

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Katedra agroekosystémů

Studijní program: N4101-Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Agroekologie

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

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Kvalita nezhumifikované půdní organické hmoty v půdách
porostu rostliny *Miscanthus × giganteus***

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

Autor bakalářské práce: Bc. David Skoba

České Budějovice, 2020

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Zemědělská fakulta

Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. David SKOBA
Osobní číslo: Z18020
Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství
Studijní obor: Agroekologie – Péče o krajinu
Téma práce: Kvalita nezhumifikované půdní organické hmoty v půdách porostu rostliny *Miscanthus x giganteus*
Zadávací katedra: Katedra agroekosystémů

Zásady pro vypracování

Cíle práce: Posouzení a srovnání kvality nezhumifikované půdní organické hmoty v různých hloubkách půdy porostu *Miscanthus x giganteus*

Práce bude obsahovat následující kapitoly:

1. Úvod – úvod do problematiky (doporučený rozsah 1 strana, bez citací).
2. Literární přehled – energetické využití *Miscanthus x giganteus*, rozdělení a význam půdní organické hmoty, metody stanovení její kvality a množství (rozsah cca 50% textové části DP).
3. Cíle práce a pracovní hypotézy (doporučený rozsah 1 strana).
4. Metodický postup – pravidelný odběr půdních vzorků, jejich zpracování a analýza. Kvalita nezhumifikované půdní organické hmoty bude vyjádřena rychlostní konstantou její oxidace (princip laboratorní analýzy bude vycházet z metodiky popsané autory Kopecký a kol., 2016).
5. Výsledky a diskuse – zpracování a statistické vyhodnocení získaných výsledků, srovnání získaných dat s literárními údaji formou diskuse (rozsah cca 50% textové části DP).
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: 40-60 stran včetně příloh
Rozsah grafických prací: dle potřeby (tabulky, grafy, fotografická příloha)
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam doporučené literatury:

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. Náměšt nad Oslavou: ZERA.*

Kopecký, M., Kolář, L., & Borová-Batt, J. (2016). The new method of determination of the quantity and quality of primary soil organic matter and humus. In *Proceedings from International Conference Soil – the non-renewable environmental resource*, 7.-9. září 2015 (pp. 135-142). Brno: Mendelova univerzita v Brně.

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

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

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

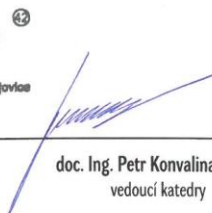
V Českých Budějovicích dne 11. března 2019



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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentůvák 1868, 370 05 České Budějovice

L.S.



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

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 20. 6. 2020

.....

Bc. David Skoba

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Markovi Kopeckému Ph.D., za odborné a metodické vedení, ochotu a vstřícnost při zpracování mé diplomové práce.

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na pozorování výnosových parametrů rostliny *Miscanthus × giganteus* a na sledování a porovnání obsahu půdní organické hmoty pod tímto porostem ve dvou variantách (Sečená, Nesečená) a na přilehlém úhoru (kontrolní varianta – varianta Úhor). Pokusy probíhaly na experimentální lokalitě Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, kde byl porost této rostliny již před několika lety založen a probíhají na něm každoročně pokusy zaměřené na pozorování výnosnosti této rostliny. Práce v terénu spočívala v odběrech fytomasy a sledování výnosů sledované rostliny. Dále byly z jednotlivých variant managementu odebírány půdní vzorky pro následnou analýzu. V laboratoři bylo sledováno množství a kvalita půdní organické hmoty.

Výnos suché hmoty v Nesečené variantě přesáhl $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Dále bylo zjištěno, že termín odběrů půdních vzorků měl vliv na množství organické hmoty v půdě. V letních měsících (červenec a srpen 2019) byl zaznamenán vyšší obsah uhlíku primární půdní organické hmoty, uhlíku stabilních frakcí půdní organické hmoty i celkového organického uhlíku. Obsah uhlíku stabilních organických frakcí je ovlivňován různým managementem. Zatímco nejvyšší byl u varianty Úhor, nejmenší obsah byl u Sečené varianty, rozdíl mezi těmito dvěma variantami byl statisticky významný. Obsah celkového organického uhlíku byl nejvyšší v srpnu roku 2019, kdy dosahoval hodnoty 3,1 %.

Klíčová slova: humus, primární půdní organická hmota, výnos

Abstract

The diploma thesis is focused on observing the yield parameters of the plant *Miscanthus × giganteus* and on monitoring and comparing the content of soil organic matter under this stand in two variants (Cut, Uncut) and the adjacent fallow (control variant - Fallow variant). The experiments took place at the experimental site of the Faculty of Agriculture of the University of South Bohemia in České Budějovice, where the growth of this plant was established several years ago and experiments are carried out every year aimed at observing the yield of this plant. Field work consisted of taking phytomass and monitoring the yields of the monitored plant. Furthermore, soil samples were taken from individual management variants for subsequent analysis. The quantity and quality of soil organic matter was monitored in the laboratory.

The yield of dry matter in the Uncut variant exceeded $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Furthermore, it was found that the date of soil sampling had an effect on the amount of organic matter in the soil. In the summer months (July and August 2019) a higher content of carbon of primary soil organic matter, carbon of stable fractions of soil organic matter and total organic carbon was recorded. The carbon content of stable organic fractions is influenced by different management. While the highest was in the Fallow variant, the lowest content was in the Cut variant, the difference between the two variants was statistically significant. The content of total organic carbon was the highest in August 2019, when it reached 3.1%.

Keywords: humus, primary soil organic matter, yield

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Literární rešerše	11
2.1 Energetika.....	11
2.1.1 Fosilní paliva.....	11
2.1.2 Obnovitelné zdroje energie	12
2.1.3 Biomasa.....	13
2.2 Ozdobnice čínská (<i>Miscanthus × giganteus</i>).....	15
2.3 Půda a její degradace	17
2.4 Půdní organická hmota	18
2.4.1 Složky půdní organické hmoty	18
2.4.2 Dělení půdní organické hmoty a humusu	19
2.4.3 Primární půdní organická hmota (PPOH).....	20
2.4.3.1 Mineralizace	20
2.4.4 Humus	21
2.4.4.1 Humifikace	21
2.4.4.2 Huminové kyseliny (HK)	21
2.4.4.3 Fulvokyseliny (FK)	22
2.4.4.4 Huminy (H)	22
2.4.5 Hodnocení kvality a množství půdní organické hmoty	22
2.4.6 Modifikovaná metoda hodnocení množství a kvality organické hmoty 23	
3. Cíle a hypotézy	24
4. Materiál a metodika	25
4.1 Analýza půdních vzorků.....	27
4.1.1 Odběr a příprava vzorků.....	27
4.1.2 Stanovení kvality primární půdní organické hmoty.....	27
4.1.2.1 Návod laboratorních prací	27
4.2 Statistické zpracování dat	29

5.	Výsledky a diskuze	30
5.1	Výnosy rostliny <i>Miscanthus × giganteus</i>	30
5.2	Půdní organická hmota	32
5.2.1	Obsah celkového organického uhlíku (TOC)	32
5.2.1	Obsah stabilních frakcí půdní organické hmoty (C _{SOF})	34
5.2.2	Primární půdní organická hmota (PPOH).....	37
5.2.1.1	Obsah primární půdní organické hmoty	37
5.2.1.2	Kvalita PPOH	40
6.	Použitá literatura	44
7.	Přílohy.....	53

1. Úvod

Evropská unie stále více apeluje na větší využívání obnovitelných zdrojů, k čemuž se připojila i Česká republika. I proto jsou neobnovitelné zdroje energie stále více nahrazovány zdroji obnovitelnými. Důvody jsou již delší dobu známy. Fosilní paliva velice znečišťují životní prostředí a čeká nás do budoucna jejich vyčerpání. Naopak v případě obnovitelných zdrojů je vyzdvihována jejich „čistota“. V podmínkách České republiky se zdá, že jedním z nejvíce využívaných obnovitelných zdrojů bude biomasa. U pěstování biomasy můžeme využít úrodných půd a pěstovat zde kukuřici, která je ovšem širokořádková a přispívá k půdní erozi a tím pádem ke splachu nejjemnějších částí půdy. Existují ovšem i alternativní rostliny. Využit lze například pěstování *Miscanthus × giganteus*, pro který mohou být zvoleny i půdy méně úrodné. Tato rostlina má v porovnání s kukuřicí celkově nižší požadavky na agrotechnické zásahy v průběhu vegetace.

Diplomová práce je zaměřena na sledování obsahu a kvality nezhumifikované složky půdní organické hmoty. Pokusy probíhaly na porostu *Miscanthus × giganteus*. Část porostu byla sečena a materiál odklizen a část porostu byla ponechána volnému růstu. Jako kontrolní varianta byl zvolen přilehlý kypřený úhor, ze kterého byly odebírány půdní vzorky ve stejných termínech. Jako doplňkový výzkum byly sledovány výnosy porostu pěstované rostliny.

2. Literární rešerše

2.1 Energetika

Průmysl, díky kterému získáváme elektrickou energii a dále jí můžeme distribuovat, se nazývá energetika. Elektrická energie se vyrábí v elektrárnách a má různé zdroje (Cenia, 2013). Voženílek a Lstibůrek (1989) taktéž představuje energetiku jako průmyslové odvětví, které se zabývá získáváním a distribucí elektrické energie a dále přeměnou energie ve všech formách. Uvádí, že hlavní činností energetiky je výroba elektrické energie v elektrárnách a dále její rozvedení. Zmiňuje důležitost těžby uhlí, zemního plynu a ropy nebo těžbu dřeva či využití jaderného paliva. Díky rychlému růstu světové populace se zvyšuje i spotřeba elektrické energie (Schau a Fet, 2008; Ho a Show, 2015), která je v současné době z globálního hlediska velmi nevyrovnaná. Zhruba 80 % světové spotřeby energie je využíváno jen 30 % obyvatel ve vyspělých zemích (Ochodek a kol., 2006). Naopak asi 80 % světové populace žije v zemích s energetickou spotřebou nižší, než je celosvětový průměr (Otčenášek, 2006). Do budoucna je třeba počítat s nárůstem spotřeby elektrické energie i v rozvojových zemích (Ochodek a kol., 2006). Perspektivou do budoucna jsou biopaliva, která se vyrovnají fosilním palivům a leckdy je i předčí. Tyto alternativní paliva se rozdělují na kapalná (bioetanol, bio-olej, atd.), pevná (dřevní pelety, brikety, atd.) a plynná (bioplyn, dřevoplyn, atd.) (Požárová, 2007). V České republice se pro výrobu elektrické energie nejčastěji používá uhlovodíkových paliv - dřevo, uhlí, ropa a zemní plyn. Svě uplatnění zde naleznou i obnovitelné zdroje energie, těmi jsou voda, biomasa, sluneční energie, vítr, bioplyn a jaderné energie ve formě štěpení jádra (Kubín, 1999).

2.1.1 Fosilní paliva

Pro energetiku jsou fosilní paliva významným zdrojem (Sakuragi a kol., 2011). Jermář (2010) uvádí, že 80% vyrobené celosvětové energie je právě z fosilních paliv. Zdrojem těchto paliv, které se ukládaly miliony let, jsou zbytky rostlinných a živočišných těl. Můžeme je charakterizovat jako uhlíkaté organické sloučeniny (Quashing, 2008). Do skupiny fosilních paliv řadíme ropu, zemní plyn a uhlí (Goldemberg, 2007). Nejvíce využívaným fosilním palivem je uhlí, které pokrývá světovou výrobu elektřiny přibližně z 39 % (Libra a Poulek, 2007). Tito autoři dále

píší o jiných zdrojích, mimo jiné o ropě. Její spotřeba také stoupá a to přičítají rychlému rozvoji Číny. K vyčerpání fosilních paliv má dojít v průběhu 21. století (Otčenášek, 2006). Ovšem Libra a Polek (2007) tvrdí, že pro 21. století má být fosilních paliv dostatek. O možnosti vyčerpatelnosti paliv, ale také o znečišťování ovzduší spalováním fosilních paliv píše Moudrý a Stražil (1998). Dle nich se do ovzduší dostává velké množství oxidů síry, dusíku, ale také těžkých kovů. Dále dochází ke zvyšování koncentrace oxidu uhličitého, který přispívá ke zvyšování takzvaného skleníkového efektu. Proto se můžeme snažit o snížení CO₂ z fosilních paliv, ovšem již nemůžeme zvrátit změny klimatu (Lehmann, 2007).

Havlíčková a kol. (2007) píše, že fosilní paliva, jako je například uhlí, je velmi náročné na těžbu jak po fyzické, tak i ekonomické stránce. Dále také dochází k znečišťování složek životního prostředí vlivem rostoucího importu uhlí mezi jednotlivými státy. Tato autorka popisuje i snahu eliminovat rizika antropogenních činností, které vedou ke změně klimatu. Fosilní paliva stále více ubývají, a tak se musí naše snaha ubírat k většímu využívání zdrojů obnovitelných (Bernas a kol., 2014).

2.1.2 Obnovitelné zdroje energie

Obnovitelné zdroje energie (OZE) označujeme jako přírodní zdroje, které můžeme využít okamžitě, a také díky své obnovitelnosti jsou vždy k dispozici (Frydrych a kol., 2002). Ovšem nastává otázka, jak moc můžou obnovitelné zdroje nahradit zdroje neobnovitelné (Malat'ák a Vaculík, 2008). Mezi OZE řadíme především energie solární, větrnou, geotermální, vodní a energii z biomasy (Váňa, 2003). Tyto zdroje všeobecně považujeme za zdroje „čisté“ a trvale udržitelné (Panwar a kol., 2011; Omer, 2012). Moudrý a Stražil (1998) ve své práci uvádějí další charakteristiku obnovitelných zdrojů energie. Uvádí, že hlavním zdrojem přímé i nepřímé obnovitelné energie je Slunce. Dále tyto autoři uvádí, že zdroji obnovitelné energie jsou také energie termálních vod a rekuperovaná energie včetně části energie získávané tepelnými čerpadly.

Nejvíce se OZE rozvíjejí ve vyspělých státech (Bernas a kol., 2015). V podmínkách České republiky je jen velmi nízký potenciál větrných elektráren a také vodních. Větší potenciál může nabídnout sluneční energie, ovšem jen za předpokladu, že jí využijeme s vyšší účinností. V České republice se nejlépe jeví biomasa, její potenciál představuje více než 80 % všech dostupných obnovitelných zdrojů

(Petříková a kol., 2006). Význam biomasy v následujících letech poroste i díky ubývajícím zásobám neobnovitelných zdrojů. Využívání biomasy se také vyznačuje nízkou emisí skleníkových plynů a přispívá tak k trvale udržitelnému rozvoji (Malat'ák a Vaculík., 2008).

