

ČESKÁ ZEMEDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA PEDOLOGIE A OCHRANY PŮD



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta životního
prostředí**

**Stabilizace půdní struktury různými složkami půdní
organické hmoty**

Stabilization of soil structure by various components of soil
organic matter

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Bakalant: Anna Pourová

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

© 2023 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Anna Pourová

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

Stabilizace půdní struktury různými složkami půdní organické hmoty

Název anglicky

Stabilization of soil structure by various components of soil organic matter

Cíle práce

Cílem teoretické části této bakalářské práce je vytvoření uceleného literárního přehledu zabývajícího se mechanismy utváření a stabilizace půdní struktury a rovněž vlivem zpracování půdy na konkrétní půdní vlastnosti, které stabilitu půdní struktury ovlivňují.

Cílem experimentální části práce bude posouzení vlivu konkrétních půdních parametrů využívaných pro kvalitativní hodnocení půdní organické hmoty na stabilizaci půdních agregátů.

Splněním těchto cílů má student prokázat schopnost samostatné vědecké práce a rovněž potvrdit či vyvrátit následující vědecké hypotézy vztahující se k experimentální části práce.

- 1) Celkový obsah nízkomolekulárních organických kyselin (LMMOA) v půdě pozitivně koreluje se stabilitou půdních agregátů
- 2) Obsah jednotlivých LMMOA závisí na druhu porostu či zvolené agrotechnice.

Metodika

Stabilita půdní struktury je jedním z klíčových ukazatelů kvality půdního prostředí. Půdní struktura definuje prostorové uspořádání půdy. Ovlivňuje tak infiltraci srážek do půdy, zadržování vody v půdním profilu, provzdušnění půdy a prostor i kvalitu prostředí pro půdní organismy. Významně tedy ovlivňuje základní funkce půdy. Její stabilita do značné míry závisí na kvalitativních parametrech půdní organické hmoty, na aktivitě a množství půdních organismů, ale také na zpracování půdy a na jejím využívání.

V rámci experimentální části BP budou na plochách s různým vegetačním krytem či agrotechnikou odebrány půdní vzorky. Bude stanovena stabilita půdních agregátů metodou WSA, bude zjištěn obsah oxidovatelného uhlíku, obsah rozpustné organické hmoty a obsahy nízkomolekulárních organických kyselin. Tyto parametry a jejich závislosti budou zhodnoceny a posouzeny pomocí vhodných statistických metod.

Doporučený rozsah práce

Podle platných pokynů pro vypracování bakalářské práce.

Klíčová slova

půda, půdní struktura, půdní organická hmota

Doporučené zdroje informací

- 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: article number 104748.
- Pavlů L, Kodešová R, Vašát R, Fér M, Klement A, Nikodem A, Kapička A 2022: Estimation of the stability of topsoil aggregates in areas affected by water erosion using selected soil and terrain properties. Soil and Tillage research 219, 105348.
- ŠARAPATKA, B. Pedologie a ochrana půdy. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-3736-1.
- ŠIMEK, Miloslav et al. Živá půda: biologie, ekologie, využívání a degradace půdy. Praha: Academia, 2019. 789 s. ISBN 978-80-200-2976-8.
- Thai, S., Davídek, T., Pavlů, L. 2022: Causes clarification of the soil aggregates stability on mulched soil. Soil and Water Research 17 (2): 91–99.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Ing. Lenka Pavlů, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra pedologie a ochrany půd

Elektronicky schváleno dne 4. 5. 2022

prof. Dr. Ing. Luboš Borůvka

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 29. 7. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 02. 11. 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma "Stabilizace půdní struktury různými složkami půdní organické hmoty" pod vedením vedoucí práce doc. Ing. Lenky Pavlů, Ph.D. vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, 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 vědoma, že odevzdáním bakalářské/závěrečné 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 _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala své vedoucí bakalářské práce, doc. Ing. Lence Pavlů, Ph.D., především za odborné vedení této práce, za její čas, cenné poznatky a možnost častých osobních konzultací.

Děkuji také svým rodičům, kteří mi svojí podporou pomohli ke zdárnému dokončení bakalářské práce.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce bylo vytvoření uceleného literárního přehledu zabývajícího se mechanismy utváření a stabilizace půdní struktury a také vlivem zpracování půdy na konkrétní půdní vlastnosti, které mají vliv na stabilitu půdní struktury. V experimentální části bylo za cíl posouzení vlivu konkrétních půdních parametrů, které se využívají za účelem kvalitního hodnocení půdní organické hmoty na stabilizaci půdních agregátů.

V rámci experimentální části byly odebrány půdní vzorky pro čtyři varianty porostů ze dvou lokalit, konkrétně z Kyjí a Suchdola a byly hodnoceny následující vlastnosti půdy. Byla posouzena stabilita půdních agregátů pomocí metody WSA, množství organického uhlíku (C_{ox}), kvalita humusu byla spektrometricky stanovena pomocí barevného koeficientu $Q_{4/6}$ a iontovou chromatografií bylo určeno množství nízkomolekulárních kyselin (LMMOA).

Na začátku práce byly stanoveny dvě hypotézy. V té první bylo potvrzeno v rámci experimentu, že celkový obsah nízkomolekulárních organických kyselin (LMMOA) v půdě pozitivně koreluje se stabilitou půdních agregátů. Bylo zjištěno, že čím větší množství LMMOA bylo pomocí iontové chromatografie naměřeno, tím byla vyšší stabilita půdních agregátů.

Druhá hypotéza se částečně potvrdila v teoretické části a měřením byla zjištěna její celková platnost. Obsah jednotlivých LMMOA byl ovlivněn druhem porostu či zvolenou agrotechnikou. Výzkum ukázal, že vyšší obsah LMMOA byl pod porostem luscoobilné směsi, a zároveň že byly větší rozdíly detekovány u hodnot WSA, kde je prokazatelný vliv vegetačního krytu při srovnání s polem bez vegetace.

Z výsledků dále vyplývá, že stabilita půdních agregátů z lokality Kyje je mnohem vyšší než v zemědělské půdě v Suchdole, díky vyššímu množství či kvalitě organické hmoty.

Klíčová slova

Půda, půdní struktura, půdní organická hmota

Abstract

The aim of this bachelor thesis was to create a comprehensive literary overview dealing with on the mechanisms of soil structure formation and stabilization, with the influence of soil processing on specific soil properties that affect soil structure stability. The experimental part aimed to assess the impact of specific soil parameters that are used to effectively evaluate the stabilization of soil aggregates by soil organic matter.

As part of the experimental section, soil samples were collected for four vegetation types from two locations, specifically from Kyje and Suchdol, and the following soil properties were evaluated. The stability of soil aggregates was assessed using the WSA method, the amount of organic carbon (C_{ox}) was measured, humus quality was determined spectrometrically using the $Q_{4/6}$ color coefficient, and the amount of low molecular weight organic acids (LMMOA) was measured by ion chromatography.

At the beginning of the study, two hypotheses were proposed. The first hypothesis was confirmed in the experiment, showing that the total content of low molecular weight organic acids (LMMOA) in the soil positively correlates with soil aggregate stability. It was found that the higher the amount of LMMOA measured by ion chromatography, the higher the stability of soil aggregates.

The second hypothesis was partially confirmed in the theoretical part, and its overall validity was determined through measurements. The content of individual LMMOAs was influenced by the vegetation type and chosen agrotechnics. The research showed that higher levels of LMMOA were found under legume-based vegetation, and larger differences were detected in WSA values, indicating the influence of vegetation cover compared to bare fields.

The results also show that the stability of soil aggregates from the Kyje site is much higher than that of agricultural soil in Suchdol, due to a higher amount or quality of organic matter.

Keywords:

Soil, soil structure, soil organic matter

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíle práce	2
3	Literární rešerše	3
3.1	Struktura půdy	3
3.2	Fyzikálně-chemické vlastnosti půd	5
3.2.1	Zrnitost půdy	5
3.2.2	Popis charakteristik sorpčního komplexu	7
3.2.3	pH půdy	8
3.3	Půdní organická hmota	11
3.3.1	Primární půdní organická hmota	11
3.3.2	Přeměny půdní organické hmoty	12
3.3.3	Humus	13
3.4	Rozpustná organická hmota	15
3.5	Edafon	17
4	Experimentální část – metodika.....	19
4.1	Studované lokality	19
4.2	Odběr vzorků	21
4.3	Metodika laboratorních pokusů	23
4.3.1	Stanovení stability půdních agregátů	23
4.3.2	Stanovení množství organického uhlíku	24
4.3.3	Stanovení kvality humusových látek	26
4.3.4	Stanovení množství organických a anorganických aniontů	27
4.3.5	Zpracování dat.....	28
5	Experimentální část – výsledky	29
5.1	Stanovení stability půdních agregátů	29
5.2	Množství organického uhlíku v půdě	29
5.3	Kvalita humusových látek	30
5.4	pH půdy	31
5.5	Množství aniontů v půdě	31
5.5.1	Anorganické anionty	31
5.5.2	Organické anionty	33
5.5.3	ANOVA	33
5.5.4	Korelační analýza.....	34
6	Experimentální část – diskuse.....	35

6.1	Varianta KYJE	35
6.2	Varianta ŘEPKA	36
6.3	Varianta OV+P	37
6.4	Varianta "KUK"	37
7	Závěr	39
8	Přehled literatury a použitých zdrojů.....	40
8.1	Seznam knižní literatury	40
8.2	Seznam odborných článků.....	42
8.3	Ostatní zdroje	45
9	Seznam obrázků.....	45
10	Seznam tabulek	46
11	Přílohy	46

1 Úvod

Půda je neobnovitelný přírodní zdroj živin, který se nedá ničím nahradit. Proces, při kterém vzniká půda, se nazývá pedogeneze.

Povrchová vrstva souše, známá také jako půda, je komplexním třífázovým dynamickým systémem, který se formuje pod vlivem různých půdotvorných faktorů a podmínek. Tyto faktory zahrnují matečnou horninu, která se díky procesům zvětrávání přeměňuje v půdu, klimatické podmínky, rostlinný růst, aktivitu půdních organismů, množství vody a také lidskou činnost. Již od pravěku znamenala půda pro člověka hlavní zdroj obživy a využíval jej pro své zemědělské účely. Zejména vliv lidského faktoru přispěl k vzniku nových půd.

Mezi podmínky procesu pedogeneze patří čas a reliéf. Na rozdíl od půdotvorných faktorů tyto podmínky aktivně půdu neformují, pouze u některých typů ovlivňují její vznik.

Funkce půdy dělíme na produkční a mimoprodukční. Produkční funkce se zabývá půdou jako využitelným zdrojem pro zemědělství a lesnictví. Rozsah této funkce závisí na úrodnosti půdy, což znamená, v jaké míře je půda schopná poskytnout životní podmínky pro rostliny a edafon v ní žijící. Naopak mimoprodukční funkce je více soustředěná na vnitřní procesy v půdě jako je schopnost zadržovat, filtrovat a transformovat látky. Do tohoto typu funkce jsou zahrnovány látky vyskytující se přirozeně v přírodě a také látky antropogenní, které mají povahu hnojiv, pesticidů nebo kontaminantů.

Důležitou vlastností půdy je její struktura. Vyjadřuje, jakým způsobem jsou v půdě uspořádány jednotlivé tuhé agregáty. Toto uspořádání ovlivňuje velikost životního prostoru pro půdní edafon a rostliny. Poté má také zasluhu na zachytávání vody v půdě a také přístupnost půdního roztoku a vzduchu. Pokud je tato struktura stabilní, tak má půda ty největší předpoklady pro kvalitní plnění svých funkcí.

Soubor veškerých neživých organických látek, které se vyskytují na povrchu půdy nebo v ní se nazývá půdní organická hmota. Zvýšení množství organické hmoty má pozitivní dopad na strukturu půdy a může zvýšit její stabilitu.

2 Cíle práce

Cílem teoretické části bakalářské práce je vytvoření uceleného literárního přehledu zabývajícího se mechanismy utváření a stabilizace půdní struktury a rovněž vlivem zpracování půdy na konkrétní půdní vlastnosti, které stabilitu půdní struktury ovlivňují.

V experimentální části bakalářské práce je cílem posouzení vlivu konkrétních půdních parametrů využívaných pro kvalitativní hodnocení půdní organické hmoty na stabilizaci půdních agregátů.

Hypotézy:

- 1) Celkový obsah nízkomolekulárních organických kyselin (LMMOA) v půdě pozitivně koreluje se stabilitou půdních agregátů.
- 2) Obsah jednotlivých LMMOA závisí na druhu porostu či zvolené agrotechnice.

3 Literární rešerše

3.1 Struktura půdy

Dle Miloslava Šimka a jeho kolegů (2019) se vyvíjí struktura půdy paralelně se vznikem půdy. Je dána uspořádáním, množstvím a také velikostí pórů a pevných částic, na které působí tři druhy sil, a to biologické, chemické a fyzikální. Velikost a tvar částic půdy udávají schopnost půdy tvořit více nebo méně stabilní půdní strukturu (Jandák a kol., 2001).

Prostor mezi těmito částicemi je zpravidla vyplňován půdním vzduchem nebo půdní vodou a nazýváme jej póry (Šantrůčková, 2014). Tvar, velikost, součet pórů v procentech a distribuci pórů v půdě udává pórovitost. Hlavními faktory, které ovlivňují míru pórovitosti půdy, jsou tvar jednotlivých půdních agregátů, jejich zrnitostní složení a uspořádání v půdě. Tyto faktory určují celkový objem pórů v půdě, stejně jako velikost a směr těchto pórů. Vzhledem k tomu, že tyto faktory ovlivňují chování půdní vody a vzduchu, jsou velmi důležité pro popis vlastností půdy (Pavlů, 2019). U povrchových horizontů tvoří póry zpravidla ze 40-60 % objemu (Šimek a kol., 2019). Druhy pórů dělíme podle velikosti do tří skupin na makropóry, což jsou takové, které mají průměr větší než 30 μm a potenciál větší než -0,05 MPa. Poté máme mezopóry s průměrem 0,15-30 μm a s potenciálem -1,5 až -0,05 MPa a jako mikropóry jsou označovány takové póry, které mají průměr <0,15 μm a dokáží zadržet vodu s potenciálem pod -1,5 MPa (Lavelle, 2012). Lavelle a Spain (2001) definují mikropóry jako póry natolik malé, aby kapilární síly byly schopny zadržet vodu. Dále dělíme póry na kapilární a nekapilární. Komplex půdních pórů vytváří pórézní systém půd (Rejšek a Vácha, 2018).

