

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ



Kvalita organické hmoty v půdních agregátech

Organic matter quality in soil aggregates

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor práce: Tomáš Davídek

Vedoucí práce: doc. Ing. Lenka Pavlů, Ph.D.

© 2022 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tomáš Davídek

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

Kvalita organické hmoty v půdních agregátech

Název anglicky

Organic matter quality in soil aggregates

Cíle práce

- 1) Popis půdoochranných opatření používaných na zemědělské půdě, jejich vlivu na stabilitu půdní struktury, na retenci vody v krajině či na omezení eroze.
- 2) Vymezení půdních vlastností ovlivňujících stabilitu půdní struktury.
- 3) Porovnání kvalitativních parametrů půdní organické hmoty ve stabilních půdních agregátech s agregáty málo stabilními.

Splněním těchto cílů má student prokázat schopnost samostatné vědecké práce a rovněž potvrdit či vyvrátit následující vědecké hypotézy vztahující se především k poslednímu cíli a tedy praktické části práce.

- 1) Chemické složení půdní organické hmoty v agregátech se liší od složení organické hmoty v půdě jako celku. Menší odlišnosti budou u málo stabilních agregátů a větší u agregátů stabilních.
- 2) Se vzrůstající stabilitou agregátů vzrůstá podíl aromatických součástí půdní organické hmoty.

Metodika

Tato práce je součástí výzkumu zaměřeného na půdoochranná opatření na zemědělské půdě. Soustřeďuje se v obecné rovině na popis širšího spektra opatření a jejich vlivu na půdní strukturu. V praktické části je zaměřena na vliv mulčování organickými mulči, které vede ke zvyšování obsahu uhlíku v půdě a stabilizaci půdních agregátů. V práci tedy budou porovnávány kvalitativní parametry organické hmoty půd pod těmito mulči s plochou kontrolní bez mulče. Budou hodnoceny jednak půdy jako celek a dále také vyseparované agregáty. Bude stanoveno množství organické hmoty, ale především budou hodnoceny kvalitativní parametry za pomoci UV-VIS a FTIR spektroskopie.

Výsledky budou zpracovány a vyhodnoceny vhodnými statistickými metodami.

Doporučený rozsah práce

Podle platných pokynů pro vypracování bakalářské práce.

Klíčová slova

půdoochranná opatření, půdní organická hmota, stabilita půdní struktury

Doporučené zdroje informací

- Abiven, S., Menasseri, S., Chenu, C., 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability — a literature analysis. *Soil Biology and Biochemistry* 41, 1–12.
- Angst, G., Mueller, K.E., Kögel-Knabner, I., Freeman, K.H., Mueller, C.W. (2017) Aggregation controls the stability of lignin and lipids in clay-sized particulate and mineral associated organic matter. *Biogeochemistry* 132(3), 307–324.
- Kodešová, R., Rohošková, M., Žigová A., 2009. Comparison of aggregate stability within six soil profiles under conventional tillage using various laboratory tests. *Biologia* 64, 550–554.
- Pavlů, L., Kodešová, R., Fér, M., Nikodem, A., Němec, F., Prokeš, R., 2021. The impact of various mulch types on soil properties controlling water regime of the Haplic Fluvisol. *Soil and Tillage Research* 205, 104748.
- Šarapatka, B. *Pedologie a ochrana půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-3736-1.
- Šimek, M. et al. *Živá půda: biologie, ekologie, využívání a degradace půdy*. Praha: Academia, 2019. 789 s. ISBN 978-80-200-2976-8.

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FZP

Vedoucí práce

doc. Ing. Lenka Pavlů, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra pedologie a ochrany půd

Elektronicky schváleno dne 9. 4. 2021

prof. Dr. Ing. Luboš Borůvka

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 12. 4. 2021

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 18. 12. 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma “Kvalita organické hmoty v půdních agregátech“ pod vedením vedoucí práce doc. Ing. Lenky Pavlů, Ph.D. vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 15.3. 2022

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí práce doc. Ing. Lence Pavlů, Ph.D. za vstřícný přístup, ochotu, odborné rady a trpělivost. Dále srdečně děkuji své rodině, přítelkyni a všem blízkým za podporu během celého studia.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce bylo v teoretické části popsat půdoochranná opatření používaná na zemědělské půdě a vymezit půdní vlastnosti ovlivňující stabilitu půdní struktury. V experimentální části se práce zabývala studiem půdních agregátů, které byly vyseparovány z půdy, a které byly porovnávány se vzorky celkové půdy. Na začátku práce byly stanoveny dvě hypotézy, přičemž první hypotéza byla na základě výsledků potvrzena a druhá hypotéza vyvrácena.

Z teoretické části vyplývá, že implementace půdoochranných opatření na zemědělské půdě do praxe přináší zlepšení kvalitativních parametrů půdy, mezi které patří vysoké množství organické hmoty a odolná struktura, která hraje důležitou roli v boji proti degradačním činitelům. Zároveň lze také konstatovat, že k dobrému stavu půdy jednoznačně přispívá i vhodné obhospodařování půdy, což zahrnuje například vrstevnicové obdělávání, ponechávání posklizňových zbytků na orné půdě či vhodné užití meziplodin.

V experimentální části práce byly hodnoceny následující půdní vlastnosti. U půdních agregátů byla stanovena jejich stabilita (WSA) metodou mokrého přesévání, množství organického uhlíku (C_{ox}) pomocí tzv. modifikované Tjurinovy metody a kvalita humusu pomocí barevného kvocientu $Q_{4/6}$. Dále byla změřena infračervená spektra půd i agregátů pomocí DRIFTS spektrometrie. Z intenzit jednotlivých spektrálních pásů byl stanoven index aromaticity (i_{AR}) a index potenciální smáčivosti (PWI).

Výsledky prokázaly, že agregáty mají oproti celkové půdě vyšší obsah organické hmoty a vyšší podíl jílových částic. Jejich stabilita a odolnost vůči rozmělnění a následné degradaci je ovlivněna podílem alifatických složek organické hmoty a jejich smáčivostí.

Tématika půdních agregátů, kvality půdy, obsahu humusu v půdě a degradace půdy je v současné době často skloňována a je k ní upírána velká pozornost ve vědecké i laické společnosti. Přínos bakalářské práce spočívá především v identifikaci příčin stability či nestability půdních agregátů a rovněž v doložení vhodnosti použití infračervené spektroskopie k tomuto účelu.

Klíčová slova: půdoochranná opatření, půdní organická hmota, stabilita půdní struktury

Abstract

The aim of this bachelor's thesis was, in theoretical part, to describe soil protective measures used in agricultural soil and to specify soil properties which influence the soil structure stability. In the experimental part the thesis dealt with the soil aggregates which were obtained from the soil and that were compared to the samples of general soil. There were two hypothesis given at the beginning. While the first one, on the basis of the results, was confirmed, the other was disproved.

The theoretical part implies that the soil protective measures implementation of the agricultural soil into practice brings improvement of the soil qualitative parameters among which the high organic matter amount and resistant structure, which plays an important role in the struggle against the degradation agent, belong to. At the same time it is also possible to note that even proper farming definitely contributes to the good soil condition, which means, for example, contour tillage, leaving post-harvest residues on arable land or the appropriate use of catch crops.

In the experimental part, the following soil properties were evaluated. The stability (WSA) of the soil aggregates was determined by the method of wet sieving, organic carbon amount (C_{ox}) with the help of so called modified Tjurin method and the humus quality with the help of colourful quotient $Q_{4/6}$. Furthermore there were the infra-red soil and aggregate spectra measured with DRIFTS spectrometry. From the specific spectral bands the aromaticity index (i_{AR}) and potential wettability index (PWI) was determined.

The results proved that aggregates have contrary to general soil higher content of organic matter and higher ratio of clay particles. Their stability and resistance to powderization and to the following degradation is influenced by the quotient of organic matter aliphatic parts and their wettability.

Topics of soil aggregates, soil quality, soil humus content and soil degradation have been frequently mentioned and great academic and lay attention have been paid to them. This bachelor's thesis contribution lies mainly in identification of stability and instability causes of soil aggregates and at the same time in demonstration of suitability with the infra-red spectroscopy usage as this aim.

Keywords: soil protection measures, soil organic matter, stability of the soil structure

Obsah

| | |
|--|----|
| 1. Úvod..... | 1 |
| 2. Cíle práce | 2 |
| 3. Literární rešerše | 3 |
| 3.1 Struktura půdy..... | 3 |
| 3.2 Půdní vlastnosti ovlivňující stabilitu půdní struktury..... | 4 |
| 3.2.1 pH půdy | 4 |
| 3.2.2 Fyzikálně-mechanické vlastnosti půdy | 6 |
| 3.2.3 Zrnitost půdy | 8 |
| 3.2.4 Půdní organická hmota | 10 |
| 3.2.5 Edafon..... | 12 |
| 3.3 Narušení půdní struktury | 14 |
| 3.4 Degradace půdy..... | 15 |
| 3.4.1 Eroze | 15 |
| 3.4.2 Zhutnění půdy (pedokompakce) | 16 |
| 3.4.3 Ztráta organické hmoty v půdě..... | 16 |
| 3.4.4 Acidifikace..... | 17 |
| 3.4.5 Salinizace | 17 |
| 3.4.6 Sodifikace | 18 |
| 3.5 Obhospodařování půdy | 19 |
| 3.6 Půdoochranná opatření používaná na zemědělské půdě | 19 |
| 3.7 Protierozní opatření..... | 20 |
| 3.7.1 Organizační opatření..... | 20 |
| 3.7.2 Agrotechnická opatření..... | 23 |
| 3.7.3 Technická opatření | 27 |
| 4. Experimentální část – metodika..... | 28 |
| 4.1 Místo pokusu | 28 |
| 4.2 Založení pokusu | 28 |
| 4.3 Odběr vzorků | 28 |
| 4.4 Pokus s druhy mulče na trvalkových záhonech v letech 2015 – 2018 | 29 |
| 4.5 Metodika laboratorních pokusů | 31 |
| 4.5.1 Stanovení stability půdních agregátů | 31 |
| 4.5.2 Stanovení množství organického uhlíku..... | 32 |
| 4.5.3 Stanovení kvality humusových látek | 34 |

| | | |
|--------------------------|---|----|
| 4.5.4 | Analýza vzorků FTIR spektrometrem | 35 |
| 4.6 | Zpracování výsledků..... | 37 |
| 5. | Experimentální část – výsledky..... | 37 |
| 6. | Experimentální část – diskuse..... | 47 |
| 6.1 | Stabilita půdních agregátů WSA..... | 47 |
| 6.2 | Obsah uhlíku C _{ox} | 48 |
| 6.3 | Ukazatel kvality organické hmoty Q _{4/6} | 48 |
| 6.4 | DRIFTS spektrometrie..... | 49 |
| 6.4.1 | Index aromaticity i _{AR} | 50 |
| 6.4.2 | Index potenciální smáčivosti PWI..... | 51 |
| 7. | Závěr..... | 52 |
| Zdroje | | 53 |
| Seznam knižní literatury | | 53 |
| Seznam odborných článků | | 55 |
| Ostatní zdroje | | 57 |
| Seznam obrázků | | 58 |
| Seznam tabulek | | 59 |

1. Úvod

Půda je třífázový dynamický systém, který vzniká v procesu pedogeneze a lze říct, že je to neobnovitelný a nenahraditelný přírodní zdroj živin. V širším pojetí půda slouží jako zdroj obživy. Celá staletí člověk využívá půdu pro zemědělské účely.

Mezi další funkce půdy patří zejména filtrace a transformace látek, půda je zásobárnou živin a organického uhlíku, poskytuje životní prostředí pro edafon, je součástí našeho kulturního dědictví a v neposlední řadě plní funkci produkce potravin a biomasy. Člověk ovlivňuje fyzikální i chemické vlastnosti půdy přímo i nepřímo, pozitivně i negativně. Lze konstatovat, že pokud chce člověk vyprodukovat určité množství kvalitních potravin, potřebuje k tomu půdu bohatou na živiny s dobrými fyzikálními a chemickými vlastnostmi.

Stabilita půdní struktury je jedním z nejdůležitějších ukazatelů pro to, aby půda dobře plnila všechny své funkce. Půdní struktura je klíčová pro utváření životního prostoru pro edafon i vyšší rostliny. Struktura půdy také ovlivňuje dostupnost půdního roztoku a vzduchu, veškeré interakce jednotlivých složek půdy, zajišťuje rovnováhu mezi mineralizací a humifikací a ovlivňuje intenzitu vodní či větrné eroze.

Půdní organická hmota funguje jako tmelící materiál a je produktem edafonu. Vhodné hospodaření na půdě je zásadní pro strukturu půdy a předchází její destrukci. Agrotechnická opatření na zemědělské půdě dodávající organickou hmotu do půdy pozitivně ovlivňují půdní strukturu. Naopak minerální hnojiva bohatá na jednomocné kationty omezují vytváření příznivé půdní struktury.

Pozitivní stimulace půdy člověkem může být navrácení živin do půdy vhodnými agrárními metodami, ochrana půdy v místech, která by časem mohla jevit známky disturbance až degradace či omezení přírodních vlivů (zejména eroze), které negativně ovlivňují půdu.

Negativní stimulace půdy člověkem může být například acidifikace, pedokompakce, salinizace, špatné obhospodařování půdy či aplikace pesticidů (herbicidy, fungicidy, insekticidy, rodenticidy apod.).

2. Cíle práce

Cílem teoretické části bakalářské práce je popis půdoochranných opatření používaných na zemědělské půdě, jejich vlivu na stabilitu půdní struktury, retenci vody v krajině či omezení eroze. Dalším cílem je vymezení půdních vlastností ovlivňujících stabilitu půdní struktury.

V experimentální části bakalářské práce je za cíl porovnání kvalitativních parametrů půdní organické hmoty ve stabilních půdních agregátech s agregáty málo stabilními a rovněž i se samotnou půdou, ze které se agregáty působením různých činitelů vytváří.

Hypotézy:

1) Chemické složení půdní organické hmoty v agregátech se liší od složení organické hmoty v půdě jako celku. Menší odlišnosti budou u málo stabilních agregátů a větší u agregátů stabilních.

2) Se vzrůstající stabilitou agregátů vzrůstá podíl aromatických součástí půdní organické hmoty.

3. Literární rešerše

3.1 Struktura půdy

Stabilita půdní struktury a kvalita půdy jsou pojmy, kterými lze popsat produkční potenciál půdy. Doran a Parkin (1994) definují kvalitu půdy jako „*Schopnost půdy fungovat jako součást ekosystému a při daném využití krajiny udržovat biologickou produktivitu a kvalitu prostředí a podporovat zdraví rostlin a živočichů.*“

Půdní struktura je dána velikostí a tvarem půdních částic, mezi kterými se nachází vzduchové póry. Mezi jednotlivými částicemi vznikají mezery, které jsou nejčastěji vyplněny půdním vzduchem nebo půdní vodou (Šantrůčková, 2014). Půdní částice vytváří větší či menší shluky, které nazýváme agregáty. Dle velikosti agregátů dělíme půdní strukturu na mikrostrukturu, makrostrukturu a megastrukturu, viz tabulka č. 1: Půdní struktura dle velikosti agregátů.

| Struktura | Velikost agregátů [mm] |
|----------------|------------------------|
| Mikrostruktura | < 0,25 |
| Makrostruktura | 0,25 – 50 |
| Megastruktura | > 50 |

Tab. č. 1: Půdní struktura dle velikosti agregátů (Jandák a kol., 2001)

Šarapatka (2014) zmiňuje, že vznik a tvorba půdní struktury je přirozeným jevem, na kterém se mimo jiné podílí také obsah a kvalita organické hmoty, množství půdních koloidů, výměnné kationty v koloidním systému apod. Velký význam představují fyzikálně-chemické procesy (například koagulace organických a minerálních koloidů působením výměnných kationtů). Strukturu dle procesů, které se podílí na vzniku agregátů, třídíme na:

- elementární – primární půdní částice nejsou stmeleny v agregáty.
- koherentní – primární půdní částice jsou stmeleny do relativně pevných útvarů.
- agregátová – vlivem humusových látek a jílu dochází ke stmelení půdních částic.

K tvorbě půdních agregátů dochází vlivem mrazu, činností edafonu, vysoušením půdy či prorůstáním kořenů. Tmelící látky, jako například sesquioxidy a humus, dále zpevňují agregáty, a vytváří tak pevnou strukturu agregátů. Rehák a Janský (2000) uvádí, že při tvorbě půdní struktury mají značný vliv molekulární a adhezní síly, dále také sesquioxidy, jílové částice a organické koloidy.

Agregáty v půdě mají různé velikosti, tvary a prostorové uspořádání. Dle tvaru a velikosti se struktura dělí na kulovitou, polyedrickou, prismatickou, sloupkovitou a deskovitou (Šimek, 2005; Pavlů, 2018; Šarapatka, 2014). Tvar jednotlivých půdních agregátů, jejich uspořádání a zrnitostní složení výrazně ovlivňují porézní prostředí půdy. Vymezuji celkový objem pórů v půdě, ale také jejich velikost a směr. Tyto faktory jsou rozhodující při popisu chování půdní vody a půdního vzduchu (Pavlů, 2018). Půdní struktura ovlivňuje míru pronikání kořenů, infiltrační, perkolační rychlosti a erodovatelnost půd.

Dle vývoje struktury se půdy rozlišují do 3 skupin (Jandák a kol., 2001; Rehák a Janský, 2000):

- **Půdy strukturní (s dobře vyvinutou strukturou)** – agregáty lze snadno oddělit a jsou stabilní ve vodě.
- **Půdy jemně strukturní (převládá špatně vyvinutá struktura)** – vyskytuje se vyšší podíl nestrukturního materiálu.
- **Půdy nestrukturní (s nevyvinutou strukturou)** – u těchto půd jsou nerozpoznatelné strukturní agregáty a jsou tvořeny tzv. pseudoagregáty, které jsou nestrukturní a jsou nestabilní ve vodě.

Půdní struktura představuje důležitý faktor ovlivňující úrodnost, vlhkost, půdní vlastnosti či edafon. Struktura půdy je půdní vlastnost, kterou člověk může ovlivnit. Pro udržení půdní struktury je důležité dodávat půdě organický materiál. Na orné půdě se dodání organické hmoty praktikuje například posklizňovými zbytky, zapravováním slámy do půdy či hnojením statkovými hnojivy, tj. například močůvkou nebo kejdou. Minerální hnojiva mohou negativně ovlivňovat vytváření půdní struktury, proto by se měla na orné půdě omezovat.

3.2 Půdní vlastnosti ovlivňující stabilitu půdní struktury

3.2.1 pH půdy

Půdní reakce patří mezi nejdůležitější chemické vlastnosti půdy. Je označována jako pH, tj. potenciál vodíku, a její hodnota udává záporný dekadický logaritmus koncentrace vodíkových iontů. Hodnota pH ovlivňuje růst rostlin, množství a složení dostupných prvků, složení edafonu, humifikaci, pedogenezi aj. Stupnice pH má rozsah hodnot 0 až 14, přičemž hodnoty blíží se 0 jsou silně kyselé, hodnoty blíží se 12 jsou silně alkalické nebo zásadité a hodnoty okolo pH 7 jsou brány jako neutrální. Půdy, které mají nadbytek H^+ iontů,

označujeme jako kyselé. Naproti tomu u zásaditých půd převažují ionty OH^- (Bedrna, 2002; Valla a kol., 2002).

Půdní reakce mohou být v časovém horizontu zpomalovány nebo urychlovány různými chemickými procesy a faktory. Pokud má půda nasycený sorpční komplex, je bohatá na hydroxidy, soli a další prvky (např. sodík, draslík, hořčík, vápník, hliník a železo), je odolnější vůči změně půdní reakce. Efekt zpomalení půdních reakcí má také množství jílových materiálů a organické hmoty v půdě. Půdy chudé na tyto minerály a látky jsou naopak náchylnější na jakoukoli změnu pH. Z výše uvedeného vyplývá, že nejvyšší rezistenci vůči acidifikaci a vysoké alkalitě mají půdy humózní, jílovité a karbonátové. Půdy s vysokým podílem písčitých částic, slabě humózní či půdy s minimálním obsahem uhličitánů a solí jsou naopak vysoce náchylné k acidifikaci a dalším způsobům degradace půdy (Bedrna, 2002).

V půdě lze popsat různé formy reakcí. Mezi nejčastější reakce patří aktivní, výměnná a hydrolytická reakce. Aktivní reakce je způsobena především volnými H^+ ionty, které se uvolnily do půdního roztoku disociací z organických i minerálních kyselin, z koloidních částic atd. Měří se v suspenzi zeminy s destilovanou vodou. Označujeme ji jako $\text{pH}/\text{H}_2\text{O}$ (Šarapatka, 2014).

Aktivní kyselost půdy způsobují volné H^+ ionty, ale také výměnně adsorbované H^+ ionty, které se do roztoku mohou uvolnit výměnou za bazické ionty (K^+ , Ca^{2+}), pokud na půdu působíme roztokem neutrálních solí (např. KCl nebo CaCl_2). Při srovnání výsledků $\text{pH}/\text{H}_2\text{O}$ s pH/KCl na konkrétním místě budou hodnoty pro pH/KCl nižší (Šarapatka, 2014).

Pro hydrolytickou reakci je zásadní, že se v půdě nachází výměnné H^+ ionty, které lze vytěsnit roztokem neutrálních solí. Také se zde ovšem nachází H^+ ionty, k jejichž vytěsnění dojde až v alkalickém prostředí. Pro zjišťování této reakce se používá octan sodný či octan vápenatý (Šarapatka, 2014).