2.1.3 Biomasa

Biomasu lze charakterizovat jako substanci biologického původu, do níž zahrnujeme živočišnou i rostlinnou hmotu, která může být přímo produkována, nebo může být i odpadem (Ochodek a kol., 2006), například ze zemědělské činnosti, lesní výroby nebo také z údržby krajiny (Fuksa, 2009). Výhodou biomasy je její obnovitelnost a snadná dostupnost. K jejímu pěstování můžeme využívat zemědělskou půdu, která je nepotřebná k produkci potravin (Noskiewicz, 1996). Koloničný a Hase (2011) uvádí, že v roce 2000 bylo v České republice takovýchto ploch přibližně 523 tisíců hektarů luk a pastvin. Na těchto půdách můžeme pěstovat rostliny speciálně určené pro energetické účely. Plodiny, jež jsou pěstovány za účelem využití v energetice, jsou označovány jako energetické rostliny (Lewandowski a kol., 2003). Důležitým znakem těchto rostlin je jejich produktivita. Ta může být zjednodušeně charakterizována účinností zachycení sluneční energie a její přeměny na nadzemní biomasu rostlin (Dohlemand a Long, 2009). Rostliny přemění zhruba jen 0,5% dopadající energie, tato hodnota je navíc velmi proměnlivá (Sims, 2002).

Plochy pěstovaných energetických rostlin v České republice se neustále zvětšují (Kopecký a kol., 2015). Ovšem musíme podotknout, že potenciál energetických rostlin je velmi ovlivněn nadmořskou výškou a dalšími podmínkami jako jsou klimatické, vodní a půdní (Opršal, 2015). Energetické rostliny jsou charakterizovány jako hustě rostoucí vysoké druhy rostlin. Tyto rostliny by měly mít velkou schopnost snášet nízké teploty a mít nízké nároky na pěstování a poskytovat vysoké výnosy hmoty (Rahman a kol., 2014). Vysoké výnosy vytváří při pěstování kukuřice (Haag a kol., 2015). Tato rostlina je ovšem často negativně vnímána jako rostlina, která zatěžuje životní prostředí a její pěstování podporuje erozi půdy (Vogel a kol., 2016). Naopak kladné posudky získávají vytrvalé trávy, hlavně ty, které pěstujeme na marginálních půdách (Tilman a kol., 2006). Začátek většího využívání těchto trav byl v osmdesátých letech jak v Evropě, tak také v USA (Lewandowski a kol., 2003). Velkou výhodou těchto trav je, že jsou málo náročné na množství živin

(Christian a kol., 1998). U vytrvalých rostlin je, na rozdíl od rostlin jednoletých, nezbytné zpracování půdy pouze jednou, a to v roce založení porostu. Tím se výrazně předchází vodní erozi na orné půdě (Ma a kol., 2000). Petříková a kol. (2006) poukazuje na nevýhody biomasy. Jako hlavní z nich vidí nízkou ekonomickou konkurenceschopnost vůči neobnovitelným palivům a také nejisté výnosy biomasy. Fuksa (2009) upozorňuje na další nevýhody, kterými jsou nízká objemová hmotnost fytomasy a také velké nároky na množství skladovacích prostor. V některých oblastech příznivých pro pěstování rostlin může být biomasa vhodná jako alternativa k fosilním palivům (Kader a kol., 2013).

2.2 Ozdobnice čínská (*Miscanthus × giganteus*)

Ozdobnice čínská, neboli *Miscanthus × giganteus*, je vytrvalá rostlina vysokého vzrůstu. Tato rostlina, pokud má ideální podmínky, dosahuje vysokých výnosů sušiny. Jelikož se jedná o rostlinu typu C4 dokáže dobře využít sluneční energii, živiny a vodu. Většinu rostlin typu C4 velice ohrožují při růstu nepříznivé podmínky, a hlavně nízké teploty (Long a kol., 1994). Při pokusech bylo zjištěno, že při teplotě 12 °C byly listy stejně fotosynteticky aktivní jako při teplotě 25 °C (Long, 1999). Jejím dalším kladem je odolnost vůči škůdcům a chorobám (Petříková a kol., 2006). Tato rostlina je původem z východní Asie. V této destinaci se využívala jako krmná plodina. Taktéž je tato plodina vhodná pro plnění funkce protierozní rostliny. Další autoři se zmiňují o možném využití *Miscanthus × giganteus* pro výrobu papíru, etanolu, či výrobu geotextilie, skleníkových substrátů (Mann a kol., 2013).

Tato rostlina se řadí do třídy jednoděložných rostlin a do čeledi lipnicovitých. Rostlina je velmi podobná našemu rákosu, se kterým se také často snadno zamění (Petříková a kol., 2006). Výškou dosahuje *Miscanthus × giganteus* až 3 metry a má velmi pevná stébla, lata je široká. Listy mohou dosahovat délky jednoho metru, ovšem šířky jen jednoho centimetru. V příznivých letech dokáže na podzim i vykvést, což je ale velmi vzácné. Plné zralosti dosahuje rostlina až v pozdějším věku svého života (Stražil, 2009).

V odborné literatuře se dočteme, že *Miscanthus × giganteus* má větší nároky na prostředí, než na půdu (Koloničný a Hase, 2011). Doporučené půdy pro pěstování jsou humózní půdy s vysokou hladinou podzemní vody, ovšem nevhodné jsou půdy, kde se vyskytuje stojatá voda. Vyšší výnosy lze tedy očekávat v těžkých půdách s dobrou zásobeností půdní vody v dlouhodobém horizontu (Lewandowski a kol., 2003). Taktéž se doporučuje zařadit miskantus na nezaplevelené nebo jen málo zaplevelené půdy (Havlíčková a kol., 2007). Ideální pH půdy pro pěstování je v rozmezí 5,5 - 6,5 pH. Pokud je pH vyšší než 7, dochází k poklesům výnosů (Havlíčková a kol., 2007).

Pěstování ozdobnice se může po delší době projevit zlepšením půdních vlastností. Půdy, na kterých je pěstována tato rostlina, vykazovaly vyšší obsah organického uhlíku přibližně o 0,29 %, také procentuální obsah dusíku byl vyšší o 0,03 %. To vše můžeme přičítat velkému a bohatému kořenovému systému a samozřejmě opadu

(Stražil, 2009). Tento autor se ve svém díle zmiňuje i o celkovém hnojení této rostliny. Je důležité hnojit hlavně dusíkem v prvním roce pěstování dávkou 50 kg na hektar, což sníží riziko vymrzání. Lze dohledat i průměrné dávky hnojení v druhém a dalším roce pěstování. Ty se pohybují v těchto číslech 50-100 kg N, 70 kg K a 40 kg P na hektar (Weger a kol., 2012).

Tato vytrvalá bylina má cenné výhody, mezi které patří především jednoduchá sklizeň, která probíhá od listopadu do dubna v závislosti na klimatických podmínkách a přináší výnosy až 20 tun z hektaru. Za ideálních podmínek může *Miscanthus × giganteus* dosáhnout výnosu i více než 30 t sušiny z hektaru, ovšem v praxi se těchto výnosů nedosahuje (Stražil, 2009). Je známo, že při sklizni po zimě ovšem musíme počítat se ztrátami sušiny, které mohou dosahovat 30-50 %, a proto je sklizeň suché hmoty přibližně 12-18 t/ha (Scurlock, 1999). Taktéž minimální požadavky na hnojiva a pesticidy jsou z hlediska ekonomiky pro pěstitele výhodou.

Kořeny rostliny *Miscanthus × giganteus* dosahují do hloubky až 250 cm. Ve svrchní vrstvě půdy, která sahá do 30 cm, se vyskytuje přibližně 28% kořenové biomasy. Většina kořenové soustavy této rostliny se vyskytuje hlouběji v půdě, přibližně v 90 cm. Živiny obsažené v kořenech jsou s rostoucí hloubkou méně obsažené. Koncentrace N (0,7–1,4%) a K (0,6–1,2%) byly jasně vyšší než koncentrace P (0,06–0,17%). Příjem živin je vyšší z podloží, díky tomu dokáže tato rostlina přečkat období rychlého nárůstu biomasy, kde je dostupnost vody a živin nízká (Scurlock, 1999).

2.3 Půda a její degradace

Základním výrobním faktorem v zemědělství je půda. Ta může být definována jako různorodá směs organických a minerálních látek. Z fyzikální stránky je to trojfázový systém, který zahrnuje tuhou (anorganickou i organickou část), kapalnou (půdní voda s roztokem živin) a plynnou (půdní vzduch) fázi. Dále lze rozlišit dvě složky – neživou a živou. Neživá zahrnuje různé látky anorganického i organického původu, přičemž minerální podíl zpravidla převládá. Druhou složku tvoří živá část půdy, do které patří půdní organizmy (rostlinného i živočišného původu). (Kolář a kol., 2014). Na historický vývoj půdy mají vliv půdotvorní činitelé. Těmi jsou biologické faktory, klima, reliéf a čas (Kratina a kol., 2010). Na to, jak je půda kvalitní a úrodná, má vliv mimo jiné i kvalita a obsah půdní organické hmoty. Složka anorganická tvoří větší část půdy a menším podílem se vyznačuje část organická.

S neustálým růstem populace souvisí i větší využívání a poškozování půd (Šarapatka a kol. 2002). Se zvyšujícími nároky na půdy při hospodaření na ní se rozšiřuje její degradace. Zemědělská plocha ovšem i ubývá v důsledku stavební činnosti (Randolph, 2004). Při degradaci půdy se zásadně snižuje její produkční schopnost, a to se stává čím dál větším problémem. Svou část viny lze přičítat antropogenním vlivům, mezi které patří například nadměrné spásání, nedobře zvolené osevní postupy, nadměrné využívání půdy, odlesňování, či špatné zavlažování. Dalším velkým problémem se jeví i utužování půdy těžkou zemědělskou technikou. Půdu ovšem ohrožuje vodní a větrná eroze, chemická či fyzikální degradace. Při chemické degradaci často dochází ke ztrátě organického uhlíku, či zasolení půdy nadměrným zavlažováním (Jeníček a Foltýn 2010). Při těchto jevech dochází ke snížení úrodnosti půdy (Šarapatka a kol. 2002).

2.4 Půdní organická hmota

Baldock a Nelson (2000) se zbyývají půdní organickou hmotou (POH), která je pro půdní úrodnost nezbytná. Uvádí, že tento termín zahrnuje všechny přírodní a termálně změněné látky biologického původu, které můžeme v půdě najít ve formě živé, neživé nebo odumřelé v jakékoliv fázi rozkladu. O těchto formách se zmiňuje také Vaněk a kol. (2006). Je vyzorováno, že půdy s vyšším obsahem organické hmoty daleko lépe hospodaří s vodou, ale také se tyto půdy dobře zpracovávají a jsou lépe prohřívány díky svému tmavšímu zbarvení (Kolář a kol., 2014). S úbytkem půdní organické hmoty může být půdní funkce narušena. Takové půdy mají horší strukturu a nižší stabilitu půdních agregátů (Darwish a kol., 1995), dále mají horší hydraulickou vodivost i malou schopnost poutat vodu v půdě (Leroy a kol., 2008). U těchto půd pozorujeme i nižší schopnost poutat živiny (Lal a kol., 2007). Obsah POH ovlivňuje i využívání půdy, či systém hospodaření (Kubát a kol., 2008). Kladný vliv na obsah organické hmoty má hnojení organickými hnojivy (Hutchinson a kol., 2007). Toto potvrzují i další autoři (např. Parras-Alcantara a kol., 2015). Organickým hnojením je například zelené hnojení, kompost, hnůj nebo čistírenské kaly (Tejada a Gonzales, 2008). Je nutné vědět, že není důležité jen množství aplikovaného organického hnojiva, ale také kvalita použitého hnojení a podmínky prostředí (von Lützow a kol., 2006). Obecně platí, že nemůžeme očekávat vyšší množství půdní organické hmoty, než stanovují kontrolní mechanismy mezi půdou, klimatem a rostlinami. Příkladem může být vysoký obsah organické hmoty v písčité půdě teplého klimatu, který může být nedostatečný pro půdy v chladném klimatu s jemnou texturou (Kolář a kol., 2014).

Ztráty půdní organické hmoty a tím pádem i půdního uhlíku způsobuje vyplavování vodorozpustných frakcí. Tyto frakce se skládají hlavně z fulvokyselin, rozpustných fenolů či z vodorozpustných látek, které vznikají při rozkladu organické hmoty (Vanhalala a kol., 2008).

2.4.1 Složky půdní organické hmoty

Přehled vybraných skupin organických látek, které se mohou vyskytovat v půdách, uvádí Šarapatka (2014). Přehledně jsou popsány níže:

Jednoduché cukry a organické kyseliny: To jsou látky rozpustné ve vodě, snadno mikrobiálně rozložitelné různými procesy, jako jsou fyzikálněchemické, chemické, či

mikrobiální. Monosacharidy, které vznikají při rozkladu polysacharidů, jsou zdrojem uhlíku a energie pro mikroorganismy.

Pryskyřice, tuky, vosky a třísloviny: Považujeme je za látky snadno rozpustné v organických rozpouštědlech a jen těžko rozložitelné, vůči jednoduchým cukrům a organickým kyselinám.

Celulóza a hemicelulóza: Celulózu považujeme za stavební složku rostlinných buněk. Je snadno rozložitelná mikrobiálně, ovšem jen stěží rozložitelná chemicky. Snadněji rozložitelná je hemicelulóza, kterou snadněji rozloží mikroorganismy, než chemické látky.

Lignin: Ten považujeme za hlavní stavební složku dřeva. Je nejhůře rozložitelný a často tvoří komplexy s celulózou. V anaerobním prostředí je lignin spíše nerozložitelný.

Organické dusíkaté látky: Ty se do půdy dostávají prostřednictvím organického opadu a jsou až z jedné poloviny tvořeny bílkovinami. Druhou polovinu tvoří nukleové kyseliny a nukleoproteiny.

2.4.2 Dělení půdní organické hmoty a humusu

Brady a Weil (2002) uvádějí, že půdní organickou hmotu lze dělit na:

- Pasivní, která je pomalu rozložitelná a stabilní.
- Aktivní, ta je labilní a lehce rozložitelná pomocí půdních mikroorganismů.

Ovšem obě tyto formy se často mezi sebou přeměňují v důsledku činnosti mikroorganismů obsažených v půdě. Stabilní frakce tvoří organominerální komplexy, které obsahují z huminové kyseliny (HK) a huminy. Tato frakce má velmi dlouhý poločas rozkladu. Labilní část tvoří materiál, který obsahuje poměrně nízký poměr C:N a má krátký poločas rozkladu. Do této frakce patří mikrobiální biomasa, labilní organické látky a také polysacharidy (Fisher a Binkley, 2000).

Váchalová a kol. (2016) pak upozorňuje, že velmi často je veškerá POH označována jako humus. Autoři nabádají k důraznému rozlišování dvou skupin, na které lze POH rozdělit. V této práci bude půdní organická hmota rozdělena právě na tyto dvě skupiny. Jedná se o:

- a) Primární půdní organickou hmotu (neživá půdní organická hmota, která neprošla humifikačními procesy).
- b) Humus (organická hmota, která prošla procesem humifikace – fulvokyseliny, huminové kyseliny, huminy).