V půdě se postupem času hromadí půdní částice, které se spojují do shluků za určitých chemických a fyzikálních vlivů. Tyto vlivy mohou zahrnovat například koagulaci organických a minerálních koloidů působením výměnných kationtů. V důsledku toho se tyto shluky spojí do větších objektů, které se nazývají agregáty (Pavlů, 2019). Podle jejich velikosti rozdělujeme strukturu půdy do tří skupin a to mikrostrukturu, makrostrukturu a megastrukturu (tabulka č. 1).

Půdní struktura dle velikosti agregátů:

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

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

Agregáty tvořící půdní strukturu mají různé tvary, velikosti a prostorová uspořádání. Struktura podle velikosti a tvaru půdních agregátů je dělena na polyedrickou, kulovitou, prismatickou, sloupkovitou a deskovitou (Šarapatka, 2014).

U hodnocení půdní struktury lze určit strukturní typ, třídu a stupeň. Terminologie strukturních typů půdy není jednotná, avšak se vědci shodují, že nejlepší vlastnosti má strukturní typ drobtovitý (Šimek a kol., 2019). Jeho struktura je základem půdního garé, neboli půdy zdravé a úrodné (Hradil, 2015). Míra drobtovitosti je závislá na malé soudržnosti mezi jednotlivými částicemi. U částic drobtovitých a částic s plochami méně dotýkavými jsou přitažlivé síly velmi malé. Například kulovitý tvar částic má málo ploch dotykových, a proto mezi těmito částicemi nejsou velké přitažlivé síly a půda se drobí. Na druhou stranu u částic, které disponují mnoha dotykovými plochami dochází vlivem velkých přitažlivých sil k pedokompakci (Ledvina a kol., 1992).

Rozdělení půd podle vývoje struktury (Jandák a kol., 2001):

- **Půdy strukturní (s dobře vyvinutou strukturou):** agregáty lze snadno oddělit a jsou ve vodním prostředí stabilní
- **Půdy jemně strukturní (převládá špatně vyvinutá struktura):** vyskytuje se zde vyšší podíl nestrukturního materiálu
- **Půdy nestrukturní (s nevyvinutou strukturou):** půdy s nerozpoznatelnými strukturními agregáty, tvořeny tzv. pseudoagregáty, které jsou nestrukturní a nestabilní ve vodním prostředí

Strukturní stupeň vyjadřuje míru diferenciacce agregátů. Šimek a kol. (2019) uvádí, že je bezstrukturní půdě přiřazen stupeň 0 a pro zcela zřetelnou strukturu půdy stupeň 3.

Při přirozených jevech jako je tvorba půdní struktury a vznik agregátů záleží na mnoha proměnných jako je obsah a kvalita organické hmoty, množství půdních koloidů, výměnné kationty v koloidním systému, fyzikálně-chemické procesy apod. Hlavně fyzikálně-chemické procesy mají velký význam v utváření půdy, a proto uspořádání půdních částic třídíme do 3 kategorií. První je struktura elementární, kde primární půdní částice nejsou stmeleny agregáty. Další kategorií je koherentní struktura, při níž primární půdní částice jsou stmeleny do relativně pevných útvarů a poslední je struktura agregátová, což je půda, při které se vlivem humusových látek a jílu stmelují půdní částice (Šarapatka, 2014).

Se složením těchto agregátů souvisí půdní kvalita, která je definována jako půdní schopnost udržující biologickou produktivitu, kvalitní životní prostředí a zdraví rostlin a živočichů za určitých podmínek využití půdy (Doran a Parkin, 1994).

Na utváření půdních agregátů se podílí také mnoho přírodních procesů jako je působení mrazu, prorůstání kořenů, vysychání půdy nebo činnost edafonu. Pevnost struktury agregátů je dána pojivem, které se nachází mezi jeho jednotlivými částmi. Tyto tmelící látky obalují pevné částice půdy a vytvářejí z nich větší a stabilnější celky. Patří mezi ně například uhličitany, sesquioxidy, jílnaté částice (Šantrůčková, 2014). Dalším významným pojivem je skupina látek humusových, zejména huminové kyseliny (Hraško a kol., 1962).

3.2 Fyzikálně-chemické vlastnosti půd

3.2.1 Zrnitost půdy

Pojem zrnitost půdy je chápán jako půdní druh nebo samotná textura půdy, která má vliv na veškeré fyzikální, chemické a biologické půdní vlastnosti. Ovlivňuje obsah a složení edafonu, množství vody ve vzduchu a v půdě, velikost povrchové plochy a energie, poměr kapilárních a nekapilárních pórů, adhezi a kohezi, chemické, fyzikálně-chemické a biochemické procesy v půdách (Prax a kol., 1995). Zrnitostní složení půdy vychází především ze zastoupení různých velikostí minerálních částic v půdě (Tomášek, 2000).

Matečná hornina je klíčovým faktorem ovlivňujícím zrnitost půdy. Pokud má matečná hornina měkkou strukturu, která je obvykle tvořena pískovcem nebo spraší, výsledná půda bude jemnozrná. Naopak u půd vzniklých z matečných hornin s vysokým obsahem křemene je zrnitost hrubší (Tomášek, 2000). Složení zrn půd ovlivňuje minerální části pevné fáze půdy a míru zvětrávání matečné horniny (Prax a kol., 1995). Poměr jednotlivých frakcí půdy určuje půdě její druh. Za nejdůležitější se pokládá kombinace skeletu o velikosti zrn > 2 mm a zrn jemnozeme o velikosti $2 < \text{mm}$ (Tomášek, 2000). Vymezení zrnitostních frakcí a kategorií uvádí tabulka č. 2.

Frakce	Průměr zrn [mm]	Kategorie
Koloidní jíl	$<0,0001$	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
Štěrk	$4 - 30$	
Kamení	>30	

Tab. 2: Vymezení zrnitostních frakcí a kategorií (Pavlů, 2019)

Dle Pavlů (2019) u některých velikostních frakcí se liší hranice v jednotlivých systémech hodnocení. Jemnozeme (frakce o velikosti do 2 mm) je rozhodující pro stanovení půdního druhu a je používána na chemické rozborů. Frakce, které jsou větší než 2 mm jsou označovány jako skelet. Ten se ale před rozborů pomocí přesátí přes síto odstraní, protože z chemického hlediska je považován za inertní.

Obsah jednotlivých druhů frakcí v půdě má vliv na obhospodařování půd. Snadněji se obdělávají půdy písčité, naopak náročnější péče je o půdy s vysokým obsahem skeletu nebo o půdy jílovité. Naopak u jílových půd je mnohonásobně více prostoru pro sorpci než u půd písčitých, která je zajišťována velkým specifickým povrchem jílnatých částic. Dalším aspektem, na který má vliv na zrnitostní složení je chování vody v půdním prostředí. Ta protéká daleko snadněji do hloubky v půdách s velkým obsahem zrn písku, která mají mezi sebou systém velkých pórů. V půdách

jílových jsou póry výrazně menší. Za nejvíce přínosnou frakci pro potřebu hospodaření s ohledem na veškeré vlastnosti půdy se pokládá frakce prachu, díky jejímu pozitivnímu vlivu na technologické, fyzikální, chemické i biologické půdní vlastnosti (Pavlů, 2019).

Půdní druh se hodnotí podle tzv. Novákovy klasifikace (tabulka č. 3). Jedná se o nejjednodušší stupnici, která hodnotí druhy půd podle procentického zastoupení I. zrnitostní kategorie (Pavlů, 2019).

Půdní druh	Zkratka	Obsah I. kategorie	
Písčítá	p	<10 %	Lehké půdy
Hlinito písčítá	hp	10 – 20 %	
Písčitohlinitá	ph	20 – 30 %	Středně těžké půdy
Hlinitá	h	30 – 45 %	
Jílovitohlinitá	jh	45 – 70 %	Těžké půdy
Jílovitá	jv	60 – 75 %	
Jíl	j	>75 %	

Tab. 3: Půdní druhy podle Nováka (Pavlů, 2019)

Existují i další způsoby hodnocení půdních druhů, u kterých se využívají k hodnocení všechny kategorie. Jedním takovým způsobem je trojúhelníkový diagram pro určování půdních druhů, který je složitější, ale určuje více druhů půd, konkrétně 12 (Vopravil, 2009; Pavlů, 2019).

3.2.2 Popis charakteristik sorpčního komplexu

Půdní sorpční komplex je brán jako skupina koloidů podílejících se na půdních reakcích. Vlastnosti jednotlivých půdních částic udávají velikost sorpčního komplexu. Největší prostor pro působení sorpce poskytují organické sloučeniny, zejména látky huminové. Sorpční komplex je nositelem záporného náboje, který se dělí na permanentní (konstituční) a variabilní. Permanentní náboj je dán izomorfní substitucí v jílových minerálech a variabilní náboj je dán disociací hydroxylových a karboxylových skupin na minerálech i organické hmotě a závislý na pH. Obecně v porovnání např. se zrnkem křemene mají vrstevnaté jílové minerály přínosnější povrch ideální pro sorpci (Pavlů, 2019).

Sorpce v půdě může být definována jako schopnost půdy poutat různé sloučeniny i jejich jednotlivé části jako jsou molekuly či ionty. Tímto procesem dochází ke zvýšení koncentrace určité látky na povrchu částice, která sorbuje (Ledvína R. a kol, 1992). Do procesu sorpce je zahrnut sorbent (látko sorbující=koloid), sorbát (látko poutaná= Ca^{2+} , Al^{3+} , Mg^{2+}) a solvent (rozpouštědlo=voda). Na několika vlastnostech těchto třech proměnných a na jejich vzájemné kombinaci závisí pevnost sorpčních sil. Popisujeme mnoho podob průběhů procesu sorpce (Pavlů, 2019).

Dělení sorpcí podle mechanismu (Pavlů, 2019):

- **Mechanická sorpce:** mechanické zadržení hrubě disperzních částic, agregátů, sraženin či velkých molekul v pórech a dutinách
- **Fyzikální sorpce:** týká se především molekul a je určena povrchovými jevy na fázovém rozhraní (van der Waalovy síly, vodíkové můstky)
- **Fyzikálně chemická sorpce:** iontová výměna mezi povrchem částic a roztokem
- **Chemická sorpce:** řízena produkty s rozpustnými účinky a zahrnuje tvorbu nerozpustných nebo méně rozpustných sloučenin
- **Biologická sorpce:** proces poutání živin v tělech rostlin a mikroorganismů

Sorpční vlastnosti půdy jsou charakterizovány množstvím sorbovaných bází (S), sorpčním nasycením (%V), sorpční kapacitou (T) a hydrolytickou kyselostí (H) (Hraško J., Bedrna Z., 1988).

3.2.3 pH půdy

Jednou z nejvýznamnějších charakteristik půdy je její půdní reakce, kterou vyjadřuje hodnota pH. To označuje potenciál vodíku a jeho hodnota indikuje záporný dekadický logaritmus koncentrace vodíkových iontů. Půdní reakce má vliv na mnoho faktorů, jako je růst rostlin, složení edafonu, humifikaci a pedogenezi. Pro posouzení půdního stavu se používá stupnice pH, která se pohybuje v rozmezí 0-14. Pokud se pH blíží k 0, znamená to, že půda je silně kyselá a obsahuje nadbytek H^+ iontů. Naopak, pH blíží se k 14 značí alkalickou nebo zásaditou půdu s nadbytkem OH^- iontů. Hodnoty pohybující se kolem čísla 7 jsou brány jako neutrální (Bedrna, 2002).

To, jestli má půda charakter kyselý, zásaditý nebo neutrální je potřeba vědět kvůli parametrům, které jsou vlivem pH ovlivněny např. rozpustnost různých sloučenin, síla vazby výměnných iontů, aktivita makroorganismů aj. (Ledvina a kol, 1992).

Půdní reakce jsou vztahovány na půdní roztok (Demo a kol., 2000). Mohou být zpomalovány v závislosti na časovém horizontu nebo naopak urychlovány různými chemickými procesy. Především jsou určeny aktivitou volných iontů H^+ a OH^- a vyjádřeny pomocí hodnot pH (Kutílek, 1978). Za předpokladu, že má půda nasycený sorpční komplex, tak obsahuje mnoho hydroxidů, solí a dalších prvků jako je např. sodík, hořčík, železo, draslík, vápník a hliník. Množství jílových minerálů a organické hmoty v půdě může ovlivnit rychlost půdní reakce. V případě, že půda obsahuje malé množství těchto materiálů, tak automaticky podléhá změnám pH. Půdy s vysokým podílem písčitých částic, minimálním obsahem uhličitánů a solí nebo slabě humózní půdy jsou náchylné k acidifikaci a narušení struktury. Naopak mezi odolnější půdy proti acidifikaci a jiným nežádoucím vlivům jsou řazeny půdy humózní, jílové a také karbonátové (Bedrna, 2002).

Existuje mnoho forem půdních reakcí. Těmi nejčastějšími jsou aktivní, výměnná a hydrologická (Šarapatka, 2014). Za aktivní půdní reakci je označována taková reakce, která je způsobována především rozpustností zásaditých solí nebo kyselin. Bývá stanovena pomocí tzv. vodního filtrátu nebo v suspenzi zeminy a vody v poměru 1:2,5 (Kutílek, 1978). Její pH obvykle nabývá hodnot v půdách od 5 do 7, takže se jedná spíše o slabě kyselé zeminy. Symbol pro její označení v praxi je pH_{H_2O} (Ledvina a kol., 1992).

