

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Katedra agroekosystémů

Studijní program: B4131 / Zemědělství

Studijní obor: 4106R013 / Trvale udržitelné systémy hospodaření v krajině

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

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Kvalifikace primární půdní organické hmoty podle rychlostní
konstanty oxidace v půdách energetických rostlin**

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

Autor bakalářské práce: Martin Černý

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: **Martin ČERNÝ**
Osobní číslo: **Z17481**
Studijní program: **B4131 Zemědělství**
Studijní obor: **Trvale udržitelné systémy hospodaření v krajině**
Téma práce: **Kvalifikace primární půdní organické hmoty podle rychlostní konstanty oxidace v půdách energetických rostlin**
Zadávající katedra: **Katedra agroekosystémů**

Zásady pro vypracování

Cíle práce: Stanovení kvality nehumifikované půdní organické hmoty v půdách 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 půdní organické hmoty a její rozdělení (rozsah cca 50% textové části BP).
3. Cíle práce a pracovní hypotézy (doporučený rozsah 1 strana).
4. Metodický postup – spolupráce při založení a údržbě experimentálních poliček vybraných energetických rostlin, pravidelný odběr půdních vzorků pomocí pedologické sondážní tyče, jejich úprava a analýza. Stanovení rychlostní konstanty oxidace organické hmoty v půdních vzorcích na základě metodiky popsané kolektivem Kopecký, Kolář, Borová-Batt (2016) v publikaci The new method of determination of the quantity and quality of primary soil organic matter and humus.
5. Výsledky a diskuse – zpracování a statistické vyhodnocení dat, jejich srovnání 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:

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.

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 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

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 30.6. 2020

.....

Černý Martin

Poděkování

Zde bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Marku Kopeckému Ph.D. za odborné vedení, spolupráci, vstřícnost a velkou trpělivost při zodpovídání častých dotazů. Svým spolužákům za spolupráci při zakládání pokusných ploch a odebírání vzorků. A nakonec rodině a spolubydlícím za neutuchající podporu.

Abstrakt

Významným prvkem ovlivňujícím kvalitu výnosů biomasy pro účely zemědělství či vytváření alternativních zdrojů energie pro bioplynové stanice je mimo jiné kvalita půdní organické hmoty. Má zásadní vliv na jednotlivé vlastnosti půdy i okolní životní prostředí. V průběhu let bylo vytvořeno mnoho metod, které jsou stále vylepšovány. Tato bakalářská práce využívá jednu z nových metod hodnocení kvality primární půdní organické hmoty pomocí rychlostní konstanty k oxidace v půdách energetických rostlin *Festuca arundinacea* a *Phleum pratense* pěstovaných na pokusných pozemcích Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Byly hodnoceny vlastnosti půdních vzorků z jednotlivých porostů, jako například obsah humusu, stupeň humifikace a obsah celkového organického uhlíku v půdě. Bylo potvrzeno, že půdní ekosystém podléhá dynamickému vývoji v průběhu roku, k čemuž mimo jiné přispívá i primární půdní organická hmota. Kvalita organické hmoty se mění v závislosti na druhu trávy a stylu, jakým jsou pěstované traviny ošetřovány v průběhu roku, přičemž lepších výsledků dosahovaly hnojené části. V konečných měření byl například zjištěn výrazný nárůst obsahu a kvality primární půdní organické hmoty u obou druhů nebo zvýšený obsah půdního organického uhlíku.

Klíčová slova: primární půdní organická hmota, energetické trávy, humus, půda

Abstract

An important thing that is influencing quality of yields or biomass for agricultural purposes and sources for biogas plants is important quality of soil organic matter. It has a major impact on individual attributes of soil organic matter and environment. Over the years have been made many methods which are still upgrading. This bachelor thesis use one of the new method for rating quality of primary soil organic matter by constant of oxidation in soils of energetic grasses *Festuca Arundinacea* and *Phleum pratense*. These grasses were grown on experimental fields of the Faculty of Agriculture of the University of South Bohemia in České Budějovice. It has been rating attributes of soil samples from individual grasses such as humus content, degree of humification process and content total organic carbon in the soil. It was confirmed that soil ecosystem is subject to dynamic succession during the year. For this succession helps primary soil organic matter. The quality of soil organic matter depending on the type of grass and also style of how every grass is cultivated during the year. Fertilized parts achieved better results. For example in the final measurements was found to increase the quantity and quality of primary soil organic matter for both species of grasses or an increased content of soil organic carbon.

Key words: primary soil organic matter, energetic grass, humus, soil

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Literární rešerše	11
2.1 Půda	11
2.1.1 Vznik.....	11
2.1.1.1 Půdotvorné faktory	12
2.1.1.2 Půdotvorné podmínky.....	13
2.2 Pěstování trav pro energetické využití	14
2.2.1 Vybrané druhy energetických trav	14
2.2.1.1 Kostřava rákosovitá (<i>Festuca arundinacea Schreb.</i>).....	15
2.2.1.2 Bojínek luční (<i>Phleum pratense L.</i>).....	16
2.2.1.3 Srha laločnatá (<i>Dactylis glomerata L.</i>).....	17
2.2.1.4 Szarvasi-1 (<i>Elymus Elongatus</i>).....	17
2.2.2 Možnosti zpracování	19
2.2.2.1 Spalování	19
2.2.2.2 Bioplyn.....	20
2.3 Půdní organická hmota	21
2.3.1 Definice půdní organické hmoty	21
2.3.2 Význam půdní organické hmoty	22
2.3.3 Současná praxe hodnocení půdní organické hmoty	23
2.3.4 Humus	24
2.3.4.1 Humifikace.....	24
2.3.4.2 Huminové kyseliny (HK).....	25
2.3.4.3 Fulvokyseliny (FK).....	25

2.3.4.4	Huminy	26
2.3.4.5	Kvalita humusu.....	26
2.3.5	Primární půdní organická hmota.....	27
2.3.5.1	Kvalita primární půdní organické hmoty.....	28
3.	Cíle a hypotézy	29
4.	Materiál a metodika	30
4.1	Popis lokality	30
4.2	Založení a hnojení experimentálních porostů.....	31
4.3	Odběr a zpracování vzorků.....	32
4.3.1	Stanovení kvality primární půdní organické hmoty.....	32
4.3.1.1	Laboratorní práce.....	32
4.4	Zpracování výsledků	33
5.	Výsledky a diskuze	34
5.1	Popisné statistiky	34
5.2	Určení rychlostní konstanty k primární půdní organické hmoty.....	34
5.3	Změny obsahu primární půdní organické hmoty v čase.....	37
5.4	Obsah organického uhlíku.....	39
5.5	Stabilní organické frakce	41
5.5.1	Obsah humusu.....	41
5.5.2	Stupeň humifikace.....	43
6.	Závěr	45
7.	Použitá literatura	47
8.	Přílohy.....	52

1. Úvod

Půda je významnou součástí většiny nejen lidských životů na planetě. Probíhá v ní nespočet dlouhodobých procesů, díky nimž může existovat život v podobě tak, jak ho známe. Právě ona délka procesů je důvodem, proč je půda často považována za neobnovitelný zdroj a je potřeba ji chránit. V pedologii stále dochází k vytváření nových studií a poznatků, které by tomuto cíli mohly napomoci.

Primárním zdrojem organického materiálu je fotosyntézou akumulovaný uhlík. Půdní organický uhlík představuje významnou zásobárnu uhlíku v rámci jeho globálního koloběhu. Pozitivně přispívá k řadě biologických, fyzikálních a chemických vlastností, které jsou důležité z hlediska potenciální produktivity půdy.

V České republice v posledních desítkách let dochází ke zmenšování velikosti živočišné produkce, a tedy i k úbytku přirozených organických hnojiv, což v kombinaci nejen s nesprávně volenými osevními postupy vede ke snižování obsahu organické hmoty v půdě. Na nezanedbatelných plochách je pěstována například kukuřice setá nebo řepka olejná pro energetické využití. Jejich dlouhodobé pěstování však může negativně ovlivňovat ornou půdu i další složky životního prostředí. Možným řešením je jejich náhrada energetickými trávami. Je známo, že působení rhizosféry na půdu má řadu pozitivních účinků, včetně zvyšování obsahu půdní organické hmoty.

Cílem práce bylo sledování obsahu a kvality půdní organické hmoty ve vzorcích půd odebíraných z porostů vybraných energetických trav v pravidelných intervalech.

2. Literární rešerše

2.1 Půda

2.1.1 Vznik

Půdy vznikají dlouhodobým plynulým procesem, který je závislý hlavně na vlastnostech matečné horniny, okolního prostředí a biotických i abiotických faktorech (Urban a Šarapatka, 2003). Její zvětrávání je doprovázeno rozdrobováním, rozpouštěním a dalšími chemickými pochody, díky kterým vzniká půdotvorný substrát a rozpuštěné látky, které jsou zdrojem pro pionýrské organismy. Ty jsou důležité pro další utváření půdy, především dodáváním organické hmoty a prvků, které obvykle v matečné hornině chybí – uhlík a dusík. To řeší autotrofie, která je společnou vlastností všech pionýrských organismů. Pomocí ní jsou organismy schopné fixovat uhlík pro stavbu těl z oxidu uhličitého a schopnost získávat vzdušný dusík, ten napomáhá k obohacení substrátu a podporuje rozvoj rostlin (Šantrůčková, 2018).

Významný vliv na utváření půd mají půdotvorné faktory, půdotvorné podmínky a v neposlední řadě člověk (Šarapatka, 2014). Podle Pokorného a Šarapatky (2003) je přeměna horniny v půdu dlouhodobým procesem, u kterého mohou být pozorována tři postupná stádia vývoje:

- a) Fyzikální rozpad: v prvním stádiu vzniká zvětralina. Mechanickým a fyzikálním zvětráváním se geologická hornina rozpadá na různě velké částice a mění se v půdotvorný substrát. Chemické změny v tomto stádiu probíhají minimálně.
- b) Chemické působení: ve druhém stádiu dochází působením vody, rozpuštěných solí, kyselin, atmosférického kyslíku a oxidu uhličitého k chemické přeměně zvětralin a ke zvýšenému vyplavování živin do okolí. Probíhají zde různé reakce, především hydratace a rozpouštění.
- c) Vznik půdního typu: ve třetím stádiu vzniká pomocí půdotvorného procesu půda neboli půdní typ. Má určitý tvar a je složena z vrstev, které nazýváme půdní horizonty.

Všechny tři stádia vývoje půd probíhají zároveň a k tomu, aby se vytvořil daný půdní typ, je potřeba řádově tisíce let. Podle Šantrůčkové (2018) se dá zvětrávání rozdělit na fyzikální, chemické a biologické. Kde biologické zvětrávání je spjato s předchozími dvěma procesy, jedná se vlastně o všechny životní pochody organismů v půdě.

2.1.1.1 Půdotvorné faktory

Biologický půdní faktor: půda je domovem mnoha organismů. Souhrnně se nazývají edafon. Edafon se dle velikosti rozlišuje na mikroedafon, mezoedafon a makroedafon. Obsah edafonu v půdě je důležitým ukazatelem kvality půd, neboť edafon dodává do půdy organické látky, vegetace se podílí na zvětrávání matečné horniny a mimo jiné se podílí i na koloběhu prvků v půdě (Šimek, 2005). Organismy žijící v půdě také utváří prostředí, v němž žijí, a společně s vegetací tvoří jeden z půdotvorných faktorů (Paul a Clark, 1996).

Klima: v Česku je významným půdotvorným faktorem, který může působit buď přímo nebo nepřímo. Charakteristickým znakem jsou srážky a výpar, jejichž poměr stanovuje obsah vody v půdě, a dále určuje rychlost ostatních procesů (Šarapatka, 2014). Mimo jiné patří mezi základní faktory, které ovlivňují vznik a následující vývoj půd (Šimek a kol., 2019).

Matečná hornina: je zdrojem vlastností ovlivňující zrnitostní složení a půdní úrodnost. Například určuje, zda se jedná o písčitou, hlinitopísčitou nebo jílovitou půdu apod. (Urban a Šarapatka, 2003). A podle Šarapatky (2014) zrnitost ovlivňuje i propustnost vzduchu a vody, čímž může nepřímo ovlivňovat rychlost a sílu půdotvorných procesů.

Podzemní voda: ovlivňuje půdotvorný proces společně s klimatem. Svoji vyšší hladinou může negativně ovlivňovat zakořeňování vegetace nebo vyplavovat minerály a soli do povrchových vrstev, čímž může způsobit zasolení, a naopak, svoji nižší hladinou způsobuje horší podmínky pro rostliny, které tak zůstávají odkázány na srážkovou vodu (Urban a Šarapatka, 2003).

