Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra agroekosystémů

Diplomová práce

Kvalita primární půdní organické hmoty v půdách porostů energetických trav

Autor práce: Bc. Martin Černý

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

České Budějovice
2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne..... .....

Podpis

Abstrakt

Jedním z hlavních činitelů určující kvalitu půdy je půdní organická hmota. Její kvalita a obsah ovlivňuje nejen půdní vlastnosti, ale i okolní životní prostředí. Je zdrojem řady prvků a živin důležitých pro půdní organismy a rostliny. Proto je z pohledu zemědělství důležité, aby kvalitní orné půdy disponovaly vysokým obsahem půdní organické hmoty. Metody determinace půdní organické hmoty se stále vyvíjí a upřesňují. Tato diplomová práce využívá jednu z novějších metod určených pro hodnocení kvality primární půdní organické hmoty za použití stanovení rychlostní konstanty *k* oxidace v půdách energetických trav *Festuca arundinacea* Scherb. a *Phleum pratense* L. pěstovaných na experimentálních plochách Fakulty zemědělské a technologické Jihočeské univerzity. Na vzorcích z těchto půd proběhlo hodnocení primární půdní organické hmoty a dalších vlastností. Jako je například kvalita labilních organických frakcí, obsah humusu, stupeň humifikace apod.

Po provedení dílčích analýz proběhlo vyhodnocení výsledků. Bylo zjištěno, že kvalita a množství půdní organické hmoty se v průběhu sezóny mění a je rozdílná dle sledovaného travního druhu. Během letního období dosahovala primární půdní organická hmota nejvyšší kvality. Rozdílné bylo i zastoupení primární půdní organické hmoty v půdě během jednotlivých měsíců, především v březnu roku 2021 a 2022. Kdy docházelo k nahromadění nově vzniklé hmoty díky minimálnímu procesu mineralizace během chladnějšího klimatu. Obsah stabilních organických frakcí podporují agrotechnické operace jako například hnojení. Nejvyšší průměrné hodnoty obsahu stabilních organických frakcí byly zjištěny v povrchových vrstvách v hloubce 0–10 cm u hnojených variant porostů. U bojínku v této hloubce činil průměrný obsah stabilních organických frakcí 1,23 % a u kostřavy 1,18 %.

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

Abstract

One of the main factors determining soil quality is soil organic matter. Its quality and content affect the soil properties and the surrounding environment. It is a source of many elements and nutrients important for soil organisms and plants. Therefore, from the point of view of agriculture, quality arable lands must have high soil organic matter content. Methods for determining soil organic matter are still being developed and refined. This thesis uses one of the newer methods to evaluate the quality of primary soil organic matter by determining the rate constant for oxidation in soils of energy grasses *Festuca arundinacea* and *Phleum pratense* L. grown on experimental plots of the Faculty of agriculture and technology of University of South Bohemia. Samples from these soils were evaluated for primary soil organic matter and other properties, for example, quality of labile organic fractions, humus content, degree of humification etc.

The results were evaluated after performing partial analyses. It was found that the quality and quantity of soil organic matter change during the season and have variances according to the monitored grass species. During the summer, the primary soil organic matter reached a higher quality. The share of primary soil organic matter in the soil during the individual months also differed, especially in March 2021 and March 2022. The newly formed matter accumulated due to minimal mineralization during the colder climate. The content of stable organic fractions is supported by agrotechnical operations such as fertilization. The highest average results of the content of stable organic fractions were found in the surface layers at depth of 0–10 cm in the fertilized variant of vegetation. The average content of stable organic fractions in this depth was 1,23% for *Phleum pratense* L. And the average content of stable organic fractions at depth of 0–10 cm was 1,18% for *Festuca arundinacea* Schreb.

Keywords: hummus, primary soil organic matter, energetic grasses, soil

Poděkování

Zde bych rád poděkoval svému vedoucímu Ing. Markovi Kopeckému, Ph.D. za všechnu tu podporu, ochotu a velkou trpělivost, kterou se mnou měl nejen při zpracovávání této práce, ale i během celého mého studia. Svým spolužákům za dobrý kolektiv a pomoc při údržbě pokusných ploch. A hlavně své rodině, která o mě nikdy nepochybovala a vždy za mnou plně stála.

Obsah

Úvod 8

1 Literární přehled 9

1.1 Půda 9

1.1.1 Vznik půd 9

1.2 Energetika a obnovitelné zdroje energie 10

1.3 Biomasa 11

1.3.1 Pěstovaní trav pro energetické využití 12

1.4 Charakteristika vybraných energetických trav 14

1.4.1 Bojínek luční (*Phleum Pratense* L.) 14

1.4.2 Kostřava rákosovitá (*Festuca arundinacea* Scherb.) 15

1.5 Půdní organická hmota a její význam v půdě 16

1.5.1 Fyzikální vlastnosti půdy 18

1.5.2 Chemické vlastnosti 19

1.5.3 Biologické vlastnosti 22

1.6 Rozdělení půdní organické hmoty podle stability 23

1.7 Primární půdní organická hmota 25

1.7.1 Mineralizace 26

1.8 Stabilní organické frakce (humus, jeho třídění, obsah v půdách) 28

1.8.1 Význam, kvalita a obsah humusu v půdách 28

1.8.2 Humifikace 30

1.9 Možnosti hodnocení kvality a množství SOM 31

1.9.1 Nové postupy hodnocení kvality a množství SOM 32

2 Cíle a hypotézy 33

3 Materiál a metodika 34

3.1 Informace o lokalitě 34

3.2 Založení a údržba pokusných parcel se sledovanými porosty 35
3.3 Pracovní postup odběru a zpracování vzorků 36
3.4 Pracovní postup laboratorních prací 37
3.5 Zpracování výsledků 37
4 Výsledky a diskuse 38
4.1 Půdní organická hmota 41
4.1.1 Stanovení rychlostní konstanty *k* primární půdní organické hmoty během sezóny 41
4.1.2 Stanovení rychlostní konstanty *k* primární půdní organické hmoty v různých hloubkách 43
4.1.3 Změny primární půdní organické hmoty podle hloubky 44
4.1.4 Změny primární půdní organické hmoty během sezóny 46
4.2 Stabilní organické frakce 47
4.2.1 Stanovení stabilních organických frakcí v půdě během sezóny 47
4.2.2 Stanovení stabilních organických frakcí v různých hloubkách půdy 48
4.2.3 Stupeň humifikace v různých hloubkách půdy 50
4.2.4 Změny stupně humifikace během sezóny 52
5 Závěr 54
6 Seznam použité literatury 56
Seznam obrázků 69
Seznam tabulek 70
Seznam grafů 71
Seznam rovnic 72
Seznam použitých zkratek 73
7 Přílohy 74

Úvod

Půda je nedílnou součástí života na Zemi. Díky této nedílnosti a procesům v ní probíhajícím, ať už dlouhodobých či krátkodobých může na naší planetě Zemi existovat život v takové formě, jak ho známe. Z důvodu dlouhodobosti a komplexnosti jednotlivých procesů vzniku půd hovoříme o půdě jako o neobnovitelném zdroji, který je ohrožen nejen mnoha antropogenními, ale i přírodními aspekty. Proto je tento zdroj nedocenitelný a je potřeba jej chránit. Tato tvrzení v současnosti nabývají stále více na významu, protože kromě faktorů důležitých pro zemědělskou sféru, jako jsou výnosy a kvalita půdy, na kterých jsou plodiny pěstovány, se pozornost stále více obrací na mimoprodukční funkce půdy, například funkce krajinotvorná, kulturní, stabilizační či hygienická. Zároveň současný trend klade větší důraz na uplatňování ekologických zásad v zemědělství a využívání obnovitelných zdrojů energie. Mezi primární zdroje organického materiálu v půdě lze označit fotosyntézou akumulovaný uhlík. Právě takto uložený půdní organický uhlík představuje nepostradatelnou část z celkového podílu globálního koloběhu uhlíku. Půdní organický uhlík pozitivně ovlivňuje celou škálu chemických, fyzikálních a biologických aspektů, které dále určují potenciální produktivitu půdy.

Dalším pozorovatelným trendem na území ČR je oproti minulosti snižování živočišné produkce z celkového podílu zemědělství, což doprovází úbytek přirozených organických hnojiv na trhu. S nesprávně volenými osevními postupy proto dochází na některých místech k degradaci nebo nesprávnému využití jinak kvalitních půd. Na řadě nevhodných lokalitách jsou pěstovány kulturní plodiny, jež nakonec slouží pro energetické využití. Svým dlouhodobým výskytem v lokalitě negativně ovlivňují řadu vlastností orné půdy a dalších ekologických faktorů půdy a okolního prostředí. Možným řešením této situace jsou energetické trávy. Tyto trávy lze pěstovat i v méně vhodných podmínkách, které neprospívají ostatním kulturním plodinám. Je známo, že působení rhizosféry na půdu má řadu pozitivních účinků, včetně zvyšování obsahu půdní organické hmoty.

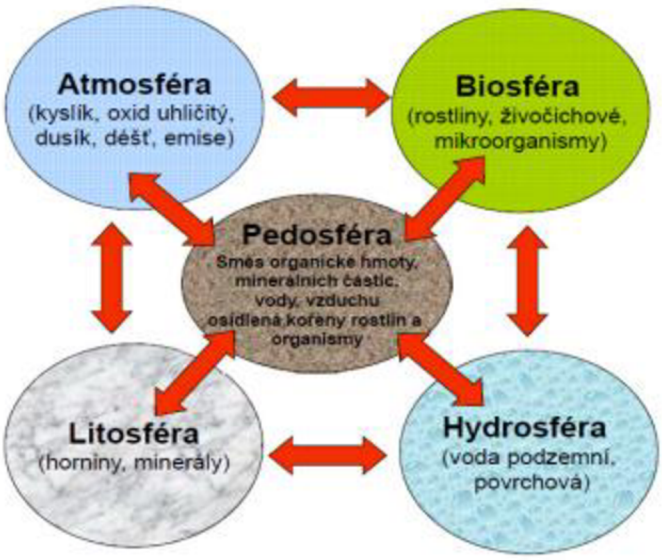
Cílem diplomové práce je sledování kvality a obsahu primární půdní organické hmoty. Pokusy probíhaly na půdních vzorcích z porostů trav kostřavy rákosovité (*Festuca arundinacea* Schreb.*)* a bojínku lučního (*Phleum pratense* L.). Odběry vzorků byly prováděny ze tří hloubek v pravidelných dvouměsíčních intervalech, vždy z nehnojených a hnojených ploch.

1 Literární přehled

1.1 Půda

1.1.1 Vznik půd

Půda je jedním ze základních přírodních zdrojů, který zajišťuje několik funkcí důležitých pro ekosystém (Franzluebbers, 2002). Tomášek (2000) ji považuje za jeden z mnoha základních výrobních prostředků a hlavních kamenů civilizace člověka vůbec. Dále ji popisuje jako svrchní část pevného zemského povrchu, tedy jako pedosféru, která vzniká při tzv. zvětrávání. Vznik půd lze popsat jako dlouhotrvající kontinuální komplexní a dynamický proces, jenž je z menší či větší míry ovlivněn nejrůznějšími faktory a podmínkami. Autoři Šantrůčková et al. (2018) toto tvrzení dále rozšiřují tvrzením, že k tomuto procesu vzniku půd přispívají vzájemnou interakcí fyzikální, chemické a biologické síly (především mikroorganismy, vegetace a edafon). Jde tedy o působení atmosféry, hydrosféry a biosféry na horniny zemského povrchu viz Obr. 1.1 Mezi tyto faktory se řadí abiotičtí nebo biotičtí činitelé, tak i působení okolního prostředí či matečné horniny (Urban a Šarapatka et al, 2003). Na horniny nacházející se na zemském povrchu tyto faktory působí přímo či nepřímo a tím ovlivňují jejich další vývoj. Tyto fyzikální nebo chemické změny, při kterých dochází k rozrušování hornin, se nazývají zvětrávání (Šarapatka, 2014).



Obrázek 1.1: Vzájemné působení atmosféry, litosféry, hydrosféry a biosféry v půdě (Šantrůčková et al., 2018)

1.2 Energetika a obnovitelné zdroje energie

Pojem energetika zahrnuje aktivity průmyslu, díky kterým se energie vytváří, přeměňuje a dále distribuuje. V našem prostředí se jedná hlavně o energii tepelnou a elektrickou (Cenia, 2013). Česká republika (ČR) je součástí řady mezinárodních organizacích a uskupení jako je například Evropská unie (EU) nebo Organizace spojených národů (OSN). Svou účast v těchto organizacích podmiňuje dodržováním řady závazků a smluv, jež se zaměřují mimo jiné na ohleduplnější postoj ochrany všech složek životního prostředí. Za tímto účelem je vyvíjen tlak na intenzivnější využívání obnovitelných zdrojů energie (OZE). Dále jsou přijímány různé motivační zákony a opatření, a to i v mezinárodním prostředí. Například zákon č. 165/2012 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (Holík, 2013). Tento zákon podporuje produkci elektřiny a tepla z OZE a druhotných energetických zdrojů, zvýšení podílu biomasy rostlinného původu v energetickém mixu či dohlíží na výkon státní správy a práva a povinnosti z toho vyplývající pro fyzické a právnické osoby. Dále například „Energetický zákon“ č. 458/2000 Sb. (sborník zákonů ČR, 2001), který formuje základy českého energetického práva. Z aktivity Evropské komise (EK) pochází směrnice souhrnně označovaných jako Zimní balíček, které si kladou za úkol splnit závazky plynoucí z Pařížské klimatické konference a konkrétními kroky podpořit přechod z fosilních paliv na OZE (Pokorný, 2019).

Nejen v českém, ale i v celosvětovém měřítku dodávání a výroby energií stále dominují zdroje z fosilních paliv, konkrétně z uhlí a ropy. Jedním z důsledků neustále se zvyšujícího počtu lidské populace je markantnější využívání těchto zdrojů energie, což vede ke zvyšování spotřeby a distribuce. S tím se pojí navyšování podílu emisních látek a skleníkových plynů v atmosféře, které dále napomáhají ke zrychlování globálního oteplování (Ho a Show, 2015). Ma a Fu (2020) doplňují, že tato spotřeba je velmi nevyrovnaná a uvádí, že přibližně 30 % současné populace původem z vyspělých států spotřebovává 80 % vytvářené energie. Tento nárůst vytváří řadu problémů a rizik. Patrný je například prudký nárůst emisí uhlíku v atmosféře, který dále způsobuje vážné ekologické a zdravotní problémy (Zheng et al., 2021). Nebo zvyšování emisí metanu, a to hlavně ze zemědělských činností (European commission, 2020).

Jednou z možností, jak tyto neobnovitelné zdroje fosilních paliv ve výrobě nahradit, jsou takzvané obnovitelné zdroje energie. Díky své obnovitelnosti je lze využít neprodleně a téměř kdykoliv (Frydrych et al., 2002). Mezi typické zástupce OZE se

řadí větrná, vodní, solární nebo geotermální energie (Maczulak, 2010). Od roku 2020 by podíl OZE podle závazků vyplývajících z členství v Evropské neměl klesat pod 13 % z celkové roční spotřeby (European commission, 2013).

Mezi jednu z nejvíce využívaných složek OZE se v České republice řadí energie z biomasy, neboť tvoří až 80 % podílu všech používaných OZE v ČR (Petříková et al., 2006). Cíleně pěstovaná fytomasa a biomasa se dále převážně zpracovává pro účely přímého spalování či výroby bioplynu v bioplynových stanicích (Strašil, 2015).

1.3 Biomasa

Pojem biomasa je definován jako hmota organického původu (Ochodek et al., 2006). Autor Celjak (2008) uvádí, že důležitým prostředníkem při jejím vzniku je sluneční záření. Její rozdělení lze pojmout dle původu na fytomasu, tedy všechnu nadzemní hmotu vytvářenou rostlinami (dřeviny, keře, traviny, byliny apod.) a odpady z ní vznikající (plevy, piliny, sláma, odřezané zbytky atd.). A biomasu živočišného původu. Sem lze zařadit odpady z živočišné výroby, konkrétně kejdu, hnůj, močůvku atd. (Bílek, 2020).

Další energeticky využitelnou biomasu lze najít i v komunálním odpadu, například papírové obaly, zbytky potravin z gastronomického průmyslu anebo čistírenské kaly z odpadového hospodářství (Smarž, 2019). Dále autor doplňuje, že se z něj konkrétně zpracovává biologicky rozložitelný odpad za účely energetického využití. Ostatními potenciálními zdroji biomasy jsou odpady z lesnických prací a obhospodařování krajiny (Fuksa, 2011). Další rozdělení je následující:

Byliny: jedná se o rostliny bylinného charakteru, zpravidla jednoleté, dvouleté či víceleté (El Bassam, 2010). Autor dodává, že čistě objektivně platí, že z pohledu ekonomického a energetického je nejefektivnější pěstování rostlin víceletých a vytrvalých, než tradičních jednoletých s předpokladem, že se nejedná o vedlejší produkt, čímž je myšlena sláma u obilovin nebo olejnin.

Za ideální druhy energetických rostlin lze považovat ty rostliny, které se vyznačují vysokým množstvím nadzemní hmoty (Strašil, 2009). Dále je důležitou charakteristikou pro tyto byliny schopnost odolávat nízkým teplotám, vysoká konkurenceschopnost, rychlý růst a pro účely výroby energie spalováním vhodný poměr popelovin a dusíku (Machado et al., 2017). Tyto rostliny jsou tedy pěstovány za účelem výroby

energie. Možnou alternativou jejich dalšího využití je uplatnění jako surovin v papírenském průmyslu (Saijonkari-Pahkala, 2001). Další alternativou se nabízí uplatnění ve farmaceutickém průmyslu (Strašil, 2009).

Rychle rostoucí dřeviny: za rychle rostoucí dřeviny (RRD) lze považovat ty, které disponují vysokou objemovou produkcí dřeva a následujícím rychlým růstem za rok (Količný a Hase., 2011). Tuto průměrnou hodnotu stanovuje stejný autor pro naše klimatické podmínky na 8–10 t sušiny·ha^{-1}. Dále autor popisuje základní vlastnosti, kterými RRD disponují, konkrétně: počátečním rychlým terminálním růstem (až 1 m za rok), dobrou schopností obrůstání pařezu a přirozenou odolností vůči chorobám a škůdcům. Konkrétními druhy dřevin pro pěstovaní na plantážích jsou například topol černý, balzámový či různí kříženci vrb (Strašil, 2009).

Dle současně nastaveného kurzu energetické politiky si Česká republika klade za cíl dosažení podílu obnovitelných zdrojů na celkové spotřebě primárních energetických zdrojů ve výši 15,7 % k roku 2030. Pokryv biomasy v tomto vytyčeném cíli je stanoven na tři čtvrtiny tohoto podílu (Weger, 2009). Fuksa (2011) v tomto směru přispívá poznatkem, že se množství vyrobené elektřiny za pomocí biomasy v ČR neustále zvyšuje.

Výkonnost a využitelnost jednotlivých OZE je však omezena jejich alokací, ať již zeměpisnou či v závislosti na podnebí (Maradin, 2021). Možnou alternativou zisku energie pro Českou republiku je cílené pěstování biomasy pocházející například z tzv. energetických trav (Fuksa et al., 2012).

1.3.1 Pěstovaní trav pro energetické využití

Česká republika je země s omezenými přírodními zdroji, proto je potřeba hledat nové zdroje energie tak, aby se závislost na fosilních palivech snížila. Tomuto v posledních letech nahrává i stále se zvyšující důraz na reálné zapojení a využívání OZE v běžném životě (Pitron, 2014). Avšak podle Káry (2005) je důležité zmínit, že každý potenciální zdroj OZE má své limity vyplývající z jejich zeměpisného umístění či klimatických faktorů, což významně ovlivňuje právě jejich rozšíření jako například v ČR. Jako vhodnou alternativu pro Českou republiku se podle Strašila (2012) jeví varianta cíleného pěstování energetických trav pro bioplynové stanice (BPS). Podle Strašila lze tyto trávy pěstovat na jinak méně kvalitních půdách nebo nevyužívaných plochách. Mezi hlavní vlastnosti, kterými by měly energetické trávy disponovat, jsou podle

Fuksy (2009) odolnost vůči negativním faktorům prostředí, rychlý růst nadzemní biomasy, nízký obsah ligninu nebo nenáročnost na živiny. Později se Fuksa ve své práci zmiňuje o tom, že takto pěstované trávy kromě energetických účelů plní i další prospěšné funkce v krajině. Konkrétně zmiňuje kulturní, estetické, ekologické (zvyšování biodiverzity, tvorba úkrytu organismům, zdroj potravy) a mimoprodukční funkce či omezování výparu vod z krajiny. Za největší nevýhodu považuje v závislosti na druhu menší výnosy nebo výhřevnost. A proto doporučuje používat energetické trávy v bioplynových stanicích v takzvaném energetickém mixu s další biomasou. Grendtová et al. (2018) uvádí, že zastoupení trvalých travních porostů (TTP) s přibývající nadmořskou výškou logicky stoupá. Podle těchto autorů je jejich zastoupení v kukuřičné výrobní oblasti (K) a řepařské výrobní oblasti (Ř) pouze 5 %. Zatímco v horských oblastech tvoří až 70 % všech zemědělsky využívaných ploch. Trvalé travní porosty mají taktéž významnou produkční úlohu při zajišťování krmivové základny (Petřík et al., 1987).