Reakce půdy ovlivňuje několik půdních aspektů (např. adsorpci a desorpci iontů rostlinných živin, celkové složení půdního roztoku, činnost a skladbu půdních mikroorganismů, rozpustnost iontů a sloučenin s toxickými účinky atd.) (Ledvina, 1992). Hlavní vliv má ale půdní reakce na strukturu půdy z důvodu, že pH ovlivňuje koagulaci a peptizaci koloidů. V průběhu těchto dvou procesů dochází ke vzniku a rozpadu mikroagregátů, jenž tvoří stabilní strukturu půdy. Půdní koloidy se v půdě vyskytují v podobě koloidního roztoku (solu) nebo mohou být vločkovány (gel). Velmi stabilní půdní struktura vznikne za předpokladu, že půda obsahuje dostatek koloidů a dvojmocných kationtů vápníku a hořčíku nesoucí opačný náboj než koloidy

(Šarapatka, 2014). Dle druhů půdních reakcí byly půdy klasifikovány do několika kategorií vztažených k výsledné hodnotě pH (tabulka č. 4 a č. 5).

Označení	pH/KCl
Extrémně kyselé	<4,5
Silně kyselé	4,6 – 5
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. 4: Klasifikace půd dle výměnné reakce (Hauptman a kol., 2009)

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
Alkalické	8 – 9,4
Silně alkalické	>9,4

Tab. 5: Klasifikace půd dle aktivní reakce (Šarapatka, 2014)

Naměřené hodnoty pH půdy z určité části závisí na použitých laboratorních postupech, kterými jsou poměr půdy a roztoku, složení elektrolytu v půdním roztoku, poměr míchání během měření a poloha kanelové elektrody během měření u vzorků, které nesmí být míchány (Sumner, 1994; Thomas, 1996). Koncentrace elektrolytu v půdním roztoku je jedním z nejvýznamnějších faktorů ovlivňující naměřenou hodnotu pH půdy. Z důvodu toho, že se koncentrace elektrolytů v půdách se zemědělským charakterem může v průběhu roku nebo i mezi jednotlivými roky značně změnit, může datum odběru vzorků při měření pH půdy v deionizované vodě vést k velmi proměnlivým hodnotám pH u měřených vzorků se stejným procentem nesyacení bází (Kissel a kol., 2009).

3.3 Půdní organická hmota

Půdní organickou hmotu je možné definovat jako soubor všech neživých organických látek, které je možné najít na povrchu půdy nebo jsou její součástí (Pavlu, 2019). Tvoří ji částičky půdní organické hmoty, rozpuštěná půdní organická hmota, inertní půdní organická hmota a humus (Vlček, 2015). Je jedním z hlavních parametrů, které je měřítkem pro hodnocení kvality a celkového stavu půdy (Bastida a kol., 2006).

3.3.1 Primární půdní organická hmota

Primární půdní organickou hmotu tvoří odumřelé části vegetace a mikroflóry, které jsou součástí půdního profilu nebo jsou do něj vpraveny ve formě posklizňových zbytků či organických hnojiv. Malá skupina organických látek je do půdy přivedena ve formě spadů a splachů (Šimek, 2003).

Složení půdní organické hmoty je v půdě určeno stavem organického materiálu v různých stádiích rozkladu. Rychlost rozkladu závisí na látkovém složení materiálu a do jisté míry i na půdních podmínkách (tabulka č. 6).

Složka	Poločas rozpadu
Kořenové sekrety	několik dní
Mikrobiální biomasa, kořenové sekrety	několik týdnů
Hrubší kořeny a části rostlin	až několik let

Tab. 6: Stabilita nejvýznamnějších složek primární organické hmoty v půdě (Vaněk a kol. 2009)

Tato část organické hmoty působí v půdě jako zdroj energie pro mikroorganismy, zlepšuje fyzikální vlastnosti půd, vytváří se z ní humusové látky a její mineralizací je produkováno CO_2 a i další minerální látky. Představuje dynamickou část půdy díky kolísání přísunu obsahu organických látek do půdy a průběhu mikrobiálních procesů (Vaněk a kol., 2009).

Zdrojem primární organické hmoty jsou kořeny rostlin, kořenové sekrety, mikroorganismy, makroedafon, opad a zbytky nadzemních částí rostlin, organická hnojiva a také meziprodukty rozkladu organické hmoty (Agromanual, ©2019).

3.3.2 Přeměny půdní organické hmoty

Přeměny půdní organické hmoty se především týkají organické hmoty nerozložené. Ta se zapojuje do potravních řetězců, a tím do toků látek a energií. Procesy tohoto typu jsou základním kamenem pedogeneze. Rozlišujeme čtyři typy přeměny organické hmoty v půdě – mineralizaci, ulmifikaci, karbonizaci a humifikaci (Pavlů, 2019).

Mineralizace je proces rozkladu látek, na kterém se účastní fyzikální, chemické a nejvíce biologické procesy. Při primární mineralizaci dochází k rozkládání tuků, cukrů, aminokyselin, polysacharidů, proteinů atd. Jednotlivé tyto složky jsou využity jako zdroj výživy pro rostliny a mikroorganismy, vyplavovány do vod podzemních, vázány na sorpční komplex nebo jsou uvolňovány do ovzduší. V průběhu sekundární mineralizace dochází k rozkládání humifikovaných organických látek (Šarapatka, 2014).

Procesy ulmifikace a karbonizace jsou výjimečné díky tomu, že probíhají za absence vzdušného kyslíku. Při tomto procesu dochází ke hromadění energeticky bohatých meziproductů rozkladu. V průběhu ulmifikace, nebo také rašelinění, dochází k nekompetentní biodegradaci, a proto je zpracován jen určitý díl organického materiálu (bílkovina, celulóza). Nadcházející degradace je pozastavována střádáním polyfenolproteinových komplexů na buněčných stěnách. Podstatou tohoto ukládání je vznik fenolů díky fragmentaci ligninu a proteinu pomocí rozkladu bílkovin. Podstatou karbonizace neboli uhelnatění, je vznik humusového uhlí. Na rozdíl od základního materiálu vstupujícího do přeměny má humusové uhlí jako látka z ní vycházejí více uhlíku a menší obsah kyslíku, dusíku a vodíku ve své struktuře (Pavlů, 2019).

Humifikace je v návaznosti na půdotvorný proces zásadní přeměnou organické hmoty (Pavlů, 2019). Jedná se o proces, při kterém dochází k přeměně biologických zbytků na jednoduché sloučeniny, které podléhají mikrobiálnímu rozkladu, včetně aminokyselin, fenolů, sacharidů atd. Následně se jednoduché sloučeniny s nízkou molekulovou hmotností přeměňují na rezistentnější organické sloučeniny známé jako tmavohnědé huminové látky-huminové kyseliny, fulvokyseliny nebo humin (Zhang a kol., 2017). Jedná se o skupinu specificky půdních, stabilních látek, ve kterých je pevně poután jak uhlík, tak i energie. Mají podobnou strukturu a jejich vývoj trvá desítky až stovky let. Společnými znaky jsou aromatický základ molekul a na něm postranní alifatické řetězce. Kritériem, podle kterého jsou rozlišovány fulvokyseliny

od kyselin huminových je podíl alifatické a aromatické části (Stevenson, 1994). Jedná se o stabilní sloučeniny poměrně odolné vůči mikrobiálnímu rozkladu. Na rozdíl od materiálu, ze kterého vznikly obsahují vyšší množství uhlíku i dusíkatých součástí (Pavlů, 2019).

3.3.3 Humus

Humus je součást půdy, která je i díky jeho obsahu a vlastnostem uznávána jako jeden z hlavních přírodních zdrojů pro zemědělské účely. Humus lze definovat jako stabilizovanou organickou hmotu, která se může dělit na huminové kyseliny, fulvokyseliny a humin. V půdě je úzce vázán na jíly a je odolný vůči degradaci. Jeho přítomnost podporuje utváření půdní struktury a její stabilitu. Půdní struktura je velmi důležitá, protože má pozitivní vliv na půdu, její funkce i rostliny zakořeněné v ní (Ortega a Fernandez, 2007). Humus tak přímo nebo nepřímo ovlivňuje půdní prostředí, které funguje jako zásobárna vody a živin, omezuje a eliminuje mobilitu rizikových prvků v prostředí (Sotáková, 1982).

Huminové kyseliny je možné charakterizovat jako vyzrálejší, tmavší látky s větším podílem aromatických součástí ve své struktuře a s hydrofobním charakterem. Stabilizují uhlík v půdním prostředí, mají nízkou mobilitu a vysokou schopnost sorpce, což znamená, že nepropustí živiny a rizikové prvky do podzemních vod (Pavlů, 2019).

Fulvokyseliny jsou světlejší a mají větší sorpční schopnost než huminové kyseliny. Díky své mobilitě a schopnosti transportu živin a jiných látek do hlubších vrstev půdního profilu nemají na půdu tak dobrý vliv. Přispívají k destrukci minerálního podílu půdy, protože mají kyselější charakter než kyseliny huminové (Pavlů, 2019). Jejich struktura se skládá z 40-49 % uhlíku, 40-49 % kyslíku, 4-6 % vodíku a 1-5 % dusíku. Snadno se přemísťují v půdě a jsou velmi pohyblivé vzhledem k jejich nízké molekulové hmotnosti. Dle Šarapatky (2014) mohou fulvokyseliny vznikat v procesu štěpení humusových látek s vyšší molekulovou hmotností při nižší biologické aktivitě a kyselém prostředí.

Humin je vývojově nejstarší složkou půdní organické hmoty v procesu zvaném humifikace (Šarapatka, 2014). Má tmavší barvu a svou strukturou, složením a vlastnostmi se velmi podobá huminovým látkám. Jedinou nuancí je, že má silnější vazbu na minerální podíl, a tak je možné jej extrahovat pouze rozpuštěním minerální

fáze, ke které je poután (Pavlů, 2019). Je velmi odolný vůči mikrobiálnímu rozkladu a nerozpouští se (Stevenson, 1994).

Faktory ovlivňující kvalitu humusu jsou klimatické, biologické, pedologické, kulturní a technologické. Má na ni vliv konkrétně obsah rostlinných zbytků v půdě, jejich chemické složení (C/N), aplikace organických a minerálních hnojiv a absorpce herbicidů na humusové substráty (Neagu a Oprea, 2012).

Humus jako skupinu organických látek je možné dělit podle funkcí v půdě na:

- **Materiál humusotvorný** – tvořen nerozloženými organickými zbytky
- **Meziprodukty humifikačních procesů (zetlelina)** - tvořeny jednoduššími chemickými sloučeninami
- **Vlastní humus** – výsledek humifikačních procesů
- **Humus živný** – tvořen látkami lehce rozložitelnými např. fulvokyseliny a mladá organická hmota
- **Humus trvalý** – tvořen látkami huminové povahy (huminové kyselin, humin) odolnými vůči mikrobiálnímu rozkladu

Obsah humusu v půdách se liší podle toho, zda se jedná o půdu minerální nebo organickou. Díky tomu rozdělujeme půdy na humózní s obsahem organických látek do 20 % a na půdy humusové, které mají obsah organických látek nad 20 % (Šarapatka, 2014). Podle jiné klasifikace je možné dělit půdu dle procenta stanoveného humusu (tabulka č. 7).

Hodnocení obsahu humusu	Humus (%)
velmi vysoký	>5
vysoká	3-5
střední	2-2,9
nízký	1-1,9
velmi nízký	<1

Tab. 7: Hodnocení půd dle procenta stanoveného humusu (Jandák a kol., 2001)

Bohužel při intenzivním hospodaření na půdě může docházet k úbytku humusu. Příčinou je zejména nedodržování osevních postupů, nesprávné technologické zpracování půdy, snížení přístupu organických hnojiv nebo absence

vápnění. Zdrojem humusotvorného materiálu na obdělávaných polích jsou posklizňové zbytky rostlin, ale i celé rostliny v případě zeleného hnojení (statková hnojiva, kejda a aplikované komposty). Svůj podíl organického materiálu zanechává v půdě i edafon (Šimek, 2003). Na obsah humusu v ornících půd na území ČR poukazuje tabulka č. 8.

Půdní typ	Humus (%)
černozem	2,2 – 4,5
hnědozem	1,7 – 1,9
luvizem	1,5 – 3,6
pseudoglej	1,9 - 4
fluvizem	3,3 – 4,5
černice	3,8 – 5,3
glej	0,9 – 2,9
kambizem nižších poloh	1,7 – 4,3
kambizem vyšších poloh	3,4 – 8,6
podzol	3,4 – 15,5
regozem	2,1 – 3,4

Tab. 8: Obsah humusu v orných půdách ČR (Jandák a kol., 2001)

3.4 Rozpustná organická hmota

Podle Zaujece a kol. (2009) je jednou ze základních frakcí půdní organické hmoty rozpustná organická hmota. Jedná se o nejmobilnější frakci půdních humusových látek. V některých zdrojích je tato frakce označována jako frakce aktivní či labilní. Jde o malý podíl humusových látek v půdě vyskytující se v kapalném skupenství. Jejich úlohou je zajištění transportu živin v rámci ekosystému, a i mezi jednotlivými ekosystémy. Má vliv na koloběh prvků uhlíku, dusíku a fosforu a na přenosu různých látek půdou (Zsolnay, 2003). Většina rozpustné organické půdní hmoty produkované v suchozemských ekosystémech se mineralizuje nebo zadržuje v půdě a pouze část se dostává do vodních systémů.

Dešťová voda, která má obvykle nízký obsah rozpuštěných organických složek, se při průchodu vegetačním krytem a svrchními půdními vrstvami bohatými na půdní organické látky stále více obohacuje o rozpustnou organickou hmotu.

V důsledku toho jsou vody odvádějící vodu z organických vrstev a svrchních minerálních půdních horizontů bohaté na labilní frakci (Kalbitz a kol., 2000). Obecně platí, že rozpustná organická hmota ve svrchní části půdního profilu má vegetační charakter, převažují zde fenoly odvozené od ligninu a sacharidy rostlinného původu, zatímco většina této hmoty v hlubších vrstvách půdy je mikrobiálního původu (Kaiser a kol., 2004).

Primárním zdrojem těchto látek v půdě jsou půdní mikroorganismy, stabilní humus a zbytky kořenů a rostlin. Dalšími zdroji se mohou stát i organická hnojiva a výměšky živočichů (Hubova a kol., 2017).