2.4.3 Primární půdní organická hmota (PPOH)

Zdrojem této hmoty jsou především odumřelé části rostlin a půdních organismů. Primární půdní organická hmota má velký sklon k rozkladným procesům, ale neprochází procesy humifikace (Kopecký a kol., 2016). Tyto procesy jsou uskutečňovány díky enzymům půdních mikroorganismů. Díky chemickým reakcím s vodou ze složitých látek organických vznikají látky jednodušší. Půdní organická hmota může podléhat mineralizaci, která zaleží jak na chemickém složení primární půdní organické hmoty, tak na fyzikálně chemickém stavu (Kolář a kol., 2014).

Významnou funkcí PPOH je, že představuje zdroj energie pro mikroorganismy v půdě. Pro ty je samozřejmě důležitější, aby PPOH byla primárně kvalitní a až sekundárně záleží na jejím množství (Kolář a kol., 2009). Primární půdní organická hmota může být labilní i relativně stabilní. Díky absenci skupiny s disociovatelným vodíkem nemá iontovýměnné vlastnosti. Lze u ní ale nalézt sorpční schopnost (Váchalová a kol., 2016).

2.4.3.1 Mineralizace

Mineralizací se rozumí přeměna látek organických vyskytujících se v půdě na jednoduché minerální sloučeniny, hlavně vodu a oxidy (dusičný, siřičitý, uhličitý). Při tomto procesu se současně uvolňují minerální látky, které jsou vázané na organické sloučeniny (sodík, vápník, draslík apod.). Dále je také uvolňována při mineralizaci energie. Mineralizace probíhá za předpokladu dobrého provzdušnění půdy (dostatečný obsah kyslíku). Taktéž jsou důležité vhodné podmínky, kterými jsou teplota, vlhkost a živiny. Díky těmto podmínkám jsou mikroorganismy v půdě hodně aktivní a prokazují vysoký stupeň činnosti. Ovšem je důležité vědět, že humus se při mineralizaci netvoří (Vrba a Huleš, 2007).

2.4.4 Humus

Pojmem humus se rozumí přeměněná organická hmota, která prošla fází humifikace. Přeměny PPOH na humus jsou z hlediska lidského života dlouhodobým procesem (Kolář a kol., 2009). Pro tyto látky je typická schopnost iontové výměny (Váchalová a kol., 2016). Jsou to složité látky koloidní povahy (Pokorný a Šarapatka, 2003). Humus obsahuje tři složky, kterými jsou huminové kyseliny, fulvokyseliny a huminy (Kolář a kol., 2014).

Půda, která má vyšší obsah humusu má větší odolnost odolávat erozi. Humus má i další kladnou vlastnost, a to jeho schopnost poutat vodu. Další kladnou vlastností je i udržování velikých pórů, které mohou vodu přijímat (Stevensons, 1994). Obsah humusu v půdě je výrazným ukazatelem její úrodnosti (Vašek, 2008). Při nízkém obsahu humusu v půdě můžeme hovořit o závažném problému, který způsobuje degradaci půdy.

2.4.4.1 Humifikace

Jen za předpokladu dosažení optimálních podmínek může nastat proces humifikace, těmito podmínkami se rozumí střídání anaerobních a aerobních procesů (Šarapatka, 2014). Výsledkem tohoto procesu, jak už napovídá jeho název je vznik humusových látek. Tyto látky jsou důležité pro globální koloběh uhlíku (Šarapatka a kol., 2010). Vzniku humusových látek se přikládají dvě teorie. V první se uvažuje o biochemické modifikaci a transformaci organických látek. Druhá pro změnu říká o možnosti syntézy a polykondenzaci odštěpených molekul z rostlinných prekurzorů (Šarapatka, 2014).

2.4.4.2 Huminové kyseliny (HK)

Huminové kyseliny se vyznačují svou rozpustností pouze v zásaditých látkách a nerozpustností v kyselinách, ve kterých se srážejí (Pivokonský a kol., 2010). Mají tmavší barvu, jsou hůře rozkladatelné a patří mezi vysoce molekulární sloučeniny s cyklickou stavbou (Pospíšilová a Tesařová, 2009). O jejich vysoké molekulární hmotnosti píše i (Tan, 2003). Jejich chemické složení uvádí autoři různě, ovšem nejčastěji se objevuje toho složení C: 52–65 %, H: 2–6 %, O: 30–39%, N: 3–5 % (Šarapatka, 2014). Tyto kyseliny se nejčastěji vyskytují v biologicky aktivní půdě, která je bohatá na živiny. Jejich hlavní vlastností je schopnost poutat nerozpustné

oxidy, hydroxidy a kovové ionty a dle potřeb rostlin je uvolňovat do půdy (Skybová, 2006). Tyto kyseliny vytváří koloidní soustavy, které se vyznačují vysokou sorpční schopností a mají výraznou kationovou výměnnou kapacitu. Pokud je nalezneme ve formě soli s různými kationty, označujeme je jako humáty (Šarapatka, 2014).

2.4.4.3 Fulvokyseliny (FK)

Jsou to látky světlé až žluté barvy. Jsou dobře rozpustné v kyselých i alkalických roztocích (Šarapatka, 2014). Tyto látky vznikají v první fázi humifikace (Mikulášková a kol., 1997). Uvádí se, že obsahují až 30 % polysacharidových stavebních prvků (Borovičková, 2005). Jejich výskyt se většinou upíná k půdám kyselým s nízkou biologickou aktivitou (Skybová, 2006). Mají nízkou relativní molekulovou hmotnost, díky které se snadněji pohybují v půdním profilu (Kolář a kol., 2014). Roztok vzniklý rozpuštěním fulvokyselin ve vodě je kyselého charakteru a jeho pH se pohybuje v rozmezí 2,6-2,8. Dle prostředí se jejich poločas rozpadu pohybuje okolo 10 až 50 let (Brady a Weil, 1999).

2.4.4.4 Huminy (H)

Huminy mají jen malou reaktivitu. Vyznačují se vysokým obsahem popela a velkou relativní molekulovou hmotností. Mají malý význam, protože neumí štěpit vodík a tím pádem jsou nerozpustné v jakémkoliv rozpouštědle (Kolář a kol., 2014). Jsou tmavého zbarvení a mikroorganismy je jen stěží rozloží. Setkáváme se i s názorem, že do huminů patří i humusové uhlí, protože je nejstarší složkou půdní hmoty a je v něm vysoký obsah C a N. Ovšem protože humusové uhlí již nehraje žádnou roli v půdotvorném procesu, nemá již funkci pravého humusu (Šarapatka, 2014).

2.4.5 Hodnocení kvality a množství půdní organické hmoty

Dříve se obsah humusu vypočítával násobením obsahu C_{OX} (uhlík stanovený pomocí mokré cesty) faktorem 1,724. K tomuto číslu jsme se dopracovali výpočtem $100:58=1,724$. Základní úvahy k této rovnici byly ovšem nesprávné. Jestliže bereme v úvahu, že huminová kyselina má obsah 58 % uhlíku, kolik % připadá na uhlík obsažený v humusu? Při tomto výpočtu by nám vyšel výsledek 1,27. Toto tvrzení existovalo dříve, protože se znal jen jeden typ huminové kyseliny, který obsahoval právě 58 % uhlíku, což bylo stanoveno při alkalickém výluhu z kompostu, který byl

sražen kyselinou. Dnes je již známo, že neexistuje pouze jedna huminová kyselina, ale je jich mnohačetná skupina. Dřívější chybou byla i domněnka o obsahu veškerého C_{OX} , který měl náležet humusu. Zapomnělo se však na skutečnost, že větší či menší část uhlíku připadá také na primární půdní organickou hmotu. Tou se rozumí nerozložené či rozložené kořenové vlásky, kořeny, kořenové exsudáty, posklizňové zbytky a jiné (Kolář a kol., 2014).

V literatuře se dočteme, že ukazatelem kvality humusových látek je i stupeň humifikace (S_H) (Orlov, 1985). V půdní organické hmotě S_H udává podíl množství uhlíku huminových kyselin a fulvokyselin obsažených ku celkovému organickému uhlíku půdního vzorku, který se vyjadřuje procentuálně.

Jak kvalitní je humus lze vyjádřit dle poměru $C_{HA} : C_{FA}$. Ovšem toto nelze považovat za přesné vyjádření, protože nelze jednoznačně tvrdit, že jen huminové kyseliny hrají v zemědělské produkci významnou pozitivní roli (Kolář a kol., 2014).

Dalším ukazatelem může být barevný kvocient. Ten lze považovat ještě za méně spolehlivý ukazatel kvality. Barevný kvocient znamená poměr absorbancí roztoku humusových kyselin, při daných vlnových délkách, přibližně 450 a 650nm. Tento kvocient lze určovat rovnou z půdy pomocí extrakce humusu z půdy. Ví se, že extrakce dosti mění specifické znaky humusu, a to i nejvíce zásadní vlastnost, kterou je kationová výměnná kapacita (Váchalová a kol., 2016).

2.4.6 Modifikovaná metoda hodnocení množství a kvality organické hmoty

V publikaci autorů Kopecký a kol. (2016) se popsána inovativní metoda hodnocení organické hmoty. Autoři striktně oddělují PPOH od humusu. Dle nich lze sledovat kvalitu PPOH na základě reakční kinetiky (spalovací směs tvoří dichroman draselný v prostředí kyseliny sírové) půdní organické hmoty (úbytku uhlíku) v půdních vzorcích. Lze tak stanovit rychlostní konstantu této reakce, která je mírou kvality primární (nezhumifikované) půdní organické hmoty. Po dokončení oxidace za vyšší teploty je určeno množství PPOH. Zjistí-li se celkový obsah organického uhlíku a od něj odečte množství uhlíku náležejícího PPOH, výsledkem je množství uhlíku, který náleží humusu. Kvalita humusu je pak stanovena prostřednictvím kationové výměnné kapacity.

3. Cíle a hypotézy

Hlavním cílem mé práce byla analýza kvality primární půdní organické hmoty v půdních vzorcích z porostu rostliny *Miscanthus × giganteus* a přilehlého úhoru. Zároveň byl sledován výnos suché hmoty u této rostliny.

Dílčí cíle

- 1) Péče o porost *Miscanthus × giganteus* podle stanovené metodiky, odběr fytomasy ze dvou variant (Sečená, Nesečená) a vyhodnocení výnosu.
- 2) Odběr a úprava půdních vzorků v pravidelných termínech.
- 3) Analýza půdních vzorků podle metodiky publikované kolektivem Kopecký a kol. (2016).
- 4) Zpracování výsledků a porovnání s dostupnými literárními údaji.

Hypotézy

- 1) Vyšší frekvence sečí zpravidla u vytrvalých energetických rostlin zvyšuje výnos, proto se s vyšším počtem sečí budou výnosy fytomasy u porostu *Miscanthus × giganteus* zvyšovat.
- 2) Největší obsah PPOH bude sledován v letních měsících, kdy probíhá fotosyntéza nejintenzivněji a je tedy předpoklad vysoké produkce půdní organické hmoty.

4. Materiál a metodika

Na školním pozemku Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích (Obrázek 1) byl pro výzkum vybrán porost *Miscanthus × giganteus*. Nadmořská výška pozemku je 400 m n. m. Srážkový úhrn je zde ročně přibližně 520 mm. Roční průměrná teplota se pohybuje okolo 8,3 °C. Dle Cassagrandeho metody jsem na pozemku určil písčitohlinitý půdní druh.

Obrázek 1: Pokusná lokalita ZF JU



(Zdroj: Mapy.cz)

Založení a údržba porostu

Porost *Miscanthus × giganteus* byl na školním pozemku založen v roce 2013 na ploše 100 m² v rozponu 1 · 0,5 m. Hnojení probíhalo vždy v březnu (až dubnu, dle počasí) a pro hnojení byl použit ledek amonný s dolomitem v dávce 260 kg · ha⁻¹. Dále superfosfát v dávce 250 kg · ha⁻¹ a draselná sůl v množství 145 kg · ha⁻¹.

Sklizeň fytomasy a stanovení výnosů

Porost *Miscanthus × giganteus*, který se sklízí za účelem spalování je sklizen jen jednou ročně, a to v zimních měsících či brzy z jara, kdy má největší obsah sušiny. Pokud by fytomasa byla sklizena například jako substrát pro bioplynové stanice, sečena by byla mohla být dvakrát v průběhu vegetační sezóny. Diplomová práce

byla sekundárně zaměřena právě i na výnos *Miscanthus × giganteus*. Vzorky fytomasy byly odebírány z plochy 3 × 3 m v termínech (26. 6. a 23. 9. pro variantu Sečené a 10. 3. 2020 pro variantu Nesečené). Odebrané vzorky byly zváženy pro určení hmotnosti biomasy ihned po sklizni. Zjištěné hodnoty byly převedeny na výnosy z plochy jednoho hektaru. Poté byl vzorek usušen a z rozdílů hodnot čerstvého a usušeného vzorku byl určen výnos sušiny z hektaru.

4.1 Analýza půdních vzorků

4.1.1 Odběr a příprava vzorků

Začátkem léta (červen) 2019 jsem začal provádět odběry půdy. Vzorky byly odebírány v pravidelných měsíčních intervalech v průběhu roku 2019 (červen, červenec, srpen, září, říjen) a následně i jedenkrát v březnu 2020. Vždy jsem odebíral z porostu *Miscanthus × giganteus*, a to ve dvou variantách – z varianty Nesečené (sekána pouze jednou ročně po konci zimy) a Sečené (dvě seče v průběhu vegetace) a trvale kypřeného úhoru, který byl udržován vedle porostu miskantu. Vzorky jsem odebíral z půdního profilu do hloubky 25 cm pedologickou sondážní tyčí. Takto odebraná půdy byla nejprve sušena při 60 °C do konstantní hmotnosti, poté deglomerována a proseta sítím s průměrem ok 2 mm. Takto upravenou jemnozemi jsem dále rozetřel v achátové misce a prošel jí sítím, které mělo velikost ok 0,25 mm.

4.1.2 Stanovení kvality primární půdní organické hmoty

Kvalitu primární půdní organické hmoty můžeme určit dle metodiky od autorů Kopecký a kol. (2016). V této metodice je hlavním cílem oddělení hodnocení humusových látek a primární půdní organické hmoty. Kvalita primární půdní organické hmoty je stanovena prostřednictvím rychlostní konstanty oxidace půdní organické hmoty dichromanem draselným v prostředí kyseliny sírové.