Vliv pH na strukturu půdy je velmi důležitý, protože půdní pH ovlivňuje koagulaci či peptizaci koloidů. Při těchto procesech vznikají mikroagregáty, které jsou klíčovými prvky pro utváření stability půdní struktury. Půdní koloidy a jejich vlastnosti jsou ovlivňovány hodnotou pH a naopak. Koloidy v půdě mohou být rozptýlené ve formě koloidního roztoku (solu) nebo mohou být vyvločkovány (gel). Oproti kationtům mají koloidy opačný náboj. Vhodná půdní struktura vzniká při dostatku dvojmocných kationtů vápníku a hořčíku. V tabulce č. 2 a 3 lze vidět hodnoty pH dle konkrétní reakce a označení půdy vztažené k hodnotám pH.

| Označení | pH/H ₂ O |
|-----------------|---------------------|
| Silně kyselé | < 4,9 |
| Kyselé | 4,5 – 5,9 |
| Slabě kyselé | 5,9 – 6,9 |
| Neutrální | 6,9 – 7,2 |
| Slabě alkalické | 7,2 – 8,0 |
| Alkalické | 8,0 – 9,4 |
| Silně alkalické | > 9,4 |

Tab. č. 2: Klasifikace půd dle aktivní reakce (Šarapatka, 2014)

| Označení | pH/KCl |
|-----------------|-----------|
| Extrémně kyselé | < 4,5 |
| Silně kyselé | 4,6 – 5,0 |
| Kyselé | 5,1 – 5,5 |
| Slabě kyselé | 5,6 – 6,5 |
| Neutrální | 6,6 – 7,2 |
| Alkalické | 7,3 – 7,7 |
| Silně alkalické | > 7,7 |

Tab. č. 3: Klasifikace půd dle výměnné reakce (Hauptman a kol., 2009)

Půdotvorné procesy ovlivněné hodnotou pH

Hodnota pH ovlivňuje dostupnost živin v půdě, výskyt edafonu, vegetaci i některé konkrétní půdotvorné procesy, mezi které patří například podzolizace (Cheluviace), vymývání (Lixiviace), dekarbonizace, ilimerizace (Lesiviace), hnědnutí (Braunifikace), glejový proces a pseudoglejový proces (oglejení). Hodnota pH s půdotvornými procesy souvisí zejména v pohyblivosti či nepohyblivosti půdních koloidů.

3.2.2 Fyzikálně-mechanické vlastnosti půdy

Fyzikálně-mechanické vlastnosti půdy jsou určovány zejména půdní strukturou, pórovitostí, zrnitostí, barvou půdy a obsahem půdního vzduchu a vody, tyto vlastnosti tedy vyplývají ze vzájemných vztahů mezi pevnou, kapalnou a plynnou složkou půdy a mají také vliv na obdělávatelnost půdy.

Existují 3 stupně negativně ovlivňující fyzikální vlastnosti půdy. Jednak je to narušení půdní struktury, jež se projevuje zhoršenou agregací v půdním horizontu A. Příčina tohoto problému je kombinace mechanické disturbance půdy nevhodnou zemědělskou technikou a poklesu obsahu humusu. Dalším stupněm je pedokompakce vlivem těžké agrotechniky do hloubky 60 – 70 cm a v důsledku zvolení nevhodných orebních postupů. Třetím stupněm jsou změny chemického složení půdní roztoků, k nimž dochází převážně v aridních oblastech

v důsledku nevhodně zvolených zavlažovacích systémů, popřípadě průsaků nebezpečných a toxických látek ze skládek odpadů (Kutílek, 2008).

Mezi fyzikálně-mechanické vlastnosti půdy patří zejména soudržnost, přilnavost, konzistence, zhutnění, tření, bobtnání a smršťování půdy. Soudržnost neboli koheze půdy se projevuje jako schopnost půdy odolávat vnějšímu tlaku způsobujícímu drcení agregátů a schopnost klást odpor při vniknutí cizího tělesa do půdního profilu (Demo, 2000). Šarapatka (2014) uvádí, že vyšší soudržnost mají jílovité půdy, nižší soudržnost mají naopak půdy písčité. Za zmínku stojí i fakt, že humus snižuje soudržnost u jílovitých půd, ale u písčitých půd naopak soudržnost zvyšuje.

Přilnavost neboli adheze půdy je výsledkem působení přitažlivých sil mezi částicemi půdy a povrchem tělesa, které vniká do půdního profilu. Přilnavost půdy zpravidla vzrůstá s obsahem koloidních částic v půdě a s vlhkostí půdy (Šarapatka, 2014). Adheze se nejčastěji projevuje lepením půdy na cizí těleso, jež vnikne do půdy, na zemědělské půdě například obdělávací části agrotechniky (Demo, 1995). Demo (2000) upozorňuje, že nejvyšší přilnavost mají jílovité půdy, naopak hlinitopísčité půdy disponují velmi nízkou přilnavostí. Hraško a Bedrna (1988) uvádí, že konzistence půdy je výsledkem působení souboru koheze a adheze při určité vlhkosti půdy.

Zhutnění půdy představuje na území České republiky závažný způsob degradace zemědělské půdy. Šarapatka (2014) uvádí, že zhutnění půdy se projevuje zvýšením objemové hmotnosti půdy, snížením pórovitosti a snížením infiltračních schopností půdy. Zhutnění závisí zejména na zrnitosti půdy, půdní struktuře a vlhkosti. Mění se během roku s rozvojem vegetačního pokryvu a v závislosti na obdělávání půdy.

Tření půdy lze definovat jako odpor půdy, který kladou nerovnosti dotykových ploch smýkavému pohybu. Vnitřní tření probíhá na úrovni půdních částic, vnější tření vzniká mezi povrchem půdy a náradím vnikajícím do půdního profilu (Šarapatka, 2014). (Ledvina a kol., 1999) uvádí, že orební odpor je de facto měrný odpor, který je nutné překonat při odříznutí, vyzdvižení a obracení plástu půdy či drobení.

Šarapatka (2014) se zmiňuje, že bobtnáním se zvětšuje objem půdy při zvyšující se vlhkosti v půdě. Naopak smršťování je půdní proces, při kterém se snižuje objem půdy při vysychání. Jev bobtnání je nejčastější u půd s vysokým obsahem jílových částic.

3.2.3 Zrnitost půdy

Zrnitostní složení půdy, tedy půdní druh či textura půdy, je jednou z nejvýznamnějších půdních charakteristik ovlivňujících fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy. Zrnitost zeminy je určena zejména zastoupením jednotlivých velikostně rozdílných minerálních částic (Šarapatka, 2014; Tomášek, 2000).

Zrnitostní složení půdy je závislé na mateční hornině. Půdy zvětrávající z mateční horniny bohaté na křemík, čedič a vápenec obsahují hrubozrnné částice. Půdy zvětrávající ze spraše či pískovce a málo zpevněných hornin jsou jemnozrnné (Šarapatka, 2014; Rehák a Janský, 2000). Tomášek (2000) tvrdí, že pro druh půdy je důležitý poměr jednotlivých frakcí půdy. Dle Tomáška (2000) je nejdůležitější poměr zrn jemnozeme (zrna o velikosti < 2 mm) a skeletu (zrna o velikosti > 2 mm). V tabulce č. 4: Vymezení zrnitostních frakcí a kategorií lze vidět jednotlivé frakce a průměry zrn včetně příslušných kategorií půdy.

| Frakce | Průměr zrn [mm] | Kategorie |
|------------------|--------------------|----------------|
| Koloidní jíł | < 0,0001 | I. kategorie |
| Fyzikální frakce | 0,0001 – 0,002 (1) | |
| Jemný prach | 0,002 (1) – 0,01 | |
| Prach | 0,01 – 0,05 | II. kategorie |
| Práškový písek | 0,05 – 0,1 | III. kategorie |
| Písek | 0,1 – 2 | IV. kategorie |
| Hrubý písek | 2 – 4 | skelet |
| Štěrka | 4 – 30 | |
| Kamení | > 30 | |

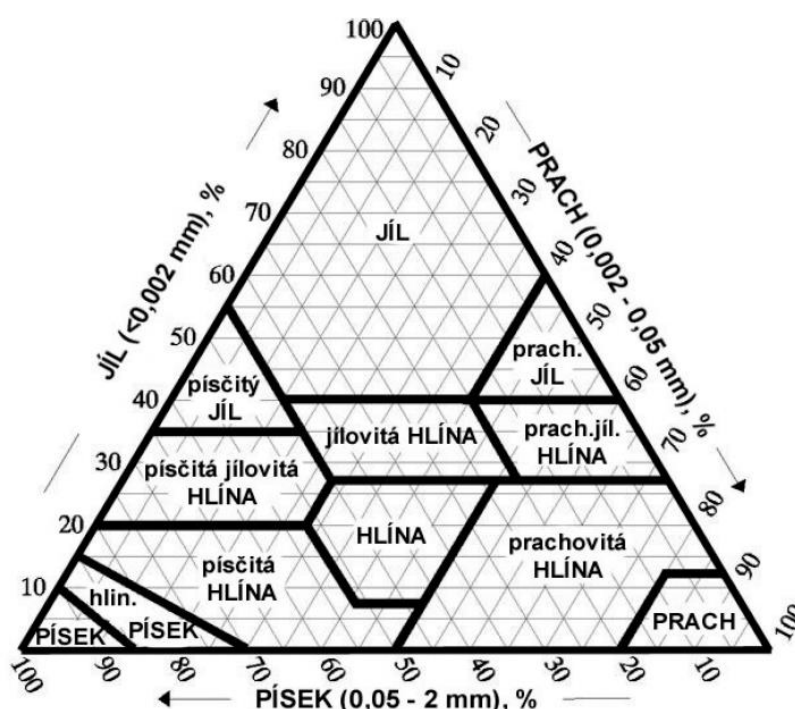
Tab. č. 4: Vymezení zrnitostních frakcí a kategorií (Pavlů, 2018)

Pavlů (2018) uvádí, že hranice mezi některými frakcemi se v jednotlivých systémech hodnocení zrnitosti liší. Půdní druh se určuje především podle frakce do 2 mm, ta je používána pro majoritní množství chemických rozborů. Frakce skeletu, tj. velikost zrn > 2 mm, je po chemické stránce brána jako inertní (nereaguje) a před rozboru je tato frakce ze vzorků odebrána. Všechny frakce jsou v půdě důležité, plní svou specifickou funkci a dohromady určují půdní vlastnosti.

Poměr jednotlivých frakcí ovlivňuje obhospodařovatelnost na zemědělské půdě. Půdy s vyšším obsahem skeletu a půdy jílovité a těžké jsou hůře obhospodařovatelné než lehké písčité půdy. Se zrnitostním složením také souvisí sorpční schopnosti půd a chování půdní vody. Půdy s vysokým obsahem skeletu obsahují velké póry, díky kterým voda pronikne i do hlubších vrstev půdy, zatímco půdy jílovité mají malé póry, a tak voda zůstává na povrchu a k infiltraci

vody dochází v minimální míře. Nejpříznivější vliv na hospodaření na půdě má frakce prachu, která pozitivně ovlivňuje fyzikální, chemické i biologické vlastnosti půd (Pavlů, 2018).

Zrnitost lze určit na základě obsahů tří zrnitostních frakcí (písku, prachu a jílu) a pomocí trojúhelníkového diagramu USDA (United States Department of Agriculture, v překladu: Ministerstvo zemědělství Spojených států amerických), viz obrázek č. 1: Trojúhelníkový diagram určující zrnitost půdy dle USDA, který je v České republice i ve světě nejpoužívanější formou klasifikace zrnitostní půdní frakce. Tento diagram využívá k hodnocení půdního druhu obsah frakce jílu (do 0,002 mm), prachu (0,002 – 0,05 mm) a písku (0,05 – 2 mm) a rozlišuje 12 půdních druhů (Pavlů, 2018; Vopravil, 2009; Šarapatka, 2014).



Obr. č. 1: Trojúhelníkový diagram určující zrnitost půdy dle USDA (Pavlů, 2018; Vopravil, 2009)

Základní charakteristika jednotlivých zrnitostních frakcí

- **Písek** – jedná se o částice, které mohou být tvořeny křemenem nebo úlomky silikátových hornin a živců. Písčité frakce půdy plní funkce drenážní. Při vyšším obsahu písku jsou půdy velmi dobře propustné a provzdušněné, naopak při sušších obdobích půdy nadměrně ztrácí vodu výparem. Z výše uvedených poznatků lze konstatovat, že sorpční vlastnost písčitých půd je nízká (Šarapatka, 2014).
- **Prach** – prach je tvořen středně velkými částicemi. Prachové částice se většinou vyskytují v půdách vytvořených na spraších a přispívají k dobrým fyzikálním vlastnostem půdy a optimálnímu poměru půdního vzduchu a vody (Šarapatka, 2014).

- **Jíl** – jedná se o půdní frakci s velkou povrchovou plochou a malou velikostí jednotlivých částic. Koloidní jíl ovlivňuje zejména pórovitost půdy, vzdušný a vodní režim a obsah živin vázaných sorpčním komplexem. Ovlivňuje také živou složku půdy a vznik půdních agregátů (Šarapatka, 2014).

Zrnitost půdy je společně s půdním pH, edafonem, a především množstvím a kvalitou humusu, zásadním faktorem, který určuje stabilitu půdní struktury. Jemnozrnné částice v půdě (např. prachové částice) jsou klíčové pro půdní strukturu, jelikož díky jejich velikosti utvářejí celistvější strukturu. Dochází k optimální infiltraci a retenci vody v půdě. Pokud je půda obohacována o humus, výsledná půdní struktura je na daném území stabilní a půda úrodná. Naopak půda silně písčitá či štěrkovitá bez jemnozrnné frakce je velice náchylná vůči degradačním faktorům a celkové degradaci.

3.2.4 Půdní organická hmota

Půdní organická hmota je tvořena mikroorganismy, rozpuštěnou půdní organickou hmotou, rozdrobenou půdní organickou hmotou, inertní půdní organickou hmotou a humusem. Obsah humusu se v půdě pohybuje v rozmezí 2 – 5 % v závislosti na množství vody nebo hloubce půdy. V České republice se v zemědělských půdách vyskytuje přibližně 2,5 % humusu (Vlček, 2015). McRae (1988) konstatuje, že čím má půda tmavší zbarvení, tím větší množství organické hmoty je v ní obsaženo. Toto tvrzení ovšem neplatí u zasolených a vápenatých půd, u kterých i menší koncentrace humusu způsobí tmavší odstín půdy.

Humus tvoří stabilní složku půdy, která vzniká procesem humifikace. V procesu humifikace dochází k rozkladu a následné syntéze organického materiálu (Pospíšil, 1980). Půdní organická hmota vzniká za přítomnosti půdních organismů, jež zpracovávají všechny organický materiál vstupující do půdy (odumřelé zbytky rostlin, mrtvá těla organismů a kořenové exudáty). Při těchto procesech je zásadní mikrobiální degradace, přičemž rychlost rozkladu ovlivňuje zejména půdní teplota, pH, vlhkost a aerace (Šantrůčková, 2014).

Sotáková (1982) takto charakterizuje humusové látky dle chemického složení na nespecifické, specifické a meziprodukty rozkladu:

- **Nespecifické humusové látky** – nehumínové nebo primární látky organické povahy, které jsou často snadno odbouratelné a rozložitelné půdními mikroorganismy. Patří sem organické kyseliny, cukry, bílkoviny, vosky, tuky, pryskyřice atd. Především tyto látky určují biologickou aktivitu půdy.

- **Meziprodukty rozkladu** – řadí se do primární organické hmoty.
- **Specifické humusové látky** – huminové nebo sekundární látky, které jsou tmavě zbarveny a jsou velmi odolné. Tvoří majoritní podíl z celkové organické hmoty. Patří sem zejména fulvokyseliny (FK), huminové kyseliny (HK), hymatomelanové kyseliny (HMK), huminy a humusové uhlí.
 - **Fulvokyseliny (FK)** – žluté až hnědé zbarvení, jsou pohyblivé, rozpouštějí se ve vodě apod., mají silnou kyselou reakci, jsou agresivní na minerální půdy, které ochuzují o živiny a koloidní látky.
 - **Huminové kyseliny** – tmavě hnědé zbarvení, rozpouští se v louhu (alkalické prostředí), nerozpustné ve vodě, jsou velmi kvalitní, ovlivňují strukturu půdy, půdní vlastnosti a pufrovitost.
 - **Hymatomelanové kyseliny** – jsou součástí HK, kvalitní složka půdy, žluté až žlutohnědé zbarvení (obdobně jako FK), rozpouští se v alkoholu.
 - **Huminy** – složka humusu, jsou pevně vázané na anorganické půdní koloidy.
 - **Humusové uhlí** – nejstarší složka humusu, má velmi tmavou barvu, na rozdíl od FK a HK je humusové uhlí nerozpustitelné, neprobíhá peptizace, nehydrolyzuje a neúčastní se půdotvorných procesů, bohaté na uhlík a dusík.

Hauptman a kol. (2009) uvádí, že obsah humusu se nejčastěji určuje stanovením oxidovatelného organického uhlíku (C_{ox}). Jedná se o rozklad organického uhlíku za pomoci oxidačního činidla v kyselém prostředí. Obsah C_{ox} se poté vynásobí tzv. Welteho koeficientem (1,724 což odpovídá 58% uhlíku v humusu), aby hodnoty odpovídaly % obsahu organické hmoty.

Kvalitu humusu lze stanovit několika způsoby. Jedním z nich je poměr HK:FK. Čím vyšší podíl HK, tím je humus kvalitnější a odolnější. Pokud je poměr HK:FK vyšší než 1,5, označujeme tento humus za kvalitní (například u černozemě). Pokud je poměr HK:FK nižší než 1, značí to nekvalitní humus (například u podzolu).

Dalším způsobem hodnocení kvality humusu je poměr uhlíku (C) a dusíku (N). Optimální hodnoty poměru C:N jsou 10:1 a nižší. Čím je poměr větší než 10, tím je humus méně kvalitní a naopak. Obsah organického uhlíku (C) ve vysušené hmotě rostlin je přibližně 42 – 50 hmot. % a velmi podobný obsah organického uhlíku má i suchá hmota mikroorganismů.

Průměrný obsah C v humusu je zhruba 55 – 58 hmot. % (proto se využívá přepočítání tzv. Welteho koeficientem, který činí 1,724). Naproti tomu obsah dusíku (N) je v biomase mnohem nižší a více kolísá. Průměrný obsah N v půdní organické hmotě je cca 4 – 5 hmot. % (Šimek, 2019).

Kvalitu humusu lze také zjistit pomocí indexu $Q_{4/6}$. Jedná se o poměr absorbance v UV-VIS oblasti spektra při vlnové délce 400 a 600 nm. Čím je $Q_{4/6}$ nižší, tím jsou humusové látky kvalitnější. Obecně lze říct, že pokud $Q_{4/6}$ činí méně než 4, index značí vysokou kvalitu humusu. Pokud dosahuje $Q_{4/6}$ hodnoty vyšší než 4, humus kvalitní není.

Obsah humusu je klíčový pro utváření půdní struktury. Čím více je humusu v půdě, tím je struktura půdy stabilnější a kvalitnější. Má vyšší schopnost rezistence vůči vnějším degračním faktorům působícím na půdu, které primárně rozrušují půdní strukturu a ochuzují půdu o živiny a půdní vodu. Půda s vysokým množstvím kvalitního humusu je dostatečně vyživená, což u zemědělské půdy znamená, že je velmi úrodná a lze očekávat vysokou produkci. Kvalita humusu je po množství humusu druhým ukazatelem, který je pro půdu zásadní. Kvalitnější organická hmota se více podílí na spojování a stabilitu půdních agregátů. Důležité je zmínit, že některé organické látky v půdě působí jako koloidy – spojují se s minerálními koloidy a vytváří se tak základ půdní struktury. Mezi další látky, které lepí a tmelí půdní agregáty, patří různé produkty metabolismu organismů, například koprolity (výměšky žízá) či polysacharidy.

3.2.5 Edafon

Edafon neboli živá složka půdy je pojem, kterým lze označit organismy, které žijí alespoň část života v půdě. Rajchard a kol. (2002) uvádí, že z pohledu biocenózy se jedná o rozkladače (destruenty), kteří se živí především rozkládající se či odumřelou složkou půdní organické hmoty. Dle velikosti se edafon dělí na mikroedafon (< 0,2 mm), mezoedafon (0,2 – 2 mm), makroedafon (2 – 20 mm) a megaedafon (> 20 mm).

Do mikroedafonu patří organismy zastupující rostlinnou i živočišnou říši, tj. sinice, řasy, prvoci, bakterie a aktinomycety. Mezoedafon zahrnuje hlístice, některé houby, roztoče, menší hmyz a chvostoskoky. Roupice, stonožky, mnohonožky, měkkýše a pavouky lze zařadit do makroedafonu. Megaedafon představuje skupinu živočichů, mezi které řadíme například žížaly a obratlovce, například hraboše a krtky (Šarapatka, 2014).

Půdní organismy mohou být také rozděleny na základě získávání energie a uhlíku na autotrofní a heterotrofní organismy. Autotrofní organismy mohou získávat energii

ze sluneční energie (fotoautotrofní organismy) nebo z oxidace anorganických látek (chemoautotrofní). Heterotrofní organismy získávají energii a uhlík (C) rozkladem humusu a řadíme mezi ně půdní faunu, většinu bakterií, houby a aktinomycety. Heterotrofní organismy převyšují počet autotrofních organismů a jsou zodpovědné za většinu rozkladných procesů v půdě (Šarapatka, 2014; Bedrna, 2002).

Funkce edafonu v půdě je nesmírně důležitá. Půdní organismy rozkládají odumřelou hmotu a navrací živiny do oběhu. Uvolněné živiny slouží především rostlinám, ale imobilizují se také v tělech organismů žijících v půdě. Z dlouhodobého hlediska by bez rozkladné funkce edafonu život na Zemi neexistoval. Edafon také propojuje půdu s půdní vodou a vzduchem, na kterém jsou živočichové a rostliny v půdě závislí.