Nízkomolekulární organické látky (LMMOA) představují pro půdu významného zástupce rozpustné organické hmoty. Vznikají pomocí kořenové a mikrobiální exsudace, z rozkladu odpadních látek rostlinné a mikrobiální biomasy, z živočišných odpadů a z opadu listů na korunách stromů. Tyto látky hrají klíčovou roli v mnoha půdních procesech včetně komplexace iontů kovů, což má za následek zvýšení jejich mobilizace, jako důležitý faktor, který přispívá ke zvyšování koncentrace dusíku pro rostliny a mikroorganismy a uhlíku představující zdroj energie pro mikroorganismy. LMMOA významně přispívají k celkovému toku CO₂ v půdě, a tak představují důležitý parametr pro modelování dynamiky půdního organického uhlíku (Gunina a kol., 2017). Jejich struktura je obvykle tvořena jednou až třemi karboxylovými skupinami a jejich zástupci jsou například kyselina citronová, šťavelová, jablečná, jantarová atd. (Mimmo a kol., 2008).

Obsah této organické hmoty v půdě je indikátorem půdní kvality. Má na něj vliv druh porostu, poměr C/N, půdní reakce, půdní biologická aktivita, antropogenní vlivy (osevní postup, zatrávnění, zalesnění), klimatické podmínky, biologická aktivita půdy, chemismus půdy, složení půdního roztoku a adsorpční a desorpční procesy v půdě (Hubova a kol., 2017).

V rámci složení rozpuštěných organických látek se v půdě nachází převážně uhlovodíky, jednodušší cukry, fenolické sloučeniny, fulvokyseliny, aminokyseliny, aromatické kyseliny, alifatické kyseliny atd. (Šimek a kol., 2019).

3.5 Edafon

Pojmem edafon se rozumí skupina živých organismů, kteří přežívají určitou část svého života v půdním prostředí. Jedná se zejména z pohledu biocenózy o skupinu destruentů. Tyto organismy se zejména živí hmotou v rozkladu nebo odumřelou složkou organické hmoty v půdě (Rajchard a kol., 2002).

Množství organismů v půdním prostředí záleží na mnoha aspektech včetně vegetačního krytu, klimatu, fyzikálních a chemických půdních vlastnostech. Vždy bude rozdíl mezi živočichy, kteří mají na starosti rozklad organické hmoty v aridních pouštích od organismů rozkládající v kultivovaném poli. Odlišné druhy budou žít v půdách s kyselou reakcí než v půdách s reakcí alkalickou. Pravidlem je, že v lesní půdě žije větší množství organismů než na loukách. Důležité je, že mají všechny skupiny organismů velký vliv na biologické procesy v půdě, které zajišťují podmínky pro život rostlin a živočichů (Šarapatka, 2014).

Edafon rozdělujeme podle velikosti organismů na megaedafon (>20 mm), makroedafon (2 – 20 mm), mezoedafon (0,2 – 2 mm) a mikroedafon (<20 mm) (Pavlů, 2019, Šarapatka, 2014). Mezi megaedafon řadíme skupiny žížal a obratlovců (hraboši, krty). Do makroedafonu se zahrnují roupice, hmyz, mnohonožky, stonožky, suchozemští stejnonožci, pavouci a měkkýši. Součástí mezoedafonu jsou některé houby, hlístice, většina chvostíků, roztočů a menšího hmyzu. Mikroedafon tvoří velmi malí zástupci jako například viry, bakterie, aktinomycety, sinice, řasy, většina hub a prvoci (Šarapatka, 2014).

Bakterie z kategorie mikroedafonu patří mezi nejvýznamější rozkladače snadno dostupných látek a celulózy. Jejich početnost a druhový výskyt je ukazatelem fyzikálních a chemických charakteristik půd. Hlavním významem bakterií v půdním prostředí je fixace vzdušného dusíku a rozklad organického materiálu na jednodušší prvky. Dále přispívají k tvorbě půdní struktury pomocí jejich buněčných stěn obsahujícím polysacharidové obaly, které stmelují půdní částice. Slouží jako potrava pro hlavní predátory mikroedafonu, prvoky. Z prvoků jsou v půdě zastoupeni zejména bičíkovci, kořenonožci a nálevníci. Jsou významní pro půdu kvůli dodávání organické hmoty ve formě svých uhynulých těl (Pavlů, 2019).

Chvostokoci patřící do mezoedafonu jsou důležitou částí detritového potravního řetězce stejně jako skupina roztočů a tím obě skupiny přispívají ke stálému koloběhu živin v půdě.

Skupina pavoukoců je pro půdu užitečná tím způsobem, že vytváří různé otvory a chodby, čímž dochází k transportu půdy a jejímu provzdušňování. Naopak skupina stejnonožců se živí odumřelou organickou hmotou rostlin, a tím přispívá do dekompozice organické hmoty. Do této kategorie makroedafonu patří ještě důležitá skupina s názvem hmyz. Jedná se o živočichy, ze kterých velká část stráví v půdě pouze část svého vývojového cyklu. Přispívají k transformaci organické hmoty v půdě, k provzdušňování zeminy a transportu látek. Mrchožroutovití brouci jako například hrobařiči velmi rychle rozkládají a vpravují do půdní vrstvy i větší těla obratlovců a tím zajišťují sanitární funkci v půdním ekosystému.

Pro proces utváření struktury půd je bezprostředně klíčová skupina žížal. Jejich přítomnost v půdě ovlivňuje úrodnost půdy. Jako ostatní skupiny mají vliv na provzdušňování a transport zeminy, ale jejich hlavní výhodou je rozmělnění rostlinného organického materiálu za přítomnosti minerálních složek a tvorba koprolitů. Koprolity jsou organominerální výměšky žížal, které vytváří stabilní agregáty. Ovlivňují fyzikální vlastnosti půd, protože svou stabilitou přispívají ke zlepšení půdní struktury (Pavlů, 2019).

Vznik struktury půdy ovlivňují metabolické produkty edafonu (Pavlů, 2019). Stal se kvůli činnosti promíchávání a provzdušňování půdních celků významným činitelem biologického samočistění půdy. Zkrátka je edafon pro půdní ekosystém nepostradatelný. Při stabilizaci půdních agregátů má velmi důležitou úlohu prorůstání mycelia, což má za následek mechanické zpevnění půdy, a proto je v půdě velmi důležitá přítomnost hyf mykorhizních hub (Gryndler a kol., 2005).

Na pochodech v půdě se každá z velikostních skupin edafonu podílí různou měrou. Megaedafon a makroedafon jsou důležití pro transport a rozmělnění organického materiálu. Mají mechanický vliv na prostředí půdy, z důvodu vytváření chodeb, vynášení materiálů ze všech půdních vrstev a zanášením materiálů z povrchu do hlubších vrstev půdy. Skupina živočichů patřících do mezoedafonu pokračuje v procesu rozmělnění materiálu a zajišťuje k němu přístup mikroorganismům, pomocí zvětšování jeho specifického povrchu. Mikroedafon dokončuje rozklad

organického materiálu. To, jak tyto procesy proběhnou, záleží na vnějších vlivech (teplota, půdní vlhkost, pH...) (Pavlů, 2019).

Půdní organismy se dělí ještě na základě způsobu získávání energie a uhlíku do dvou skupin – autotrofní a heterotrofní. Půdní organismy autotrofní získávají energii ze slunečního záření (fotoautotrofní) a z látek anorganických (chemoautotrofní). Na druhou stranu heterotrofní organismy mají početnější zastoupení v půdě než organismy autotrofní a získávají energii pomocí rozkladu organických látek. Do této skupiny patří půdní fauna, většina bakterií, aktinomycety a houby. Podle funkce organismu v půdě podle potravní pyramidy dělíme tyto organismy ještě na primární producenty, konzumenty a rozkladače (Šarapatka, 2014, Bedrna, 2022).

Edafon má vliv na velkou část vlastností půdy. Dokáže přeměnit organickou hmotu v humus a také je schopen degradovat cizorodé látky, tedy pesticidy, ropné deriváty atd... Toho všeho je edafon schopen díky redukčním, rozkladným, oxidačním i syntetickým reaktivním látkám. Takové látky mohou podmiňovat půdní reakci, kvůli produkci nízkomolekulárních kyselin, katalyzovat svými enzymy chemické reakce či vytvářet sorpční místa (Pavlů, 2019).

4 Experimentální část – metodika

4.1 Studované lokality

Vzorky byly odebrány z orných půd v oblasti Prahy, konkrétně Kyjí a Suchdolu. Převládajícím půdním typem v Suchdole, v místech odběru vzorků, jsou hnědozemě, které vznikly půdotvorným procesem zvaným ilimerizace (obrázek č. 1). Půdotvorným substrátem jsou zde sedimenty se středně vysokým obsahem CaCO_3 . Tato oblast spadá do klimatického regionu číslo 2, což znamená teplý nebo mírně suchý s průměrným úhrnem srážek 500-600 mm/rok. Hlavní půdní jednotkou je 10, tedy se jedná o hnědozem modální nebo hnědozem slabě oglejenou a spadá v oblasti hydro-pedologické charakteristiky do kategorie B (půda se střední rychlostí infiltrace). Sklonitost půdy je rovina a má nulovou skeletovitost, kde je možné občas detekovat příměs. Jedná se o půdy hluboké (VÚMOP, ©2022).

Druhým místem odběru vzorků se staly Kyje, kde je půdním typem kambizem (obrázek č. 3). Půdotvorným substrátem jsou zde svahoviny. Jako u našeho prvního

místa odebrání vzorků v Suchdole se orná půda nachází v klimatickém regionu číslo 2, teplého a mírně suchého se stejným ročním úhrnem srážek. Hlavní půdní jednotkou je 26, a to znamená kambizem modální eubazická nebo kambizem modální mesobazická. Jedná se taktéž o půdy se střední rychlostí infiltrace i při úplném suchu, takže kategorie B. Sklonitost zde je rovina se všesměrnou expozicí, anebo má mírný sklon (sklon 3-7 °). Dále se jedná o půdy bezskelovité, půdy s příměsí nebo půdy slabě skeletovité, které jsou hluboké nebo středně hluboké (VÚMOP, ©2022).

LEGENDA	
●	sonda
Půdní typy [TKSP]	
■	koluviozem
■	černice
■	černozem
■	šedozem
■	hnědozem
■	luzizem
■	pseudoglej
■	kambizem
■	glej
■	fluvizem
■	pelozem
■	regozem
■	rendzina
■	pararendzina
■	smonice
■	stagnoglej
■	organozem
■	kryptopodzol
■	podzol
■	ranker
■	litozem
■	kultizem



Obr. 1: Studované území Suchdol, mapa 1:20 000 (VÚMOP, 2022)



Obr. 2: Umístění odběrových míst na orné půdě v Suchdole (autor, 2022)

LEGENDA	
●	sonda
Půdní typy [TKSP]	
■	koluviozem
■	černice
■	černozem
■	šedozem
■	hnědozem
■	luvizem
■	pseudoglej
■	kambizem
■	glej
■	fluvizem
■	pelozem
■	regozem
■	rendzina
■	pararendzina
■	smonice
■	stagnoglej
■	organozem
■	kryptopodzol
■	podzol
■	ranker
■	litozem
■	kultizem



Obr. 3: Studované území Kyje, mapa 1:20 000 (VÚMOP, 2022)

4.2 Odběr vzorků

První z odběrů byl proveden v pondělí 16. května 2022 před začátkem provádění veškerých měření pro zjištění primárních parametrů půdy. Vzorky byly získány na 4 pozemcích a z každého byl odebrán v šesti místech vzorek z povrchové části orné půdy v hloubce 10-20 cm. Začalo se odebírat na poli s ovsem a pšenicí (zkratka "OV+P"). Druhým místem byl pozemek s posklizňovými zbytky kukuřice (zkratka "KUK"), následovalo pole s řepkou (zkratka "ŘEPKA") a poslední získávání vzorků proběhlo v Kyjích, kde byla pěstována luskobílná směs (zkratka "KYJE").

Nejprve byla ze všech odebraných vzorků půdy vyjmuta malá část materiálu a zamražena ke stanovení množství nízkomolekulárních kyselin, poté byl zbylý materiál vysušen v sušárně při 40 °C a následovalo přesátí přes síto o velikosti mezer 0,5, 0,2 a 0,05 cm. Na obrázku č. 4 lze vidět síto o velikosti ok 0,2 cm s jedním ze vzorků agregátů a na obrázku č. 5 je zachycena sušárna.



Obr. 4: Síta s agregáty (autor, 2022)



Obr. 5: Sušárna se vzorky (autor, 2022)

4.3 Metodika laboratorních pokusů

4.3.1 Stanovení stability půdních agregátů

Stabilita půdních agregátů byla stanovena pomocí metody mokrého přesévání WSA – Water stable aggregates (Nimmo a Perkins, 2002). K samotnému měření byl využit stroj Wet sieving apparatus od firmy Eijkelkamp, do kterého byly jednotlivé vzorky ukládány (obrázek č. 6). Po vyjmutí půdy ze sušičky byly vytvořeny vzorky o hmotnosti 0,4 g, které byly umístěny do sít. Velikost těchto půdních agregátů se pohybovala mezi 2-5 mm, kvůli předcházejícímu extrahování pomocí sít. Vzorky byly ve stroji promývány po dobu 3 minut s frekvencí 35 cyklů/min. a vertikální amplitudou 1,3 cm v destilované vodě přes sítko o průměru 0,25 mm. Po 3 minutách byly misky s rozpuštěnými agregáty vyjmuty a uloženy do sušárny na cca 6 hodin při teplotě 105 °C. Po odpaření veškeré destilované vody z misky byly vzorky odebrány ze sušárny a zváženy (W_{dw}). Na půdní agregáty, které nebyly rozplaveny destilovanou vodou bylo použito promývání pomocí roztoku hexametafosforečnanu sodného, který dokázal úplně rozpustit i stabilnější agregáty tvořené z jílových částic. Následně byly vzorky přesunuty do sušárny, kde strávily stejnou dobu jako předešlé vzorky s vodou, a poté byly opět zváženy (W_{ds}) (Davídek, 2022).