2.1.1.2 Půdotvorné podmínky

Čas: na základě působení faktorů na půdu je rychlost vývoje odlišná (Šimek, 2005). Po určitý časový úsek působí řada podobných půdotvorných procesů pozitivně, nebo negativně (Sáňka a kol., 2004). Stáří lze rozlišit na absolutní a relativní. Absolutním stářím je označován úsek, během kterého je substrát na určitém místě a je vystaven půdotvorným procesům. Relativní stáří je doba, po kterou určité faktory ovlivňují sílu půdotvorných procesů (Šarapatka 2014).

Reliéf terénu: Šimek a kol. (2019) uvádí, že reliéf terénu je významnou půdotvornou podmínkou, která ovlivňuje vývoj půdy v rámci větších územních celcích i v detailním měřítku. Urban a Šarapatka (2003) definují reliéf terénu jako podmínku, jež ovlivňuje intenzitu projevů faktorů a zařazují sem vlastnosti jako je sklonitost svahů, expozice a nadmořská výška. Členitost terénu pak ovlivňuje kvalitu půd a vsakování vody.

2.2 Pěstování trav pro energetické využití

Česká republika se členstvím v Evropské unii zavázala k šetrnějšímu přístupu k životnímu prostředí a k většímu využívání obnovitelných zdrojů energie. Proto přijímá různé motivační zákony a opatření. Například zákon č. 180/2005 Sb, o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (OZE), podporuje zvýšení podílu biomasy rostlinného původu v energetickém mixu. Jedním z pozitiv těchto opatření je, že lze využít odpadní biomasu i biomasu pěstovanou za tímto účelem. Pěstování trav je dobrou alternativou pro neobnovitelné zdroje energie a není omezeno lokalitou (Stražil a kol., 2011). V roce 2019 bylo pěstováno na obhospodařované zemědělské půdě 991 838 ha trvalých travních porostů (TTP), což je 28,1 % z celkové výměry (ČSÚ, 2019).

Zastoupení ploch TTP stoupá s nadmořskou výškou. V kukuřičných a řepařských oblastech zabírají pouze plochu 5 % z celkové výměry obhospodařované půdy a jejich výskyt je omezen hlavně na podmáčené, svažité nebo kamenité plochy. V bramborářské oblasti se zastoupení energetických trav zvyšuje na 20–30 %. V horských oblastech již dominují na 70 % (a více) ploch. Z toho jasně vyplývá, že tento druh produkce nepředstavuje nikterak velkou konkurenci pro pěstování kulturních plodin na orné půdě a je vhodnou alternativou správného hospodaření s travními porosty (Grendtová a kol., 2018). V současnosti v České republice průměrné výnosy ze všech trvale travních porostů činí 3–3,6 t/h (Syrový a kol., 2004). Je ovšem nutné zmínit, že ne všechny porosty trav jsou využívány v energetice. Stále převládá jejich pícní využití.

2.2.1 Vybrané druhy energetických trav

Energetické rostliny by měly disponovat vlastnostmi jako je rychlý růst a odolností vůči nižším teplotám, která by i napomáhala snadnějšímu přezimování u vytrvalých rostlin. Pro pozdější účely spalování by měl být ideální obsah popelovin a dusíku ve fytomase nižší. Mezi další významné vlastnosti se řadí rezistence vůči chorobám a škůdcům, odolnost vůči suchu anebo vysoká konkurenční schopnost. (Havlíčková a kol., 2008).

Mezi výkonné druhy energetických trav, které lze použít i na plochách s vyšší nadmořskou výškou (400 m n. m. a více), Strašil a kol. (2011) doporučuje zejména trávy čeledi lipnicovité, a to vytrvalého i jednoletého charakteru. Doplnuje, že z řady důvodů jsou upřednostňovány vytrvalé druhy. Dodržováním správných agrotechnických opatření při zakládání porostů a následnou péčí během růstu vegetace lze dosáhnout stabilních výnosů po více let. Jednoleté energetické rostliny mají výhodu rychlé produkce. Agrotechnické zásahy na jejich plochách (setí, sklizeň) mohou být prováděny běžnou zemědělskou technikou a poměr mezi získanou a vloženou energií běžně činí 2:1 (Weger a kol., 2012). Kára a kol. (2005) tento poměr určuje na 15–5:1. U víceletých pak podíl určuje na 1:75–125 (v závislosti na výnosech a intenzitě pěstování). Pro pokusy této práce byly použity následující druhy trav:

2.2.1.1 Kostřava rákosovitá (*Festuca arundinacea* Schreb.)

Kostřava rákosovitá je řazena do hustě trsnatých trav (Veselá a kol., 2007) ozimého charakteru (CZ Biom, 2011). Vyznačuje se krátkými podzemními výběžky, ale i bohatě vyvinutým kořenovým systémem, který prorůstá do hloubky až 150 cm. Díky tomuto systému lehce absorbuje živiny a vlhkost z okolního prostředí. Charakteristickým znakem kostřavy je její vzrůst, kdy běžně dorůstá do výšky až dvou metrů (Veselá a kol., 2007). Díky své vysoké toleranci a přizpůsobivosti vůči klimatickým nebo půdním podmínkám dokáže kostřava obrůstat brzo z jara a zůstat zelenou až pozdě do podzimu. Příkladem může být přetrvání nepříznivých podmínek bez poškození během krátkodobého zamokření nebo sucha (Strašil a kol., 2011). Růst probíhá během jara a poté na podzim (Veselá a kol., 2007). Přírozeným habitatem kostřavy jsou plochy s vyšší půdní vlhkostí (CZ Biom, 2011), proto se jí daří na vlhčích loukách tvořených slanějšími půdami disponujícími vyšší hodnotou pH (Strašil a kol., 2011). Případně na lokalitách disponujících vyšší hladinou podzemní vody. Vysévá se zpravidla do krycí plodiny nebo v monokulturách, pozemek před vysetím kostřavy musí být dokonale odplevelen. Zvláště pak problémovým druhem pro pěstování kostřavy může být pýr plazivý (*Elytrigia repens* L.) nebo předešlý výskyt srhy laločnaté (*Dactylis glomerata* L.) v lokalitě. Ta se může lehce stát budoucí nedílnou, znehodnocující složkou osiva. Pro pozdější energetické účely je optimální hustější výsev v užších řádcích (CZ Biom, 2011). Výnosy fytomasy kostřavy se

mohou lišit podle času a způsobu sklizně. V prvním užitkovém roce uvádí Frydrych a kol. (2001) výnosy z monokultury kostřavy v plné zralosti 5,29 t/ha, ve druhém roce autoři uvádějí, že výnosy stouply na 10,11 t/ha. Podle autorů Fialy a Tichého (1994) lze dosáhnout při použití třech sečí průměrných výnosů 8,42 t/ha. Stražil a kol. (2011) shrnuje, že výnosy sušiny fytomasy v podmínkách České republiky se zpravidla pohybují od 5 t/ha do maximálně 13 t/ha. V současnosti jsou šlechtěny nové druhy a v posledních pěti letech se rozrostl počet píceň odrůd kostřavy rákosovité na osm (Kraus a Říha, 2016).

2.2.1.2 Bojínek luční (*Phleum pratense* L.)

Bojínek luční je řazen do volně trsnatých trav víceletého charakteru. Díky příznivým podmínkám může dorůstat výšky nad 1 m (Regal, 1972). Po zasetí se vyznačuje rychlým růstem (semena mohou vzházet už čtrnáct dnů po zasetí), avšak plné produkce dosahuje až během druhého roku. Odnožování probíhá převážně extravaginálně a není výjimkou, že v populaci se mohou vyskytovat jedinci ozimého i jarního charakteru. V lokalitě je schopen vydržet šest až deset let. Vytváří bohatý kořenový systém, který je uložen poměrně mělce, přibližně do 10 cm hloubky (Velich, 1994) a to i na lokalitách s kypřejší půdou (Regal, 1972). V českých podmínkách patří bojínek mezi nejproduktivnější druhy trav s výnosy dosahujícími až 15 t/ha (Petřík, 1987).

Bojínek luční nemá příliš velké nároky na podmínky okolního stanoviště. Je schopný odolat dlouho se vyskytujícímu sněhu i naopak holomrazům (Velich, 1994). Mezi nevyhovující půdy patří lehké suché půdy v kukuřičných a řepařských výrobních oblastech. Tyto půdy mohou negativně ovlivňovat vitalitu a výnosy fytomasy. Za optimální půdy jsou stejně jako u kostřavy považovány střední nebo těžší půdy s vyšší vlhkostí, lokality s častějšími a objemnějšími srážkami (Velich, 1994). Případně lokality s vyšším úhrnem srážek ve vyšších nadmořských výškách (Klesnil, 1978). Další aspekt, vůči kterému je poměrně tolerantní, je půdní reakce. Bez problémů roste na lokalitách s pH 3,6 až 7,2. Roční příjmy dusíku pro optimální růst by měly činit 100 kg/ha (Klesnil, 1978).

2.2.1.3 Srha laločnatá (*Dactylis glomerata* L.)

Srha laločnatá, nebo také říznačka, je řazena do skupiny volně trsnatých trav. Patří mezi vysoce výnosné trávy v nejrůznějších klimatických podmínkách (Velich a kol., 1994). Šantrůček a kol. (2001) ji řadí do volně trsnatých trav ozimého charakteru, čeledi lipnicovité (*Poaceae*). Srha v prvním roce nemetá. Je vytrvalého charakteru, na ploše za správné péče vydrží 6–10 let, kdy maximálních výnosů dosahuje již v 2–3. roce po zasetí. Zpravidla pátý rok se výnosový potenciál vlivem stáří a vitality vegetace zmenšuje a s přibývajícimi roky klesá. (Vrzal a Novák, 1995). Vykazuje velmi vysokou konkurenční schopnost, což přispívá k její oblibě. Mezi vlastnosti konkurenceschopnosti patří například obrůstání jako jedné z prvních trav, rychlá regenerační schopnost (vlivem brzkého obrůstání na jaře může docházet k poškození mrazíky), či mohutnost trsu a listů (Šantrůček a kol., 2001). Ideální lokality pro pěstování jsou mezofytní stanoviště s optimálním množstvím vody. Dlouhodobější zamokření plochy stanoviště trávě příliš nevyhovuje a může být komplikací i mimo vegetační dobu. Vhodné půdy pro pěstování srhy by měly disponovat dostatečnou vlhkostí, písčitohlinité až hlinité s optimálním pH 6. Naopak, za nevyhovující půdy považují autoři Vrzal a Novák (1995) těžké nebo velmi lehké půdy. Dodávají, že lehké, vysychavé půdy podmiňují nižší výnosy a trávy poté obsahují více křemíku.

Evapotranspirační koeficient srhy je výrazně nižší než u ostatních trav (250–400), (Petřík a kol., 1987). I přesto je podstatným výnosovým prvkem dusík, jenž umí srha výborně zúročit (Stražil a kol., 2011). Při víceletém opakování, trojsečném využití a hnojení dusíkem 100 kg. ha⁻¹ je možné dosáhnout výnosů až 13,2 t.ha⁻¹ (Šantrůček a kol., 2007).

2.2.1.4 Szarvasi-1 (*Elymus Elongatus*)

Szarvasi-1 je vytrvalá tráva původně rozšířená v okolí od Iberského poloostrova, celého středomoří až po pobřeží Černého moře. V tomto rozlehlém prostředí se nachází dva morfologicky velmi rozdílné podruhy (Csete a kol., 2011).

Druh *Elymus Elongatus* je nazýván mnoha synonymy. Je tomu tak proto, že se pro tento druh stále používá nejednotná nomenklatura, což může způsobovat menší komplikace (Kažmierski a kol., 2008). V této práci je proto tento druh rozdělen

následovně: slabší a kratší *E. elongatus* (Host) Runemark subsp. *Ponticus* (Podp.) převážně se vyskytující v západní lokalitě Středozemního moře. A dále *E. elongatus* (Host) Runemark subsp. *Ponticus* (Podp.) Melderis, který je vyšší a robustnější, vyskytuje se ve východní lokalitě Středozemního moře. *E. elongatus* (Host) Runemark subsp. *Ponticus* (Podp.) Melderis se přirozeně vyskytuje i v Maďarsku, kde nedávno bylo zavedeno i pěstování tohoto poddruhu za účelem získávání biomasy a jejího následného spalování formou pevných biopaliv (Csete a kol., 2011). Němec (2014) ve své práci tvrdí, že jako krmivo se tato tráva rozšířila a využívala již v roce 1909 zemědělci v USA, Kanadě či Austrálii.

