

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

**KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A
ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ**



**VLIV ROZDÍLNÝCH FOREM ORGANICKÉ HMOTY
NA RETENCI A PROUDĚNÍ VODY V PŮDĚ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Jačka, Ph.D.

Bakalant: Michaela Vinterová

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Michaela Vinterová

Krajinářství
Vodní hospodářství

Název práce

Vliv rozdílných forem organické hmoty na retenci a proudění vody v půdě

Název anglicky

Influence of different forms of organic matter on water flow and retention of amended soil

Cíle práce

Stanovit vliv přidavku rozdílných forem organické hmoty (hnůj, kompost, biochar a jejich kombinací) na hydrologické chování půdy.

Metodika

Na základě aktuální literatury charakterizovat vliv organické hmoty a jejích různých forem na hospodaření půdy s vodou, na retenci a proudění vody v půdě a na související půdní vlastnosti (pórovitost, struktura, objemová hmotnost a další). Dále zpracovat rešerši významu organické hmoty v kontextu zemědělského sucha a klimatické změny. Stručně definovat základní hydro-fyzikální vlastnosti půdy.

Zpracovat a vyhodnotit již naměřená data týkající se efektu přidavků různých forem organické hmoty (kompostu, biocharu, hnoje, a jejich kombinací) na hydro-fyzikální vlastnosti půdy. Konkrétně vyhodnotit efekt na pórovitost, retenci, nasycenou hydraulickou vodivost a objemovou hmotnost. Dále statisticky vyhodnotit rozdíly mezi efekty různých forem organické hmoty.

Doporučený rozsah práce

35 stran

Klíčová slova

organické přídatky, půdní hydrologie, hnůj, kompost, biochar, hydrofyzikální vlastnosti

Doporučené zdroje informací

Baldock, J.A., Nelson, P.N., 2000. Soil organic matter. In: Sumner, M. (Ed.), Handbook of Soil Science. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Cotching, W.E., 2018. Organic matter in the agricultural soils of Tasmania, Australia: A review. Geoderma 312, 170-182.

Krull, E.S., Skjemstad, J.O., Baldock, J.A., 2004. Functions of soil organic matter and the effects on soil properties. GRDC Australia Project No CSO 00029. ACT, Canberra. 129 pp.

Kutílek, M., 1978. Vodohospodářská pedologie. SNTL- ALFA, Praha.

Loveland, P., Webb, J., 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. Soil Tillage Res. 70, 1-18.

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Lukáš Jačka, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2020

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 4. 3. 2020

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 29. 06. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma: Vliv rozdílných forem organické hmoty na proudění a retenci vody v půdě 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 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 a verzi tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze:

.....

Poděkování

Zde bych chtěla poděkovat Ing. Lokášovi Jačkovi Ph.D. za jeho odborné vedení při zpracování práce, velkou ochotu a cenné rady. Děkuji také své rodině a přátelům za jejich podporu.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá pozorováním vlivu vybraných organických přísad na zvolené hydro-fyzikální vlastnosti dvou rozdílných půd. Účelem práce je zjistit efektivnost přísad pro zlepšení hydrofyzikálních vlastností těchto půd. Testované půdy jsou kontrastní v množství obsažené frakce písku. Písčito-hlinité fluvizem obsahovala 56 procent písku. Hlinito-písčité regozem obsahovala 85 procent písku. Použité organické přísady byly biochar, hnůj, kompost, kombinace hnoje a biocharu a ko-kompostovaný biochar. Zkoumané půdní vlastnosti byly objemová hmotnost, pórovitost, polní vodní kapacita, nasycená hydraulická vodivost. Měření byla provedena v hydro-pedologické laboratoři na Fakultě životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze.

Objemová hmotnost byla nejvíce snížena u regozemě z hodnoty 1.55g/cm^3 pro kontrolní půdu na hodnotu 1.09g/cm^3 při přidání kombinace hnoje a biocharu. Pórovitost byla nejvíce zvýšena o 21% v regozemi pro úpravě hnojem, druhé největší zvýšení bylo zaznamenáno opět v regozemi o 17% pro hnůj s biocharem. Největší zvýšení polní vodní kapacity bylo 17% v regozemi s hnojem. Celkově všechny organické přísady výrazně snižovaly objemovou hmotnost a zvyšovaly pórovitost a polní vodní kapacitu u obou testovaných půd. Efekty organických přísad na tyto vlastnosti byly vždy vyšší u písčitéjší regozemě, než u fluvizemě. Organické přísady ve většině případů mírně snižovaly nasycenou hydraulickou vodivost v obou půdách. Jediný nevýznamný nárůst K_s byl zaznamenán u regozemě po přísadce hnoje.

Výsledky práce potvrdily, že všechny použité přísady mají kladný vliv na pozorované hydrofyzikální vlastnosti. Z výsledků nelze jednoznačně doporučit pouze jednu z testovaných forem organické hmoty. Dobrých výsledků u všech sledovaných vlastností dosahuje kombinace stabilní formy organické hmoty (biocharu) s hnojem i kompostem. Práce ukazuje důležitý význam organické hmoty v půdě.

Klíčová slova

Vliv organických přísad, Nasycená hydraulická vodivost, Objemová hmotnost, Pórovitost, Polní vodní kapacita, Zlepšování vlastností půdy

Abstract

This bachelor thesis deals with the effect of different organic amendments on hydro-physical properties of two contrasting soils. Purpose of this thesis is to find out the efficiency of soil amendments for improvement of the hydro-physical properties of these soils. Tested soils are different in volume of sand fraction. Sandy-loam Fluvisol contained 56 percent of sand. Loamy-sand Regosol contained 85 percent of sand. Used organic amendments were biochar, manure, compost, combination of manure and biochar and co-composted biochar (compost enriched by biochar). Studied soil properties were bulk density, porosity, field water capacity and saturated hydraulic conductivity. Measurements were performed in hydropedologic laboratory on Faculty of Environmental Sciences of Czech University of Life Sciences Prague.

Value of bulk density was most reduced in Regosol from value 1.55g/cm^3 for control soil to 1.09g/cm^3 when amended with combination of manure and biochar. Porosity was most increased by 21% in Regosol by manure amendment, the second biggest increase was by 17% in Regosol with manure and biochar amendment. Biggest raise in field capacity was 17% in Regosol with manure amendment. Overall all organic amendments distinctly lowered bulk density and increased porosity together with field water capacity in both tested soils. Effects of organic amendments on these properties were always bigger in more sandy Regosol than in Fluvisol. Organic amendments in most cases slightly decreased saturated hydraulic conductivity of both soils. Only one insignificant raise in K_s was noted in Regosol amended by manure.

Outcomes of this thesis approved that all used amendments positively influenced observed hydro-physical properties. Looking at the outcomes it is not possible to recommend only one of the tested organic amendments. Good effects in all of the observed properties were achieved with combinations of stable organic matter (biochar) with manure and also with compost. This bachelor thesis clearly shows importance of organic matter in soil.

Key words

Influence of organic amendments, Saturated hydraulic conductivity, Bulk density, Porosity, Field capacity, Improvement of soil properties

OBSAH

| | |
|---|----|
| 1. ÚVOD..... | 11 |
| 2. CÍLE PRÁCE..... | 13 |
| 3. LITERARNÍ REŠERŠE | 14 |
| 3.1 ORGANICKÁ SLOŽKA PŮDY | 14 |
| 3.2 NESPECIFICKÉ HUMUSOVÉ LÁTKY..... | 15 |
| 3.3 SPECIFICKÉ HUMUSOVÉ LÁTKY..... | 15 |
| 3.3.1 FLUVOKYSELINY | 15 |
| 3.3.2 HUMINOVÉ KYSELINY | 15 |
| 3.3.3 HUMUSOVÉ UHLÍ | 16 |
| 3.4 PŮDNÍ SORPČNÍ KOMPLEX | 16 |
| 3.5 HUMUSOTVORNÉ PROCESY | 16 |
| 3.5.1 MINERALIZACE..... | 16 |
| 3.5.2 RAŠELINĚNÍ..... | 17 |
| 3.5.3 HUMUFIKACE..... | 17 |
| 3.6 ŽIVÁ SLOŽKA PŮDY | 17 |
| 3.6.1 FAGOTROFOVÉ | 17 |
| 3.6.2 OSMOTROFOVÉ..... | 17 |
| 3.6.3 ŽÍŽALY | 18 |
| 3.7 VLIV ORGANICKÉ HMOTY NA VLASTNOSTI PŮDY..... | 18 |
| 3.7.1 KRITICKÉ MNOŽSTVÍ ORGANICKÉ HMOTY V PUDĚ..... | 18 |
| 3.8 VLIV ORGANICKÝCH PŘÍDAVKŮ NA VYBRANÉ FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI PŮD | 19 |
| 3.8.1 RETENCE VODY | 19 |
| 3.8.2 PŘÍSTUPNÁ VODNÍ KAPACITA..... | 19 |
| 3.8.3 OBJEMOVÁ HMOTNOST..... | 19 |
| 3.8.4 STABILITA AGREGÁTŮ A STRUKTURY | 19 |
| 3.8.5 PÓROVITOST..... | 20 |
| 3.8.6 VODA PŘÍSTUPNÁ ROSTLINÁM | 21 |
| 3.8.7 NASYCENÁ HYDRAULICKÁ VODIVOST | 21 |
| 3.9 VÝZNAM ORGANICKÉ HMOTY V KONTEXTU KLIMATICKÉ ZMĚNY A ZEMĚDĚLSKÉHO SUCHA | 22 |
| 3.9.1 ZEMĚDĚLSKÉ SUCHO | 22 |
| 3.9.2 PŘÍČINY A PŘEDCHÁZENÍ ZTRÁTY ORGANICKÉ HMOTY V PŮDÁCH | 22 |
| 3.9.3 DODÁVÁNÍ ORGANICKÉ HMOTY DO PŮD..... | 23 |
| 3.9.4 ORGANICKÉ PŘÍDAVKY | 23 |

| | |
|--|----|
| 4. METODIKA | 23 |
| 4.1 CHARAKTERISTIKA PŮD A PŘÍDAVKŮ | 23 |
| 4.1.1 PŮDA ODEBRANÁ U OBCE ZVĚŘÍNEK | 23 |
| 4.1.2 PŮDA ODEBRANÁ U OBCE TRHOVÉ DUŠNÍKY V BLÍZKOSTI ŘEKY LITAKY | 24 |
| 4.1.3 BIOCHAR | 24 |
| 4.1.4 KOMPOST | 25 |
| 4.2 PŘÍPRAVA VZORKŮ A PLÁN VZORKOVÁNÍ | 25 |
| 4.2.1 VZNIKLÉ SMĚSI | 25 |
| 4.2.2 PŘÍPRAVA SMĚSÍ A JEJICH STABILIZACE | 25 |
| 4.2.3 ODBĚR VZORKŮ | 26 |
| 5. MĚŘENÍ HYDROFYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ | 27 |
| 5.1. OBJEMOVÁ HMOTNOST | 27 |
| 5.2. PÓROVITOST | 27 |
| 5.3. NASYCENÁ HYDRAULICKÁ VODIVOST | 27 |
| 5.3.1 PŘÍPRAVA VZORKŮ NA MĚŘENÍ A JEJICH SYCENÍ | 28 |
| 5.3.2 MĚŘENÍ HYDRAULICKÉ NASYCENÉ VODIVOSTI | 28 |
| 5.4. MĚŘENÍ RETENCE | 30 |
| 5.4.1 PŘÍPRAVA MĚŘENÍ A SYCENÍ VZORKŮ | 30 |
| 5.4.2. MĚŘENÍ V PÍSKOVÉM A PÍSKO-KAOLINOVÉM TANKU | 30 |
| 5.4.3. MĚŘENÍ V TLAKOVÝCH NÁDOBÁCH | 31 |
| 5.4.4. UKONČENÍ MĚŘENÍ | 32 |
| 6. VÝSLEDKY MĚŘENÍ | 32 |
| 6.1 OBJEMOVÁ HMOTNOST | 32 |
| 6.1.1. OBJEMOVÁ HMOTNOST REGOZEM | 32 |
| 6.1.2. OBJEMOVÁ HMOTNOST FLUVIZEM | 33 |
| 6.1.3 OBJEMOVÁ HMOTNOST POROVNÁNÍ | 33 |
| 6.2. PÓROVITOST | 34 |
| 6.2.1 PÓROVITOST REGOZEM | 34 |
| 6.2.2 PÓROVITOST FLUVIZEM | 34 |
| 6.2.3 PÓROVITOST POROVNÁNÍ | 35 |
| 6.3. POLNÍ VODNÍ KAPACITA | 35 |
| 6.3.1. POLNÍ VODNÍ KAPACITA REGOZEM | 35 |
| 6.3.2. POLNÍ VODNÍ KAPACITA FLUVIZEM | 36 |
| 6.3.3 POLNÍ VODNÍ KAPACITA POROVNÁNÍ | 37 |
| 6.4. NASYCENÁ HYDRAULICKÁ VODIVOST | 37 |

| | |
|---|----|
| 6.4.1. NASYCENÁ HYDRAULICKÁ VODIVOST REGOZEM..... | 37 |
| 6.4.2. NASYCENÁ HYDRAULICKÁ VODIVOST FLUVIZEM | 37 |
| 6.4.3 NASYCENÁ HYDRAULICKÁ VODIVOST POROVNÁNÍ..... | 38 |
| 7. DISKUZE | 38 |
| 7.1 OBJEMOVÁ HMOTNOST..... | 38 |
| 7.2 PÓROVITOST..... | 39 |
| 7.4 POLNÍ VODNÍ KAPACITA..... | 39 |
| 7.3 NASYCENÁ HYDRAULICKÁ VODIVOST | 40 |
| 8.ZÁVĚR | 40 |
| 9.PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ | 42 |