Oblíbenost alternativy pěstování energetických trav se odráží i v trendu výměry ploch s TTP, který se v současnosti neustále zvyšuje. K roku 2019 činila jejich rozloha na zemědělské půdě 991 838 ha (ČSÚ, 2019). Současná dostupná data, vydaná k roku 2020, hovoří o tom, že podíl všech TTP tvoří 24,3 % veškerých zemědělských pozemků (Český úřad zeměměřický a katastrální, 2021). Tento trend potvrzuje svým tvrzením také Kopecký et al. (2021), kdy uvádí, že pěstování energetických rostlin a trav je v současnosti nedílnou součástí moderního zemědělství.

Za vhodné druhy energetických trav v našich podmínkách považují autoři Strašil et al. (2011) trávy z čeledi lipnicovitých, konkrétně kostřavu rákosovitou (*Festuca arundinacea* Schreb.) anebo bojínek luční (*Phleum pratense* L). Tyto druhy trav byly použity i pro pokusy v rámci této práce.

1.4 Charakteristika vybraných energetických trav

1.4.1 Bojínek luční (*Phleum Pratense* L.)

Jedním z vhodných druhů pro účely pěstování biomasy určených pro výrobu energie v bioplynových stanicích je druh *Phleum pratense* L. Bojínek luční patří mezi naše nejproduktivnější trávy, s větší výnosovou variabilitou, která je podmíněna srážkovými poměry, výnosy se pohybují kolem 8–15 $t \cdot ha^{-1}$ sušiny (Nerušil a Menšík, 2016). Jedná se o víceletou, volně trsnatou trávu z čeledi lipnicovitých (Langer, 1956). Na území České republiky jsou lipnicovité trávy hojně zastoupeny v kulturních i v přirozených travních porostech (Šantrůček et al., 2001). Konkrétně tito autoři ve své publikaci uvádí přibližně 240 druhů z této čeledi. Autoři však později dodávají, že z významných druhů lipnicovitých, podílejících se na charakteru travních společenstev, na našem území dominuje jen několik desítek z nich (30–40 druhů).

Botanické zařazení

Bojínek luční je volně trsnatou, vytrvalou trávou běžně dorůstající až 1 m, která odnožuje extravaginálně. Právě schopnost vytvoření hustého drnu napomáhá v odolnosti vůči přejezdům těžké techniky a sešlapu při pastvě hospodářskými zvířaty (Šantrůček, 2007). Tráva je jarního i ozimého charakteru a vykazuje rychlý růst, který se objevuje hlavně po první seči v období dalšího roku po vysetí. Během druhého roku také dosahuje maximální produkce, která činí až 15 $t \cdot ha^{-1}$ (Petřík et al., 1987). Je vypozorováno, že v lokalitě vydrží 6 až 10 let (Velich, 1994). Jeho využití spočívá v zapojení v jetelotravních směsích v TTP, dále v lučních a pastevních porostech nebo v posledních letech jako složka v energetickém mixu pro BPS (Kopecký et al., 2015).

Charakteristika

Kořenová soustava bojínku lučního se vyznačuje hustou rozvětveností a mělkostí kořenů uložených do 10 cm hloubky (Velich, 1994). A to i v jinak kvalitnějších kyprých půdách (Regal, 1972). Jako další popisuje autor Velich (1994) stébla. Ty jsou poměrně silná s listy vykazující mírnou drsnost, o rozměrech 5 až 10 mm na šířku a 300 mm na délku. Květenství vytváří bojínek v podobě lichoklasu o velikosti až 200 mm, následně vzniklé obilky jsou oválné. Hmotnost tisíce semen (HTS) bojínku se pohybuje v rozmezí 0,3–0,5 g. Typická je pro tuto trávu rychlá klíčivost semen, kdy dochází ke vzcházení již čtrnáct dnů po zasetí (Velich, 1994).

Stanoviště

Na podmínky panující na stanovišti není bojínek příliš náročný, všeobecně je poměrně odolný a přizpůsobivý, bez problémů snáší nižší teploty a dlouho ležící sníh, takže je vhodnou travou pro pěstování i v méně příznivých, výše položených lokalitách s většími úhrny srážek (Velich, 1994). Co se týče půdních druhů, za optimální považuje ten samý autor půdy střední a těžké. Půdní reakci, při které běžně roste, stanovují Nerušil a Menšík (2016) na pH 3,6–7,2.

1.4.2 Kostřava rákosovitá (*Festuca arundinacea* Scherb.)

Dalším zkoumaným druhem energetické trávy v této práci je *Festuca arundinacea* Schreb. Jedná se o široce rozšířenou travu původem z Evropy. Běžně se vyskytuje v pevninské části kontinentu v mírném podnebním pásu, ale i v severní části Evropy, severní Africe, Sibiři a střední Asii (Gibson a Newman, 2001). Lze ji najít v TTP i porostech určených k pastvě. Její setí probíhá zpravidla na jaře do krycí plodiny, ale vysévat ji lze i v čisté kultuře (Biom, 2011). Velich (1994) k tomuto doplňuje, že pozemek musí být před setím důkladně odplevelen. Mezi nejproblémovější druhy pro porosty kostřavy patří pýr plazivý (*Elytrigia repens* L.*)* nebo předešlý výskyt srhy laločnaté (*Dactylis glomerata* L.) na daném pozemku (Biom, 2011). Pro pěstování za energetickými účely je doporučeno setí do užších řádků do hloubky 2–3 cm a výsevek by měl činit 15–16 $kg \cdot ha^{-1}$ (Frydrych et al., 2006). Zdroj Biom (2011) uvádí výnos suché hmoty nadzemní části trávy ve druhém roce kolem 6–11 $t \cdot ha^{-1}$. Pro první rok po zasetí v monokulturách uvádí Frydrych et al. (2002) výnosy porostů kostřavy v plné zralosti na 5 $t \cdot ha^{-1}$.

Botanické zařazení

Festuca arundinacea Schreb. se zařazuje mezi vytrvalé hustě trsnaté trávy ozimého charakteru, čeledi lipnicovitých, s dlouhou vegetační dobou. Obrůstá brzy z jara a zůstává zelená do pozdního podzimu (Biom, 2011). Autoři Gibson a Newman (2001) toto tvrzení poupravují na měsíce červen a červenec a pak během podzimu na měsíc září.

Charakteristika

Typickým znakem pro kostřavu je její vzrůst nadzemní i podzemní části. Podzemní část disponuje rozvětveným kořenovým systémem sahajícím do hloubky až 1 m (Gibson a Newman, 2001). U nadzemní části se výška trávy pohybuje až do 2 m

(Biom, 2011). Díky své široké ekologické nice dobře snáší výkyvy vnějších podmínek (Frydrych et al., 2020). Jako například periodické zamokření či naopak sucho (Strašil et al., 2011).

Stanoviště

Ekologická plasticita kostřavy je podobná jako u bojínku lučního (Frydrych et al., 2020). Nejvíce je rozšířena ve vyšších vlhčích polohách (Nerušil a Menšík, 2016). Podle Gibsona a Newmana (2001) se kostřavě přirozeně daří na vlhčích lokalitách s těžšími půdami a lokalitách s vyšší hladinou podzemní vody. Strašil et al. (2011) pokládá za vhodné slanější půdy s vyšším pH.

1.5 Půdní organická hmota a její význam v půdě

Půdní organická hmota (soil organic matter, SOM) má mezi vědci mnoho různých definic, které se od sebe různě liší. Shodují se v tom, jak uvádí autoři Badlock a Nelson (2000), že se jedná o velmi heterogenní hmotu skládající se z látek z živočišného a rostlinného původu (Lehman a Kleber, 2015). Podléhající přeměnám, jako je mineralizace, humifikace, karbonizace a ulmifikace (Jeřábková, 2019).

SOM významně ovlivňuje, kromě úrodnosti i samotné fyzikální a chemické vlastnosti půd nebo bohatost půdní bioty (Kubát et al., 2008). Tým autorů kolem Koláře et al. (2014) zde ještě dodává, že uvedené pozitivní aspekty závisí na lokálních půdních a klimatických podmínkách, způsobu hospodaření nebo například na dodržování agrotechnických termínů. Schnitzer (1991) SOM popisuje jako směs všech organických látek, které obsahují uhlík, a to podle Váchalové (2016) v odumřelých organismech v různém stupni rozkladu nebo ve stále žijících organismech. Šantrůčková et al. (2018) považuje za hlavní zdroj SOM rostlinnou biomasu vytvářenou fotosyntetickou aktivitou všech primárních producentů, tedy hlavně – vyššími rostlinami, řasami a sinicemi.

Organická hmota má zásadní význam v kvalitě půdy, a to nejen pro hospodářské účely, mnohdy je označována za jednu ze základních složek půdy samotné (Ghosh et al., 2010; Hassink et al., 1997). Je prokázané, že půdy s vyšším obsahem půdní organické hmoty lépe hospodaří se zásoby vody a živin, zároveň jsou lépe prohřívané slunečním zářením díky svému tmavšímu zbarvení (Kolář et al., 2014). Dále například svým samotným složením podstatně ovlivňuje SOM půdní chemické, fyzikální či biologické vlastnosti (Krull et al., 2004). A to i za předpokladu, že je SOM zastoupena v celkové hmotnosti půd 1,5–7 % (Brady a Weil, 2008).

Mimo jiné je půdní organická hmota přímo součástí koloběhu některých prvků, konkrétně: C, N, S, O, P, jako příklad lze zde uvést cyklus uhlíku, kdy akumulace půdní organické hmoty v prostředí půdy příznivě ovlivňuje koncentrace CO_2 v atmosféře (Lehman et al., 2020). Ovlivňuje tak tím i rychlost globální klimatické změny (Elderfield, 1998; Schlesinger 1997). Schmidt et al. (2011) ve své práci zmiňuje, že SOM obsahuje třikrát více uhlíku, než atmosféra nebo veškerá zemská vegetace. Podle Lal (2009) dochází průměrně ke zvýšení obsahu oxidu uhličitého v atmosféře o 2 ppm. ročně, a to od roku 2008, kdy hodnota činila 385 ppm. Proto je tak důležitý správný management pro udržení kvality nejen zemědělských ploch, zároveň tento managmentdává možnost ochraně a výzkumu půd i jako jedné z možností zpomalení globální klimatické změny (Lehman et al., 2020). Toto rozšiřuje ještě kolektiv autorů Schmidt et al. (2011) tvrzením, že právě kořeny rostlin jsou schopny zadržovat uhlík mnohem efektivněji, než jejich nadzemní části (listy a jehličí). Se snižujícím se podílem SOM v půdách se snižuje i celková kvalita půd. Jako příklad uvádí tým autorů Darwish et al. (1995) horší strukturu či nestabilitu půdních agregátů. Podle Leroy et al. (2008) se takto ochuzené půdy prokazují i malou schopností poutání vody. Což má za následek vyplavování živin a neschopnost jejich zadržení (Lal et al., 2007). Významnou komplikací je i vyplavování fulvokyselin a fenolů vytvářených během rozkladu organismů (Vanhala et al., 2008).

Za pozitivní činnosti, které prokazatelně napomáhají zvyšování obsahu půdní organické hmoty v půdě lze označit dodávání organických hnojiv (Hutchinson et al., 2007). Konkrétně pak využití forem zeleného hnojení, kompostů, hnoje i čistírenských kalů, které však musí být do 24 hodin zaorány (Tejada a Gonzales, 2008). Podle aktualizované české vyhlášky č. 305/2019 Sb. se tato lhůta v současnosti rozšiřuje na 48 hodin (Kubal et al., 2021). Lützow et al. (2006) k těmto pozitivním činnostem doplňuje, že kromě využití příslušného množství je i důležitá kvalita hnojiv a příznivost okolních podmínek prostředí, ale i přesné dodržování agrotechnických termínů.

1.5.1 Fyzikální vlastnosti půdy

Půdu přirovnávají autoři Šimek et al. (2019) svojí strukturou k pórovitému médiu a uvádí, že uspořádání pevných částic v půdních horizontech, jejich shlukování do agregátů, různá velikost, tvar a distribuce pórů mezi nimi vytváří celek zvaný struktura půdy (Šarapatka, 2014). Tato struktura je těmito autory označována jako jedna z nedůležitějších vlastností utvářející fyzikální vlastnosti půdy. Teplotou půdy, jejím prohříváním a vlivem na SOM se ve své práci zabývá (Šantrůčková et al., 2018). Za primární zdroj tepla považuje sluneční energii, která svými denními a sezónními změnami teplot významně ovlivňuje nejen aktivitu edafonu, ale i fyzikální, chemické a biochemické procesy v půdě probíhající. Podle autorů Yiqi a Zhou (2010) je optimální teplota půdy jedním z důležitých faktorů ovlivňující dýchání půdy a primární produktivitu rostlin. Zároveň doplňují, že vedení tepla je v půdě významně pomalejší, než jak je tomu v atmosféře. Teplotní změny jsou nejvíce pozorovatelné v horních vrstvách půdy. V podnebních podmínkách České republiky se změny teplot týkají hloubek do 1 m, poté jsou teplotní změny minimální a v průběhu sezón se mění jen o několik stupňů (Šantrůčková et al., 2018). Na téma teploty navazuje Šimek et al. (2019) problematikou barev půd. Tvrdí, že barva svědčí o mnoho procesech v ní probíhajících či slouží jako indikátor samotné organické hmoty, aerace nebo vodního režimu.

Kromě tohoto barva půdy ovlivňuje teplotu samotnou a nepřímo i vlhkost podle obsahu a kvality SOM (Šarapatka, 2014). Nejkvalitnější černě zbarvené půdy disponují vysokým obsahem humusu, ve kterých již půdní organická hmota stačila projít procesy humifikace. Šimek et al. (2019) ale doplňuje, že černá barva bývá také způsobena větším zastoupením oxidů manganu. Hnědými a světlehnědými odstíny disponují mladší a méně kvalitní půdy, ve kterých koncentrace humusu nejsou takové, jako u černých půd. Bílé půdy v povrchových horizontech bývají indikátorem akumulace solí v lokalitě. Jako poslední vlastnost utvářející momentální zbarvení uvádí tento autor míru vlhkosti prostředí a obsah železa.

Přibližně polovina objemu minerálních půd je tvořena póry vyplněnými vodou nebo půdním vzduchem, který zásadně ovlivňuje rychlost zde probíhajícího mikrobiálního rozkladu organických zbytků (Šarapatka, 2014). Tento autor dále uvádí, že nedostatek nebo naopak přebytek kyslíku v půdě má vliv i na samotný příjem vody a živin kořeny rostlin. Podle Váchalové et al. (2016) hospodaření půdy s vodou za optimálních podmínek vypadá tak, že přebytek vody je propouštěn makropóry do spodních

vrstev půdy, a naopak v teplejších měsících roku, kdy se zvyšuje intenzita sucha, by mělo docházet k čerpání vody ze spodní části kapilárních pórů směrem nahoru ke kořenům rostlin. Yiqi a Zhou (2010) uvádí, že složení půdního vzduchu je podobné zemské atmosféře, která obsahuje zhruba 21 % O_2, 78 % N_2 a 0,035 % CO_2 (Šarapatka, 2014). Avšak v podílu půdního vzduchu je v menší míře zastoupen O_2, zatímco v horních horizontech se jeho hodnoty pohybují kolem 20 %. V nižších horizontech je to už pouze mírně pod 20 % v hlubších horizontech mohou hodnoty O_2 klesnout až pod 5 % (Yiqi a Zhou, 2010). Šarapatka (2014) dodává, že k nižším hodnotám kyslíku dochází v místech akumulace vod, jako jsou například nivy. V normálních podmínkách je obsah CO_2 v rozmezí 0,3–0,5 % (Yiqi a Zhou, 2010). Rovněž je vypozorováno, že při úbytku kyslíku v půdě stoupá obsah oxidu uhličitého (Novák, 2012). Toto doplňuje Šarapatka (2014) poznatkem, že složení půdního vzduchu se liší v závislosti na ročním období. S příchodem teplejších a sušších měsíců, tedy v jarním a letním období, se obsah kyslíku a oxidu uhličitého zvyšuje, což je způsobeno nejen teplotou, ale i aktivnějším mikrobiálním rozkladem.

1.5.2 Chemické vlastnosti

Samotné pH půdy ovlivňuje intenzitu chemických reakcí v ní probíhajících a aktivitu edafonu (Yiqi a Zhou, 2010). Vliv pH je zásadní při půdotvorném procesu, kdy ovlivňuje zvětrávání, toky látek a půdní strukturu (Šarapatka, 2014). Šimek et al. (2019) pH dokonce zařazuje mezi nejvýznamnější chemické vlastnosti půdy z toho důvodu, že kromě ovlivňování rozpustnosti, mobility a dostupnosti biologických živin má vliv i na půdní strukturu. Za optimální půdní reakci pro vznik zemědělsky kvalitních půd s vhodnou strukturou považují tito autoři neutrální až slabě alkalické reakce s převažujícími dvojmocnými kationty Ca^{2+} a Mg^{2+} v půdním prostředí a trojmocnými kationty Al^{3+} při silně kyselé reakci. Dalšími vlastnostmi, které půdní reakci významně ovlivňují, jsou sorpční charakteristiky, vznik půdních komplexů, kvalita humusu a edafon, kdy dochází vlivem snížení pH k útlumu jeho činnosti na mikrobiální úrovni (Váchalová et al., 2016). Šarapatka (2013) uvádí, že půda má schopnost se bránit okyselení díky pufračním mechanismům. Dále zmiňuje, že kyselou půdní reakci lze redukovat omezením kyselých vstupů do půdy a dodatečným vápněním při agrotechnických termínech či kypřením půd, což zabraňuje jejich následnému utužení.

Šimek et al. (2019) dělí půdní reakce na následující druhy: aktivní a výměnný. Borůvka (2005) rozlišuje ještě třetí druh půdní reakce označovaný jako hydrolytický:

Aktivní reakce: tato reakce je způsobena větším podílem volných iontů H^+ obsažených v půdním roztoku. K označení této reakce se používá zkratka $pH_{H20,}$ jelikož k měření dochází ve vodní suspenzi nebo výluhu. Vyjadřuje okamžitý stav volných vodíkových iontů v půdním roztoku. Ovlivňuje průběh biochemických procesů, jako je například dostupnost a příjem živin rostlinami, aktivitu mikroorganismů nebo zpomalení růstu kořenů rostlin (Neina, 2019). Naměřené hodnoty aktivní půdní reakce mohou být zvýšené při srážkách, zatímco za suchých podmínek dochází k jejich snížení z důvodu vyšší koncentrace rozpustných solí (Apal, 2017).

Výměnná reakce: aktivní půdní reakce je podle Neina (2019) v průběhu času značně proměnlivá. Snadno ji ovlivňují vnější faktory, jako vítr, způsob obhospodařování půdy v lokalitě či druh a intenzita hnojení, proto je pro dlouhodobé sledování stavu půdy a statistické vyhodnocení vhodnější stanovování pomocí tzv. výměnné půdní reakce, která je méně náchylná na změny v průběhu roku. Je definována, jako schopnost půdy změnit reakci půdního roztoku neutrálních solí. A tím i potenciální formu půdní reakce (Šimek et al., 2019). Vyšší obsah volných iontů H^+ způsobuje nižší hodnoty z výluhu půdy, než u pH_{H20}, které jsou vždy nižší (Neina, 2019). Zbytek acidity je způsoben ionty Al^{3+} a v menší míře Fe^{3+}. Kyselé půdy jsou typické v oblastech s přirozeně se vyskytujícími vyššími srážkami právě proto, že dochází k vymývání bazických kationtů ($Ca2^+$**,** $Mg^{2+}K^+$, Na^+) z povrchových horizontů a jejich následnému nahrazení ionty Al^{3+} a H^+ (Xu et al., 2020).