Szarvasi-1 vytváří nitkovité kořeny, které během růstu zakořeňují do hloubky až 2,5 m (Bikazugi mezögazdasági nonprofit KFT, 2004). Tvoří robustní, málo olistěný stonek. Poměrně dobře je tato tráva uzpůsobena k odolávání vůči sušším klimatickým podmínkám. Odolá teplotám dosahujícím 35 °C. Na listech a stonku se vytváří sklerenchymatický povrch pokrytý silnou vrstvou pokožky, díky čemuž může vykazovat zvýšenou odolnost vůči suššímu klimatu a odolává chorobám typu rzi, padlí apod. Za optimálních podmínek může stéblo dorůst výšky až 180–220 cm. Co se týče půdy má podobné nároky jako pšenice nebo například ječmen. Avšak bylo pozorováno, že vývoj Szarvasi-1 probíhá rychleji na půdách lehčích než středních a těžších. Optimální půdní reakce by se měla pohybovat v rozmezí 5–9 pH (Bikazugi mezögazdasági nonprofit KFT, 2004). Csete a kol. (2011) uvádějí hodnoty 6,5–10 pH. Vyšších výnosů dosahuje až ve druhém roce, kdy výnos sušiny za správného dodržení agrotechnických opatření může dosáhnout 10–15 t/ha. Životnost na pozemku se pohybuje kolem deseti až patnácti let. Sušina trávy disponuje výhřevností 14–17 MJ/kg. To je podobná výhřevnost jako u některých rychle rostoucích dřevin (RRD), jako je například topol nebo vrba, či hnědého uhlí. Pro průmyslové využití je doporučena seč pouze jednou ročně (Bikazugi mezögazdasági nonprofit KFT, 2004).

Szarvasi-1 je s jinými travami velice perspektivní rostlinou disponující vysokou škálou uplatnění. Kromě využívání pro energetické účely (spalování, výroba bioplynu) ji lze uplatnit i v odvětvích jako například papírenství, textilní průmysl, krmivářství nebo může napomáhat biologické ochraně půd (Bikazugi mezögazdasági nonprofit KFT, 2004).

2.2.2 Možnosti zpracování

Fytomasa je podle Fuksy (2009) definována jako veškerá organická hmota rostlinného původu vznikající v přírodě v průběhu fotosyntézy. Její složení je důležitým aspektem pro další nakládání s energetickými rostlinami a mělo by se brát v potaz již od samého začátku pěstování. Během růstu v těle rostlin totiž dochází ke změnám obsahu látek ovlivňující vlastnosti rostlin. Zejména důležitý pak bývá obsah celulózy, hemicelulózy nebo ligninu (Jasinkas a kol., 2008). Dále Fuksa (2009) uvádí, že významným parametrem pro další zpracování fytomasy jsou její chemické a fyzikální vlastnosti či obsah sušiny. Hrabě a Buchgraper (2004) dále doplňují, že právě obsah sušiny ve sklizené travní hmotě může být příznivě ovlivněn agrotechnickými zásahy. Například hnojení či sečení ve správný čas určuje její další využití. Z pohledu energetického zpracování fytomasy jsou v současnosti nejvíce upřednostňovány postupy pro přímé spalování nebo pro kogeneraci (Frydrych a kol., 2002; Kára a kol., 2004; Stražil, 2008). Další poměrně běžný postup je výroba bioplynu (Geber, 2002). Dalším potenciálním odvětvím pro využití fytomasy z energetických trav může být i papírenský průmysl (Saijonkari–Pahkala, 2001).

Travinami, jako zdrojem energie, se již zabývala řada autorů. Mezi hlavní aspekty pro rozdělení použití jejich biomasy zařazuje Pastorek a kol. (2004) obsah vody. Obsah sušiny v biomase ovlivňuje, pro jaké procesy získávání energie se materiál dále hodí. Materiál s obsahem více jak 50 % sušiny se hodí k suchým procesům získávání energie (např. termochemické procesy – spalování, zplynování, pyrolýza) a materiál s menším podílem než 50 % se naopak hodí k mokřým procesům (zejména výroba bioplynu anaerobní fermentací), (Fuksa, 2009).

2.2.2.1 Spalování

Spalování je nestarší a nejrozšířenější metodou spadající pod termochemické procesy. Při vysokých teplotách přesahující 660 °C se materiál organického původu přetváří a rozpadá se (shoří). Spalováním vzniká teplo, které se může využít také pro výrobu páry a následně elektřiny. Pro travní fytomasu určenou pro spalování doporučuje Stražil a kol. (2011) především jednorázové sklizně. Uvádí, že u většiny trav dochází k hlavnímu přírůstku fytomasy během kvetení nebo i krátce po odkvětu.

Důležitý je termín sklizně. A to ideálně pozdně podzimní nebo časně z jara, kdy fytomasa obsahuje nejméně vody. Někdy je potřeba fytomasu dosušit.

2.2.2.2 Bioplyn

Bioplyn je produkován během vícestupňového procesu takzvané anaerobní digesce, tedy složitého rozkladu organických látek pomocí mikroorganismů za nepřístupu vzduchu, na jehož konci vzniká plyn, převážně složený z metanu (CH_4) a oxidu uhličitého (CO_2), (Stupavský a Holý, 2010). Kára a kol. (2007) doplňuje, že se jedná o působení metanogenních, acetotrofních a hydrogenotrofních mikroorganismů. Kromě mikroorganismů mají na další průběh procesu vliv např. vlastnosti nebo složení materiálu, míra vlhkosti, teplota prostředí či hodnota pH.

2.3 Půdní organická hmota

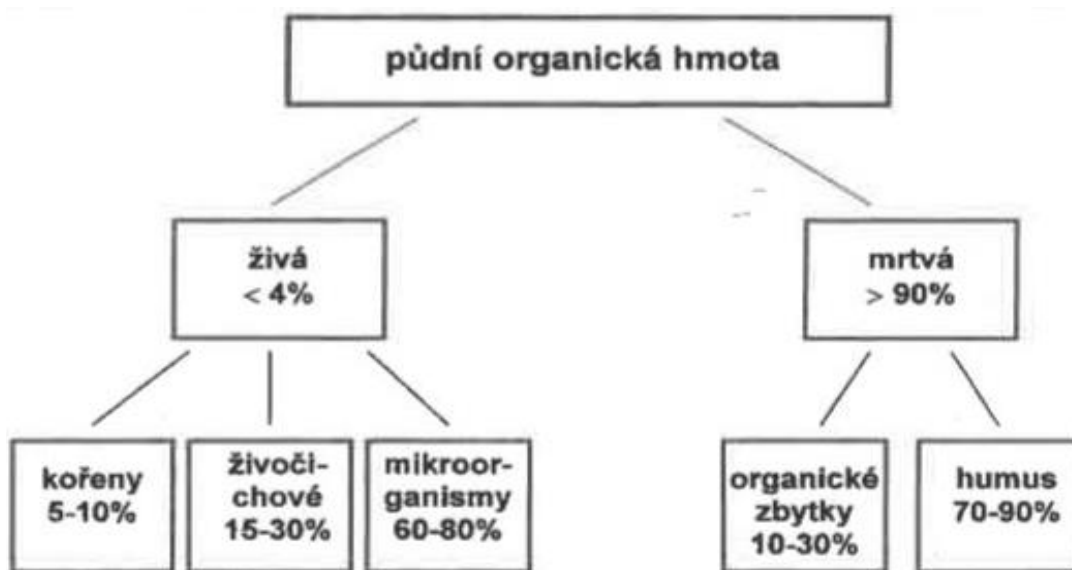
2.3.1 Definice půdní organické hmoty

Půdní organická hmota (soil organic matter, SOM) má mnoho definic. Schitzer (1991) jako SOM označuje součet všech organických látek obsahujících uhlík. Badlock a Nelson (2000) ji definují jako velmi heterogenní směs. Jako „sumu všech přírodních a termálně změněných látek biologického původu, které se nacházejí v půdě nebo na půdním povrchu, jakéhokoliv původu, živých nebo odumřelých organismů v jakékoli fázi rozkladu, s výjimkou nadzemních částí živých rostlin“. Váchalová a kol. (2016) říká, že z této směsi vzniká řada poloproduktů v exotermickém rozkladném procesu mineralizace i endotermickém syntetickém procesu humifikace, včetně samotných produktů humifikace: fulvokyselin, huminových kyselin, huminů, solí, adsorbčních komplexů a dalších reakčních produktů. Lehmann a Kelber (2015) doplňují, že půdní organická hmota je vlastně kontinuem rozkladu organických sloučenin.

V souhrnném pojetí lze půdní organickou hmotu chápat jako organický podíl půdy tvořený všemožnými organickými látkami. Obvykle se ale edafon do půdní organické hmoty nezapočítává. SOM má i přes svůj nepoměr obsahu v půdě s ostatními složky velmi významnou roli v ovlivňování chemických a fyzikálních vlastností. Obvykle se na ni vztahuje třetina kationtové výměnné kapacity a mimo jiné je i hlavním zdrojem obživy většiny mikroedafonu (Šimek, 2005).

Pozitivní význam půdní organické hmoty je všeobecně známý a v odborné literatuře dobře popsán aspekt. Je významným faktorem ovlivňujícím půdní úrodnost, kterou prokazatelně zvyšuje a má vliv i na fyzikální a chemické vlastnosti půdy, což může napomoci k ochraně půdy vůči negativním vlivům (Kubát a kol., 2008). Míra obsahu může ovlivnit stabilitu půdních agregátů (Darwish a kol., 1995) a zadržování živin s vodou (Leroy a kol., 2008).

Obr. č. 1: Rozdělení půdní organické hmoty



(Zdroj: Šimek, 2005)

Obsah SOM v půdě se často liší a není jednoduché ho přesně určit. Svrchní vrstvy minerálních půd zpravidla obsahují několik procent SOM (Šimek a kol., 2019). Schitzer (1991) toto dále upřesňuje a uvádí příklad, že průměrný obsah organické hmoty v zemědělských půdách se pohybuje kolem 1–5 % ve svrchních 15 centimetrech.

2.3.2 Význam půdní organické hmoty

Půdní organická hmota zajišťuje výměnu živin, energie a půdního organického uhlíku mezi půdním prostředím, vodním prostředím a atmosférou (Lehmann a Kelber, 2015). Velmi důležitá je i pro zemědělskou produkci, kvalitu vod a klima. Význam půdní organické hmoty spočívá mimo jiné v tom, že obsahuje a zadržuje více organického uhlíku než veškerá světová vegetace. Z tohoto důvodu může uvolnění a následná přeměna i malého podílu uhlíku na následný oxid uhličitý nebo metan mít velké následky pro globální klima. Navíc může zadržovat živiny obohacující úrodnost půdy i škodlivé polutanty, čímž může chránit nejen kvalitu podzemních vod (Lehmann a Kelber, 2015).

Půdní organická hmota je jedním z hlavních činitelů, který prostřednictvím svých chemických, biologických a fyzikálních funkcí ovlivňuje samotný růst rostlin (Snitzer, 1991):

- a) Chemické funkce: umožňují SOM interagovat s kovy, hydroxidy a oxidy kovů obsažených v půdě, vytvářet s nimi komplexy a ukládat významné prvky jako síru, fosfor nebo dusík jako zdroj energie (Schnitzer, 1991).
- b) Biologické funkce: mají hlavní význam v tom, že poskytují uhlík jako zdroj energie bakteriím vázajícím dusík. Díky této symbióze roste příjem živin, růst rostlin, zvyšují se výnosy apod. (Prakash a Macgregor, 1983).
- c) Fyzikální funkce: podle Schnitzera (1991) SOM může stimulovat různé fyziologické a biochemické procesy spojené s metabolismem celulózy a dále upozorňuje na toxicitu těžkých kovů a dalších toxických organických látek, které může SOM fixovat.

Kolář a kol. (2009) považuje za dvě hlavní funkce půdní organické hmoty v půdě její kapacitu mineralizace s uvolňováním energie pro mikroedafon, oxid uhličitý a minerální látky. A iontovou výměnou kapacitu. To je typické hlavně pro produkty humifikace, které jsou odolnější vůči mineralizaci.

2.3.3 Současná praxe hodnocení půdní organické hmoty

Od 60. let minulého století probíhá v pedologii intenzivnější výzkum zabývající se huminovými látkami (Strosser, 2010). Avšak až v posledních letech se pozornost obrací k labilní půdní organické hmotě jako dobrému ukazateli kvality půdy a životního prostředí (Ghani a kol., 2003). Běžně se užívají dva typy analytických metod. Fyzikální, chemické a biochemické analýzy neživého substrátu a metoda stanovování mikrobiální aktivity (Strosser, 2010).

