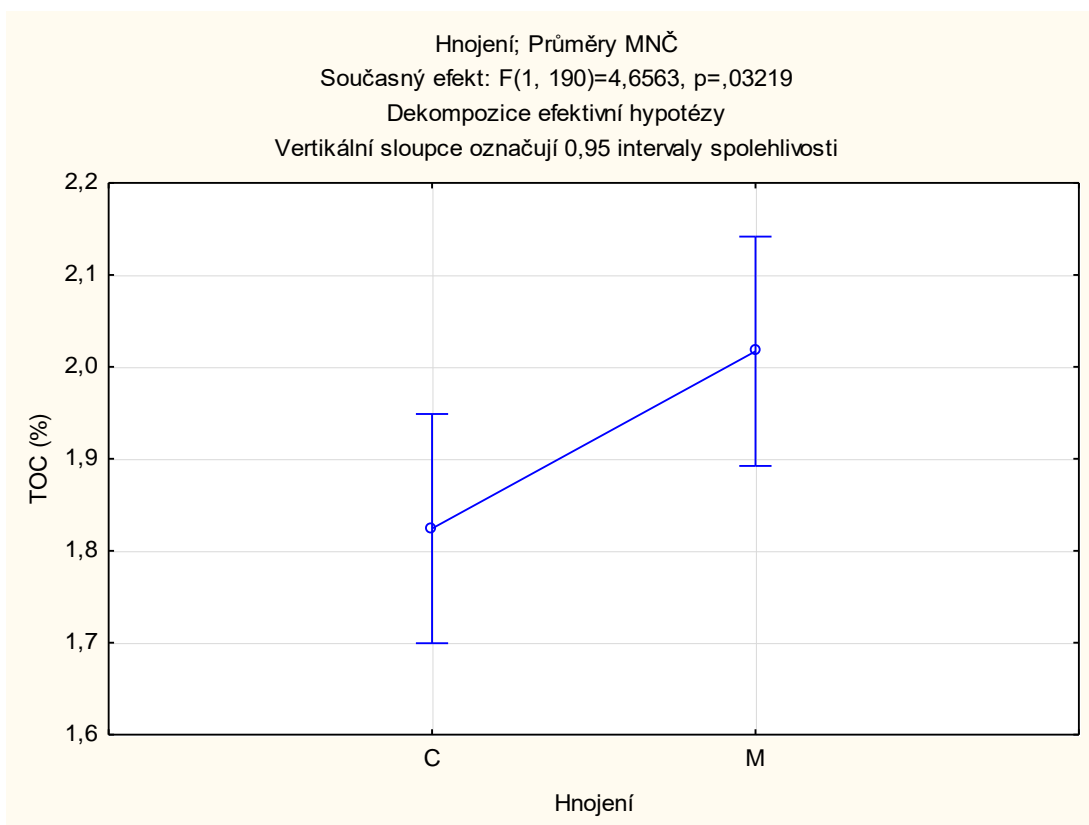
5.3 Vliv hnojení na obsah celkového organického uhlíku

Na pokusném pozemku byly založeny dvě varianty od každé z energetických rostlin. Jednalo se o nehnojenou variantu s označením C (Control) a hnojenou variantu s označením M (Mineral). Obsahy TOC můžeme pozorovat v Tab. 3 a Grafu 3. Z výsledků vyplývá, že hnojená varianta M má větší zastoupení TOC. Ačkoli se rozdíly jeví jako poměrně výrazné, statisticky významný rozdíl nebyl nalezen.

Tab. č. 3: Průměrný obsah TOC v % v závislosti na hnojení

Č. buňky	Hnojení; Průměry MNČ (Tabulka 1) Současný efekt: $F(1, 190)=4,6563$, $p=,03219$ Dekompozice efektivní hypotézy					
	Hnojení	TOC (%) Průměr	TOC (%) Sm.Ch.	TOC (%) -95,00%	TOC (%) +95,00%	N
1	C	1,824167	0,063183	1,699537	1,948797	96
2	M	2,016979	0,063183	1,892349	2,141609	96

Graf č. 3: Průměrný obsah TOC v % v závislosti na hnojení



Graf poukazuje na nárůst TOC v závislosti na hnojení. Nehnojená varianta s označením C vykazuje menší hodnoty organického uhlíku, než hnojená varianta s označením M. V důsledku hnojení může být kořenový systém rozvinutější a

kořenová rhizosféra aktivnější, to přispívá k většímu oživení půdy o organický uhlík. V literatuře poukazuje Heinze a kol. (2010) na úbytek mikrobiální biomasy a změny složení mikrobiálních společenstev po aplikaci dusíkatých minerálních hnojiv, jako důvod uvádí celkové snížení pH. V našem pokusu se však tento jev na celkovém obsahu TOC neprojevil.