Hydrolytická reakce: pomocí této potenciální půdní reakce se popisuje schopnost půd měnit reakci roztoků hydrolyticky štěpitelných solí. Stanovuje se pouze titračně jako hydrolytická acidita Ha v $mmol \cdot 100\ g^{-1}$ či $mmol \cdot kg^{-1}$. Jedním z důvodů, proč se stanovuje tato půdní reakce, je, že při vyluhování iontů z půdy roztokem neutrální soli (KCl či $CaCl_2$) se nepodaří všechny ionty H+ ze sorpčního komplexu vytěsnit. K vytěsnění všech vázaných iontů se proto používá hydrolyticky alkalických solí octanu sodného nebo vápenatého. Výsledná hodnota hydrolytické reakce je zpravidla vyšší, než ta u výměnné. V současnosti se od stanovování této metody upouští a k využití dochází pouze při stanovení stupně nasycení sorpčního komplexu dle Kappena (Borůvka, 2005).

Pomocí takzvané kationtové výměnné kapacity (KVK) se popisuje fyzikálně-chemická schopnost půdy, při které dochází k adsorbování nebo naopak k výměně kationtů. Je určena stupněm kvality a obsahem půdních koloidů v půdě (Šimek et al., 2008). KVK se udává v molech pozitivního náboje na jednotku hmotnosti (Šarapatka, 2014). Její konkrétní využití lze nalézt například v kvalifikaci a taxonomii konkrétních půd (Khaledian et al., 2017). Kromě těchto klasifikací má kationtová výměna význam v půdní fyzice, chemii, dále hraje významnou roli v úrodnosti půdy, zadržování živin v půdě a také v příjmu živin rostlinami (Tan, 2005). Kationtová výměnná kapacita půd je dle Šarapatky (2014) ovlivňována mírou zastoupení různých koloidních částic a KVK každého z nich. Toto podle stejného autora způsobuje, že písčité půdy disponují menší výměnnou kapacitou, nežli je tomu u jílových půd, jílových minerálů a humusu. Je to dáno tím, že humus má podle Tan (2005) větší povrch, proto se na něj kationty, oproti písčitým půdám snadněji váží. V českých podmínkách pak disponují nejvyšší KVK černozemě. Jedním z faktorů, které KVK ovlivňují, je pH půdy v závislosti na pH lze kationtovou výměnou kapacitu rozdělit na potencionální ($KVK_{pot.}$) a aktuální ($KVK_{akt.}$), (Šarapatka, 2014). Kolektiv autorů Helling et al. (1964) objevil lineární závislost mezi KVK jílu a pH. Totéž prokázal i pro organickou hmotu. Při zvyšujícím se pH stoupá tedy KVK jílu i organické hmoty v půdě.

Během zvětrávání půd se zároveň zvyšuje kationtová výměnná kapacita (Brady a Weil, 2002). Proto je koncentrace výměnných kationtů také důležitá pro měření stupně zvětrávání a prosakování daných půd (Tan, 2005).

Tabulka 1.1: Orientační hodnoty KVK pro vybrané půdní druhy (Šarapatka, 2014)

Půdní druhy	KVK ($mmol \cdot kg^{-1}$)
Písčité půdy	20–100
Hlinité	<250
Jílovité	<800

1.5.3 Biologické vlastnosti

Vývoj půd a biologických vlastností půdy úzce souvisí s vývojem společenstev, jejichž zbytky jsou základním kamenem tvorby humusu a primární půdní organické hmoty (PPOH) a dalších produktů (Kolář et al., 2014). V porovnání s ostatními složkami životního prostředí je půda velmi komplexní, heterogenní systém abiotických a biotických složek, tvořený půdním vzduchem, půdním roztokem, minerální složkou, organickou hmotou a živými organismy (Sáňka a Zímová, 2016). Biologické vlastnosti půdy a SOM popisuje ve své práci Šantrůčková et al. (2018). Konkrétně zmiňuje, že se půda skládá ze tří hlavních částí. Pevné části, tu tvoří minerální částice v podílu 45 %, 20–30 % půdního roztoku a 20–30 % vzduchu a organické hmoty, přičemž SOM tvoří pouze 5 % z podílu objemu půdy. V půdě se vyskytuje velký počet mikroorganizmů i makroorganizmů, které se souhrnně nazývají půdní edafon (Sáňka a Materna 2004). Dále se podle těchto autorů nachází na 1 m^2 1–200 tisíc jedinců makrofauny a miliardy jedinců mikrofauny (mikroedafonu). Na 1 ha se nachází 2–10 t živé půdní hmoty, což je cca 0,05 – 0,5 % z hmoty půdy. Mezi hlavní zdroje živin z organické hmoty pro tento edafon řadí Nannipieri et al. (2017) kořeny spolu s nadzemní rostlinou biomasou. Podle příjmu látek z půdy lze i rozdělit jednotlivé skupiny organizmů na fagotrofní, ostmotrofní a mixotrofní (Šantrůčková et al., 2018).

Fagotrofové: sem se řadí půdní organizmy, které jsou schopny získávat a následně konzumovat potravu z pevných částic. Nadbytečné živiny a dále nestravitelné látky jsou jimi posléze vylučovány zpět do půdního prostředí. (Šantrůčková et al., 2018).

Osmotrofové: do této skupiny patří podle stejné autorky většina rostlin, zástupci mikroflóry (bakterie, houby, řasy, archea) a jednobuněčná mikrofauna. Přijímané živiny jsou těmito organismy vstřebávány z půdního roztoku. Za možný původ živin označuje Šantrůčková et al. (2018) zvětrávané minerály, rozkládanou organickou hmotu nebo probíhající výměny iontů navázaných na půdním sorpčním komplexu.

Mixotrofní: Jako poslední skupinu podle způsobu příjmu látek definuje Šantrůčková et al. (2018), zde řadí mixotrofní organismy, tedy řasy a prvoky, kteří látky přijímají z půdního roztoku, ale mohou si však pomoci tzv. fagocytózou, tedy obalením pevné částice vnější membránou a vakuolou, v níž je konkrétní částice rozložena.

U rostlin je příjem látek a živin podmíněn transpirací a transpiračním tokem, který potřebné živiny dodává ke kořenům rostlin Šantrůčková et al. (2018). Rostliny přijímají živiny z půdního roztoku ve formě kationtů a aniontů. V případě fosforu je to formou fosfátových aniontů (Tate, 1984).

1.6 Rozdělení půdní organické hmoty podle stability

Půdní organická hmota je neobvykle složitá, většinou heterogenní směs organického materiálu složená z rostlinných a mikrobiálních zbytků, obsahuje mono-až polymerní molekuly organických látek, lignin, proteiny, různé monosacharidy a polysacharidy (jako například: celulóza, hemicelulóza, chitin, peptidoglykany), lipidy a další alifatické látky (vosky, mastné kyseliny, kutin, suberin, terpenoidy), (Kolář et al., 2009). Kögel-Knabner (2002) provedl pokus o klasifikaci podle chemického složení. Souhrn vybraných skupin látek vyskytujících se v SOM dále popisuje ve své práci Šarapatka (2014), konkrétně zmiňuje a popisuje následné skupiny:

Lignin: do půdy se dostává pomocí odumřelých zdřevnatělých částí rostlin, jichž je součástí (Šarapatka, 2014). Vykazuje velký stupeň stability a v anaerobním prostředí je téměř nerozložitelný (Kolář, 2014). Kopecký (2018) dodává, že lignin prokazuje podobnou stabilitu jako huminové látky.

Monosacharidy a organické kyseliny: monosacharidy vznikající rozkladem polysacharidů a organické látky popisuje autor Šarapatka (2014) jako snadno rozpustné ve vodě, dále jim přičítá snadnou dekompozici způsobenou mikrobiální aktivitou nebo chemickými či fyzikálněchemickými procesy. Tyto látky jsou zdrojem půdního organického uhlíku a zdrojem živin pro edafon (Kolář et al., 2014).

Organické dusíkaté látky: hlavním zdrojem organických dusíkatých látek jsou zbytky z částí z organických hnojiv, pěstovaných rostlin či edafonu. Skládají se z bílkovin, nukleových kyselin a nukleoproteinů Šarapatka (2014).

Vosky, tuky, pryskyřice, třísloviny: jako typickou vlastnost pro tyto látky uvádí Šarapatka (2014) rozpustitelnost pouze v organických rozpouštědlech a odolnost vůči monosacharidům a dalším organickým kyselinám.

Celulóza a hemicelulóza: celulózu považuje Heinze (2015) za hlavní součást stavby rostlinných buněk. Heinze dále zmiňuje její snadnou mikrobiální rozložitelnost. Avšak chemická rozložitelnost je téměř nemožná (Šarapatka 2014). Stejně popisuje Šarapatka i rozložitelnost hemicelulózy.

Popeloviny: Jedná se o minerální látky zastoupené v různém množství v těle rostlin, vznikají spálením organické hmoty. Jejich obsah zpravidla činí méně, než 10 % z celkového množství sušiny (Šarapatka, 2014).

Brady a Weil (2002) využívají k rozdělení půdní organické hmoty její stupeň lability k rozložení. Díky této vlastnosti rozdělují SOM do dvou skupin: pasivní a aktivní.

Pasivní: Tuto skupinu tvoří stabilní frakce s dlouhým poločasem rozkladu, které vykazují malou míru rozložitelnosti, jedná se například o humus (Brady a Weil 2002). Stabilní frakce poté formují organominerální komplexy tvořené z huminových kyselin (HK) a huminů (Fisher a Binkley, 2000).

Aktivní: tedy labilní frakce, pro něž je typická snadná rozložitelnost, například pomocí edafonu, pro který slouží i jako zdroj živin (Brady a Weil 2002). Typickým znakem je malý poměr mezi C:N a krátký poločas rozkladu. Lze do této skupiny zařadit zástupce z mikrobiální biomasy, labilní (nezhumifikované) organické látky a polysacharidy (Fisher a Binkley, 2000).

V souvislosti spjaté s časem a aktivitou edafonu dochází k rozkladu a k přeměně obou skupin (Brady a Weil 2002). Váchalová et al. (2016) důrazně apelují na rozlišování pojmů půdní organická hmota a humus, jež považují za navzájem zásadně odlišné skupiny. Což dále rozšiřuje kolektiv autorů Koláře et al. (2014) tvrzením, že humus jsou výhradně organické látky, které prošly humifikačními procesy. Ve své práci zmiňují látky jako: fulvokyseliny, huminové kyseliny a huminy. Za zbylou půdní organickou hmotu označují shodně oba kolektivy primární půdní organickou hmotou (PPOH). V této práci je rozdělení SOM bráno právě podle těchto dvou kolektivů autorů.

1.7 Primární půdní organická hmota

Důležitost SOM je mezi laickou a odbornou veřejností známá již dlouho. Snadno se dá vypozorovat, 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 et al., 2016). Půdní organickou hmotu lze rozdělit podle stupně stability na stabilní a labilní frakce. Za stabilní frakce jsou považovány látky, jako humus (huminové kyseliny, fulvokyseliny a huminy) a za labilní frakce pak veškerá primární půdní organická hmota (Strosser, 2010). Díky absenci skupiny s disociovatelným vodíkem nemá PPOH iontovýměnné vlastnosti a lze u ní nalézt sorpční schopnost (Váchalová et al., 2016). Kolář et al. (2014) tvrdí, že SOM by se měla kategoricky dělit na dvě složky, konkrétně na primární půdní organickou hmotu a humus. Autor Strosser (2010) ještě ve své práci definuje třetí kategorii SOM, kterou nazývá jako inertní půdní organická hmota. Zahrnuje do ní veškeré nereaktivní organické látky, které mají vliv na fyzikální vlastnosti půdy. Tato půdní organická hmota podle něj vykazuje potenciálně nízkou sorpční kapacitou. Dále jako vlastnost inertní SOM uvádí poločas rozpadu v řádu desetiletí až stovek let. Podle definice Kopeckého et al. (2016) lze popsat primární půdní organickou hmotu jako směs látek organického charakteru, které prozatím neprošly humifikačními procesy. Za hlavní zdroje považuje ten samý kolektiv autorů odumřelé části rostlin, odumřelé části půdního edafonu v různém stupni rozkladu a kořenové exsudáty. PPOH tedy slouží jako zdroj energie pro půdní mikroorganismy a mimo jiné jako ukazatel zdraví a kvality půdy (Strosser, 2010). Pro mikroorganismy vyskytující se v půdě je tedy důležité, aby primární půdní organická hmota byla kvalitní a snadno rozložitelná (labilní), (Kolář et al., 2009). Kvalitu PPOH lze určovat podle úrovně stálosti organické hmoty v půdě. Důležitým znakem eventuální půdní úrodnosti je právě obsah labilních frakcí v půdě (Ghani et al., 2003). Váchalová et al. (2016) ve své práci toto doplňuje tím, že primární půdní organická hmota se běžně vyskytuje jak v labilní, tak i relativně stabilní formě a za kvalitní půdní organickou hmota považuje tu, která mimo jiné obsahuje jak labilní, semilabilní, tak dokonce i semistabilní frakce. Dále zmiňuje, že díky absenci skupiny s disociovatelným vodíkem nemá PPOH iontovýměnné vlastnosti. Lze u ní, ale nalézt sorpční schopnost.

Samotné složení PPOH dále rozšiřuje ve své práci (Poirier et al., 2005). Ten jako další látky uvádí snadno rozložitelné nehuminové látky jako karbohydráty, sacharidy, polysacharidy, organické kyseliny, aminokyseliny, vosky, mastné kyseliny a další nespecifické sloučeniny. Dodáváním organických hnojiv, posklizňových zbytků a dodržováním agrotechnických termínů lze zlepšit dostupnost živin pro edafon a zrychlit proces mineralizace, díky čemuž lze dosáhnout lepšího stavu samotných pěstovaných plodin (Lalande et al., 2009). Dělení PPOH je dnes poměrně dobře popsané a zpracované téma. Hodnotí se pomocí určení stupně její lability, neboli schopnosti k hydrolýze, která určuje náchylnost PPOH k procesům biodegradability (Váchalová et al., 2016). Kopecký et al. (2016) k tomuto však dodává, že se nejedná o procesy humifikace. Rychlost mineralizace ovlivňují faktory, jako stav půdy (pórovitost, pH, vlhkost teplota) a povaha přítomných sloučenin a jejich dostupnost pro mikroorganismy žijící v půdě (Capriel, 1997).

1.7.1 Mineralizace

Mineralizačními procesy, neboli mineralizací, se ve své práci zabývá Šarapatka (2014). Popisuje ji jako reakci, při níž dochází k rozkladu organických látek. Zároveň se této reakce účastní fyzikální, chemické a zejména biologické procesy. Vrba a Huleš (2007) doplňují, že dochází k uvolňování energie, přeměně organických látek na jednoduché minerální látky (vápník, draslík, sodík atd.) a sloučeniny, zejména vodu nebo oxid uhličitý, dusičný a siřičitý. Šarapatka (2014) později ve své práci rozlišuje mineralizaci na dva typy:

Primární mineralizace: v průběhu této části dochází podle Šarapatky (2014) k rozložení sacharidů, polysacharidů, proteinů, aminokyselin a lipidů. Následně jsou produkty primární mineralizace uvolňovány do prostředí, kde mimo jiné slouží jako zdroj potravy pro mikroorganismy a kořeny rostlin. Dochází také k jejich navázání na sorpční komplexy či dochází k vyplavování do podzemních vod. Rychlost primární mineralizace se pohybuje v řádu týdnů až několika let (Šarapatka, 2014).

Sekundární mineralizace: v této fázi jsou rozkládány již humifikované látky organického původu. Z toho vyplývá, že rychlost mineralizace je velmi pomalá a představuje přibližně 1–3 % humusových látek ročně (Šimek et al., 2019).

Průběh mineralizace je ovlivněn řadou podmínek a faktorů probíhajících v okolí, například hodnotou pH. Za vhodné pH považuje Šarapatka (2014) neutrální až mírně

alkalické, při těchto hodnotách lze vypozorovat vysokou biologickou aktivitu v půdním prostředí. Dále to jsou teplota, vlhkost či obsah živin (Vrba a Huleš, 2006). Nebo přítomností vzduchu, což ve své práci popisuje Šarapatka (2014) takto:

Mineralizace v aerobních podmínkách: podle Šarapatky (2014) probíhá v dobře propustných půdách s optimálním poměrem vody a vzduchu v pórech. Mineralizace za účasti aerobních bakterií vede k enzymatické oxidaci organických látek na jednoduché sloučeniny jako je oxid uhličitý nebo voda. Výtěžkem rozkladu bílkovin jsou kromě oxidu uhličitého a vody také aminokyseliny, které podléhají dalším změnám až po produkci iontů (Šimek et al., 2019).

$$R - (C, 4H) + 2O_2 \rightarrow CO^2 \uparrow + 2H_2O + energie\ (478\ kJ.mol\ C)$$

Rovnice 1.1: Základní rovnice rozkladu hmoty v aerobních podmínkách (Šarapatka, 2014)

Mineralizace v anaerobních podmínkách: Za nedostatečného nebo žádného přístupu vzduchu nastává proces rozkladu organické hmoty, který Šarapatka (2014) definuje pojmem rašelinění organické hmoty. Dochází k němu na zamokřených lokalitách s nedostatečným provzdušněním. Za další doprovázející faktory považuje nízkou teplotu, nedostatek živin, minimální mikrobiální činnost a kyselou reakci (Šimek et al., 2019).

$$4C_2H_5COOH + H_2O \rightarrow 4CH_3COOH + CO_2 \uparrow + 3CH_4$$

Rovnice 1.2: Rozklad hmoty při nedostatku kyslíku (Šarapatka, 2014)

1.8 Stabilní organické frakce (humus, jeho třídění, obsah v půdách)

Pojem humus je velice diskutabilní a mezi jednotlivými autory se jeho význam liší. Všeobecně, ale platí, že se jedná o přeměněnou organickou hmotu, která prošla dlouhodobým procesem zvaným humifikace (Kolář et al., 2009). Nejednoznačnosti platí i pro determinaci druhů humusu. Rozlišuje se například na základě původu: na polní, luční, vřesovištní, z rašelinišť a mokřadů nebo na lesní (tento typ je dále rozlišován dle druhu pěstovaných stromů na humus: z jehličnatých, smíšených a listnatých porostů), dle složení a promísení s minerálním podílem složení: primární a sekundární (horizontálně uložený), samostatný a smíšený (vertikálně uložený), podle reakce a sorpční nasycenosti na kyselý, alkalický a neutrální či podle stupně rozkladu na: surový, Talgelova forma, Mul a Moder (Vrba a Huleš, 2006). Šarapatka (2014) jej třídí podle funkcí v půdě na tři základní skupiny:

Materiál humusotvorný: Tento typ je tvořen podle autora nerozloženými organickými zbytky.

Meziprodukty humifikačních procesů: Tyto meziprodukty označuje za zetlelinu a dodává, že je tvořena jednoduššími chemickými sloučeninami.

Vlastní humus: Autorem je popsán jako výsledek humifikačních procesů.

Váchalová et al. (2016) doplňuje definici humusu poznatkem, že za humus považuje jen transformovanou půdní organickou hmotu v takovém stádiu humifikace s již zcela vyhraněnou iontovýměnnou kapacitou. V této práci, jak už bylo naznačeno v předešlých kapitolách je využita definice podle Koláře et al. (2014) ten za humus považuje složky půdní organické hmoty, které podlehly procesu humifikace, tedy již syntetizované, vysokomolekulární sloučeniny. Toto dále upřesňuje tím, že se jedná pouze o tři složky: fulvokyseliny, huminy a huminové kyseliny.