Majoritní množství uhlíku vázaného v organismech a posléze v jejich odumřelých tělech se po mikrobiálním rozkladu navrací zpět do atmosféry, odkud byla ve formě oxidu uhličitého (CO₂) odčerpána autotrofními organismy v procesu fotosyntézy. Aktivita půdních organismů v půdě zajišťuje plnohodnotné fungování půdy, tj. rozklad a koloběh organické hmoty, regulace dostupnosti a příjmu živin, detoxikace půdy, udržování struktury půdy a regulace půdních hydrologických procesů, výměna plynů a ukládání organického uhlíku, kontrola růstu rostlin a regulace škůdců a chorob.

Množství organismů v půdě je ovlivněno mnoha faktory včetně klimatu, vegetačního krytu, fyzikálních a chemických vlastností půdy. Odlišnosti v množství edafonu vyskytujícího se v půdě jsou velké a záleží také na podnebí a na daném biotopu. Kyselé půdy ve srovnání se zásaditými půdami mají zastoupení druhů půdních organismů zcela odlišné. Odlišnosti budou také v tropických a chladných oblastech. Obecně lze konstatovat, že lesní půdy jsou bohatší na edafon než louky a obdělávaná orná půda je chudší na biomasu organismů než nenarušené přírodní půdy (Šarapatka, 2014).

„Bez organismů půda přestává být půdou a stává se pouhým neživým substrátem. Půdní mikroorganismy v interakcích s půdními živočichy zabezpečují nepřetržitý tok látek a energie půdou: rozkladné a syntetické procesy, procesy přeměn jednotlivých prvků a živin, interakce mezi půdou a jejím okolím (Šimek a kol., 2015).“

Edafon je vedle množství a kvality humusu v půdě, pH a zrnitosti půdy také velmi důležitým faktorem ovlivňující stabilitu půdní struktury. Živé organismy v půdě jsou nezbytné při tvorbě půdních agregátů. Edafon je také významným činitelem biologického samočištění půdy, tj. promíchává a provzdušňuje půdu. Půdní živočichové jsou nepostradatelní

při fungování půdního ekosystému, který ovlivňuje strukturu půdy. Významnou složkou edafonu jsou hyfy mykorhizních hub. Prorůstání mycelia, které způsobuje mechanické zpevnění půdy, hraje významnou roli při stabilizaci půdních agregátů (Gryndler a kol., 2004).

Zelené rostliny vytvářejí s mykorhizními houbami symbiózu, která je pro obě zúčastněné složky přínosným a důležitým faktorem. Díky tomuto symbiotickému vztahu rostliny získávají živiny a jsou chráněny před různými patogenními činiteli. Mykorhizní houby se také podílejí na tvorbě půdní struktury, což je zapříčiněno především prorůstáním agregáty nacházejících se v půdě a tím zajišťuje základní mechanické zpevnění půdního profilu. Některé druhy mykorhizních hub produkují glykoprotein glomalin, který stabilizuje půdní strukturu.

3.3 Narušení půdní struktury

K narušení půdní struktury dochází především vlivem vnějších degradačních faktorů, které mohou být antropogenní i přírodní povahy. Půdní struktura v České republice je narušena zejména u zemědělské půdy, která je intenzivně obdělávána. Nedochozí zde k hojnému návratu organické hmoty do půdy, čímž dochází k její ztrátě v půdním profilu. Tato půda je nadále vystavena dalším degradačním procesům, mezi které jednoznačně patří eroze. Půda je po ztrátě majoritního množství humusu vysílená a eroze napomáhá ke ztrátě zbytku živin a vody, které se v půdě doposud nacházely. U půd zasolených se na degradaci půdní struktury podílejí vysoké koncentrace jednomocných iontů (např. Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+ aj.), které brání koagulaci koloidů, a tím vzniku půdní struktury (Pavlů, 2018).

Výše zmíněné faktory působící na půdu zapříčiňují, že půda je neúrodná a vysílená, tj. dochází k rozpadu půdní struktury, snižuje se schopnost infiltrace vody do půdního profilu, a také se snižuje retenční schopnost půdy. Aby k rozrušování půdní struktury nedocházelo, musí se do půdy navracet humus v podobě posklizňových zbytků či hnojení statkovými hnojivy. Mělo by se méně využívat minerálních hnojiv. Dále by se na zemědělské půdě měla aplikovat vhodná půdoochranná opatření, která napomáhají udržovat půdu v dobrém stavu, například bezorebné zpracování půdy či vrstevnicové obdělávání půdy, viz půdoochranná opatření používaná na zemědělské půdě.

Dále se zaměřím na degradace probíhající na půdě, které významně rozrušují půdní strukturu.

3.4 Degradace půdy

3.4.1 Eroze

Eroze je přírodní degradační proces, při kterém dochází k rozrušování půdní struktury za působení větru, vody, sněhu a dalších přírodních faktorů, přičemž se ztrácí produkční i mimoprodukční funkce půdy. Do určité míry není eroze zřejmá, avšak ve větší míře je eroze viditelná pouhým okem. Eroze narušuje převážně půdu zemědělskou, ale vyskytuje se také na půdě lesní, například v důsledku těžby holosečným způsobem, který je sice přírodě nejméně blízký, ale za to je nejekonomičtější.

Pimentel (2006) ve své publikaci zmínil fakt, že eroze půdy, zejména zemědělské, je velmi vážným celosvětovým problémem, který má za následek, že každý rok je na světě takto poškozeno cca 10 milionů ha půdy. Celkové množství půdy se ztrácí z pevniny desetkrát až čtyřicetkrát rychleji, než je míra obnovy půdy. Šarapatka (2014) také ve své publikaci zmiňuje, že eroze je jedním z nejvýraznějších současných celosvětových degradačních faktorů.

Vodní eroze

Vodní eroze je nejrozšířenější forma eroze vyskytující se na území České republiky. Na základě provedených analýz se odhaduje, že v České republice je vodní erozí ohroženo kolem 50 % půd, které tvoří zemědělský půdní fond (ZPF) (Šarapatka, 2014).

Vodní eroze je ovlivněna zejména těmito faktory: klimatickými, hydrologickými, morfologickými, geologickými a půdními, vegetačními a způsoby obhospodařování půdy. S vodní erozí se můžeme setkat napříč celou Českou republikou, nejvíce však na jižní Moravě. Mezi další oblasti patří například Jablonecko, Zlínsko či Liberecko (Hauptman a kol., 2009).

Vodní eroze má za následek škody v místě i mimo místo vzniku. Mezi škody způsobené v místě vzniku vodní eroze patří například ztráta organické hmoty, degradace půdní struktury, snížená infiltrace vody, zvýšení podílu hrubé půdní frakce či odhalení kořenů rostlin. Mezi škody způsobené mimo místo vzniku vodní eroze patří zejména znečištění vody, eutrofizace vody (zvýšený obsah fosforu P a dusíku N, které mají za následek přemnožení řas a sinic), zvýšená sedimentace a zanesení infrastruktury či odvodňovacích sítí a změna tvaru vodních toků.

Větrná eroze

Větrná eroze je druhou nejčastější formou eroze vyskytující se v České republice. Rychlost větru je přímo úměrná způsobeným ztrátám na povrchu půdy. Dle oficiálních odhadů VÚMOP, v.v.i. se v České republice vyskytuje cca 10,4 % půd narušených větrnou erozí (Šarapatka, 2014). Větrnou erozí je ohrožena půda zejména v okresech Hodonín, Břeclav a Znojmo (Hauptman a kol., 2009).

Větrná eroze se zvyšuje při úbytku organické hmoty v půdě a při vysychání půdy, obdobně jako vodní eroze snižuje podíl jemné půdy frakce a rozrušuje půdní strukturu, což má u zemědělské půdy za následek nižší výnos.

3.4.2 Zhutnění půdy (pedokompakce)

Pedokompakce neboli zhutnění půdy je způsob degradace půdy, při níž dochází ke snížení pórovitosti, zvýšení objemové hmotnosti půdy a snížení infiltračních schopností půdy.

Odhady uvádí, že v Evropě je zhutněním půdy ovlivněno přes 30 milionů hektarů půdy, přičemž v České republice je to zhruba 50 % zemědělské půdy (Šarapatka, 2014).

Ke zhutnění půdy může dojít různými způsoby. Na zemědělských půdách je zhutnění půdy způsobováno především pojezdem těžké agromechanizace. Pedokompakci nejvíce podléhají půdy jílovité, zamokřené nebo kyselé, dále také půdy s nízkým obsahem humusu. Dle Šarapatky (2014) lze zhutnění půd omezit například správnou strukturou plodin v osevním postupu, optimálním organickým hnojením a vápněním či vhodnou agrotechnikou při optimálních vlhkostních poměrech.

3.4.3 Ztráta organické hmoty v půdě

Půdní organická hmota zajišťuje zdroj a zásobárnu energie, vody a živin. Její ztráta v půdě přispívá k vysychání a neúrodnosti zemědělských půd. Absence organické hmoty způsobuje, že půda je bez živin, tj. humusu, vody a je velmi náchylná k ostatním degradačním procesům, které se na půdě vyskytují (například eroze). Ke ztrátě humusu v půdě dochází především odnosem biomasy, která by se v přirozeném systému do půdy vracela a docházelo by k jejímu rozkladu. V takovém případě by k žádným ztrátám organické hmoty nedocházelo a půda by měla dostatek všech prvků, edafonu a vláhy.

Dle Kutílka (1978) intenzivní zemědělská činnost porušuje malý koloběh minerálních látek v ekosystému. Nadzemní části rostlin se vrací do půdy v minimálním množství, a tím

může docházet ke snižování obsahu organické hmoty v půdě. Změny kultur zemědělské i nezemědělské půdy a činností člověka v krajině dochází ke změnám půdního klimatu a mikroklimatu. Kvůli intenzifikaci zemědělství a pěstování na vlhkost náročnějších plodin dochází také v mnoha místech k vysoušení půdy.

Intenzivní hospodaření orebným způsobem na zemědělské půdě snižuje obsah organické hmoty v půdě. Mezi principy předcházení ztrát organické hmoty v půdě patří zejména dostatečný přísun organické hmoty do půdy (vpravení posklizňových zbytků do půdy, hnojení statkovými hnojivy – například kejdou, hnojem, močůvkou), zpracování půdy vhodnými metodami, tj. bezorebné hospodaření na zemědělské půdě nebo vhodné osevní postupy. Podrobněji je tato problematika popsána u půdoochranných opatření používaných na zemědělské půdě, viz níže.

3.4.4 Acidifikace

Acidifikace neboli okyselování půd je důsledkem přírodní činnosti (illimerizace, podzolizace) i antropogenní činnosti (průmyslové emise), kdy dochází ke snížení pH, které je doprovázeno poklesem obsahu uhličitánů a neutralizační kapacity půdy, zvětráváním primárních křemičitanů a vyplavením výměnných bazických kationtů.

Vlivem antropogenní činnosti se kyselé látky na půdu dostanou formou tzv. kyselých dešťů, které na území České republiky způsobovaly ve 20. století škody převážně v Krušných horách, Jizerských horách a Krkonoších. Na zemědělských půdách lze důsledky acidifikace snížit vápněním půdy, pravidelným střídáním plodin, omezením monokultur a zařazováním víceletých pícnin do osevních postupů. Acidifikace v České republice poškozuje více lesní než zemědělské půdy a nepředstavuje pro ně takové ohrožení jako například eroze.

3.4.5 Salinizace

Zasolení půd neboli salinizace je degradační proces, který způsobuje vyšší obsah solí vyskytujících se v půdě. Jedná se především o soli obsahující draselné, vápenaté, síranové, hořečnaté, chloridové, uhličitánové a sodné ionty.

Salinizací na světě trpí cca 25 % všech půd, u nás se vyskytuje například v oblasti jižní Moravy (Šarapatka, 2014). Ačkoli se u nás salinizace také objevuje, nepředstavuje významnou degradaci na velkém množství orné půdy.

Salinizaci rozlišujeme jako primární a sekundární. Primární salinizace se projevuje ve shromažďování solí přírodními procesy vzhledem k vysokému množství solí v mateční

hornině. Sekundární salinizace je způsobena antropogenní činností, jako jsou například nevhodné zavlažovací postupy (závlahová voda bohatá na soli) či nedostatečné odvodňování, v důsledku čehož po evaporaci sůl zůstává na povrchu půdy. Zasolováním půd se zvyšuje nepropustnost hlubokých vrstev půd a v důsledku nelze využívat danou půdu k zemědělským účelům a jakékoli produkci.

3.4.6 Sodifikace

Sodifikace je degradační proces úzce spjatý se salinizací. Nadměrné množství sodíku rozrušuje a devastuje strukturu půdy. Půda pak v důsledku nedostatku kyslíku ztrácí schopnost podporovat růst rostlin a život edafonu. Z hlediska jiných degradačních procesů u nás sodifikace nepředstavuje primární ohrožení orné půdy.

U sodifikace, salinizace a acidifikace je nutné zmínit, že přítomnost některých solí, respektive iontů po jejich rozpuštění v půdním roztoku, ovlivňuje utváření a stabilitu půdní struktury, viz tabulka č. 5. U silně alkalických půd s pH vyšším než 8,5 (proces salinizace) dochází k nashromáždění jednomocných iontů v půdě (například sodíku), v důsledku čehož dochází k procesu peptizace – v půdě se nevytváří stabilní agregáty, tím pádem je půdní struktura ve velmi špatném stavu.

Při slabě alkalické až neutrální půdní reakci dochází k nahromadění dvoumocných iontů (zejména vápníku a hořčíku) a dochází ke koagulaci (vysrážení) a vzniku stabilních půdních agregátů a dobré půdní struktury. U slabě kyselých až kyselých půd dochází, obdobně jako u silně alkalických půd, k nahromadění jednomocných iontů (především draslíku a vodíku) a dochází opět k peptizaci. Silně kyselá reakce s pH nižším než 5 má za následek vyšší množství vícemocných iontů hliníku a železa. V důsledku koagulace vzniká dobrá struktura.

| Reakce | pH | Hlavní kationty | Chování koloidů | Struktura | Půdotvorný proces |
|------------------------------|------------|---------------------------------------|-----------------|-----------|-------------------|
| Silně alkalická | $\geq 8,5$ | Na^+ | peptizace | špatná | soloncování |
| Slabě alkalická až neutrální | 6,5 – 8,5 | Ca^{2+} , Mg^{2+} | koagulace | dobrá | |
| Slabě kyselá až kyselá | 5,0 – 6,5 | K^+ , H^+ | peptizace | špatná | illimerizace |
| Silně kyselá | $\leq 5,0$ | Al^{3+} , (Fe^{3+}) | koagulace | dobrá | podzolizace |

Tab. č. 5: Vztah půdní reakce, půdní struktury a pH (Pavlů, 2018)

3.5 Obhospodařování půdy

Obhospodařování nezemědělské, ale především zemědělské půdy bylo, je a bude základním kamenem rostlinné produkce. Zpracování půdy v minulosti přispělo především ke zvýšení intenzity zemědělské činnosti a prohlubování ornice ke zvýšení výnosů. Neméně důležitý faktor je také šlechtění plodin či vylepšená multifunkční agrotechnika (setí, hnojení, postřiky). Za poslední dekády se výnos plodin zvýšil minimálně o 75 % oproti výnosům, které byly běžné v 1. polovině 20. století.

Ekonomický tlak na zemědělce je v dnešní době neúprosný a vzrůstají požadavky na výnos. Pokles kvality práce a kvalita plodin by neměly být ovlivněné nárůstem výkonnosti na zemědělské půdě (Beneš, 2006).

Nevhodné či naprosto chybné obhospodařování a zpracování půdy může například snížit efektivitu hnojení. Mezi další nepříznivé efekty patří zejména zhoršené podmínky pro zakládání vyrovnaných porostů určitých plodin, snížená úrodnost půdy a tím i nižší výnos půdy, ztráta biodiverzity či disturbance životního prostředí. Za snižováním produkčních schopností půdy stojí vodní a větrná eroze. Odolnost půdy vůči erozi je ovlivněna především zvolením vhodných postupů při obhospodařování půdy (Hůla a kol., 1997).

Jak jsem již zmínil výše, nevhodné zpracování půdy může vést ke vzniku degradačních procesů, tj. zejména eroze, a může dojít k úplné degradaci půdy – desertifikaci (ztráta organické hmoty, ztráta živin a vody, absence edafonu).

3.6 Půdochranná opatření používaná na zemědělské půdě

Půdochrannými opatřeními na zemědělské půdě lze označit veškeré zásahy prováděné na zemědělské půdě, které zlepšují půdní vlastnosti a produkční potenciál půdy. Jak jsem již zmínil v této práci, degradace půdy je velmi obecný pojem, který může pro půdu představovat vysoké, nízké či zanedbatelné ohrožení.

Na území České republiky je nejčastější degradací eroze, a to zejména vodní a větrná, dále také zhutnění půdy a ztráta organické hmoty v půdě. Neznamená to však, že jiné druhy eroze se u nás nevyskytují, ale výše zmíněné 2 druhy eroze společně s dalšími již zmíněnými degradacemi jsou v České republice nejčastější a jsou v úzké spojitosti. Půdochranná opatření zabraňující nebo snižující vodní erozi napomáhají snížení úbytku organické hmoty v půdě. Nejedná se tedy o opatření zabraňující nebo limitující pouze 1 druh degradace.

Protierozními opatřeními, kterými se budu zabývat, lze pozitivně ovlivnit i další degradační procesy v půdě. Další typy degradace nacházející se na našem území, mezi které patří acidifikace, salinizace a sodifikace (případně desertifikace a kontaminace) nejsou rozšířeny na zemědělské půdě natolik, aby bylo potřeba je dále zkoumat a navrhopat konkrétní opatření, vlivem kterých by došlo k nápravě půdních vlastností a funkcí. Eutrofizace je celosvětový degradační proces, který narušuje chemické složení povrchových vod. Jelikož mám popsat půdoochranná opatření užívaná na zemědělské půdě, taktéž se tímto druhem degradace nadále nebudu zabývat.

3.7 Protierozní opatření

Funkcí protierozních opatření na zemědělské půdě je především ochránit půdní stabilitu a strukturu před vnějšími faktory. Komplexnost je základním požadavkem, který protierozní opatření musí bezpodmínečně splňovat (Holý, 1994). Dumbrovský (2004) uvádí, že v současné době je potřeba brát návrh protierozních opatření vážně a zodpovědně. Návrhy pozemkových úprav by měly zahrnovat optimální prostorové vymezení protierozních řešení, pozemních komunikací a územní systémy ekologické stability.

Dle Bartoškové a Vlasáka (2007) se protierozní opatření nejvíce prolínají s opatřeními vodohospodářského charakteru. Protierozní ochrana půdy dále ovlivňuje zejména ekologickou stabilitu, retenční schopnost území, protipovodňová opatření na konkrétním území a životní prostředí.

Protierozní opatření dle Novotného a kol. (2017) lze rozčlenit do 3 základních skupin, a to na organizační, agrotechnické a technické povahy.

3.7.1 Organizační opatření

Organizační protierozní opatření jsou navrhována na orné půdě společně s agrotechnickými a technickými opatřeními, dohromady vytváří komplexní řešení eroze na zemědělské půdě. Mezi nejčastější organizační opatření patří situovanost pozemku delší stranou ve směru vrstevnic, zvolení optimálního tvaru a velikosti pozemku a delimitace kultur (Janeček a kol., 2012).

Novotný a kol. (2017) se v příručce Ministerstva zemědělství zmiňuje, že v praxi je organizační protierozní opatření vhodné implementovat do komplexních pozemkových úprav.

Tvar a velikost pozemku

Janeček a kol. (2012) tvrdí, že vhodná velikost daného pozemku je závislá na více faktorech. V konkrétních případech bývá výsledkem kompromis dvou navzájem protichůdně působících skupin faktorů, tj. přírodních faktorů a ekonomického faktoru. Přírodní faktory mají za cíl vytvářet půdní celky menší výměry, naopak ekonomický faktor upřednostňuje relativně velké pozemky kvůli zisku.

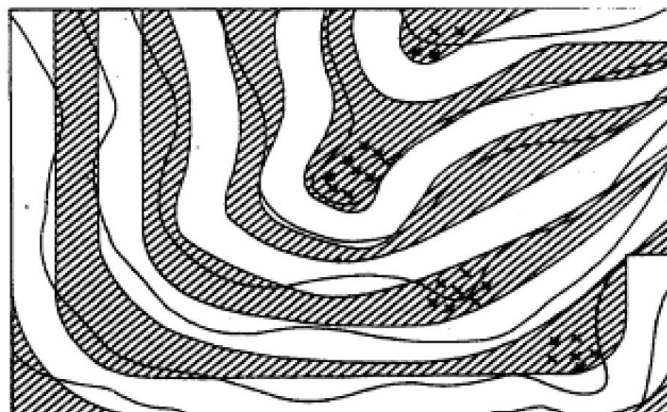
Je žádoucí, aby rozměr pozemků orné půdy ve směru sklonu nepřevyšoval přípustnou délku stanovenou na základě vypočtené přípustné ztráty půdy erozí. Nový návrh uspořádání jednotlivých pozemků musí respektovat i další jevy, které se mohou objevit. Jedná se například o stejnorodost půdních vlastností. Taktéž se v novém projektu musí co možná nejvíce propojit protierozní, vodohospodářské, vegetační a dopravní linie. V rámci těchto linií je možné vytvářet pozemky, které budou konkrétním tvarem a velikostí vyhovovat vlastníkům těchto pozemků a zároveň se zohlední i zásady zaručující efektivní využívání agrotechniky (Janeček a kol., 2012).

Obecně lze v rovinných oblastech doporučit půdní bloky o maximální velikosti 50 ha, ve členitějším území maximálně 20 ha (Janeček a kol., 2012).