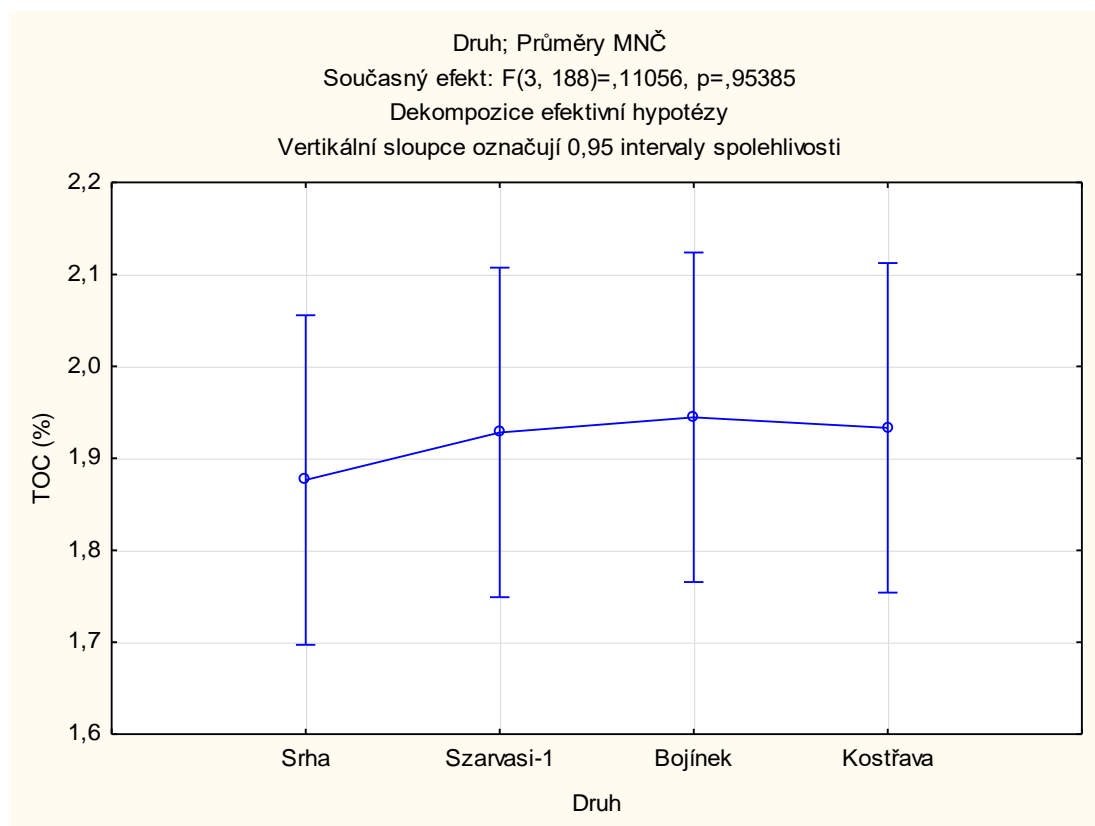
5.4 Vliv rozdílného vegetačního pokryvu na obsah celkového organického uhlíku

Dále byl vyhodnocen vliv jednotlivých druhů energetických trav na obsah TOC v půdních vzorcích. Největší hodnoty vykazoval bojínek luční a kostřava rákosovitá (Tab. 4, Graf 4). Rozdíly mezi jednotlivými druhy byly nicméně malé, statisticky neprůkazné. Nejnižší obsah TOC byl zaznamenán u srhy laločnaté.