1.8.1 Význam, kvalita a obsah humusu v půdách

Obsah a kvalita humusu jsou důležitými faktory ovlivňující samotnou kvalitu půdy jako takové. Kvalita a množství půdního humusu závisí na půdotvorných procesech, podmínkách a faktorech: čas, klima, biologická a antropogenní činnost, mateřská hornina a topografie místa (Sparks, 2003). Půdy disponující vyšším obsahem humusu snadněji zadržují vodu a lépe odolávají ať už vodní nebo větrné erozi. Jistou měrou se o to zasazují velké póry vytvářené přítomností humusu v půdě, které jsou schopny vodu přijímat a zadržet (Stevenson, 1994). Podle obsahu humusu lze rozdělit půdy na

humózní a humusové. Humózní půdy disponují obsahem organických látek do 20 % a půdy humusové obsahem organických látek nad 20 % (Šarapatka, 2014). Další možné členění humózní půdy od stejného autora je znázorněno v Tabulce 1.2. V prostředí půd České republiky se průměrný obsah humusu pohybuje v rozmezí 1,8 – 2,2 % (Šnobl et al., 2005). K půdní úrodnosti přispívá humus vlivem na strukturu půdy, orbu či výměnou kapacitu kationtů.

Labilitu humusu ovlivňuje několik faktorů, jako příklad lze uvést chemické složení humusu, půdy, nízký obsah ligninu i přeměnu a její rychlost. Za optimálních podmínek by poměr C: N měl činit 20:1, jinak dochází k odebírání dusíku organickou hmotou z půdy, to má za následek ochuzení rostlin o živiny (Váchalová et al., 2016).

Ztráty půdní organické hmoty (a tím 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 (Vanhala et al., 2008).

Tabulka 1.2: Členění humózních půd (Šarapatka, 2014)

Třídění půd	**Humus (%)**
Slabě humózní	<1
Mírně humózní	1–2
Středně humózní	2–3
Silně humózní	3–5
Velmi silně humózní	>5

1.8.2 Humifikace

Humifikace je střídavou aerobní a anaerobní syntézou huminových látek z jednoduchých sloučenin, které vznikly rozkladem organické hmoty (Šimek et al., 2019). Rejšek a Vácha (2018) toto tvrzení doplňují poznatkem, že se jedná o klíčovou formu transformace organické hmoty v půdě, kdy vznikají svou stavbou různě nebo zcela amorfní látky koloidních rozměrů. Kolář et al. (2014) k faktorům střídání přístupu a nepřístupu vzduchu doplňují ještě procesy, jako je periodické zavlažování a vysušování půdy, což má vliv například na rozklad, biodegradaci, kondenzaci či polymeraci primární půdní organické hmoty a tvorbu nových specifických látek. Kolář et al. (2009) dodává, že proces přeměny PPOH na humus (tedy humifikace) je charakteristický svou délkou, která se, na rozdíl od mineralizace PPOH, pohybuje v řádu desítek a stovek let. Jedná se o procesy přeměny primární půdní organické hmoty (enzymatické, biochemické či mikrobiální) Kolář et al. (2014), které vedou k tvorbě huminových látek (Šarapatka, 2014).

Nehumifikované organické látky: tvoří 10–15 % z celkového organického podílu půdy a představují nerozložené nebo částečně rozložené zbytky rostlin, organických hnojiv, živočichů, včetně mikroedafonu a makroedafonu. Nerozložené zbytky rostlin, živočichů a organických hnojiv jsou postupně přeměňovány na konečné produkty, které slouží jako výživa rostlin (Kolář et al., 2014). Tento proces se nazývá mineralizace. Tyto nehumifikované organické látky tvoří tzv. živný humus (Šarapatka, 2014).

Humifikované organické látky: Tyto látky vznikají za omezeného přístupu vzduchu během humifikace zároveň s částečnou mineralizací SOM a za spolupůsobení enzymů vylučovaných mikroedafonem (Šarapatka, 2014). Během humifikace tak dochází k tvorbě nových, velmi složitých organických nebo organominerálních látek, souhrnně označovaných jako trvalý humus (Šimek et al., 2019). Nově vytvořené humusové látky v půdě jsou vysokomolekulární organominerální dusíkaté sloučeniny, s řadou specifických vlastností důležitých pro výživu rostlin a půdní úrodnost (Kolář et al., 2014). V celkovém podílu obsahu organických látek v půdě zabírají humifikované látky 85–90 %. Vzniklé humifikované látky mohou reagovat i s jílovými minerály a vytvářet tak organominerální komplexy (Vrba a Huleš, 2006). Humusové látky se rozlišují na huminové kyseliny, huminy a fulvokyseliny (Kolář et al., 2014). V půdních podmínkách probíhají tři odlišné typy humifikací, jedná se o: humifikaci ze zděděných

vedlejších produktů mineralizací, humifikaci zestupňováním chemické složitosti a posledním rozlišovacím typem je humifikace jako projev aktivního bakteriálního metabolismu (Gobat et al., 2004).

1.9 Možnosti hodnocení kvality a množství SOM

Jednou z dlouho používaných metod určených ke stanovování obsahu humusu pomocí tzv. mokré cesty je násobení C_{OX} (celkový oxidovatelný uhlík) faktorem 1,724. Tento výsledek pochází z jednoduchého výpočtu 100:58. Kolář et al. (2014) toto považuje za zastaralé a hlavně chybné, protože v minulosti byl znám pouze jeden druh huminové kyseliny, který obsahoval právě 58 % uhlíku. Dnes je již podle něj známa celá skupina huminových kyselin. Jako další chybu uvádí, že nebyla brána v potaz PPOH. Té podle něj také náleží určitá část C_{OX} a ne pouze humusu.

O podílu humusu v tomto rozdělení C_{OX} mezi humus a primární organickou půdní hmotu, informuje stupeň humifikace (S_H), (Wei et al., 2014). Jedná se o podíl C_{OX} huminových kyselin a fulvokyselin, dělený celkovým půdním C_{OX}. Zlomek se násobí hodnotou 100, aby údaj S_H vyjadřoval množství humusu v procentech celkové půdní organické hmoty (Kolář et al., 2014). V závislosti na kvalitě půdy a druhu pěstované rostliny autor dodává, že stupeň humifikace bývá rozdílný a zpravidla se pohybuje v rozmezí od 5 do 40 %. Za potenciálně velmi vhodné nové metody pro zkoumání humifikace považuje Rejšek a Vácha (2018) tři laboratorní metody: denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE), Terminal Rectriction Fragment Lenght Polymorphism
(T-RFLP) a Stable isotope Probing(SIP).

V současnosti je stále rozšířenou metodou hodnocení kvality humusu za pomoci barevného kvocientu $Q_{4/6}$ (Váchalová et al., 2016). Původně tato metoda sloužila k důkazu huminových kyselin v různých půdních typech (Kolář et al., 2014). Jedná se o poměr absorbancí roztoku humusových kyselin při vlnových délkách v rozmezí 450-650 nm. Lze jej určovat rovnou z půdy pomocí extrakce humusu z půdy. V současnosti je už známo, že extrakce výrazně mění specifické vlastnosti a znaky humusu, jako je kationová výměnná kapacita. Proto by měl být brán pouze jako orientační (Váchalová et al., 2016).

Poslední z rozšířených metod je stanovení poměru huminových kyselin a fulvokyselin HK:FK (Kolář et al., 2014). Stejní autoři ve své práci tuto metodu popisují tak,

že čím větší je v poměru zastoupení huminových kyselin, tím se humus považuje za kvalitnější. Zároveň ale dodávají, že toto stanovení je poněkud černobílé, jelikož huminové kyseliny se chovají dle typu půd trochu rozdílně, a nejen vysloveně pozitivně, fulvokyseliny mají i řadu pozitivních vlastností, jako je například vyplavování fosforu do nižších vrstev. Poměr HK:FK je tedy podle nich pouze orientační, a ne zcela vypovídající o kvalitě humusu.

1.9.1 Nové postupy hodnocení kvality a množství SOM

S možnou inovací předešlých metod přišel kolektiv autorů Kopeckého et al. (2022), v publikaci autoři separátně hodnotí a oddělují od sebe jednotlivé části humusových látek (humusu) a primární půdní organické hmoty. Kvalitu PPOH posuzují určením rychlostní konstanty oxidace za pomoci dichromanu draselného v prostředí kyseliny sírové, ta zde plní funkci ukazatele kvality nezhumifikované primární půdní organické hmoty. A úbytku půdní organické hmoty (úbytku uhlíku) v půdních vzorcích. 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. Zjištěním celkového obsahu organického uhlíku a od něj odečteného množství uhlíku připadajícího do PPOH, je výsledkem množství uhlíku, který náleží humusu. Kvalita humusu je poté stanovena prostřednictvím kationové výměnné kapacity.

2 Cíle a hypotézy

Hlavním cílem této práce je provedení analýzy půdních vzorků, které povede k určení kvality a množství půdní organické hmoty ve zkoumaných vzorcích. Půdní vzorky pocházejí z porostů energetických trav kostřavy rákosovité (*Festuca arundinacea* Schreb.) a bojínku lučního (*Phleum pratense* L.). Byly odebrány z hloubek 0–10 cm, 10–20 cm a 20–30 cm. Současně byl hodnocen vliv minerálního hnojení na sledované parametry.

Dílčí cíle

1) Péče o porost trav kostřavy rákosovité (*Festuca arundinacea* Schreb.) a bojínku lučního (*Phleum pratense* L.) podle metodiky, jejich hnojení, a spolupráce na provádění všech agrotechnických operací.

2) Odběr půdních vzorků ze zkoumaných ploch. Vždy z přesně určených hloubek a v pravidelných intervalech (dle stanovené metodiky).

3) Úprava půdních vzorků pro laboratorní práce.

4) Analýza upravených vzorků podle metodiky od Kopeckého et al. (2022).

5) Vyhodnocení získaných výsledků.

Hypotézy

1) Během vegetační sezóny se bude půdní ekosystém dynamicky vyvíjet, což se projeví změnou kvality a množství půdní organické hmoty.

2) Protože se od sebe oba sledované travní druhy liší, bude zjištěn jejich rozdílný vliv na množství a kvalitu půdní organické hmoty.

3 Materiál a metodika

3.1 Informace o lokalitě

Půdní vzorky zkoumaných půd byly odebírány z již dříve vytvořených pokusných parcelek nacházejících se na experimentálním pozemku patřícím Fakultě zemědělské a technologické Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Tento pozemek přímo navazuje na prostory kampusu univerzity. Pozemek se nachází ve výšce 381 m n. m., v mírně teplém klimatickém regionu (MT11) České republiky. Další charakteristické znaky pro lokalitu jsou průměrná roční teplota, která se pohybuje v rozmezí od 7–8 °C a průměrný roční úhrn srážek 550–650 mm. Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půd (VÚMOP) jsou zdejší půdy charakterizovány velmi malou rychlostí infiltrace během úplného nasycení vodou, začleňující hlavně jíly vykazující se vysokou bobtnavostí. Vrstvy jílu se podle ústavu nachází jak na povrchu, tak i těsně pod povrchem. Zdejší půdy dále podle VÚMOP disponují vysokou hladinou podzemní vody a obsahem skeletu až do 25 %. Bonitovaná půdní ekologická jednotka (BPEJ) zdejších půd má kódové označení 5.53.01. Kód zařazuje tyto půdy do 3. třídy ochrany zemědělského půdního fondu. Z celkové škály 6–100 bodů disponuje pozemek 42 body a je tedy označen jako lokalita s velmi málo produkčními půdami. Co se týče typu a svažitosti, jedná se o pseudogleje převážně na rovině nebo úplné rovině se směrnou expozicí.

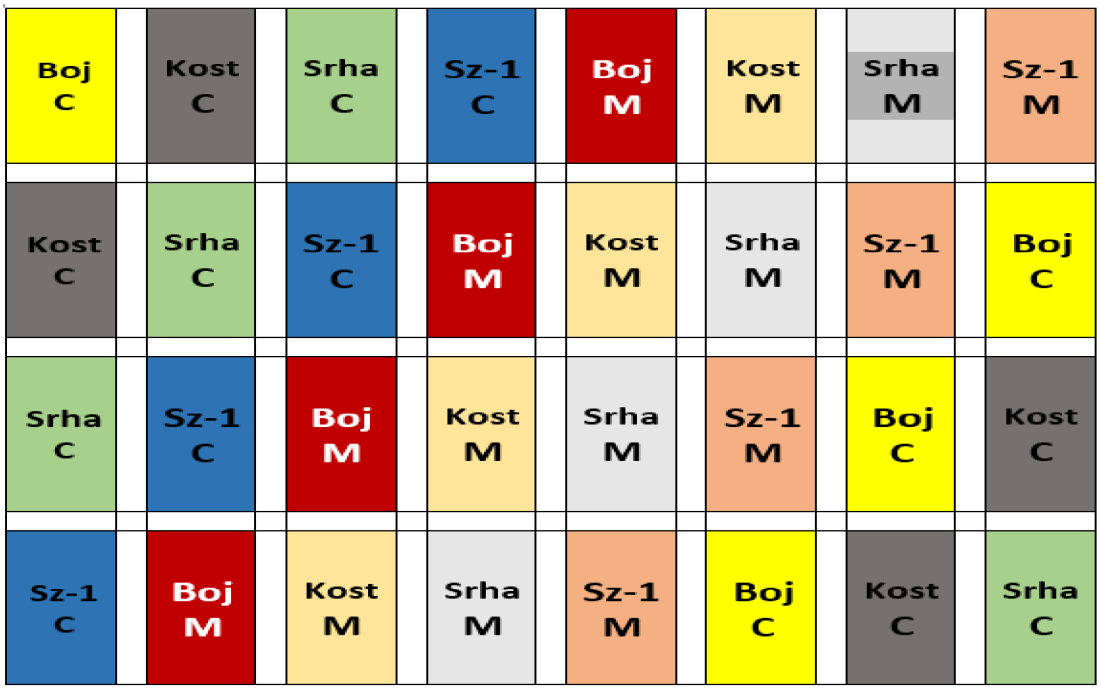
Obrázek 3.1: Lokalita s pokusnými plochami
(Veřejný registr půd LPIS, 2022)

3.2 Založení a údržba pokusných parcel se sledovanými porosty

Na jaře, konkrétně 16. dubna roku 2019, byly založeny pokusné parcelky na části z experimentálních ploch Zemědělské fakulty. Celkový počet pokusných parcelek je třicet dva a jejich rozměry jsou vždy stejné: 3,33×1,5 ≐ 5 m^2. Mezi jednotlivými parcelkami se nalézají mezery široké 10 cm. Kromě mnou zkoumaných druhů kostřavy rákosovité (*Festuca arundinacea* Scherb.) a bojínku lučního (*Phleum Pratense* L.) zde byly vysety druhy srhy laločnaté (*Dactylis glomerata* L.*)* a szarvasi-1 (*Elymus elongatus* subsp. ponticus cv. Szarvasi-1*)*, které byly předmětem výzkumu jiných prací. Šestnáct parcel, tedy polovina, označených jako varianta M podléhala průběžnému hnojení, a naopak trávy označené jako varianta C nebyly po celou dobu pokusu hnojeny vůbec. První hnojení proběhlo v červenci 2019, jednalo se o dávku 200 kg LAV·ha^{-1} (54 kg N·ha^{-1}) = 0,1 kg LAV·5 m^{-2}. Pro další aplikaci hnojiv bylo využito 400 kg LAV·ha^{-1} (108 kg N·ha^{-1}) = 0,2 kg LAV·5 m^{-2}, 200 kg DS·ha^{-1} (100 kg K·ha^{-1}) = 0,2 kg DS·5 m^{-2}, 150 kg 3SF·ha^{-1} (30 kg P·ha^{-1}) = 0,075 kg 3SF·5 m^{-2}. Tato druhá aplikace proběhla po seči během dubna 2020. V těch samých dávkách proběhlo opakované aplikování hnojiv v dubnu 2021. Jako poslední byl dodán v červenci roku 2021 dusičnan amonný s vápencem (LAV). Dávka činila 200 kg LAV·ha^{-1} (54 kg N·ha^{-1}) = 0,1 kg LAV·5 m^{-2}.

Použití výše uvedených hnojiv sloužilo pro doplnění nejdůležitějších prvků využívaných v zemědělství, jako je dusík (N), draslík (K), fosfor (P). Dusíkem disponuje hnojivo LAV a to až 25–28 % z celkového obsahu, dále obsahuje dusičnan amonný a jemně mletý vápenec. Draslík byl dodáván pomocí všestranného hnojiva používaného na většině půd, draselné soli (DS). V DS je draslík z 42–50 %. Superfosfát trojitý (3SF) je jako DS univerzálně používaným hnojivem. Jedná se o hnojivo fosforečného charakteru typické svým rychlým působením. Fosfor je v 3SF obsažen z 20–21 %. Aplikace superfosfátu není doporučená na silně kyselých půdách a půdách s nadlimitním podílem vápníku a hliníku.

Kromě hnojení na pokusných plochách probíhala další údržba sledovaného porostu. Jmenovitě šlo o aplikaci herbicidu proti dvouděložným plevelům Starane 200 EC (60 ml + 10 ml vody) 2. července 2019. A odplevelovací seče v jarních období, v dubnu 2020, v dubnu 2021).



Obrázek 3.2: Plán pokusných ploch s energetickými travami

3.3 Pracovní postup odběru a zpracování vzorků

V průběhu vegetační sezóny 2021–2022 probíhal odběr půdních vzorků z parcelek s energetickými travami. Jednotlivé odběry byly prováděny za pomoci pedologické sondážní tyče. Pokaždé se jednalo o tři odběry z jedné parcelky z hloubek 0–10 cm, 10–20 cm. Pro účely diplomové práce ještě následovalo rozšíření odběrů o vzorky z hloubek 20–30 cm. První odběr proběhl 17. března 2021, další odběry následovaly vždy ve dvouměsíčních intervalech (tj. březen, květen, červenec) až do září 2021. Poslední odběry byly provedeny po zimním období 17. března 2022.

V další části zpracování vzorků následovalo rozdrobení, sušení při teplotě 60 °C až do konstantní hmotnosti a homogenizace jednotlivých vzorků. Za pomoci půdního mlýnu, ručního drcení v hmoždíři a využití síta došlo k vytvoření jemnozemě 1. řádu s částicemi menšími, než 0,25 mm. Takto nově vytvořená jemnozem 1. řádu byla předmětem následných laboratorních analýz a pokusů popsaných v další kapitole.

3.4 Pracovní postup laboratorních prací

Jako první vždy proběhlo stanovení faktoru Mohrovy soli a stanovení slepého vzorku, pro zpřesnění metody. Poté bylo do pěti kádinek, vždy s navážkou 0,1000 g již zpracovaného půdního vzorku přidáno pomocí stolního dávkovače 5,00 ml spalovací směsi dichromanu draselného v prostředí kyseliny sírové (0,4 $mol \cdot l^{-1}$ $K_2Cr_2O_7$ v 12 M H_2SO_4). Následně krouživými pohyby kádinkou došlo k dispergování obsahu ve spalovací směsi. Po těchto krocích následovalo vložení kádinek se vzorky do vodní lázně s předem vyhřátou vodou na 60 °C. Tato teplota byla po celý čas stálá a sloužila jako katalyzátor urychlující oxidační reakci PPOH s dichromanem draselným. Později v přesných intervalech (10, 20, 30 a 40 min) došlo k vyjmutí a vložení do chladné vodní lázně. Kromě tohoto byly vzorky zality vychlazenou demineralizovanou vodou, čímž se probíhající oxidační reakce v kádinkách zastavily. Kádinky se vzorky označeny číslem 5 byly poté ještě oxidovány dalších 30 minut při 90 °C.

Dalším krokem po zchlazení jednotlivých vzorků bylo determinování obsahu C_{OX} za pomoci stanovení úbytku dichromanu draselného titrací roztokem 0,1 $mol \cdot l^{-1}$ Mohrovy soli ($(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$). Výsledky z měření sloužily k výpočtu rychlostní konstanty *k* oxidace PPOH v MS Excel 2016. Výsledek znázorňující obsah C_{OX} v kádince č. 5 sloužil k určení celkového obsahu uhlíku PPOH.

Obsah stabilních organických frakcí (C_{SOF}) činil rozdíl mezi hodnotou celkového organického uhlíku (TOC), který byl stanoven suchou cestou na přístroji Primacs SLC Analyzer, a hodnotou C_{PPOH}. Stupeň humifikace byl vyjádřen v procentech jako podíl množství C_{SOF} a TOC. Výše popsaná analýza proběhla pokaždé třikrát u všech půdních vzorků.