S novou metodou přišel kolektiv Kopeckého a kol. (2016), kde kvalitu primární půdní organické hmoty (PPOH), čili nezhumifikované půdní organické hmoty, v jednotlivých vzorcích hodnotí pomocí rychlostní konstanty k její oxidace. Pro účely této metody je důležitá hodnota rychlostní konstanty k , kterou kolektiv vypočetl

pomocí reakční kinetiky oxidace primární organické hmoty v jednotlivých vzorcích půdy.

2.3.4 Humus

Pojem humus je velmi diskutabilní a podle různých autorů se jeho definice a rozdělení velmi liší. Například Šarapatka (2014) humus rozděluje podle funkcí organických látek na tři základní skupiny: humusotvorný materiál, meziprodukty humifikačních procesů, vlastní humus, humus živný, humus stálý apod.

Vrba a Huleš (2016) rozdělují humus podle původu na: polní, luční, lesní (ten se podle typů kultur dále dělí na humus z: jehličnatých, listnatých a smíšených porostů), vřesovištní a z mokřadů a rašelinišť. Podle složení a promísení s minerálním podílem na horizontální, který se dále může dělit na humus primární – autochtonní (je uložen v místě vzniku) a humus sekundární – alochtonní (ten je přemístěn z místa vzniku). Vertikální humus dělí na samostatný a smíšený. Tito autoři humus dělí také podle velikosti částic a struktury. To jsou například půdní ústrojné zbytky (opad listů, jehličí, strniště), surový hrubý humus (rašelina), jemný amorfní humus, koloidně až molekulově disperzní humus (vytváří soli a pravé roztoky). Podle reakce a sorpční nasycenosti rozeznávají tři formy: kyselý, neutrální a alkaický.

V této práci je však využito dělení podle Koláře a kol. (2014). Ten považuje za humus výhradně organické látky, které prošly humifikačními procesy. Jedná se tedy o fulvokyseliny, huminové kyseliny a huminy. Zbylou SOM nazývá primární půdní organickou hmotou (PPOH).

2.3.4.1 Humifikace

Během procesu humifikace dochází k přeměně meziproduktů, vzniklých mineralizací, na složitější látky projevující se koloidní povahou (Pokorný a Šarapatka, 2003). Humifikace je dlouhodobý obtížný syntetický proces, při kterém za střídavého přístupu a nepřístupu vzduchu a periodického vysychání a zavlažování dochází k přeměnám (např. biosyntéza, rozklad, resyntéza, biodegradace, kondenzace, polymerace) primární půdní organické hmoty a vytváření specifických látek. Tyto tmavé látky bývají často koloidního charakteru s vysokou molekulovou hmotností a

disponují převahou kyselých funkčních skupin (Kolář a kol., 2014). Šimek a kol. (2019) doplňuje, že pro správný průběh humifikace je rovněž důležité příznivé chemické prostředí, které zahrnuje například půdní reakce blízké neutrálním hodnotám, či dostatečný obsah vápenatých kationtů v okolním prostředí.

Huminové látky jsou významnou složkou půdní organické hmoty nejen v zemědělských půdách, ale i v ostatních systémech, jako například v rašeliništích nebo v povrchové a podpovrchové vodě. Podle své extrahovatelnosti se rozřazují na huminové kyseliny, fulvokyseliny a huminy. Dále se liší chemickým složením a molekulovou hmotností (Havelcová a kol., 2011).

2.3.4.2 Huminové kyseliny (HK)

Jsou vnímány jako hydrofilní, kyselé látky s vysokou molekulární hmotností (Tan, 2003). Skybová (2006) uvádí, že huminové kyseliny jsou jednou z nejdůležitějších půdních složek. Vyznačují se velkým obsahem uhlíku (52–65 %) a kyslíku (30–39 %) a menším množstvím dusíku (3–5 %) a vodíku (2,5–5 %). Od ostatních humusových látek se odlišují tmavou barvou nebo svou nerozpustností v kyselinách (Šimek a kol., 2019). Mezi hlavní pozitivní vlastnosti huminových látek týkajících se půdy a zemědělství všeobecně patří jejich stimulační vliv na rostliny a mikroorganismy vyskytující se v půdě, dále pak výrazné zvyšování produkce a podpora kořenových systémů rostlin, což může významně omezit erozi v krajině (Kolář a kol., 2014).

2.3.4.3 Fulvokyseliny (FK)

Šimek a kol. (2019) popisuje fulvokyseliny jako látky s nižší asociací především hydrofilních molekul, které jsou dobře rozpustné a snadno podléhají rozkladu. Molekuly fulvokyselin se skládají z uhlíku, kyslíku (ty mohou dosahovat až 49 % obsahu), 6 % vodíku a 1–5 % dusíku. Mohou vytvářet sloučeniny s kovy a tím napomáhat proudění minerálních látek v půdě nebo přeměně fosforu v přijatelnou formu pro rostliny. Vyznačují se nižší molekulovou hmotností a světlejší barvou než huminové kyseliny (Kolář a kol., 2014).

Vykazují schopnost vysoké pohyblivosti díky své rozpustnosti v alkalických i kyselých roztocích (Mikulášková a kol., 1996). Svým obsahem mohou pozitivně i negativně ovlivňovat aciditu půdního roztoku a průběh podzolizačního půdního procesu (Kolář a kol., 2014). Skybová (2006) ještě doplňuje, že jejich výskyt je typičtější pro půdy s kyseljším pH a nižší aktivitou edafonu.

2.3.4.4 Huminy

Oproti ostatním huminovým kyselinám se huminy vyznačují vyšší molekulovou hmotností a vysokým obsahem minerálního popela (Kolář a kol., 2014). Podle Vokurkové (2010) huminy vlastními vazbami na anorganické půdní koloidy tvoří pevně vázanou část humusu v půdě. Šimek a kol. (2019) uvádí nerozpustnost huminů v kyselinách a alkalických činidlech, což je způsobeno jejich složitostí a pevnými vazbami na minerální částice. Nerozpustnost je podle Koláře a kol. (2014) spojená s neschopností oddělení vlastního vodíku, díky čemuž se nemohou uplatnit ani iontové výměny v půdě. Toto všechno z huminů dělá složku s prakticky minimálním významem pro zemědělství (Kolář a kol., 2014).

2.3.4.5 Kvalita humusu

Nejdůležitějším ukazatelem vlastností humusu je jeho kvalita. Doposud však neexistuje žádná zcela spolehlivá metoda, pouze orientační jako například poměr obsahu huminových kyselin a fulvokyselin (HK: FK) nebo barevný kvocient $E_{4/6}$. V současnosti již i tyto dvě doposud uznávané metody začínají být zpochybňovány a jsou brány spíše jako orientační (Kolář a kol., 2014). Možným novým řešením může být metoda doporučována Kopeckým a kol. (2016), kde autoři navrhují určovat kvalitu humusu na základě jeho kationtové výměnné kapacity (KVK).

Podle Vaňka a kol. (2006) rozklad humusu probíhá oproti primární půdní organické hmotě velmi pomalu, například Kolář a kol. (2014) uvádí, že poločas rozkladu jednotkového množství fulvokyselin činí 40 let. U huminových kyselin je poločas rozkladu dokonce v řádu stovek či tisíců let (viz Tab. č. 1).

Tab. č. 1: Stabilita humusových látek v půdě

složka	Poločas rozkladu
Fulvokyseliny	Několik desetiletí
Huminové kyseliny a humáty	600-3000 let
Huminy	Nad 3000 let

(Zdroj: Kolář a kol., 2014)

2.3.5 Primární půdní organická hmota

Důležitost půdní organické hmoty je všeobecně známá již dlouho. Snadno se dá vypožorovat, že půda s větším podílem organické hmoty je od pohledu tmavší, díky čemuž se lépe zahřívá, je kypřejší, její zpracování je snazší a zlepšené je i hospodaření s vodou (Váchalová a kol., 2016). I přes její důležitou a nenahraditelnou funkci se začala intenzivněji zkoumat až v 18. století. Začaly vznikat různé teorie, jako například Humusová teorie, kde A. D. Thaer tvrdil, že úrodnost zcela závisí na množství humusu v půdě nebo Minerální teorie od J. Liebiga. Minerální teorie platí dodnes, a tvrdí, že živinami rostlin mohou být jen částice minerálního původu s elektrickým nábojem a organická hmota může být zdrojem těchto iontů až po svém úplném rozkladu, tedy mineralizaci (Kolář a kol., 2014).

V současnosti pro PPOH existují různé definice. Jako například od Kopeckého a kol. (2016). Ty definují primární půdní organickou hmotu jako hmotu již téměř rozloženou, avšak neovlivněnou humifikačními procesy. Mezi hlavní zdroje se řadí kořenové exudáty, posklizňové zbytky, hnojiva organického charakteru na obhospodařované půdě a kořeny porostu. Při ideálních podmínkách pro půdní edafon se zrychluje proces mineralizace a tím pádem vzniká i větší podíl dostupných živin pro rostliny (Lalalande a kol., 2009). Kvalitu PPOH lze určovat podle úrovně stálosti organické hmoty v půdě. Důležitým znakem eventuální půdní úrodnosti může být obsah labilních frakcí v půdě (Ghani a kol., 2003).

2.3.5.1 Kvalita primární půdní organické hmoty

Nelze zcela hovořit o kvalitě půdní organické hmoty jako celku. Musí se brát v potaz, že kvalita humusu a kvalita primární půdní organické hmoty se musí hodnotit samostatně (Váchalová a kol., 2016). Kvalita záleží na stupni lability organických zdrojů. Nejlepším zdrojem pro přeměnu organických látek jsou podle Koláře a kol. (2014) kořenové exudáty a další organické látky podle jejich stupně lability. Toto tvrzení dále doplňují Váchalová a kol. (2016) tím, že kvalitní půdní organická hmota by měla obsahovat labilní, semilabilní a dokonce i semistabilní frakce.

3. Cíle a hypotézy

Cílem práce bylo sledování obsahu a kvality primární půdní organické hmoty ve vzorcích půd odebíraných z porostů vybraných energetických rostlin.

Dílčí cíle

- 1) Vytvoření a údržba jednotlivých testovacích ploch s vybranými energetickými travami.
- 2) Pravidelný odběr, úprava a analýza půdních vzorků.
- 3) Zpracování výsledků a diskuse.

Hypotéza

- 1) Půdní ekosystém podléhá dynamickému vývoji, primární půdní organická hmota reaguje na podmínky prostředí (teplota, vlhkost, obsah humusu a stupeň humifikace), proto se bude její kvalita (vyjádřená rychlostní konstantou její oxidace) lišit v závislosti na datu odběru.

4. Materiál a metodika

4.1 Popis lokality

Jednotlivé půdní vzorky byly odebírány z experimentálního pozemku Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích nacházejícího se v areálu kampusu (Obr. č. 2). Pozemek spadá do mírně teplého/mírně vlhkého klimatického regionu s nadmořskou výškou 381 m n. m. Průměrný roční úhrn srážek pro danou lokalitu činí 550–650 mm s průměrnou roční teplotou pohybující se v rozmezí 7–8 °C. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd (VÚMOP) popisuje zdejší půdy z hydrologického pohledu jako půdy s velmi malou rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující především jíly s vysokou bobtnavostí. Mezi dalšími vlastnostmi pro půdy v této lokalitě VÚMOP uvádí trvale vysokou hladinu podzemní vody, pokrytí vrstvami jílu na povrchu nebo těsně pod ním, či obsah skeletu do 25 %. Kód bonitované půdní ekologické jednotky (BPEJ) 5.53.01 zařazuje tyto půdy do 3. třídy ochrany zemědělského půdního fondu. Dle bodové škály vhodnosti produkce (6-100 bodů) je lokalita ohodnocena 42 body, tedy jako lokalita s velmi málo produkčními půdami. Pozemek popisuje jako pseudogleje převážně na rovině nebo úplné rovině se všesměrnou expozicí.