Pásové pěstování plodin

Principem pásového střídání plodin jsou střídající se pásy plodin chránící půdu (travní porost, jetel, vojtěška, řepka ozimá) s plodinami s nízkým protierozním potenciálem (širokořádkové plodiny a okopaniny, viz Protierozní rozmístování plodin), viz obrázek č. 3. Šířka jednotlivých pásů plodin je závislá na sklonu a délce svahu, propustnosti půdy, náchylnosti k erozi a šířce záběru zemědělských strojů (Janeček a kol., 2012).

Doporučují se pásy o šířce 20 – 40 m, přičemž záleží především na sklonu pozemku. Kvantita pásů závisí na délce svahu. Vrstevnicové pásy plodin se uspořádávají tak, že pásy plodin s nízkým protierozním potenciálem jsou stejně široké a mezi ně jsou vkládány nestejně široké pásy plodin chránících půdu (např. travní porosty či jeteloviny), viz obrázek č. 2 (Janeček a kol., 2012).



Chráněné plodinové pásy (kukuřice apod.)
 Ochranné pásy (zatravnění nebo ozimá obilnina)

Obr. č. 2: Schéma vrstevnicového pásového střídání plodin (Janeček a kol., 2012)



Obr. č. 3: Pásové střídání plodin (Novotný a kol., 2017)

Ochranné zatravnění či zalesnění

Janeček a kol. (2012) se v publikaci „*Ochrana zemědělské půdy před erozí*“ zmiňuje, že ochranné zatravnění lze použít na pozemcích, které nelze využít jako ornou půdu. Travní porost, který je správně situován, je jedním z nejúčinnějších opatření protierozní ochrany. Nejefektivnější vegetační kryt představují trávy výběžkaté tvořící pevný drn.

Ochranné zalesnění je nejčastěji uplatňováno formou lesních pásů či plošného zalesnění. Monokultury nejsou vhodné, optimální je využít les smíšený s bohatým bylinným patrem a hrabankou. Takový les má velmi vysokou protierozní funkci. Ochranné zalesnění či zatravnění je převážně využíváno v boji s vodní erozí.

Delimitace kultur (změna druhu pozemku)

Delimitace druhů pozemků je prostorová a funkční optimalizace využití konkrétních pozemků, které slouží k pěstování jednotlivých kultur. V rámci zemědělského půdního fondu (ZPF) rozlišujeme kultury: orná půda, zahrada, louka, pastvina, vinice, sad a chmelnice (Janeček a kol., 2012). Delimitace kultur se využívá proti vodní i větrné erozi.

Protierozní rozmíst'ování plodin

K obecným zásadám ochrany půdy patří protierozní rozmístění plodin. V tradičním pěstování plodin na orné půdě je možné dle protierozní odolnosti seřadit plodiny od nejvyšší po nejnižší v tomto pořadí: travní porosty – jetel – vojtěška – obilnina ozimá – obilnina jarní – řepka ozimá – okopaniny. Zemědělské půdy, na kterých jsou pěstovány slunečnice, brambory, řepa cukrová, kukuřice a ostatní širokořádkové plodiny a okopaniny, jsou nejnáchylnější na vodní i větrnou erozi. U zakládání sadů a vinic je nejdůležitější dodržet směr výsadby podél vrstevnic (Janeček a kol., 2012).

3.7.2 Agrotechnická opatření

Protierozní opatření agrotechnického charakteru jsou založena na maximálním zkrácení časového úseku, kdy půda nemá vegetační kryt, který by ji chránil před povětrnostními podmínkami. Jako tato opatření lze využívat posklizňové zbytky a biomasu meziplodin. Z hlediska vodní eroze je nejrizikovější období měsíců červen až srpen, kdy jsou nejčastější přívalové deště, ale rizikovým obdobím je také tání sněhu.

Zvláště aktuální je využití protierozní ochrany při pěstování kukuřice, jelikož je vysévána na velké výměře orné půdy a patří mezi plodiny, které vykazují nedostatečnou pokrývnost povrchu půdy. Mezi další plodiny s podobnou charakteristikou jako kukuřice patří slunečnice, brambory a cukrová řepa (Janeček a kol., 2012).

Agrotechnická protierozní opatření zvyšují infiltrační schopnost půdy, snižují erozi a chrání povrch půdy zejména v období přívalových dešťů. U plodin jako je například kukuřice, brambory, slunečnice nebo čirok se vyskytuje nedostatečné krytí půdního povrchu. Místa, na nichž se nachází výše zmíněné plodiny, jsou vystavena zvýšené náchylnosti k erozi (Novotný a kol., 2017).

Hůla a kol. (2003) konstatuje, že technologie ochranného zpracování půdy jsou považovány za velmi účinná opatření zabraňující erozi. Princip výše zmíněných technologií je například mělké kypření půdy namísto klasické orby či hlubší prokypření ornice.

Vrstevnicové obdělávání půdy

Jak uvádí Novotný a kol. (2017), vrstevnicovým obděláváním půdy lze významně přispět k ochraně půdního krytu před účinky eroze. Jedná se o orbu pomocí otočných pluhů po vrstevnicích nebo s odklonem max. 30° od vrstevnic. Překlápění půdy je také efektivní způsob, kterým lze výrazně omezit tzv. erozi orbou, která je u nás doposud velmi podceňována. Vrstevnicové obhospodařování půdy je také vhodné pro setí/sázení plodin, viz obrázek č. 4.



Obr. č. 4: Ukázka vrstevnicového obdělávání orné půdy (Novotný a kol., 2017)

Ochranné obdělávání půdy

Metoda ochranného obdělávání zemědělské půdy spočívá především v uchování co možná největšího množství posklizňových zbytků po předplodinách na povrchu půdy, tak se vytvoří přirozený mulč a nedochází tak k narušování půdního krytu, viz obrázek č. 5. Je důležité, aby se půdní profil mohl přirozeně vyvíjet, nedocházelo k nadměrné aeraci, akceleraci mineralizace a ztrát organické hmoty. Záleží na druhu, výšce a rozmístění mulče.

Do ochranného obhospodařování půdy lze zařadit bezorebné setí, kdy je hlavní plodina seta bezorebným secím strojem s kotoučovými botkami přímo do nezpracované půdy po předplodině, viz obrázek č. 6. Také sem patří setí či sázení do mulčovacího materiálu meziplodiny/předplodiny, viz. obrázek č. 5, setí do mělké podmítky (radličkový nebo diskový podmítač) a setí hlavní plodiny s podplodinou v meziřadí (Novotný a kol., 2017), viz obrázek č. 7. V rámci ochranného zemědělství se také využívá ochranného zatravnění v meziřadí plodin.



Obr. č. 5: Ukázka mulče z posklizňových zbytků kukuřice (Novotný a kol., 2017)



Obr. č. 6: Porost kukuřice seté do přemrznuté hořčice bílé (Novotný a kol., 2017)



Obr. č. 7: Kukuřice setá současně s ochrannou podplodinou (ozimé žito), (Novotný a kol. 2017)

Hrázkování a důlkování

Novotný a kol. (2017) říká, že hrázkování je zejména použitelné při pěstování brambor. Založí se ochranné hrázky v meziřadí hrůbků a hrázkovačem se založí v obdobné vzdálenosti hrázky mezi hrůbků, čímž vznikne řada příkopů, viz obrázek č. 8. Příkopy podporují retenci

vody na daném pozemku a zabraňují vzniku nadměrného povrchového odtoku. Nutností je, aby řádky byly vedeny při vrstevnicích, a délka pozemku po svahu musí být max. 300 metrů.



Obr. č. 8: Hrázkovač brambor (Novotný a kol., 2017)

Obdobně jako hrázkování je i metoda důlkování převážně používána u brambor. Důlkování je založeno na vytváření důlků, které mají vzdálenost v meziřadí 30 – 40 cm. Stejně jako hrádky i důlky snižují povrchový odtok vody a zvyšují vsak vody do půdy. Bere se přitom v potaz, že na 1 ha půdy lze vytvořit 28 000 důlků, každý o objemu 2 l. To představuje zhruba 56 m³ vody, která se udrží na 1 hektaru. Opět platí, že délka pozemku po svahu nesmí překročit 300 metrů (Novotný a kol., 2017).

Plečkování, dlátování a podrývání

Plečkování se provádí u širokořádkových plodin, mezi které patří kukuřice, řepa cukrová, slunečnice nebo brambory. Jedná se o meziřádkovou činnost. Výhodou plečkování je i fakt, že odpleveluje mechanickou cestou. Díky tomu nemusíme využívat na orné půdě takové množství herbicidů. Zároveň působí proti vodní erozi, jelikož nakypřená půda v meziřadí omezuje povrchový odtok, který by s sebou odnesl půdní živiny (Novotný a kol., 2017).

Hlubkové kypření neboli dlátování se využívá především u řepy cukrové, kdy dláta kultivují meziřadí rostlin. Dochází tak k intenzivnější infiltraci vody na povrchu než u metody plečkování (Novotný a kol., 2017).

Podrýváním se rozumí omezování vodní eroze, přičemž dochází ke snížení pedokompakce. Jedná se de facto o kypření půdy do hloubky min. 35 cm. Hloubka podrývání by měla dosáhnout min. o 5 – 10 cm větší hloubky než tradiční orba (Novotný a kol., 2017).

3.7.3 Technická opatření

Dalším typem protierozních opatření jsou opatření technická. Jedná se o celou škálu úprav v rámci povodí nebo širších krajinných celků, jejichž hlavním cílem je omezení rychlosti povrchového odtoku vody, a tedy eroze půdy. Samotná opatření technického charakteru však neovlivňují kvalitu půdy či půdní strukturu přímo na pozemcích, proto budou opatření technického charakteru popsána v následujících odstavcích formou stručného přehledu.

Janeček a kol. (2012) uvádí, že mezi technická opatření patří například protierozní příkopy, které mohou být sběrné, záchytné či svodné, a které slouží především pro zachycení a odvedení povrchové vody z krajiny. Také se navrhuje protierozní průlehy, které jsou svou funkcí blízké protierozním příkopům. Průlehy dělíme na sběrné, záchytné a svodné.

Dalším typem protierozních opatření jsou protierozní hrázky, které jsou budovány ve směru vrstevnic nebo na úpatí svahů zemědělských pozemků. Jejich funkcí je ochrana stavebních objektů před zatopením a nánosem zeminy či jiných sedimentů. Zatravněná údolnice se stabilizovanou dráhou soustředěného odtoku je typ protierozního opatření, kdy údolnice jsou dráhy odtoku, kde dochází k akumulaci odtékající povrchové vody. Údolnice se nejčastěji zatravnějí a soustředí odtok povrchové vody, anebo mohou být recipientem protierozních průleहů či příkopů (Janeček a kol., 2012).

Protierozní nádrže plní zejména funkci akumuláční, retenční, sedimentační a infiltrační. Jsou součástí protipovodňové i protierozní ochrany zemědělské půdy v rámci soustavy ostatních technických opatření. Protierozní polní cesty jsou typem opatření, kdy je pozemní komunikace cíleně vedena po vrstevnicích především v místech, kde je potřeba přerušit erozí ohrožený svah (Janeček a kol., 2012).

Protierozní terasy jsou vhodný způsob využití pozemků, které mají velký sklon a členitost, a nebylo by možné je jinak efektivně využívat. Jsou členěny tzv. terénními stupni. Terasový stupeň musí mít max. výšku 8 m, optimální výška se doporučuje 6 m. Protierozní meze je nutné doplnit o protierozní průlehy. Dle sklonu svahu 2 – 5 % by navrhovaná mez měla mít max. výšku 1 – 1,5 m. Větrolamy jsou používány proti větrné erozi, kdy jsou vytvořeny úzké pásy lesních porostů, které snižují rychlost větru a slouží tak jako bariéra proti negativním vlivům větrné eroze. Rozeznáváme 3 druhy větrolamů: propustný, polopropustný a nepropustný (Janeček a kol., 2012).

4. Experimentální část – metodika

4.1 Místo pokusu

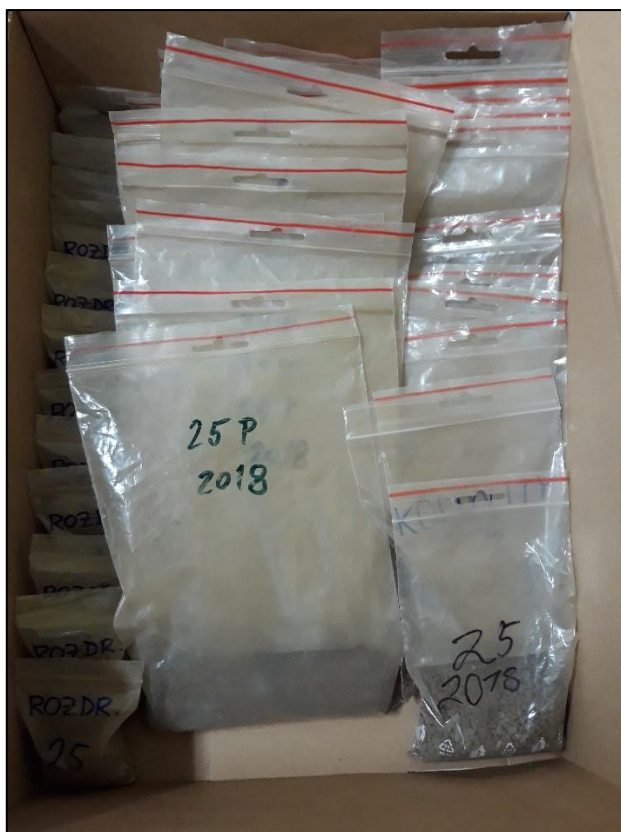
Vzorky byly odebrány v demonstrační a výzkumné stanici v Praze Troji, ulice Pod Hrachovkou 814/17, Praha 7. Nadmořská výška výzkumné stanice je 196 m n. m. a leží na mírném svahu se západní expozicí. Pedologický průzkum provedený VÚMOP, v.v.i. určil, že na pozemku výzkumné stanice se nachází půdní typ fluvizem modální. Ve svrchní vrstvě půdy (přibližně 0 – 34 cm) bylo zjištěno, že půda je obohacena hluboko zapravenými organickými látkami. Hodnota pH na území stanice byla mezi hodnotami 6,6 až 6,9, což udává neutrální půdní reakci. Obsah humusu a sorpční kapacita je střední, poměr C:N se pohybuje okolo 10, na základě čehož lze usuzovat na dobrou zásobu dusíku v půdním profilu. Obsah vápníku (Ca), hořčíku (Mg), fosforu (P) a draslíku (K) je vysoký. Dle množství jednotlivých zrnitostních frakcí byl stanoven půdní druh písčité hlína. Půda na území stanice má dobrou retenční vodní kapacitu (Novák, 2008).

4.2 Založení pokusu

Zakládání pokusu probíhalo 20. – 22. 4. 2015, kdy bylo na pozemku vytvořeno 27 parcelek o výměře 4,5 m². Na parcelkách bylo použito 8 variant mulčů po 3 opakováních. Druhy mulčů byly následující: kůra (BRK), dřevní štěpka (WCH), pšeničná sláma (STR), lepenka (CBD), textilie Agrotex EKO+ (ATE), rohož Ekocover (EKC), polypropylenová netkaná textilie krytá vrstvou kůry (NFB) a štěrk (CRS). Tři parcelky (kontrolní) zůstaly bez mulče (NMU) (Pavlů a kol., 2021).

4.3 Odběr vzorků

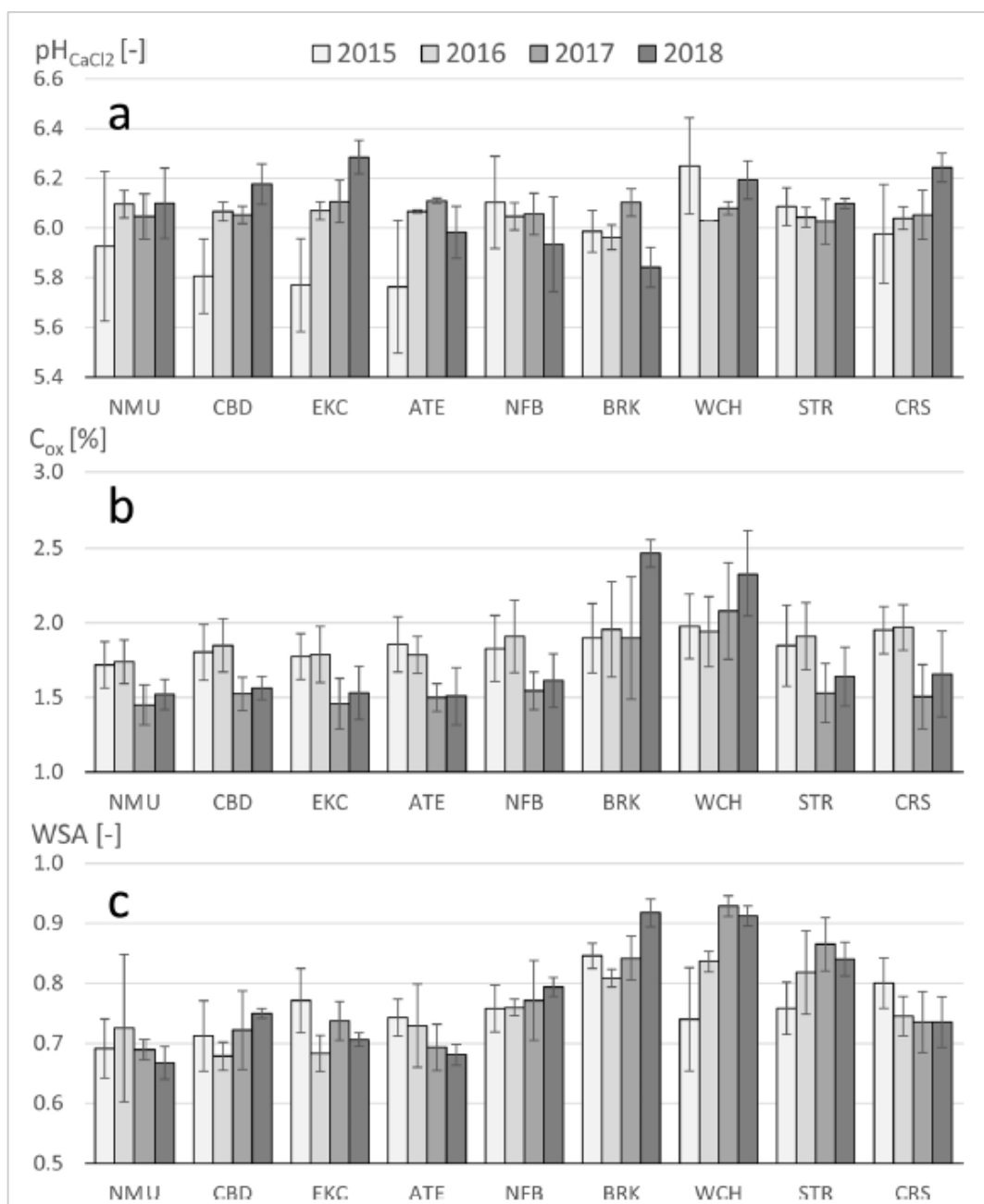
První odběr byl proveden 20. 4. 2015 před započítáním pokusu pro zjištění počátečních půdních parametrů. Vzorky byly odebrány na 5 místech z povrchu a v hloubce 20 – 30 cm. Další odběry byly prováděny po dobu 4 let vždy v říjnu po skončení vegetační sezóny a ostříhání trvalek, a to pomocí sondovací tyče vždy ze 4 míst na každé parcelce z hloubky 0 – 10 cm a 20 – 30 cm. Všechny odebrané vzorky byly vysušeny a přesáty na sítěch o velikosti ok 0,5, 0,2 a 0,05 cm. Na obrázku č. 9 lze vidět vzorky agregátů i celkové půdy.



Obr. č. 9: Fotografie experimentálních vzorků (autor, 2022)

4.4 Pokus s druhy mulče na trvalkových záhonech v letech 2015 – 2018

Cílem pokusu, na který tato bakalářská práce navazuje, bylo zjistit vliv jednotlivých mulčovacích materiálů na půdní vlastnosti. Prokázalo se, že některé mulčovací materiály mají významný efekt pro zvýšení stability půdní struktury, což souvisí s přísunem organického materiálu z rozkládajících se organických mulčů. Výsledky z experimentu jsou zaznamenány na obrázku č. 10.



Obr. č. 10: Půdní vlastnosti (pH půdy, množství uhlíku a stabilita agregátů WSA v hloubce 0 – 10 cm) mulčovaných trvalkových záhonů v letech 2015 – 2018 (Pavlů a kol., 2021)

Pozn.: NMU – kontrola bez mulče, CBD – lepenka, EKC - rohož Ekocover, ATE – textilie Agrotex EKO+, NFB – polypropylenová netkaná textilie krytá vrstvou kůry, BRK – kůra, WCH – dřevní štěpka, STR – pšeničná sláma, CRS – štěrk.

Na základě těchto výsledků byly vybrány vzorky půd a vyseparovaných agregátů (velikost částic 2 – 5 mm) z roku 2018. Byly zvoleny vzorky z kontrolních záhonů, kde byla stabilita agregátů nejnižší a vzorky ze záhonů s organickými mulči (slámou, štěpkou, a kůrou), kde byla zjištěna nejvyšší stabilita agregátů. Na vzorcích byly prováděny veškeré dále popsané experimenty. Pro tyto potřeby byla část vzorků agregátů rozdrčena v třecí misce, aby bylo možné provádět příslušné analýzy.