Vzorec pro vypočítání WSA:

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

Kde: W_{ds} hmotnost stabilních agregátů [g]

W_{dw} hmotnost nestabilních vodorozpustných agregátů [g]



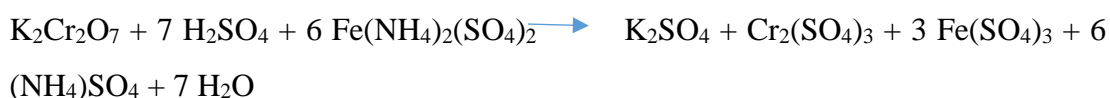
Obr. 6: Wet sieving apparatus (autor, 2022)

4.3.2 Stanovení množství organického uhlíku

Stanovení množství organického uhlíku nebo také stanovení na mokré cestě je jednou z přímých metod, jehož podstatou je oxidace organického uhlíku kyslíkem některého chemického oxidantu, aplikovaného ve formě roztoku v kyselinotvorném prostředí. Množství zoxidovaného uhlíku je vypočítáno z množství oxidačního činidla, které bylo spotřebováno při samotné analýze. Měření bylo započato navážením 0,4 g jemnozeme do očíslovaných kádinek, a poté do nich bylo vpraveno 10 ml chromsírové směsi. Takto připravený vzorek byl překryt hodinovým sklem a na 45 minut umístěn do sušárny při teplotě 125 °C. Po uplynulé době byly vyjmuty vzorky ze sušárny a pomocí destilované vody bylo opláchnuto příkrývací hodinové sklo, a i okraje kádinky. Pro následnou potenciometrickou titraci se upravil objem směsi pomocí destilované vody tak, aby se vložené míchadlo mohlo volně pohybovat pod platinovými elektrodami. Po zavedení elektrod je míchadlo spuštěno do kádinky se vzorkem, přivede se do systému elektrický proud (10-15 mV) a na přímé titraci se podílí postupně přidávaná Mohrova sůl ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$) (obrázek č. 7). Průběh titrace byl sledován pomocí galvanometru. Konec titrace je určen vychýlením ručičky galvanometru, které je trvalé a barevný přechod do modrozeleného zbarvení směsi.

Poté už je jen zapotřebí odečíst na byretě spotřebu Mohrovy soli a spočítat výsledek (Valla a kol., 2000).

Základní rovnice tohoto procesu:



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 [%]

N navážka vzorku [%]

Hodnocení se poté provádí pomocí tabulky:

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

Tab. 9: Hodnocení obsahu humusu dle Tjurina (Valla a kol., 2000)



Obr. 7: Přímá titrace Mohrovou solí (autor, 2022)

4.3.3 Stanovení kvality humusových látek

U metody stanovení kvality humusových látek se používá alkalický roztok humusových látek, který se připraví jejich extrakcí 0,05 M pyrofosfátem sodným se zachováním poměru zemina: extraktans 1:2. Po hodinovém třepání se suspenze přefiltruje a čirý roztok zkoumaných humusových látek je upraven zředěním extrakčního činidla tak, aby při vlnové délce 400 nm byla absorbance $A =$ menší než 0,9. Na základě absorbancí, zjištěných spektrometrickým proměřením alkalických roztoků humusových látek při vlnových délkách ($\lambda = 400-600$), lze usuzovat na stupeň jejich polymerace, případně disperzity. Je využíváno Lambert-Beerova zákona, díky kterému je možno vyjádřit vztah absorpční intenzity látky rozptýlené v neabsorpčním prostředí k výchozí intenzitě monochromatického záření, tloušťce vrstvy a koncentraci (Valla a kol., 2000).

Kvalita humusu byla spektrometricky stanovena pomocí barevného koeficientu $Q_{4/6}$.

Vzorec pro vypočítání $Q_{4/6}$:

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

Kde: $Q_{4/6}$ barevný koeficient pro λ 400 a 600 nm

A_{400} absorpance při λ 400 nm

A_{600} absorpance při λ 600 nm

Čím je nižší kvocient, tím mají humusové látky větší kvalitu a jsou polymerovanější.

4.3.4 Stanovení množství organických a anorganických aniontů

Množství anorganických a organických (nízkomolekulárních kyselin) aniontů v půdě se stanovuje pomocí iontové chromatografie tzv. separační metodou, při níž dochází k separaci iontů podle specifických interakcí s nabitým nosičem. Podstatou této metody je rozseparovat určitou směs látek přes stacionární fázi, která je poháněna fází mobilní. Stacionární fázi se myslí určitý katex (kolona), kterým postupně protékají anionty, které se tam na určitou dobu zdržují a následně se od sebe oddělují. Vybrané anorganické (NO_2^- , NO_3^-) a organické anionty (oxalát, citrát) byly stanoveny pomocí iontové chromatografie s potlačenou vodivostí (kapilární vysokotlaká iontová chromatografie-HPIC).

Tato směs aniontů je dělena podle dvou kritérií, kterými jsou velikost iontu a jeho náboj (Michalski a kol., 2022). Náboj organických iontů zpravidla nabývá hodnot od -1 až do -3 a velikost iontu závisí na množství uhlíků tvořící součást jeho struktury. Výsledkem měření je chromatogram, ve kterém každý pík představuje určitou látku. Zpracování a vyhodnocení chromatogramů bylo vyhodnoceno pomocí počítačového softwaru Chromeleon 7.20 (Dionex, USA). Dalším měřeným aspektem je konduktivita roztoku, podle které je zjištěn retenční čas (doba zaznamenání dané látky). Na základě shody retenčního času s chemicky čistou látkou a plochou píku z chromatogramu je možné určit koncentraci.

Pro měření koncentrace iontů byl použit kapilární systém Dionex ICS 4000 (Thermo Scientific, USA), separace vzorku probíhala na předkoloně a analytické koloně Dionex IonPac AS11-HC 4 μm (Thermo Scientific, USA). Eluent prošel nejprve tzv. izokratickou elucí trvající od začátku analýzy do 10. minuty, poté nastává gradientová eluce trvající od 10 do 20 minut a závěrem je znovu izokratická eluce, která trvá od 20 do 25 minut. Rychlost průtoku mobilní fáze je nastavena na 0,012 ml

min⁻¹. K potlačení vodivosti byl použit supresor ACES 300 (Thermo Scientific, USA). Pomocí přístroje Carbonate Removal Device 200 byl potlačen rozpuštěný uhličitán ve vzorcích. Standardy byly připraveny z koncentrátů aniontů o velikosti koncentrace 1g l⁻¹ (Analytika, CZ a Inorganic Ventures, USA) a deionizované vody v rozsahu 0,1-40 mg l⁻¹.

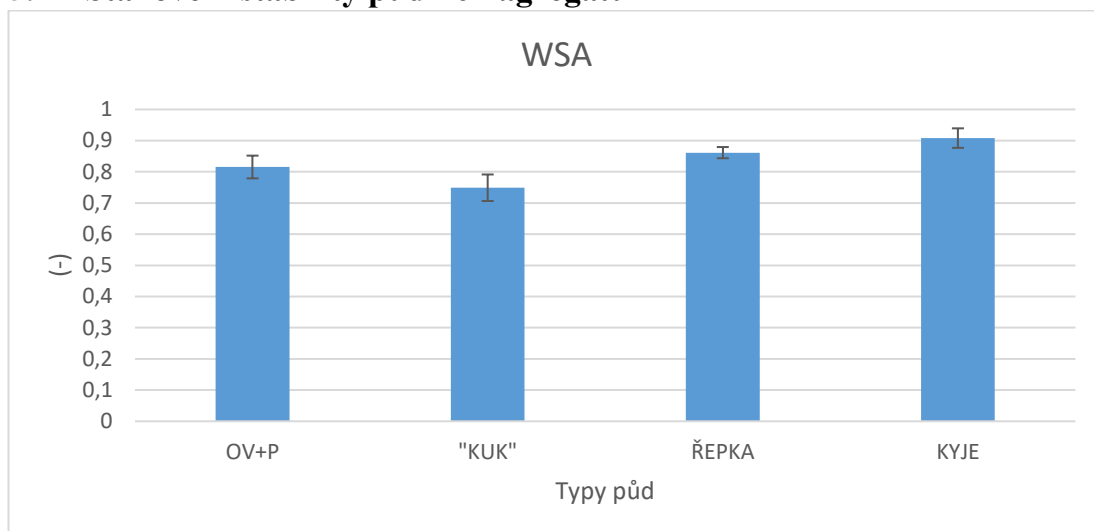
Samotná extrakce aniontů započala vyndáním půdního materiálu z mrazícího boxu a do předem připravených centrifugačních zkumavek byly naváženy 4 g půdy. Poté k nim bylo přidáno 40 ml 10 mM H₂KPO₄, a takto připravené vzorky byly vloženy na hodinu do třepačky. Po uplynutí doby byly vzorky přemístěny do centrifugy na 10 minut s rychlostí 4000 otáček/minutu. Následně byl odebrán z těchto vzorků čistý roztok k měření iontovou chromatografií. Po zkompletování všech zkumavek pro stanovení množství organických kyselin bylo provedeno ve zbytku vzorků měření pH pomocí elektrického pH metru značky WTW (Německo). Na závěr byl konečný výsledek chromatografie přepočten na sušinu v jednotkách mg/kg.

4.3.5 Zpracování dat

Veškeré výsledky byly zpracovány pomocí statistických metod. Pro výpočet směrodatné odchylky byl použit počítačový program Microsoft Office Excel 2016 a jednocestná analýza rozptylu a korelační analýza byly zpracovány v programu STATISTICA 12.

5 Experimentální část – výsledky

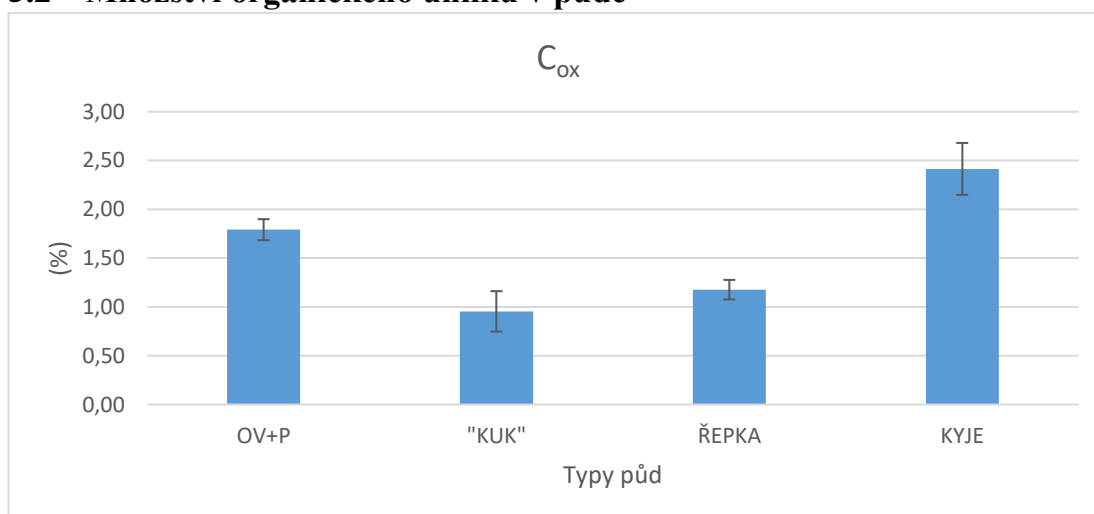
5.1 Stanovení stability půdních agregátů



Obr. 8: Graf hodnot WSA; průměrné hodnoty pro jednotlivé varianty ($N=6$); chybové úsečky představují směrodatné odchylky

Graf na obrázku 8 ukazuje průměrnou stabilitu půdních agregátů v jednotlivých variantách experimentu (viz kapitola 4.2). Vyplývá z něj, že nejvyšší stabilita byla u půd ve vzorcích z varianty KYJE, tedy varianty s porostem luskoobilné směsi. O trochu hůře dopadla ŘEPKA, za ní potom varianta s ovsem a pšenicí (OV+P) a nejméně stabilní půda se nacházela na poli s posklizňovými zbytky kukuřice ("KUK"). Největší proměnlivost, která je dána největší směrodatnou odchylkou byla u varianty "KUK".

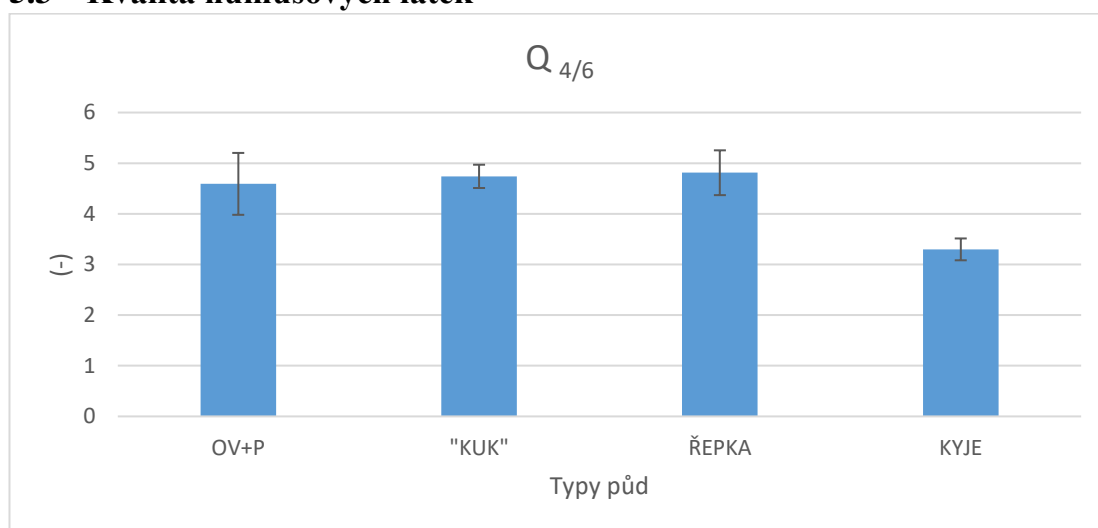
5.2 Množství organického uhlíku v půdě



Obr. 9: Graf hodnot C_{ox} ; průměrné hodnoty pro jednotlivé varianty ($N=6$); chybové úsečky představují směrodatné odchylky

Při stanovení množství organického uhlíku (obrázek č. 9) bylo zjištěno, že se největší obsahy byly v půdách varianty KYJE. Mezi 1,5-2 % se pohybovalo pole s ovsem a pšenicí (OV+P) v Suchdole. O trochu hůře na tom bylo pole s ŘEPKOU a nejméně organického uhlíku se objevilo ve variantě "KUK". Největší proměnlivost se v tomto grafu vyskytla u vzorků KYJE, díky největší směrodatné odchylce.