4.1.2.1 Návod laboratorních prací

Připravil jsem si pět kádinek a do každé z nich navážil 0,1500 g vzorku předem upravené jemnozemi. Do takto naplněných kádinek jsem přidal 5 ml spalovací směsi dichromanu draselného v prostředí kyseliny sírové ($0,4 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1} \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ve 12 M H_2SO_4). Tuto směs jsem do kádinky s půdním vzorkem přidával pomocí dávkovače, který byl nastaven dopředu na již zmíněných 5 ml. Pomocí krouživých pohybů bylo docíleno dispergace půdního vzorku ve spalovací směsi. Kádinky s označením 1-5 jsem vložil do vodní lázně, která měla teplotu 60 °C. Tyto kádinky s příslušným označením byly vyndávány v intervalech 10, 20, 30, 45 minut. Ihned po vyndání byly vloženy znovu do vodní lázně, ovšem se studenou vodou a zality vychlazenou demineralizovanou vodou, čímž jsem docílil přerušování oxidační reakce. Kádinka s číslem pět byla po 45 minutách přendána do termostatu vyhřátého předem na 100°C

a zde byla ponechána po dobu 30 minut, poté byla také ochlazená demineralizovanou vodou.

Když byly kádinky vychladlé, mohl jsem začít s determinací obsahu C_{ox} , který jsem stanovil pomocí úbytku dichromanu draselného díky titraci roztokem 0,1 mol/l Mohrovy soli $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$. S tímto stanovením mi pomohl automatický titrátor Metler Toledo DL50. Tyto získané hodnoty mi slouží pro zjištění rychlostní konstanty oxidace primární půdní organické hmoty, která byla vypočtena dle vzorců popsaných v metodice Kopecký a kol. (2016). Každý vzorek půdy jsem pro přesnější výsledky analyzoval třikrát.

4.2 Statistické zpracování dat

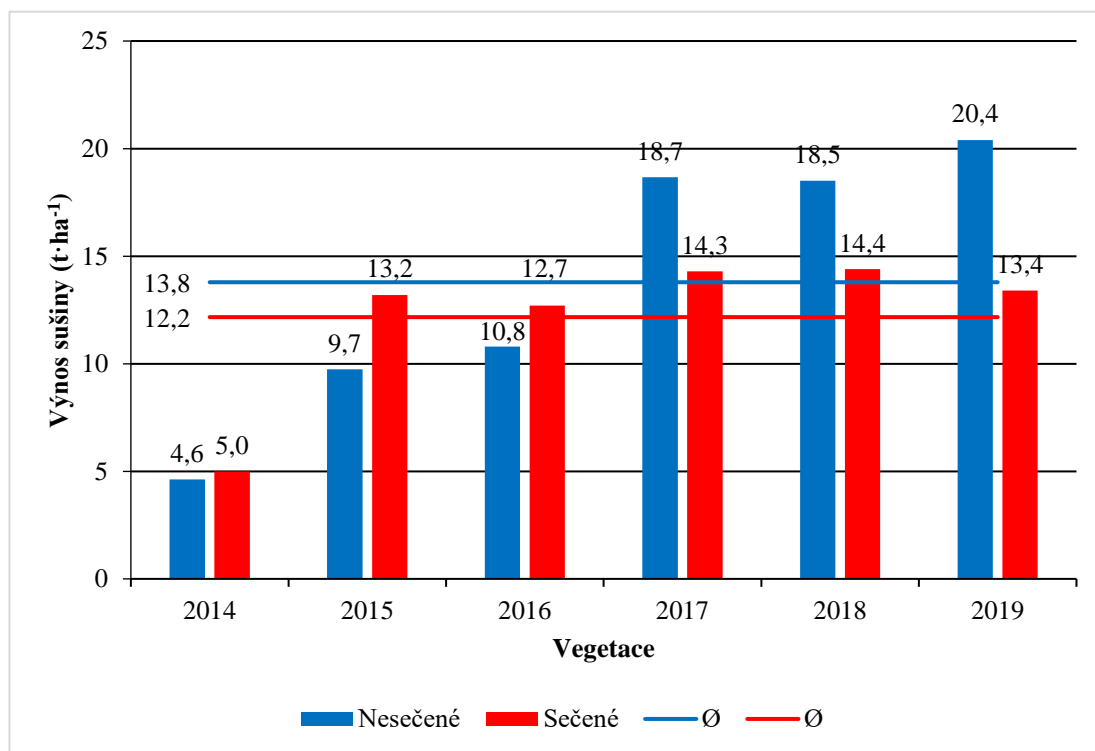
Pro účely statisticky vyhodnotitelných dat byl použit program STATISTICA 12 (StatSoft Inc.). Pro hodnocení dat byla zvolena parametrická metoda ANOVA (dle konkrétních případů jednocestná či vícecestná). Pokud to homogenita dat (Cochranův test, grafy reziduálů) umožňovala, byl následně využit post-hoc HSD Tukeyho test pro porovnání výsledných hodnot.

5. Výsledky a diskuze

5.1 Výnosy rostliny *Miscanthus × giganteus*

Graf číslo 1 popisuje získané hodnoty sušiny z porostu *Miscanthus × giganteus* v letech 2014-2019. Důležité je upozornit, že porost v nesečené variantě byl vždy sklizen až v dalším kalendářním roce (tzn. porost, jehož výnos je označen jako 2019, byl sklizen až v roce 2020). Porost byl založen roce 2013, následný rok poskytl nízké výnosy. V letech 2015 a 2016 byly výnosy zhruba dvojnásobné. V uvedených letech (2014-2016) byl vždy vyšší výnos dosažen u sečené varianty. Od roku 2017 byl, navzdory první hypotéze, zaznamenán opačný trend – vyšší výnosy poskytla varianta nesečená. V posledním sledovaném roce dokonce výnos přesáhl 20 tun sušiny na hektar. Ve stejném roce dosáhl součet obou sečí ve variantě sečené pouze 13,4 tun sušiny na hektar. Na výnosy obou variant má nepochybně vliv jak stáří porostu, tak i průběh počasí. Podle výsledků z posledních let je zjevné, že porost miskantu po seči během vegetace špatně obrůstá a celkový výnos je relativně nízký. Není však vyloučeno, že v případě většího množství srážek během vegetace (roky 2017 a 2019 byly extrémně teplé a suché) by sečený porost intenzivně obrůstal a dosáhl vyšších výnosů.

Graf 1: Výnos sušiny z hektaru za jednotlivé roky vegetace (\pm SE)



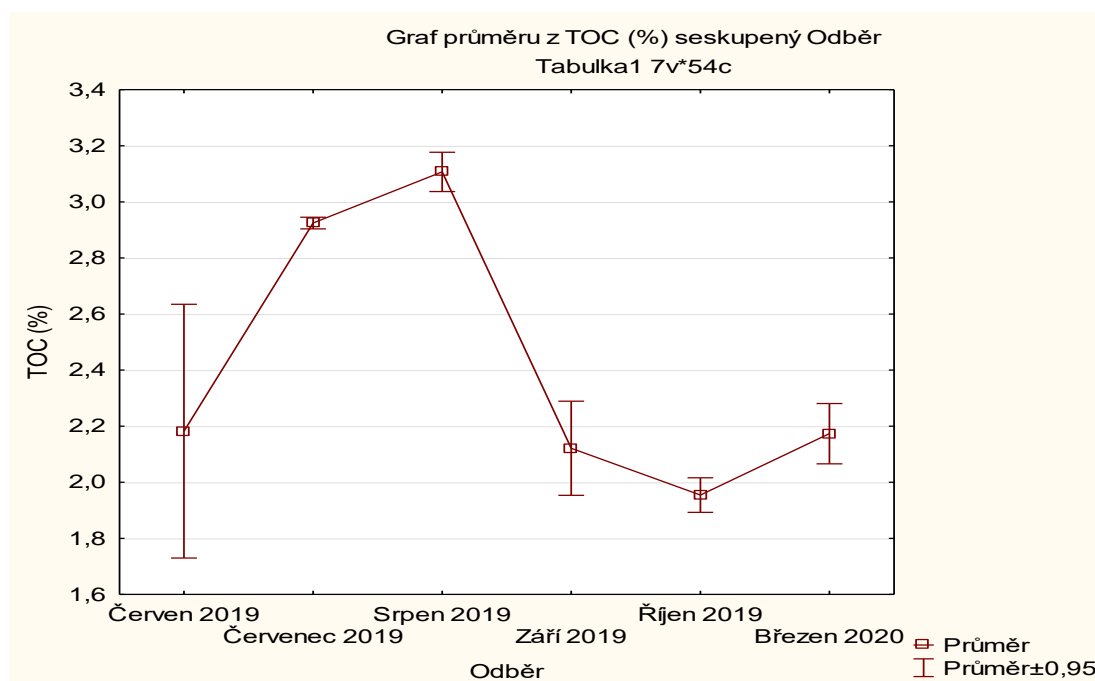
Havlíčková a kol. (2007) uvádí, že porost miskantu by měl již po třetím roce pěstování dosahovat výnosů 20-25 tun sušiny z hektaru a při intenzivním pěstování dokonce až 30 tun. Takto vysokých výnosů v tomto pokusu dosaženo nebylo (s výjimkou poslední sklizně). Za nižšími výnosy oproti údajům v literatuře mohou stát i méně úrodné půdy, které jsou na školním pozemku. Weger a kol. (2012) uvádí, že je dokonce možno dosáhnout výnosů až 59 tun sušiny z hektaru ve středomořských oblastech, ovšem za předpokladu ideálních podmínek a dostatku srážek a dodává, že takových výnosů se obvykle nedosahuje. Scurlock (1999) udává výnosy sušiny z hektaru v rozmezí 12-18 tun, což odpovídá i výnosům z posledních let na experimentální lokalitě.

5.2 Půdní organická hmota

5.2.1 Obsah celkového organického uhlíku (TOC)

V Grafu 2 je znázorněno, jak v půdě stoupal či klesal obsah celkového organického uhlíku v závislosti na čase. Z grafu je patrné, že nejvíce TOC se v půdě nacházelo v teplých měsících – červenci a srpnu. Nárůst obsahu uhlíku patrně souvisel s vyšší tvorbou kořenové hmoty, vylučováním kořenových výměšků, ale také s rozvojem půdního edafonu. Tvorba organické hmoty převládala nad rychlostí mineralizace. V září se již tento trend obrátil, což se projevilo na poklesu hodnot TOC.

Graf 2: Množství TOC (%) v různých termínech odběru



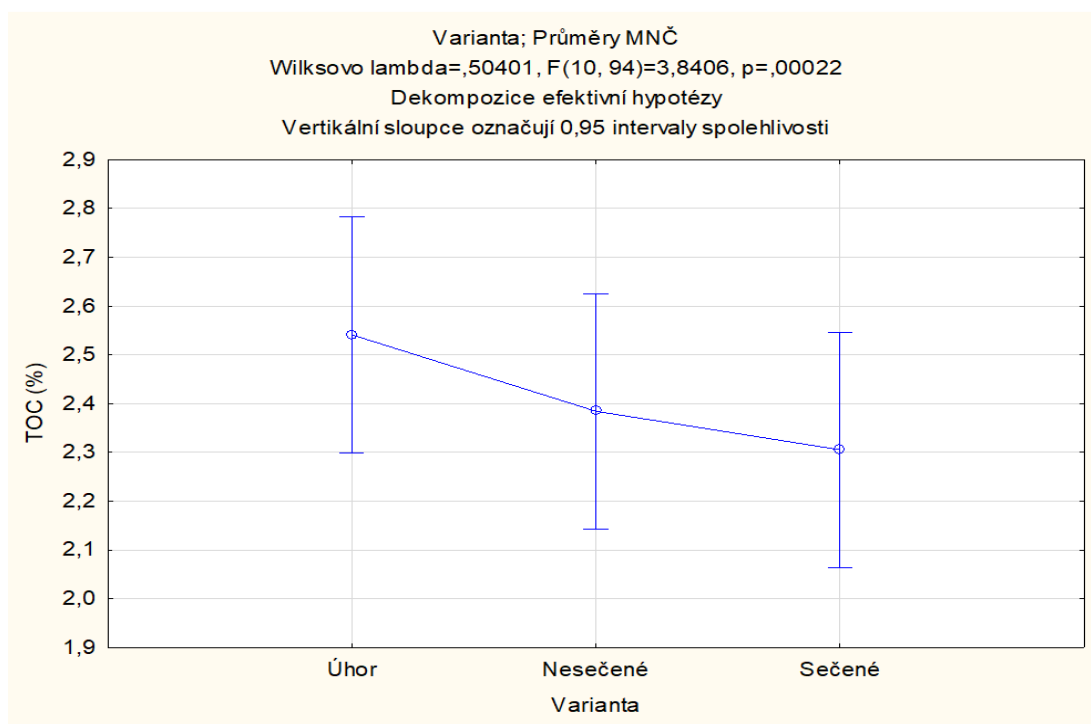
Výše popsané výsledky potvrzuje i Tabulka 1, kde je znázorněn statisticky významný rozdíl v obsahu TOC v měsících červenci a srpnu oproti zbylým odběrům.

Tabulka 1: Tukeyův HSD test-množství TOC v závislosti na termínu odběru

Č. buňky	proměnná TOC (%) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 PČ = ,07150, sv = 48,000			
	Odběr	TOC (%) Průměr	1	2
6	Říjen 2019	1,954444	****	
5	Září 2019	2,121111	****	
1	Březen 2020	2,173333	****	
2	Červen 2019	2,182222	****	
3	Červenec 2019	2,924444		****
4	Srpen 2019	3,106667		****

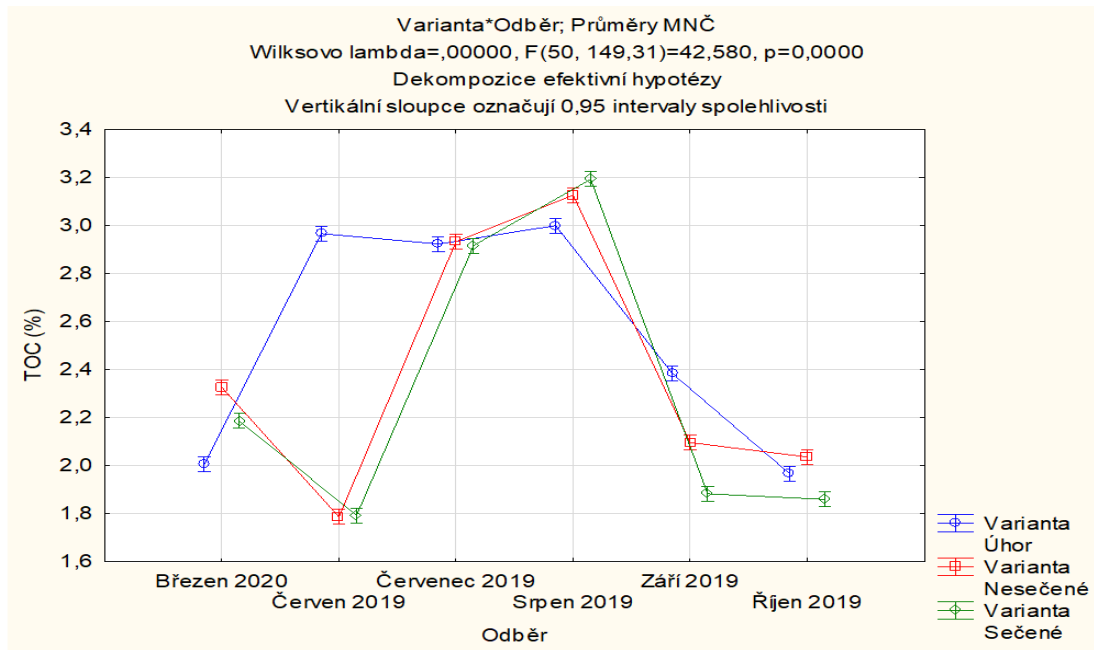
Mezi jednotlivými variantami sečení nebyl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl a hodnoty byly velmi podobné (Graf 3). Mírně vyšší (statisticky neprůkazný) obsah TOC byl zaznamenán u varianty Úhor. Ve výsledcích mé diplomové práce jsou pouze některé grafy. Všechny grafy, které u sledovaných parametrů byly průměrné, jsou umístěny v přílohách.