1. ÚVOD

Kvalitní půda dobře hospodařící s vodou je důležitá pro předcházení sucha i povodní. V současné době jsou sucha a lokální povodně z přívalových dešťů neustálým problémem nejen v České republice. Zažíváme čím dál častější vlny veder, narůstají maximální teploty vzduchu a přibývá přívalových dešťů (Žalud a kol. 2019). Množství vody, které je schopná půda pojmout přesahuje kapacitu všech povrchových vodních nádrží (Kutílek, 1978). Půda představuje tedy obrovský rezervoár vody, o který je nutno se starat.

Zásoba a dostupnost vody v půdě se snižuje používáním těžké zemědělské techniky, která způsobuje zhutňování a to zejména u půdy oslabené nedostatkem organické hmoty. Nawrath a Hašková (2015) říká upozorňují, že organická složka v půdě je důležitá pro zachování struktury a ochranu půdy proti zhutnění. Podle Jeřábkové (2019) je půdní organická hmota je důležitá v boji proti půdnímu suchu. Od množství organické složky v půdě se odvíjí její fyzikální a hydrologické vlastnosti. Kvalita půdy a její fyzikální a hydrologické vlastnosti úzce souvisí s množstvím a druhem obsažené organické složky. Organická složka ovlivňuje retenci vody, úrodnost, flóru, faunu, odolnost půdy proti erozi a mnoho dalšího. Dle Głęb a kol. (2018) mají organické přídavky kladný vliv na biologické i fyzikální vlastnosti půd a dodáváním energie podporují půdní faunu a flóru. Pro efektivnější ochranu půdy potřebujeme znát účinky organických příměsí mnohem více do hloubky než dnes. Víme, že různé přídavky působí jinak na rozdílné půdy. Potřebujeme tedy zjistit, které přídavky jsou ideální pro jaký typ půdy, a který problém v půdě řeší. Tato práce se zabývá rozdílnými vlivy půdních organických přídavků na vlastnosti regozemě a fluvizemě. V práci jsou důkazy ze současné literatury o důležitosti a vlivu organické složky půdy na její vlastnosti. Důkazy jsou potvrzeny zpracováním dat z měření a výsledky jsou porovnány.

V teoretické části práce jsou popsány organické složky důležité pro správné fungování půdy a její vitalitu. Jsou zde popsány různé druhy půdní organické hmoty a specifické humusové látky. Dále jsou zde popsány půdní přeměnné procesy a živá složka půdy. Popsán je zde též vliv organických přídavků na vodní kapacitu, dostupnost vody pro rostliny, objemovou hmotnost, stabilitu agregátů, stabilitu struktury, pórovitost, a nasycenou hydraulickou vodivost. Vliv organických příměsí se různí podle druhu půdy a množství přidané organické hmoty.

V další metodické části jsou popsány zkoumané půdní typy, regozem a fluvizem. Jsou zde charakterizovány půdní přídavky použité v této práci. Je zde popsána příprava a stabilizace směsí a odběr vzorků pro měření. Popsány jsou tu dále postupy měření objemové hmotnosti, pórovitosti, nasycené hydraulické vodivosti a měření retence pro výpočet polní vodní kapacity (pf2).

V kapitole výsledků a diskuze jsou uvedena výsledná data z měření a výpočtů. Je zde porovnána efektivnost jednotlivých přísad na fluvizem a regozem a efekty přísad jsou zde diskutovány.

2. CÍLE PRÁCE

Cílem práce je vyhodnotit data získaná měřením a výpočtem s organickými půdními přídávky (biochar, hnůj, kompost, kombinace hnůj a biochar, ko-kompostovaný biochar) na chování regozemě a fluvizemě, které jsou kontrastní v množství písčitých částic. Vyhodnocovanými vlastnostmi jsou objemová hmotnost, pórovitost, polní vodní kapacita a nasycená hydraulická vodivost.

Navazujícím cílem je zjistit a porovnat vliv těchto různých přídávků na vyhodnocované vlastnosti.

3. LITERARNÍ REŠERŠE

3.1 ORGANICKÁ SLOŽKA PŮDY

Většinou je tvořena pouze malou částí půdy, to ale nezmenšuje její důležitost. Jsou v ní zastoupeny všechny přírodní materiály nehledě na jejich původ, všechno živé, mrtvé i materiály a látky ve všech stádiích rozkladu. Nezapadají sem však nadzemní části živých rostlin (Baldock a Nelson 1999).

Humus se skládá se z odumřelých organických látek rostlinného a živočišného původu v různých stádiích rozkladu. Tento materiál podléhá přeměným procesům mineralizace, humifikace, karbonizace a ulmifikace. Malý podíl přechází v sekundární nové humusové látky, které patří k těm nejstabilnějším složkám půdy vůbec (Jeřábková 2019).

Složení, vlastnosti i množství organických látek neustále kolísá, různí se i stupeň přeměny jednotlivých složek, které jsou v různém poměru promíšeny s minerální půdní složkou. V humusu se objevují složky půdní organické hmoty, produkty činnosti živých organismů a organická hmota přeměněná humifikačním procesem. Množství organických látek v půdě lze zhruba zjistit ze ztráty žíháním, přesnější metodou je stanovení organického uhlíku chemickou analýzou. Podle chemického chování a hlavního postavení jednotlivých skupin dělíme humus do dvou základních skupin. Nespecifické humusové látky a specifické humusové látky (Kutílek a kol. 2004). Ve většině zemědělských půd je organická hmota zastoupena malým objemem pouze 2-5% (Černý a kol. 2019).

Obsah organické hmoty klesá směrem do hloubky půdního profilu. Hlavními zdroji organické hmoty jsou rostliny včetně kořenů a odumřelé buňky autotrofních mikroorganismů. U zemědělských půd jsou frekventovaným a poměrně bohatým zdrojem organické hmoty organická hnojiva. Rostlinná biomasa je průměrně ze 75 % voda, zbytek je z většiny složený z uhlíku, kyslíku a vodíku. V malém množství jsou obsaženy i prvky dusík, síra, fosfor, draslík, hořčík a vápník. Jedná se o velmi důležité živiny rostlin i mikroorganismů. Druhotným zdrojem organické hmoty jsou živočichové a heterotrofní půdní mikroorganismy. Většina se živí rostlinami a vylučují exkrementy, po odumření zůstávají jejich těla v půdě. Některé živočišné druhy (žížaly, mravenci, termiti) sehrávají důležitou úlohu přemísťováním rostlinných zbytků v půdě (Šimek 2003). Půdní organická hmota drží obrovské množství uhlíku, jeho zásoba v půdě je více než dvakrát větší než zásoba v rostlinné biomase nebo atmosféře (Šantrůčková 2014).

3.2 NESPECIFICKÉ HUMUSOVÉ LÁTKY

Také známy jako primární organická hmota nebo humusotvorný materiál jsou v půdě zastoupeny nerozloženými organickými zbytky a organickou hmotou v různých stádiích rozkladu. Tyto materiály podléhají přeměnám v procesech mineralizace, humifikace a ulmifikace. Pouze část z nich se stane specifickými humusovými látkami (Jeřábková 2019).

Nespecifické humusové látky nejsou na rozdíl od specifických humusových látek tmavě zbarveny, tvoří živinovou a energetickou zásobárnu půdy, případně že se v půdě nevyskytují tyto látky nemůže být přítomna ani biologická aktivita (Kutílek a kol. 2004). Mineralizací těchto látek vzniká CO_2 a minerální látky a uvolňuje se značné množství energie. Vzniklé minerální látky jsou zdrojem živin pro mikroorganismy a rostliny. Svoji přítomností v půdě zlepšují půdní fyzikální vlastnosti (Vaněk a kol. 2010).

Úbytek organické hmoty v půdě je zapříčiněn jejím rozkladem a mineralizací humusu. Rychlost těchto procesů je nejvíce ovlivněna teplotou a vlhkostním režimem půdy. Pokud je mineralizace humusu podpořena nevhodným způsobem hospodaření (odlesňování, nedostatečné vápnění půd, nedostatečný přísun organické hmoty, nadměrná závlaha, vysušování půdy), může během několika let vést k úplné ztrátě úrodnosti (Bičík a kol. 2009).

3.3 SPECIFICKÉ HUMUSOVÉ LÁTKY

Nazývají se též huminové. Ve většině případů jsou tmavě zbarvené a mají Fpísčkvůli jejich schopnosti ovlivnit fyzikálně chemické vlastnosti půd, jako jsou sorpce a vzdušný, vodní a tepelný režim (Kutílek a kol. 2004). Mezi humusové látky se zahrnují fluvokyseliny, huminové kyseliny, hmatomelanové kyseliny, huminy a humusové uhlí (Šarapatka 2014). Vznikají syntézou z nespecifických humusových látek (Urban a kol. 2003).

3.3.1 FLUVOKYSELINY

Dle Urban a kol. (2003) se jedná o žlutě zbarvené látky, které jsou rozpustné ve vodě. Tyto látky jsou produktem prvního stupně humifikace. V půdním sloupci se mohou v pohybovat v rozpuštěné ve vodě. Mohou na sebe vázat mnoho prvků využitelných jako živiny pro rostliny. Při zasakování může dojít k prosáknutí až mimo zónu kořenů, což způsobuje nemožnost interakce s kořeny a živiny zůstanou nevyužité.

3.3.2 HUMINOVÉ KYSELINY

Jsou to stabilní látky. Na rozdíl od fluvokyselin jsou nerozpustné ve vodě a jsou tmavě zbarvené. Obsahují zhruba 58% uhlíku a vyznačují se velkým aktivním povrchem. V případě že je huminová kyselina spojena fyzikální vazbou s jílem, tak je tento komplex označován jako humin (Urban a kol. 2003).

3.3.3 HUMUSOVÉ UHLÍ

Podle Šarapatky (2014) je humusové uhlí vývojově nejstarší složkou organické půdní hmoty, je bohaté na uhlík a dusík. Jeho vznik dle Urban a kol. (2003) probíhá kondenzací z huminových kyselin, jedná se o beztvarou amorfní hmotu připomínající kousky uhlí.