Obr. č. 2: pozemek s testovacími plochami



Zdroj: Veřejný registr půd (LPIS)

4.2 Založení a hnojení experimentálních porostů

Během vegetační sezóny v roce 2019 byly 16. 4. zasety jednotlivé druhy energetických trav, které již byly zmíněny v rešeršní části, na experimentálních plochách Zemědělské fakulty do souběžně vytvořených třiceti dvou parcel (Obr. č. 3) s rozměry $3,33 \cdot 1,5 \doteq 5 \text{ m}^2$ vždy oddělených úzkým pruhem bez vegetace. Polovina parcel (varianta M) byla hnojena poprvé v červenci 2019 dávkou 200 kg LAV/ha (54 kg N/ha) = 0,1 kg LAV/5 m². Další aplikace hnojiv proběhla po seči na jaře 2020. Konkrétně byla využita hnojiva: 400 kg LAV/ha (108 kg N/ha) = 0,2 kg LAV/5 m², 200 kg DS/ha (100 kg K/ha) = 0,2 kg DS/5 m², 150 kg 3SF/ha (30 kg P/ha) = 0,075 kg 3SF/5 m².

Hnojivo LAV je tvořeno směsí dusičnanu amonného s jemně mletým vápencem obsahující 25–28 % dusíku. Další použité hnojivo DS (draselná sůl) je označováno jako univerzální draselné hnojivo používané k hnojení na většině půd. Obsahuje 42–50 % draslíku. Jako poslední hnojivo bylo použito 3SF (superfosfát trojitý). Superfosfát trojitý se řadí mezi univerzální fosforečná hnojiva používaný jako rychle působící hnojivo fosforečného charakteru. Obsahuje 20–21 % fosforu. Nedoporučuje se pro silně kyselé půdy, půdy s vyšším podílem vápna a hliníku.

Obr. č. 3: Plán parcel s energetickými travami

Boj C	Kost C	Srha C	Sz-1 C	Boj M	Kost M	Srha M	Sz-1 M
Kost C	Srha C	Sz-1 C	Boj M	Kost M	Srha M	Sz-1 M	Boj C
Srha C	Sz-1 C	Boj M	Kost M	Srha M	Sz-1 M	Boj C	Kost C
Sz-1 C	Boj M	Kost M	Srha M	Sz-1 M	Boj C	Kost C	Srha C

4.3 Odběr a zpracování vzorků

V době trvání vegetační sezóny byly z parcel s energetickými travami odebrány jednotlivé vzorky půd. Odběr půdních vzorků probíhal pomocí pedologické sondážní tyče vždy třikrát z jedné parcelky z hloubky 0–10 cm. Z těchto třech odběrů byl následně vytvořen jeden směsný vzorek. První odběr proběhl 16. 4. 2019 při setí trav. Další odběry se opakovaly v pravidelných dvouměsíčních intervalech do října 2019. Odběr vzorků byl obnoven v březnu 2020.

Již v laboratorních podmínkách byly všechny odebrané vzorky rozdrobeny, sušeny (při 60 °C do konstantní hmotnosti) a homogenizovány. S využitím půdního mlýnu byla vytvořena jemnozem 1. řádu s částicemi o rozměrech do 2 mm. Poté následovalo dodatečné ruční drcení hmoždířem v achátové misce. Konečným krokem úpravy bylo síťování vzorků. Finálním produktem byla jemnozem s částicemi menšími než 0,25 mm.

4.3.1 Stanovení kvality primární půdní organické hmoty

K určování primární půdní organické hmoty (PPOH) a její kvality jsem využíval metody a poznatky popsané v práci Kopeckého a kol. (2016), kde autoři separátně hodnotí jednotlivé aspekty humusových látek a primární půdní organické hmoty. Kvalita PPOH byla posuzována určením rychlostní konstanty její oxidace dichromanem draselným v prostředí kyseliny sírové, která je ukazatelem kvality nezhumifikované primární půdní organické hmoty. Hodnotu konstanty lze určit po sledování reakční kinetiky oxidace organické hmoty. Dosažení vyšších hodnot značí vyšší labilitu této hmoty a tím i její vyšší kvalitu.

4.3.1.1 Laboratorní práce

Do pěti kádinek bylo naváženo 0,1500 g půdního vzorku. Po navážení bylo do jednotlivých kádinek se vzorky přidáno 5,00 ml spalovací směsi dichromanu draselného v prostředí kyseliny sírové ($0,4 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1} \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ v 12 M H_2SO_4). Dodávání spalovací směsi probíhalo pomocí stolního dávkovače. Po přidání tohoto roztoku k půdním vzorkům byl prostřednictvím krouživých pohybů s kádinkou obsah

vzorku dispergován ve spalovací směsi. Kádinky se vzorky byly vloženy do předem vyhřáté vodní lázně se stálou teplotou 60 °C. Tato teplota sloužila jako katalyzátor oxidační reakce primární půdní organické hmoty s dichromanem draselným. V přesně stanovených časových intervalech (10, 20, 30 a 45 min) byly kádinky vyjímány a přesunuty do vodní lázně se studenou vodou, kde byly následně zality vychlazenou demineralizovanou vodou, čímž došlo k zastavení oxidační reakce. Kádinka označená č. 5 byla přesunuta do předem vyhřátého termostatu s teplotou 100 °C na dobu 30 minut.

Po vychlazení byl v kádinkách determinován obsah C_{ox} stanovením úbytku dichromanu draselného prostřednictvím titrace roztokem 0,1 mol/l Mohrovi soli $((NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O)$ pomocí automatického titrátoru Metler Toledo DL50. Stanovené hodnoty kádinek č. 1–4 byly posléze využity k výpočtu rychlostní konstanty k oxidace primární půdní organické hmoty pomocí předpřipraveného souboru v programu MS Excel 2016. Obsah C_{ox} v kádince č. 5 udává celkové množství uhlíku primární půdní organické hmoty. Analýza měla u každého vzorku tři opakování.

4.4 Zpracování výsledků

Pro vyhodnocení získaných dat byl využit program STATISTICA 12 (StatSoft Inc.). Pro statistické vyhodnocení výsledků byla využita vícecestná analýza variace (ANOVA). Úroveň významnosti byla u provedených testů na hladině $\rho \leq 0,05$. Pokud to homogenita dat (Cochranův test, grafy reziduálů) umožňovala, byl následně využit post-hoc HSD Tukey test pro porovnání výsledných hodnot.

5. Výsledky a diskuze

5.1 Popisné statistiky

V úvodu této kapitoly jsou přehledně uvedeny souhrnné popisné statistiky (Tab. č. 2) udávající průměrné hodnoty sledovaných parametrů, jejich minimální a maximální hodnoty a také vypočtenou směrodatnou odchylku.

Tab. č. 2: Popisné statistiky

Proměnná	N platných	Průměr	Minimum	Maximum	Sm. odch.
C _{org} (%)	48	1,95375	1,320000	3,34000	0,635900
C _{PPOH} (%)	48	1,48523	0,960900	2,90115	0,639699
C _{SOF} (%)	48	0,47030	0,180000	0,73500	0,115075
Konstanta <i>k</i> (sec)	48	1,40860	0,769000	2,37600	0,419775
S _H (%)	48	25,93068	6,717000	36,58900	7,860724

5.2 Určení rychlostní konstanty *k* primární půdní organické hmoty

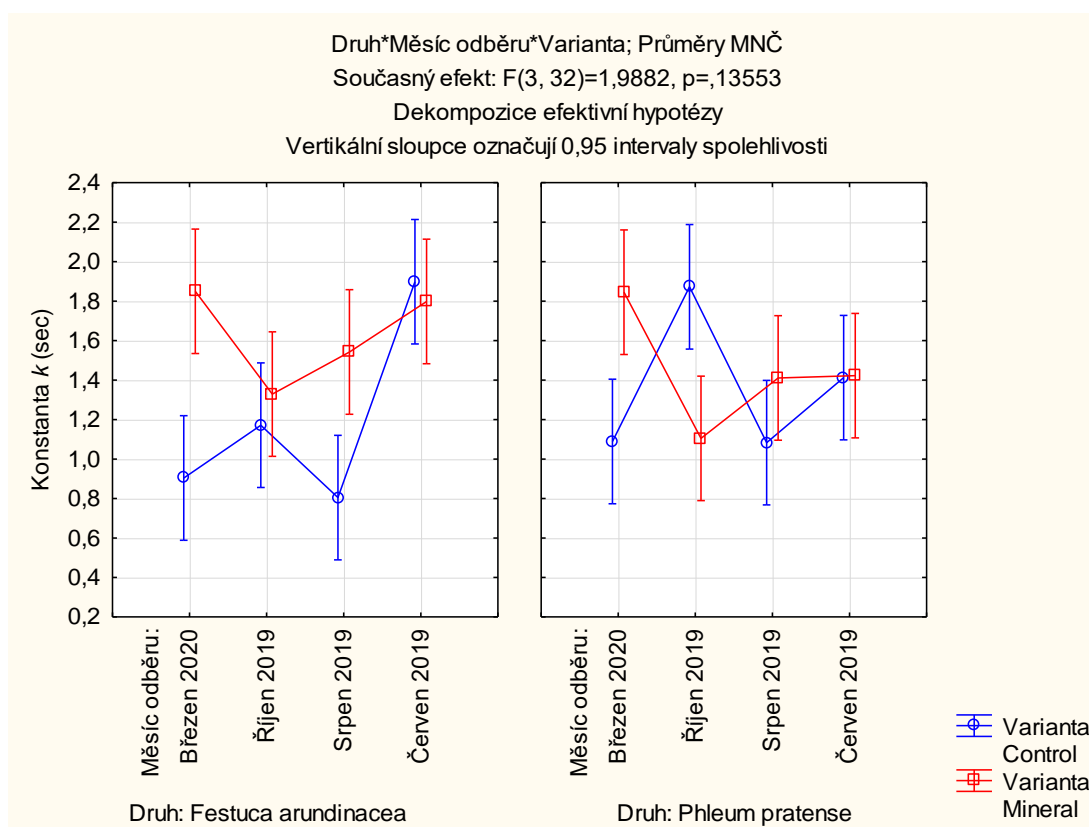
Primární půdní organická hmota slouží jako zdroj energie pro mikroorganismy a po mineralizaci jako zdroj živin pro rostliny. Z tohoto důvodu je důležité, aby PPOH byla kvalitní a snadno dostupná. Za kvalitnější organickou hmotu je pokládána ta, která disponuje větším obsahem labilnějších frakcí. Obecně lze říci, že zvýšený obsah snadno rozložitelných složek organické hmoty v půdě se považuje za znak potenciální půdní úrodnosti (Maia a kol., 2007). Autoři Vaněk a kol. (2010) toto tvrzení doplňují, že kvalitní primární půdní organická hmota je nejen ta s labilními frakcemi, ale i se semilabilními a dokonce i semistabilními.

Stanovením rychlostní konstanty *k* reakční kinetiky při oxidaci vzorků je možné odvodit stupeň lability PPOH. Čím vyšší jsou získané hodnoty rychlostní konstanty *k*, tím lze považovat organickou hmotu za kvalitnější a snadněji

rozložitelnou. Tato metoda je poměrně nová a zatím není rozšířena, tím pádem v odborné literatuře ještě neexistuje dostatečné množství dat pro srovnání.

Z příloženého Grafu č. 1 je patrné, že během roku se kvalita primární půdní organické hmoty měnila. Pravděpodobně současným vznikem (kořenové exsudáty, odumírání mikroorganismů a částí rostlin) a zánikem (činností mikroorganismů) různých složek PPOH. Konstanta k u druhu *Festuca arundinacea* dosahovala v počátečních červnových měřeních největších hodnot a postupně s časem klesala. V měsíci srpnu se již projevil rozdílný způsob obhospodařování, kdy u varianty Control hodnota konstanty k výrazně klesla. V měsíci říjnu se hodnoty obou variant téměř vyrovnaly. Při odběru v roce 2020 byla kvalita PPOH opět výrazně vyšší ve variantě Mineral.