Graf 3: Množství TOC (%) v závislosti na variantě



Interakci vlivu termínu odběru a intenzity sečení znázorňuje Graf 4. Nejméně kolísavý trend je možné sledovat u Úhoru, kde má na obsah TOC minimální vliv vegetace. V Sečené a Nesečené variantě se červenové a červencové hodnoty prakticky nelišily. V dalších měsících již bylo možné rozdíl pozorovat.

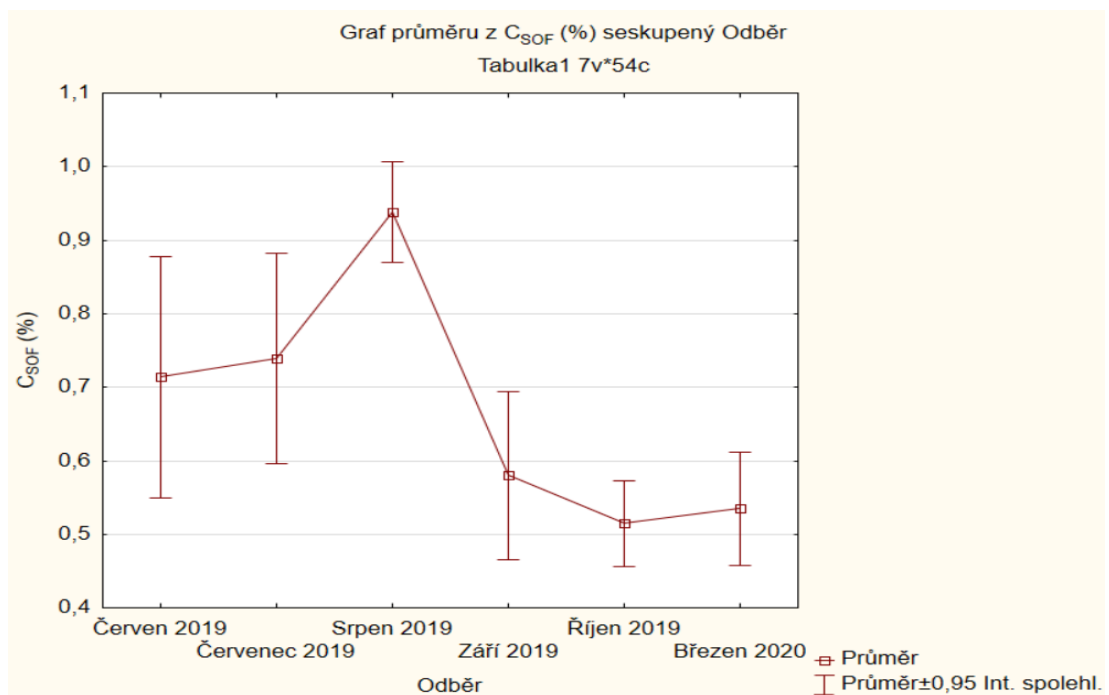
Graf 4: Vliv termínu odběru a varianty na množství TOC (%)



5.2.1 Obsah stabilních frakcí půdní organické hmoty (C_{SOF})

Graf 5 znázorňuje, jak se v průběhu roku měnilo množství uhlíku, který náleží stabilním frakcím půdní organické hmoty. Z grafu lze vyčíst, že stabilní organické frakce byly v půdě více zastoupeny v obdobích s vyššími teplotami vzduchu. V září, říjnu a březnu (2020) byly nižší. Statisticky významné rozdíly uvádí a Tabulka 2.

Graf 5: Množství C_{SOF} (%) v různých termínech odběru



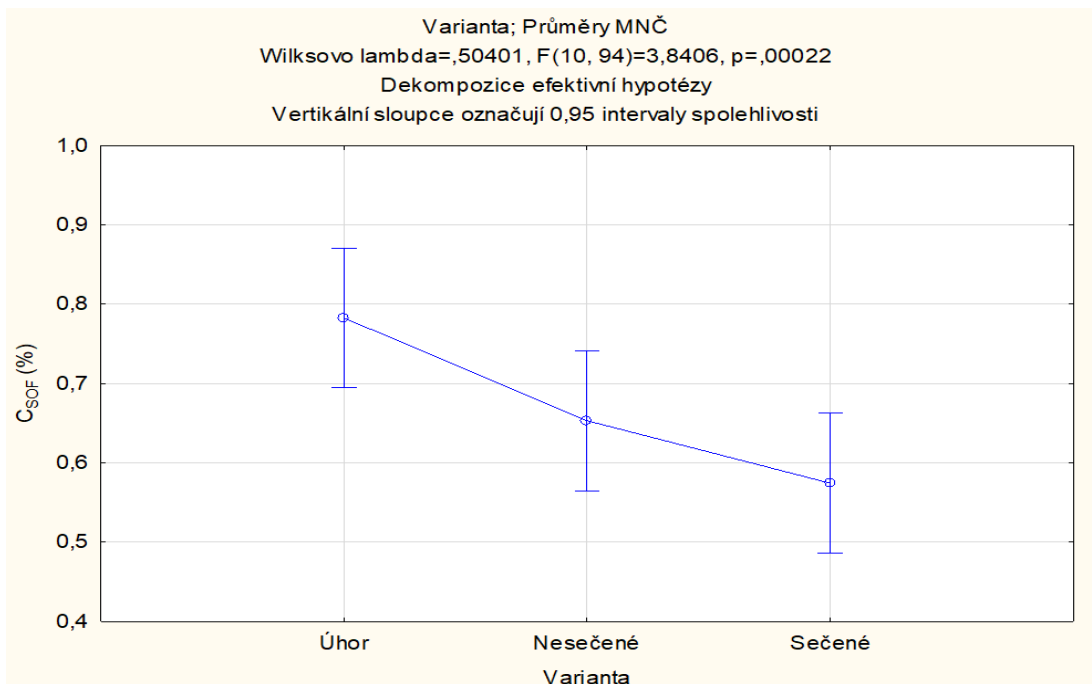
Tabulka 2: Tukeyův HSD test-množství C_{SOF} v závislosti na termínu odběru

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná C_{SOF} (%) (Tabulka1) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 PČ = ,02094, sv = 48,000				
	Odběr	C_{SOF} (%) Průměr	1	2	3
6	Říjen 2019	0,514883	****		
1	Březen 2020	0,534789	****		
5	Září 2019	0,579900	****	****	
2	Červen 2019	0,713894	****	****	
3	Červenec 2019	0,739150		****	****
4	Srpen 2019	0,938411			****

Do této frakce se řadí kromě humusu (huminové kyseliny, fulvokyseliny, huminy) také další skupiny látek (např. ligniny), které se podobně jako humus vyznačují vysokou stabilitou vůči rozkladu. Protože vznik a rozklad humusových látek má dlouhodobý charakter (Kolář a kol., 2017), je pravděpodobné, že kolísání C_{SOF} v průběhu roku je způsobeno právě změnami obsahu ligninů (Kopecký, 2018).

Z hodnocení vlivu sečení na obsah C_{SOF} (Graf 6) lze odvodit, že čím méně je půda ovlivněna vegetací a zásahy do porostu, tím vyšší je v ní obsah stabilní organické frakce. Mezi variantou Nesečenou a Sečenou statisticky průkazný rozdíl zjištěn nebyl, ovšem v Úhoru byla hodnota C_{SOF} průkazně vyšší, než ve variantě Sečené (Tabulka 3).

Graf 6: Množství C_{SOF} (%) v závislosti na variantě



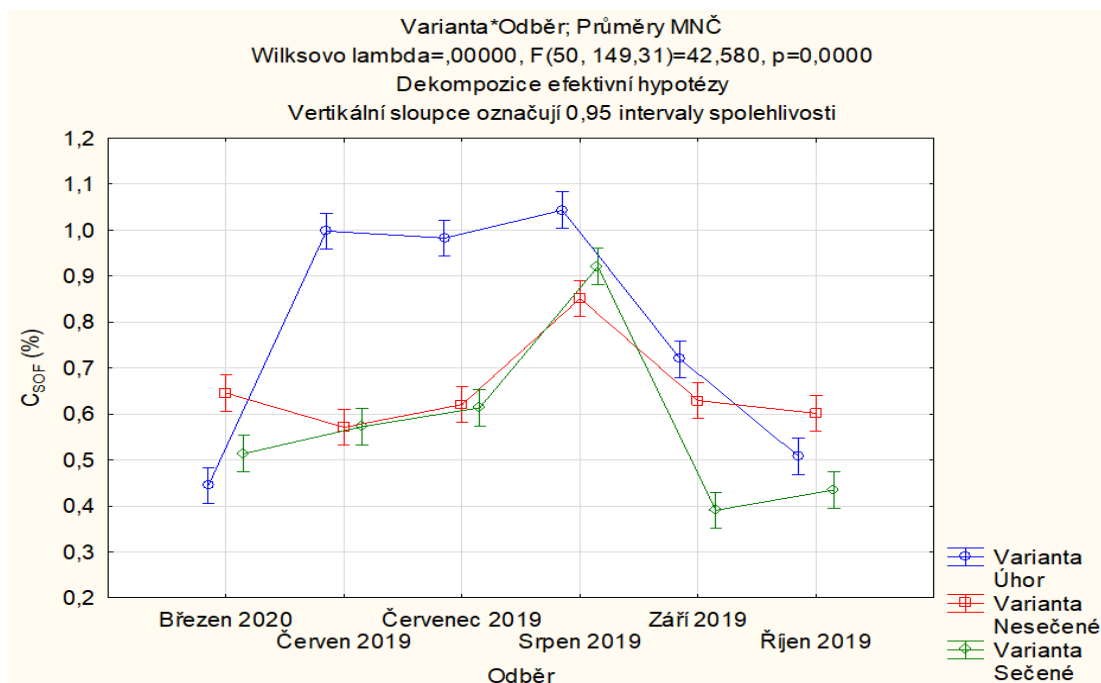
Tabulka 3: Tukeyův HSD test-množství C_{SOF} v závislosti na variantě

Č. buňky	proměnná C_{SOF} (%) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 $P\check{C}$ = ,03470, sv = 51,000			
	Varianta	C_{SOF} (%) Průměr	1	2
3	Sečené	0,574406	****	
2	Nesečené	0,653322	****	****
1	Úhor	0,782786		****

Při zkoumání interakce data odběru a varianty sečení je možné pozorovat nejvyšší hodnoty v srpnovém odběru se zřetelným poklesem v měsíci září. Tento jev může být vysvětlen nižší produkcí nové PPOH v posledním měsíci a současné vysoké míře mineralizace, kdy činností mikroedafonu docházelo k rozkladu nejen labilních, ale rovněž stabilnějších organických látek.

Vyhodnocení Tukeyho testu zobrazuje Tabulka 4. Je z něj patrné, že mezi některými variantami byly průkazné rozdíly. Rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou je více než dvojnásobný. Oproti hodnotám TOC je však obsah C_{SOF} podstatně nižší. Potvrzuje se tak, že mineralizační procesy v půdě převládají nad procesy humifikačními (Kolář a kol., 2014).

Graf 7: Vliv termínu odběru a varianty na množství C_{SOF} (%)



Tabulka 4: Tukeyův HSD test-vliv termínu odběru a varianty na množství C_{SOF}

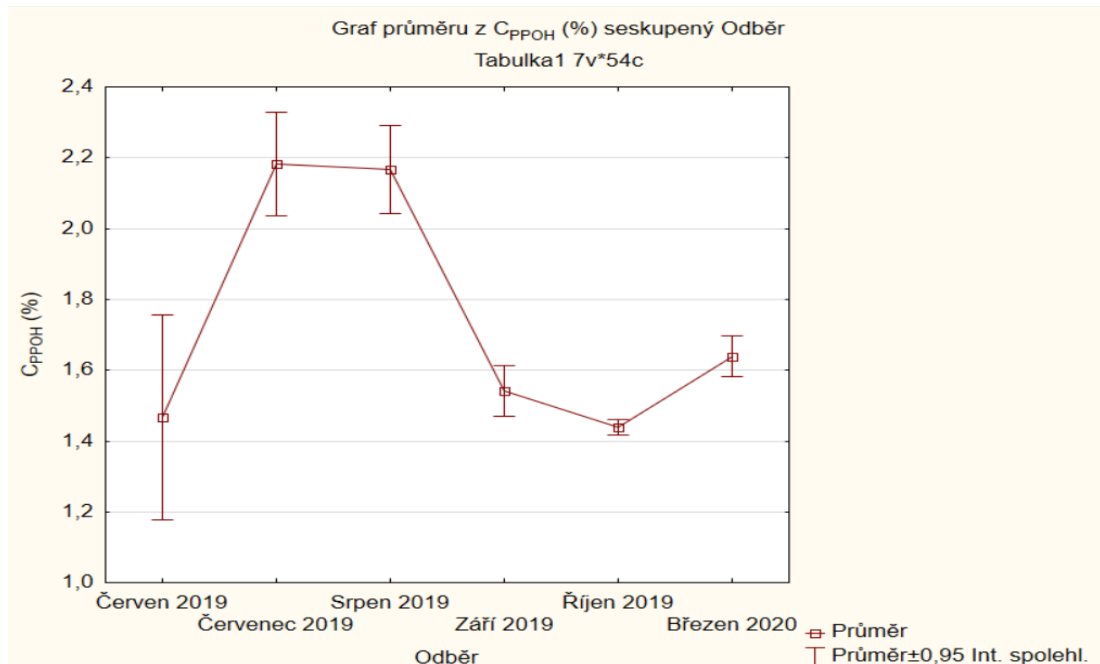
Č. buňky	proměnná C_{SOF} (%) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 $P\check{C}$ = ,00114, sv = 36,000											
	Varianta	Odběr	C_{SOF} (%) Průměr	1	2	3	4	5	6	7	8	9
17	Sečené	Září 2019	0,390783	****								
18	Sečené	Říjen 2019	0,434833	****	****							
1	Úhor	Březen 2020	0,444700	****	****							
6	Úhor	Říjen 2019	0,508367		****	****						
13	Sečené	Březen 2020	0,514033		****	****	****					
8	Nesečené	Červen 2019	0,571250			****	****	****				
14	Sečené	Červen 2019	0,572533			****	****	****				
12	Nesečené	Říjen 2019	0,601450			****	****	****				
15	Sečené	Červenec 2019	0,613767				****	****				
9	Nesečené	Červenec 2019	0,620933					****	****			
11	Nesečené	Září 2019	0,629367					****	****			
7	Nesečené	Březen 2020	0,645633					****	****			
5	Úhor	Září 2019	0,719550						****			
10	Nesečené	Srpen 2019	0,851300							****		
16	Sečené	Srpen 2019	0,920483							****	****	
3	Úhor	Červenec 2019	0,982750								****	****
2	Úhor	Červen 2019	0,997900								****	****
4	Úhor	Srpen 2019	1,043450									****

5.2.2 Primární půdní organická hmota (PPOH)

5.2.1.1 Obsah primární půdní organické hmoty

Obsah PPOH v půdě je velmi závislý na půdně-klimatických podmínkách a dynamicky reaguje na změny prostředí (Kolář a kol., 2014). Červencové a srpnové hodnoty jsou průkazně vyšší, než hodnoty zjištěné v jiných měsících (Tabulka 5), což je v souladu s druhou hypotézou. Je pravděpodobné, že půdní organická hmota, která byla vytvořena v tomto období, patřila mezi vysoce labilní látky, které byly činností mikroorganismů rychle zmineralizovány. Mezi nejlabilnější látky patří látky rozpustné ve vodě. Tato frakce má významný vliv také z hlediska koloběhu živin a výživy rostlin (Körschens et al., 1990).