Tab. č. 4: Průměrný obsah TOC v % v závislosti na druhu energetických trav

Č. buňky	Druh; Průměry MNČ (Tabulka1) Současný efekt: $F(3, 188)=,11056$, $p=,95385$ Dekompozice efektivní hypotézy					
	Druh	TOC (%) Průměr	TOC (%) Sm.Ch.	TOC (%) -95,00%	TOC (%) +95,00%	N
1	Srha	1,876458	0,090842	1,697258	2,055659	48
2	Szarvasi-1	1,928125	0,090842	1,748924	2,107326	48
3	Bojínek	1,944583	0,090842	1,765383	2,123784	48
4	Kostřava	1,933125	0,090842	1,753924	2,112326	48

Graf č. 4: Průměrný obsah TOC v % v závislosti na druhu energetických trav



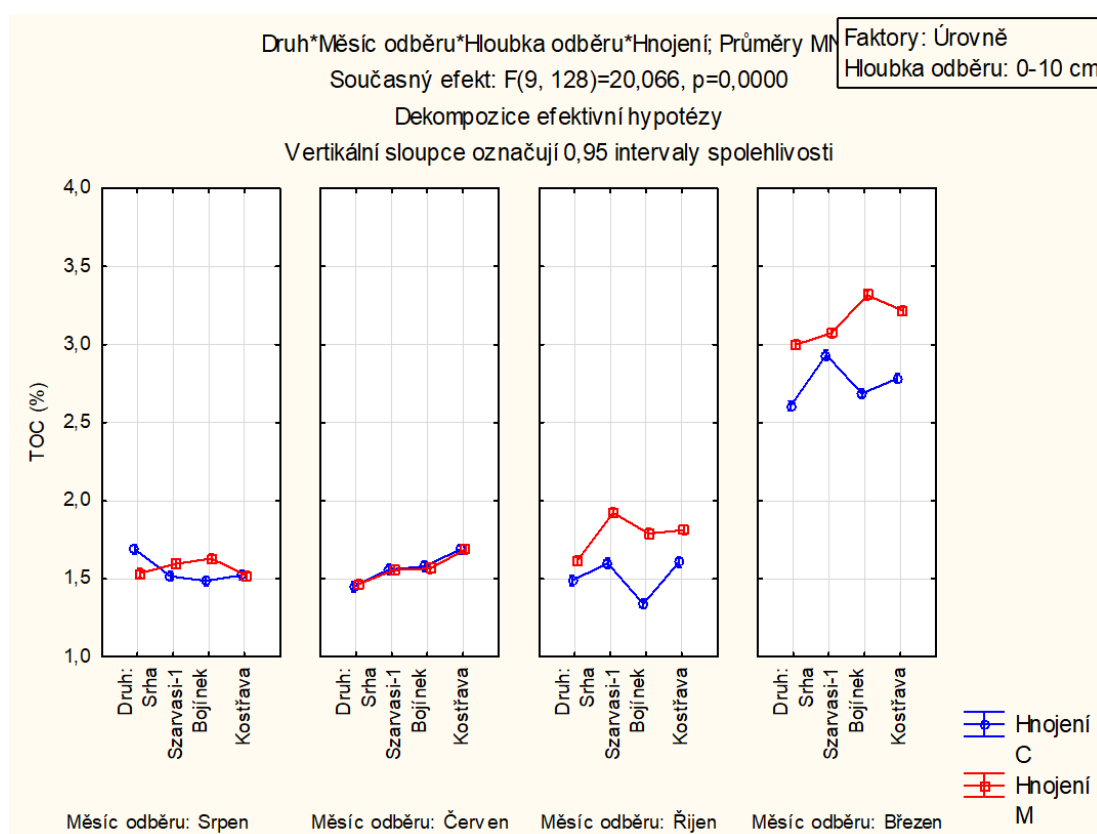
Skoba (2018) ve svém výzkumu zjistil hodnoty TOC u Szarvasi-1 – 2,48 %, Ozdobnice obrovské – 2,43 % a Chrastice rákosovité – 2,44 %. V porovnání s mým

výzkumem u Szarvasi-1 jsem naměřil nižší průměrné hodnoty TOC a to 1,92 %. Tento pokles lze zdůvodnit poměrně suchým létem, kdy rostlina nestačila vytvořit hustou kořenovou soustavu. V mém případě byly porosty Szarvasi-1 řídké a málo trsnaté.