Graf č. 1: Průměrné hodnoty konstanty k v průběhu roku



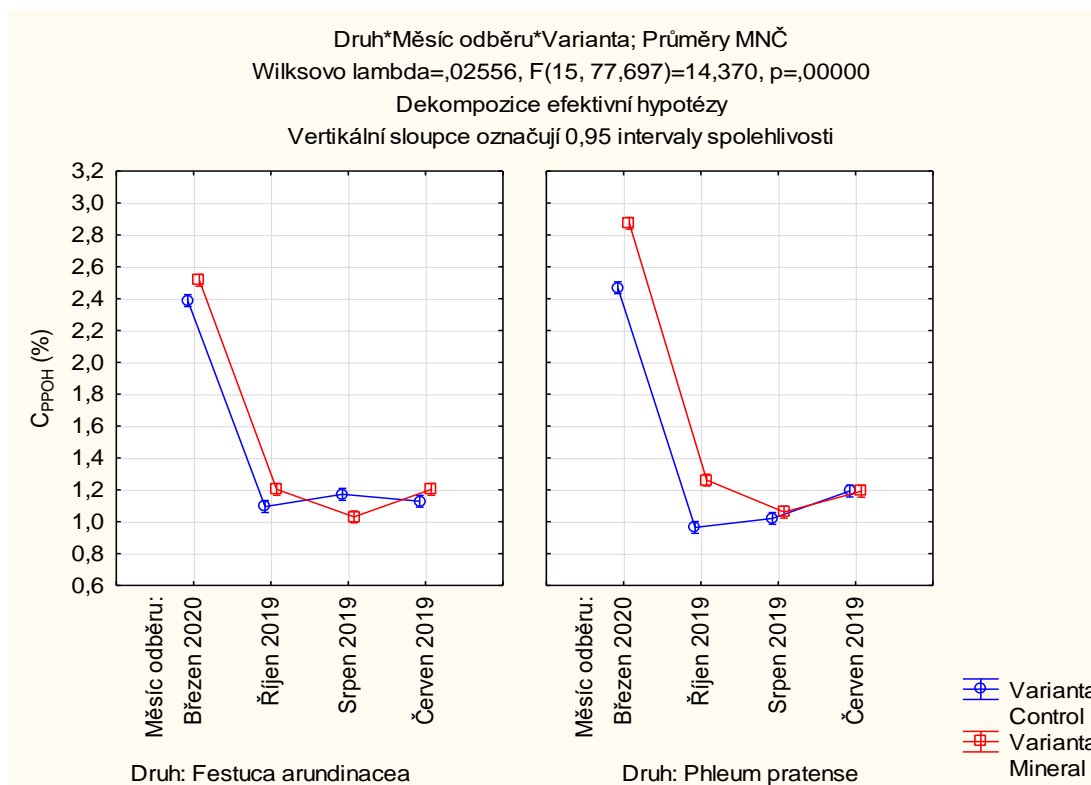
Hodnoty konstanty k u druhu *Phleum pratense* jsou v počátečních měření v měsíci červnu téměř totožné s minimálními rozdíly u obou variant. Výrazný rozdíl u obou variant byl zaznamenán až v říjnu, kdy u varianty Control dochází ke zvýšení

konstanty k . Opačná situace byla zjištěna při posledním odběru v březnu 2020. Toto provedené měření potvrzuje, v souladu se stanovenou hypotézou, že kvalita, a tím i dostupnost primární půdní organické hmoty pro mikroorganismy, se v průběhu roku mění. Z grafu je také patrný odlišný vliv obou druhů na kvalitu primární půdní organické hmoty. Jelikož získaná data o hodnotách konstanty k nebyla homogenní, nebylo možné vyžít Tukeyho test pro porovnání výsledných hodnot.

5.3 Změny obsahu primární půdní organické hmoty v čase

Z Grafu č. 2 je patrné, že ve vzorcích z března 2020 byl zjištěn výrazný nárůst PPOH. U obou druhů byla vyšší hodnota zjištěna u varianty Mineral. Lze tedy předpokládat, že hnojení porostů podpořilo tvorbu nové PPOH, která nebyla přes zimní období činností mikroorganismů mineralizována.

Graf č. 2: Změny obsahu primární půdní organické hmoty během roku



V Tab. č. 3 je přehledně znázorněn obsah primární půdní organické hmoty ve vzorcích odebraných z obou porostů ve variantách Control i Mineral v různých časových etapách. Rozdíly mezi různými vzorky byly v některých případech značné. Zatímco v jednom případě činila hodnota méně než 1 %, nejvyšší zaznamenaná hodnota byla téměř 2,9 %. Jednou z možností, proč tomu tak je, může být právě rozdílná míra aktivity biologického faktoru v průběhu roku. Podle Váchalové a kol. (2016) má množství labilní frakce vliv na kvalitu a obsah primární půdní organické hmoty, která zastávají funkci dostupných zdrojů pro půdní mikroedafon. Možnými zdroji, jak udržet či zvýšit obsah primární půdní organické hmoty v půdě, je správné

nakládání s posklizňovými zbytky. Vhodné jsou například zbytky z jetelovin, jetelotráv, košťálovin, obilnin nebo statková hnojiva v kombinaci s minerálními hnojivy (Vaněk a kol., 2010).

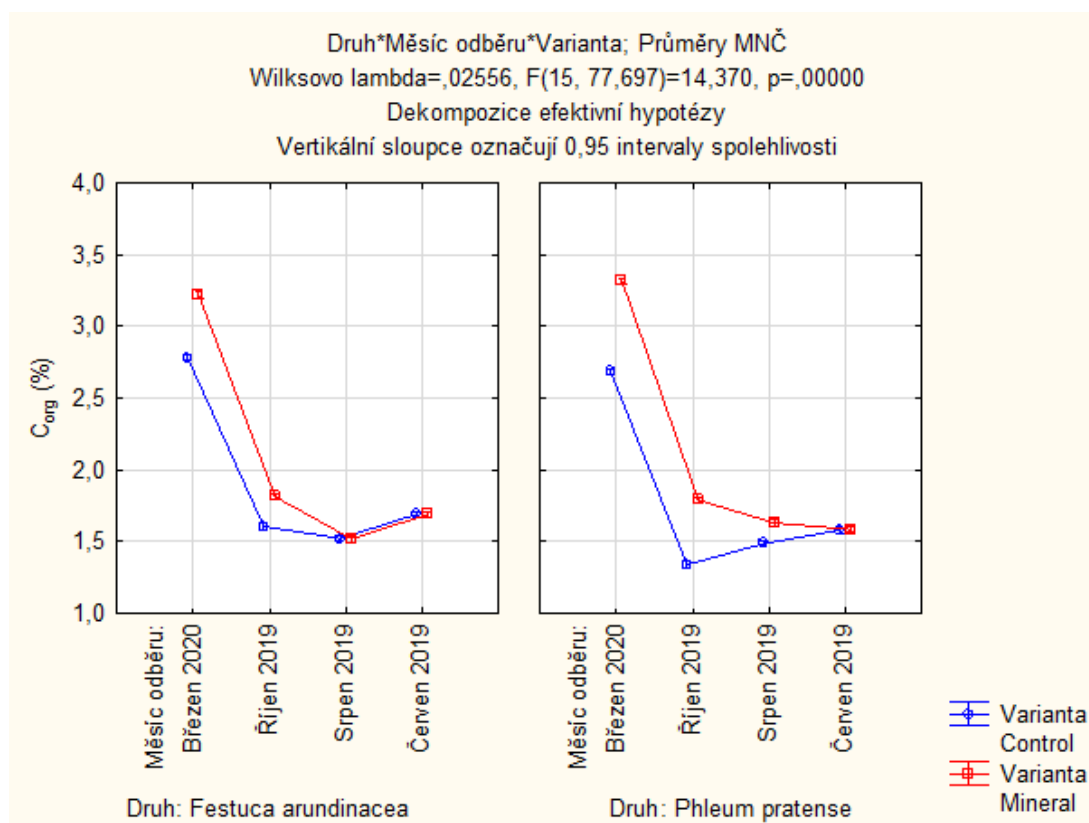
Tab. č. 3: Tukeyův HSD test—obsah PPOH

Tukeyův HSD test; proměnná C_{PPOH} (%) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 PČ = ,00100, sv = 32,000												
Druh	Měsíc odběru	Varianta	C_{PPOH} (%) Průměr	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Phleum pratense</i>	Říjen 2019	Control	0,963850	****								
<i>Phleum pratense</i>	Srpen 2019	Control	1,020833	****	****							
<i>Festuca arundinacea</i>	Srpen 2019	Mineral	1,030433	****	****							
<i>Phleum pratense</i>	Srpen 2019	Mineral	1,060233	****	****							
<i>Festuca arundinacea</i>	Říjen 2019	Control	1,095167	****	****	****						
<i>Festuca arundinacea</i>	Červen 2019	Control	1,128550			****	****	****				
<i>Festuca arundinacea</i>	Srpen 2019	Control	1,171583				****	****	****			
<i>Phleum pratense</i>	Červen 2019	Mineral	1,190849				****	****	****			
<i>Phleum pratense</i>	Červen 2019	Control	1,192050					****	****			
<i>Festuca arundinacea</i>	Říjen 2019	Mineral	1,202700					****	****			
<i>Festuca arundinacea</i>	Červen 2019	Mineral	1,203002					****	****			
<i>Phleum pratense</i>	Říjen 2019	Mineral	1,261233						****			
<i>Festuca arundinacea</i>	Březen 2020	Control	2,387467							****		
<i>Phleum pratense</i>	Březen 2020	Control	2,468333							****	****	
<i>Festuca arundinacea</i>	Březen 2020	Mineral	2,514833								****	
<i>Phleum pratense</i>	Březen 2020	Mineral	2,872583									****

5.4 Obsah organického uhlíku

Jeden z aspektů hodnocených v této práci bylo stanovení celkového obsahu organického uhlíku C_{org} v jednotlivých půdních vzorcích. Jelikož C_{org} je z velké části tvořen primární půdní organickou hmotou, jsou křivky Grafu č. 3, který znázorňuje množství C_{org} v jednotlivých vzorcích, velmi podobné křivkám v Grafu č. 2. Opět bylo více uhlíku naměřeno ve vzorcích z porostů, které byly hnojeny.

Graf č. 3: Obsah organického uhlíku v průběhu roku



Informace o organickém uhlíku v půdách detailně sepsal (Kubát a kol., 2008). Ve své práci uvádí, že orné půdy na území České republiky obsahují 0,60–2,30 % půdního organického uhlíku. Pro půdní typ pseudogleje, na kterém probíhaly pokusy mnou pěstovaných trav, uvádí hodnoty v rozmezí 1,4 až 2,3 % půdního organického uhlíku pro hloubku 0–20 cm. V námi zkoumané lokalitě byl naměřený obsah i vyšší. Největší hodnota (<3,3 %), byla naměřena v březnu roku 2020 u varianty Mineral druhu *Phleum pratense*. Nejnižší naměřený obsah 1,34 % byl zjištěn u varianty Control v říjnu roku 2019 u téhož druhu. Vyhodnocení HSD Tukeyho testu je znázorněno v Tab. č. 4.

Tab. č. 4: Tukeyův HSD test – obsah C_{org}

Tukeyův HSD test; proměnná C _{org} (%) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 PČ = ,00034, sv = 32,000												
Druh	Měsíc odběru	Varianta	C _{org} (%) Průměr	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Phleum pratense</i>	Říjen 2019	Control	1,340000	****								
<i>Phleum pratense</i>	Srpen 2019	Control	1,486667		****							
<i>Festuca arundinacea</i>	Srpen 2019	Mineral	1,520000		****							
<i>Festuca arundinacea</i>	Srpen 2019	Control	1,523333		****							
<i>Phleum pratense</i>	Červen 2019	Control	1,580000			****						
<i>Phleum pratense</i>	Červen 2019	Mineral	1,586667			****						
<i>Festuca arundinacea</i>	Říjen 2019	Control	1,606667			****						
<i>Phleum pratense</i>	Srpen 2019	Mineral	1,630000			****						
<i>Festuca arundinacea</i>	Červen 2019	Control	1,690000				****					
<i>Festuca arundinacea</i>	Červen 2019	Mineral	1,690000				****					
<i>Phleum pratense</i>	Říjen 2019	Mineral	1,790000					****				
<i>Festuca arundinacea</i>	Říjen 2019	Mineral	1,813333					****				
<i>Phleum pratense</i>	Březen 2020	Control	2,686667						****			
<i>Festuca arundinacea</i>	Březen 2020	Control	2,783333							****		
<i>Festuca arundinacea</i>	Březen 2020	Mineral	3,216667								****	
<i>Phleum pratense</i>	Březen 2020	Mineral	3,316667									****