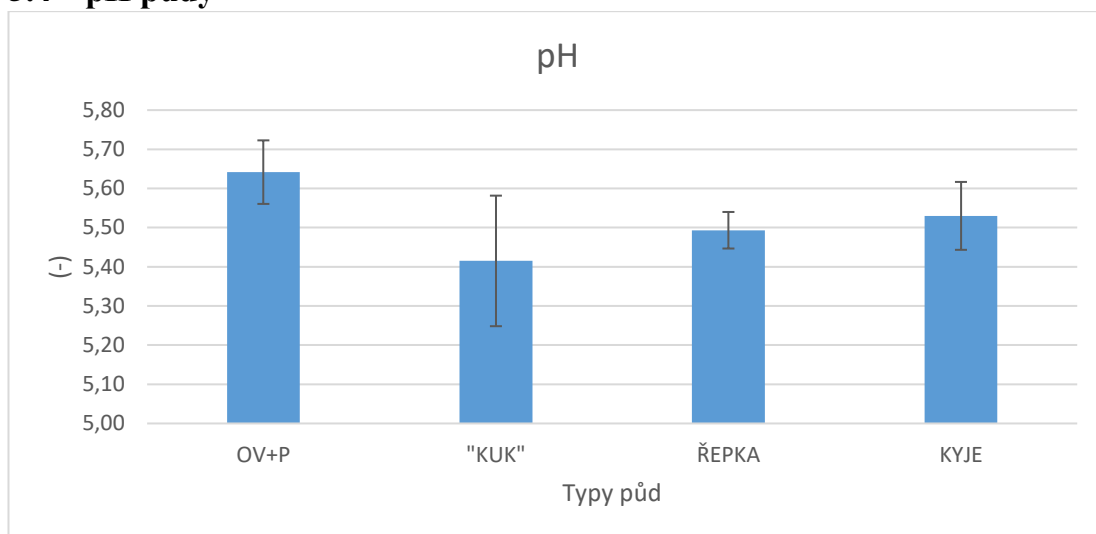
5.3 Kvalita humusových látek



Obr. 10: Graf hodnot $Q_{4/6}$; průměrné hodnoty pro jednotlivé varianty ($N=6$); chybové úsečky představují směrodatné odchylky

Na tomto grafu (obrázek č. 10) jsou vyobrazeny výsledky z měření kvality humusových látek ($Q_{4/6}$). Největší kvalita těchto látek, kterou představují nejnižší hodnoty barevného kvocientu $Q_{4/6}$, byla naměřena v odebraných vzorcích varianty KYJE. Poté následovalo pole s ovsem a pšenicí (OV+P) a za ní půda s posklizňovými zbytky kukuřice ("KUK"). Nejméně kvalitní humusové látky obsahovaly vzorky ze Suchdola, na kterých byla pěstována ŘEPKA. Největší proměnlivost se vyskytla v případě varianty OV+P. U odebraných vzorků KYJE byla variabilita dat nízká, a proto je směrodatná odchylka malá.

5.4 pH půdy

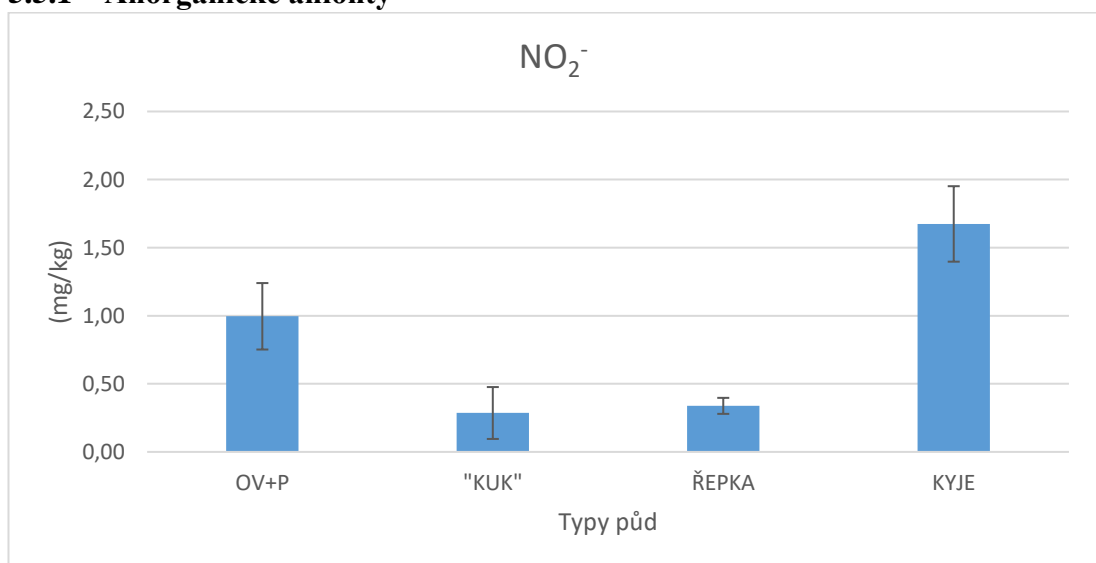


Obr. 11: Graf hodnot pH; průměrné hodnoty pro jednotlivé varianty (N=6); chybové úsečky představují směrodatné odchylky

V případě tohoto měření (obrázek č. 11) bylo zjištěno, že se ve všech variantách jedná o půdy s kyselým charakterem. Nejvyšší hodnota pH byla naměřena u vzorků z varianty OV+P. Druhá nejvyšší hodnota se vyskytla u vzorků z varianty KYJE, následovalo pole s ŘEPKOU a nejnižší hodnoty pH byly naměřeny u varianty "KUK". Největší proměnlivost byla detekována u vzorků z pole, kde se nacházely na povrchu posklizňovými zbytky kukuřice ("KUK"). Nízká variabilita dat se objevila ve variantě ŘEPKA.

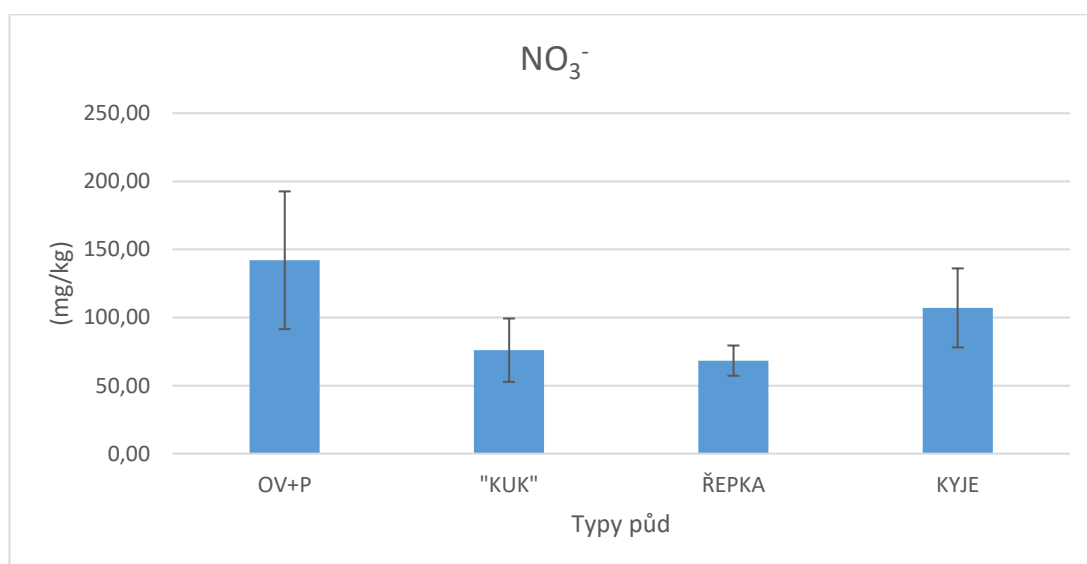
5.5 Množství aniontů v půdě

5.5.1 Anorganické anionty



Obr. 12: Graf obsahu NO₂⁻; průměrné hodnoty pro jednotlivé varianty (N=6); chybové úsečky představují směrodatné odchylky

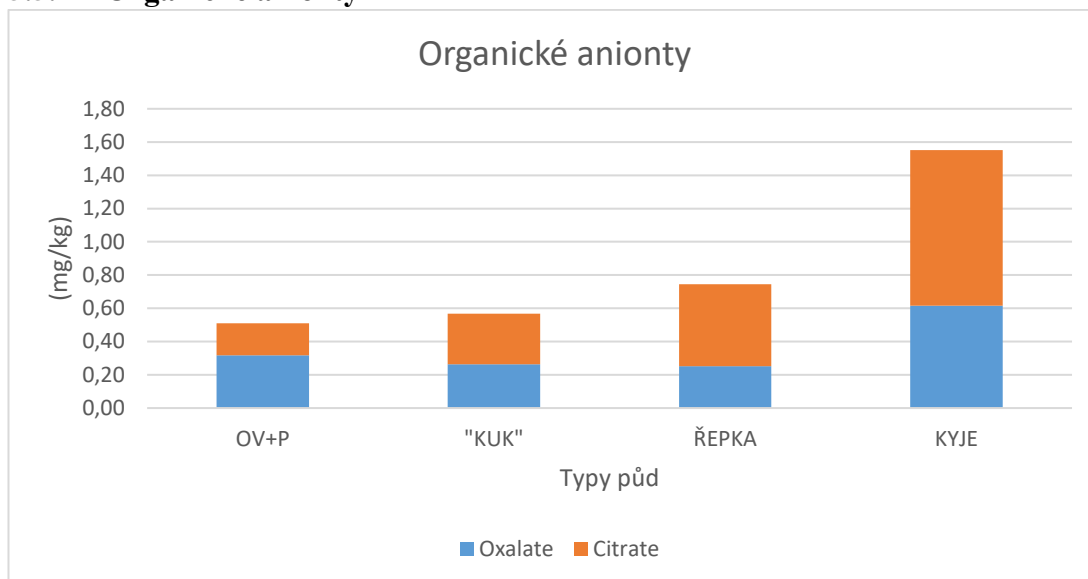
Měření ukázalo, že nejvíce dusitanového iontu NO_2^- obsahovala varianta KYJE (obrázek č. 12). Druhý největší obsah dusitanů se nacházel na poli s ovsem a pšenicí (OV+P), následovala půda s ŘEPKOU a nejméně se jich vyskytovalo na území s kukuřičnou štěpkou ("KUK"). Největší směrodatná odchylka se vyskytla u vzorků KYJE, z důvodu vysoké variability dat.



Obr. 13: Graf obsahu NO_3^- ; průměrné hodnoty pro jednotlivé varianty ($N=6$); chybové úsečky představují směrodatné odchylky

Z tohoto grafu vyplývá (obrázek č. 13), že největší množství dusičnanů se našlo ve variantě OV+P ze Suchdola. Hned druhý největší obsah NO_3^- se objevil ve vzorku KYJE. Následovaly vzorky s názvem "KUK" a nejnižší množství těchto anorganických aniontů se vyskytlo ve variantě ŘEPKA. Největší směrodatná odchylka byla vypočtena u vzorků půdy, na které byl pěstován oves a pšenice (OV+P).

5.5.2 Organické anionty



Obr. 14: Součtový graf hodnot Oxalátu a Citrátu; průměrné hodnoty pro jednotlivé varianty (N=6); chybové úsečky představují směrodatné odchylky

Tento součtový graf (obrázek č. 14) ukazuje množství dvou druhů organických aniontů (oxalát, citrát) v jednotlivých variantách. Vyplývá z něj, že největší množství obou proměnných se nachází ve vzorcích z varianty KYJE. U dalších variant už to však tak jednoznačně není. Varianta OV+P zaujímá druhé místo v množství oxalátu, dále se ho vyskytuje velké množství v půdě s posklizňovými zbytky kukuřice ("KUK") a nejméně ho bylo detekováno ve variantě ŘEPKA. V případě citrátu zaujala druhé místo varianta ŘEPKA, za ní vyšla půda s názvem "KUK" a nejméně citrátů bylo zjištěno ve vzorcích půdy s ovsem a pšenicí (OV+P).

5.5.3 ANOVA

	WSA	Q 4/6	Cox	pH	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Oxalate	Citrate
"KUK"	c	a	c	b	c	b	b	b
OV+P	b	a	b	a	b	a	b	b
ŘEPKA	ab	a	c	ab	c	b	b	ab
KYJE	a	b	a	ab	a	ab	a	a

Tab. 10: Jednocestná analýza rozptylu, Fisher test (95 % LSD), rozdílná písmena představují průkazné rozdíly mezi studovanými variantami

Jednocestnou analýzou rozptylu byla ověřena průkaznost rozdílů mezi jednotlivými variantami vzorků (tabulka č. 10).