Graf 8: Množství C_{PPOH} (%) v různých termínech odběru

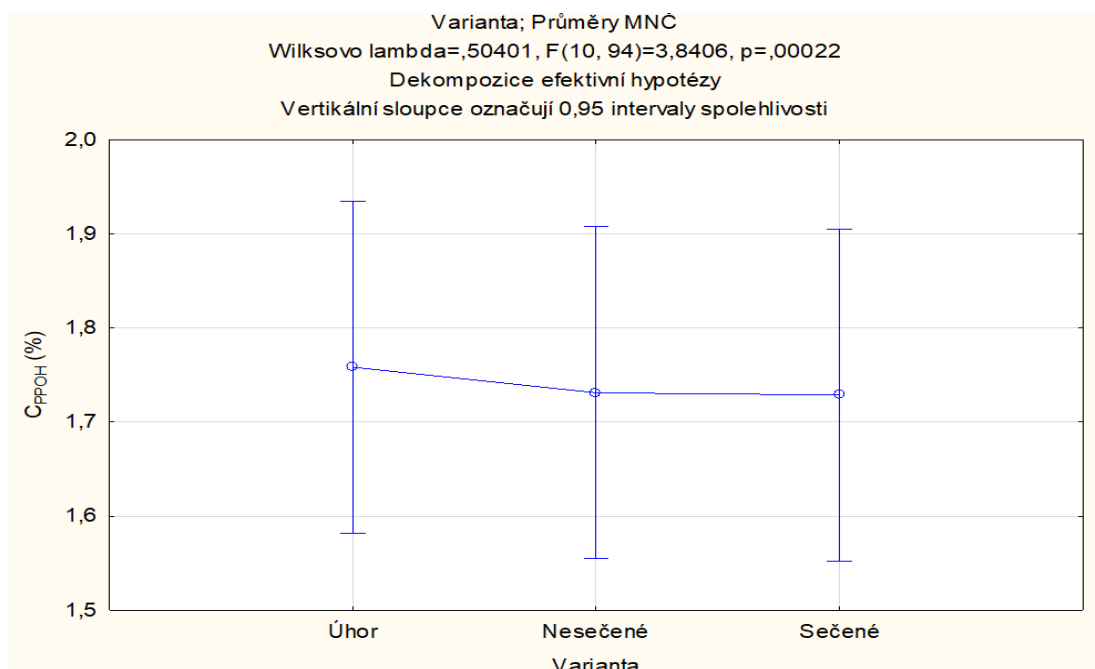


Tabulka 5: Tukeyův HSD test-množství C_{PPOH} v závislosti na termínu odběru

Č. buňky	proměnná C _{PPOH} (%) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 PČ = ,03655, sv = 48,000			
	Odběr	C _{PPOH} (%) Průměr	1	2
6	Říjen 2019	1,439561	****	
2	Červen 2019	1,466950	****	
5	Září 2019	1,541211	****	
1	Březen 2020	1,638544	****	
4	Srpen 2019	2,168256		****
3	Červenec 2019	2,182061		****

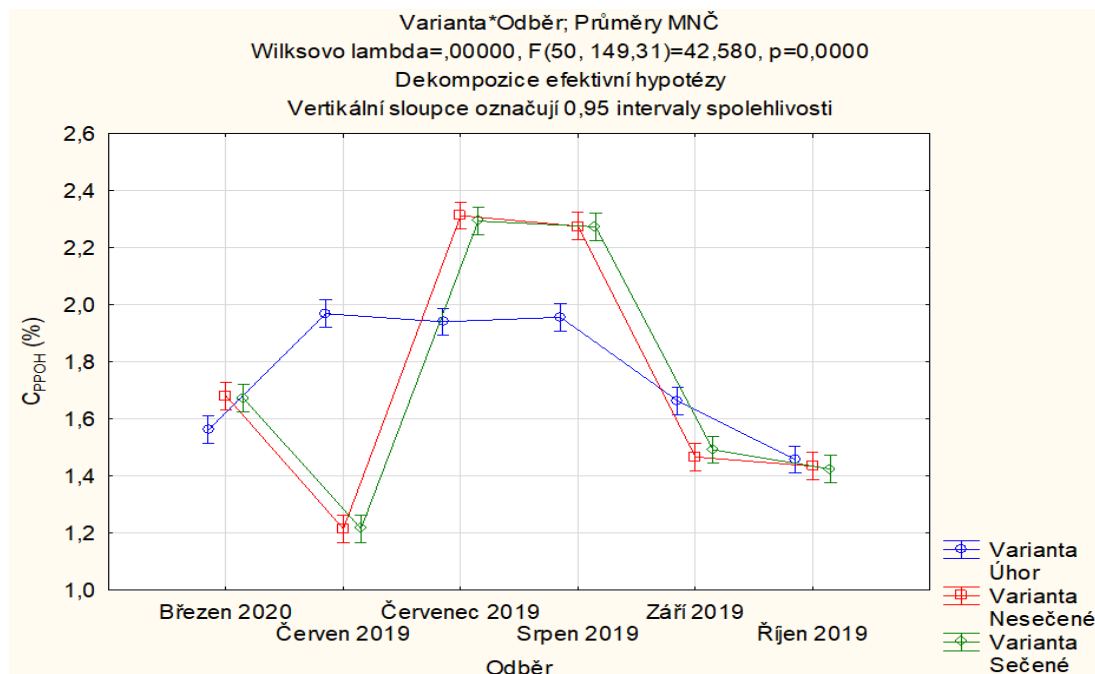
Intenzita obhospodařování (vliv sečení) na obsah C_{PPOH} neměla téměř žádný vliv (Graf 9). Ve variantě Sečené a Nesečená byla hodnota téměř totožná, v Úhoru nepatrně vyšší. Všechny rozdíly byly statisticky neprůkazné.

Graf 9: Množství C_{PPOH} (%) v závislosti na variantě



Při pohledu na Graf 10, který znázorňuje interakci varianty a termínu odběru na obsah C_{PPOH} , je zřejmé, že do značné míry kopíruje křivky Grafu 8. Je to dáno tím, že vliv seči byl skutečně minimální, jak zobrazuje graf výše.

Graf 10: Vliv termínu odběru a varianty na množství C_{PPOH} (%)



Shrnutí Tukeyho testu je zobrazeno v Tabulce 6. Je zřejmé, že výsledky odběru provedeny na Nesečené variantě v červnu 2019 a na Sečené v téže dobu, byly stejné a zároveň se lišily od výsledků ostatních odběrů. Mají tedy jinou hodnotu uhlíku, který

náleží primární půdní organické hmotě. Rostoucí procento C_{PPOH} se zvyšuje zřejmě se zvyšující se teplotou vzduchu a půdy. Tím se zvyšuje počet mikroorganismů a také jsou rostliny více fotosynteticky aktivní. Taktéž se lze domnívat, že se zvětšoval kořenový systém rostlin, který tak reaguje na sucho a střídavé sucho (Bláha a Hnilička, 2006).

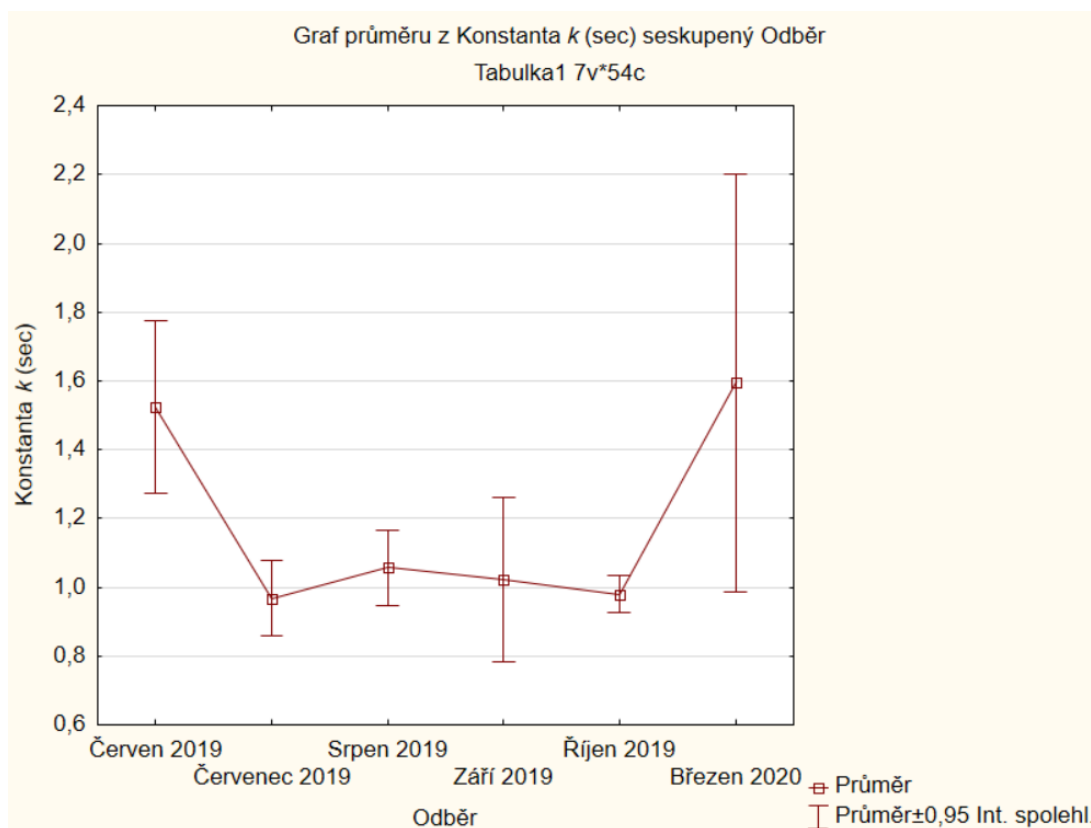
Tabulka 6: Tukeyův HSD test - vliv termínu odběru a varianty na množství C_{PPOH}

Č. buňky	proměnná C_{PPOH} (%) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 $P\check{C}$ = ,00166, sv = 36,000								
	Varianta	Odběr	C_{PPOH} (%) Průměr	1	2	3	4	5	6
8	Nesečené	Červen 2019	1,215417	****					
14	Sečené	Červen 2019	1,216667	****					
18	Sečené	Říjen 2019	1,425167		****				
12	Nesečené	Říjen 2019	1,435217		****				
6	Úhor	Říjen 2019	1,458300		****	****			
11	Nesečené	Září 2019	1,467300		****	****			
17	Sečené	Září 2019	1,492550		****	****			
1	Úhor	Březen 2020	1,561967			****	****		
5	Úhor	Září 2019	1,663783				****		
13	Sečené	Březen 2020	1,672633				****		
7	Nesečené	Březen 2020	1,681033				****		
3	Úhor	Červenec 2019	1,940583					****	
4	Úhor	Srpen 2019	1,956550					****	
2	Úhor	Červen 2019	1,968767					****	
16	Sečené	Srpen 2019	2,272850						****
10	Nesečené	Srpen 2019	2,275367						****
15	Sečené	Červenec 2019	2,293200						****
9	Nesečené	Červenec 2019	2,312400						****

5.2.1.2 Kvalita PPOH

Kvalita primární půdní organické hmoty byla stanovena prostřednictvím výpočtu rychlostní konstanty k její oxidace dichromanem draselným v prostředí kyseliny sírové. Složení PPOH z hlediska kvality (lability/stability) se v půdě mění v závislosti na řadě faktorů. Labilita organické hmoty závisí na jejím chemickém složení včetně obsahu dusíku (Kolář a kol., 2014).

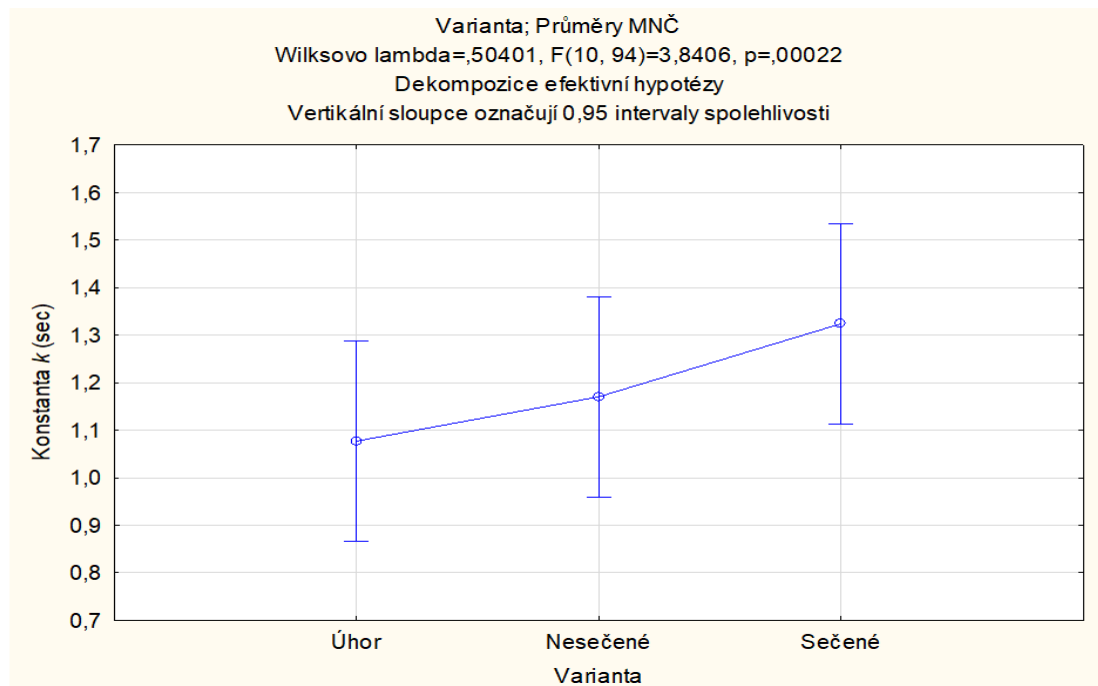
Graf 11: Kvalita C_{PPOH} v různých termínech odběru



Graf 11 přináší zajímavé zjištění o kvalitě PPOH. Kolář a kol. (2014) uvádí, že v letních měsících probíhají přeměny organické hmoty rychleji. To by potvrzovaly hodnoty konstanty k z července a srpna, kdy byla tato čísla nízká (včetně intervalu spolehlivosti). Lze tak odvodit, že v půdě byl bohatý mikrobiální život, který způsobil rychlé vyčerpání nejlabilnějších frakcí PPOH. Překvapivá je ale nízká hodnota k , s velice úzkým intervalem spolehlivosti, v říjnu. V červnovém (2019) a březnovém (2020) odběru je více vidět vliv jednotlivých variant sečení na kvalitu PPOH.