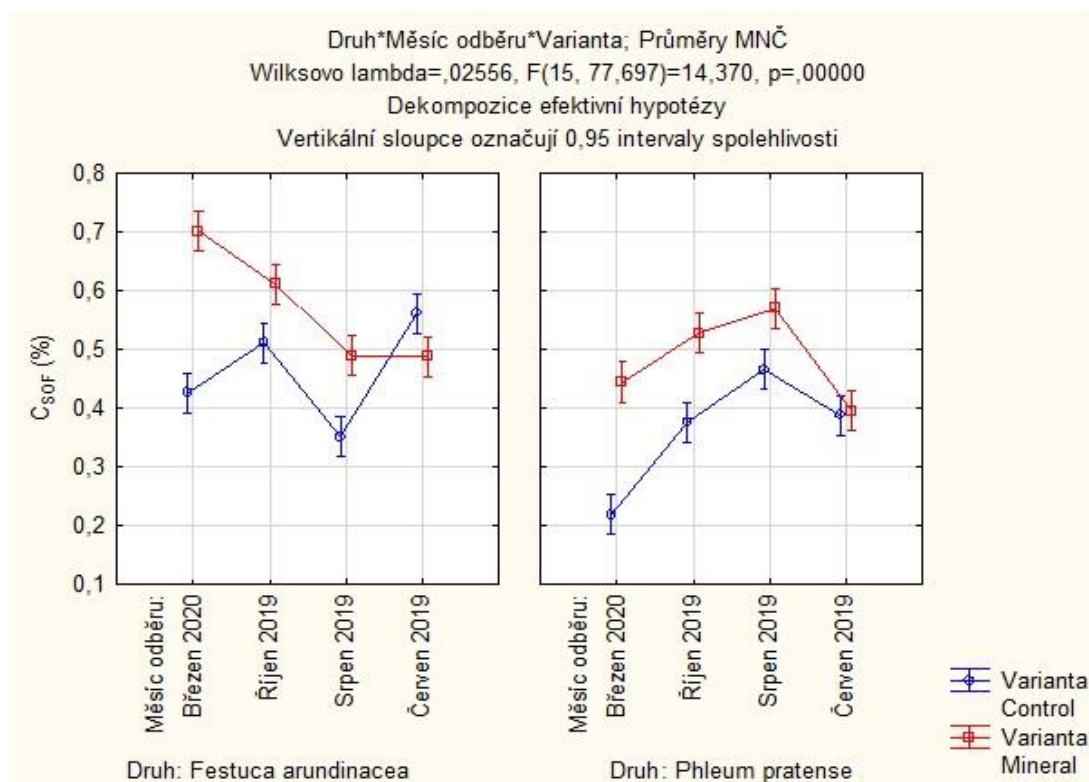
5.5 Stabilní organické frakce

5.5.1 Obsah humusu

Humus je nedílnou složkou půdy ovlivňující její úrodnost, kvalitu a další vlastnosti. Při jeho rozborech a stanovování obsahu se však stále můžeme setkat s nejednotnými postupy. Ke stanovení celkového množství humusu bylo běžné použít hodnotu obsahu C_{ox} vynásobenou koeficientem 1,724. Tuto metodu použili ve své práci například (Sáňka a Materna, 2004).

V této práci je však využito dělení podle Koláře a kol. (2014). Ten považuje za humus výhradně organické látky, které prošly humifikačními procesy. Jedná se tedy o fulvokyseliny, huminové kyseliny a huminy. Je nutno dodat, že výsledky jsou zatíženy určitou chybou. Společně s uhlíkem v humusu je totiž v této frakci stanoven také uhlík dalších stabilních látek (např. ligniny), které mají při oxidaci podobné vlastnosti jako humus. Přesnější označení je tedy C_{sof} (uhlík stabilních organických frakcí). Obsah této frakce u varianty Control a Mineral je zaznamenán v Grafu č. 4 a Tab. č. 5.

Graf č. 4: Obsah humusu v průběhu roku



Od vyšetí se množství stabilní organické hmoty u druhu *Festuca arundinacea* varianty Mineral zvětšovalo. Krom období mezi měsíci červen–srpen, kdy hodnota zůstala prakticky nezměněná. V březnu roku 2020 půdní vzorky disponovaly největším množstvím humusu (0,735 %). Tento zaznamenaný trend lze vysvětlit zvětšujícím se obsahem ligninu v půdě. Lze tak soudit právě proto, že vznik humusových látek má dlouhodobý charakter (Kolář a kol., 2017). Části ligninu disponují téměř stejnou stabilitou jako huminové látky a mohou tak zkreslovat výsledek (Kopecký, 2018). Větší výkyvy zaznamenaly vzorky varianty Control, především mezi měsíci červen–srpen. U *Phleum pratense* měly obě varianty velmi podobný průběh, přičemž větší obsah stabilních frakcí byl zaznamenán u varianty Mineral.

Tab. č. 5: Tukeyův HSD test – obsah C_{SOF}

Tukeyův HSD test; proměnná C _{SOF} (%) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 PČ = ,00083, sv = 32,000												
Druh	Měsíc odběru	Varianta	C _{SOF} (%) Průměr	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Phleum pratense</i>	Březen 2020	Control	0,218333	****								
<i>Festuca arundinacea</i>	Srpen 2019	Control	0,351667		****							
<i>Phleum pratense</i>	Říjen 2019	Control	0,376000		****	****						
<i>Phleum pratense</i>	Červen 2019	Control	0,387667		****	****	****					
<i>Phleum pratense</i>	Červen 2019	Mineral	0,395818		****	****	****					
<i>Festuca arundinacea</i>	Březen 2020	Control	0,425667		****	****	****	****				
<i>Phleum pratense</i>	Březen 2020	Mineral	0,444333			****	****	****	****			
<i>Phleum pratense</i>	Srpen 2019	Control	0,466000				****	****	****			
<i>Festuca arundinacea</i>	Červen 2019	Mineral	0,486998					****	****	****		
<i>Festuca arundinacea</i>	Srpen 2019	Mineral	0,489333					****	****	****		
<i>Festuca arundinacea</i>	Říjen 2019	Control	0,511667					****	****	****		
<i>Phleum pratense</i>	Říjen 2019	Mineral	0,528000						****	****	****	
<i>Festuca arundinacea</i>	Červen 2019	Control	0,561333							****	****	
<i>Phleum pratense</i>	Srpen 2019	Mineral	0,569667								****	****
<i>Festuca arundinacea</i>	Říjen 2019	Mineral	0,610667									****
<i>Festuca arundinacea</i>	Březen 2020	Mineral	0,701667									****

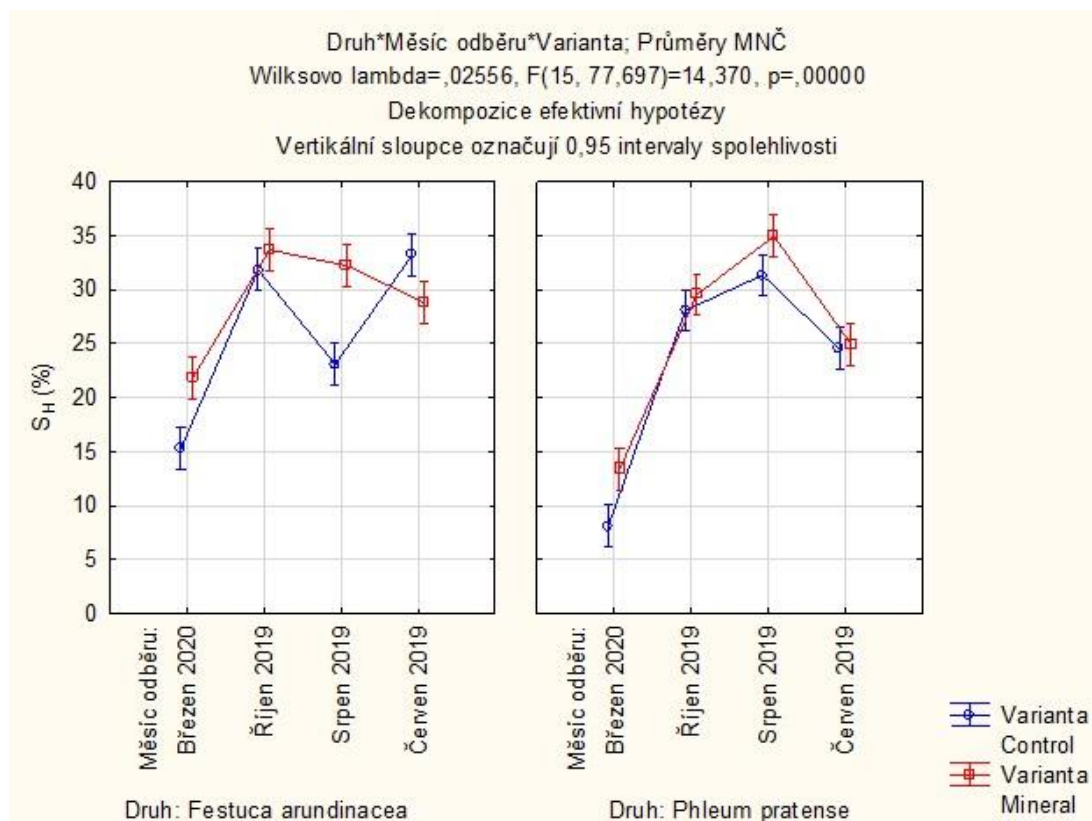
Autoři Kopecký a kol. (2016) uvádějí při použití totožné metodiky hodnot od 0,13 % do 1,88 % humusu v různých půdních typech. V kambizemi modální zaznamenali hodnotu 0,19 %.

Podle Vrby a Huleše (2006) je průměrný obsah humusu v České republice 1,8–2,2 %. Pro zemědělské půdy se intervaly pohybují od 0,5 do 10 %. Sáňka a Materna (2004) považují půdy s obsahem 1–2 % za slabě humózní. Nutno však dodat, že tito autoři používají k tomuto stanovení obsah C_{ox} a přepočítávací faktor 1,724. Je to tedy naprosto odlišná (a podle moderní literatury hrubě orientační) metodika stanovení obsahu humusu.

5.5.2 Stupeň humifikace

Stupeň humifikace je dalším významným znakem, který napovídá o stavu půdní organické hmoty, potažmo půdní úrodnosti. Zaznamenané změny vývoje trendu v průběhu roku na námi zkoumané lokalitě lze vidět v Grafu č. 5 a Tab. č. 6. Výsledky jsou, stejně jako v předchozí podkapitole, částečně zkresleny příměsí stabilních látek ve frakci považované za humus. Z příloženého grafu lze vidět, že stupeň humifikace do jisté míry kopíruje vývoj obsahu humusu znázorněném v předešlém Grafu č. 4.

Graf č. 5: Stupeň humifikace S_H během roku



Nejvyšší stupeň humifikace byl zaznamenán v půdních vzorcích druhu *Phleum pratense* varianty Mineral. Zde naměřené hodnoty ukazovaly stupeň humifikace dosahující hodnoty téměř 35 %. Jinak ale hodnoty přesahující hranici 30 % byly zjištěny spíše u *Festuca arundinacea*. Nejmenší naměřené hodnoty vykazoval druh *Phleum pratense*. V půdním vzorku varianty Control odebraném v březnu roku 2020 byla zjištěna humifikace pouhých 8,1 %. Obecně lze konstatovat, že v březnu 2020 byl stupeň humifikace nízký u všech vzorků.

Podle Koláře a kol. (2014) je stupeň humifikace v půdách velmi rozdílný v závislosti na plodinách, které jsou na dané půdě pěstovány. Zpravidla se podle něj pohybuje v rozmezí 5–40 %, což potvrzují i mnou naměřené hodnoty. Vyhodnocením stupně humifikace se zabýval například Honsa (2004). Hodnoty rozděluje celkem do pěti kategorií, a to takto: hodnoty dosahujících maximálně 10 % nazývá jako velmi slabé, dále pak 0–20 % považuje za slabé. Za střední stupeň humifikace jsou považovány hodnoty v rozmezí 20–30 %. Hodnoty pohybující se mezi 30–40 % označuje jako vysoké. A hodnoty přesahující 40 % zařazuje do skupiny velmi vysokého stupně humifikace.

Tab. č. 6: Tukeyův HSD test – stupeň humifikace

Tukeyův HSD test; proměnná S_H (%) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 PČ = 2,7083, sv = 32,000												
Druh	Měsíc odběru	Varianta	S_H (%) Průměr	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Phleum pratense</i>	Březen 2020	Control	8,12633	****								
<i>Phleum pratense</i>	Březen 2020	Mineral	13,38967		****							
<i>Festuca arundinacea</i>	Březen 2020	Control	15,30067			****						
<i>Festuca arundinacea</i>	Březen 2020	Mineral	21,81800				****					
<i>Festuca arundinacea</i>	Srpen 2019	Control	23,09100				****	****				
<i>Phleum pratense</i>	Červen 2019	Control	24,55333				****	****	****			
<i>Phleum pratense</i>	Červen 2019	Mineral	24,94311				****	****	****	****		
<i>Phleum pratense</i>	Říjen 2019	Control	28,07067				****	****	****	****		
<i>Festuca arundinacea</i>	Červen 2019	Mineral	28,82785					****	****	****	****	
<i>Phleum pratense</i>	Říjen 2019	Mineral	29,54033						****	****	****	
<i>Phleum pratense</i>	Srpen 2019	Control	31,33400							****	****	****
<i>Festuca arundinacea</i>	Říjen 2019	Control	31,83633							****	****	****
<i>Festuca arundinacea</i>	Srpen 2019	Mineral	32,20833							****	****	****
<i>Festuca arundinacea</i>	Červen 2019	Control	33,22167								****	****
<i>Festuca arundinacea</i>	Říjen 2019	Mineral	33,67467								****	****
<i>Phleum pratense</i>	Srpen 2019	Mineral	34,95500									****

6. Závěr

Tuto bakalářskou práci jsem rozdělil na dvě části. Část teoretickou a část praktickou. V teoretické části jsou vysvětleny pojmy jako půda, půdní organická hmota, primární půdní organická hmota, humus a základní vlastnosti vybraných energetických trav určených pro účely energetického využití spalováním. Ve druhé části byla hodnocena organická hmota v půdních vzorcích, které byly odebírány z porostů trav *Festuca arundinacea* Schreb. a *Phleum pratense* L. K těmto účelům posloužila metodika vytvořena autory Kopecký a kol. (2016) zkoumající kvalitu primární půdní organické hmoty pomocí stanovení rychlostní konstanty její oxidace.