3.4 PŮDNÍ SORPČNÍ KOMPLEX

Jedná se o všechny půdní koloidy schopné na sebe vázat (sorbovat) látky z půdního roztoku. Velikost sorpčního komplexu je dána vlastnostmi přítomných půdních částic. Sorpce je poutání látek v půdě, nebo může být řečeno, že se jedná o zvýšení koncentrace látky na rozhraní pevné fáze v porovnání s okolním prostředím. Jílové minerály jsou pro sorpci mnohem efektivnější než třeba zrnka křemene. Největší kapacitu pro sorpci mají organické sloučeniny, hlavně huminové látky. Půdní sorpční komplex vzhledem k převaze acidoidů nese záporný náboj. Sorpce probíhá na různých fázových rozhraních. Může se uskutečnit na pohyblivém fázovém rozhraní (kapalina a plyn nebo kapalina a kapalina), nebo na tuhém fázovém rozhraní (tuhá látka a plyn nebo tuhá látka a kapalina). Nejběžnější je v půdě sorpce tuhé látky a kapaliny. Účastníci vstupující do sorpce jsou: sorbent (látka sorbující), sorbent (látka poutaná př.: molekuly vápníku, hliníku a magnesia) a solvent působící jako rozpouštědlo (voda). Sorpci také můžeme dělit na mechanickou, fyzikální, fyzikálně chemickou a chemickou. Při mechanické sorpci dochází k zadržení agregátů, hrubě disperzních částic, velkých molekul a sraženin v pórech a dutinách. Fyzikální sorpce závisí na fyzikálních jevech na fázových rozhraních, na příklad závisí na vodíkových můstcích. Fyzikálně chemická sorpce, též nazývaná výměnná je iontová výměna mezi povrchem částic a roztokem. Z množství hlediska je nejvýznamnější a souvisí nejvíce s koloidní frakcí půd. Chemická sorpce závisí na rozpustnosti a tvoří málo rozpustné nebo nerozpustné sloučeniny. Biologická sorpce poutá zejména živiny do těl rostlin a mikroorganismů (Pavlů 2019).

3.5 HUMUSOTVORNÉ PROCESY

3.5.1 MINERALIZACE

Vede až k úplnému rozkladu organické hmoty na jednoduché složky příkladně oxid uhličitý a vodu. K průběhu potřebuje aerobní prostředí a příznivé teplotní a vlhkostní podmínky. Rozlišujeme na primární a sekundární mineralizaci. Při primární dochází k rozkladu cukrů, polysacharidů, proteinů, aminokyselin a tuků. Následné produkty slouží jako výživa rostlin a mikroorganismů, nebo jsou navázány na půdní sorpční komplex, případně jsou uvolněny do vzduchu ve formě plynů. Při sekundární mineralizaci jsou rozkládány humifikované organické zbytky (Urbancová a Lacková 2015).

3.5.2 RAŠELINĚNÍ

Neboli ulmifikace probíhá v anaerobních podmínkách. Na rozkladu se podílí anaerobní bakterie. Produktem jsou huminové a ulminové látky, mohou dosáhnout až černé barvy a mají vysoký obsah uhlíku. Jedná se o pomalý nedokonalý proces, za krajních podmínek může dojít až ke karbonaci a vzniku humusového uhlí (Urbancová a Lacková 2015).

3.5.3 HUMUFIKACE

Ideálně probíhá při periodickém ovlhčování půdy. Jsou při ní tvořeny nové látky z meziproductů rozkladu organické hmoty. Nově vzniklé produkty mají vyšší obsah uhlíku a nazývají se huminové látky. Jsou energeticky bohaté, hnědě až černohnědě zbarvené a mají vlastnosti koloidů (Urbancová a Lacková 2015).

3.6 ŽIVÁ SLOŽKA PŮDY

Jedná se o žijící složku půdní organické hmoty. Obyvateli půdy jsou živočichové, mikroorganismy a kořeny rostlin. Majorita půdních organismů žije ve svrchní části půdního profilu. Ve vrchní vrstvě půdy je uloženo nejvíce organické hmoty a je prokořeněná více než hlubší části půdního sloupce, díky čemuž je ideálním habitatem pro více než 80 % půdních organismů. Největší podíl ze živé biomasy zabírají kořeny rostlin, druhou největší položkou jsou mikroorganismy, nejmenší podíl v živé organické hmotě zabírají živočichové. Živočichové ale i přes malé zastoupení plní významné úlohy. Svým pohybem v půdní sloupci tvoří póry a přemísťují organický materiál a rozměňují ho. Mikroorganismy přispívají hlavně uvolňováním minerálních látek do prostředí dekompozicí a mineralizací organických materiálů v půdě (Šantrůčková 2014). Podle Skrull a kol. (2004) Mikroorganismy hrají důležitou roli ve proměně organické hmoty a živin, 80 až 90% organické složky je zpracováno právě mikroorganismy.

3.6.1 FAGOTROFOVÉ

Zařazuje se mezi ně většina půdní fauny. Rozkládají pevné částice ve svém zaživacím traktu, živiny z nich vstřebávají a nadbytečné živiny vylučují ve formě exkrementů zpět do půdy spolu s nestravitelnými zbytky (Šantrůčková a kol. 2018).

3.6.2 OSMOTROFOVÉ

Řadí se mezi ně rostliny, mikroflóra a jednobuněčná mikrofauna. Živiny přijímají z půdního roztoku. Přijímají živiny ze zvětralých minerálů, rozložené organické hmoty a z výměny iontů navázaných na sorpční komplex půdy. Některé osmotrofní organismy si přilepšují pohlcováním pevných částic a jejich rozkládáním. V tomto případě se nazývají mixotrofní organismy a proces jejich obživy se nazývá fagocytóza (Šantrůčková a kol. 2018).

3.6.3 ŽÍŽALY

Čerstvá organická hmota podporuje činnost půdní fauny. Významnými zástupci jsou právě žížaly, které vytváří chodbičky pokryté lepidlem podobné substanci vylučované z jejich těl. Chodbičky žížal jsou vlastně velkými póry, které pomáhají urychlovat infiltraci vody a setrvávají v půdě dlouhodobě (Bot a Benites. 2005). Jsou jedni z hlavních dekompozitorů organické hmoty. Dramaticky ovlivňují strukturu půdy a pohyb vody v ní, pohybem půdu promíchávají. Nejsou sice hlavní pro všechny zdravé půdy, ale jejich přítomnost je indikátorem zdravé půdy. Žížaly konzumují organickou hmotu a vylučují exkrementy ve formě kuliček, které fungují jako půdní agregáty a roznáší je po půdní sloupci. Svým pohybem zvyšují pórovitost, čímž zvyšují infiltraci vody pod povrch. Rozkladem organické hmoty, zvyšováním pórovitosti zvyšují množství vody udržitelné v půdě (Ingham a kol. 2000).

3.7 VLIV ORGANICKÉ HMOTY NA VLASTNOSTI PŮDY

Baldock a Nelson (1999) upozorňují na to, že nejzákladnější funkce organické hmoty v půdě je dodávání energie pro biologické procesy a živočichy, mikroorganismy a rostliny, které tyto procesy uskutečňují. Krull a kol. (2004) podobně říkají, že organická hmota je zásobníkem živin a energie pro biologické procesy, kterými jsou významně ovlivňovány fyzikální i chemické vlastnosti půd (například struktura, velikost a rozdělení pórů, pH a velká řada dalších). U některých druhů půd (např. u výrazně písčitých a jílovitých) značně upravuje fyzikální a mechanické vlastnosti. Snižuje soudržnost těžkých jílovitých půd a naopak zvyšuje soudržnost lehkých písčitých půd (Urban a kol. 2003). Organická složka půdy brání erozi, rozpadu půdních agregátů a mírní zhutnění půdy, zabraňuje tak odnosu ornice z polí, čímž jsou snižovány erozní účinky prostředí (Nawrath a Hašková 2015). Dle Głęb a kol. (2018) se přidáním kompostu zvyšuje obsah organické hmoty a obsah živin v půdě, toto má dobrý vliv na biologické, fyzikální i chemické vlastnosti půd. Fyzikální vlastnosti písčité půdy byly výrazně zlepšeny přidáním kompostu. Organická hmota na povrchu půdy může ovlivnit množství zadržené vody přímo snížením evaporace a zvýšením množství infiltrované vody, nepřímý vliv má na agregaci půdy a velikost pórů Baldock a Nelson (1999).

3.7.1 KRITICKÉ MNOŽSTVÍ ORGANICKÉ HMOTY V PŮDĚ

Podle Loveland a Webb (2003) jsou na poklesnou množství organické hmoty v půdě závislé fyzikální i chemické vlastnosti půdy a oběh živin v půdním profilu. Při poklesu množství organické hmoty v půdě dochází ke horšení půdní kvality. Tyto poklesy mají jasný neblahý vliv na udržitelné užívání půdy. Je předpokládáno rozdílné chování různých druhů půd při lišících se koncentracích organické hmoty. Obecně je uváděno, že kritický práh je 2% půdního organického uhlíku, což je zhruba 3,4% půdní organické hmoty, pod touto hranicí může docházet k velkému poklesu kvality půdy.

3.8 Vliv organických přísadků na vybrané fyzikální vlastnosti půd

3.8.1 RETENCE VODY

Podle Krull a kol. (2004) lze dosáhnout zlepšení schopností půdy jímat a udržet vodu přísadkem organické hmoty, zároveň existuje kladný stah mezi držením vody v půdě a zvyšováním obsahu organického uhlíku, u půd hrubozrnných byly zaznamenány větší změny v porovnání s půdami s jemnou texturou, u půd jílovitých se držení vody naopak snižovalo s nárůstem organického uhlíku. Je zde silný vztah mezi obsahem jílu, organického uhlíku a držením vody, tyto tři faktory se navzájem významně ovlivňují.

3.8.2 PŘÍSTUPNÁ VODNÍ KAPACITA

Podle Bauer a Black (1992) bylo zjištěno, že přístupná vodní kapacita zůstane bez změny u písčitých půd při obsahu organického uhlíku 0,74% až 1,49%, u půd se střední a jemnou texturou přístupná vodní kapacita měla tendenci klesat se zvyšujícím se obsahem organického uhlíku. Toto bylo následkem snižování objemové hmotnosti, vzrůstáním velikosti pórů a množství pórů zaplněných vzduchem při zvyšování množství organického uhlíku u všech tří půdních textur. Bylo usouzeno, že snížení produktivity půdy zapříčinované půdní erozí nebylo zapříčiněno klesáním přístupné vodní kapacity, ale sníženým obsahem živin a tím zapříčiněným klesáním biologické aktivity.

3.8.3 OBJEMOVÁ HMOTNOST

Dle Gląb a kol. (2018) bylo zjištěno, že objemovou hmotnost velmi kladně ovlivňují přísadky biocharu, přísadky kompostu snižují objemovou hmotnost půdy také dobře, dosahují ale lepších výsledků v kombinaci s biocharem. Snížení objemové hmotnosti bylo též zaznamenáno Jačkou a kol. (2018) při pokusu s fluvisolem klasifikovaným jako písčitá hlína, pokles byl významnější pro vzorky s větším podílem biocharu. Aggelides a Londra (2000) ve svém pokusu s hlinitou a písčitou půdou obohacenou o kompost vyrobený z městských odpadků (62%), čistírenských kalů (21%) a pilin (17%) zjistili velmi pozitivní vliv na objemovou hmotnost půdy, objemová hmotnost se snižovala s narůstajícím objemem kompostu u obou druhů půdy.

3.8.4 STABILITA AGREGÁTŮ A STRUKTURY

Podle Krull a kol. (2004) se jedná o schopnost půdy vzdorovat přeskupování pórů a částic při vystavování tlakům. Většina studií potvrzuje lineární spojitost mezi zvyšováním obsahu organické hmoty a velikostí půdních agregátů. Stabilizaci makroagregátů většinou zajišťují plísňe a kořeny. Částice organické hmoty naproti tomu podporuje mikrobiální aktivitu, čímž podporuje tvorbu mikrobiálních stmelovacích materiálů, které jsou základem pro tvorbu mikroagregátů. Existují 3 hlavní skupiny organických agregátových tmelů (prchavé, dočasné a trvalé). Prchavé

tmely jsou často velmi rychle rozloženy mikrobiální složkou půdy, jejich životnost v půdě je několik týdnů. Dočasné tmely se skládají z kořenů a plísní, vydrží měsíce až roky. Trvalé organické tmely se skládají z rozložených humusových materiálů. Bohužel není jasné dáno, který typ organické hmoty je pro agregaci nejvýznamnější. Nejspíše je to způsobeno tím, že různé druhy organického materiálu působí odlišně v průběhu tvorby a konzervace agregátů. K tomu dle Baldock a Nelson (1999) je organická hmota je považována důležitým prostředkem pro udržení nebo zlepšení struktury všech půdních typů, důležitost organického materiálu v půdě se mění s půdním typem. Loveland a Webb (2003) dodávají že, přítomnost čerstvých rostlinných zbytků a kořenů je pro tvoření a udržení agregátů důležitější než celkový obsah organické hmoty a pro udržení agregátové stability je nutné, aby půda obsahovala alespoň 3,4% organické složky. Podle Murphy (2015) agregátová stabilita roste s obsahem organického uhlíku, ale rychle klesá při jeho úbytku pod 1,2 až 1,5%. Stlačitelnost, drolivost a erodovatelnost jsou podle něj též pozitivně ovlivňovány obsahem půdního uhlíku. Jeffery a kol. (2015) tvrdí, že přidavek biocharu v písčitých zeminách agregátovou stabilitu nijak významně neovlivní. Aggelides a Londra (2000) zjistili zmenšení průměrného průměru agregátů u hlinité a jílovité půdy po úpravě kompostem, u obou půd došlo ke zvýšení agregátové stability.