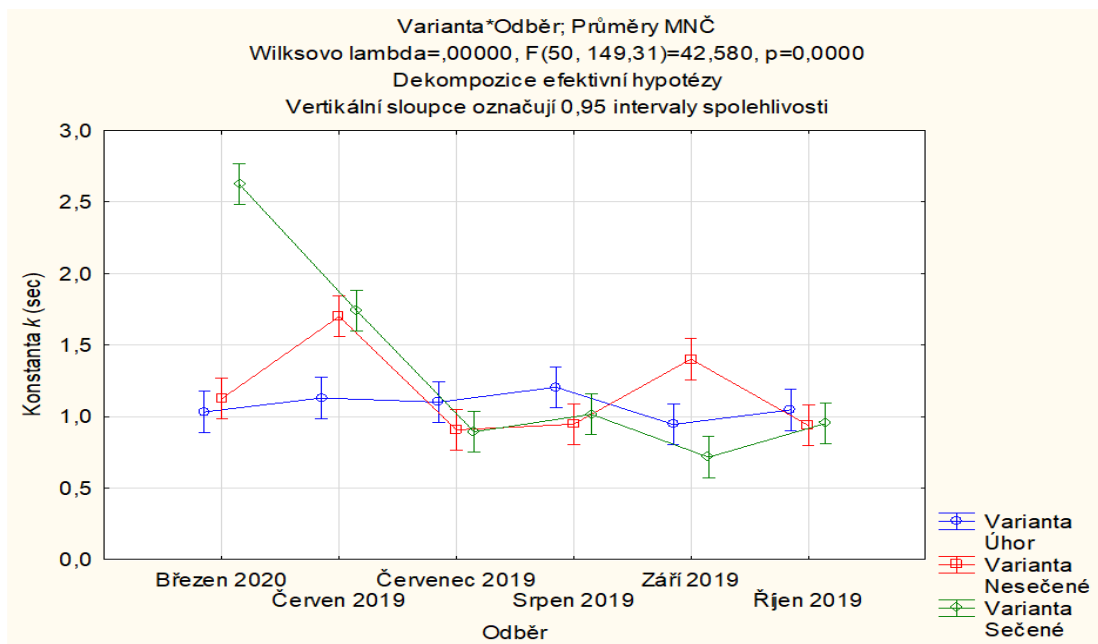
Vliv varianty sečení je pak znázorněn v Grafu 12. Na první pohled se zdá být zřejmý trend větší intenzity sečení na vyšší kvalitu primární půdní organické hmoty. Tento trend ovšem není statisticky průkazný. Pozitivně hodnotu k v Sečené variantě ovlivňuje především odběr z března 2020, kdy hodnota byla velmi vysoká, jak znázorňuje Graf 13.

Graf 12: Kvalita C_{PPOH} v závislosti na variantě



Z Grafu 13, který zobrazuje vliv interakce varianty sečení a termínu odběru, je dále patrné, že nejméně kolísající hodnota k je u varianty Úhor. Relativně vysoké hodnoty k byly zaznamenány v červnu. Tato skutečnost by mohla být vysvětlena tím, že vegetace produkovala labilní organickou hmotu (exsudáty), ale oživení půdy ještě nebylo tak vysoké, aby tyto látky mohly být prostřednictvím mikroorganismů zmineralizovány.

Graf 13: Vliv termínu odběru a varianty na kvalitu C_{PPOH}



Závěr

Jednou z částí diplomové práce bylo sledování výnosů porostu *Miscanthus × giganteus* ve variantě Sečené (seč dvakrát v roce během vegetace) a Nesečené (seč jedenkrát ročně na konci zimy). V posledním sledovaném roce byl zjištěn vyšší výnos sušiny ($20,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) ve variantě Nesečené, a to o $7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Podobné výsledky byly zaznamenány i v předchozích suchých letech. Zdá se tedy, že v suchých letech porost *Miscanthus × giganteus* po seči špatně obrůstá.

Další součástí práce byl odběr půdních vzorků ze zmíněných porostů a také z půdy, která těsně sousedila s porostem *Miscanthus × giganteus*, ale byla udržována bez vegetace. Tato varianta byla nazvána Úhor. Vzorky byly upraveny pro analýzu a podrobeny laboratorním pracím. Ve vzorcích byl sledován obsah celkového organického uhlíku (TOC), obsah uhlíku stabilních organických frakcí (C_{SOF}), obsah uhlíku primární půdní organické hmoty (C_{PPOH}) a kvalita primární půdní organické hmoty vyjádřená konstantou k .

Z výsledků mimo jiné vyplynulo, že termín odběru půdních vzorků má průkazný vliv na množství organické hmoty v půdě. Vzorky odebrané v červenci a srpnu obsahovaly průkazně více uhlíku primární půdní organické hmoty i celkového organického uhlíku. Rovněž byl v těchto dvou měsících zjištěn i nejvyšší obsah uhlíku stabilních organických frakcí. Z hlediska obsahu C_{SOF} byla také důležitá varianta obhospodařování. Nejmenší obsah uhlíku této frakce byl zaznamenán u Sečené varianty. Nejvyšší u varianty Úhor, přičemž rozdíl mezi těmito dvěma variantami byl statisticky významný.

6. Použitá literatura

1. Baldock, J. A. & Nelson, P. N. (2000). Soilorganicmatter. In M. E. Sumner (Eds.), *Handbook of Soil Science* (pp. B25–B84). BocaRaton: CRC Press.
2. Bernas J., Kopecný M., Moudrý J. jr., Jelínková Z., Moudrý J., & Konvalina P. (2014). Výnosové a ekonomické aspekty pěstování vybraných energetických rostlin. *Úroda* 12 (vědecká příloha), 315–318.
3. Bernas, J., Jelínková, Z., Kopecný, M., Konvalina, P., & Moudrý, J. (2015). *Maize production for energy purposes – the emission load. Lucrări Științifice, Universitatea de Științe Agricole Și Medicină Veterinară" Ion Ionescu de la Brad" Iași, Seria Agronomie, 58(2), 23–27.*
4. Bláha, L., & Hnilička, F. (2006). Význam vlastností kořenů semen pro odolnost rostlin vůči abiotickým stresorům. *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin, Česká Zemědělská univerzita v Praze, 1-9.*
5. Borovičková, M., (2005). *Procesy agregace huminových látek při úpravě vod: Pojednání k disertační práci – VUT Brno*
6. Brady N.C. a Weil R.R. (1999). *The nature and properties of soils*. 12th ed. Prentice Hall Inc., New Jersey, USA
7. Brady, Nyle C. a Ray R. Weil. (2002). *The nature and properties of soils*. 13th ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall. ISBN 0-13-016763-0.
8. Cenia. (2013). *Energetika – výroba a rozvod elektřiny a plynu* [online]. Praha: Cenia, česká informační agentura životního prostředí. [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=energetika_vyroba_a_rozvod_elektriny_a_plynu&site=spotreba.
9. Darwish, O. H., Persaud, N., & Martens, D. C. (1995). Effect of long-term application of animal manure on physical properties of three soils. *Plant and Soil*, 176(2), 289–295.
10. Demirbaş, A. (2005). Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related

- environmental issues. *Progress in energy and combustion science*, 31(2). 171–192. DOI: 10.1016/j.pecs.2005.02.002.
11. Dohleman, F. G., & Long, S. P. (2009). More productive than maize in the Midwest: how does *Miscanthus* do it?. *Plant Physiology*, 150(4), 2104–2115
12. Fischer a Binkley 2000
13. Frydrych, J.; Cagaš, B.; Macháč, J. (2002). *Energetické využití některých travních druhů*. 35 s.
14. Fuksa, P. (2009). *Netradiční využití biomasy v praxi*. Citováno 27. 1. 2020. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/netradicni-vyuziti-biomasy-v-praxi>.
15. Ghani, A., Dexter, M., & Perrott, K. W. (2003). Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil biology and biochemistry*, 35(9), 1231–1243. ISSN : 0038- 0717
16. Goldemberg, J. (2007). *Ethanol for a sustainable energy future*. *Science*, 315(5813), 808–810.
17. Haag, N. L., Nägele, H. J., Reiss, K., Biertümpfel, A., & Oechsner, H. (2015). Methane formation potential of cup plant (*Silphiumperfoliatum*). *Biomass and Bioenergy*, 75, 126–133.
18. Havlíčková, K., Weger, J., Konvalina, P., Moudrý, J., & Stražil, Z. (2007). *Zhodnocení ekonomických aspektů pěstování a využití energetických rostlin*. Průhonice, Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, České Budějovice, Jihočeská univerzita, 92.
19. Ho, Y. C., & Show, K. Y. (2015). A perspective in renewable energy production from biomass pyrolysis-challenges and prospects. *Current Organic Chemistry*, 19(5), 423–436.
20. Hutchinson, J. J., Campbell, C. A., & Desjardins, R. L. (2007). Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. *Agricultural and forest meteorology*, 142(2), 288–302, DOI: 10.1013/j.agrformet. 2006.03.030

21. Christian, D. G., Riche, A. B., Yates, N. E. (1998). *Nutrient requirement and cycling in energycrops*. In Sustainable Agriculture for Food Energy and Industry: Proceedings of the International Conference Held in Braunschweig, Germany. (pp. 799–804). Braunschweig: Routledge
22. Jeníček, V., Foltýn, J. (2010). *Globální problémy světa: v ekonomických souvislostech*. Praha: C.H. Beck, ISBN 978-80-7400-326-4.
23. Jermář, M. (2010). *Globální změna: cesta ze světového chaosu do budoucnosti*. Praha: Aula. 2010. ISBN 978-80-86751-05-4.
24. Kader, A. S. A., Olanrewaju, O. S., & Shamsuri, W. W. (2013). *Potential of Macro Algae for Biomass Energy Source and Green House Gas Emission Carbon Capture*. Biosciences Biotechnology Research Asia, 10, 653–658.
25. 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.
26. Kolář, L., Moudrý, J., & Kopecký, M. (2014). *Kniha o humusu*. Náměšť nad Oslavou: ZERA. - Zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s., ISBN 978-80-87226-34-6.
27. Kolář, L., Peterka, J., Maroušková, A., Váchalová, R., Kopecký, M., & Batt, J. (2017). Determination of the Content of Organic C-Primary Soil Organic Matter-Humic Substances. In *Reasonable use of fertilizers: dedicated to the importance of agrochemical soil tests* (pp. 49-55).
28. Koloničný, J., Hase, V. (2011). *Využití rostlinné biomasy v energetice*. Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-80-248-2541-0.
29. Kopecký, M. (2018). *Environmentální aspekty pěstování vybraných energetických rostlin*. Disertační práce, Zemědělská fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
30. Kopecký, M., Bernas, J., Moudrý, J. jr., & Kobes, M. (2015). *Klíčivost vybraných travních druhů v podmínkách vodního stresu*. In Osivo a sadba: XII. odborný seminář. 5. únor 2015 (pp. 216–221). Praha: Česká zemědělská univerzita.

31. Kopecký, M., Kolář, L., Borová-Batt, J. (2016). *The new method of determination of the quantity and quality of primary soil organic matter and humus*. Proceedings from International Conference Soil – the non-renewable environmental resource, pp. 135–142. Brno, Mendělova univerzita v Brně
32. Körschens, M., Schulz, E., & Behm, R. (1990). Heißwasserlöslicher C und N im Boden als Kriterium für das N-Nachlieferungsvermögen. *Zentralblatt für Mikrobiologie*, 145(4), 305-311.
33. Kratina, J., Borůvka, L., Tejnecký, V., Drábek, O., & Šebek, O. (2010). *Differences in characteristics of mountain forest soils on acid and basic parent rocks*. Geological research in Moravia and Silesia, 17(1–2), 50–57.
34. 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. ISBN 978-80-87011-65-2.
35. Kubín, M. (1999). *Energetika na prahu 21. Století*. Rozvojové trendy elektrotechniky. 1.vyd. Brno: Jihomoravská energetika. 458 s. ISBN 80-239-0423-X.
36. Lal, R., Follett, R. F., Stewart, B. A., & Kimble, J. M. (2007). Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. *Soil science*, 172(12), 943–956. doi: 10.1097/ss.0b013e31815cc498
37. Lehmann, J. (2007). Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(7), 381–387
38. Leroy, B. L. M., Herath, H. M. S. K., Sleutel, S., De Neve, S., Gabriels, D., Reheul, D., & Moens, M. (2008). The quality of exogenous organic matter: short-term effects on soil physical properties and soil organic matter fractions. *Soil use and management*, 24(2), 139–147.
39. Lewandowski, I., Scurlock, J. M., Lindvall, E., & Christou, M. (2003). The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and bioenergy*, 25(4), 335–361.
40. Lewandowski, I., Scurlock, J. M., Lindvall, E., & Christou, M. (2003). The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and bioenergy*, 25(4), 335–361.