5.5.4 Korelační analýza

	WSA	Q4/6	Cox	pH	Oxalate	Citrate	NO ₂ -	NO ₃ -
WSA	1,000	-0,411	0,630	-0,044	0,457	0,393	0,472	0,030
p		0,046	0,001	0,839	0,025	0,057	0,020	0,888
Q4/6	-0,411	1,000	-0,697	-0,291	-0,508	-0,404	-0,752	-0,295
p	0,046		0,000	0,168	0,011	0,050	0,000	0,161
Cox	0,630	-0,697	1,000	0,217	0,619	0,399	0,777	0,359
p	0,001	0,000		0,310	0,001	0,054	0,000	0,085
pH	-0,004	-0,291	0,217	1,000	0,018	0,031	0,540	0,242
p	0,839	0,168	0,310		0,934	0,884	0,006	0,255
Oxalate	0,457	-0,508	0,619	0,018	1,000	0,663	0,600	0,404
p	0,025	0,011	0,001	0,934		0,000	0,002	0,050
Citrate	0,393	-0,404	0,399	0,031	0,663	1,000	0,403	0,074
p	0,057	0,050	0,054	0,884	0,000		0,051	0,730
NO₂	0,472	-0,752	0,777	0,540	0,600	0,403	1,000	0,408
p	0,020	0,000	0,000	0,006	0,002	0,051		0,048
NO₃	0,030	-0,295	0,359	0,242	0,404	0,074	0,408	1,000
p	0,888	0,161	0,085	0,255	0,050	0,730	0,048	

Tab. 11: Korelační analýza, červeně jsou označeny statistiky významné závislosti, jejich průkaznost je dokumentována hodnotami p

Korelační analýzou byly potvrzeny vzájemné závislosti WSA s množstvím i kvalitou půdní organické hmoty a s množstvím oxalátů a dusitanů v půdě (tabulka č. 11).

6 Experimentální část – diskuse

V bakalářské práci byla půda zkoumána jako složitý systém podporující život na pevnině. Předmětem studie se staly půdní agregáty, u kterých byla měřena jejich stabilita, kvalita humusové hmoty, obsah organického uhlíku, potenciál vodíku a množství nízkomolekulárních kyselin. Byly testovány různé varianty vegetačního krytu zemědělské půdy a jejich efekt na půdní podmínky. Předmětem měření se staly varianty situované v Suchdole, do kterých patří pole se směsí ovsa a pšenice, pole s řepkou a pole s posklizňovými zbytky kukuřice, které leželo ladem. Poslední variantou bylo pole v Kyjích, na kterém rostla luskoobilná směs.

6.1 Varianta KYJE

Při stanovení stability struktury půdy metodou WSA bylo zjištěno, že signifikantně nejvyšší stabilita agregátů se vyskytla ve 4. variantě na území Kyjí, kde druhem pěstované vegetace byla luskoobilná směs. Tento druh vegetace má pozitivní vliv na půdu díky tomu, že dokáže fixovat dusík a má kvalitní produkci zrna. V dnešní době se v konvenčním zemědělství nevyužívá jako hlavní plodina, ale pouze jako meziplodina pro zkvalitnění půd. Ve srovnání s monokulturou směsky redukuje výskyt plevelů a chorob (Dlouhý a kol. 2010). Vysoká míra stabilizace mohla být zapříčiněna výskytem kvalitní organické hmoty a zároveň jejím velkým zastoupením v této půdě, jak dokumentují například Jakšík a kol. (2015) nebo Kodešová a kol. (2009).

Následně mohlo vysokou stabilitu ovlivnit hojné množství nízkomolekulárních organických kyselin, což bylo zapříčiněno vysokou biologickou aktivitou. Tyto látky významně přispívají ke stabilitě a úrodnosti půdy, což vede k výjimečnému růstu rostlin a příjmu mikroživin (Valdrighi a kol., 1996). Jsou schopny vázat kovy, vytvářet komplexy a měnit jejich biologickou dostupnost (Parker a kol., 2001). Konkrétně v této variantě vzorků se objevily nejvyšší hodnoty organických iontů citrátu a oxalátu a z anorganických aniontů bylo nejvyšší naměřené množství u dusitanů z důvodu mikrobiální aktivity. Vysoká koncentrace dusičnanů v půdě zaručuje dostupnost dusíku pro rostliny.

Půda v Kyjích může být označena jako velmi kvalitní a úrodná, z důvodu studie Zhanga a kol. (2008) ze které vyplývá, že velká stabilita půdní struktury má pozitivní vliv na zadržení vody a živin v půdě. Retenční schopnost půdy má za následek zvýšení

množství živých organismů v půdě, kteří půdu rozmělnují a produkují výměšky, díky kterým se navrací organická hmota zpět do půdy.

6.2 Varianta ŘEPKA

Velmi dobrá stabilita půdní struktury byla také zachycena u vzorků, které byly odebrány z území Suchdola, konkrétně ve variantě ŘEPKA. Řepka vznikla při křížení dvou brukví – zelené a řepáku. Představuje rostlinu s objemným kořenem, který slouží jako zásobárna živin a dlouhým kořenovým vlášením důležitým z hlediska toho, že prorůstá půdními vrstvami, na které jsou vázány živiny, především dusík (Baranyk a kol. 2010). Pěstuje se nejčastěji v rámci intenzivních obilnářských postupů z důvodu přerušení a nápravy negativních vlivů (zhoršení fyzikálních a chemických vlastností půdy, nekvalitní organické zbytky, zvýšení napadení chorobou) vznikajících kvůli pěstování obilnin (Baranyk a kol. 2007). V době odběru vzorků byl porost zapojený, a to nasvědčovalo tomu, že se nachází ve vegetačním maximu.

Dobré vlastnosti této půdy a také podobnost mezi naměřenými hodnotami pH v místech odběru Kyje a Suchdol vykazují, že odlišnost půdních typů měla menší vliv na rozdíly půdní kvality ve všech sledovaných variantách půdy než typ pěstované plodiny, i když se tato místa vyskytují na nestejném geologickém substrátu.

Naopak tento aspekt ovlivnily kvalitativní vlastnosti půdy jako je například kvalita humusových látek, která je v tomto případě méně kvalitní než na orné půdě v Kyjích. Další odlišností od území v Kyjích je obsah organického uhlíku. Toho byla zde naměřena velmi nízká hodnota, což mohlo přispět k horší stabilitě organické hmoty (Angst a kol., 2021).

Půda obsahovala menší množství nízkomolekulárních organických kyselin než půda v Kyjích. V tomto případě v půdě převažoval nad oxalátem citrát, který je důležitým meziproduktem v citrátovém cyklu. Malé množství organických sloučenin je zde doprovázeno i nízkými koncentracemi dusíkatých aniontů. Mohlo by to mít za následek malé množství živočišných a rostlinných zbytků. Obsah dusíku se mění během vegetace v závislosti na hydrometrických podmínkách, obsahu primární organické hmoty v půdě, v závislosti na hnojení i na odběru vegetací (Vaněk a kol., 2012).

6.3 Varianta OV+P

Horší stabilita půdních agregátů byla detekována u varianty pole, které bylo pokryto ovsem a pšenicí. I přes to, že byla zemědělská půda odebírána na stejném místě jako varianta s názvem ŘEPKA, byly u ní naměřeny zcela odlišné hodnoty. Jedinou společnou hodnotou těchto dvou variant byla nízká kvalita organické hmoty, respektive nízká stabilita extrahovaných organických látek v půdě (Valla a kol., 2000). Nižší stabilita půdní struktury je zde zapříčiněna menším obsahem organického uhlíku, a tím jsou zhoršeny zejména fyzikální vlastnosti půdy jako je např. zhoršení infiltrace, retence půdy či pórovitost (Chen M. a kol., 2022).

Objevilo se zde velmi malé množství nízkomolekulárních kyselin. Statistika vyhodnotila, že se u této zemědělské půdy objevuje větší množství NO_3^- než u ostatních variant, což mohl způsobit proces mineralizace. Vázané dusíky v půdním prostředí mají velký význam pro rostliny, protože jim slouží jako zásobárny jednoduchého dusíku (Zhu T. a kol., 2014).

6.4 Varianta "KUK"

Celkově byly naměřeny nejhorší parametry půdy u pole s posklizňovými zbytky kukuřice na území Suchdola. Jedná se o zemědělskou půdu s průkazně nejnižší stabilitou struktury agregátů způsobenou nízkým množstvím organické hmoty, která se v půdě nachází. Tento nedostatek by mohla mít za následek chybějící vegetace. V důsledku vysychání půdy a jiných vlivů dochází k tomu, že velká část organické hmoty podléhá procesu zvaném mineralizace (Jha a kol., 2012).

Další příčinou špatné struktury půdy je dlouhodobé nevyužívání a neosázení pole. Podle Kubáta a Lipavského (2006) ovlivňuje historie pečování o půdu (hnojení, obdělávání, střídání plodin) obsah organického uhlíku, kterého se v této půdě vyskytuje opravdu malé množství. Může zde být také nedostatek kořenových exsudátů, které výrazně ovlivňují půdní prostředí, zejména rozvoj půdních organismů. Kvůli těmto exsudátům může porost působit i na ostatní rostliny v jejím okolí. (Gryndler a kol. 2005)

Díky nevhodnému mikroklimatu je pravděpodobné, že v této zemině přežívá malé množství edafonu, který by skrz produkty svých metabolismů půdu tmelil, a tím napomáhal ke vzniku makrostruktury (Šarapatka, 2014). Výskyt živých organismů

v půdě by nejenom zeminu prokypřil, ale také by přispěl prostřednictvím tvorby svých výměšků k tvorbě organické hmoty.

Tuto variantu experimentu je možné pokládat z vycházejících parametrů měření za velmi nevhodnou.

7 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo v teoretické části vytvořit ucelený literární přehled, který se bude zabývat mechanismy utváření a stabilizace půdní struktury a rovněž vlivem zpracování půdy na konkrétní půdní vlastnosti ovlivňující stabilitu půdní struktury. Na začátku byly stanoveny dvě hypotézy, které byly obě na základě výsledků potvrzeny.

První hypotéza byla potvrzena výzkumem, který potvrdil pozitivní korelaci mezi celkovým obsahem nízkomolekulárních organických kyselin v půdě a stabilitou půdních agregátů. Tyto výsledky vykazují důležitost organické hmoty v půdě a jejího vlivu na zlepšení půdní struktury. Vzhledem k tomu, že půdní agregáty jsou klíčovým faktorem pro udržení kvality a úrodnosti půdy, je tedy třeba věnovat pozornost vývoji a udržení organické hmoty v půdě.

V rámci druhé hypotézy lze konstatovat, že obsah jednotlivých LMMOA v půdě je ovlivněn mnoha faktory, včetně druhu vegetace a zvolené agrotechniky. Výsledky provedených měření ukazují, že v různých typech porostů může být výskyt a množství LMMOA značně odlišné. Vhodná volba způsobu obhospodařování půdy může přispět k udržení nebo zlepšení její živostnosti a k dosažení vyššího výnosu.

Celkově minimální detekce LMMOA mohla být zapříčiněna suchem, čímž mohlo dojít k urychlení procesu mineralizace. Na základě nízkého obsahu minerálních aniontů je možné konstatovat, že půdy nebyly zasolené.

Závěrem této práce je, že stabilita agregátů nejvíce souvisí s celkovým obsahem organické hmoty, ale i s koncentrací LMMOA, a tedy i se samotnou vegetací a půdním pokryvem, což bylo částečně zjištěno informacemi z literární rešerše a potvrzeno na konkrétním případě v rámci experimentu. Bylo zjištěno, že množství, kvalita organické hmoty a půdní procesy výrazně ovlivňují konečnou kvalitu a úrodnost půdy. Tato studie potvrzuje důležitost organického materiálu a množství LMMOA pro zdravou půdu a poukazuje na možnosti jeho využití jako prostředku ke zlepšení kvality půdy. Tyto výsledky mají praktický význam pro zemědělce, kteří mohou tímto způsobem ovlivnit stabilitu půdy a zlepšit tak její kvalitu a výnosy.

8 Přehled literatury a použitých zdrojů

8.1 Seznam knižní literatury

- Baranyk P., Balík J., Hájková M., Havel J., Kazda J., Lošák T., Málek B., Markytán P., Plachká E., Richter R., Soukup J., Strašil Z., Šaroun J., Škeřík J., Šmirous P., Štranc P., Volf M., Vrbovský V., Zehnálek P., Zelenýb V., 2010: Olejníny. 1. vydání. Profi Press, Praha, 206 s., ISBN 978-80-86726-38-0.
- Baranyk P., Fábry A., Balík J., Dostálová J., Humpál J., Kazda J., Koprna R., Kuchtová P., Markytán P., Nerad D., Soukup J., Šaroun J., Škeřík J., Volf M., 2007: Řepka-pěstování, využití, ekonomika. 1. vydání. Profi Press, Praha, 208 s., ISBN 978-80-86726-26-7.
- Bedrna Z., 2002: Enviromentálne pôdoznanstvo. Vydavateľstvo Veda, Bratislava, 352 s., ISBN 978-80-01-03609-9.
- Demo M., Bielek P., Húska D., Jureková Z., Kostrej A., Hraška Š., Antal J., Cagaň L., Reháč Š., Dlouhý J., 2000: Regulačné technológie v produkčnom procese poľnohospodárskych plodín. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre v spolupráci s Výskumným ústavom pôdoznanstva a ochrany pôdy, Bratislava, 648 s., ISBN 80-7137-255-2.
- Dlouhý J., Dytrtová K., Šarapatka B., Huňady I., Lačňák V., Ponížil A., Ondráčková E., Pozdíšek J., Jánský J., Pospíšil J., 2010: Pěstování luskovinoobilných směšek v ekologickém zemědělství. Bioinstitut, Olomouc, 48 s., ISBN 978-80-87371-06-0.
- Gryndler M., Baláž M., Hršelová H., Jansa J., Vosátka M., 2005: 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, Praha, 256 s., ISBN 80-903482-4-6.
- Hradil R., 2015: Půda zdravá, živá, úrodná. Bioinstitut, Olomouc, 272 s., ISBN 978-80-87635-31-5.
- Hraško J., 1962: Rozbory pôd. Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry, Bratislava, 335 s., ISBN 80-89128-20-3.
- Hraško J., Bedrna Z., 1988: Aplikované pôdoznanectvo. Príroda, Bratislava, 474 s., ISBN 978-80-552-0207-5.