4.5 Metodika laboratorních pokusů

4.5.1 Stanovení stability půdních agregátů

Stabilita půdních agregátů byla stanovena metodou mokrého přesévání WSA – Water stable aggregates (Nimmo a Perkins, 2002). Měření bylo prováděno pomocí přístroje Wet sieving apparatus (firma Eijkelkamp), viz obrázek č. 11. Bylo naváženo 0,4 g vzorku agregátů (agregáty 2 – 5 mm dříve síťováním extrahované z půdního vzorku). Agregáty byly promývány po dobu 3 min. s frekvencí 35 cyklů/min. a vertikální amplitudou 1,3 cm v destilované vodě přes síta o průměru ok 0,25 mm. Poté byly misky s rozplavenými agregáty vyjmuty a umístěny do sušárny při teplotě 105 °C po dobu 6 hodin, viz obrázek č. 12. Po uplynutí zmiňovaných 6 hodin a odpaření veškeré vody, byly misky se vzorky vyjmuty ze sušárny a zváženy (W_{dw}). Vodou nerozplavené agregáty byly promývány a dispergovány do úplného rozpuštění stabilnějších jílových částic agregátů v roztoku hexametafosforečnanu sodného. Následně byly v miskách opět umístěny do sušárny a po vysušení zváženy (W_{ds}).

WSA lze vypočítat dle vzorce:

$$WSA = \frac{W_{ds}}{W_{dw} + W_{ds}} \times 100 [\%]$$

kde W_{ds} = hmotnost stabilních agregátů [g]

W_{dw} = hmotnost nestabilních vodorozpustných agregátů [g]



Obr. č. 11: Wet sieving apparatus (autor, 2022)



Obr. č. 12: Sušárna se vzorky půdních agregátů (autor, 2022)

4.5.2 Stanovení množství organického uhlíku

Principem stanovování množství humusu je oxidace organického uhlíku (C_{ox}), který je zastoupen v půdních organických látkách. Použil jsem tzv. modifikovanou Tjurinovu metodu (Valla a kol., 2000). Po navážení 0,4 g vzorků do kádinky byla do kádinek vpravena chromsírová směs (10 ml). Kádinky byly překryty hodinovým sklem a poté umístěny na 45 min. do sušárny o teplotě 125 °C. Ze sušárny byly vyjmuty kádinky a stěny i hodinové sklo byly opláchnuty destilovanou vodou. Bylo potřeba také upravit objem směsi v kádince pomocí destilované vody, aby se míchadlo mohlo volně pohybovat pod elektrodami, které musely být ponořeny v celé výšce v kádince. Po zavedení elektrod se pustilo magnetické míchadlo na 350 – 500 otáček/min. Poté došlo k přímé titraci Mohrovou solí, viz obrázek č. 13. Průběh titrace byl sledován pomocí galvanometru. Konec titrace určuje vychýlení ručičky galvanometru. V průběhu titrace lze u vzorků pozorovat barevný přechod do modrozeleného zbarvení. Nakonec je potřeba na byretě odečíst spotřebu Mohrovy soli a výslednou spotřebu zaznamenat.

Výpočet množství organického uhlíku:

$$C_{\text{ox}} = \frac{(40 - S' \times f) \times 0,3}{N} \times 100 [\%]$$

kde f = faktor Mohrovy soli

S' = spotřeba Mohrovy soli při titraci vzorku [ml]

N = navážka vzorku [mg]

Dle Welteho přepočtového koeficientu (1,724; vychází z 58 % obsahu C v humusu) lze C_{ox} orientačně převést na % obsah humusu pomocí vzorce:

$$\% \text{ humusu} = C_{\text{ox}} \times 1,724$$

Hodnocení jednotlivých vzorků bylo provedeno na základě tabulky č. 6.

| C_{ox} [%] | Humus [%] | Hodnocení |
|---------------------|-----------|--------------|
| < 0,6 | < 1 | Velmi nízký |
| 0,6 – 1,1 | 1 – 2 | Nízký |
| 1,1 – 1,7 | 2 – 3 | Střední |
| 1,7 – 2,9 | 3 – 5 | Vysoký |
| > 2,9 | > 5 | Velmi vysoký |

Tab. č. 6: Hodnocení obsahu humusu dle Tjurina (Vopravil, 2009)

V tabulce č. 7 lze vidět jednotlivé třídy půd a zastoupení obsahu humusu.

| Půdy | Obsah humusu v půdách [hmotnostní %] | |
|-----------------|--------------------------------------|---------------------|
| | Lehkých | Středních a těžkých |
| Bezhumózní | 0 | 0 |
| Slabě humózní | < 1 | < 2 |
| Středně humózní | 1 – 2 | 2 – 5 |
| Silně humózní | > 2 | > 5 |

Tab. č. 7: Rozdělení půd dle obsahu humusu (Jandák a kol., 2010)



Obr. č. 13: Přímá titrace (stanovení množství C_{ox}) Mohrovou solí (autor, 2022)

4.5.3 Stanovení kvality humusových látek

Valla a kol. (2000) uvádí, že na základě absorbcí, zjištěných spektrofotometrickým proměřením alkalických roztoků humusových látek při vlnových délkách odpovídajících viditelnému záření, lze usuzovat na stupeň jejich polymerace, případně disperzity. Při tomto stanovení se využívá Lambert-Beerův zákon, který vyjadřuje vztah absorpční intenzity látky rozptýlené v neabsorbujícím prostředí k výchozí intenzitě monochromatického záření, tloušťce vrstvy a koncentraci.

Kvalita humusu byla stanovena spektrofotometricky pomocí barevného kvocientu $Q_{4/6}$. Do kyvet byly naváženy 2 g vzorků půdy nebo rozdrčených agregátů. Dále se do zkumavek v poměru 1:20 (40 ml) vpravil roztok 0,05 M pyrofosforečnanu sodného ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) a kyvety byly umístěny do třepačky po dobu 1 hodiny. Po uplynulé době se suspenze odstředila v centrifuze po dobu 5 min. při 4 000 otáčkách. Extrakt se přelil do menších zkumavek bez zátky. Výsledný roztok byl vyjmut injekční stříkačkou do měřicí kyvety a spektrofotometricky se proměřil na UV-VIS spektrofotometru (obrázek č. 14) při 5 vlnových délkách v oblasti viditelného spektra ($\lambda = 400, 450, 500, 550$ a 600 nm), přičemž nejdůležitější hodnoty absorbcí byly hodnoty při $\lambda = 400$ a 600 nm (A_{400} , respektive A_{600}). Jejich podíl udává hodnotu barevného kvocientu $Q_{4/6}$.

$$Q_{4/6} = \frac{A_{400}}{A_{600}}$$

kde $Q_{4/6}$ = barevný kvocient pro $\lambda = 400$ a 600 nm

A_{400} = absorbance při $\lambda = 400$

A_{600} = absorbance při $\lambda = 600$

Barevný kvocient je v opačném poměru ke stupni kondenzace a polymerace. To znamená, že čím nižší je kvocient, tím jsou humusové látky polymerovanější a mají vyšší kvalitu.



Obr. č. 14: UV-VIS spektrofotometr (autor, 2022)

4.5.4 Analýza vzorků FTIR spektrometrem

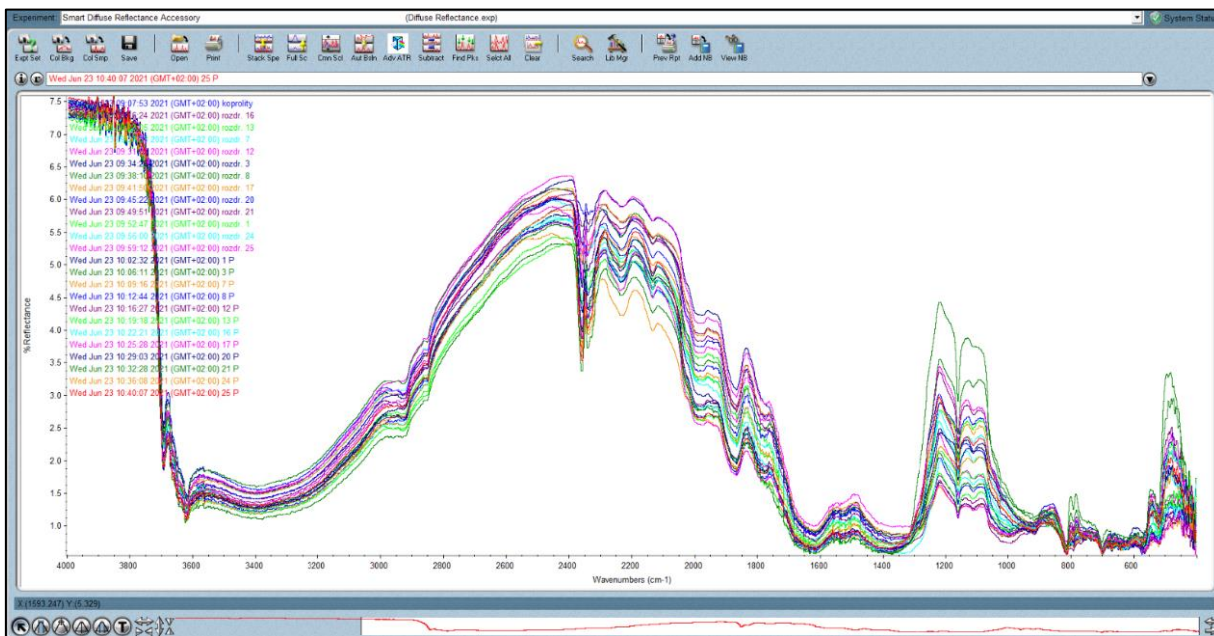
Při infračervené spektrometrii s Fourierovou transformací (FTIR), konkrétně při difúzní reflektanci (DRIFTS – Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectroscopy) se interferometricky získaný signál převede tzv. Fourierovou transformací na infračervené spektrum. Při analýze práškových vzorků se využije infračerveného záření, kdy je část záření absorbována, část záření je odražena a část rozptýlena. Difúzně reflektanční spektra jsou vyjádřena v lineárních jednotkách Kubelka-Munk, které odpovídají jednotkám absorbance ve spektru měřeného např. technikou KBr tablet. Spekulární a reflektanční složka záření je závislá na velikosti částic a distribuci velikosti částic. Fotografie DRIFTS spektrometru lze vidět na obrázku č. 16.

Pro měření se použily vysušené vzorky půdy namleté na analytickou jemnost. Nebylo potřeba žádné další úpravy či ředění KBr. Jako pozadí se využívá zlaté zrcátko. Pro jeden vzorek bylo použito celkem 64 měření (skenů) při vlnočtech $200 - 4\,000\text{ cm}^{-1}$ s rozlišením 4 cm^{-1} . Snímek netransformovaných IR spekter zkoumaných vzorků lze vidět na obrázku č. 15.

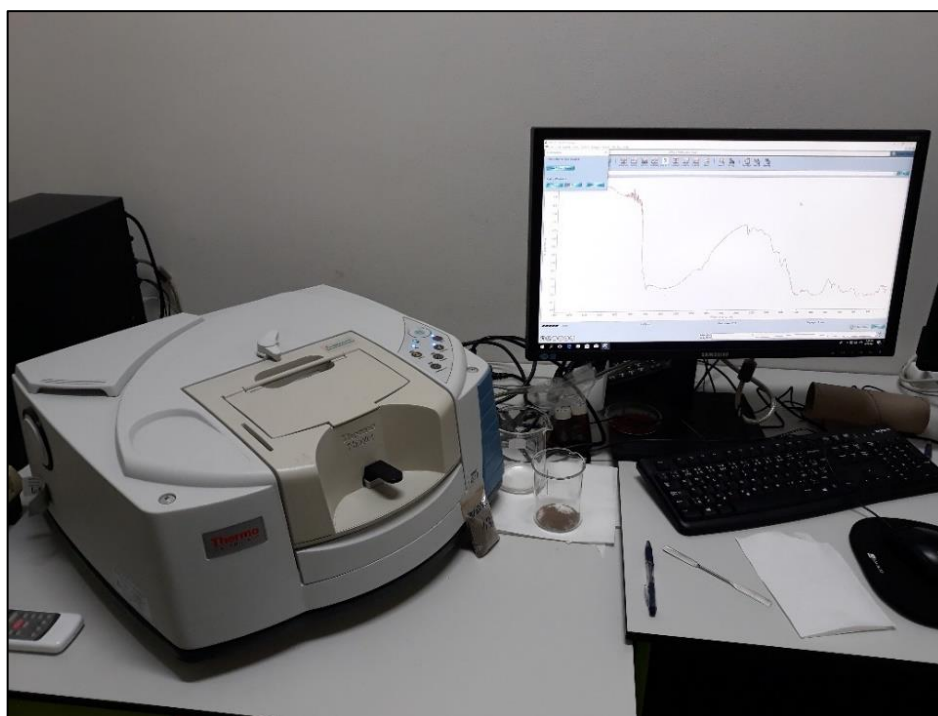
Z intenzit vybraných spektrálních pásů byly vypočteny indexy PWI (index potenciální smáčivosti) a i_{AR} (index aromaticity).

Index potenciální smáčivosti byl vypočten z intenzit spektrálních pásů při hodnotě $2\,930$ (hodnota A), $2\,850$ (hodnota B), $1\,714$ (hodnota C) a $1\,616$ (hodnota D) cm^{-1} . Ellerbrock a kol. (2005) uvádí, že výsledné hodnoty PWI bylo dosaženo vydělením součtu hodnot na ose x při $2\,930$, $2\,850$ a $1\,714$, $1\,616\text{ cm}^{-1}$, tj. $(\text{hodnota A} + \text{hodnota B}) / (\text{hodnota C} + \text{hodnota D})$.

Index aromaticity byl vypočten z intenzit spektrálních pásů při hodnotě $1\,520 - 1\,540\text{ cm}^{-1}$ a ze součtu intenzit pásů alifatických složek při hodnotě $2\,930$ a $2\,850\text{ cm}^{-1}$. Index aromaticity byl definován Cunhou a kol. (2009) a Mládkovou a kol. (2006) jako $i_{AR} = I_{AR} / (I_{AR} + I_{AL})$, kde I_{AR} je intenzita pásu $1\,520\text{ cm}^{-1}$ aromatických skupin a I_{AL} znamená součet intenzit pásů alifatických skupin $2\,930$ a $2\,850\text{ cm}^{-1}$.



Obr. č. 15: Snímek netransformovaných IR spekter zkoumaných vzorků (autor, 2022)



Obr. č. 16: Fotografie DRIFTS spektrometru (autor, 2022)

4.6 Zpracování výsledků

V bakalářské práci byly výsledky zpracovány za pomoci programu Microsoft Office Excel 2016, statistického programu STATISTICA 12 a programu pro zpracování IR spekter OMNIC 9.

5. Experimentální část – výsledky

Hodnoty veličiny WSA jsem měl k dispozici z roku 2018 z předešlého výzkumu. Tyto vzorky jsem znovu přeměřil, abych zjistil, zda se skladováním vzorků nezměnila stabilita agregátů.

| Mulč | WSA 2018 [-] | SD [-] | CV [%] | WSA 2021 [-] | SD [-] | CV [%] |
|------|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|
| O | 0,668 B | 0,027 | 4,1 | 0,719 C | 0,046 | 6,4 |
| KR | 0,917 A | 0,023 | 2,5 | 0,921 B | 0,021 | 2,3 |
| ST | 0,912 A | 0,017 | 1,8 | 0,937 AB | 0,030 | 3,2 |
| SL | 0,841 A | 0,028 | 3,3 | 0,840 A | 0,048 | 5,7 |

Tab. č. 8: Výsledky WSA u agregátů z roku 2018 a 2021 (data o WSA z roku 2018 od Pavlů a kol. 2021; data o WSA z roku 2021, autor, 2022)

Pozn.: hodnoty A, AB, B a C znázorňují rozdíly variant půd pod konkrétním druhem mulče u agregátů a půdy (hodnota AB se statisticky výrazně neliší od hodnot A a B, hodnota A, B a C se navzájem statisticky výrazně liší), uvedené hodnoty u jednotlivých mulčů jsou aritmetickým průměrem ze 3 měření, SD = směrodatná odchylka, CV = variační koeficient, O = kontrolní půda bez mulče, KR = kůra, ST = štěpka, SL = sláma.

Z tabulky č. 8 je u druhu mulče kůra, štěpka a sláma vidět nepatrný rozdíl mezi hodnotami z roku 2018 a 2021. Nejvyšší zaznamenaný rozdíl hodnot WSA je u kontrolní půdy bez mulče. Mulčované varianty se podle výsledku jednocestné analýzy rozptylu i dále významně odlišovaly od kontrolní půdy bez mulče. Data z roku 2018 vykazují rozdíl mezi mulčovanými variantami a kontrolní půdou bez mulče, tj. všechny mulčované varianty se statisticky významně liší od kontrolní půdy bez mulče a zároveň se od sebe navzájem statisticky významně neliší. Data z roku 2021 demonstrují oproti roku 2018 podstatnější rozdíly. Kontrolní půda bez mulče se opět statisticky významně lišila od ostatních druhů mulčů, avšak štěpka se nelišila od zbývajících 2 druhů mulčů. Zároveň se od sebe statisticky významně lišily mulče kůra a sláma.

| Mulč | C _{ox} [%] | SD [%] | CV [%] | Q _{4/6} [-] | SD [-] | CV [%] | PWI [-] | SD [-] | CV [%] | i _{AR} [-] | SD [-] | CV [%] |
|------|---------------------|--------|--------|----------------------|--------|--------|---------|--------|------------|---------------------|--------|--------|
| O | 1,520 | 0,101 | 6,7 | 3,670 | 0,270 | 7,4 | 0,024 | 0,001 | 2,1 | 0,045 | 0,004 | 8,9 |
| KR | 2,466 | 0,092 | 3,7 | 3,769 | 0,182 | 4,8 | 0,027 | 0,005 | 20,0 | 0,050 | 0,005 | 10,0 |
| ST | 2,327 | 0,280 | 12,0 | 3,730 | 0,386 | 10,3 | 0,029 | 0,005 | 15,9 | 0,054 | 0,005 | 9,3 |
| SL | 1,639 | 0,198 | 12,1 | 3,868 | 0,133 | 3,4 | 0,023 | 0,003 | 14,3 | 0,043 | 0,003 | 7,0 |

Tab. č. 9: Výsledky C_{ox}, Q_{4/6}, PWI a i_{AR} u půdy (data o C_{ox} od Pavlů a kol., 2021; data o Q_{4/6}, PWI a i_{AR}, autor, 2022)

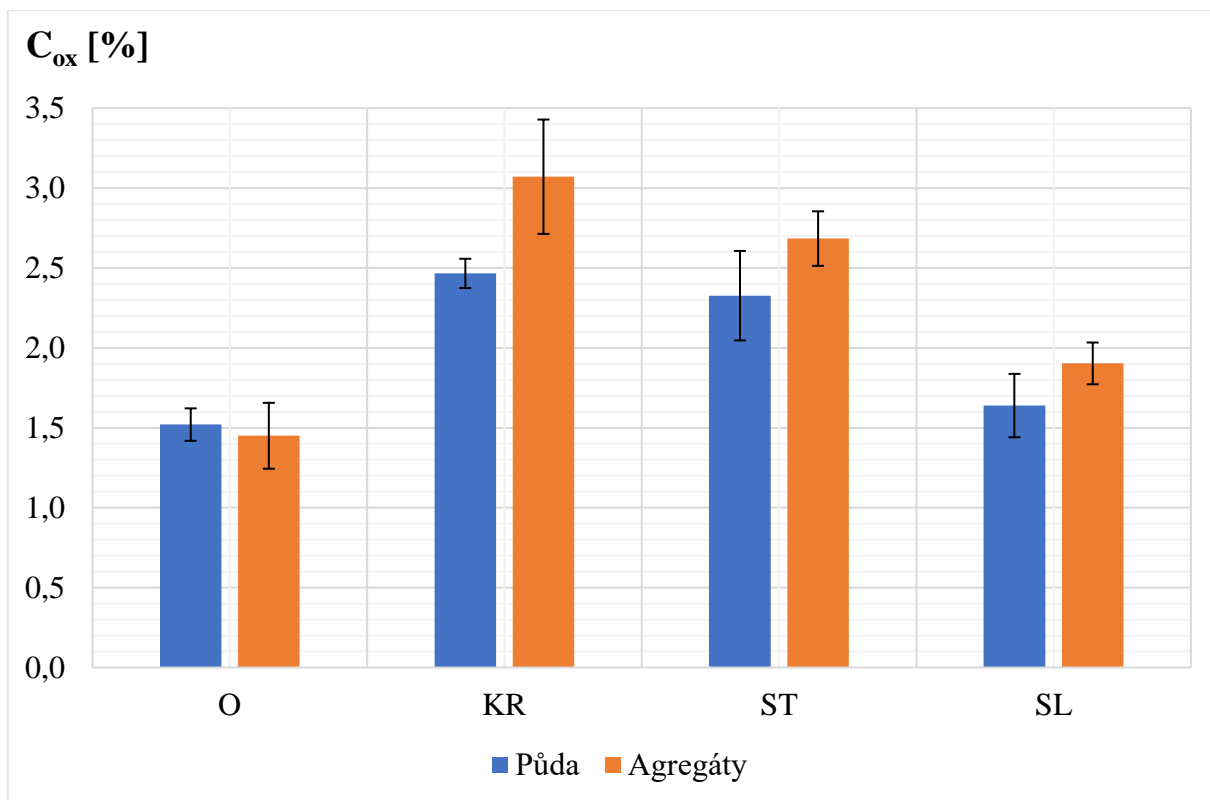
Pozn.: uvedené hodnoty u jednotlivých mulčů jsou aritmetickým průměrem ze 3 měření; C_{ox} = obsah uhlíku, Q_{4/6} = poměr vlnových délek při 400 a 600 nm, i_{AR} = index aromaticity, PWI = index potenciální smáčivosti, SD = směrodatná odchylka, CV = variační koeficient, O = kontrolní půda bez mulče, KR = kůra, ST = štěpka, SL = sláma.

| Mulč | C _{ox} [%] | SD [%] | CV [%] | Q _{4/6} [-] | SD [-] | CV [%] | PWI [-] | SD [-] | CV [%] | i _{AR} [-] | SD [-] | CV [%] |
|------|---------------------|--------|--------|----------------------|--------|--------|---------|--------|--------|---------------------|--------|-------------|
| O | 1,450 | 0,206 | 14,2 | 3,746 | 0,236 | 6,3 | 0,025 | 0,002 | 8,0 | 0,048 | 0,001 | 2,1 |
| KR | 3,071 | 0,358 | 11,7 | 4,009 | 0,434 | 10,8 | 0,035 | 0,002 | 6,9 | 0,065 | 0,010 | 15,4 |
| ST | 2,684 | 0,171 | 6,4 | 3,920 | 0,206 | 5,3 | 0,035 | 0,002 | 5,1 | 0,074 | 0,018 | 24,3 |
| SL | 1,903 | 0,131 | 6,9 | 3,694 | 0,714 | 19,3 | 0,033 | 0,002 | 4,8 | 0,063 | 0,007 | 11,1 |

Tab. č. 10: Výsledky C_{ox}, Q_{4/6}, PWI a i_{AR} u agregátů (autor, 2022)

Pozn.: uvedené hodnoty u jednotlivých mulčů jsou aritmetickým průměrem ze 3 měření; C_{ox} = obsah uhlíku, Q_{4/6} = poměr vlnových délek při 400 a 600 nm, i_{AR} = index aromaticity, PWI = index potenciální smáčivosti, SD = směrodatná odchylka, CV = variační koeficient, O = kontrolní půda bez mulče, KR = kůra, ST = štěpka, SL = sláma.