3.5 Zpracování výsledků

Získaná data byla zpracována v programu STATISTICA 12 (StatSoft Inc.). Byla využita základní popisná statistika a různé grafické výstupy. Konkrétně se jednalo o grafické vyjádření analýzy variace (ANOVA) a 2D grafy průměrů s odchylkami, které obsahují i výpočet Kruskal-Wallisova testu.

4 Výsledky a diskuse

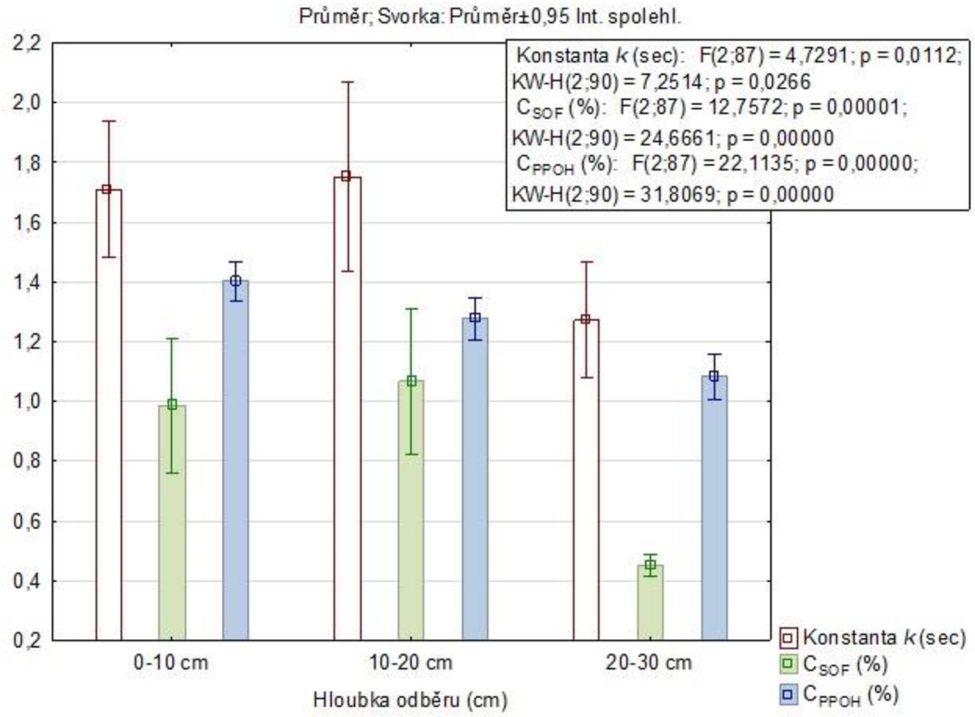
V příloze této práce se nachází několik tabulek shrnujících vybrané charakteristiky sledovaných aspektů půdní organické hmoty a humusu (Tabulka 4.1, Tabulka 4.2, Tabulka 4.3, Tabulka 4.4, Tabulka 4.5, Tabulka 4.6, Tabulka 4.7, Tabulka 4.8), které slouží pro lepší přehled získaných výsledků v níže popsaných kapitolách. Dále jsou v této kapitole přiloženy pro ilustraci čtyři grafy (vždy dva pro jeden druh trávy) znázorňující zprůměrované hlavní sledované parametry měnící se podle hloubky odběru a způsobu obhospodařování (C – nehnojená varianta, M – hnojená varianta).

Graf 4.1 znázorňuje rozdíly průměrných hodnot sledovaných charakteristik v závislosti na hloubce odběru u vzorků půdy pocházejících z porostu bojínku lučního. Z grafu je zřejmé, že v hloubce 20–30 cm výrazně klesl obsah C_{SOF}. Nejnižší je i množství C_{PPOH}. Konstanta *k*, která indikuje kvalitu primární půdní organické hmoty, je také v této hloubce nejnižší.

Graf 4.2 ilustruje rozdíly mezi hodnotami jednotlivých aspektů v závislosti na typu obhospodařování u bojínku. Větším podílem PPOH disponuje hnojená varianta M. Tato PPOH se jeví dle konstanty *k* i jako kvalitnější, nežli ta v nehnojené variantě C. Zastoupení C_{SOF} u varianty C dosahovalo rovněž menšího podílu oproti C_{SOF} v typu M.

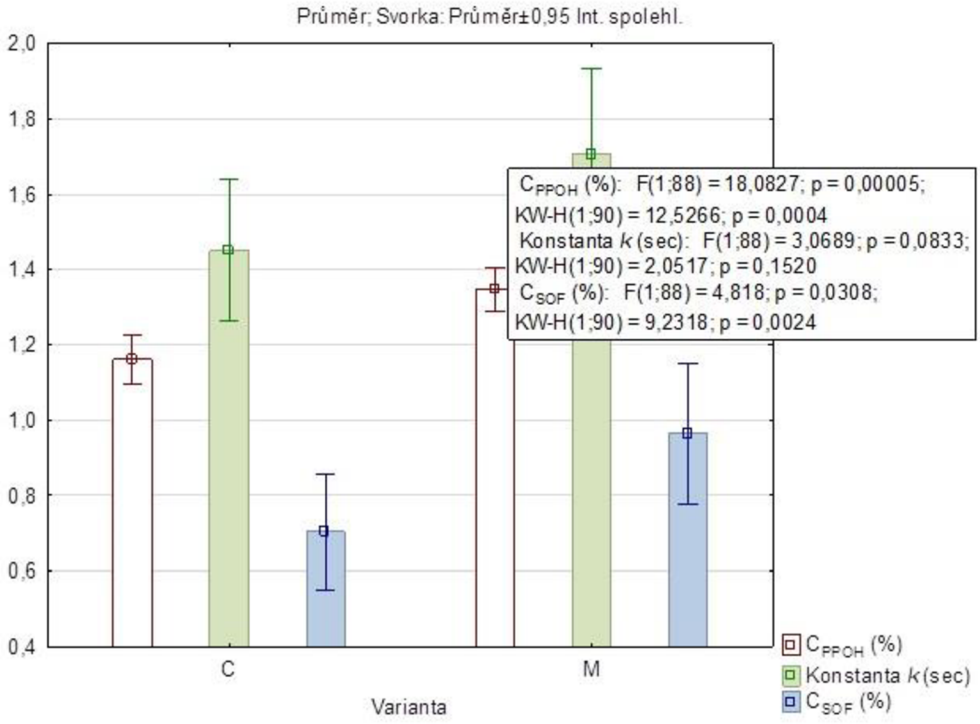
Graf 4.3, stejně jako Graf 4.1, znázorňuje rozdíly průměrných hodnot sledovaných vlastností v závislosti na hloubce odběru u vzorků půd původem z porostu kostřavy rákosovité. Stejně jako v předešlém Grafu 4.1 lze pozorovat významný pokles C_{SOF} ve spodní sledované hloubce 20–30 cm. Nejnižší podíl C_{PPOH} byl rovněž zjištěn v této hloubce. Avšak dle konstanty *k* se jako nejméně kvalitní primární půdní organická hmota jeví ta ve vzorcích půd z hloubky 10–20 cm.

Posledním přiloženým grafem v úvodu této části je Graf 4.4. Z grafu je patrné, že agrotechnické operace podporují tvorbu a výskyt PPOH a C_{SOF}. Částečně lze i pozorovat zvýšení kvality labilních organických frakcí vyjádřených konstantou *k*.



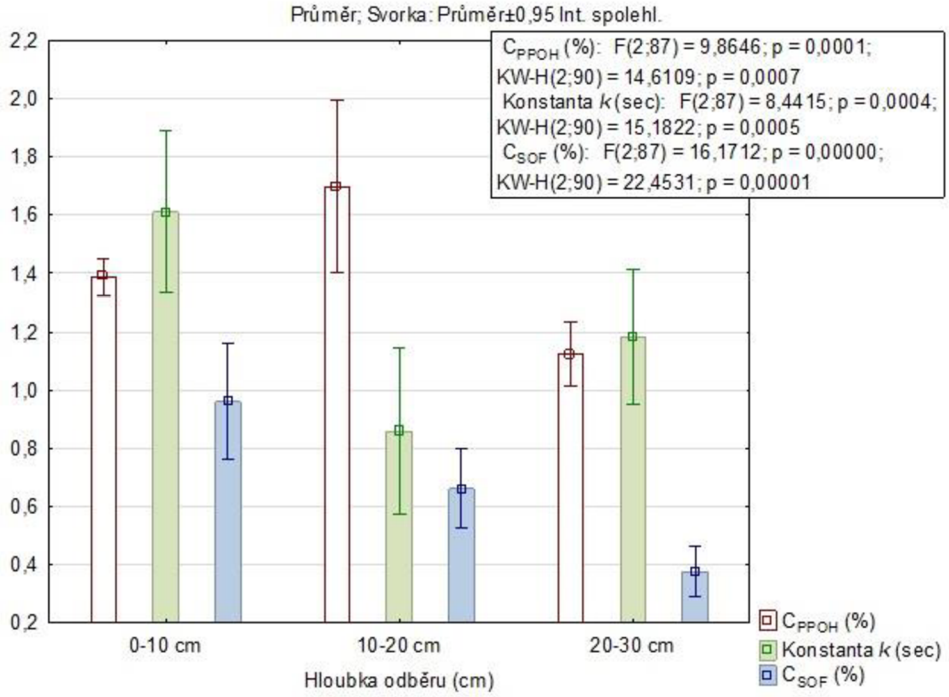
Graf 4.1: Bojínek – měnící se parametry v závislosti na v závislosti na hloubce provedeného odběru

Poznámky: C_{SOF} (%) – uhlík náležící stabilním organickým frakcím (%), C_{PPOH} (%) – uhlík náležící primární půdní organické hmotě (%).



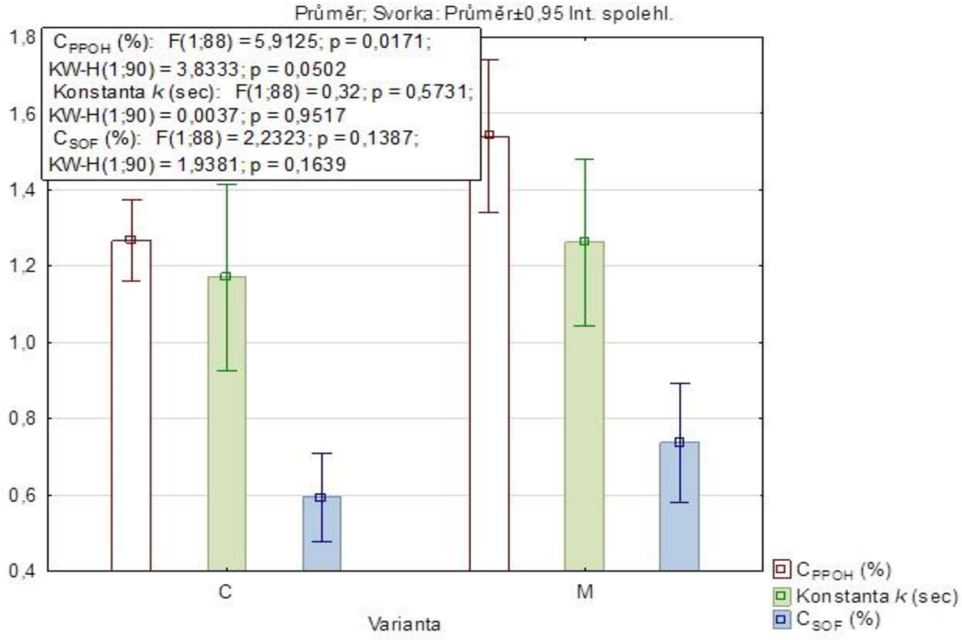
Graf 4.2: Bojínek – měnící se parametry v závislosti na v závislosti na hnojené variantě

Poznámky: C_{SOF} (%) – uhlík náležící stabilním organickým frakcím (%), C_{PPOH} (%) – uhlík náležící primární půdní organické hmotě (%).



Graf 4.3: Kostřava – měnící se parametry v závislosti na v závislosti na hloubce provedeného odběru

Poznámky: C_{SOF} (%) – uhlík náležící stabilním organickým frakcím (%), C_{PPOH} (%) – uhlík náležící primární půdní organické hmotě (%).



Graf 4.4: Kostřava – měnící se parametry v závislosti na v závislosti na hnojené variantě

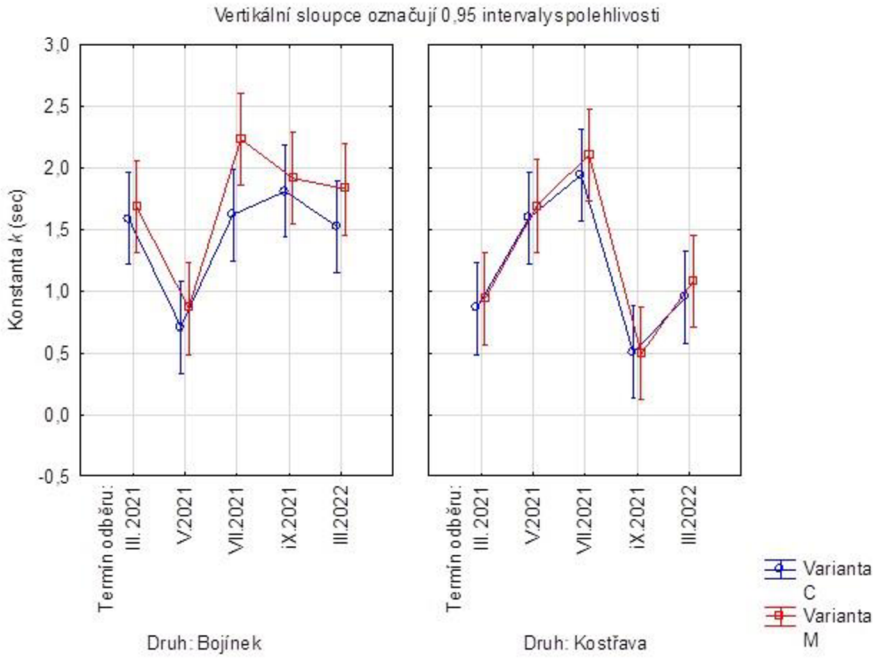
Poznámky: C_{SOF} (%) – uhlík náležící stabilním organickým frakcím (%), C_{PPOH} (%) – uhlík náležící primární půdní organické hmotě (%).

4.1 Půdní organická hmota

4.1.1 Stanovení rychlostní konstanty *k* primární půdní organické hmoty během sezóny

Jedním z hlavních zdrojů energie pro mikroorganismy žijící v půdě je mimo jiné labilní půdní organická hmota (Šantrůčková et al., 2018), která po procesu mineralizace slouží i jako zdroj živin pro rostliny (Maia et al., 2007). Hlavními zdroji půdní organické hmoty jsou především kořeny rostlin a jejich exsudáty. Dále se jedná o opad ve formě posklizňových zbytků, odumřelou hmotu půdních organizmů (edafonu) a organické hmoty vzniklé jejich životní činností (Kolář et al., 2014). Kvalitní organickou hmotu lze charakterizovat podle obsahu labilních organických frakcí (Poirier et al., 2018). Šimek et al. (2019) konstatuje, že jedním ze všeobecných znaků eventuální úrodnosti půdy v dané lokalitě je její obsah labilních organických frakcí. Váchalová et al. (2016) toto tvrzení dále doplňuje poznámkou, že kvalitní půdní organická hmota má obsahovat kromě labilních frakcí taktéž semilabilní i semistabilní frakce.

Jednou z metod, kterou lze odvodit labilitu frakcí PPOH popisuje Kopecký et al. (2022). Princip metody spočívá ve stanovení rychlostní konstanty *k* reakční kinetiky oxidace půdní organické hmoty ve vzorcích půdy. Podle velikosti vypočtené hodnoty konstanty *k* lze předpovídat rozložitelnost a kvalitu přítomné SOM v odebraných vzorcích půd. Konstantou *k* lze tedy popsat labilitu primární půdní organické hmoty. Labilní PPOH je podle této metody ta kvalitnější a snadněji dostupná pro procesy mineralizace. Pro účely výpočtu a stanovení konstanty *k* sloužily hodnoty $C_{OX(10)}$, $C_{OX(20)}$, $C_{OX(30)}$, $C_{OX(40)}$ a C_{PPOH} (Kopecký et al., 2022). Tato metoda se zařazuje mezi ty relativně novější, a ne zcela rozšířené, proto v odborných textech prozatím neexistuje dostatečné množství dat pro provedení srovnání.



Graf 4.5: Změny hodnot konstanty *k* během sezóny

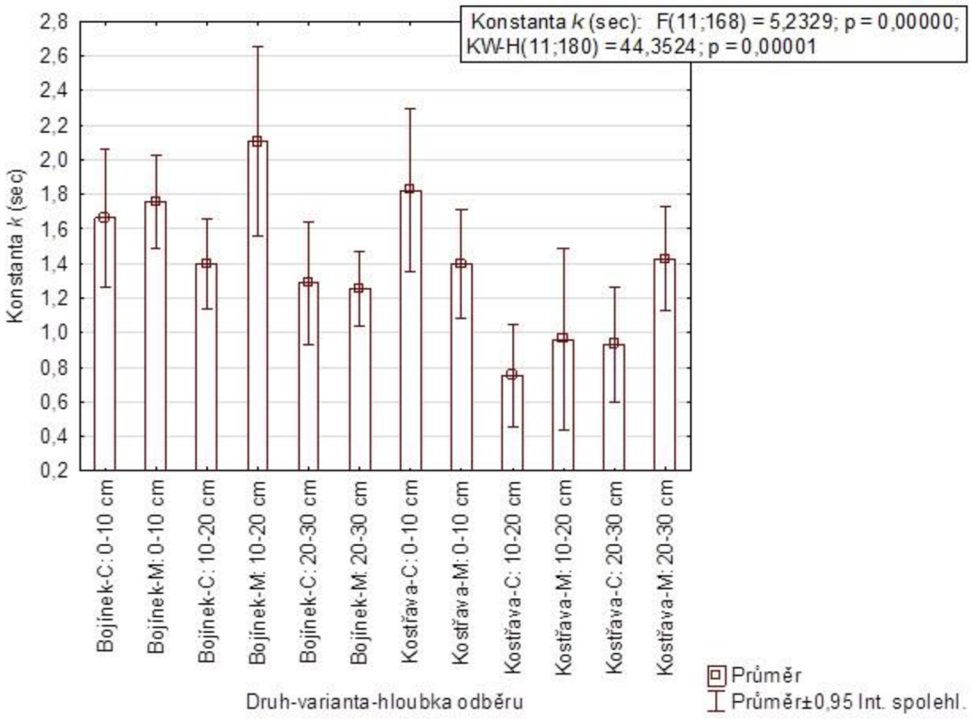
Z přiloženého Grafu 4.5 vyplývá, že rychlostní konstanta *k*, a tím i kvalita PPOH, se lišila v závislosti na datu odběru během sezóny (grafy obsahují data získaná z vzorků ze všech hloubek). Nutno zmínit, že po celou dobu v půdě souběžně probíhal vznik a zánik kořenových exsudátů, půdního edafonu, jednotlivých částí zde rostoucích rostlin a dalších různorodých prvků PPOH. U bojínku lučního se hodnota konstanty zmenšovala v počátečních jarních měsících, kdy od března poklesla pod 1,0 sec v květnu. Hodnota konstanty *k* u kostřavy rákosovité stoupala od března roku 2021 do července téhož roku. V červenci 2021 byly zaznamenány její největší hodnoty přesahující 2,0 sec, což platilo pro obě sledované traviny v hnojené variantě. Tento nárůst lze přisoudit optimálním podmínkám na stanovišti, konkrétně příznivým průměrným červencovým teplotám 19,9 °C a dostatku vláhy (70 mm srážek), (Maňhal, 2021), které podporovaly produkci exsudátů prostřednictvím vegetace a vznik nové PPOH, a způsobu managementu na lokalitě. Kolář et al. (2014) tato zjištění podporuje argumentem, že labilita hmoty je ovlivňována řadou faktorů, například klimatickými podmínkami nebo chemickým složením půd (obsah a doplňování dusíku při hnojení). Následně zaznamenané hodnoty v dalších půdních vzorcích oproti hodnotám získaných v červenci 2021 klesaly. U bojínku lučního až do března roku 2022, kdy se dostaly pod hodnotu

2,0 sec, v případě varianty C u bojínku nastalo mírné navýšení hodnot mezi červencem a zářím 2021. Poté byl v této variantě zaznamenán pokles k hodnotě 1,5 sec v březnu 2022. U kostřavy rákosovité klesly nejnižší průměrné hodnoty konstanty v září na 0,5 sec v obou variantách. Do března 2022 však následoval u kostřavy růst na konečnou hodnotu 1,0 sec, zde byla varianta M opět mírně lepší.