5.5 Interakce sledovaných faktorů na obsah celkového organického uhlíku

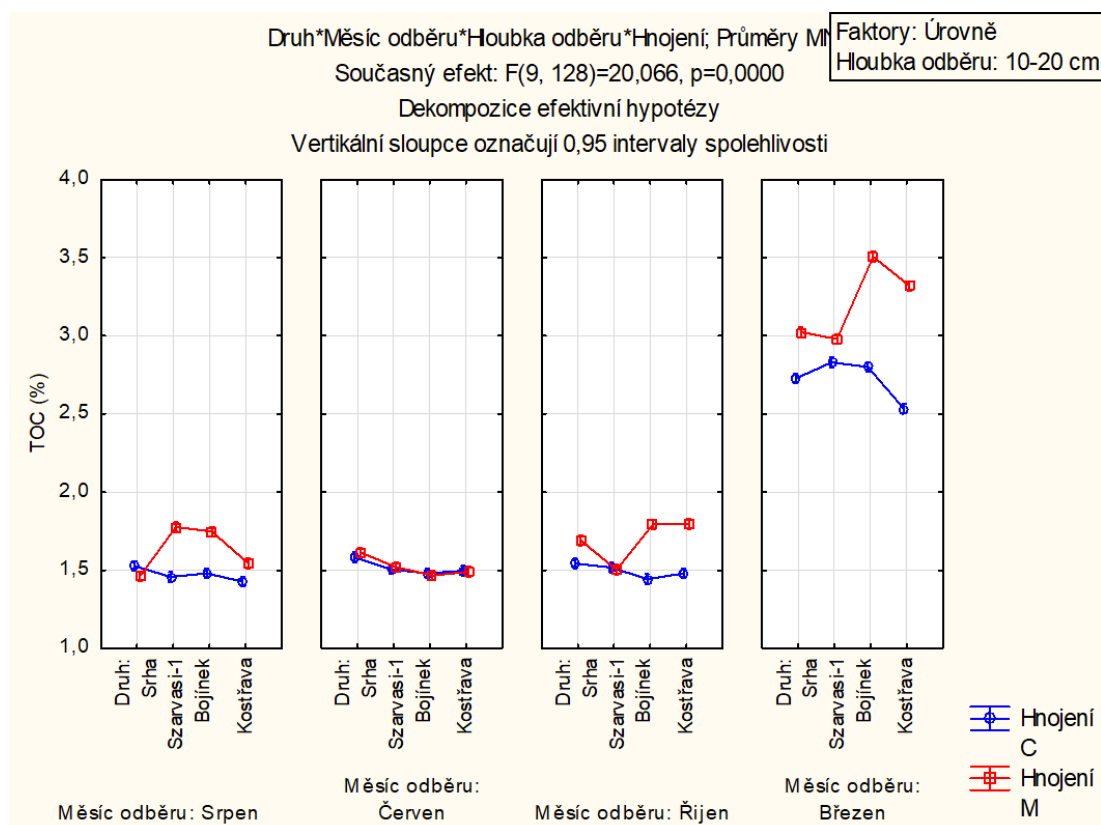
V následujících dvou grafech je přehledně znázorněn vliv všech sledovaných faktorů na množství celkového organického uhlíku v půdě. Graf č. 5 znázorňuje hodnoty TOC, které byly naměřeny ve vzorcích odebraných z hloubky 0-10 cm. Z grafu můžeme pozorovat nárůst hodnot TOC, kdy první odběr byl proveden v červnu 2019 a poslední v březnu 2020. Břežnové hodnoty vykazují značný nárůst, a to převážně u hnojené varianty.

Graf č. 5: Obsah celkového organického uhlíku v hloubce 0-10 cm



Hodnoty naměřené ve vzorcích, které byly odebrány z hloubky 10-20 cm jsou znázorněny v Grafu č. 6. Z grafu je patrný rozdíl množství celkového organického uhlíku v půdě v delším časovém úseku. Při porovnání červnových hodnot (2019), které vykazují stejné obsahy organického uhlíku u obou variant, s měsícem březnem (2020), byl zřetelný nárůst TOC, a to zejména u hnojené varianty. Břežnové hodnoty vykazují dvojnásobný obsah TOC oproti hodnotám z prvního měření v červnu.