V tabulkách č. 9 a 10 jsou uvedeny průměrné hodnoty všech studovaných veličin, jejich směrodatné odchylky, variační koeficienty, a to odděleně pro celkové půdní vzorky a pro vyseparované agregáty. Variační koeficient jednotlivých souborů dat ve většině případů nepřesáhl 15 %. Výjimkou byly vzorky půdy pod kůrou a štěpkou u PWI a vzorky agregátů pod slámou u Q_{4/6} a pod kůrou a štěpkou u i_{AR}. Nejnížší CV s hodnotou 2,1 % byl zaznamenán z kontrolní půdy bez mulče u veličiny PWI a u agregátů vyseparovaných z kontrolní půdy bez mulče u i_{AR}. Nejvyšší hodnota CV dosahovala 24,3 %, a to u agregátů u zkoumané veličiny i_{AR}.



Obr. č. 17: Výsledky obsahu C_{ox} u jednotlivých druhů mulčů pro půdu a agregáty (autor, 2022)

Pozn.: O = kontrolní půda bez mulče, KR = kůra, ST = štěpka, SL = sláma.

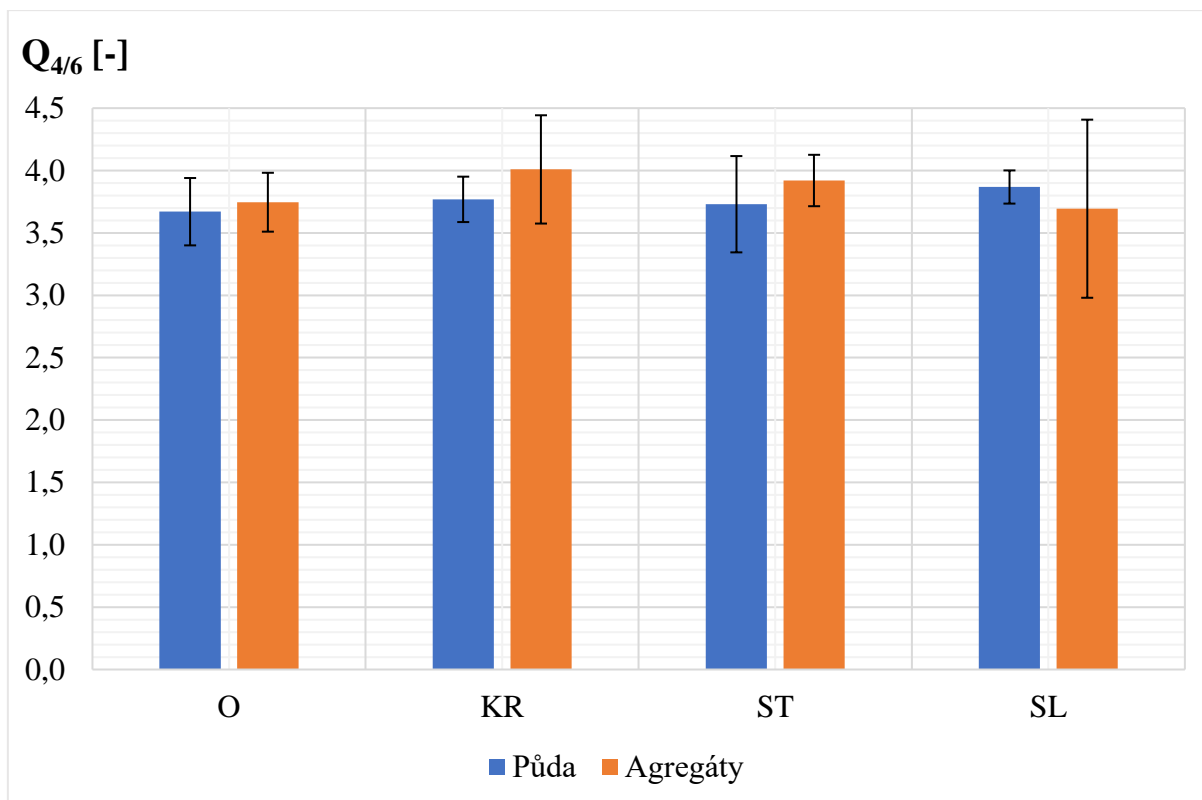
| Mulč | t-value | p-value |
|------|----------|---------|
| O | - 0,4427 | 0,6809 |
| KR | 2,3387 | 0,0795 |
| ST | 1,7729 | 0,1509 |
| SL | 1,7969 | 0,1468 |

Tab. č. 11: Výsledky dvouvýběrového t-testu porovnávající data půd pod konkrétními druhy mulče u agregátů a půdy v rámci veličiny C_{ox} (autor, 2022)

Pozn.: O = kontrolní půda bez mulče, KR = kůra, ST = štěpka, SL = sláma; p-value znázorňuje hladinu významnosti, t-value značí rozdíl mezi průměry hodnot C_{ox} mezi agregáty a půdou.

Z obrázku č. 17 lze vidět, že nejvyšší hodnota obsahu uhlíku je u agregátů pod kůrou, naopak nejnižší hodnota obsahu uhlíku je u agregátů na kontrolní půdě bez mulče. Obsah uhlíku v agregátech mulčovaných variant je vyšší než v celkové půdě, nicméně tento rozdíl není statisticky významný. Obsah uhlíku v agregátech z kontrolní půdy bez mulče se víceméně nelišil.

Porovnal jsem data půd pod konkrétními druhy mulče u agregátů a půdy v rámci zkoumané veličiny C_{ox} a z tabulky č. 11 je patrné, že u všech hodnot p-value je hodnota vyšší než stanovená hladina významnosti $\alpha = 0,05$. Nejnižší rozdíl hodnot mezi průměry dat v rámci obsahu uhlíku má kontrolní půda bez mulče, nejvyššího rozdílu pak dosahuje půda pod mulčem kůra.



Obr. č. 18: Výsledky $Q_{4/6}$ u jednotlivých druhů mulčů pro půdu a agregáty (autor, 2022)

Pozn.: O = kontrolní půda bez mulče, KR = kůra, ST = štěpka, SL = sláma.

| Mulč | t-value | p-value |
|------|---------|---------|
| O | 0,3543 | 0,7410 |
| KR | 0,7826 | 0,4776 |
| ST | 0,8135 | 0,4616 |
| SL | -0,3752 | 0,7265 |

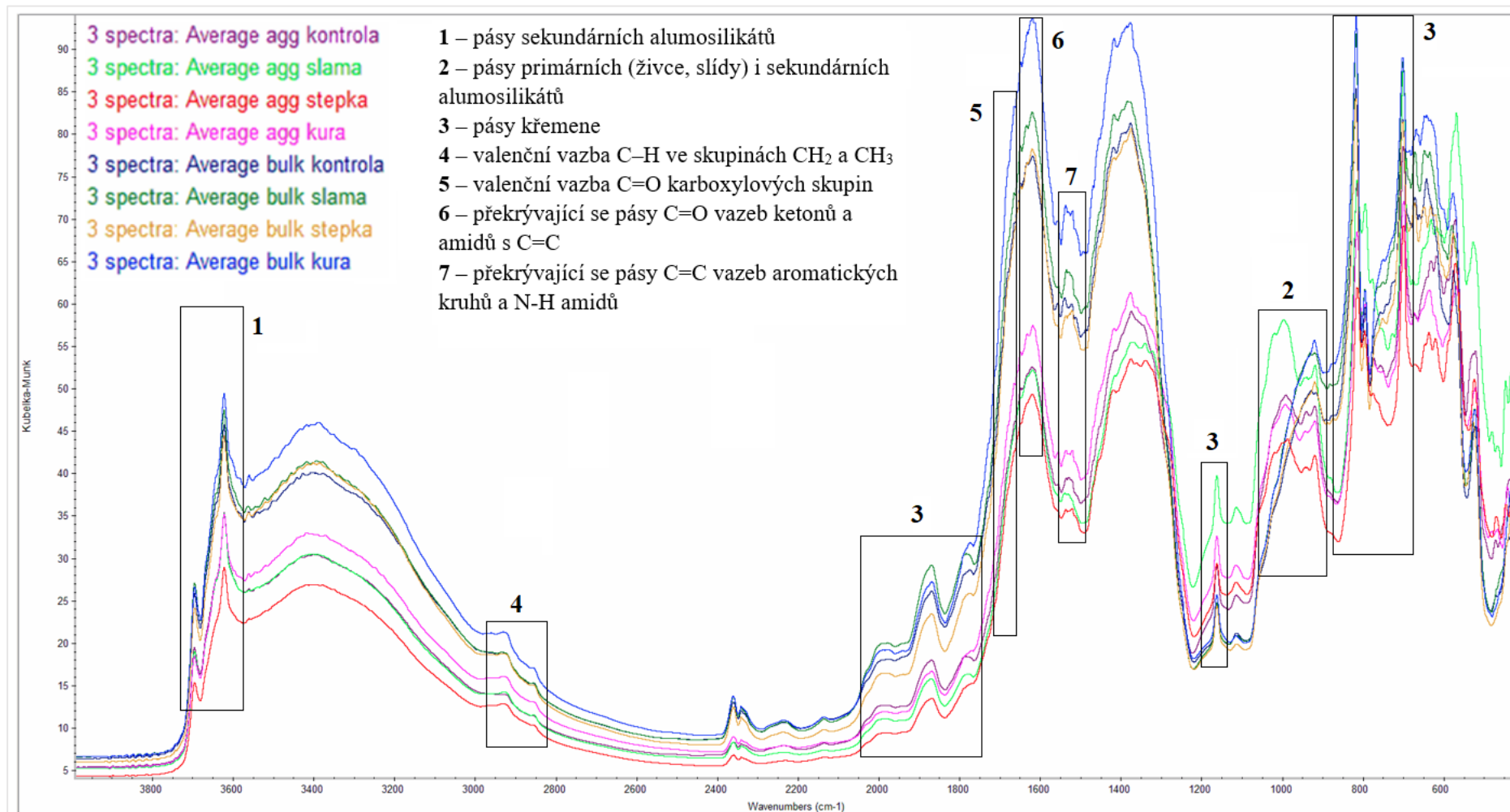
Tab. č. 12: Výsledky dvouvýběrového t-testu porovnávající data půd pod konkrétními druhy mulče u agregátů a půdy v rámci veličiny $Q_{4/6}$ (autor, 2022)

Pozn.: O = kontrolní půda bez mulče, KR = kůra, ST = štěpka, SL = sláma; p-value znázorňuje hladinu významnosti, t-value značí rozdíl mezi průměry hodnot $Q_{4/6}$ mezi agregáty a půdou.

Z obrázku č. 18 je patrné, že nejvyšší poměr $Q_{4/6}$ byl zaznamenán u agregátů pod kůrou, nejnižší poměr je u kontrolní půdy bez mulče. U poměru $Q_{4/6}$ nebyl zaznamenán tak významný rozdíl mezi agregáty a celkovou půdou jako u C_{ox} . Hodnota $Q_{4/6}$ byla vyšší u agregátů u všech typů mulčů s výjimkou slámy.

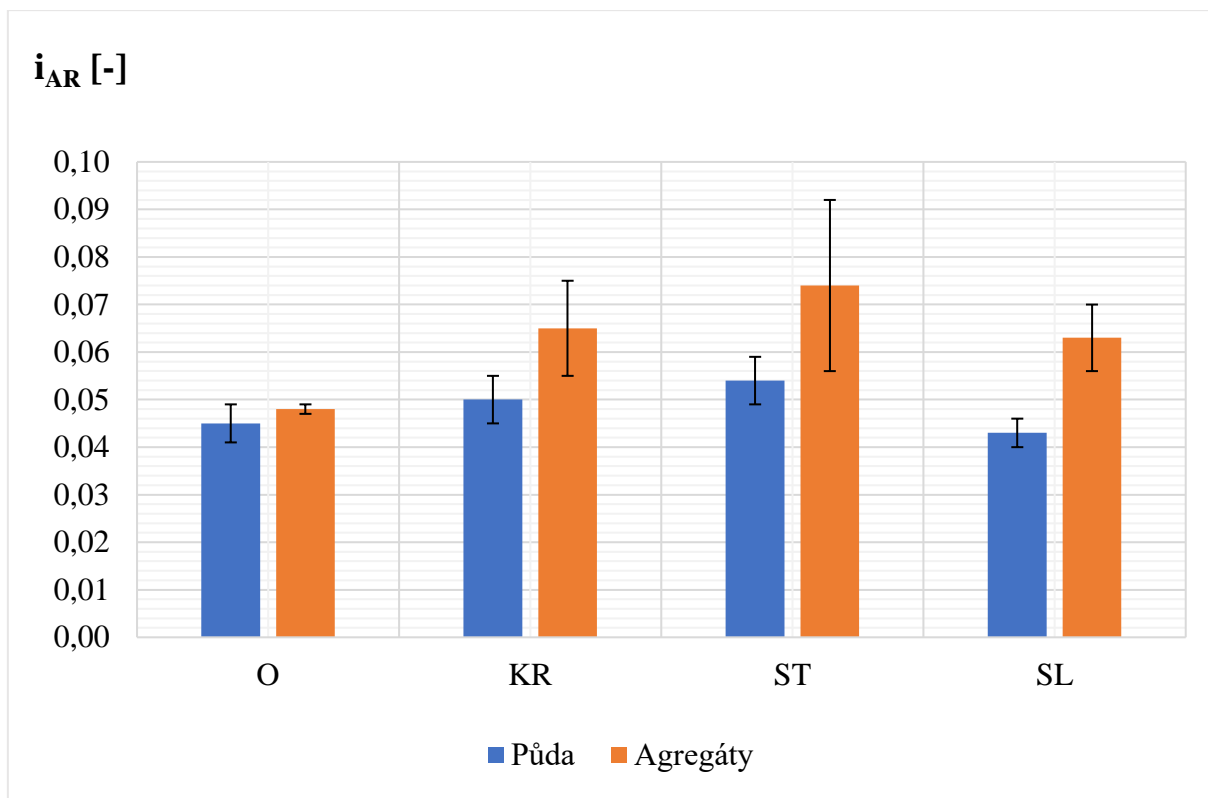
Porovnal jsem data půd pod konkrétními druhy mulče u agregátů a půdy v rámci zkoumané veličiny $Q_{4/6}$ a z tabulky č. 12 je zřejmé, že všechny hodnoty p-value jsou vyšší než stanovená hladina významnosti $\alpha = 0,05$. Nejnižší rozdíl hodnot mezi průměry dat v rámci poměru $Q_{4/6}$ má kontrolní půda bez mulče, naopak nejvyššího rozdílu dosahuje půda pod mulčem štěpka.

Analýza vzorků FTIR spektrometrem



Obr. č. 19: Snímek IR spekter půdy a agregátů pod druhy mulčů vysvětlující části FTIR spektra (autor, 2022)

Pozn.: IR spektrum autor, 2022; legenda vrcholů upravena podle Thai a kol. (2021).



Obr. č. 20: Výsledky i_{AR} u jednotlivých druhů mulčů pro půdu a agregáty (autor, 2022)

Pozn.: O = kontrolní půda bez mulče, KR = kůra, ST = štěpka, SL = sláma.

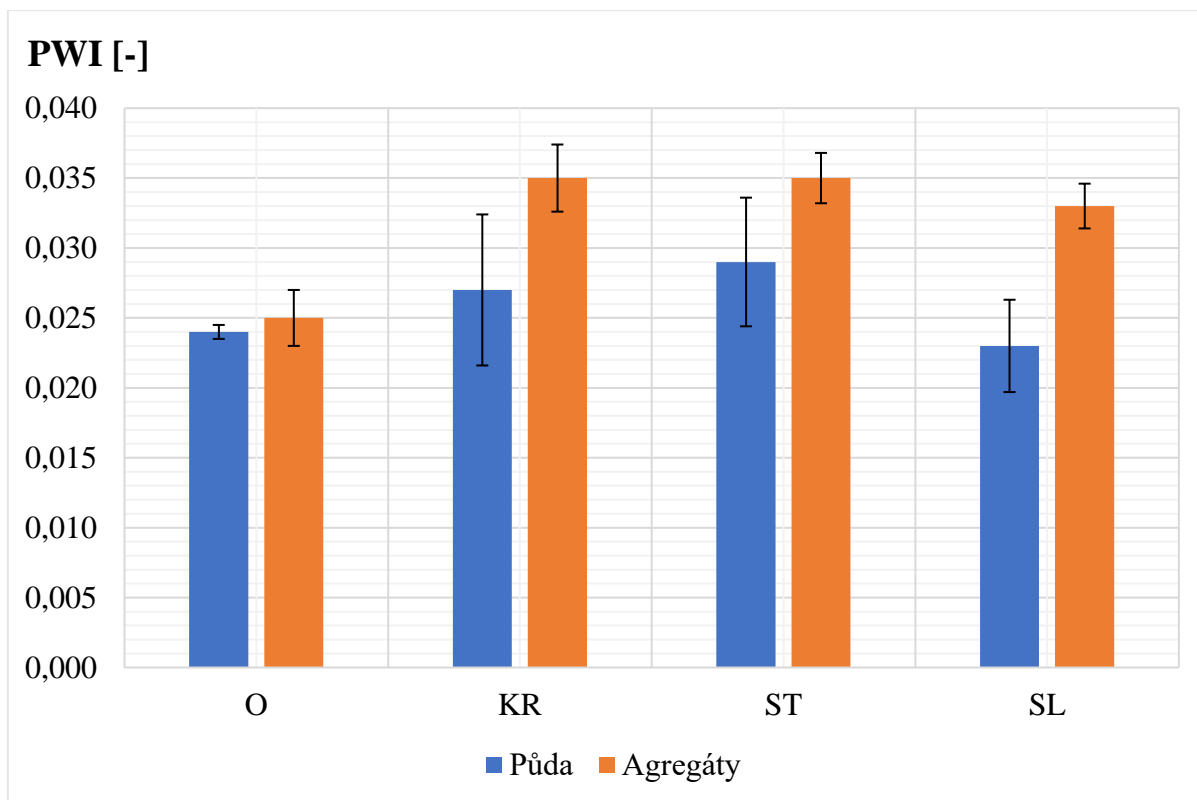
| Mulč | t-value | p-value |
|------|---------------|---------------|
| O | 1,0607 | 0,3486 |
| KR | 1,8848 | 0,1326 |
| ST | 1,4953 | 0,2091 |
| SL | 3,8903 | 0,0177 |

Tab. č. 13: Výsledky dvouvýběrového t-testu porovnávající data půd pod konkrétními druhy mulče u agregátů a půdy v rámci veličiny i_{AR} (autor, 2022)

Pozn.: O = kontrolní půda bez mulče, KR = kůra, ST = štěpka, SL = sláma; p-value znázorňuje hladinu významnosti, t-value značí rozdíl mezi průměry hodnot i_{AR} mezi agregáty a půdou.

Z obrázku č. 20 je zřejmé, že agregáty pod štěpkou vykazovaly nejvyšší hodnotu indexu aromaticity, půda pod slámou má nejnížší hodnotu indexu aromaticity. U všech typů mulčů měly agregáty vyšší hodnotu indexu aromaticity než celková půda.

Porovnal jsem data půd pod konkrétními druhy mulče u agregátů a půdy v rámci zkoumané veličiny i_{AR} . V tabulce č. 13 lze vidět, že hodnota p-value u slámy je nižší než stanovená hladina významnosti $\alpha = 0,05$, a vysokou hodnotu t-value, což značí statisticky významný rozdíl v datech půd pod konkrétními druhy mulče a daty z vyseparovaných agregátů. Nejnížší rozdíl hodnot mezi průměry dat v rámci indexu aromaticity má kontrolní půda bez mulče, nejvyšší rozdíl je zřejmý u půdy pod slámou.