41. Libra, M. a Poulek, V. (2007). *Zdroje a využití energie*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 978-80-213-1647-8.
42. Long, S. P. (1999). Environmental response. In R. F. Sage & R. K. Monson (Eds.), *C4 plant Biology* (pp. 215–249), San Diego: Academic Press.
43. Long, S. P., Humphries, S., & Falkowski, P. G. (1994). Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annual review of plant biology*, 45(1), 633–662.
44. Lützow, M. V., Kögel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Matzner, E., Guggenberger, G., Marschner, B., & Flessa, H. (2006). Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions—a review. *European Journal of Soil Science*, 57(4), 426–445.
45. Ma, Z., Wood, C. W., & Bransby, D. I. (2000). Soil management impacts on soil carbon sequestration by switchgrass. *Biomass and Bioenergy*, 18(6), 469–477.
46. Malaťák, J., a Vaculík, P. (2008). *Biomasa pro výrobu energie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. ISBN 978-80-213-1810-6.
47. Mann, J. J., Barney, J. N., Kyser, G. B., & Di Tomaso, J. M. (2013). *Miscanthus* × *giganteus* and *Arundo donax* shoot and rhizome tolerance of extreme moisture stress. *Gcb Bioenergy*, 5(6), 693–700.
48. Mikulášková, B., Lapčík, L., Mašek, I. (1997). Listy, C. *Lignit-struktura, vlastnosti a použití*. Chem. listy, 91, 160–168.
49. Moudrý, J. a Stražil, Z., (1998). *Energetické plodiny v ekologickém zemědělství*. 56 s. Hradec Králové: VH press.
50. Noskovič, P. a Juchelková, D., & Čech, B. (1996). *Biomasa a její energetické využití*. Ostrava. Vysoká škola báňská-Technická univerzita.
51. 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. ISBN 80-248-1207-X.

52. Omer, A. M. (2012). Global Progress in Green Energies and the Environment. In M. J. Acosta (Eds.), *Advances in Energy Research* (pp. 96–99). New York: Nova Science Publishers.
53. Opršal, Z. (2015). Biofuel from Perspective of Environmental Protection. *Listy cukrovarnické a řepařské*, 131(12), 384.
54. Orlov, D., (1985). *Chimijapočv (Soil Chemistry)*. Moskva: Izd. MGU
55. Otčenášek, P. (2006). *Elektroenergetika v 21. století: globální světové energetické hospodářství a jeho vliv na Českou republiku*. Praha: ČEZ.
56. Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1513–1524.
57. Parras-Alcántara, L., Díaz-Jaimes, L., & Lozano-García, B. (2015). Organic fading affects C and N in soils under olive groves in Mediterranean areas. *Land Degradation & Development*, 26(8), 800–806.
58. Petříková, V. (2001). Biomasa – významný zdroj ekologické energie [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasavyznamny-zdroj-ekologicke-energie>>.
59. Petříková, V., Sladký, V., Strašil, Z., Šafařík, M., Ust'ak, S., & Váňa, J. (2006). *Energetické plodiny*. Praha: Profi Press. ISBN 80-86726-13-4.
60. Pivokonský M., Pivokonská, L., Bubáková, P., & Janda, V. (2010). *Úprava vody s obsahem huminových látek*. *Chemické listy*, 104(5), 1015-1022.
61. Pokorný, E., Šarapatka, B., (2003). *Půdoznalství pro ekozemědělce*. Praha: ÚZPI. Příručka ekologického zemědělce. ISBN 80-7084-295-4.
62. Pospíšilová, L. a Tesařová M. (2009). *Organický uhlík obhospodařovaných půd: Organic carbon in arable soils : původní vědecká práce*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. ISBN 978-80-7375-282-8.

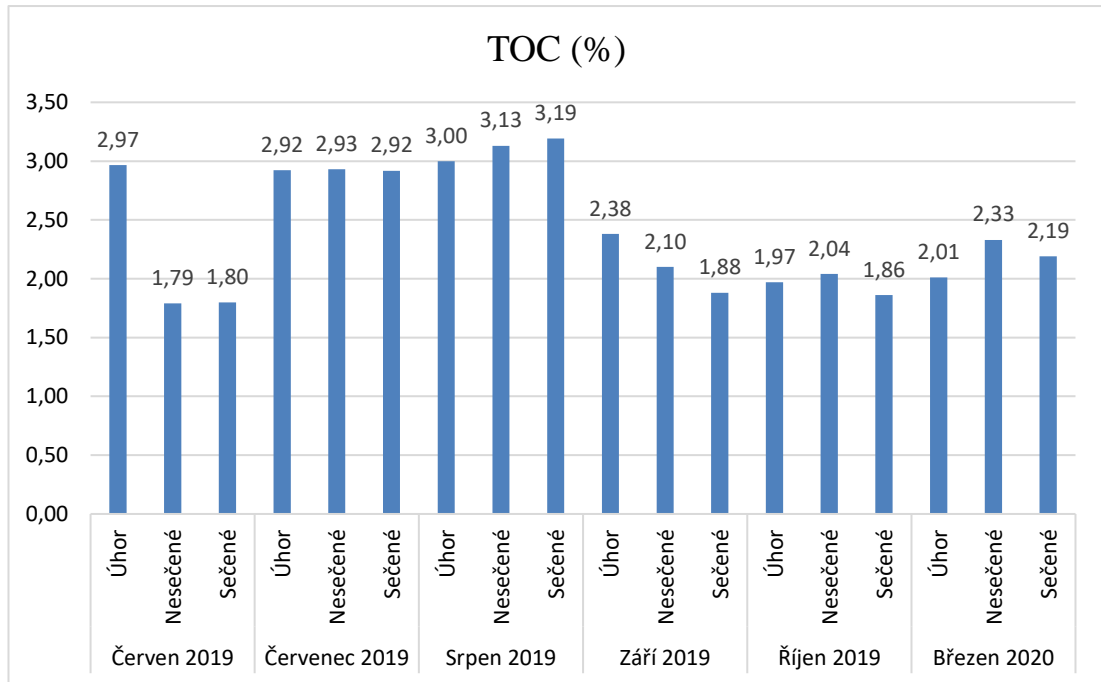
63. Požárová, I. (2007). *Alternativní zdroje energie – biopaliva* [online]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 44 s, [cit. 27.2.2020]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10563/4181>. ISBN 80-736-6071-7.
64. Quaschnig, V. (2008). *Obnovitelné zdroje energií*. Mnichov: Carl Hanser Verlag
65. Rahman, M. M., Mostafiz, S. B., Paatero, J. V., & Lahdelma, R. (2014). Extension of energy crops on surplus agricultural lands: A potentially viable option in developing countries while fossil fuel reserves are diminishing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 108–119
66. Randolph, J. (2004). *Environmentalland use planning and management*. Washington: Island Press, ISBN 1-55963-948-2.
67. Sakuragi, H., Kuroda, K., & Ueda, M. (2011). Molecular breeding of advanced microorganisms for biofuel production. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2011, 1–11.
68. Scurlock, J. M. O. (1999). *Miscanthus: a review of European experience with a novel energy crop*. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory. (No. ORNL/TM13732)
69. Schau, E. M., a Fet, A. M. (2008). LCA studies of food products as background for environmental product declarations. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(3), 255–264.
70. Sims, R. E. (2002). *The brilliance of bioenergy: in business and in practice*. London: Earthscan.
71. Skybová, M. (2006). *Humínové kyseliny prínos pre environmentálny výskum*. *Acta Montanistica Slovaca*, 11(2), 362-366.
72. Stevensons, F. J. (1994). *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. John Wiley&Sons.
73. Stražil, Z. (2009a). *Základy pěstování a možnosti využití ozdobnice (Miscanthus)*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. ISBN 978-80-7427-006-2.

74. Šarapatka, B. (2014). *Pedologie a ochrana půdy*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 232 s. ISBN 978-80-244-3736-1.
75. Šarapatka, B., Abrahámová, M., Čížková, S., Dotlačil, L., Hluchý, M., Křen, J., & Pokorný, J. (2010). *Agroekologie: východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření*. Olomouc: Bioinstitut
76. Šarapatka, B., Dlapa, P., Bedrna, Z. (2002). *Kvalita a degradace půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, ISBN 80-244-0584-9.
77. Tan, K., H. (2003). *Humic matter in soil and the environment: Principles and controversies*. - CRC Press.
78. Tejada, M., a Gonzalez, J. L. (2008). Influence of two organic amendments on the soil physical properties, soil losses, sediments and runou water quality. *Geoderma*, 145(3), 325–334.
79. Tilman, D., Hill, J., & Lehman, C. (2006). Carbon-negative biofuels from low input high-diversity grassland biomass. *Science*, 314(5805), 1598–1600.
80. Váchalová, R., Kolář, L., Muchová, Z (2016). *Primární organická půdní hmota a humus, dvě složky půdní organické hmoty*.1.vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitře. 122s.
81. Váňa, J., (2003). Biomasa pro energii a technické využití. *Biom.cz*[online]. 2003-0325 [cit. 2020-02-10]. Dostupné z <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-proenergii-a-technicke-vyuziti>
82. Vaněk V., Kolář L., Pavlíková D., (2006). *Úloha organické hmoty v půdě*. Racionální použití hnojiv-sborník z konference, ISBN 978-80-2132006-2
83. Vanhala, P., Karhu, K., Tuomi, M., Björklöf, K., Fritze, H., & Liski, J. (2008). Temperature sensitivity of soil organic matter decomposition in southern and northern areas of the boreal forest zone. *Soil biology and biochemistry*, 40(7), 1758-1764.
84. Vašků Z., (2008).: *Půda je nenahraditelná*. Ekolist/03. Praha, Česká republika. Dostupné z <https://ekolist.cz/cz/publicistika/rozhovory/zdenek-vasku-puda-jenenahraditelna>

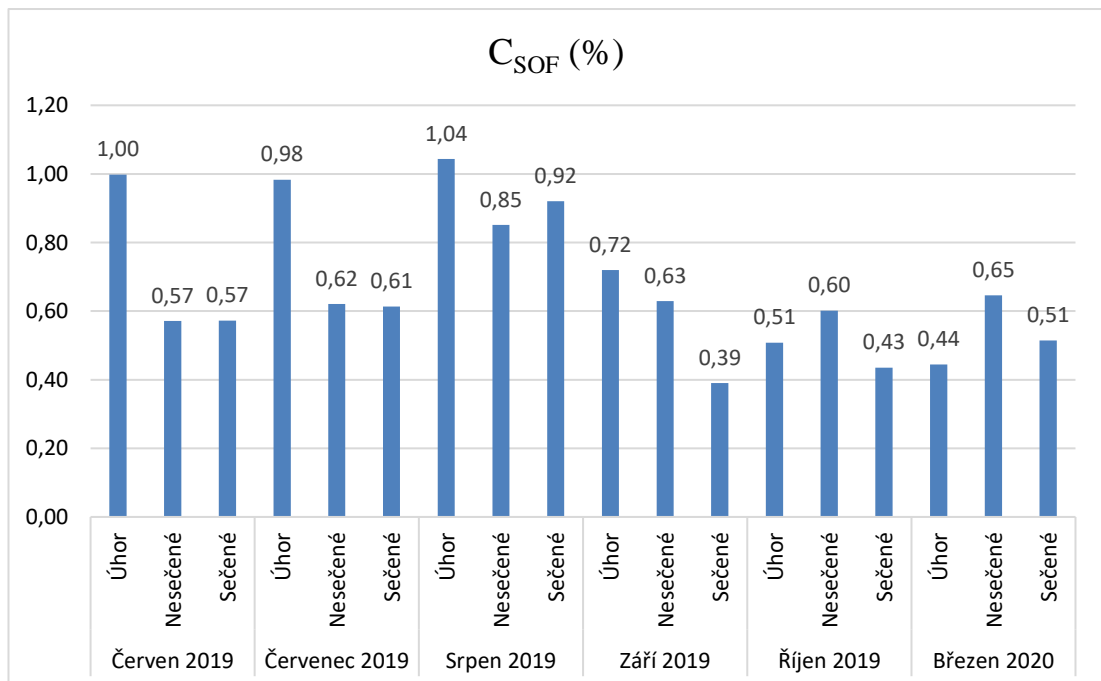
85. Vogel, E., Deumlich, D., & Kaupenjohann, M. (2016). Bioenergy maize and soil erosion—Risk assessment and erosion control concepts. *Geoderma*, 261(1), 80–92.
86. Voženílek, L., a Lstibůrek, F. (1989). *Základy elektrotechniky II pro 2. a 3. ročník elektrotechnických učebních a studijních oborů středních odborných učilišť* 2. nezměn. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury.
87. Vrba, V., Huleš, L., (2007). Humus-půda-rostlina (2) Humus a půda. *Biom.cz* [online]. [cit. 2020-02-19]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborneclanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>>.
88. Weger, J., Stražil, Z., Honzík, R., & Bubeník, J. (2012). *Možnosti pěstování biomasy jako energetického zdroje v Ústeckém kraji*. Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví. ISBN 978-80-85116-66-3.

7. Přílohy

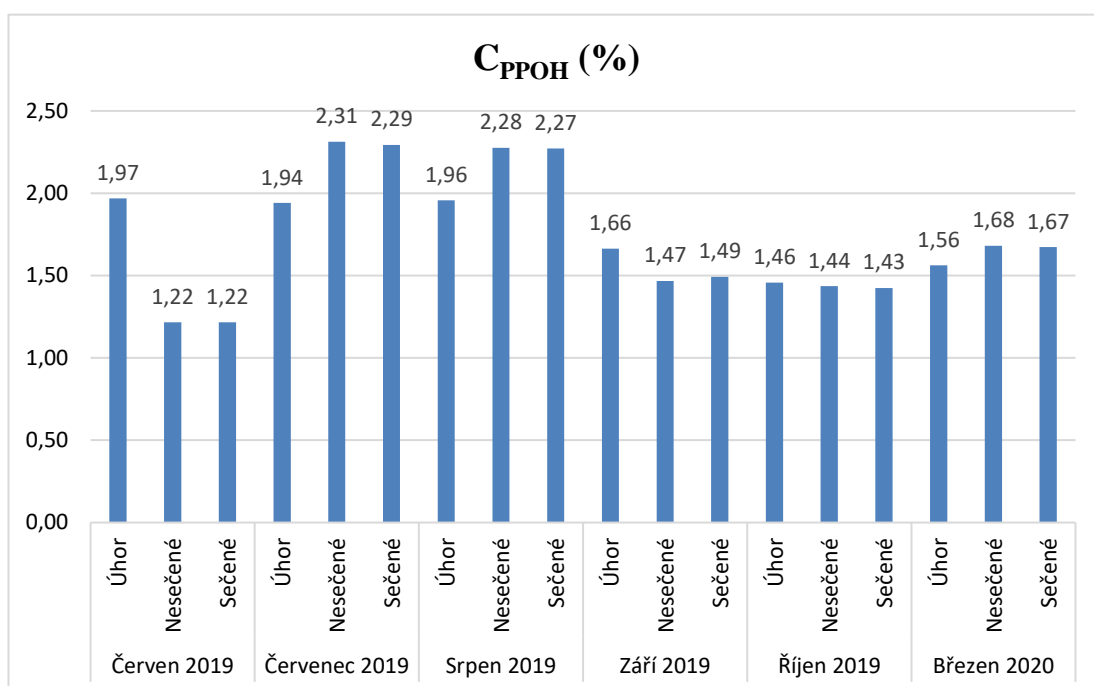
Celkový organický uhlík



Uhlík stabilních frakcí organické hmoty



Uhlík primární půdní organické hmoty



Rychlostní konstanta k oxidace primární půdní organické hmoty