Graf č. 6: Obsah celkového organického uhlíku v hloubce 0-20 cm



Na množství celkového organického uhlíku v půdě má vliv hned několik faktorů. K nejdůležitějším faktorům patří základní půdotvorné činitele, mezi které řadíme mateční horninu, klima, biologické faktory, reliéf a čas (Pospíšilová a Tesařová, 2009). V našem případě se pokusné pole nachází v půdním typu pseudogleje, které podléhají procesu zvaný oglejení. Tyto půdy se vyznačují dlouhodobým periodickým převlhčováním a vysušováním půdního profilu. Mají zvýšené zastoupení amorfního oxidu železnatého a vyšší obsah jílu (Jandák, 2003). Vzhledem k vyššímu zastoupení jílu se snižuje průsak vody, což má za následek střídání oxidačních a redukčních pochodů ve svrchních částech profilu. V důsledku nepříznivého vodního režimu jsou tyto půdy méně úrodné a využívají se především pro trvalé travní porosty (Tomášek, 2007).

Dalším podstatným faktorem, který ovlivňuje zastoupení TOC v půdě je biologický faktor. Současně proti sobě působí zvýšení obsahu půdní organické hmoty (organického uhlíku) vlivem nárůstu množství kořenové hmoty včetně jejich exsudátů, nárůstu objemu vyšších živočichů i půdního mikroedafonu a rozklad organické hmoty v důsledku mineralizace (Kolář a kol., 2014).

6. Závěr

Práce byla zaměřena na sledování obsahu organického uhlíku v půdách porostů energetických rostlin (*Dactylis glomerata*, *Elymus elongatus* subsp. *Ponticus*, *Festuca arundinacea*, *Phleum pratense*). Největší průměrné zastoupení TOC v půdě bylo zaznamenáno u rostlin *Phleum pratense* a *Festuca arundinacea*. Rozdíly mezi jednotlivými druhy byly nicméně malé a statisticky neprůkazné. Nejnižší obsah TOC byl zaznamenán u *Dactylis glomerata*.

Získaná data potvrzují vliv hnojení na celkové zastoupení půdního organického uhlíku v odebraných vzorcích. Hnojené varianty vykazovaly v delším časovém úseku značný nárůst TOC. Největší hodnoty TOC byly naměřeny v odebraných vzorcích z měsíce března 2020, kdy se oproti prvním odběrům, které byly provedeny v červnu 2019 hodnoty zdvojnásobily.

Dalším faktorem, který byl v mém pokusu sledován, byla hloubka odběru. Vzorky byly odebrány ze dvou hloubek (0-10 cm, 10-20 cm). Větší hodnoty TOC byly zaznamenány v hloubce 0-10 cm. Nárůst obsahu organického uhlíku v této hloubce lze zdůvodnit vyšším zastoupením kořenové hmoty v této hloubce. Rozdíly však byly statisticky neprůkazné.

Pro přesnější interpretaci výsledků a vyvození jednoznačných závěrů o vlivu energetických rostlin v odlišných variantách na obsah organického uhlíku v půdě by bylo zapotřebí v daném pokusu pokračovat v dlouhodobém horizontu.

7. Použitá literatura

1. Albrecht, A., & Kandji, S. T. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, ecosystems & environment*, 99(1-3), 15-27.
2. Baldock, J. A., & Nelson, P. N. (2000). Soil Organic Matter. Section B Pages 25–84 in ME Sumner, eds. *Handbook of Soil Science*.
3. Batjes, N. H. (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European journal of soil science*, 47(2), 151-163.
4. Berggren, D., Bergkvist, B., Falkengren-Grerup, U., Folkesson, L., & Tyler, G. (1990). Metal solubility and pathways in acidified forest ecosystems of south Sweden. *Science of the Total Environment*, 96(1-2), 103-114.
5. Bot, A., & Benites, J. (2005). *The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production* (No. 80). Food & Agriculture Org.
6. Davidson, E. A., & Ackerman, I. L. (1993). Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry*, 20(3), 161-193.
7. Duchaufour, R. (2012). *Pedology: pedogenesis and classification*. Springer Science & Business Media.
8. El Bassam, N. (2010). *Handbook of bioenergy crops: a complete reference to species, development and applications*. Washington: Earthscan.
9. Foth, H. D. (1978). Fundamentals of soil science. *Soil Science*, 125(4), 272.
10. Fuksa, P. (2011). *Netradiční využití biomasy v praxi*. Citováno 30. 11. 2019. Biom.cz. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/netradicni-vyuziti-biomasy-v-praxi>.
11. Gauder, M., Billen, N., Zikeli, S., Laub, M., Graeff-Hönninger, S., & Claupein, W. (2016). Soil carbon stocks in different bioenergy cropping systems including subsoil. *Soil and Tillage Research*, 155, 308-317.
12. Gregorich, E. G., Greer, K. J., Anderson, D. W., & Liang, B. C. (1998). Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. *Soil and Tillage Research*, 47(3-4), 291-302.
13. He, N., Yu, Q., Wu, L., Wang, Y., & Han, X. (2008). Carbon and nitrogen store and storage potential as affected by land-use in a *Leymus chinensis* grassland of northern China. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(12), 2952-2959.