- Jandák J., Pokorný E., Prax A., 2001: Půdoznalství. 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.
- Kutílek M., 1978: Vodohospodářská pedologie. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha., 276 s., ISBN 978-80-213-2434-3.
- Lavelle P., 2012: Soil as a habitat. Soil ecology and ecosystems services. Oxford University Press, Oxford, P. 7-27. ISBN 9780191774843.
- Lavelle, P. a Spain, A. V., 2001: Soil ecology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 654 s., ISBN 978-94-017-5281-7.
- Ledvina R., Hořáček J., Šindelářová M., 1992: Geologie a půdoznalství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice, 203 s., ISBN 80-900364-6-5.
- Nimmo J. R., Perkins K. S., 2002: 2.6 Aggregate stability and size distribution. Methods of Soil Analysis, Part 4 – Physical Methods Volume 5. P. 317–328. ISBN 9780891188414.
- Pavlů L., 2019: Základy pedologie a ochrany půdy. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 76 s., ISBN 978-80-213-2952-2.
- Prax A., Jandák J., Pokorný E., 1995: Půdoznalství. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, 156 s., ISBN 80-7157-145-8.
- Rajchard J., Kindlman P., Balounová Z., 2002: Ekologie II. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice, 119 s., ISBN 80-7232-190-0.
- Rejšek, K. a Vácha, R., 2018: Nauka o půdě. Aqriprint, Olomouc, 536 s., ISBN 978-80-87091-82-1.
- Sotáková S., 1982: Organická hmota a úrodnost' půdy. Příroda, Bratislava, 234 s., ISBN 80-89128-00-9.
- Stevenson F. J., 1994: Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reaction. 2nd Ed. John Wiley and Sons, Inc., New York, 512 s., ISBN 978-0-471-59474-1.
- 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., 2003: Základy nauky o půdě: 1. neživé složky půd. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Biologická fakulta, České Budějovice, 131 s., ISBN 80-7040-629-1.
- Šimek M., Elhottová D., Chroňáková A., 2019: Živá půda (2): Ekologie, využívání a degradace půdy. Academia, Praha, 796 s., ISBN 978-80-200-2976-8.
- Thomas G. W. 1996: Soil pH and soil acidity. Methods of Soil Analysis, part 3: Chemical Methods. P. 475–490. ISBN 9780891188254.
- 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, Praha, 151 s., ISBN 80-213-0637-8.
- Vaněk V., Balík J., Černý J., Pavlík M., Pavlíková D., Tlustoš P., Valtera J., 2012: Výživa zahradních rostlin. Academia, Praha, 572 s., ISBN 978-80-200-2147-2.
- 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.
- Zaujec A., Chlpík J. Nádašský J. Szombathová N., Tobiášová E., 2009: Pedologia a základy geologie. SPU, Nitra, 399 s., ISBN 978-80552-0207-5.

8.2 Seznam odborných článků

- 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 Volume 156. P. 1-16.
- Bastida F., Moreno J. L., Hernández T., García C., 2006: Microbiological activity in a soil 15 years after its devegetation. Soil Biology and Biochemistry Volume 38, Issue 8. P. 2503–2507.

- Chen M., Zhang S., Liu L., Liu J., Ding X., 2022: Organic fertilization increased soil organic carbon stability and sequestration by improving aggregate stability and iron oxide transformation in saline-alkaline soil. *Plant and soil* Volume 474, Issue 1-2. P. 233-249.
- Doran J. W., Parkin T. B., 1994: Defining and Assessing Soil Quality. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment* Issue 35. P. 3-21.
- Gunina A., Smith A. R., Kuzyakov Y., Jones D. I., 2017: Microbial uptake and utilization of low molecular weight organic substrates in soil depend on carbon oxidation state. *Biogeochemistry* Volume 133, Issue 1. P. 89-100.
- Hubova P., Tejnecky V., Ash C., Boruvka L., Drabek O., 2017: Low-Molecular-Mass Organic Acids in the Forest Soil Environment. *Mini-reviews in organic chemistry* Volume 14, Issue 1. P. 75-84.
- Jakšík O., Kodešová R., Kubiš A., Stehlíková I., Drábek O., Kapička A., 2015: Soil aggregate stability within morphologically diverse areas. *Catena* Volume 127. P. 287-299.
- Jha P., Garg N., Lakaria B. L., Biswas A. K., Rao A. S., 2012: Soil and residue carbon mineralization as affected by soil aggregate size. *Soil & tillage reseach* Volume 121. P. 57-62.
- Kaiser K., Guggenberger G., Haumaier L., 2004: Changes in dissolved lignin-derived phenols, neutral sugars, uronic acids, and amino sugars with depth in forested Haplic Arenosols and Rendzic Leptosols. *Biogeochemistry* Volume 70, Issue 1. P. 135–151.
- Kalbitz K., Solinger S., Park J. H., Michalzik B., Matzner E., 2000: Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review. *Soil science* Volume 165, Issue 4. P. 277–304.
- Kissel D. E., Sonon L., Vendrell P. F., Isaac R. A., 2009: Salt Concentration and Measurement of soil pH. *Communications in Soil Science Plant Analysis* Volume 40, Issue 1-6. P. 179–187.
- Kodešová R., Rohošková M., Žigová A., 2009: Comparison of aggregate stability within six soil profiles under conventional tillage using various laboratory tests. *Biologia* Volume 64, Issue 3. P. 550-554.

- Kubát J., Lipavský J., 2006: Steady state of the soil organic matter in the long-term field experiments. *Plant, Soil and Environment* Volume 60, Issue 7. P. 314-319.
- Michalski R., Pecyna-Utylska P., Kernert J., 2022: Ion Chromatography and Related Techniques in Carboxylic Acids Analysis. *Critical reviews in analytical chemistry* Volume 51, Issue 6. P. 549-564.
- Mimmo T., Ghizzi M., Marzadori C., Gessa C. E., 2008: Organic acid extraction from rhizosphere soil: effect of field-moist, dried and frozen samples. *Plant and soil* Volume 312, Issue 1-2. P. 175-184.
- Neagu C. V., Oprea G. 2012: Humus substances and soil fertility. *Scientific papers-series management economic engineering in agriculture and rural development* Volume 12, Issue 1. P. 153-156.
- Ortega R., Fernandez M., 2007: Agronomic evaluation of liquid humus derived from earthworm humic substances. *Journal of Plant Nutrition* Volume 30, Issue 12. P. 2091-2104.
- Parker D. R., Fedler J. F., Resketo M., Ahnstrom Z. A., 2001: Reevaluating the free-ion activity model of trace metal toxicity toward higher plants: Experimental evidence with copper and zinc. *Environmental toxicology and chemistry* Volume 58, Issue 2-3. P. 133-144.
- Sumner M. E., 1994: Measurement of soil pH: Problems and solutions. *Communications in Soil Science Plant Analysis* Volume 25, Issue 7-8. P. 859-879.
- Valdrighi M. M., Pera A., Agnolucci M., Frassinetti S., Lunardi D., Vallini G., 1996: Effects of compost-derived humic acids on vegetable biomass production and microbial growth within a plant (*Cichorium intybus*)-soil system: A comparative study. *Agriculture ecosystems & environment* Volume 58, Issue 2-3. P. 133-144.
- Vaněk V., Kolář L., Pavlíková D., 2009: Úloha organické hmoty v půdě. *Racionální použití hnojiv – sborník z konference*. S. 16-25. ISBN 978-80-213-2006-2.
- Zhang Y., Yue D., Lu X. a kol., 2017: Role of ferric oxide in abiotic humification enhancement of organic matter. *Journal of Material Cycles and Waste Management* Volume 19, Issue 1. P. 585-591.

- 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* Volume 6, Issue 3. P. 157-166.
- Zhu T., Dang Q., Zhang J., Mueller C., Cai Z., 2014: Reductive soil disinfestation (RSD) alters gross N transformation rates and reduces NO and N₂O emissions in degraded vegetable soils. *Plant and Soil* Volume 382, Issue 1-2. P. 269-280.
- Zsolnay A., 2003: Dissolved organic matter: artefacts, definitions, and functions. *Geoderma* Volume 113, Issue 3-4. P. 187-209.

8.3 Ostatní zdroje

- VÚMOP ČR, ©2022: Geoportal SOWAC-GIS a eKatalog BPEJ (online) [cit. 2022.04.11], dostupné z < <https://geoportal.vumop.cz/> >
- AGROMANUAL CZ, ©2019: Výživa a stimulace (online) [cit. 2022.18.02], dostupné z < <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/organicka-hmota-v-pude-jeji-obsah-slozky-a-vyznam> >
- Davídek T. 2020: Kvalita organické hmoty v půdních agregátech. ČZU, FŽP, Praha, 59 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“ Dep. SIC ČZU v Praze.

9 Seznam obrázků

Obr. 1: Studované území Suchdol, mapa 1:20 000 (VÚMOP, 2022).....	20
Obr. 2: Umístění odběrových míst na orné půdě v Suchdole (autor, 2022).....	20
Obr. 3: Studované území Kyje, mapa 1:20 000 (VÚMOP, 2022).....	21
Obr. 4: Síto s agregáty (autor, 2022).....	22
Obr. 5: Sušárna se vzorky (autor, 2022)	22
Obr. 6: Wet sieving apparatus (autor, 2022)	24
Obr. 7: Přímá titrace Mohrovou solí (autor, 2022)	26
Obr. 8: Graf hodnot WSA; průměrné hodnoty pro jednotlivé varianty (N=6); chybové úsečky představují směrodatné odchylky	29
Obr. 9: Graf hodnot C _{ox} ; průměrné hodnoty pro jednotlivé varianty (N=6); chybové úsečky představují směrodatné odchylky.....	29
Obr. 10: Graf hodnot Q 4/6; průměrné hodnoty pro jednotlivé varianty (N=6); chybové úsečky představují směrodatné odchylky	30

Obr. 11: Graf hodnot pH; průměrné hodnoty pro jednotlivé varianty (N=6); chybové úsečky představují směrodatné odchylky.....	31
Obr. 12: Graf obsahu NO ₂ ⁻ ; průměrné hodnoty pro jednotlivé varianty (N=6); chybové úsečky představují směrodatné odchylky	31
Obr. 13: Graf obsahu NO ₃ ⁻ ; průměrné hodnoty pro jednotlivé varianty (N=6); chybové úsečky představují směrodatné odchylky	32
Obr. 14: Součtový graf hodnot Oxalátu a Citrátu; průměrné hodnoty pro jednotlivé varianty (N=6); chybové úsečky představují směrodatné odchylky	33

10 Seznam tabulek

Tab. 1: Půdní struktura dle velikosti agregátů (Jandák a kol., 2001).....	4
Tab. 2: Vymezení zrnitostních frakcí a kategorií (Pavlů, 2019).....	6
Tab. 3: Půdní druhy podle Nováka (Pavlů, 2019).....	7
Tab. 4: Klasifikace půd dle výměnné reakce (Hauptman a kol., 2009).....	10
Tab. 5: Klasifikace půd dle aktivní reakce (Šarapatka, 2014)	10
Tab. 6: Stabilita nejvýznamnějších složek primární organické hmoty v půdě (Vaněk a kol. 2009)	11
Tab. 7: Hodnocení půd dle procenta stanoveného humusu (Jandák a kol., 2001).....	14
Tab. 8: Obsah humusu v orných půdách ČR (Jandák a kol., 2001).....	15
Tab. 9: Hodnocení obsahu humusu dle Tjurina (Valla a kol., 2000).....	25
Tab. 10: Jednocestná analýza rozptylu, Fisher test (95 % LSD), rozdílná písmena představují průkazné rozdíly mezi studovanými variantami	33
Tab. 11: Korelační analýza, červeně jsou označeny statistiky významné závislosti, jejich průkaznost je dokumentována hodnotami p.....	34

11 Přílohy

- Souhrnná tabulka naměřených dat

vzorek	WSA (-)	Q _{4/6} (-)	Cox (%)	pH (-)	Oxalate (mg/kg)	Citrate (mg/kg)	NO ₂ ⁻ (mg/kg)	NO ₃ ⁻ (mg/kg)
1 OV + P	0,828	5,340	1,690	5,650	0,306	0,875	0,919	98,927
2 OV + P	0,738	3,640	1,680	5,770	0,298	0,058	1,192	247,817
3 OV+ P	0, 877	4,720	1,980	5,440	0,351	0,058	0,447	102,976
4 OV+ P	0,784	5,150	1,680	5,680	0,303	0,059	1,028	72,404
5 OV+ P	0,833	3,710	1,910	5,710	0,324	0,056	1,500	187,027
6 OV+ P	0,833	4,990	1,810	5,600	0,318	0,058	0,890	143,078
7 "KUK"	0,678	4,370	0,750	5,830	0,300	0,686	0,857	57,530
8 "KUK"	0,696	4,810	0,760	5,310	0,261	0,060	0,131	51,755
9 "KUK"	0,778	4,520	1,120	5,350	0,247	0,059	0,172	53,416
10 "KUK"	0,793	5,090	0,820	5,160	0,263	0,058	0,168	138,944
11 "KUK"	0,745	5,010	0,870	5,340	0,258	0,902	0,258	82,870
12 "KUK"	0,804	4,640	1,410	5,500	0,258	0,059	0,129	71,547
13 ŘEPKA	0,870	5,850	1,120	5,360	0,257	0,059	0,193	54,590
14 ŘEPKA	0,812	4,630	1,360	5,540	0,258	0,344	0,377	68,897
15 ŘEPKA	0,864	4,440	1,170	5,490	0,243	0,717	0,320	59,550
16 ŘEPKA	0,883	4,660	1,050	5,520	0,259	0,540	0,389	66,760
17 ŘEPKA	0,857	5,100	1,070	5,490	0,250	0,716	0,325	101,060
18 ŘEPKA	0,882	4,190	1,300	5,560	0,244	0,585	0,425	59,056
19 KYJE	0,960	3,020	2,270	5,510	0,478	0,489	1,696	77,555
20 KYJE	0,874	2,930	2,300	5,520	0,374	0,846	1,307	76,086
21 KYJE	0,873	3,370	3,000	5,430	0,386	0,870	1,399	84,149
22 KYJE	0,884	3,610	2,100	5,610	0,765	0,623	1,780	105,100
23 KYJE	0,938	3,380	2,180	5,710	0,507	0,909	2,378	105,274
24 KYJE	0,920	3,480	2,630	5,400	1,190	1,878	1,485	194,122