Výsledky uvedené v tomto Grafu 4.5 potvrzují jednu z vytyčených hypotéz, že během vegetační sezóny se bude půdní ekosystém dynamicky vyvíjet, což se projeví změnou kvality a množství půdní organické hmoty.

Zároveň je možné pozorovat, že oba porosty mají na kvalitu půdní organické hmoty jiný vliv. Podobné hodnoty v obou porostech byly naměřeny pouze v červenci.

4.1.2 Stanovení rychlostní konstanty *k* primární půdní organické hmoty v různých hloubkách

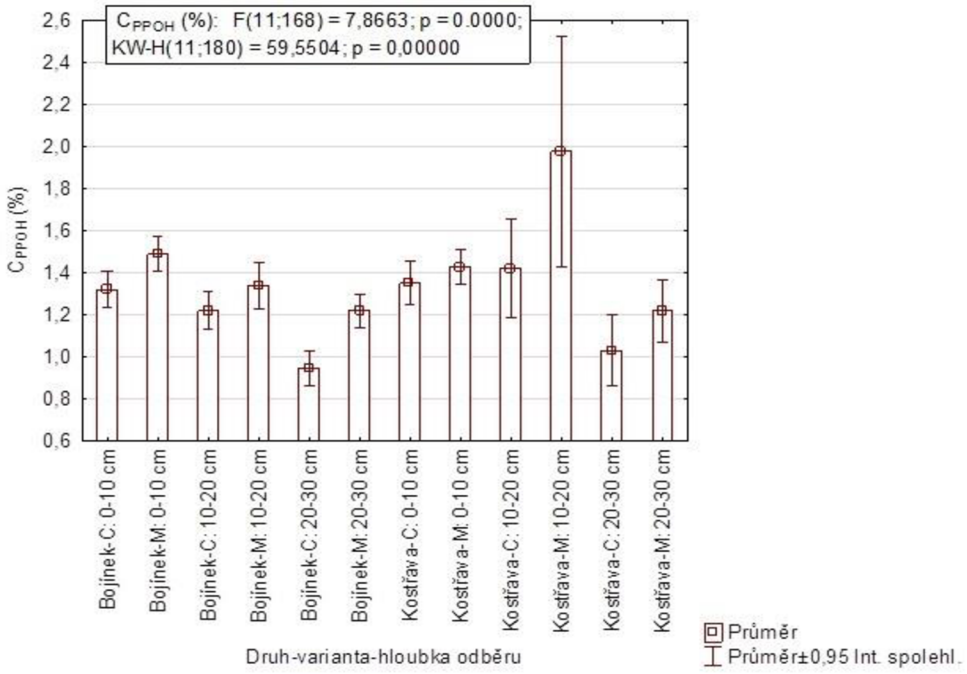


Graf 4.6: Změny hodnot konstanty *k* podle hloubky odběru

Pro dokreslení situace je zde ještě přiložen Graf 4.6. Znázorňuje proměny konstanty *k* v různých hloubkách (obsahuje data ze všech termínů odběrů). U bojínku vyšších

kvalit dosahovaly frakce organické hmoty především v prvních dvou hloubkách (0–10 cm a 10–20 cm). Zároveň se lépe jevily hnojené varianty M. Nejvyšší hodnoty konstanty *k* vyplývající z Grafu 4.6 byly zjištěny u bojínku varianty M v hloubce 10–20 cm. U kostřavy v nehnojené variantě C disponovala nejkvalitnějšími frakcemi primární půdní organické hmoty povrchová hloubka půd 0–10 cm. Zde konstanta převyšovala hodnotu 1,8 sec.

4.1.3 Změny primární půdní organické hmoty podle hloubky



Graf 4.7: Změny C_{PPOH} podle hloubky odběru

V uvedeném Grafu 4.7 jsou zobrazeny změny obsahu PPOH dle hloubky odběru (obsahuje data ze všech termínů odběrů). Z výsledků je patrné, že s přibývající hloubkou obsah primární půdní organické hmoty klesá. Většího zaznamenaného zastoupení primární půdní organické hmoty si lze povšimnout u obou druhů vždy u hnojených variant. Konkrétně u bojínku ve svrchním horizontu prováděných odběrů (hloubka 0–10 cm), zde C_{PPOH} přesahoval hodnotu 1,4 %. V nižší vrstvě v hloubce 10–20 cm u kostřavy varianty M to bylo dokonce téměř 2 %. Je tomu tak pravděpodobně z toho důvodu, že bojínek tvoří kořeny především do hloubky 10 cm (Velich, 1994). A kostřava disponuje rozvětveným kořenovým systémem sahajícím do hloubky až 1 m (Gibson a Newman, 2001). Tento rozsáhlý kořenový systém je tak mimo jiné zdrojem

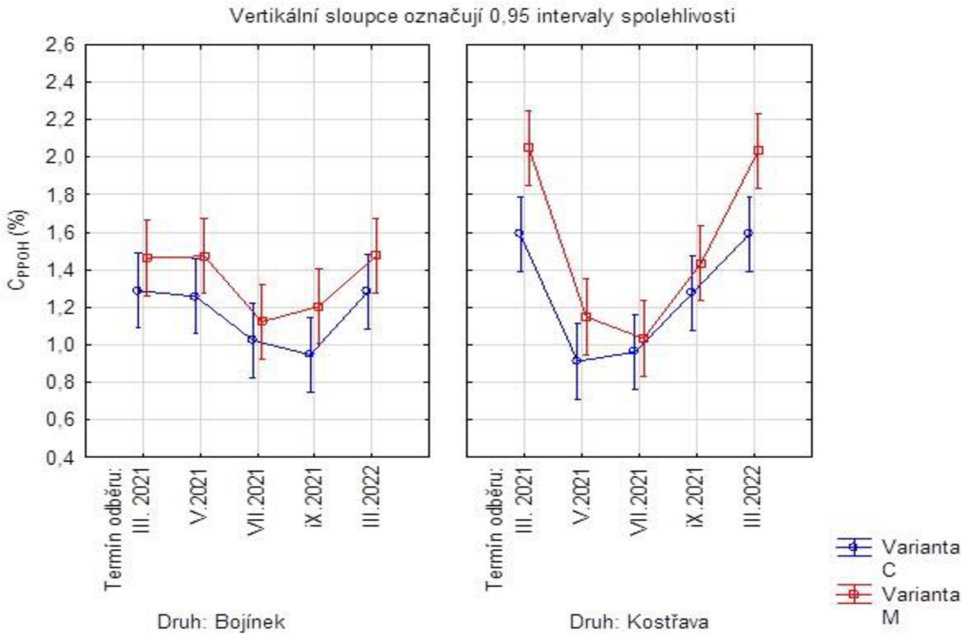
kořenových exsudátů, mikroorganizmů a dalších organických látek (Velich, 1994). Jako další možné aspekty ovlivňující obsah primární půdní organické hmoty zmiňuje Pechanec et al. (2019) strukturu půdy, konkrétně drobtovitost, zrnitost, kyselost či podíl jílu. Nejnižší hodnoty podílu obsahu primární půdní organické hmoty byly shodně zaznamenány v hloubkách 20–30 cm vždy u nehnojené varianty C. Průměrné naměřené hodnoty C_{PPOH} zde byly stanoveny na 0,95 % u bojínku a 1,03 % u kostřavy.

Mezi možné zdroje a způsoby, jak udržet či navýšit obsah primární půdní organické hmoty v půdě, patří správné a důsledné nakládání s posklizňovými zbytky či dodržování agrotechnických termínů a operací, jako je hnojení, odplevelování apod. Vhodné jsou například zbytky z jetelovin, jetelotrav, košťálovin, obilnin nebo statková hnojiva v kombinaci s minerálními hnojivy (Vaněk et al., 2006). Kolář et al. (2014) ještě kromě využití posklizňových zbytků zmiňuje jako další agrotechnickou operaci vytvoření a zařazení pestrých osevních postupů, využití meziplodin a správnou agrotechniku do praxe.

4.1.4 Změny primární půdní organické hmoty během sezóny

Zastoupení primární půdní organické hmoty v půdním prostředí je také závislé na půdně-klimatických podmínkách převládajících v dané lokalitě (Kolář et al., 2014). Toto tvrzení autorů podporuje i níže umístěný Graf 4.8, z něhož je patrný dynamický vývoj během vegetační sezóny i mimo ni. Vyšší hodnoty PPOH u obou rostlin ve variantě M vždy v březnu roku 2021 a 2022 naznačují důležitost správně načasovaného hnojení zkoumaných porostů. Tímto přihnojováním během sezóny došlo k podpoře vzniku nové primární půdní organické hmoty, která díky působení nepříznivých klimatických podmínek přes zimní období nepodléhala činnostem mikroedafonu, jako například mineralizaci. Dále je z grafu patrný významný pokles obsahu PPOH v letních měsících. Především u kostřavy rákosovité v hnojené i nehnojené variantě. Je to způsobeno pravděpodobně proto, že PPOH vytvořená v minulých měsících byla labilní a mineralizovala.

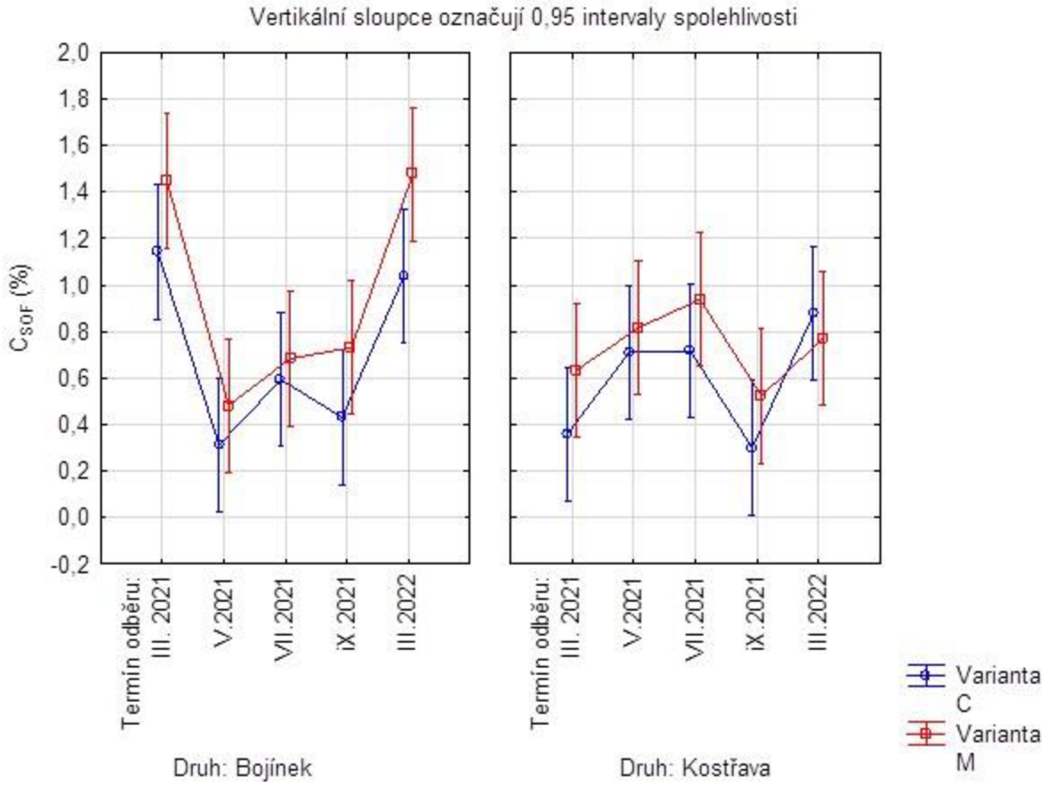
Autoři Váchalová et al. (2016) uvádí, že množství labilních frakcí má významný vliv, co se týče kvality a množství primární půdní organické hmoty, které tak vytváří funkci dostupných zdrojů pro půdní edafon.



Graf 4.8: Změny C_{PPOH} podle termínu odběru

4.2 Stabilní organické frakce

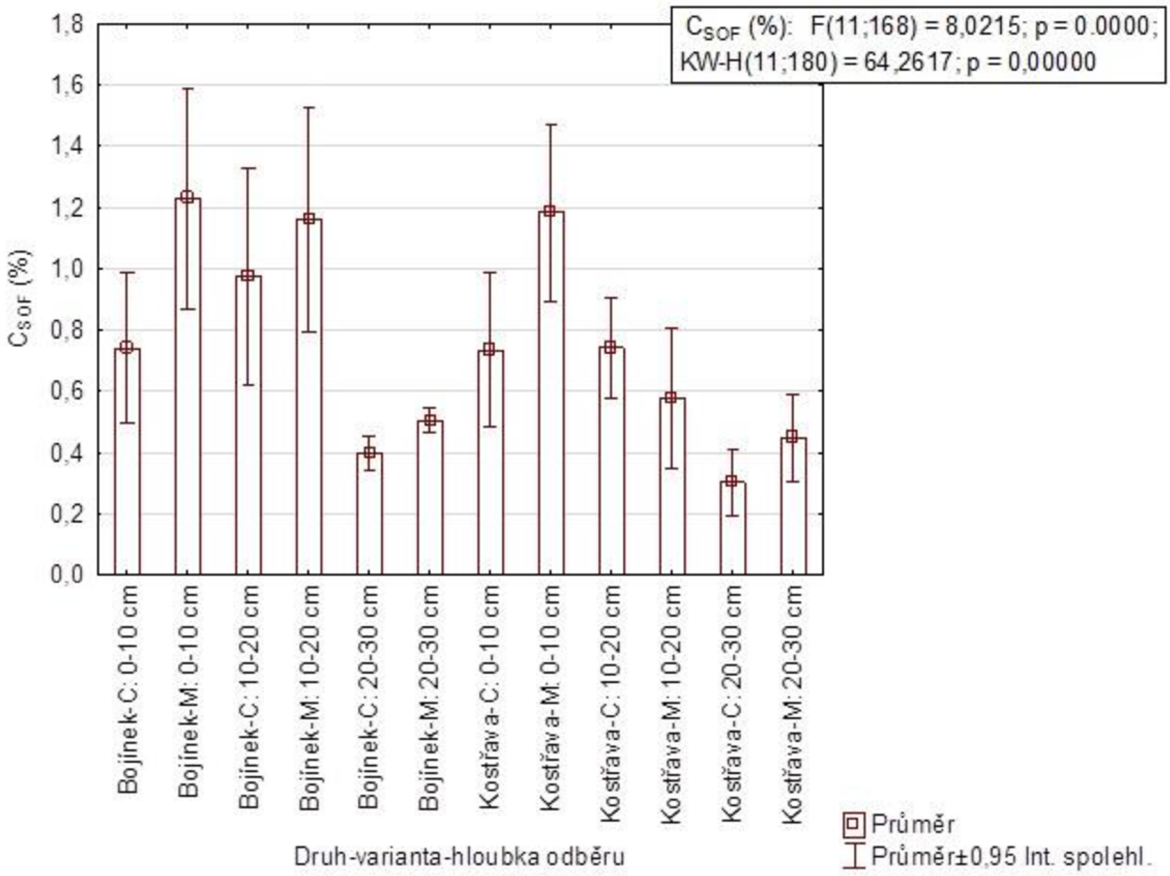
4.2.1 Stanovení stabilních organických frakcí v půdě během sezóny



Graf 4.9: Změny C_{SOF} podle termínu odběru

Vložený Graf 4.9 ilustruje změny v obsahu uhlíku patřící stabilním organickým frakcím SOM. Z grafu lze vyčíst, jak se obsah stabilních organických frakcí v průběhu roku měnil. U bojínku byly stabilní organické frakce nejvíce zastoupeny v obou jarních měsících (březen 2021, březen 2022), z nichž se lépe jevila varianta M. Jejich obsah klesal se zvyšujícími se teplotami do května 2021, poté bylo zaznamenáno navyšování obsahu stabilních organických frakcí u varianty M. U varianty C hodnoty C_{SOF} ještě mírně poklesly mezi červencem a zářím. Přes zimní období mezi zářím 2021 a březnem 2022 nastal významný nárůst C_{SOF}. U kostřavy byl zaznamenán trend, kdy se obsah C_{SOF} s rostoucími teplotami zvyšoval (varianta M březen-červenec 2021) nebo zůstával podobný (varianta C, květen-červenec 2021). Dále je patrné, že pravidelná aplikace hnojiv a dodržování agrotechnických termínů podporuje tvorbu C_{SOF} v půdách.

4.2.2 Stanovení stabilních organických frakcí v různých hloubkách půdy



Graf 4.10: Změny C_{SOF} v závislosti na hloubce

Z hodnocení zastoupení stabilních organických frakcí v různých hloubkách uvedených v Grafu 4.10 lze odvodit, že u obou druhů trav byl obsah frakcí nejvyšší v horní vrstvě půdy (0–10 cm), odkud byly vzorky odebírány, a to u hnojených variant M, kdy se hodnoty pohybovaly kolem 1,2 % (bojínek průměrně disponoval 1,23 % a kostřava 1,18 %). S přibývající hloubkou podíl stabilních organických frakcí klesal. Konkrétně nejnižší zastoupení jejich podílu bylo zjištěno v hloubce 20–30 cm při nehnojené variantě C u obou sledovaných druhů rostlin. V tomto hloubkovém rozmezí činil C_{SOF} méně, než 0,5 % (bojínek průměrně disponoval 0,40 % a kostřava jen 0,3) %). Mírné zvětšení obsahu, který je zaznamenaný u bojínku v hloubce 10–20 cm variantě C lze přisoudit zvýšení obsahu ligninu, který ve sledovaných horizontech půdy výsledek zkresluje (Kolář et al., 2017). Kopecký (2018) tento poznatek o ligninu doplňuje tím, že se stabilními organickými frakcemi (huminy, huminové kyseliny a fulvokyseliny)

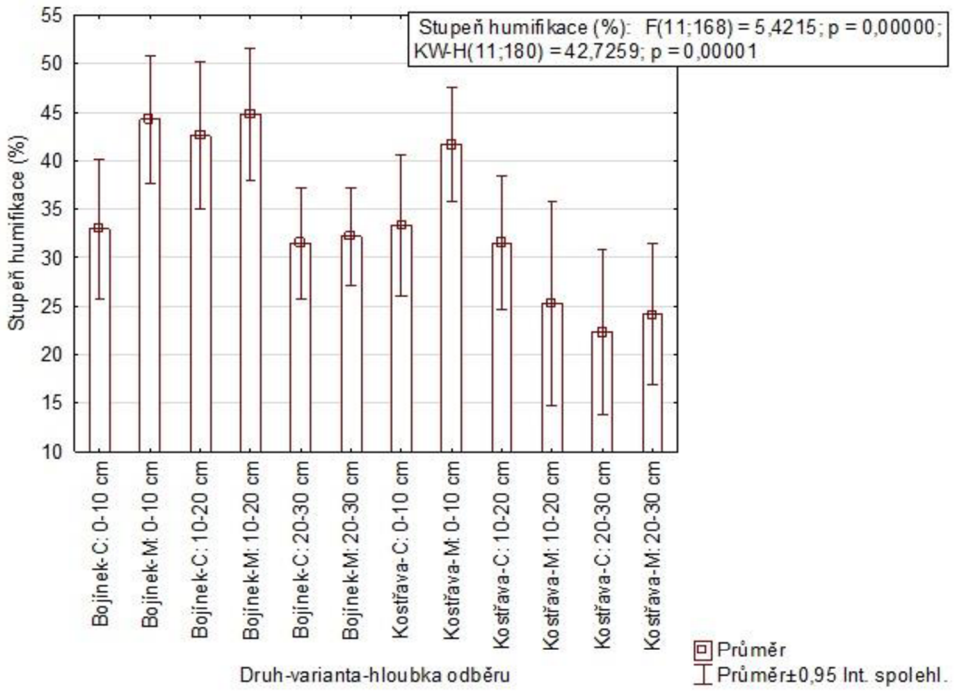
prokazuje lignin téměř totožnou stabilitu. Lze tak soudit proto, že vznik a rozklad humusových látek se vyznačuje právě svou dlouhodobostí (Kolář et al., 2017). Kopecký et al. (2016) ve své práci, kde testovali k zpracování půdních vzorků velmi podobnou metodiku, uvádí škálu obsahu humusu v rozmezí 0,13–1,88 % v závislosti na půdním typu.