14. Heinze S., Raupp J., & Joergensen R.G. (2010). Effects of fertilizer and spatial heterogeneity in soil pH on microbial biomass indices in a long-term field trial of organic agriculture. *Plant Soil* 328: 203-215.
15. Huntington, T. G., Johnson, C. E., Johnson, A. H., Siccama, T. G., & Ryan, D. F. (1989). Carbon, organic matter, and bulk density relationships in a forested spodosol. *Soil Science*, 148(5), 380-386.
16. Jandák, J. (2003). *Cvičení z půdoznalství*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita.
17. Jenny, H. (1994). *Factors of soil formation: a system of quantitative pedology*. Courier Corporation.
18. Kára, J. (2005). *Energetické rostliny: technologie pro pěstování a využití*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky.
19. Klass, D. L. (1998). *Biomass for renewable energy, fuels, and chemicals*. Elsevier.
20. Kolář, L., Kužel, S., Horáček, J., Čechová, V., Borová-Batt, J., & Peterka, J. (2009). Labile fractions of soil organic matter, their quantity and quality. *Plant, Soil and Environment*, 55(6), 245-251.
21. Kolář, L., Moudrý, J., & Kopecký, M. (2014). *Kniha o humusu*. Náměšť nad Oslavou: ZERA – Zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s.
22. Körschens, M., Weigel, A., & Schulz, E. (1998). Turnover of soil organic matter (SOM) and long-term balances-tools for evaluating sustainable productivity of soils. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 161(4), 409-424.
23. Kubát, J., Cerhanová, D., Mikanová, O., & Šimon, T. (2008). *Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách*. VÚRV, vvi Praha–Ruzyně.
24. Ledvina, R., & Horáček, J. (2000). *Agrotechnické požadavky na zemědělské stroje: (část půdoznalství): interní studijní text pro I. ročník bakalářského studia "Zemědělská technika, obchod, servis, služby" (2. vydání)*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta.
25. Lehmann, J., & Kleber, M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580), 60.
26. Malaťák, J., & Vaculík, P. (2008). *Biomasa pro výrobu energie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze.
27. Maltby, E., & Immirzi, P. (1993). Carbon dynamics in peatlands and other wetland soils regional and global perspectives. *Chemosphere*, 27(6), 999-1023.

28. Němeček, J., Smolíková, L., & Kutílek, M. (1990). *Pedologie a paleopedologie: celostátní vysokoškolská příručka pro stud. přírodověd. fak., skupiny stud. oborů geologické vědy*. Praha: Academia.
29. Noskovič, P., Juchelková, D., & Čech, B. (1996). *Biomasa a její energetické využití*. Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava.
30. Ochodek, T., Koloničný, J., & Janásek, P. (2006). *Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy: studie v rámci projektu Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy*. Ostrava: Vysoká škola báňská-Technická univerzita.
31. Petříková, V., & Weger, J. (2015). *Pěstování rostlin pro energetické a technické využití: biomasa, bioplyn, krmiva*. Praha: Profi Press.
32. Petříková, V., Sladký, V., Stražil, Z., Šafařík, M., Ust'ak, S., & Váňa, J. (2006). *Energetické plodiny*. Praha: Profi Press.
33. Petříková, V., Váňa, J., & Ustjak, S. (1996). *Pěstování a využití technických a energetických plodin na rekultivovaných pozemcích*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací.
34. Pospíšilová, L., & Tesařová, M. (2009). *Organický uhlík obhospodařovaných půd: Organic carbon in arable soils: původní vědecká práce*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.
35. Prentice, I. C., Farquhar, G. D., Fasham, M. J. R., Goulden, M. L., Heimann, M., Jaramillo, V. J., ... & Wallace, D. W. (2001). *The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide*. Cambridge University Press.
36. Quaschnig, V. (2010). *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada.
37. Rawlins, B. G., Henrys, P., Breward, N., Robinson, D. A., Keith, A. M., & Garcia-Bajo, M. (2011). The importance of inorganic carbon in soil carbon databases and stock estimates: a case study from England. *Soil Use and Management*, 27(3), 312-320.
38. Sánka, M., & Materna, J. (2004). *Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR*. Praha: Ministerstvo životního prostředí.
39. Scialabba, N., & Hattam, C. (Eds.). (2002). *Organic agriculture, environment and food security* (No. 4). Food & Agriculture Org.
40. Scheer, H. (2012). *Energy autonomy: the economic, social and technological case for renewable energy*. London: Earthscan.