3.8.5 PÓROVITOST

Pórovitost vyjadřuje prostorové uspořádání půdy jako třífázového systému. Udává celkové množství volného prostoru v procentech. Póry významně ovlivňují pohyb vody a vzduchu v půdě, umožňují pohyb edafonu a prorůstání kořenů. V půdě se vyskytují póry různých velikostí a tvarů, jsou zaplněny vodou nebo vzduchem. Pórovitostí se udává poměrné zastoupení pórů v objemu půdy. Pórovitost se může měnit vlivem bobtnání a smršťování půdy. Obvykle se pohybuje kolem 50% (Urbancová a Lacková 2015). Ze studie Głab a kol. (2018) vyplývá to že, u písčitých půd mají póry o velikosti pod 50 μ m největší reakci na organické přísady, ale biocharu významně snižuje objem těchto pórů, póry s velikostním rozpětím 50 až 500 μ m na přísady kompostů nereagují. U půdy s přísadkou kompostu ze splaškového bahna a biocharu byl zpozorován největší obsah velkých pórů s průměrem nad 500 μ m. Pórovitost byla ovlivněna jak obsahem kompostu tak jeho přidáním množstvím, velké přísady kompostu (4%) zvyšují kapacitu pórů. Aggelides a Londra (2000) dokázali svým pokusem, že příměs kompostu z městských odpadů zvyšuje pórovitost jílovitých a hlinitých půd, větší efekt měla příměs na půdu hlinitou.

Podle Głab a kol. (2018) jsou změny v půdní pórovitosti zjevné na retenčních schopnostech. Pro experiment s písčitou půdou byly použity tři varianty kompostu s (kukuřičnou slámou, splaškovým kalem a kukuřičnou slámou, kukuřičnou slámou, splaškovým kalu a biocharem zhotoveným pyrolýzou z dřeva vrby), byl zjištěn pozitivní vliv těchto přísadků na fyzikální vlastnosti testované půdy. Retence byla

zlepšena, ale výsledky se různily podle druhu použitého kompostu. Nejnižší přístupná vodní hladina byla zjištěna u kompostu z kukuřičných stébel. Přídavek kompostu z biocharu a stokového bahna měl za výsledek zvýšení přístupné vodní kapacity v půdě. Stejně tak Aggelides a Londra (2000) zaznamenali zlepšení retenčních schopností jílovité a hlinité půdy po aplikaci kompostu z městských odpadů. Podobně při pokusu Ajayi kol. (2016) s písčitou a prachovou zeminou s přídavky biocharu bylo zjištěno zlepšení retence vody u obou typů půdy, výsledek se zlepšoval s vyšším množstvím biocharu. Stejně tak upozoroval Jačka a kol. (2018) při pokusu s fluvisolem a fluvisolem s 20% přídavkem jílu, u samotného fluvisolu s biocharem byl nárůst až 5%, v případě fluvisolu s jílem a biocharem byl vzrůst méně významný. Naopak Jeffery a kol. (2015) nezaznamenal žádné výrazné zlepšení po aplikaci biocharu do písčité půdy, ani 3 roky po jeho aplikaci, dodává že vysoká pórovitost biocharu sama o sobě není dostačující pro dosažení změny.

3.8.6 VODA PŘÍSTUPNÁ ROSTLINÁM

Murphy (2015) tvrdí, že půdní organická hmota prokazuje schopnost zvýšit sloupec rostlinám přístupné vody o 3 mm u písčitých půd, o 2,5 mm u hlinitých půd a o 2mm u jílovitých půd na každých 10cm a 1% půdního organického uhlíku, největší vzrůst byl zaznamenán u písčitých půd. Teodoro a kol. (2020) dokázali, že přídavkem kompostu do fluvisolu byla zvednuta průměrná hodnota vody přístupné rostlinám z 21% na 23%, v případě přídavku kompostu s biocharem se hodnota zvedla na průměrných 26%, tohoto výsledku bylo dosaženo nezávisle na tom zda byl biochar přidán do kompostu před a nebo po kompostování. Zvýšení přístupné vody pro rostliny po aplikaci kompostu je dílem zvýšení podílu organické hmoty. Podle Jeffery a kol. (2015) přídavek samotného biocharu nemá významný vliv na hladinu vody přístupné rostlinám.

3.8.7 NASYCENÁ HYDRAULICKÁ VODIVOST

Dle Ajayi a kol. (2016) přídavky biocharu o objemu 2-10% objemu suchého vzorku zapříčiňují zhoršení nasycené hydraulické vodivosti jemných písčitých půd, toto může být vysvětleno bobtnáním částic biocharu a následným ucpáváním existujících pórů, hydraulická vodivost postupně klesala s narůstajícím časem. Jačka kol. (2018) též upozorovali pokles nasycené hydraulické vodivosti u vzorků s 2% a 5% přídavkem biocharu, který byl významnější pro 5% vzorek. Jeffery a kol. (2015) také zjistil pokles hydraulické vodivosti s rostoucím množstvím biocharu v půdě. Naopak Aggelides a Londra (2000) pozorovali zlepšení hydraulické vodivosti u jílovité a hlinité půdy obohacené o kompost z městských odpadů, vodivost byla lepší v případě jílovité půdy.

3.9 VÝZNAM ORGANICKÉ HMOTY V KONTEXTU KLIMATICKÉ ZMĚNY A ZEMĚDĚLSKÉHO SUCHA

3.9.1 ZEMĚDĚLSKÉ SUCHO

Zemědělské sucho je v oblastech s intenzivním zemědělstvím, kde je vyšší výskyt přívalových dešťů ale zároveň i extrémního sucha. Za zemědělské sucho může právě nedostatek organické hmoty (Nawrath a Hašková 2015). Podle Kovaříčka a kol. (2017) v současnosti napadne ročně stejný úhrn vody jako dříve, jen ne způsobem, který by byl ideální pro vstřebávání vody půdou. Při přívalových deštích voda nestíhá být infiltrována půdou a dochází k povrchovému odtoku a odnosu vrchního horizontu půdy, deficit se již projevuje na hladině podzemní vody.

3.9.2 PŘÍČINY A PŘEDCHÁZENÍ ZTRÁTY ORGANICKÉ HMOTY V PŮDÁCH

Různé typy lidské aktivity jako zemědělství a odlesňování vedou ke snížení obsahu organické hmoty a tím snížení biologické aktivity v půdě. Avšak zvyšování obsahu organické hmoty v půdě, nebo udržení ideální úrovně vyžaduje neustálé úsilí, navrácení organické hmoty zpět do půdy, střídání hlubokokořenících a širokokořenících plodin s plodinami, které za sebou zanechají dostatek organického materiálu. Nejtěžší je zvýšit množství organické hmoty v dobře provzdušněných půdách v teplých regionech, protože se v ní organický materiál rychle rozkládá, u půd s hrubšími texturami v chladnějších regionech je udržení ideálního množství organické hmoty snažší. Do polní půdy se nevrací organická hmoty kvůli nezanechávání rostlinných zbytků na polích, při zanechání zbytků přispějí půdě a ochrání ji před vodní erozí. Půdy pokryté vegetací infiltrují více vody než půdy odkryté (Bot a Benites 2005). Neustálé rozkládání organické hmoty v zemědělských půdách vede k degradaci půdy a následně ke snížení produkce. Aplikace organických odpadů může být cesta k vyřešení dvou problémů, ukládání odpadu a ochránění půdy před zhoršením jejích vlastností ztrátou organické hmoty Aggelides a Londra (2000). Dle Bot a Benites (2005) v suchých oblastech není problém jen, proto že prší nepravidelně a nebo málo, ale i proto že až 40% vody z dešťů oteče povrchovým odtokem. Toto špatné hospodaření s dešťovou vodou je částečně dílem přírody (reliéf terénu, sklon terénu a intenzita deště) a částečně za to můžou neadekvátní praktiky (spalování zbytků plodin, nadměrné obdělávání, rušení mezí) které redukuje množství organické hmoty, ničí půdní strukturu, faunu a vedou ke zhoršení infiltračních schopností půdy. Pro snížení dopadů sucha potřebujeme, aby půda zachycovala co nejvíce dešťové vody. Množství vody, kterou může půda zachytit závisí na mnoha faktorech jako textura, hloubka profilu, obsah organické hmoty a biologická aktivita, správné zacházení s půdou to může také ovlivnit. Opatření pro zvýšení obsahu vody v půdě můžeme rozdělit na infiltrační, ovlivňující evaporaci a ty která zvyšují úložnou vodní kapacitu, všechny tři skupiny jsou závislé na organické hmotě. Půda vystavená dešti bez pokryvu může pod vlivem deště ztratit ve svrchní vrstvě strukturu a stát se jednotvárnou krustou, která zabraňuje infiltraci

vody. Pro vytvoření suchu odolné půdy je třeba porozumět faktorům ovlivňujícím její schopnost vodu pohlcovat a udržet.

3.9.3 DODÁVÁNÍ ORGANCKÉ HMOTY DO PŮD

Ztráty organické hmoty lze kompenzovat jejím opětovným dodáním, musí však být vzato na vědomí, že vyžralou organickou hmotu nelze plně nahradit chlévskou mrvou nebo kejdou. Proto by měla být vyvinuta snaha o používání co nejvíce vyžralé organické hmoty (Bičík a kol. 2009). Zvýšit obsah organické hmoty můžeme dodáváním kompostu, zanecháním rostlinných zbytků na poli, střídáním plodin, nulovým nebo minimálním obděláváním tvrdí Bot a Benites (2005).

3.9.4 ORGANICKÉ PŘÍDAVKY

Jedná se o velkou skupinu přírodních materiálů zahrnující i biochar, poskytují možnost znovu využít odpad v prospěch půdy, postupné dávkování organické hmoty je třeba k udržení konzistentního vzrůstání obsahu organického uhlíku. Organické přídatky se dávkuje se obtížněji než chemická hnojiva, protože je jejich dávkování závislé na vlhkosti upravované půdy. Jejich požitím se předchází utužování půdy (Cotching 2018).

4. METODIKA

Pro tuto bakalářskou práci byla použita data naměřená na dvou rozdílných půdách: 1) problematická vysychavá písčité půda s nepříznivými hydro-fyzikálními vlastnostmi odebraná u obce Zvěříněk a 2) kontaminovaná nívná půda odebraná v blízkosti řeky Litavky u Trhových Dušníků. Do půdy odebrané u obce Zvěříněk byl aplikován hnůj, biochar a směs biocharu s hnojem. Do půdy odebrané u Litavky byl aplikován kompost, biochar a kompost s biocharem.

V rámci této práce je vyhodnocován vliv výše zmíněných různých organických přídatků do půdy na hydro-fyzikální vlastnosti půdy. Data byla naměřena v rámci FŽP ČZU v širším týmu řešitelů a tato bakalářská práce zpracovává pouze část dat. Charakteristiky půd, organických přídatků a z části také metodika přípravy vzorků jsou převzaty z již zpracovaných projektových zpráv, studentských prací a publikovaných článků. Téma aplikace organických přídatků a jejich vliv na hospodaření půdy s vodou je na FŽP ČZU v posledních letech intenzivně řešeno. V rámci této práce byly provedeny odběr a příprava části vzorků. Zejména bylo ale provedeno zpracování již naměřených dat.