Obr. č. 21: Výsledky PWI u jednotlivých druhů mulčů pro půdu a agregáty (autor, 2022)

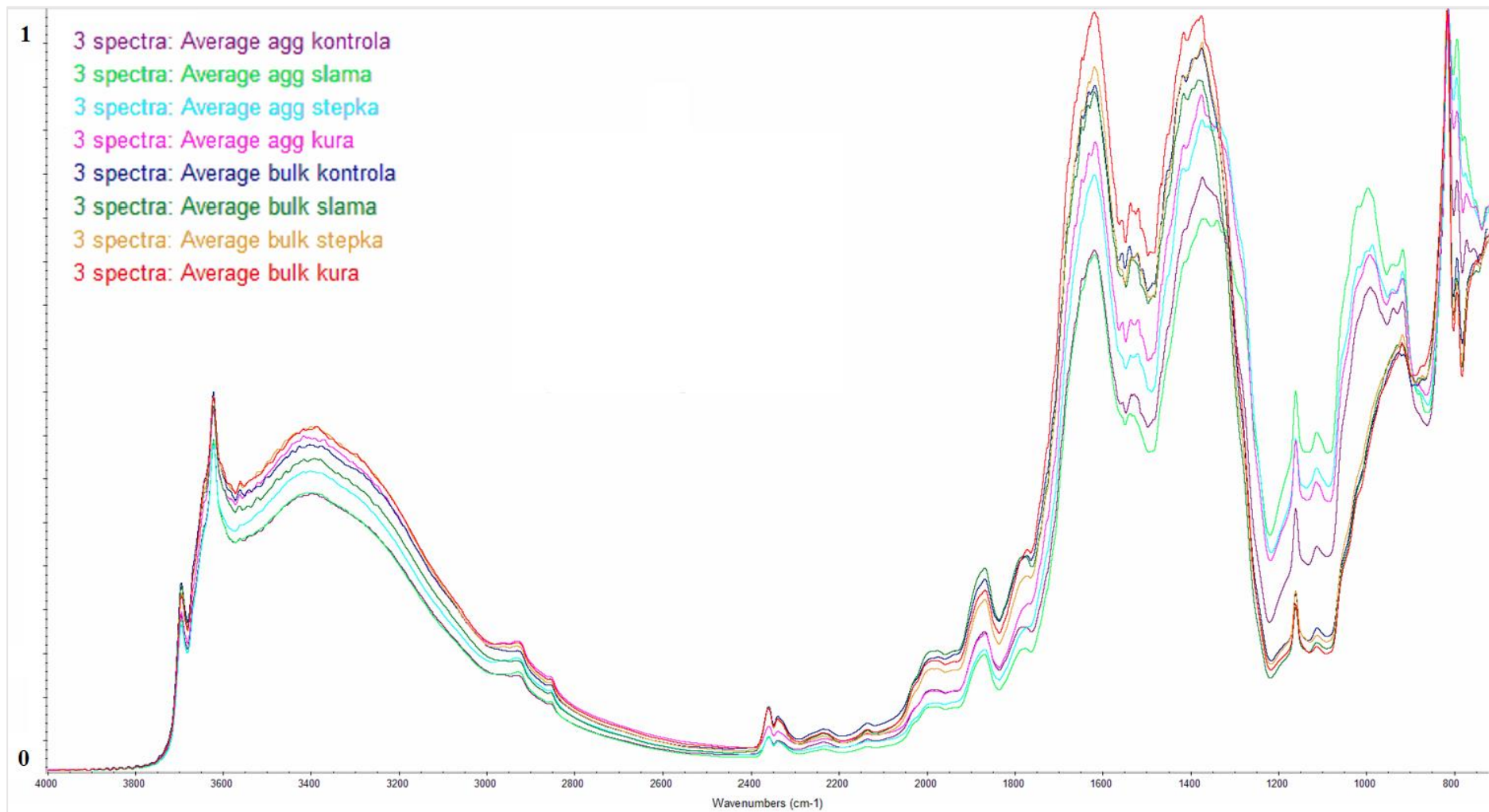
Pozn.: O = kontrolní půda bez mulče, KR = kůra, ST = štěpka, SL = sláma.

| Mulč | t-value | p-value |
|------|---------------|---------------|
| O | 1,1180 | 0,3262 |
| KR | 1,8531 | 0,1375 |
| ST | 1,5853 | 0,1881 |
| SL | 3,4874 | 0,0252 |

Tab. č. 14: Výsledky dvouvýběrového t-testu porovnávající data půd pod konkrétními druhy mulče u agregátů a půdy v rámci veličiny PWI (autor, 2022)

Pozn.: O = kontrolní půda bez mulče, KR = kůra, ST = štěpka, SL = sláma; p-value znázorňuje hladinu významnosti, t-value značí rozdíl mezi průměry hodnot PWI mezi agregáty a půdou.

Jak ukazuje obrázek č. 21, nejvyšší hodnoty indexu smáčivosti vykazují agregáty pod kůrou a štěpkou. Nejnižší hodnota byla naměřena u půdy pod slámou. U všech typů mulčů měly agregáty vyšší hodnotu indexu potenciální smáčivosti než celková půda. Porovnal jsem data půd pod konkrétními druhy mulče u agregátů a půdy v rámci zkoumané veličiny PWI. V tabulce č. 14 lze zaznamenat nižší hodnotu p-value u půdy pod mulčem sláma, než je stanovená hladina významnosti, která činí $\alpha = 0,05$, a vysokou hodnotu t-value, což značí statisticky významný rozdíl v datech půd pod konkrétními druhy mulče a daty z vyseparovaných agregátů. Nejnižšího rozdílu hodnot mezi průměry dat v rámci indexu smáčivosti dosahuje kontrolní půda bez mulče, naopak nejvyšší rozdíl je zaznamenán u půdy pod slámou.



Obr. č. 22: Snímek IR spekter půdy a agregátů pod jednotlivými druhy mulčů (autor, 2022)

Pozn.: spektra jsou normována na maximální vrchol – pás křemene 850 cm⁻¹.

Z obrázku č. 22 lze vidět, že spektra půd jsou si v oblasti pod $2\ 000\ \text{cm}^{-1}$ velice podobná a ve svém průběhu se téměř překrývají. Spektra agregátů se od této skupiny výrazně liší, a to především v oblasti sekundárních alumosilikátů mezi $900\ \text{cm}^{-1}$ a $1\ 000\ \text{cm}^{-1}$.

Jednocestná analýza rozptylu – ANOVA

Porovnal jsem data z jednotlivých variant pokusu z parcel, na nichž se nacházely konkrétní druhy mulčů, tj. veličiny naměřené u půdy a agregátů. Písmena ve sloupcích určují statisticky významně odlišné varianty na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ dle Fisherova LSD testu.

| Mulč | Půda | | | | Mulč | Agregáty | | | |
|------|-----------------|------------------|-----|-----------------|------|-----------------|------------------|-----|-----------------|
| | C _{ox} | Q _{4/6} | PWI | i _{AR} | | C _{ox} | Q _{4/6} | PWI | i _{AR} |
| O | B | A | B | B | O | B | A | A | B |
| KR | A | A | AB | AB | KR | A | A | A | AB |
| ST | A | A | A | A | ST | A | A | A | A |
| SL | B | A | B | B | SL | B | A | A | AB |

Tab. č. 15: Výsledky ANOVY porovnávající C_{ox}, Q_{4/6}, PWI a i_{AR} u půdy a agregátů (autor, 2022)

Pozn.: hodnoty A, AB, B a C znázorňují rozdíly variant půd pod konkrétním druhem mulče u agregátů a půdy (hodnota AB se statisticky výrazně neliší od hodnot A a B, hodnoty A, B a C se navzájem statisticky výrazně liší); C_{ox} = obsah uhlíku, Q_{4/6} = poměr vlnových délek při 400 a 600 nm, i_{AR} = index aromaticity, PWI = index potenciální smáčivosti, O = kontrolní půda bez mulče, KR = kůra, ST = štěpka, SL = sláma.

Půda

Jak lze vidět v tabulce č. 15, u obsahu uhlíku v půdě se statisticky výrazně liší kontrolní půda bez mulče s půdou, na níž byla kůra a štěpka. Kontrolní půda bez mulče se s půdou pod slámou statisticky významně neliší. Poměr Q_{4/6} se ve všech případech statisticky významně neliší. U PWI se od sebe statisticky výrazně neliší kontrolní půda bez mulče a půda, na které se nachází sláma. Od těchto půd se statisticky významně liší půda se štěpkou. Naopak půda s kůrou se od žádné z ostatních variant statisticky významně neliší. U i_{AR} je tomu obdobně jako u veličiny PWI.

Agregáty

Z dat nacházejících se v tabulce č. 15 lze konstatovat, že u obsahu uhlíku je tomu stejně jako u půdy, tj. že se u agregátů statisticky výrazně liší kontrolní půda bez mulče s agregáty pod kůrou a štěpkou. Agregáty z kontrolní půdy bez mulče se s agregáty pod slámou statisticky významně neliší. U poměru Q_{4/6} je tomu obdobně jako u půdy. U PWI se ve všech případech

získaná data statisticky významně neliší. U i_{AR} se od sebe statisticky významně liší hodnoty agregátů pod štěpkou a agregáty z kontrolní půdy bez mulče. Agregáty získané z půdy, na níž se nacházela kůra, a z půdy, na které byla sláma, se statisticky výrazně neliší od sebe, ani od výše zmíněných 2 variant.

Jedním z cílů bakalářské práce bylo potvrdit či vyvrátit dvě následující hypotézy:

1) Chemické složení půdní organické hmoty v agregátech se liší od složení organické hmoty v půdě jako celku. Menší odlišnosti budou u málo stabilních agregátů a větší u agregátů stabilních.

2) Se vzrůstající stabilitou agregátů vzrůstá podíl aromatických součástí půdní organické hmoty.

Z výsledků vyplývá, že první stanovenou hypotézu přijímám (potvrzují). V bakalářské práci jsem prokázal, že organická hmota v agregátech se liší od složení organické hmoty v celkové půdě. Organická hmota ve variantách půd, které byly mulčovány, byla pozitivně ovlivněna množstvím organiky, která pokrývala povrch půdy. Naopak tomu bylo u kontrolní půdy, kterou žádný organický mulč nepokrýval a nevytvářel tak ochranný povrch, který by zároveň do půdy dodával živiny, udržoval stálou teplotu a vodu. Menší odlišnosti byly u méně stabilních agregátů a větší odlišnosti byly zaznamenány u agregátů více stabilních.

Druhou stanovenou hypotézu zamítám. V rámci bakalářské práce se nepotvrdilo, že by se vzrůstající stabilitou agregátů vzrůstal podíl aromatických součástí půdní organické hmoty. Naopak, v rámci výsledků jsem došel k závěru, že se vzrůstající stabilitou agregátů vzrůstá podíl alifatických součástí půdní organické hmoty, tj. součástí, které se hojněji vyskytují v jednodušších organických látkách, například v sacharidech a polysacharidech.

6. Experimentální část – diskuse

Půda je složitý a dynamický systém, ve kterém probíhají procesy, které spolu úzce souvisí a navazují na sebe. V bakalářské práci byly zkoumány půdní agregáty, u kterých se stanovovala jejich stabilita, obsah organické hmoty (tj. obsah uhlíku), kvalita organické hmoty a dále byly půdní agregáty zkoumány za pomoci DRIFTS spektrometrie. Z této analýzy byly zjištěny 2 indexy, které detailně popisují kvalitativní půdní parametry agregátů a půdy. Konkrétně je to index aromaticity a index potenciální smáčivosti.

6.1 Stabilita půdních agregátů WSA

Obecně platí, že stabilita půdních agregátů závisí na obsahu organické hmoty, půdní biologické aktivitě, hnojení, typu půdy, vegetačním pokryvu, sklonu a neméně důležitý faktor je rozsah a intenzita degradace půdy. Vyšší stabilita poukazuje na kvalitnější a úrodnější půdu. Metoda WSA je jedna z nejrozšířenějších metod hodnocení stability agregátů a jejich odolnosti vůči rozpouštědlu. Určování stability agregátů nemusí nutně korespondovat se stabilitou agregátů v reálném čase, avšak stanovení WSA je korespondující s obsahem organické hmoty (Scott, 2000).

Vysoká stabilita agregátů pozitivně ovlivňuje retenční schopnosti půdy. Metodu WSA lze považovat společně s obsahem organické hmoty za ukazatele určující celkovou kvalitu půdy (Zhang a kol., 2008). Tobiašová a kol. (2018) se v publikaci rovněž zabývají půdními agregáty a metodou WSA v jednotlivých typech půdy. Dle výsledků ze studie Jakšíka a kol. (2015) lze konstatovat, že nejnižší stabilita půdních agregátů byla obecně pozorována na příkrých svazích, které byly silně ovlivněny erozí půdy. Naopak nejvyšší stabilita agregátů byla naměřena u půd odebraných na relativně plochých územích, které nebyly erozí zasaženy tak intenzivně. Větší stabilita agregátů byla také změřena na konkávních částech, nižší stabilita byla v konvexních částech svahů. Vysoká stabilita půdních agregátů úzce souvisí s vysokým obsahem C_{ox} .

Stabilita zkoumaných agregátů byla ovlivňována vysokým obsahem jílových částic, vysokým obsahem organické hmoty a kvalitou organické hmoty (vyšší podíl alifatických složek). Vyšší hodnoty WSA vykazovaly půdy, na kterých byly použity organické mulče, na rozdíl od půdy bez mulče. Efekt organických mulčů je naprosto zřejmý – organická hmota pozitivně ovlivňuje půdní vlastnosti a jednotlivé složky půdy. Pozitivně ovlivněna je především schopnost půdy zadržet vodu, což má za následek zvýšení podílu edafonu, který půdu rozměkčuje a provzdušňuje. Organiku do půdy navrácí ve formě výměšků.

6.2 Obsah uhlíku C_{ox}

Půdní organická hmota, tj. obsah organického uhlíku, hraje v půdě velmi důležitou roli. Jeho obsah a kvalita ovlivňují například stabilitu půdní struktury nebo fyzikální vlastnosti půdy, mezi které patří specifická hmotnost a pórovitost či schopnost retence a infiltrace vody. Angst a kol. (2017) se zabývali půdními agregáty a jejich významem na množství organické hmoty. Angst a kol. (2021) publikovali závěr, že půdní agregáty s vysokým obsahem C významně přispívají ke stabilizaci půdní organické hmoty. Kubát a Lipavský (2006) došli k závěru, že obsah C_{ox} je specifický pro danou lokalitu a je ovlivněn především historií využití půdy, mezi které jednoznačně patří obdělávání půdy, střídání plodin a hnojení. Jakšík a kol. (2015): „Výsledky potvrdily očekávání, že na půdě v mírném sklonu byly hodnoty C_{ox} vyšší než hodnoty C_{ox} na strmých svazích.“

„Největší efekt mulčování byl zjištěn v případě organického uhlíku a stability agregátů pod organickými mulči (sláma, kůra a dřevní štěpka). Z toho vyplývá, že organické mulče mají největší a dlouhodobý vliv na chemické parametry půdy (obsah C_{ox}), které ovlivňují stabilitu půdních agregátů, retenční schopnosti půdy a hydraulické vlastnosti půdy“ (Pavlů a kol., 2021).

Jak již bylo zmíněno výše, obsah organické hmoty a stabilita agregátů spolu úzce souvisí. Dle výsledků se obdobně i u obsahu uhlíku potvrdilo, že mulčování má pozitivní vliv na půdní strukturu a vlastnosti půdy. Data rovněž prokázala, že vyšší obsah uhlíku byl zaznamenán u vyseparovaných agregátů než u celkové půdy.

Organická hmota funguje v půdě jako koloid a její koloidní vlastnosti (náboj či afinita k vodě) mohou napomáhat vzniku půdní mikrostruktury propojením s minerální složkou. Produkty metabolismu organismů fungují z makroskopického hlediska jako tmel při vzniku makroagregátů/makrostruktury (Pavlů, 2018; Šarapatka, 2014; Šantrůčková, 2014).

6.3 Ukazatel kvality organické hmoty $Q_{4/6}$

Hodnota $Q_{4/6}$ představuje poměr mezi absorbancemi půdního extraktu 0,05 M pyrofosforečnanem sodným při vlnových délkách 400 a 600 nm. Čím nižší je hodnota ukazatele, tím polymerovanější a stabilnější jsou extrahované organické látky (Valla a kol. 2000). Výhodou této metody je zejména možnost pracovat přímo s alkalickým půdním extraktem bez nutnosti další separace huminových kyselin a fulvokyselin. Avšak poměr $Q_{4/6}$ neposkytuje dostatečné informace o struktuře zkoumaných huminových látek. Jiné metody,

mezi které patří například metoda DRIFTS, jsou pro studium půdní organické hmoty vhodnější než jednoduchý poměr $Q_{4/6}$ (Swift, 1996).

Získaná data z půdy i z agregátů se od sebe významně statisticky nelišila, jelikož ukazatel $Q_{4/6}$ je sice tradiční, ale není na rozdíl od DRIFTS spektrometrie dostatečně detailní. Dle výsledků lze usuzovat, že kvalita organické hmoty v půdě i v agregátech je víceméně totožná. Zároveň jsem již výše zmínil, že obsah organické hmoty a stabilita agregátů na sebe navazují. V případě kvality organické hmoty tomu není jinak. Tyto 3 ukazatele mají společný jmenovatel, a to organickou hmotu. Pokud je v půdě zastoupen vysoký podíl organické hmoty, s největší pravděpodobností budou půdní agregáty vykazovat vysokou stabilitu. To má za následek zvýšení života a fungující koloběh látek v půdě. Výše uvedené aspekty naznačují, že ukazatel $Q_{4/6}$ neposkytuje relevantní a korespondující data s ostatními použitými ukazateli.

6.4 DRIFTS spektrometrie

DRIFTS (Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectroscopy) je reflexní technika používaná k proměření vzorku infračerveným zářením. Mezi výhody této metody patří zejména fakt, že se jedná o nedestruktivní metodu. Všechny ostatní použité destruktivní metody skrývají ve výsledcích určitou vadu, jelikož je se vzorkem příliš manipulováno a je podroben relativně drastickým extrakčním metodám, které přirozené uspořádání a propojení složek půdy zničí. Mezi další výhody DRIFTS patří rychlé a přesné měření, ale zejména získání spekter, z nichž je možné vyčíst řadu různých kvalitativních parametrů a informací jak o organické, tak i o minerální složce půdy.

Dle Pavlů a Mühlhanslové (2018) se DRIFTS jako jeden z typů infračervené spektrometrie konvenčně používané pro sytké vzorky běžně využívá k analýze půdy. Veum a kol. (2014) a Swift (1996) tvrdí, že DRIFTS metoda je vhodná jako jedna ze spektrometrických technik používaných k rozlišení fluktuace v množství organických funkčních skupin během rozkladu a k identifikaci změn obsahu organické hmoty v půdním profilu pod různými vegetačními pokryvy. K tomuto tvrzení se přiklání i Mládková a kol. (2006): „Tato metoda je vhodná pro podrobné studium kvality humusu.“ Pavlů a Mühlhanslová, (2018) uvádí, že metoda DRIFTS umožňuje měření oddělených huminových kyselin a fulvokyselin v čistých formách bez ředění (například bromidem draselným). Nejzřetelnější rozdíly v kvalitativních parametrech organické hmoty měřených pomocí DRIFTS v závislosti na využití půdy jsou patrné v povrchové vrstvě půdy (Thai a kol., 2021).

Mezi nevýhody DRIFTS může patřit překrývání některých spektrálních pásů (minerálních a organických funkčních skupin). Dále široká pásma ukrývají některá méně výrazná pásma, která jsou důležitá pro hodnocení kvality organické hmoty (Mládková a kol., 2006). Fér a kol. (2016) použili DRIFTS na analýzu půdních agregátů. Matějková a Šimon (2012) měli za cíl určit intenzitu hydrofobicity složek organické hmoty pomocí diagnostiky DRIFTS.

Výše uvedené argumenty pro využití DRIFTS metody k analýze agregátů jsou hlavním důvodem, proč byla tato metoda využita i v této bakalářské práci. Nejvyšší intenzity spektrálních pásů jsou zaznamenány v oblastech 1 650, 800 a 700 cm^{-1} . Při hodnotách 800 a 700 cm^{-1} lze usuzovat na pásy křemene z půdního typu fluvizem modální, tj. naplavené částice. Vrchol v hodnotě 1 650 cm^{-1} charakterizují především karboxyl, ketony a aromáty. Nejdůležitějším poznatkem této analýzy bylo zjištění, že se v oblasti okolo 1 000 cm^{-1} u agregátů vyskytuje vyšší podíl jílnatých částic než u vzorků celkové půdy pokryté mulčem.

Z tohoto zjištění lze konstatovat, že všechny agregáty vyskytující se v půdě pod mulčem jsou stabilizovány nejen díky obsahu organické hmoty, ale také z důvodu vyššího podílu jílnatých částic, které jsou základním tmelícím prvkem agregátů. Množství jílnatých částic v půdě je dáno dlouhodobou pedogenezí. Jeho efekt bude tedy obdobný u všech variant pokusu. Rozdíly ve stabilitě agregátů jsou pak dány právě různým obsahem organické hmoty, tedy v tomto případě mulčováním či nemulčováním. Fér a kol. (2016) se zmiňují, že jílové částice působí jako pojivo na povrchu agregátů, což způsobuje hydrofobní povahu agregátů a tyto jsou více odolné vůči rozmělnění oproti vzorkům celkové půdy.

6.4.1 Index aromaticity i_{AR}

Ze spekter půd a intenzit konkrétních pásů lze vypočítat index aromaticity i_{AR} . Byl definován Cunhou a kol. (2009) a Mládkovou a kol. (2006) jako $i_{AR} = I_{AR}/(I_{AL} + I_{AR})$, kde I_{AR} je intenzita pásu 1 520 cm^{-1} aromatických skupin a I_{AL} znamená součet intenzit pásů alifatických skupin 2 930 a 2 850 cm^{-1} .