Z dat získaných provedením dílčích analýz vyplynulo, že kvalita a obsah primární půdní organické hmoty se v průběhu sezóny mění a ovlivňuje tak půdní ekosystém. Konstanta k určující obsah labilní frakce, a tím i kvalitu primární půdní organické hmoty se v průběhu roku měnila. Nejpriznivějších výsledků dosahovala u druhu *Festuca arundinacea* varianty Mineral. Výrazné zvýšení jejího obsahu bylo zaznamenáno při posledním odběru na jaře roku 2020. U obou druhů byla vyšší hodnota zjištěna u varianty Mineral. Vývoj obsahu organického uhlíku do jisté míry kopíroval vývoj obsahu primární půdní organické hmoty. Největší naměřené hodnoty byly zjištěny opět na jaře roku 2020 u druhu *Phleum pratense* varianty Mineral. Co se týče humusu, disponovaly půdní vzorky největším množstvím také v březnu roku 2020. Naměřené hodnoty však mohou být do jisté míry zkreslené obsahem ligninu ve vzorcích. Stupeň humifikace také do jisté míry kopíroval vývoj obsahu humusu. A i pro něj platí, že jednotlivé půdní vzorky mohly být ovlivněny obsahem stabilních látek. Nejmenší stupeň humifikace byl zjištěn v březnu roku 2020 u druhu *Phleum pratense* varianty Control. Nízký stupeň humifikace platil pro všechny varianty u obou druhů.

Lze tedy konstatovat, že půdní ekosystém podléhá dynamickému vývoji a kvalita a obsah primární půdní organické hmoty se v průběhu roku mění. Dodržování patřičných agrotechnických termínů může mít pozitivní vliv nejen na půdu a půdní prostředí, ale i na zvýšení úrodnosti a výnosnosti pěstovaných rostlin. Zároveň se tím zvýší i možnost pěstování energetických trav za účelem získání energie z obnovitelných zdrojů energie v podobě biomasy.

Pro přesnější zhodnocení výsledků, a tím i vyvození upřesňujících detailů, by bylo vhodné jednotlivých pokusech dlouhodoběji pokračovat.

7. Použitá literatura

- 1) Baldock, J., & Skjemstad, J. O. (1999). Soil organic carbon/soil organic matter.
- 2) Csete, S., Stranczinger, S., Szalontai, B., Farkas, A., Pal, R. W., Salamon-Albert, E., ... & Walcz, I. (2011). Tall wheatgrass cultivar szarvasi-1 (*Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1) as a potential energy crop for semi-arid lands of Eastern Europe. *Sustainable Growth and Applications in Renewable Energy Sources*, 269-294.
- 3) Český statistický úřad. (2019). Obhospodařovaná zemědělská půda k 31.5.2019 [Online]. 2019-11-27 [cit. 2020-02-16] dostupné na: https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=ZEM02B&z=T&f=TABULKA&skupId=2301&katalog=30840&pvo=ZEM02B&evo=v283_!_ZEM02B-2019_1
- 4) 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.
- 5) Eswaran, H., Van den Berg, E., Reich, P., & Kimble, J. (1995). Global soil carbon resources. *Soils and global change*, 27-43.
- 6) Fiala, J., & Tichý, V. (1994). Production ability and persistence of herbage varieties of grasses in monocultures. *Rostlinna Vyroba-UZPI (Czech Republic)*.
- 7) Frydrych, J., Macháč, J., & Cagaš, B. (2002). *Energetické využití některých travních druhů*. Ústav zemědělských a potravinářských informací.
- 8) Fuksa, P. (2009). Netradiční využití biomasy v praxi. *Biom.cz* [online]. 2009-07-15 [cit. 2019-11-27]. Dostupné na: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/netradicni-vyuziti-biomasy-v-praxi>>. ISSN: 1801-2655.
- 9) Geber, U. (2002). Cutting frequency and stubble height of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.): Influence on quality and quantity of biomass for biogas production. *Grass and Forage Science*, 57(4), 389-394.
- 10) Gerndtová, I., Hutla, P., & Andert, D. (2018). *Porovnání několika druhů energetických travin pro produkci lisovaných biopaliv*.

- 11) 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.
- 12) Havelcová, M., Mizera, J., Machovič, V., Příbyl, O., Borecká, L., & Krausová, I. (2011). Sorbenty na bázi huminových látek a chitosanu. *Chem. Listy*, 105, 913-917.
- 13) Havlíčková, K., Weger, J., Boháč, J., Štěřba, Z., Hulta, P., Knápek, J., ... & Lhotský, R. (2008). Rostlinná biomasa jako zdroj energie. Průhonice: VÚKOZ.
- 14) Honsa, I. (2004). Vybrané kapitoly z pedologie pro chemiky. *Bulletin NRL*, 3, 2004.
- 15) Hrabě, F., & Buchgraber, K. (2004). Pícninářství. Travní porosty. 1.vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 149 s.
- 16) Kára, J., Stražil, Z., Hutla, P., & Ust'ak, S. (2005). Energetické rostliny technologie pro pěstování a využití. *Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha*, (s 80).
- 17) Kára, J., Stražil, Z., Hutla, P., Andert, D., Jevič, P., Šedivá, Z., & Polák, M. (2004). Technologické systémy pro využití biopaliv z energetických plodin. *Technological systems for biofuels utilisation from energy crops. Periodická zpráva za řešení projektu QD*, 1209, 46.
- 18) Kaźmierski, T., Doubská, Z., & Rakouská, S. (2008). Genetické modifikační možnosti jejich využití a rizika.
- 19) Klesnil, A. (1978). Intenzivní výroba píce. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1978.
- 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) 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).
- 23) Kopecný, M. (2018). *Environmentální aspekty pěstování vybraných energetických rostlin*. Disertační práce, Zemědělská fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- 24) Kopecný, 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* (pp. 135-142).
- 25) Kraus, P., & Říha, P. (2016). *Přehled odrůd 2016: jeteloviny a trávy*. GILL s.r.o., Hapalova 42a, 621 00 Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno Národní odrůdový úřad.
- 26) Lai, R. (2004a). Agricultural activities and the global carbon cycle. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 70(2), 103-116.
- 27) Lalonde, R., Gagnon, B., & Royer, I. (2009). Impact of natural or industrial liming materials on soil properties and microbial activity. *Canadian journal of soil science*, 89(2), 209–222.
- 28) Lehmann, J., & Kleber, M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580), 60-68.
- 29) Maia, S. M. F., Xavier, F. A. S., Oliveira, T. S., Mendonça, E. S., & Araújo Filho, J. A. (2007). Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. *Agroforestry systems*, 71(2), 127–138.
- 30) Němec, B. V. (2014). *Pěstování vybraných energetických plodin–výnosové parametry*. Diplomová práce, Zemědělská fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- 31) Pastorek, Z., Kára, J., & Jevič, P. (2004). *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. FCC PUBLIC.
- 32) Paul, E. A., & Clark, F. E. (1996). *Soil microbiology and biochemistry* (2nd ed). San Diego: Academic Press, ISBN 0125468067.
- 33) Petřík, M. (1987). *Intenzivní pícninářství. Státní zemědělské nakladatelství, Praha*.

- 34) Pokorný, E., & Šarapatka, B. (2003). *Půdoznalství pro ekozemědělce*. Ministerstvo zemědělství ČR v Ústavu zemědělských a potravinářských informací.
- 35) Prakash, A., & MacGregor, D. J. (1983). Environmental and human health significance of humic materials: an overview. *Aquatic and terrestrial humic materials*, 481-494.
- 36) Reeves, D. W. (1997). The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tillage Research*, 43(1-2), 131-167.
- 37) Regal, V. (1972). Pícní a plevelné trávy. 290 s
- 38) Saijonkari-Pahkala, K. (2001). *Non-wood plants as raw material for pulp and paper*. MTT Agrifood Research Finland.
- 39) Sánka, M., & Materna, J. (2004). *Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR*. Ministerstvo životního prostředí.
- 40) Sánka, M., Kulhavý, J., & Klimo, E. (2004). Variabilita půd, půdotvorných procesů a faktorů. *PEDOLOGICKÉ DNY 2004*, 5.
- 41) Bikazugi mezőgazdasági nonprofit KFT (2004). "Szarvasi-1" energiafű [Online]. 2004-05-25[cit. 2019-12-30]. dostupné na: http://www.energiafu.hu/nemesit_en.html
- 42) Schnitzer, M. (1991). Soil organic matter—the next 75 years. *Soil science*, 151(1), 41-58.
- 43) Skybová, M. (2006). Humínové kyseliny-prínos pre environmentálny výskum. *Acta Montanistica Slovaca*, 11(2), 362-366.
- 44) Stražil, Z. (2008). Study of reed canary grass—possible source for energy utilization. *Italian Journal of Agronomy (Rivista di Agronomia)*, 3(3 supplement), 557-558.
- 45) Stražil, Z., Kohoutek, A., Diviš, J., Kajan, M., Moudrý, J., & Moudrý jr, J. (2011). Trávy jako energetická surovina. *Grasses as a source of energy*). *Certifikovaná metodika pro zemědělskou praxi*. Ed.: VÚRV, vvi Praha-Ruzyně, JČU Č, Budějovice, Agronomická fakulta.
- 46) Šantrůček, J. (2007). *Encyklopedie pícninářství*. Česká zemědělská univerzita.

- 47) Šantrůčková, H., Kaštovská, E., Bárta, J., Miko, L., & Tajovský, K. (2018). *Ekologie půdy*. České Budějovice: Episteme, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
- 48) Šarapatka, B. (2014). *Pedologie a ochrana půdy*. Univerzita Palackého v Olomouci
- 49) Šimek, M. *Základy nauky o půdě.: Neživé složky půdy*. 1. 2. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Biologická fakulta, (2005). 158 s.
- 50) Šimek, M., Borůvka, L., Baldrian, P., Bryndová, M., Devetter, M., Drábek, O., et al. (2019). *Živá půda Ekologie, využívání a degradace půdy*. Praha: Academica.
- 51) Tan, K., H. (2003). *Humic matter in soil and the environment: Principles and controversies*. - CRC Press.
- 52) Urban, J., Šarapatka, B., Čížková, S., Dukát, V., Diviš, J., Hejátková, K., ... & Macháč, R. (2003). *Ekologické zemědělství, učebnice pro školy i praxi. I. díl. Základy EZ, agroenvironmentální aspekty a pěstování rostlin* (pp. 1-280). Ministerstvo životního prostředí.
- 53) Váchalová, R., Kolář, L., & Muchová, Z. (2016). *Primární organická půdní hmota a humus, dvě složky půdní organické hmoty*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre.
- 54) Vaněk, V., Kolář, L., Pavlíková, D., (2006). *Úloha organické hmoty v půdě, Racionální použití hnojiv-sborník z konference*. ISBN 978-80-213-2006-2.
- 55) Velich, J. (1994). *Pícninářství*. Vysoká škola zemědělská.
- 56) Vrba, V., Huleš, H. (2006). *Humus-půda-rostlina (2) Humus a půda*. *Biom.cz* [online]. 2006-11-14 [cit. 2019-10-23]. Dostupné na: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>>. ISSN: 1801-2655.
- 57) Vrzal, J., Novák, D., & Procházka, O. (1995). *Základy pěstování kukuřice a jednoletých pícnin*. Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství České republiky.
- 58) Weger, J. (2012). *Možnosti pěstování biomasy jako energetického zdroje v Ústeckém kraji*. Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, 78 s.