4.1 CHARAKTERISTIKA PŮD A PŘÍDAVKŮ

4.1.1 PŮDA ODEBRANÁ U OBCE ZVĚŘÍNEK

Dle hydro-pedologického průzkumu lokality provedeného v připravované diplomové práci Poláková (2020) se jedná se o půdní typ regozem oglejená, půdní druh hlinitý písek. Klasifikace byla provedena dle United States Department of

Agriculture, dále USDA. Zrnitostní rozbor provedený hustoměrnou metodou prokázal, že v půdě je přítomno více než 85 % písčité frakce (0,05 až 2 mm). Přibližně 10 % tvoří jílová frakce (< 2 μ m) a zbytek frakce prachová (2 až 50 μ m). Vzorky byly odebrány v okolí obce Zvěřínec. Z hydro-pedologického průzkumu provedeného Polákovou (2020) půda vykazuje nepříznivé hydro-fyzikální vlastnosti (nízká pórovitost, nevyhovující strukturní stav, nízká retenční schopnost). Tato půda je tedy ohrožena zemědělským suchem a vyžaduje zlepšení hydro-fyzikálních vlastností, například pomocí aplikace vhodných organických přísad. Z výše uvedených důvodů byla pro experiment s různými přísadami organické hmoty vybrána tato problematická písčitá půda.

4.1.2 PŮDA ODEBRANÁ U OBCE TRHOVÉ DUŠNÍKY V BLÍZKOSTI ŘEKY LITAVKY

Kontaminovaná fluvizem z blízkosti řeky Litavky, kontaminaci půdy v říční nivě Litavky těžkými kovy popisuje ve své práci Žák a kol. (2009). Půda byla odebrána u hydrometeorologické stanice FŽP ČZU. Místo odběru se nachází nedaleko obce Trhové Dušníky na Příbramsku ve Středočeském kraji přesná mapa polohy je zobrazena v práci Šípek a kol. (2019). Půda byla odebrána v hloubce 10 až 30 cm pod povrchem. Dle zrnitostního rozboru se jedná o písčito hlinitou půdu (56 % písku, 35 % prachu, 10 % jílu), která neobsahovala zrna větší než 2 mm, zastoupení jednotlivých půdních frakcí v odebrané půdě prezentuje ve své práci Liu (2017). Dle Doušové (2019) a Šípek a kol. (2019) se jedná o půdní druh anlg. - sandy loam, což je v překladu písčitá hlína. Tato kontaminovaná půda vyžaduje ošetření. Přísady některých forem organické hmoty (např. biocharu) se ukazují jako užitečný nástroj pro remediaci kontaminované půdy, jak uvedl Trakal a kol. (2017). Organická hmota může též měnit klíčové hydro-fyzikální vlastnosti (Jačka a kol. 2018). Z výše uvedených důvodů byla pro experiment s různými přísadami organické hmoty vybrána tato kontaminovaná nívná půda.

4.1.3 BIOCHAR

Biochar neboli biouhel lze definovat jako pevný produkt pyrolýzy vznikající z přírodních materiálů při teplotách od 350 do 900°C bez přístupu kyslíku (Teodoro 2020). Má významně nižší objemovou hmotnost a vyšší pórovitost než půdy, póry jsou z většiny zastoupeny mikropóry a mesopóry do velikosti 50 nm s limitovanou možností vést vodu, a proto může jejich přísadkou dojít ke snížení nasycené hydraulické vodivosti (Barnes a kol. 2014).

Biochar použitý pro tento experiment byl vyroben v Kozomíně převážně z měkkého smrkového dřeva. Teplota při pyrolyzačním procesu se pohybovala mezi

500 až 600 °C. Vlastnosti použitého biocharu detailně popisuje ve své práci Gallagher (2019).

4.1.4 KOMPOST

Kompost byl vytvořen ze spadaného dubového a javorového listí, drobných větviček a čerstvě posečené trávy. Materiál byl shromážděn v kampusu ČZU v Praze 1. listopadu 2017. Veškerý materiál byl nastříhán nůžkami a umístěn do nádoby o objemu 200 litrů. Materiál byl namíchan v poměru 5:1 (listy: tráva). Celkem byly naplněny 3 nádoby, v každé 25 kg listí a 5 kg trávy. První nádoba obsahovala pouze materiál pro výrobu kompostu, druhá nádoba obsahovala materiál pro výrobu kompostu a 5% příměsi biocharu. Kvůli nasycení materiálu byly při drcení do obou nádob přility 3 litry vody. Připravený materiál byl vlhký ale ne přesycený vodou. Nádoby byly umístěny na 16 týdnů do skleníku, kde se teplota pohybovala okolo 20°C. Materiál byl míchan a provzdušňován třikrát týdně. Původní směs postrádala dusík potřebný k optimálnímu rozklad, proto bylo do každé nádoby přidání 2,21 kg čerstvé trávy a odpovídající procentuální množství biocharu. Do 12. prosince 2017 byla do nádob přilévána voda, kompostování bylo ukončeno 12. února 2018, kdy byl všechn organický materiál až na větší klacíky rozložen, kompost byl homogenní a neprodukoval žádné teplo rozkladem (převzato a upraveno z Gallagher, 2019).

4.2 PŘÍPRAVA VZORKŮ A PLÁN VZORKOVÁNÍ

4.2.1 VZNIKLÉ SMĚSI

Příprava vzorků probíhala v na Fakultě životního prostředí České zemědělské univerzity. Do upravených půd odebraných u obce Zvěřínek (neošetřená půda dále označen jako KontrolaZ) byl aplikován hnůj (směs dále označena zkratkou ZM), dále biochar (dále označeno zkratkou ZB) a směs biocharu s hnojem (dále označen jako ZBM). Do půdy odebrané u řeky Litavky (dále označena jako KontrolaL) byl aplikován kompost (dále označen jako LK), biochar(dále označen jako LB) a kompost s biocharem (dále označen jako LBK).

4.2.2 PŘÍPRAVA SMĚSÍ A JEJICH STABILIZACE

V terénu odebrané půdy byly ponechány na vzduchu vyschnout a následně prosety přes síto o průměru ok 2mm, následně byly míšeny s přísadky. Organické přísadky byly aplikovány vždy v množství 5 % celkové hmotnosti suché směsi. Směsi půdy s organickými přísadky byly připraveny pečlivým promícháváním ve velké přepravce. Připravené směsi organických přísadků s půdami a kontrolní půdy byly vsypány každá do připravené popsání přepravky, tak aby v nich byla dostatečně hluboká vrstva směsi (cca 10 cm) pro budoucí bezpečný odběr válečků. Poté byly připravené směsi v přepravkách zality vypočteným množstvím vody a pomocí speciálních závlahových knotů udržovány přibližně na úrovni polní vodní kapacity (PVK). Vzorky byly takto ponechány ve skleníku ČZU FŽP šest týdnů kvůli

stabilizaci směsí (upravené půdy). Celkem tedy vzniklo 8 ošetření půdy neboli 8 přepravek.

4.2.3 ODBĚR VZORKŮ

Po proběhnutí stabilizace byly do upravené směsi pomalu manuálně vtlačeny Kopecké válečky o objemu 100 cm^3 , tak bylo provedeno za pomoci dalšího válečku a tlaku ruky. Válečky byly vtlačeny cca 0,5 cm pod povrch půdy, tak aby vzorkovaná půda uvnitř válečku byla co nejméně porušena, přepravka se stabilizovanou směsí a vtlačenými kopeckého válečky je vidět na Obr.1. Pro bezpečné vyjmutí válečku se vzorkem bylo nutné odstranit směs z okolí válečku, seříznutý vzorek před vyjmutím z přepravky je ukázán na Obr.2. Po odebrání okolní směsi byl vzorek z viditelné strany seříznut ostrou čepelí a opatřen víčkem. Poté byl vzorek opatrně podebrán, vyjmut z přepravky, a seříznut i z druhé strany a též opatřen víčkem. Vzorky byly seřezávány proto aby objem vzorků opravdu odpovídal vnitřnímu objemu válečku. Vše se muselo dělat velmi opatrně, aby nedošlo k porušení vzorkované půdy ve válečku. Vzorky byly hned po zavičkování váženy. Pro každé ošetření půdy bylo z každé přepravky odebráno 15 až 17 vzorků ve válečkích, z nich bylo po vizuální kontrole kvality vzorků vybráno 5 vzorků pro měření nasycené hydraulické vodivosti (K_s) a 7 vzorků pro měření retence.



Obr. 1 Vzorky po stabilizaci (foto autorka práce)



*Obr. 2 Vzorek se seříznutým vrškem připravený k vyjmutí z přepravky
(foto autorka práce)*

5. MĚŘENÍ HYDROFYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ

Hydrofyzikální vlastnosti všech odebraných vzorků byly měřeny v hydropedologické laboratoři na Fakultě životního prostředí České zemědělské univerzity.

5.1. OBJEMOVÁ HMOTNOST

Pro zjištění objemové hmotnosti byly vzorky v Kopeckého válečcích o objemu 100 cm^3 byly tři dny sušeny při teplotě 60 °C do konstantní hmotnosti. Po vysušení byly zváženy a od získaných hodnot byla odečtena váha sklíčka, na kterém byl vzorek vážen a váha prstence válečku. Pokud takto určenou hmotnost vysušené zeminy vydělíme objemem vzorku (100 cm^3), získáme objemovou hmotnost vzorku v g/cm^3 . Sušení vzorků probíhá vždy až na závěr měření, protože úplným vysušením vzorku dojde k jeho znehodnocení pro měření ostatních fyzikálních vlastností půdy.

5.2. PÓROVITOST

Procentuální hodnota pórovitosti vzorků byla vypočtena odečtením váhy vzorku vysušeného do konstantní váhy od váhy vzorku plně nasyceného. Váha plně nasyceného vzorku byla získána zvážením vzorku po měření K_s nebo při PF 0, kde dochází k plnému nasycení vzorků.

5.3. NASYCENÁ HYDRAULICKÁ VODIVOST

Nasycená hydraulická vodivost (K_s) byla měřena pro obě skupiny vzorků v laboratorním permeamtru od firmy Eijkelkamp Soil & Water metodou konstantního spádu. Metoda měření je podrobně popsána v manuálu od výrobce aparatur Eijkelkamp Soil & Water (2013). Laboratorní permeametr použitý pro toto měření je na obr. 6.

5.3.1 PŘÍPRAVA VZORKŮ NA MĚŘENÍ A JEJICH SYCENÍ

Před měřením byly vzorky zkontrolovány a jejich okraje byly opatřeny silikonem, aby nedošlo k nechtěnému proudění podél stěn válečku. Vzorek na okrajích opatřený silikonem je zobrazený na obrázku 3. Vzorky byly ze spodní strany opatřeny syntetickou hydrofilní gázou zajištěnou silnou gumičkou, která zabraňuje vypadnutí vzorku a jeho znehodnocení, ale zároveň nebrání prostupování vody vzorkem. Použití hydrofilní gázy je vidět na obrázcích 3 a 4. Poté byly vzorky očištěny a vloženy do držáků, vzorek upevněný v držáku, tak jako v obr. 4. Po vložení do přístroje se vzorky nechaly celý den postupně sytit za postupného zvedání hladiny vody v kontejneru permeometru, aby došlo k vytlačení vzduchových bublin a tím bylo zabráněno uzavření vzduchu v pórech. Kontejner permeometru s uloženými vzorky v držácích je na obr. 5. Měření bylo provedeno až po provedení syčení vzorků.



Obr. 3 a 4 Plnění mezer silikonem a vzorek upevněný v držáku (převzato z Doušová, 2019)

5.3.2 MĚŘENÍ HYDRAULICKÉ NASYCENÉ VODIVOSTI

Před počátkem měření byly umístěny na svá místa násosky pro odvádění prosáknuté vody ze vzorků, násosky byly před vložením naplněny vodou a byla zkontrolována nepřítomnost vzduchových bublin, které by mohly znehodnotit měření zabráněním průchodu vody násoskou. Před zahájením měření byla změřena teplota vody a odečtena výška hladiny na mikrometru uvnitř držáků a vně. Při měření se stopoval čas, za který voda naplní byretu do určité výšky, měření jednotlivých vzorků začínalo, když voda na stupnici v byretě dosáhla na 0. Po dosažení požadované výšky vodního sloupce v byretě byla voda z birety vypuštěna a byl zapsán uběhlý čas, měření bylo opakováno celkem třikrát pro každý vzorek.