Dle jiné metodiky je pro půdy vyskytující se na území České republiky běžný obsah humusu 1,8–2,2 % (Vrba a Huleš, 2006). Ti autoři dodávají podíl humusu speciálně pro zemědělské půdy, který činí 0,5–10 %.

Šarapatka (2014) tvrdí, že podle obsahu humusu, který se značně liší v půdách minerálních a organických, je možné rozdělit půdy na: humózní a humusové. Humózní varianta podle tohoto autora obsahuje organické látky do 20 % z celkového podílu a varianta humusová nad 20 %. Hodnoty zaznamenané v této práci (viz Graf 4.2: Bojínek – měnící se parametry v závislosti na hnojené variantě a Graf 4.4: Kostřava – měnící se parametry v závislosti na hnojené variantě) stanovují obsah stabilních organických frakcí do 1 %, což klasifikuje tyto plochy do kategorie slabě humózních. Stejnou klasifikaci do mírně humózních půd používají i Sáňka a Materna (2004), kteří však pracovali s dnes již zastaralou, silně orientační metodikou ke stanovení obsahu humusu, kdy využívali přepočítávací faktor 1,724 k určení obsahu humusu.

4.2.3 Stupeň humifikace v různých hloubkách půdy

Tato sledovaná charakteristika pomáhá určovat kvalitu půdní organické hmoty, jež má vliv na její úrodnost. Lze si povšimnout, že vývoj stupně humifikace zaznamenaný v Grafu 4.10 je podobný jako v Grafu 4.11, kdy do jisté míry kopíruje průběh vývoje stabilních organických látek v různých hloubkách odběru.

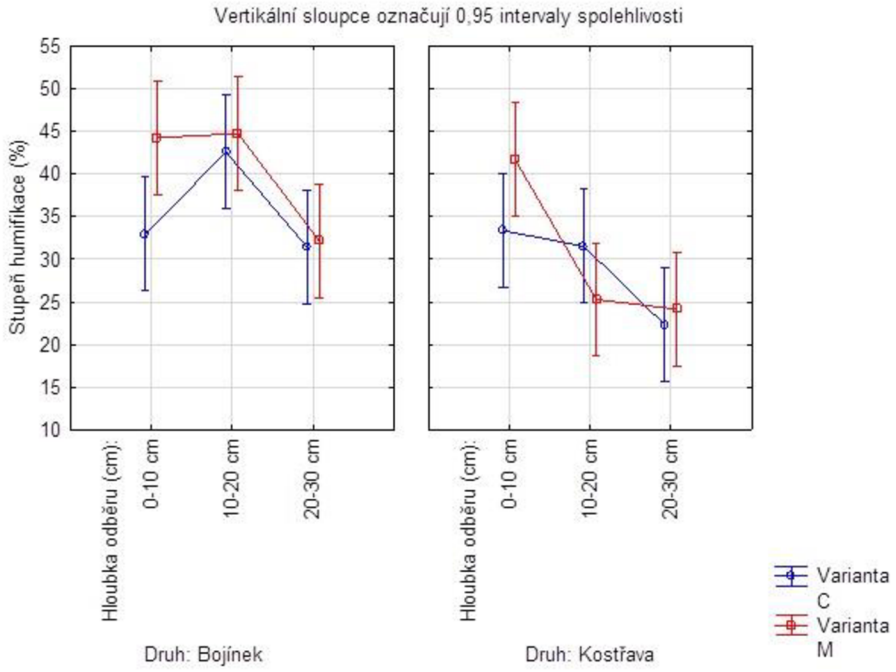


Graf 4.11: Stupeň humifikace v různých hloubkách odběru

Nejvyšší hodnoty stupně humifikace byly zaznamenány u vzorcích odebraných z půd bojínku lučního, konkrétně u hnojené varianty M z hloubky 10–20 cm. Hodnota S_H dosahovala v této hloubce průměrně 44,7 %, naopak nejnižšími hodnotami se S_H prokazoval u kostřavy rákosovité nehnojené varianty C ve vzorcích z hloubky 20–30 cm, kdy činil přibližně 22,3 %. Obecně lze konstatovat, že stupeň humifikace je nižší u všech pozorovaných vzorků z hloubky 20–30 cm.

Podle Rejška a Váchy (2018) je stupeň humifikace v půdách velmi rozdílný v závislosti na lokalitě a plodinách, které jsou na dané půdě pěstovány. Kolář et al. (2014) uvádí, že se hodnoty S_H v našem prostředí běžně pohybují v rozpětí 5–40 %. Mnou získané hodnoty toto tvrzení v některých případech mírně převyšují. To si však lze vysvětlit tím, že zaznamenané výsledky jsou stejně jako u C_{SOF} částečně zkresleny výskytem ligninu a dalších stabilních látek obsažených ve frakci běžně označovaných jako humus.

Pro lepší ilustraci je zde uveden ještě jiný Graf 4.12 zobrazující taktéž vývoj stupně humifikace v různých hloubkách odběru.

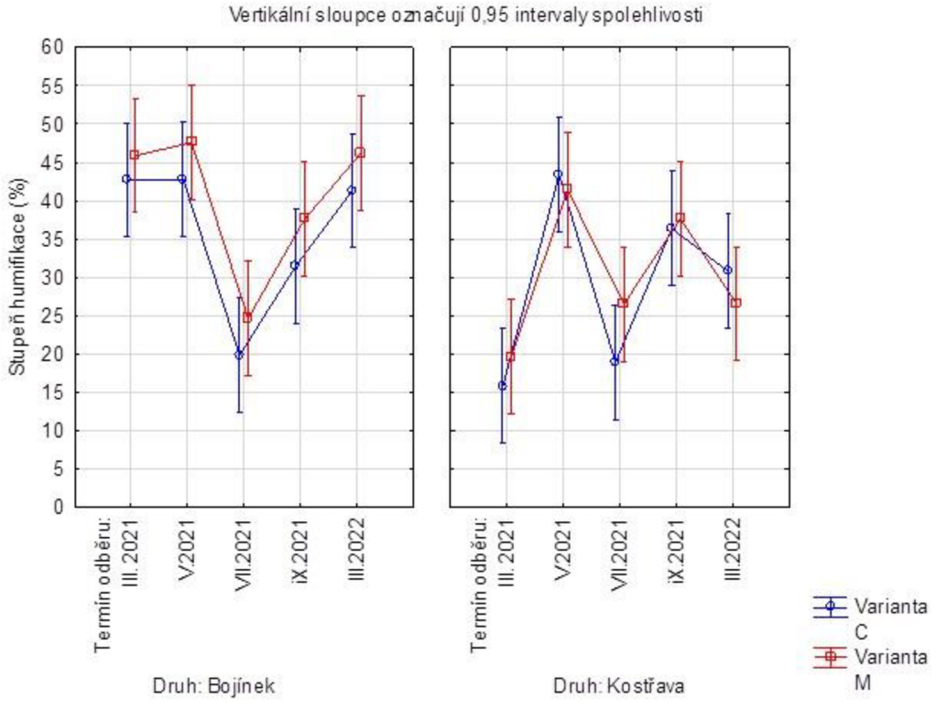


Graf 4.12: Vývoj stupně humifikace v různých hloubkách odběru

Vyhodnocením a následnou determinací S_H se ve své práci zabýval Honsa (2004). Ten rozlišuje podle zvyšující se hodnoty celkem pět stupňů humifikace: hodnoty dosahující 10 % považuje za velmi slabý stupeň, následný stupeň 0–20 % nese označení slabé. Za střední stupeň humifikace jsou pokládány výsledky v rozmezí 20–30 %. Hodnoty v rozmezí 30–40 % jsou definovány jako vysoký stupeň humifikace. A hodnoty S_H překračující 40 % jsou označovány jako skupina velmi vysokého stupně humifikace. Procesy humifikace se zabývá i kolektiv Šimek et al. (2019), který tvrdí, že významnou sloučeninou ovlivňující humifikaci je stejně jako v předešlých podkapitolách již zmíněný lignin. Konkrétně uvádí několik teorií transformace ligninu na humusové látky, například ligninovou teorii nebo teorii polyfenolovou.

4.2.4 Změny stupně humifikace během sezóny

Tato část popisuje proměny intenzity stupně humifikace v průběhu sledovaného období. Získané výsledky pocházející z půd ze zkoumané lokality lze vidět v přiloženém Grafu 4.13. Nutno i zde podotknout, že vlivem výskytu dalších stabilních látek, nesprávně považovaných za humus, dochází k mírnému zkreslení jako u Grafu 4.11 a Grafu 4.12.



Graf 4.13: Vývoj stupně humifikace v průběhu roku

Z Grafu 4.13 je patrné, že stupeň humifikace se v průběhu sledované sezóny měnil. Nejvyšších hodnot v případě bojínku lučního dosahoval S_H v květnu 2021, kdy přesahoval 45 % u hnojené varianty M. Nejnižší hodnoty byly zjištěny při dalším odběru v červenci 2021. Při tomto odběru byl zjištěn S_H 20 % u nehnojené varianty C. V následujících časových úsecích byl zaznamenán nárůst hodnot S_H, a to až do posledního provedeného odběru v březnu 2022. U kostřavy byl vývoj S_H rozličnější. V březnu roku 2021 představoval S_H 15 % u nehojené varianty C. Nejvyšší stupeň humifikace byl pozorován, stejně jako u bojínku, v květnu 2021, avšak u varianty C, která mírně převyšovala variantu M. S_H v tomto sledovaném odběru a variantě činil téměř 45 %. V červnu opět následoval pokles, který byl razantnější u varianty C. Přes zimní období

byl zaznamenán pokles až na konečnou hodnotu S_H mírně převyšující 25 % ve březnu 2022.

5 Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo pokračovat v posuzování kvality primární půdní organické hmoty v půdách porostu energetických trav bojínku lučního a kostřavy rákosovité na pokusných pozemcích Fakulty zemědělské a technologické Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. V rešeršní části jsem se zabýval vysvětlením pojmů a témat jako například půda a její význam, obnovitelnými zdroji energie, biomasou, jejím využitím a charakteristikou konkrétních druhů energetických trav. Dále pak půdní organickou hmotou, jejím významem a vlastnostmi. V praktické části jsem vyhodnotil kvalitu a obsah primární organické hmoty obsažené ve vzorcích půd výše zmíněných druhů trav pocházejících ze tří rozdílných hloubek, a to vždy u hnojené a nehnojené varianty trávy. Kromě změn podle hloubky byl zkoumán i vývoj půdní organické hmoty v závislosti na obhospodařování porostů. Vzorky byly sbírány od 17. března 2021 v pravidelných intervalech, vždy po dvou měsících až do září 2021. Poslední odběr byl proveden po zimním období 17. března 2022. Hodnocení organické hmoty proběhlo pomocí metodiky publikované Kopeckým et al. (2022). Z výsledných dat dílčích analýz plyne, že došlo k potvrzení stanovených hypotéz. Největší obsah PPOH, byl vždy v jarních měsících (březen 2021 a 2022) u každého sledovaného druhu. Vzorky odebrané v červenci disponovaly nejkvalitnější PPOH vyjádřenou konstantou *k*. Zároveň největším obsahem PPOH disponovaly vzorky půd odebraných ze dvou svrchních hloubek 0–10 cm a 10–20 cm. Zde ve druhé měřené hloubce byl zjištěn i největší obsah PPOH (1,98 %) u hnojené verze kostřavy rákosovité. Ve spodním horizontu 20–30 cm byl naopak průměrný obsah PPOH nejmenší. U nehnojené verze bojínku lučního činil 0,95 %. Dalším bodem, na který jsem se zaměřil, bylo stanovení obsahu stabilních organických frakcí ve vzorcích a stupeň humifikace organické hmoty zkoumaných půd. U bojínku byl C_{SOF} nejvíce zastoupený v jarních měsících (vždy varianta M: v březnu 2021 a 2022). Jejich objem následně klesal se zvyšujícími se teplotami během roku. U kostřavy byl zaznamenán trend, kdy se obsah C_{SOF} s rostoucími teplotami naopak zvyšoval nebo zůstával podobný (varianta C, květen-červenec 2021). Nejvyšším obsahem C_{SOF} u obou druhů disponují vzorky z hloubky 0–10 cm u hnojených variant M. Zde u bojínku činil obsah C_{SOF} 1,23 % a u kostřavy 1,18 %. Stupeň humifikace se taktéž lišil v závislosti na sledované variantě, hloubce nebo období roku. Nejvyšší hodnoty S_H byly zjištěny v půdách porostu bojínku v hnojené variantě M. V hloubce 10–20 cm. S_H zde činil 44,3 %. Nejnižšími hodnotami se S_H

prokazoval u kostřavy rákosovité nehnojené varianty C ve vzorcích z hloubky 20–30 cm, kdy činil průměrně 22,3 %. Obecně lze konstatovat, že stupeň humifikace je nižší u všech pozorovaných vzorků z hloubky 20–30 cm. Ze získaných výsledků lze říci, že množství půdní organické hmoty se v půdních vzorcích sledovaných porostů trav dle termínu odběru lišilo a z hlediska kvality a obsahu sledovaných charakteristik je důležité správné dodržování agrotechnických opatření a termínů během obhospodařování.

6 Seznam použité literatury

1) Apal Agricultural Laboratory: Soil_Test_Interpretation_Guide. [online]. 2017, 27s. 2017-04-17 [cit.2021-11-03]. Dostupné z WWW: <www.apal.com.au/images/uploads/resources/Soil_Test_Interpretation_Guide_1.pdf>

2) Baldock, J. A., & Nelson, P. N. (2000). Soil organic matter. CRC press.

3) Bílek, D. (2020). Zpracování a možnosti využití vybrané odpadní biomasy z pěstitelské technologie.

4) Borůvka, L., *Pedogeochemie,* Česká zemědělská univerzita v Praze, Katedra pedolo-gie a geologie, 2005, s 246, ISBN 80-213-1309-9.

5) Brady, N. C., & Weil, R. R. (2002). The nature and properties of soils. Prentice Hall Publishing. *New Jersey*, 900-960.

6) Brady, N. C., Weil, R. R., & Weil, R. R. (2008). *The nature and properties of soils* (Vol. 13, pp. 662-710). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

7) Capriel, P. (1997). Hydrophobicity of organic matter in arable soils: influence of management. *European Journal of Soil Science*, *48*(3), 457-462.

8) Celjak, Ivo: Biomasa je nezbytná součást lidského života. *Biom.cz* [online]. 2008-12-22 [cit. 2021-11-03]. Dostupné z WWW: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-je-nezbytna-soucast-lidskeho-zivota>. ISSN: 1801-2655.

9) Cenia. (2013). *Energetika – výroba a rozvod elektřiny a plynu* [online]. Praha: Cenia, česká informační agentura životního prostředí. [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=energetika_vyroba_a_rozvod_elektriny_a_plynu&site=spotreba.

10) CZ Biom, : Kostřava rákosovitá. *Biom.cz* [online]. 2011-07-31 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z WWW: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/kostrava-rakosovita>. ISSN: 1801-2655.

11) Český statistický úřad. (2019). Obhospodařovaná zemědělská půda k 31.5.2019 [Online]. 20119-11-27 [cit. 2021-11-18] dostupné na: https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/index.jsf?page=vystup-ojekt&pvo=ZEM02B&z=T&f=TABULKA&skupId=2301&katalog=30840&pvo=ZEM02B&evo=v283_!_ZEM02B-2019_1

12) 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.

13) El Bassam, N. (2010). *Handbook of bioenergy crops: a complete reference to species, development and applications*. Routledge.

14) Elderfield, H. (1998). Schlesinger, WH 1997. Biogeochemistry. An Analysis of Global Change, xiii+ 588 pp. San Diego, London, Boston, New York, Sydney, Tokyo, Toronto: Academic Press. Price US $49.95 (paperback). ISBN 0 12 625155 X. CHAMEIDES, WL & PERDUE, EM 1997. Biogeochemical Cycles. A Computer-Interactive Study of Earth System Science and Global Change. xi+ 224 pp.+ disk. New York, Oxford: Oxford University Press. Price£ 37.50 (hard covers). ISBN 0 19 509279 1. *Geological Magazine*, *135*(6), 819-842.

15) European Commission. (2020). EU Strategy to Reduce Methane Emissions.

16) EUROPEAN COMMISSION. Eurostat: Share of renewable energy in gross final energy consumption. [online]. 2013 [cit. 2021-11-02]. Dostupné z: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language =en&pcode=t2020_31

17) Fischer, R. F., & Binkley, D. (2000). Ecology and management of forest soils, Wiley. *New York*.

18) Franzluebbers, A. J. (2002). Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research*, *66*(2), 95-106.

19) Frydrych, J; Cagaš, B; Macháč, J. (2002). *Energetické využití některých travních druhů*. 35 s.

20) Frydrych, J., Andert, D., Kára, J., & Juchelková, D. (2006). Nové poznatky ve výzkumu energetických trav. *Úroda*, *54*(12), 31-33.

21) Frydrych, J., Hermuth, J., Lošák, M., & Bradáčová, L. (2020). Trávy a vybrané C4 plodiny jako meziplodiny a jejich využití v současných podmínkách měnícího se klimatu. *Certifikovaná metodika*, *2*.

22) Fuksa, Pavel: Netradiční využití biomasy v praxi. *Biom.cz* [online]. 2009-07-15 [cit. 2021-11-08]. Dostupné z WWW: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/netradicni-vyuziti-biomasy-v-praxi>. ISSN: 1801-2655.

23) Fuksa, P., Hakl, J., Hrevušová, Z., Šantrůček, J., Gerndtová, I., & Habart, J. (2012). Utilization of permanent grassland for biogas production. *Modeling and optimization of renewable energy systems. Rijeka, Croatia*, 171-196.

24) Gerndtová, I., Hutla, P., & Andert, D. (2018). *Porovnání několika druhů energetických travin pro produkci lisovaných biopaliv.*

25) 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.

26) Ghosh, S., Wilson, B. R., Mandal, B., Ghoshal, S. K., & Growns, I. (2010). Changes in soil organic carbon pool in three long-term fertility experiments

with different cropping systems and inorganic and organic soil amendments in the eastern cereal belt of India. *Soil Research*, *48*(5), 413-420.

27) Gibson, D. J., & Newman, J. A. (2001). *Festuca arundinacea* Schreber (F. elatior L. ssp. arundinacea (Schreber) Hackel). *Journal of Ecology*, *89*(2), 304-324.

28) Gobat, J. M., Aragno, M., & Matthey, W. (2004). *The living soil: fundamentals of soil science and soil biology*. Science Publishers.

29) Hassink, J. (1997). The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and soil*, *191*(1), 77-87.

30) Heinze, T. (2015). Cellulose: structure and properties. *Cellulose chemistry and properties: fibers, nanocelluloses and advanced materials*, 1-52.

31) Holík, M. (2013). Právní úprava podpory výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a její vývoj. *Časopis pro právní vědu a praxi*, *21*(1), 64-75.

32) Honsa, I. (2004). Vybrané kapitoly z pedologie pro chemiky. *Bulletin NRL*, *3*, 2004.

33) Hutchinson, J. J., Campbell, C. A., & Desjardins, R. L. (2007). Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. *Agricultural and forest meteorology*, *142*(2-4), 288-302.

34) Jeřábková, Julie: Proč je důležitá organická hmota v půdě. *Biom.cz* [online]. 2019-05-16 [cit. 2022-03-27]. Dostupné z WWW: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/proc-je-dulezita-organicka-hmota-v-pude>. ISSN: 1801-2655

35) Kára, J., Strašil, Z., Hutla, P., & Usťak, S. (2005). Energetické rostliny technologie pro pěstování a využití. *Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha*, (s 80).

36) Khaledian, Y., Brevik, E. C., Pereira, P., Cerdà, A., Fattah, M. A., & Tazikeh, H. (2017). Modeling soil cation exchange capacity in multiple countries. *Catena*, *158*, 194-200.

37) 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.

38) 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.