41. Schlesinger, W. H., & Andrews, J. A. (2000). Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry*, 48(1), 7-20.
42. Skoba, D. (2018). Kvalifikace primární půdní organické hmoty podle rychlostní konstanty oxidace v půdách porostů energetických rostlin (bakalářská práce). *České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta.*
43. Smith, P. (2008). Land use change and soil organic carbon dynamics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 81(2), 169-178.
44. Smolík, L. (1957). *Pedologie*. Praha: SNTL – Státní nakladatelství technické literatury
45. Stevenson, F. J. (1994). *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. John Wiley & Sons.
46. Strašil, Z. (2009). *Základy pěstování a možnosti využití ozdobnice (Miscanthus)*. Výzkumný ústav rostlinné výroby.
47. Šarapatka, B. (2014). *Pedologie a ochrana půdy*. Univerzita Palackého v Olomouci.
48. Šimek, M. (2003). *Základy nauky o půdě*. České Budějovice: Jihočeská univerzita
49. Šimek, M. (2005). *Základy nauky o půdě* (2., upr a rozš. vyd). České Budějovice: Jihočeská univerzita, Biologická fakulta.
50. Tomášek, M. (2007). *Půdy České republiky* (4. vyd). Praha: Česká geologická služba.
51. Torn, M. S., Trumbore, S. E., Chadwick, O. A., Vitousek, P. M., & Hendricks, D. M. (1997). Mineral control of soil organic carbon storage and turnover. *Nature*, 389(6647), 170.
52. Váchalová, R., Kolář, L., & Muchová, Z. (2016). *Primární organická půdní hmota a humus, dvě složky půdní organické hmoty*. 1. vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita.
53. Valla, M., Kozák, J., & Drbal, J. (1980). *Cvičení z půdoznalectví – II*. Praha, Vysoká škola zemědělská.
54. Vrba, V., & Huleš, L. (2007). *Humus – půda – rostlina (2) Humus a půda*. Citováno 20. 12. 2019. Biom.cz. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>
55. Wang, Y., & Hsieh, Y. P. (2002). Uncertainties and novel prospects in the study of the soil carbon dynamics. *Chemosphere*, 49(8), 791-804.

56. Zaujec, A., Chlpik, J., Nádašský, J., Sszombathová, N., & Tobiášová E., (2009). Pedologia a základy geologie. Nitra: SPU v Nitre., 399 s.
57. Zbíral, J. (2002). *Analýza půd: jednotné pracovní postupy* (Vyd. 2., přeprac. a rozš). Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský.