Obr. 5 Měření K_s laboratorním permeametrem



Obr. 6 Laboratorní permeametr

5.4. MĚŘENÍ RETENCE

Měření bodů retenční křivky bylo provedeno v pískovém a písko-kaolinovém tanku firmy Eijkelkamp Soil & Water. Hodnoty vlhkostního potenciálu do 10 kPa (pF 2) byl použit pískový tank Písko-kaolinový tank byl použit pro vzorky fluvizemě od Litavky do hodnoty 50 kPa (pF 2,7). V přetlakových aparaturách se hodnoty vlhkostního potenciálu vzorků fluvizemě z Litavky měřily až do hodnoty pF 3,7. Vzorky s regozemí ze Zvěřínku jsou v současné době doměřovány v písko-kaolinovém tanku.

5.4.1 PŘÍPRAVA MĚŘENÍ A SYCENÍ VZORKŮ

Vzorky byly nejprve opatřeny ze spodní strany gázou připevněnou silnou gumičkou. Poté jsou umístěny do pískového tanku s vodní hladinou 0,5 cm nad pískovým dnem, kde se nechají pár hodin odstát. Po odstátí se tank pomalu doplňuje demineralizovanou vodou na hladinu cca 0,5 cm pod horní ostrý okraj válečku. Toto postupné sycení trvalo 2 dny, proces byl takto pomalý, proto aby nedošlo k narušení struktury vzorku příliš rychlým stoupáním vodní hladiny. Vzorky se poté v uzavřeném tanku nechaly sytit další dva dny.

5.4.2. MĚŘENÍ V PÍSKOVÉM A PÍSKO-KAOLINOVÉM TANKU

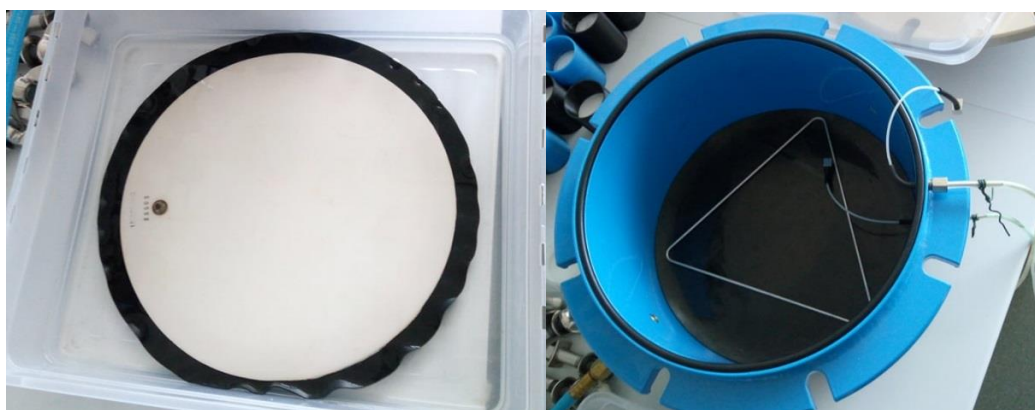
Po tankovém sycení se vzorky zváží spolu s gázou, gumičkou a sklíčkem a z této hmotnosti se po vysušení stanoví pF 0, (odhad vlhkosti při plném nasycení, který je přibližně roven pórovitosti). Po zvážení se vzorky vrátily do tanku, kde se nastavila následující hodnota podtlaku (pF 1 a další) a dojde k postupnému odvodňování vzorků. Pro zajištění dobrého hydraulického kontaktu mezi vzorkem a půdou se každý vzorek přitlačí k pískovému dnu tanku. Stejný postup měření i jeho přípravy platí i pro písko-kaolinový tank. Ukázka pískového tanku naplněného odebranými vzorky je na obrázku 7.



Obr. 7 Vzorky v pískovém tanku

5.4.3. MĚŘENÍ V TLAKOVÝCH NÁDOBÁCH

Po měření v tancích se vzorky umístily do přetlakového aparátu. Před měřením se musela nechat nasytit sací deska, jak je vidět na obrázku 8. Prázdná tlaková nádoba je zobrazena na obrázku 9. Vzorky bylo jemně pootočeno a přitlačeno na savou desku pro zlepšení hydraulického kontaktu. Vzorky byly umístěny ve dvou vrstvách nad sebou na dvou různých deskách, vzorky připravené k měření v tlakové nádobě jsou na obrázku 10. Po uzavření nádoby byl na kompresoru nastaven požadovaný tlak. Odtok vody z nádoby ústí do byřety, kde bylo sledováno odvodňování vzorků. Když přestala voda v byřeti přibývat, tak byly vzorky opětovně zváženy. Po převážení se pokračovalo k měření další hodnoty tlaku pF. Postup se opakoval pro všechny měřené hodnoty.



Obr. 8 a 9 Sycení speciální keramické desky a tlaková nádoba (přetlakový extraktor, 15 bar) od firmy Soil Moisture USA



Obr. 10 Tlaková nádoba se vzorky připravenými k měření.

5.4.4. UKONČENÍ MĚŘENÍ

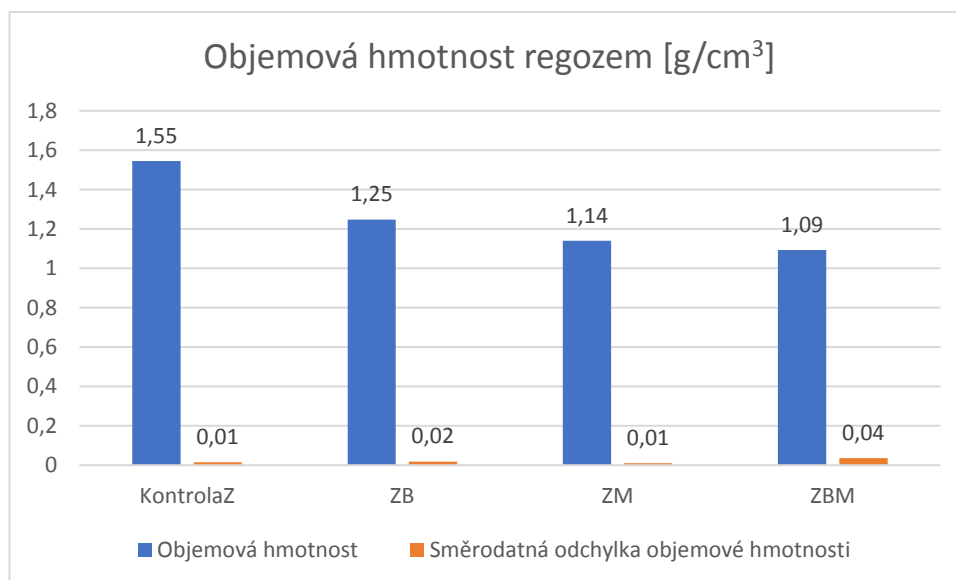
Po ukončení měření v přetlakových a podtlakových aparaturách byly vzorky vysušeny (postup výše) a k jednotlivým měřeným aplikovaným hodnotám vlhkostního potenciálu byly stanoveny odpovídající objemové vlhkosti. Odhad PVK byl pro tuto práci stanoven PF 2, což je podtlak 1 m. Z důvodu doměřování hodnot byla PVK vypočtena jako rozdíl průměrné pórovitosti a průměrného objemu velkých pórů.

6. VÝSLEDKY MĚŘENÍ

6.1 OBJEMOVÁ HMOTNOST

6.1.1. OBJEMOVÁ HMOTNOST REGOZEM

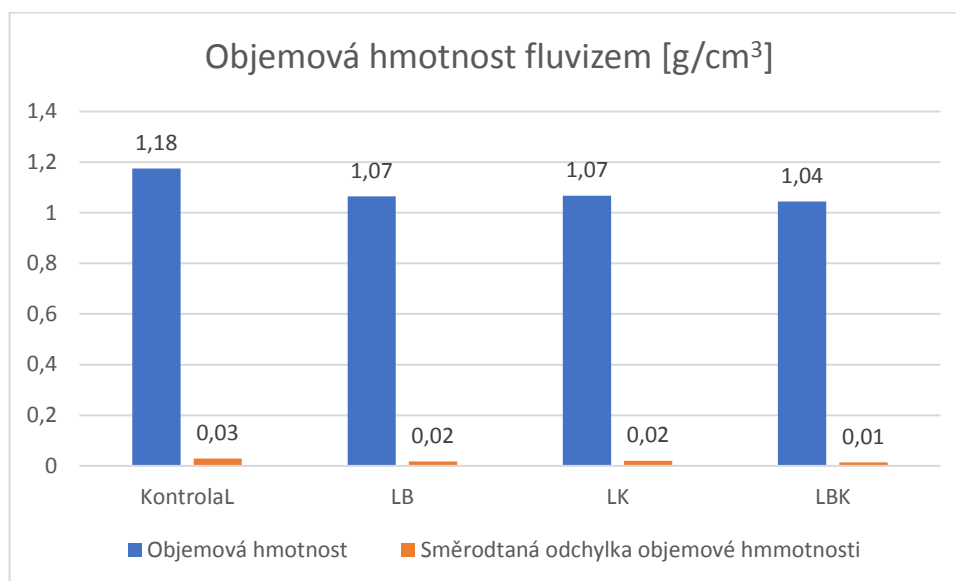
Průměrné hodnoty objemové hmotnosti pro měření s regozemí byly v rozpětí od 1,092 g/cm³ (ZMB) do 1,545 g/cm³ (KontrolaZ). Nejvyšší hodnotu objemové hmotnosti měla KontrolaZ, nejnižší hodnoty dosáhla směs ZMB, kde došlo ke snížení objemové hmotnosti téměř o třetinu kontrolní hodnoty, výsledné hodnoty objemových hmotností jednotlivých směsí jsou uvedeny v obrázku 11. Nejvyšší variability dosáhla směs ZMB, nejnižší variabilitu měla směs ZM. Z obrázku 11 je jasné, že odchylky všech měřených směsí nepřesáhly 0,04 g/cm³.



Obr. 11 Průměrné hodnoty pórovitosti a jejich směrodatné odchylky zjištěné měřením s regozemí.

6.1.2. OBJEMOVÁ HMOTNOST FLUVIZEM

Hodnoty objemové hmotnosti v měření s písčitou hlínou vyšly v rozmezí od 1,044 g/cm³ do 1,175 g/cm³. Nejvyšší hodnota byla zjištěna u KontrolyZ, nejnižší hodnota byla LBK. Směsi LB A LK dosáhly téměř stejných výsledků, výsledné hodnoty z měření jsou uvedeny vidět v obrázku 12. Nejvyšší variabilitu měla KontrolaL a nejnižší variabilitu měla směs LBK. Odchylka při měření nepřesáhla 0,03 g/cm³, jak je vidět na obrázku 12.



Obr. 12 Průměrná objemová hmotnost a její směrodatné odchylky pro měření s fluvizemí.