39) Kolář, L., Peterka, J., Marouškova, A., Váchalová, R., Kopecký, M., & Batt, J. (2017). Determination of the Content of Organic C-Primary Soil Organic

40) Koloničný, J., Hase, V. (2011) *Využití rostlinné biomasy v eenergetice.* Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava.

41) Kögel-Knabner, I. (2002). The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. *Soil biology and biochemistry*, *34*(2), 139-162.

42) Kopecký, M., Bernas, J., Jelínková, Z., Konvalina, P., & Šlachta, M. (2015). Vliv sucha na klíčení vybraných druhů energetických trav. *Journal of Central European Agriculture*, *16*(4), 503-513.

43) 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* (pp. 135-142).

44) Kopecký, M. (2018). *Environmentální aspekty pěstování vybraných energetických rostlin*. Disertační práce, Zemědělská fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.

45) Kopecký, M., Mráz, P., Kolář, L., Váchalová, R., Bernas, J., Konvalina, P., ... & Menšík, L. (2021). Effect of Fertilization on the Energy Profit of Tall Wheatgrass and Reed Canary Grass. *Agronomy*, *11*(3), 445.

46) Kopecký, M., Kolář, L., Perná, K., Váchalová, R., Mráz, P., Konvalina, P., ... & Dumbrovský, M. (2022). Fractionation of Soil Organic Matter into Labile and Stable Fractions. *Agronomy*, *12*(1), 73.

47) Krull, E. S., Skjemstad, J. O., & Baldock, J. A. (2004). *Functions of soil organic matter and the effect on soil properties* (p. 129). Canberra: Cooperative Research Centre for Greenhouse Accounting.

48) 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.

49) Kubal, M., Martinec, M., Chumchalová, J., & Hendrych, J. (2021). Kontinuální sledování plynných emisí na skládce komunálního odpadu. *Chemické listy*, *115*(2), 104-108.

50) 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.

51) Lal, R. (2009). Challenges and opportunities in soil organic matter research. *European Journal of Soil Science*, *60*(2), 158-169.

52) Lalande, R., Gagnon, B., & Royer, I. (2009). Impactof natural or industrial liming materials on soil properties and microbial activity. *Canadian journal of*

soil science, 89(2), 209–222.

53) Langer, R. H. M. (1956). Growth and nutrition of timothy (Phleum pratense) I. The life history of individual tillers. *Annals of Applied Biology*, *44*(1), 166-187.

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

55) Lehmann, J., Hansel, CM, Kaiser, C., Kleber, M., Maher, K., Manzoni, S., ... & Kögel-Knabner, I. (2020). Perzistence půdního organického uhlíku způsobená funkční složitostí. *Nature Geoscience* , *13* (8), 529-534.

56) 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.

57) 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.

58) Ma, X., & Fu, Q. (2020). The influence of financial development on energy consumption: worldwide evidence. *International journal of environmental research and public health*, *17*(4), 1428.

59) Maczulak, A. E. (2010). *Renewable energy: sources and methods*. Infobase Publishing.

60) Machado, J. C., Carneiro, P. C. S., da Costa Carneiro, J., Resende, M. D. V., Vander Pereira, A., & de Souza Carneiro, J. E. (2017). Elephant grass ecotypes

for bioenergy production via direct combustion of biomass. *Industrial crops and products*, *95*, 27-32.

61) 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.

62) Maňhal, Daniel: *informační stránky českého hydrometeorologického ústavu*. (2021). Infomet.cz: počasí v jihočeském kraji. [online]. 2021-08-2 [cit. 2021-12-09].dostupnéz http://www.infomet.cz/idex.php?id=read&idd=1629724874

63) Maradin, D. (2021). Advantages and Disadvantages of Renewable Energy Sources Utilization. *International Journal of Energy Economics and Policy*, *11*(3), 176-183.

64) Nannipieri, P., Greco, S., & Ceccanti, B. (2017). Ecological significance of the biological activity in soil. *Soil biochemistry*, 293-356.

65) Neina, D. (2019). The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, *2019*.

66) Novák, V. (2012). *Evapotranspiration in the Soil-Plant-Atmosphere System*. Springer.

67) Ochodek, T., Koloničný, J., & Janásek, P. (2006). Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy. *VŠB–TU Ostrava*.

68) Pitron, J. (2014). Možnosti využití alternativních decentralizovaných zdrojů energie. *Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií*.

69) Petřík, M. (1987). Intenzivní pícninářství. *Státní zemědělské nakladatelství, Praha*.

70) Poirier, N., Sohi, S. P., Gaunt, J. L., Mahieu, N., Randall, E. W., Powlson, D. S., & Evershed, R. P. (2005). The chemical composition of measurable soil organic matter pools. *Organic Geochemistry*, *36*(8), 1174-1189.

71) Poirier, V., Roumet, C., & Munson, A. D. (2018). The root of the matter: linking root traits and soil organic matter stabilization processes. *Soil Biology and Biochemistry*, *120*, 246-259.

72) Pokorný, J. (2019). Evropské energetické právo: vybrané novinky zimního energetického balíčku. *Acta Universitatis Carolinae Iuridica*, *65*(3), 93-100.

73) Regal, V. (1972). Pícní a plevelné trávy. 290 s

74) Rejšek, K., & Vácha, R. (2018). *Nauka o půdě*. Agriprint, s.r.o.

75) Republika, Č. (2001). Zákon č. 458/2000 Sb. zákon o podmínkách podnikání ao výkonu státní správy v energetických odvětvích ao změně některých zákonů (energetický zákon). *Sbírka zákonu. Praha*, 2000-4.

76) Saijonkari-Pahkala, K. (2001). *Non-wood plants as raw material for pulp and paper*. MTT Agrifood Research Finland.

77) Sáňka, M., & Materna, J. (2004). *Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR*. Ministerstvo životního prostředí.

78) Sáňka, M., Zímová, M., Vzorkování půd. *Web Pedologický průzkum* 2016.[Internet].[cit. 2021-12-28] Dostupné z: *http://www. pedologicky-pruzkum. cz/wpcontent/uploads/VZORKOV% C3% 81N% C3% 8D-P% C5% AED. pdf*,

79) Schmidt, M. W., Torn, M. S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I. A., ... & Trumbore, S. E. (2011). Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*, *478*(7367), 49-56.

80) Schnitzer, M. (1991). Soil organic matter—the next 75 years. Soil science, 151(1), 41-58.

81) Smarž, P. (2019). *Využití odpadní biomasy pro výrobu elektrické energie: Utilization of waste biomass for power generation* (Doctoral dissertation, Brno University of Technology).

82) Strašil, Z. (2009). *Základy pěstování a možnosti využití ozdobnice (Miscanthus)*. Výzkumný ústav rostlinné výroby.

83) Strašil, 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.*

84) Strašil, Z. (2012). Evaluation of reed canary grass (Phalaris arundinacea L.) grown for energy use. *Research in Agricultural Engineering*, *58*(4), 119-130.

85) Strašil, Z. (2015). Enviromental analyze of energy crops for combustion purposes. *Výzkumný ústav rostlinné výroby, vvi, Praha Crop Research Institute, Prague, the Czech Republic*.

86) *Souhrnné přehledy o půdním fondu z údajů katastru nemovitostí České republiky: Stav ke dni 31. prosince 2020* [online]. Pod sídlištěm 9, 182 11 Praha 8: Český úřad zeměměřický a katastrální, 2021 [cit. 2021-11-19]. ISBN 978-80-88197-21-8. ISSN 1804-2422. Dostupné z: https://www.cuzk.cz/Periodika-a-publikace/Statisticke-udaje/Souhrne-prehledy-pudniho-fondu/Rocenka_pudniho_fondu_2021.aspx

87) Stevensons, F. J. (1994). *Humus chemistry*: genesis, composition, reactions. John Wiley&Sons.

88) Strosser, E. (2010). Methods for determination of labile soil organic matter: an overview. *Journal of Agrobiology*, *27*(2), 49.

89) Sparks, D. L. (2003). Environmental Soil Chemistry. 2nd ed. Burlington: *Elsevier*, ISBN: 9780080494807.

90) Šantrůček, J. (2001). *Základy pícninářství*. Česká zemědělská univerzita, Agronomická fakulta.

91) Šantrůček, J. (2007). *Encyklopedie pícninářství*. Česká zemědělská univerzita.

92) Šantrůčková, H., Kaštovská, E., Bárta, J., Miko, L., & Tajovský, K. (2018). *Ekologie půdy*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.

93) Šarapatka, B. (2013). *Vybrané kapitoly z pedologie a ochrany půdy*. Univerzita Palackého v Olomouci.

94) Šarapatka, B. (2014). Pedologie a ochrana půdy. Univerzita Palackého v Olomouci

95) Šimek M., 2008: Základy nauky o půdě, 1. neživé složky půdy. Biologická fakulta JU. České Budějovice, 78s

96) Šimek, M., Borůvka, L., Baldrian, P., Bryndová, M., Devetter, M., Drábek, O., Elhottová, D., Háněl, L., Houška, J., Hynšt, J., Chroňáková, A., Jílková, V., Konvalina, P., Kopecký, J., Koubová, A., Kováč, Ľ., Lukešová, A., Macková, J., Malý, S., et al. (2019). *Živá půda Ekologie, využívání a degradace půdy*. Academica.

97) Šnobl, J., Pulkrábek, J. & a kol. (2005). Základy rostlinné produkce. *Skriptum České zemědělské univerzity v Praze*, s. 172.

98) Tan K. H., 2005: Soil Sampling, preparation, and analysis, second edition, CRC Oress:15-239.

99) Tate, K. R. (1984). The biological transformation of P in soil. In *Biological processes and soil fertility* (pp. 245-256). Springer, Dordrecht.

100) Tejada, M., & Gonzalez, J. L. (2008). Influence of two organic amendments on the soil physical properties, soil losses, sediments and runoff water quality. *Geoderma*, *145*(3-4), 325-334.

101)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.

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

103) 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.

104)Vaněk, V., Kolář, L., Pavlíková, D., (2006). *Úloha organické hmoty v půdě*, Racionální použití hnojiv-sborník z konference. ISBN 978-80-213-2006-2.

104) Velich, J. (1994). *Pícninářství*. Vysoká škola zemědělská.

105)Vrba, Vladimír, Huleš, Ludvík: Humus-půda-rostlina (1) Funkce humusu v ekosystému. *Biom.cz* [online]. 2006-09-04 [cit. 2022-02-01]. Dostupné z WWW: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-1-funkce-humusu-v-ekosystemu>. ISSN: 1801-2655.

106) WEGER, Jan: Biomasa jako zdroj energie. *Biom.cz* [online]. 2009-02-02 [cit. 2021-11-03]. Dostupné z WWW: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-jako-zdroj-energie>. ISSN: 1801-2655.

107) Wei, Z., Zhao, X., Zhu, C., Xi, B., Zhao, Y., & Yu, X. (2014). Assessment of humification degree of dissolved organic matter from different composts using fluorescence spectroscopy technology. *Chemosphere*, *95*, 261-267.

108) Yiqi, L., & Zhou, X. (2010). *Soil respiration and the environment*. Elsevier.

109) Zheng, H., Song, M., & Shen, Z. (2021). The evolution of renewable energy and its impact on carbon reduction in China. *Energy*, *237*, 121639.

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Vzájemné působení atmosféry, litosféry, hydrosféry a biosféry v půdě (Šantrůčková et al., 2018) 9
Obrázek 3.1: Lokalita s pokusnými plochami 34
Obrázek 3.2: Plán pokusných ploch s energetickými travami 36

Seznam tabulek

Tabulka 1.1: Orientační hodnoty KVK pro vybrané půdní druhy (Šarapatka, 2014) 21
Tabulka 1.2: Členění humózních půd (Šarapatka, 2014) 29
Tabulka 7.1: Popisné statistiky obsahu PPOH u bojínku lučního..... 74
Tabulka 7.2: Popisné statistiky obsahu PPOH u kostřavy rákosovité 74
Tabulka 7.3: Popisné statistiku změn konstanty *k* u bojínku lučního 75
Tabulka 7.4: Popisné statistiku změn konstanty *k* u kostřavy rákosovité 75
Tabulka 7.5: Popisné statistiky stabilních organických frakcí u bojínku lučního..... 76
Tabulka 7.6: Popisné statistiky stabilních organických frakcí u kostřavy rákosovité 76
Tabulka 7.7: Popisné statistiky stupně humifikace u bojínku lučního..... 77
Tabulka 7.8: Popisné statistiky stupně humifikace u kostřavy rákosovité..... 77

Seznam grafů

Graf 4.1: Bojínek – měnící se parametry v závislosti na v závislosti na hloubce provedeného odběru 39
Graf 4.2: Bojínek – měnící se parametry v závislosti na v závislosti na hnojené variantě 39
Graf 4.3: Kostřava – měnící se parametry v závislosti na v závislosti na hloubce provedeného odběru 40
Graf 4.4: Kostřava – měnící se parametry v závislosti na v závislosti na hnojené variantě 40
Graf 4.5: Změny hodnot konstanty *k* během sezóny 42
Graf 4.6: Změny hodnot konstanty *k* podle hloubky odběru 43
Graf 4.7: Změny C_{PPOH} podle hloubky odběru 44
Graf 4.8: Změny C_{PPOH} podle termínu odběru 46
Graf 4.9: Změny C_{SOF} podle termínu odběru 47
Graf 4.10: Změny C_{SOF} v závislosti na hloubce 48
Graf 4.11: Stupeň humifikace v různých hloubkách odběru 50
Graf 4.12: Vývoj stupně humifikace v různých hloubkách odběru 51
Graf 4.13: Vývoj stupně humifikace v průběhu roku 52

Seznam rovnic

Rovnice 1.1: Základní rovnice rozkladu hmoty v aerobních podmínkách (Šarapatka, 2014) 27
Rovnice 1.2: Rozklad hmoty při nedostatku kyslíku (Šarapatka, 2014)..... 27

Seznam použitých zkratek

BPS-bioplynová stanice

BPEJ-bonitovaná půdně ekologická jednotka

C_{OX}-celkový oxidovatelný uhlík

ČR-Česká republika

DS-draselná sůl

DGGE- denaturing Gradient Gel Electrophoresis

EK-Evropská komise

EU-Evropská unie

FK-fulvokyseliny

HK-huminové kyseliny

HTS- hmotnost tisíce semen

KVK-kationtová výměnná kapacita

LAV-ledek amonný s vápencem

MT1-mírně teplý klimatický region

OSN-Organizace spojených národů

OZE-obnovitelné zdroje energie

PPOH-primární půdní organická hmota

RRD-rychle rostoucí dřeviny

S_H- stupeň humifikace

SIP- Stable isotope Probing

SOM-soil organic matter-půdní organická hmota

SOF-stabilní organické frakce

TOC-celkový organický uhlík

T-RFLP-Terminal Rectriction Fragment Lenght Polymorphism

TTP-trvalé travní porosty

VÚMOP-Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy

3SF-superfosfát trojitý

7 Přílohy

Tabulka 7.1: Popisné statistiky obsahu PPOH u bojínku lučního

Druh	Varianta	Hloubka (cm)	C_{PPOH} (%) Průměr	C_{PPOH} (%) Sm. Ch.	C_{PPOH} (%) -95 %	C_{PPOH} (%) +95 %
Bojínek	C	0–10	1,32	0,09	1,14	1,50
Bojínek	M	0–10	1,49	0,09	1,30	1,67
Bojínek	C	10–20	1,22	0,09	1,04	1,40
Bojínek	M	10–20	1,34	0,09	1,16	1,52
Bojínek	C	20–30	0,95	0,09	0,76	1,13
Bojínek	M	20–30	1,22	0,09	1,04	1,40

Tabulka 7.2: Popisné statistiky obsahu PPOH u kostřavy rákosovité

Druh	Varianta	Hloubka (cm)	C_{PPOH} (%) Průměr	C_{PPOH} (%) Sm. Ch.	C_{PPOH} (%) -95 %	C_{PPOH} (%) +95 %
Kostřava	C	0–10	1,35	0,09	1,17	1,53
Kostřava	M	0–10	1,43	0,09	1,25	1,61
Kostřava	C	10–20	1,42	0,09	1,24	1,60
Kostřava	M	10–20	1,98	0,09	1,79	2,16
Kostřava	C	20–30	1,03	0,09	0,85	1,21
Kostřava	M	20–30	1,22	0,09	1,04	1,40

Tabulka 7.3: Popisné statistiku změn konstanty *k* u bojínku lučního

Druh	Varianta	Hloubka (cm)	*k* (sec) Průměr	*k* (sec) Sm. Ch.	*k* (sec) -95 %	*k* (sec) +95 %
Bojínek	C	0–10	1,66	0,17	1,32	2,01
Bojínek	M	0–10	1,76	0,17	1,41	2,10
Bojínek	C	10–20	1,40	0,17	1,06	1,74
Bojínek	M	10–20	2,11	0,17	1,76	2,45
Bojínek	C	20–30	1,29	0,17	0,94	1,63
Bojínek	M	20–30	1,26	0,17	0,91	1,60

Tabulka 7.4: Popisné statistiku změn konstanty *k* u kostřavy rákosovité

Druh	Varianta	Hloubka (cm)	*k* (sec) Průměr	*k* (sec) Sm. Ch.	*k* (sec) -95 %	*k* (sec) +95 %
Kostřava	C	0–10	1,82	0,17	1,48	2,17
Kostřava	M	0–10	1,40	0,17	1,05	1,74
Kostřava	C	10–20	0,75	0,17	0,41	1,10
Kostřava	M	10–20	0,96	0,17	0,62	1,30
Kostřava	C	20–30	0,93	0,17	0,59	1,28
Kostřava	M	20–30	1,43	0,17	1,09	1,77

Tabulka 7.5: Popisné statistiky stabilních organických frakcí u bojínku lučního

Druh	Varianta	Hloubka (cm)	C_{SOF} (%) Průměr	C_{SOF} (%) Sm. Ch.	C_{SOF} (%) -95 %	C_{SOF} (%) +95 %
Bojínek	C	0–10	0,74	0,11	0,52	0,97
Bojínek	M	0–10	1,23	0,11	1,01	1,45
Bojínek	C	10–20	0,97	0,11	0,75	1,20
Bojínek	M	10–20	1,16	0,11	0,93	1,38
Bojínek	C	20–30	0,40	0,11	0,17	0,62
Bojínek	M	20–30	0,51	0,11	0,28	0,73

Tabulka 7.6: Popisné statistiky stabilních organických frakcí u kostřavy rákosovité

Druh	Varianta	Hloubka (cm)	C_{SOF} (%) Průměr	C_{SOF} (%) Sm. Ch.	C_{SOF} (%) -95 %	C_{SOF} (%) +95 %
Kostřava	C	0–10	0,73	0,11	0,51	0,96
Kostřava	M	0–10	1,18	0,11	0,96	1,41
Kostřava	C	10–20	0,74	0,11	0,52	0,97
Kostřava	M	10–20	0,58	0,11	0,35	0,80
Kostřava	C	20–30	0,30	0,11	0,08	0,53
Kostřava	M	20–30	0,45	0,11	0,22	0,67

Tabulka 7.7: Popisné statistiky stupně humifikace u bojínku lučního

Druh	Varianta	Hloubka (cm)	S_H (%) Průměr	S_H (%) Sm. Ch.	S_H (%) -95 %	S_H (%) +95 %
Bojínek	C	0–10	32,9	3,37	26,3	39,6
Bojínek	M	0–10	44,3	3,37	37,6	50,9
Bojínek	C	10–20	42,6	3,37	35,9	49,2
Bojínek	M	10–20	44,7	3,37	38,1	51,4
Bojínek	C	20–30	31,5	3,37	24,8	38,1
Bojínek	M	20–30	32,2	3,37	25,5	38,8

Tabulka 7.8: Popisné statistiky stupně humifikace u kostřavy rákosovité

Druh	Varianta	Hloubka (cm)	S_H (%) Průměr	S_H (%) Sm. Ch.	S_H (%) -95 %	S_H (%) +95 %
Kostřava	C	0–10	33,4	3,37	26,7	40,0
Kostřava	M	0–10	41,7	3,37	35,0	48,3
Kostřava	C	10–20	31,5	3,37	24,9	38,2
Kostřava	M	10–20	25,3	3,37	18,6	31,9
Kostřava	C	20–30	22,3	3,37	15,7	29,0
Kostřava	M	20–30	24,2	3,37	17,5	30,8