Vyšší hodnota indexu aromaticity udává vyšší podíl alifatických součástí v agregátech či v půdě. Alifatické řetězce jsou součástí například polysacharidů, anebo může jít o postranní řetězce složitějších humusových látek. Naopak nižší hodnota indexu aromaticity značí vyšší podíl aromatických součástí (humusové látky, fenolické látky). Z výsledků pokusu je zřejmé, že ve stabilních agregátech je vyšší podíl alifatických složek než složek aromatických. Je to především z toho důvodu, že po dobu 4 let pěstování trvalek a postupného rozkladu organických

mulčů se do půdy uvolňovaly především jednodušší metabolity. Tyto součásti dokázaly pevně stmelit půdní agregáty, a právě proto vykazují vyšší stabilitu a vyšší obsah organiky než půda bez mulče.

Z výsledků vyplývá, že vyšší hodnoty indexu aromaticity dosahují agregáty a půda jako celek má hodnoty nižší. Nejvyšší hodnoty ovšem dosahují agregáty pod mulčem. Z toho lze vyvodit, že v mulčovaných variantách je v agregátech více alifatických složek (jednodušší složky) než v kontrolní půdě bez mulče, kde je naopak relativně více složek aromatických (složky komplexnější a složitější).

6.4.2 Index potenciální smáčivosti PWI

Obdobně jako index aromaticity lze i index potenciální smáčivosti vypočítat z DRIFTS spekter. Fér a kol. (2016) použili index potenciální smáčivosti pro půdní agregáty, aby analyzovali povrch a strukturu agregátů. PWI byl vypočten z poměru hydrofobních (skupiny C–H) a hydrofilních funkčních skupin (skupiny C=O) v organické hmotě. Výsledky studie naznačují, že vliv organické hmoty na smáčivosti povrchu agregátů klesá se zvyšující se vlhkostí půdy. Výsledky vyšly ve studii obdobně jako výsledky v bakalářské práci, tj. hodnoty PWI se pohybovaly pod 0,04. Smáčivost agregátů nejvíce ovlivňovalo rozdílné složení minerální složky na povrchu a uvnitř agregátů. Matějková a Šimon (2012) došli k závěru, že čím měly půdní částice větší velikost, tím byly více hydrofobní.

Čím vyšší je hodnota indexu potenciální smáčivosti, tím je povrch agregátů či půdy více hydrofobní, tedy povrch nepřijímá (odpuzuje) vodu, a tím jsou částice odolnější vůči rozplavení. V opačném případě má povrch agregátů povahu hydrofilní, tj. povrch přijímá vodu a částice se při ovlhčení rychleji rozpadají.

Získaná data u indexu potenciální smáčivosti reflektují obdobný trend jako data indexu aromaticity, tj. agregáty mulčovaných variant dosahují nejvyšších hodnot. Také platí, že všechny agregáty vykazují vyšší hodnoty než půda. To značí schopnost agregátů odpuzovat vodu, v důsledku čehož nedochází k rozpadání agregátů. Vzorok agregátů jsou tedy více odolné vůči rozmělnění než vzorky půdy, které dosahují nižších hodnot.

7. Závěr

Cílem bakalářské práce byl v teoretické rovině popis půdoochranných opatření používaných na zemědělské půdě a vymezení půdních vlastností ovlivňujících stabilitu půdní struktury. Experimentální část bakalářské práce byla věnována studiu příčin stability půdních agregátů pod různými druhy mulčů a jejich porovnávání se vzorky celkové půdy.

Byly stanoveny dvě hypotézy, kdy na základě výsledků byla první hypotéza potvrzena a druhá hypotéza zamítnuta, tj. že organická hmota se v půdních agregátech liší od složení organické hmoty v celkové půdě a se vzrůstající stabilitou agregátů nevzrůstal podíl aromatických součástí půdní organické hmoty. Mulčování pozitivně ovlivnilo půdu i agregáty, přičemž půdní agregáty vykazovaly vyšší stabilitu a vyšší obsah organické hmoty.

Přínosem práce se rozumí zejména identifikace vlastností agregátů rozhodujících o jejich větší či menší stabilitě, a tedy následně o jejich schopnosti podílet se na tvorbě půdní struktury a ovlivňovat půdní procesy. Bakalářská práce rovněž potvrdila teorii, že by se do půdy měla přidávat organická hmota v podobě zapravování posklizňových zbytků či pokrýváním půdy organickými mulči. Mezi tyto mulče patří například kůra, dřevní štěpka a sláma, které byly rovněž použity pro účely této práce.

Závěr z teoretické části bakalářské práce je jednoznačný. Půdoochranná opatření na zemědělské půdě mají smysl a jejich implementace do praxe přináší zlepšení kvalitativních parametrů půdy, mezi které patří vysoké množství organické hmoty a odolná struktura, která hraje významnou roli v boji proti degradačním činitelům (zejména erozi). Závěrem lze také konstatovat, že k dobrému stavu půdy přispívá i vhodné obhospodařování půdy, což zahrnuje například obdělávání po vrstevnici, ponechávání posklizňových zbytků na orné půdě či vhodné užití meziplodin.

Tato práce přispěla k objasnění mechanismů stabilizace půdní struktury. Na základě jejích výsledků lze lépe pochopit některé principy, dále je studovat do větších detailů nebo se zaměřit na jejich uplatnění v praxi. V nadcházejících letech by se i nadále měla věnovat pozornost půdním agregátům a půdním charakteristikám ovlivňující infiltraci vody, strukturu půdy, obsah a kvalitu organické hmoty, která je zdrojem života v půdě. Pozornost by si rovněž zasloužovalo i studium konkrétních půdoochranných opatření používaných na zemědělské půdě, jejich vlivu na půdu, zadržování vody v krajině a zmírnění degradačních činitelů působících na půdě.

Zdroje

Seznam knižní literatury

- Bartošková K., Vlasák J., 2007: Pozemkové úpravy, 1. vydání. České vysoké učení technické v Praze, Praha, 168 s., ISBN 978-80-01-03609-9.
- Bedrna Z., 2002: Environmentálne pôdoznanectvo. Vydavateľstvo Veda. Bratislava, 352 s., ISBN 8022406600.
- Demo M., 1995: Obrábanie pôdy. Vysoká škola poľnohospodárska v Nitre, Nitra, 315 s., ISBN 80-7137-255-2.
- Demo M., 2000: Regulačné technológie v produkčnom procese poľnohospodárskych plodín. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre v spolupráci s Výskumným ústavom pôdoznanectva a ochrany pôdy, Nitra, 667 s., ISBN 80-7137-732-5.
- Dumbrovský M., 2004: Pozemkové úpravy, 1. vydání., Vysoké učení technické v Brně, Brno, 250 s., ISBN 80-214-2668-3.
- Gryndler M., Baláž M., Hršelová H., Jansa J., Vosátka M., 2004: Mykorhizní symbióza: o soužití hub s kořeny rostlin, 1. vydání, Nakladatelství Academia, Praha, 366 s., ISBN 80-200-1240-0.
- Hauptman I., Kukul Z., Pošmourný K., Bičík I., 2009: Půda v České republice. Ministerstvo životního prostředí a Ministerstvo zemědělství, Praha, 256 s., ISBN 80-903482-4-6.
- Holý M., 1994: Eroze a životní prostředí, 1. vydání. České vysoké učení technické v Praze, Praha, 383 s., ISBN 80-01-01078-3.
- Hraško J., Bedrna Z., 1988: Aplikované pôdoznanectvo. Vydavateľstvo Príroda, Bratislava, 474 s.
- Hůla J., Abrhám Z., Bauer F., 1997: Zpracování půdy. Nakladatelství Brázda, Praha, 140 s., ISBN 80-209-0265-1.
- Hůla J., Janeček M., Kovaříček P., Bohuslávek J., 2003: Agrotechnická protierozní opatření. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha, 48 s., ISSN 1211-3972.
- Jandák J., Pokorný E., Prax A., 2001: Půdoznanství, 1. vydání. Mendelova univerzita v Brně, Brno, 140 s., ISBN 80-7157-559-3.

- Jandák J., Pokorný E., Prax A., 2010: Půdoznalství, 3. vydání. Mendelova univerzita v Brně, Brno, 143 s., ISBN 978-80-7375-445-7.
- Janeček M., Dostál T., Dufková K. J., Dumbrovský M., Hůla J., Kadlec V., Konečná J., Kovář P., Krása J., Kubátová E., Kobzová D., Kudrnáčová M., Novotný I., Podhárská J., Pražan J., Procházková E., Středová H., Toman F., Vopravil J., Vlasák J., Jacko K., Váška J., 2012: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Praha, 117 s., ISBN 978-80-87415-42-9.
- Kutílek M., 1978: Vodohospodářská pedologie, 2. vydání. Státní nakladatelství technické literatury, Bratislava, 296 s., SNTL 04-721-78.
- Ledvina R., Horáček J., Šindelářová M., 1999: Geologie a půdoznalství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice, 200 s.
- McRae S. G., 1988: Practical Pedology: Studying soils in the field. Chichester, 253 p., ISBN: 0-85312-918-5.
- Novák P., 2008: Pedologické posouzení pozemku pokusné stanice ČZU v Praze Troji.
- Pavlů L., 2018: Základy pedologie a ochrany půdy. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 76 s., ISBN 978-80-213-2876-1.
- Pospíšil F., 1980: Obsah a složení humusu v půdách v českých zemích. Nakladatelství Academia, Praha, 89 s.
- Rajchard J., Kindlman P., Balounová Z., 2002: Ekologie II. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice, 119 s.
- Rehák Š., Janský L., 2000: Fyzika pôdy I: základné fyzikálne vlastnosti pôdy, 1. vydanie. Univerzita Komenského, Bratislava, 105 s., ISBN 80-223-1544-3.
- Sotáková S., 1982: Organická hmota a úrodnosť pôdy. Vydavateľstvo Príroda, Bratislava, 234 s.
- Šantrůčková H., 2014: Základy ekologie půdy, 1. vydání. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice, 116 s., ISBN 978-80-7394-480-3.
- Šarapatka B., 2014: Pedologie a ochrana půdy. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 232 s., ISBN 978-80-244-3736-1.

- Šimek M., 2005: Základy nauky o půdě. Jihočeská univerzita, Biologická fakulta, České Budějovice, 159 s., ISBN 80-7040-747-6.
- Šimek M., 2019: Živá půda: biologie, ekologie, využívání a degradace půdy. Nakladatelství Academia, Praha, 789 s., ISBN 978-80-200-2976-8.
- Šimek M., Elhottová D., Pižl V., 2015: Živá Půda: Výzkumný program – Rozmanitost života a zdraví ekosystémů, 1. vydání. Středisko společných činností Akademie věd ČR, v.v.i., pro Kancelář Akademie Věd ČR.
- Tomášek M., 2000: Půdy České republiky, 2. vydání. Český geologický ústav, Praha, 67 s., ISBN 80-7075-403-6.
- Valla M., Kozák J., Němeček J., Matula S., Borůvka L., Drábek O., 2000: Pedologické praktikum. Česká zemědělská univerzita, Agronomická fakulta, Katedra pedologie a geologie, Praha, 139 s., ISBN 80-213-0637-8.
- Valla M., Kozák J., Němeček J., Matula S., Borůvka L., Drábek O., 2002: Pedologické praktikum. Česká zemědělská univerzita, Agronomická fakulta, Praha, 151 s., ISBN 80-213-0914-8.
- Vlček V., 2015: Kvalita a zdraví půdy. Mendelova univerzita v Brně, Brno, 136 s., ISBN 978-80-7509-215-1.
- Vopravil J., 2009: Půda a její hodnocení v ČR. Díl I., Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha, 148 s., ISBN 978-80-87361-02-3.

Seznam odborných článků

- Angst G., Mueller K. E., Kögel-Knaber I., Freeman K. H., Mueller C. W., 2017: Aggregation controls the stability of lignin and lipids in clay-sized particulate and mineral associated organic matter, *Biogeochemistry*, 132, P. 307–324.
- Angst G., Mueller K. E., Nierop K. G. J., Simpson M. J., 2021: Plant – or microbial – derived? A review on the molecular composition of stabilized soil organic matter, *Soil Biology and Biochemistry*, 156, P. 1–16.
- Beneš P., 2006: Trendy a možnosti úspory nákladů. *Časopis Zemědělec*, č. 6, Profi Press, Praha, s. 11–16.

- Doran J. W., Parkin T. B., 1994: Defining and Assessing Soil Quality. In: Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Ellerbrock R. H., Gerke H. H., Bachmann J., Goebel M. O., 2005: Composition of Organic Matter Fractions for Explaining Wettability of Three Forest Soils, Soil Science Society of America Journal, P. 57–66.
- Fér M., Leue M., Kodešová R., Gerke H. H., Ellerbrock R. H., 2016: Droplet infiltration dynamics and soil wettability related to soil organic matter of soil aggregate coatings and interiors, Journal of Hydrology and Hydromechanics, P. 111–120.
- Jakšík O., Kodešová R., Kubiš A., Stehlíková I., Drábek O., Kapička A., 2015: Soil aggregate stability within morphologically diverse areas, Catena Journal 127, P. 287–299.
- Kubát J., Lipavský J., 2006: Steady state of the soil organic matter in the long-term field experiments, Plant, Soil and Environment, 52, P. 9–14.
- Kutílek M., 2008: The Change of Soil Physical properties due to Mechanical, Biological and Biochemical Factors. 5th International Soil Conference Soil Tillage – New Perspectives – Proceedings of the Conference, Brno, P. 51–58.
- Matějková Š., Šimon T., 2012: Application of FTIR spectroscopy for evaluation of hydrophobic/hydrophilic organic components in arable soil, Plant Soil Environ., P. 192–195.
- Mládková L., Rohošková M., Borůvka L., 2006: Methods for the Assessment of Humic Substances Quality in Forest Soils, Department of Soil Science and Geology, Czech University of Agriculture in Prague, Czech Republic, Soil and Water Res., 1, P. 3–9.
- Nimmo, J. R., Perkins, K. S., 2002: Aggregate stability and size distribution. In: Dane, J. H., Topp, G. C. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 4 – Physical Methods. Soil Science Society of America, Inc., Madison, USA, P. 317–328.
- Pavlů L., Kodešová R., Fér M., Nikodem A., Němec F., Prokeš R., 2021: The impact of various mulch types on soil properties controlling water regime of the Haplic Fluvisol, Department of Soil Science and Soil Protection, Czech University of Life Sciences Prague, P. 1–16.

- Pavlů L., Mühlhansellová M., 2018: Differences in humic acids structure of various soil types studied by DRIFT spectroscopy, *Czech University of Life Sciences Prague, Soil and Water Research*, 13, P. 29–35.
- Pimentel D., 2006: Soil erosion: A food and Environmental Threat. *Environment, Development and Sustainability* 8, P. 119–137.
- Scott H. D., 2000: *Soil Physics, Agriculture and Environmental Applications*, 1. Ed. Ames, State University Press, Iowa, P. 35–37.
- Swift R.S., 1996: Organic matter characterization, Sparks D. L. (ed.): *Methods of Soil Analysis, Part 3 – Chemical Methods*, Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc., Madison, P. 1011–1069.
- Thai S., Pavlů L., Tejnecký V., Vokurková P., Shahin N., Borůvka L., 2021: Comparison of soil organic matter composition under different land uses by DRIFT spectroscopy, *Czech University of Life Sciences Prague, Plant Soil Environ.*, 67, P. 255–263.
- Tobiašová E., Barančíková G., Gömöryová E., Koco Š., Halás J., Dębska B., Banach-Szott M., 2018: The proportion of soil aggregates in dependence on the fraction composition of humic substances, *Soil and Water Research*, 13, P. 193–199.
- Veum K. S., Goyne K. W., Kremer R. J., Miles R. J., Sudduth K. A., 2014: Biological indicators of soil quality and soil organic matter characteristics in an agricultural management continuum, *Biogeochemistry*, 117, P. 81–99.
- Zhang Z., Wei C. F., Xie D. T., Gao M., Zeng X. B., 2008: Effects of land use patterns on soil aggregate stability in Sichuan Basin, China. *Particuology* 6, P. 157–166.

Ostatní zdroje

- Novotný I., Papaj V., Podhárská J., Kapička J., Vopravil J., Kristenová H., Mistr M., Žížala D., Kincl D., Srbek J., Pochop M., Dostál T., Krása J., Kadlec V., 2017: *Příručka ochrany proti erozi zemědělské půdy*, 3. vydání. Ministerstvo zemědělství a Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha, 86 s., ISBN VÚMOP: 978-80-87361-67-2, ISBN MZe: 978-80-7434-362-9.

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obr. č. 1: Trojúhelníkový diagram určující zrnitost půdy dle USDA (Pavlů, 2018; Vopravil, 2009)..... | 9 |
| Obr. č. 2: Schéma vrstevnicového pásového střídání plodin (Janeček a kol., 2012) | 22 |
| Obr. č. 3: Pásové střídání plodin (Novotný a kol., 2017)..... | 22 |
| Obr. č. 4: Ukázka vrstevnicového obdělávání orné půdy (Novotný a kol., 2017) | 24 |
| Obr. č. 5: Ukázka mulče z posklizňových zbytků kukuřice (Novotný a kol., 2017)..... | 25 |
| Obr. č. 6: Porost kukuřice seté do přemrznuté hořčice bílé (Novotný a kol., 2017)..... | 25 |
| Obr. č. 7: Kukuřice setá současně s ochrannou podplodinou (ozimé žito), (Novotný a kol., 2017)..... | 25 |
| Obr. č. 8: Hrázkovač brambor (Novotný a kol., 2017)..... | 26 |
| Obr. č. 9: Fotografie experimentálních vzorků (autor, 2022)..... | 29 |
| Obr. č. 10: Půdní vlastnosti (pH půdy, množství uhlíku a stabilita agregátů WSA v hloubce 0 – 10 cm) mulčovaných trvalkových záhonů v letech 2015 – 2018 (Pavlů a kol., 2021)..... | 30 |
| Obr. č. 11: Wet sieving apparatus (autor, 2022)..... | 31 |
| Obr. č. 12: Sušárna se vzorky půdních agregátů (autor, 2022) | 32 |
| Obr. č. 13: Přímá titrace (stanovení množství C_{ox}) Mohrovou solí (autor, 2022)..... | 33 |
| Obr. č. 14: UV-VIS spektrofotometr (autor, 2022) | 35 |
| Obr. č. 15: Snímek netransformovaných IR spekter zkoumaných vzorků (autor, 2022)..... | 36 |
| Obr. č. 16: Fotografie DRIFTS spektrometru (autor, 2022)..... | 36 |
| Obr. č. 17: Výsledky obsahu C_{ox} u jednotlivých druhů mulčů pro půdu a agregáty (autor, 2022)..... | 39 |
| Obr. č. 18: Výsledky $Q_{4/6}$ u jednotlivých druhů mulčů pro půdu a agregáty (autor, 2022) | 40 |
| Obr. č. 19: Snímek IR spekter půdy a agregátů pod druhy mulčů vysvětlující části FTIR spektra (autor, 2022)..... | 41 |
| Obr. č. 20: Výsledky i_{AR} u jednotlivých druhů mulčů pro půdu a agregáty (autor, 2022)..... | 42 |
| Obr. č. 21: Výsledky PWI u jednotlivých druhů mulčů pro půdu a agregáty (autor, 2022) | 43 |
| Obr. č. 22: Snímek IR spekter půdy a agregátů pod jednotlivými druhy mulčů (autor, 2022) | 44 |

Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tab. č. 1: Půdní struktura dle velikosti agregátů (Jandák a kol., 2001) | 3 |
| Tab. č. 2: Klasifikace půd dle aktivní reakce (Šarapatka, 2014)..... | 6 |
| Tab. č. 3: Klasifikace půd dle výměnné reakce (Hauptman a kol., 2009)..... | 6 |
| Tab. č. 4: Vymezení zrnitostních frakcí a kategorií (Pavlů, 2018)..... | 8 |
| Tab. č. 5: Vztah půdní reakce, půdní struktury a pH (Pavlů, 2018) | 18 |
| Tab. č. 6: Hodnocení obsahu humusu dle Tjurina (Vopravil, 2009)..... | 33 |
| Tab. č. 7: Rozdělení půd dle obsahu humusu (Jandák a kol., 2010) | 33 |
| Tab. č. 8: Výsledky WSA u agregátů z roku 2018 a 2021 (data o WSA z roku 2018 od Pavlů a kol. 2021; data o WSA z roku 2021, autor, 2022)..... | 37 |
| Tab. č. 9: Výsledky C_{ox} , $Q_{4/6}$, PWI a i_{AR} u půdy (data o C_{ox} od Pavlů a kol., 2021; data o $Q_{4/6}$, PWI a i_{AR} , autor, 2022)..... | 38 |
| Tab. č. 10: Výsledky C_{ox} , $Q_{4/6}$, PWI a i_{AR} u agregátů (autor, 2022)..... | 38 |
| Tab. č. 11: Výsledky dvouvýběrového t-testu porovnávající data půd pod konkrétními druhy mulče u agregátů a půdy v rámci veličiny C_{ox} (autor, 2022)..... | 39 |
| Tab. č. 12: Výsledky dvouvýběrového t-testu porovnávající data půd pod konkrétními druhy mulče u agregátů a půdy v rámci veličiny $Q_{4/6}$ (autor, 2022) | 40 |
| Tab. č. 13: Výsledky dvouvýběrového t-testu porovnávající data půd pod konkrétními druhy mulče u agregátů a půdy v rámci veličiny i_{AR} (autor, 2022) | 42 |
| Tab. č. 14: Výsledky dvouvýběrového t-testu porovnávající data půd pod konkrétními druhy mulče u agregátů a půdy v rámci veličiny PWI (autor, 2022)..... | 43 |
| Tab. č. 15: Výsledky ANOVY porovnávající C_{ox} , $Q_{4/6}$, PWI a i_{AR} u půdy a agregátů (autor, 2022)..... | 45 |