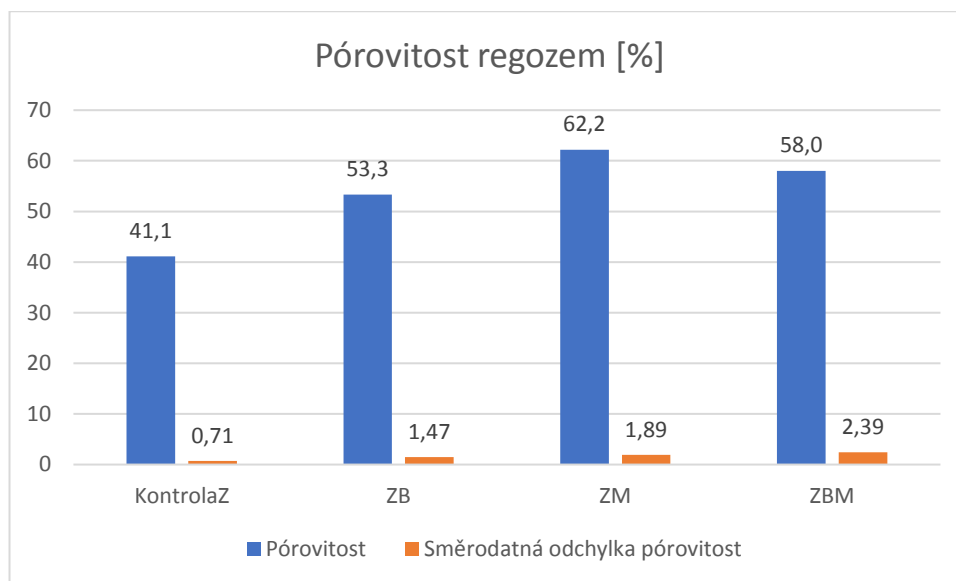
6.1.3 OBJEMOVÁ HMOTNOST POROVNÁNÍ

U obou druhů zemin měla nejvyšší objemovou hmotnost neupravená půda. Přídavek biocharu výraznějších efektů v regozemi než ve fluvizemi, která obsahuje výrazně méně písku (cca o 30 %) a více jemnějších částic (viz obr. 11 a obr. 12 vzorky ZB a LB). Při porovnání efektu kompostu ve fluvizemi a hnoje v regozemi byla objemová hmotnost více ovlivněna aplikací hnoje. Kombinované přídavky dosáhly nejvýraznějších výsledků v obou půdách, jak je vidět v tabulkách 11 a 12 u vzorků půdy LBK a ZBM. Kombinace biocharu s organickým materiálem byla účinná při snižování objemové hmotnosti regozemě i fluvizemě, ve fluvizemi byl však efekt markantnější, jak je vidět na obrázku 11. Z obrázků 11 a 12 je zřejmé, že organické přídavky měly na objemovou hmotnost větší efekt v regozemi.

6.2. PÓROVITOST

6.2.1 PÓROVITOST REGOZEM

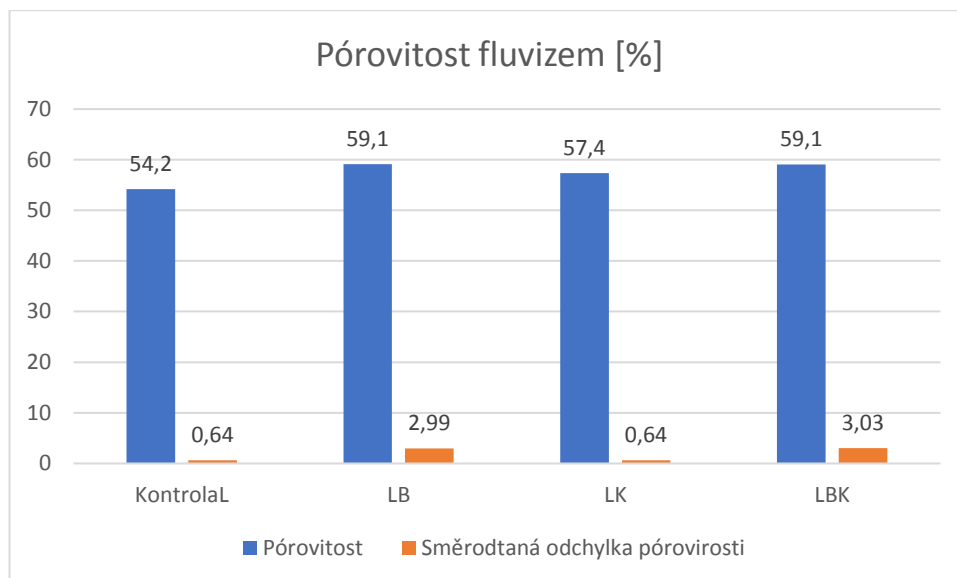
Hodnota pórovitosti pro tyto vzorky byla naměřena od 41% (KontrolaZ) do 62% (ZM), jak je vidět na obrázku 13. Nejvýraznější nárůst byl zaznamenán u vzorků ZM, a to o 21% oproti KontrolaZ. KontrolaZ měla nejnížší pórovitosti z testovaných vzorků. Největší variabilita byla zjištěna u směsi ZBM, nejmenší variabilitu měla KontrolaZ, všechny odchylky jsou vedeny v obrázku 13.



Obr. 13 Průměrné hodnoty pórovitosti a jejich směrodatné odchylky zjištěné měřením s regozemí.

6.2.2 PÓROVITOST FLUVIZEM

Průměrné hodnoty se pohybovaly v rozmezí od 54% (KontrolaL) do 59% (LB a LBK). Z obrázku 14 je patrné, že naměřené hodnoty jednotlivých úprav mají malou variabilitu. Nejvyšší hodnoty pórovitosti a variability byly zjištěny u směsí LB a LBK. Nejnížší hodnotu pórovitosti si zachovala neupravená půda KontrolaL. Nejefektivnější z použitých úprav regozemě byly úpravy LB a LBK obsahující biochar. Nejmenší variabilita byla zjištěna u kontroly a LK.



Obr. 14 Průměrné hodnoty pórovitosti a jejich směrodatné odchylky zjištěné měřením s fluvizemí.

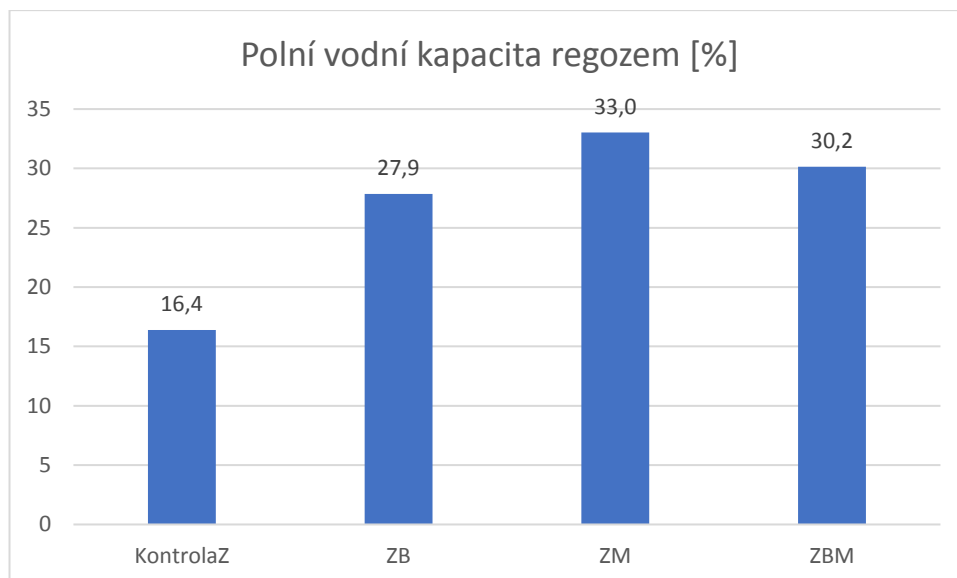
6.2.3 PÓROVITOST POROVNÁNÍ

Pórovitost byla přidavky více ovlivněna v regozemi, kde došlo k výraznějšímu zvýšení pórovitosti, u regozmě došlo též k většímu snížení objemové hmotnosti, která ovlivňuje pórovitost. U fluvizemě byly přidavky méně účinné a dosáhly téměř stejných výsledků, též došlo k menšímu snížení objemové hmotnosti než u regozemě. Účinnost jednotlivých přidavek se lišila dle použité půdy a u regozemě došlo k viditelně lepším výsledkům, jak je vidět na obrázku 13. Přídavek biocharu ZB byl nejméně efektivním přidavkem v regozemi, ale stále dosáhl lepšího výsledku než kterýkoliv přídavek ve fluvizemi. Při porovnání samostatného kompostu a hnoje měl hnůj v regozemi nejlepší výsledek se zlepšením o 21% a kompost měl na fluvizem nejmenší vliv (3%) z v ní použitých přidavek. Hnůj s biocharem ZMB dosáhl v regozemi v porovnání s ko-kompostovaným biocharem LBK ve fluvizemi lepších výsledků.

6.3. POLNÍ VODNÍ KAPACITA

6.3.1. POLNÍ VODNÍ KAPACITA REGOZEM

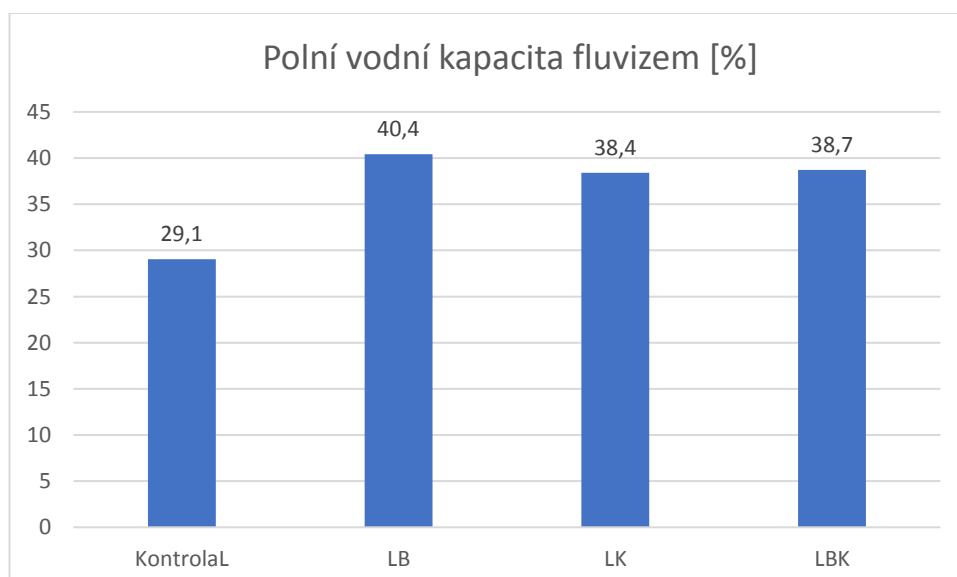
Došlo k výraznému zlepšení polní vodní kapacity (PVK) až o 17% oproti kontrolní zemině. Hodnota PVK se pohybovala od 16% u KontrolyZ do 33% objemu u ZM, kde došlo dokonce ke zdvojnásobení původní hodnoty PVK. Z obrázku 15 je vidět, že rozpětí výsledků obohacených zemin je 5%, úpravy byly tedy podobně účinné. Nejvyšší variabilitu měla směs ZM, nejnižší ji měla směs ZB.



Obr. 15 průměrné hodnoty polní vodní kapacity se směrodatnými odchylkami z měření s regezemí.

6.3.2. POLNÍ VODNÍ KAPACITA FLUVIZEM

Obohacení fluvizemě vedlo ke zvýšení polní vodní kapacity (PVK) upravených vzorků až o 11% oproti kontrolnímu. Hodnota PVK se pohybovala v rozmezí od 29% u KontrolyL do 40% objemu u směsi LB. Obohacená fluvizem dosáhla téměř stejných výsledků, rozpětí mezi výsledky bylo nejvíce 2% jak je vidět na obrázku 16.



Obr. 16 průměrné hodnoty polní vodní kapacity se směrodatnými odchylkami z měření s fluvizemí.

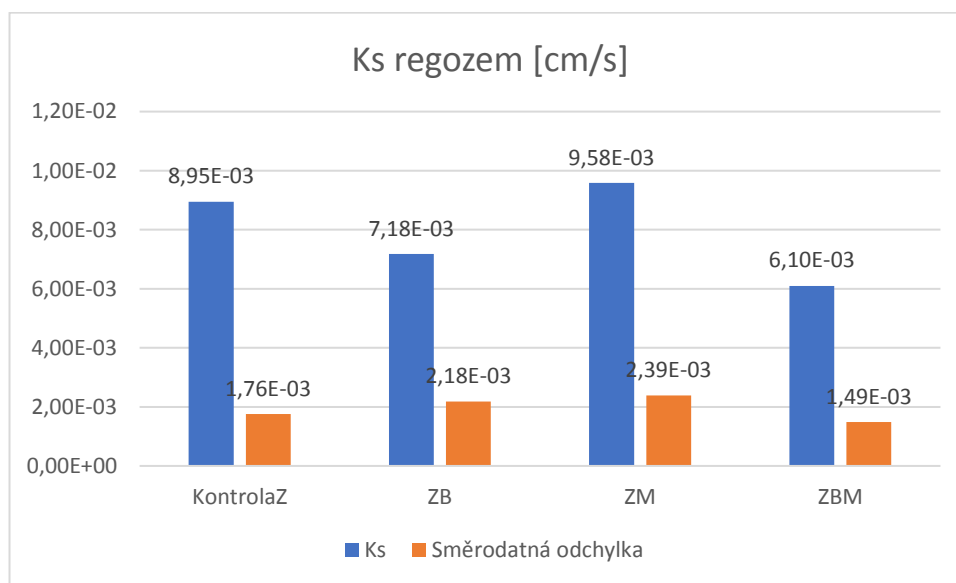
6.3.3 POLNÍ VODNÍ KAPACITA PROVNÁNÍ

V regozemi i fluvizemi přidavky zvýšily hodnotu polní vodní kapacity (PVK). Ke většímu zvýšení hodnot PVK došlo u regozemě, která byla více ovlivněna i v případě pórovitosti a objemové hmotnosti. Ve fluvizemi dosáhly přidavky podobných výsledků. V regozemi byl nejúčinnějším přidavkem hnůj, ve fluvizemi byl nejúčinnější biochar. Je zajímavé že nejúčinnější přidavky jsou zároveň ty nejméně účinné v kontrastní půdě jak je vidět na obr. 15 a 16.