8. Přílohy

Tab. č. 5: Tukey HSD test

Tukeyův HSD test; proměnná TOC (%) Homogenní skupiny, alfa = ,01000 Chyba: meziskup. PČ = ,00073, sv = 128,00																														
Druh	Měsíc odběru	Hloubka odběru	Hnojení	TOC (%) Průměr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Boj.	10	0-10 cm	C	1,34	****																									
Kost.	08	10-20 cm	C	1,43	****	****																								
Boj.	10	10-20 cm	C	1,44		****	****																							
Srha	06	0-10 cm	C	1,45		****	****	****																						
Sz-1	08	10-20 cm	C	1,46		****	****	****																						
Srha	08	10-20 cm	M	1,46		****	****	****	****																					
Srha	06	0-10 cm	M	1,47		****	****	****	****	****																				
Boj.	06	10-20 cm	M	1,47		****	****	****	****	****																				
Boj.	08	10-20 cm	C	1,48		****	****	****	****	****	****																			
Boj.	06	10-20 cm	C	1,48		****	****	****	****	****	****																			
Kost.	10	10-20 cm	C	1,48		****	****	****	****	****	****																			
Boj.	08	0-10 cm	C	1,49		****	****	****	****	****	****	****																		
Srha	10	0-10 cm	C	1,49		****	****	****	****	****	****	****																		
Kost.	06	10-20 cm	M	1,49		****	****	****	****	****	****	****																		
Kost.	06	10-20 cm	C	1,50		****	****	****	****	****	****	****																		
Sz-1	10	10-20 cm	M	1,50		****	****	****	****	****	****	****	****																	

Sz-1	06	10-20 cm	C	1,51		****	****	****	****	****	****	****																	
Sz-1	08	0-10 cm	C	1,52		****	****	****	****	****	****	****	****																
Sz-1	10	10-20 cm	C	1,52		****	****	****	****	****	****	****	****																
Sz-1	06	10-20 cm	M	1,52		****	****	****	****	****	****	****	****																
Kost.	08	0-10 cm	M	1,52		****	****	****	****	****	****	****	****																
Kost.	08	0-10 cm	C	1,52		****	****	****	****	****	****	****	****																
Srha	08	10-20 cm	C	1,53			****	****	****	****	****	****	****																
Srha	08	0-10 cm	M	1,54			****	****	****	****	****	****	****																
Kost.	08	10-20 cm	M	1,54				****	****	****	****	****	****	****															
Srha	10	10-20 cm	C	1,54				****	****	****	****	****	****	****															
Sz-1	06	0-10 cm	M	1,56					****	****	****	****	****	****															
Sz-1	06	0-10 cm	C	1,56						****	****	****	****	****	****														
Boj.	06	0-10 cm	M	1,57							****	****	****	****	****														
Boj.	06	0-10 cm	C	1,58								****	****	****	****	****													
Srha	06	10-20 cm	C	1,58									****	****	****	****	****												
Sz-1	08	0-10 cm	M	1,60										****	****	****	****	****											
Sz-1	10	0-10 cm	C	1,60											****	****	****	****	****										
Kost.	10	0-10 cm	C	1,61												****	****	****	****	****									

Srha	06	10-20 cm	M	1,61																				****	****	****	****														
Srha	10	0-10 cm	M	1,62																																					
Boj.	08	0-10 cm	M	1,63																																					
Kost.	06	0-10 cm	M	1,69																																					
Kost.	06	0-10 cm	C	1,69																																					
Srha	08	0-10 cm	C	1,69																																					
Srha	10	10-20 cm	M	1,69																																					
Boj.	08	10-20 cm	M	1,75																																					
Sz-1	08	10-20 cm	M	1,78																																					
Boj.	10	0-10 cm	M	1,79																																					
Boj.	10	10-20 cm	M	1,79																																					
Kost.	10	10-20 cm	M	1,80																																					
Kost.	10	0-10 cm	M	1,81																																					
Sz-1	10	0-10 cm	M	1,92																																					
Kost.	03	10-20 cm	C	2,53																																					
Srha	03	0-10 cm	C	2,61																																					
Boj.	03	0-10 cm	C	2,69																																					
Srha	03	10-20 cm	C	2,73																																					

Kost.	03	0-10 cm	C	2,78																																						
Boj.	03	10-20 cm	C	2,80																																						
Sz-1	03	10-20 cm	C	2,83																																						
Sz-1	03	0-10 cm	C	2,93																																						
Sz-1	03	10-20 cm	M	2,98																																						
Srha	03	0-10 cm	M	3,00																																						
Srha	03	10-20 cm	M	3,02																																						
Sz-1	03	0-10 cm	M	3,07																																						
Kost.	03	0-10 cm	M	3,22																																						
Boj.	03	0-10 cm	M	3,32																																						
Kost.	03	10-20 cm	M	3,32																																						
Boj.	03	10-20 cm	M	3,51																																						