6.4. NASYCENÁ HYDRAULICKÁ VODIVOST

6.4.1. NASYCENÁ HYDRAULICKÁ VODIVOST REGOZEM

Naměřené hodnoty K_s se pohybovaly v rozmezí od $6,10E-03$ cm/s do $9,85E-02$ cm/s. Nejvyšší hodnot K_s přesahující i hodnotu KontrolaZ, jak je vidět v obrázku 17, byly zjištěny u vzorků ZM. Zvýšení K_s u vzorku ZM obsahující hnůj je výjimkou oproti ostatním obohaceným vzorkům, kde došlo ke snížení K_s . Nejnížší hodnoty K_s s nejnižší variabilitou byly zjištěny u vzorků ZB. Nejvyšší variabilitu měla směs ZM, nejnižší ji měla směs ZMB.

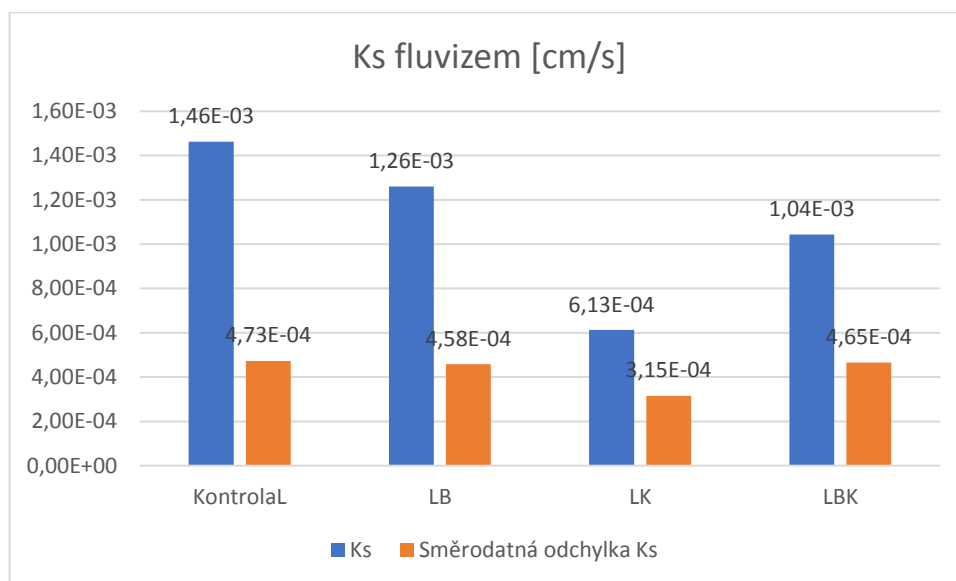


Obr. 17 průměrné hodnoty K_s se směrodatnými odchylkami měřené na vzorcích regozemě.

6.4.2. NASYCENÁ HYDRAULICKÁ VODIVOST FLUVIZEM

Hodnota K_s byla v rozpětí od $6,13E-04$ cm/s do $1,46E-03$ cm/s, jednotlivé hodnoty jsou uvedeny v obrázku 18. U všech vzorků fluvizemě obsahujících organický přídatek došlo ke snížení K_s oproti kontrolnímu vzorku. Nejvyšší hodnota K_s byla naměřena u KontrolyL, nejnižší hodnota a též největší snížení hodnoty K_s byly zaznamenány u směsi LK, kde došlo ke snížení K_s o více než polovinu. Nejvyšší variabilitu prokázala KontrolaL, nejnižší variabilita byla

zjištěna u směsi LK.



Obr. 18 průměrné hodnoty Ks z prvního a druhého měření se směrodatnými odchylkami měřené na vzorcích fluvizemi.

6.4.3 NASYCENÁ HYDRAULICKÁ VODIVOST POROVNÁNÍ

Ks není na rozdíl od ostatních zkoumaných vlastností příliš ovlivněna přidávkou organických hmot, ale také vzhledem k obtížnosti měření Ks je efekt hůře stanovitelný. Přidávky ve fluvizemi způsobily obecně pokles Ks u všech upravených vzorků. U regozemě došlo k poklesu Ks pouze u vzorků ZB a ZBM, u vzorku ZM došlo naopak ke zvýšení Ks, což je zobrazeno na obr.17. Přidávek hnoje v regozemi ZM sice ne markantně, ale zvýšil Ks. Naopak přidávek kompostu ve fluvizemi LK snížil Ks nejvíce. Kompost snížil hodnotu Ks nejvíce ze všech přidávek ve fluvizemi. Obě kombinované úpravy LBK a ZMB též vedly ke snížení Ks jak je vidět na obr.17 a 18.

7. DISKUZE

7.1 OBJEMOVÁ HMOTNOST

Dle Kutílka (1978) spadá regozem (kontrolaZ) dle své objemové hmotnosti do kategorie s nevyhovujícím strukturním stavem, fluvizem (kontrolaL) byla na pomezí dobrá/výborná, po úpravě organickým materiálem regozem spadala do kategorie dobrý pro biochar a výborný pro hnůj a hnůj s biocharem, fluvizem po úpravě spadala do výborné strukturní kategorie. U obou druhů zemin měla nejvyšší objemovou hmotnost neupravená půda, toto je možné pozorovat v obr. 11 a12. Přidávky biocharu, hnoje, kompostu i jejich kombinací se tedy zdají být efektivní při snižování objemové hmotnosti půd. Organické materiály mají většinou nižší hustotu

pevné fáze než půda, do které jsou přidávány, takže jejich přidáním dojde ke snížení objemové hmotnosti. Organické hmoty mají také jinou texturu a tvar částic než půda a některé mohou působit jako tmel, proto po jejich dodání do půdy dochází ke změně uspořádání částic a změně struktury vznikem nových koloidů. Uspořádání částic je klíčové pro pórovitost a objemovou hmotnost. To, že má přidáný materiál jinou strukturu a vlastnosti než půdní částice, proto může mít též vliv na velikost a tvar pórů. Jačka a kol. (2018) zaznamenali, že objemová hmotnost obohacené půdy klesá s vyšším podílem biocharu z důvodu efektu bobtnání při provlhčení půdy. Kombinované přídatky s biocharem vedly k nejvýraznějšímu snížení objemové hmotnosti v půdě, jak ve vidět na obr. 11 a 12. Zvýšení rozmanitosti textury potvrzuje Głab a kol. (2018) ve své práci a uvádí, že biochar i kompost efektivně snižují objemovou hmotnost půd a nejefektivnější je použít tyto přídatky zároveň. Efekt snížení objemové hmotnosti je důležitý pro snížení zhutnění (kompakce) půd. Zemědělská půda je v současnosti velmi ohrožena zhutňováním z důvodu používání těžké mechanizace (Vopravil a kol. 2010).

7.2 PÓROVITOST

Organické přídatky zlepšují strukturu půdy a tím podporují vznik většího množství kvalitních pórů. Regozem byla ovlivněna přídatky více kvůli vyššímu obsahu písčité částice. V písčitéjší regozemi se více vyskytují větší gravitační póry než v testované fluvizemi, kde je více kapilárních pórů. Głab a kol. (2018) uvádí že na póry v písčité půdě mají organické přídatky největší vliv. Regozem dosáhla nejlepších výsledků s přídatkem hnoje, kde pórovitost vzrostla o 21%. Kompost ve fluvizemi zvedl pórovitost jen o 3% ale, Aggelides a Londra (2000) zaznamenali velmi dobrý výsledek po přidání kompostu do hlinité půdy. Biochar byl efektivnější v regozemi kde zvedl pórovitost o 12%, ve fluvizemi zvedl hodnotu pórovitosti jen o 5% jak je vidět na obr.13 a14. Biochar sice podporuje pórovitost půdy, ale sám o sobě není řešením, tak uvádí ve své práci Jeffery a kol. (2015).

7.4 POLNÍ VODNÍ KAPACITA

Polní vodní kapacita (PVK) je popsána jako maximální možné množství vody, které může půda udržet pouze vnitřními silami, které odolávají gravitaci třeba (Kutílek 1978). Množství vody zadržené v půdě musí být co největší pro předcházení suchu. PVK je ovlivněna pórovitostí a objemovou hmotností, které jsou ovlivněny obsahem organické hmoty v půdě. Při pohledu na obr. s grafy pórovitosti 13 a 14 a obr. s grafy PVK 15 a 16 je jasně vidět závislost PVK na pórovitosti. Organická hmota výrazně zlepšuje hodnoty PVK. V regozemi došlo až ke zdvojnásobení původní hodnoty PVK z 16% na 33%, ve fluvizemi došlo k maximálnímu zvýšení z 29% na 40%. Větší navýšení PVK u regozemě v orování s fluvizemí byl způsoben počáteční malou hodnotou PVK u regozemě, která zde zanechala obrovský prostor pro zlepšení a to že, hnůj obsahuje tmely podporující tvorbu agregátů a struktury

v půdě. Velmi dobrý vliv organických látek na retenci vody v půdě potvrzuje ve své práci Krull a kol. (2004).

7.3 NASYCENÁ HYDRAULICKÁ VODIVOST

Nasyčená hydraulická vodivost (K_s) vyjadřuje schopnost půdy vést vodu a dodávat vodu potřebnou pro rostliny do kořenové zóny, a vést ji dál půdním profilem. Závisí na vlastnostech půdního prostředí jako zrnitost a pórovitost. Snížení hodnot K_s u vzorků obsahujících biochar mohlo být částečně způsobeno bobtnáním, při bobtnání biocharu dochází k ucpávání pórů v půdě a tím dochází k zamezení proděni vody vzorkem, toto tvrzení potvrzuje Ajayi a kol. (2016). Zvýšení K_s u vzorku obsahujícího hnůj lze vysvětlit tvořením preferenčních cest podél rostlinných vláken obsažených v hnoji. Efekt organických přísadků na K_s nebyl ale celkově výrazný.

8. ZÁVĚR

Přídavkem organických látek bylo všeobecně dosaženo zlepšení zkoumaných vlastností regozemě a fluvizemě. Změny u nasycené hydraulické vodivosti (K_s) nebyly tak významné jako u ostatních měřených vlastností. Objemová hmotnost byla velmi výrazně snížena u regozemě kombinací hnoje a biocharu, a to o $0,46\text{g/cm}^3$. Fluvizem byla méně ovlivněna a maximální pokles její objemové hmotnosti byl $0,14\text{g/cm}^3$ též u vzorku s kombinovaným přísadkem, ko-kompostovaným biocharem. Z toho vyplývá, že kombinace organické hmoty s biocharem je neúčinnější pro snižování objemové hmotnosti regozemě i fluvizemě z v této práci použitých přísadků. Pórovitost byla velmi dobře ovlivněna v regozemi, už méně efektivně ve fluvizemi. Výrazným výsledkem bylo její zvýšení o 21% v regozemi s přísadkem hnoje a ve fluvizemi byl nejlepší výsledek zvýšení o 5% u biocharu a ko-kompostovaného biocharu. U polní vodní kapacitay došlo zřejmě k hydrologicky nejdůležitějším změnám ze všech zkoumaných vlastností. Nejvýraznějším výsledkem byl nárůst PVK o 17% v regozemi s hnojem oproti kontrole. Nejlepším výsledkem pro fluvizem byl nárůst o 11% u vzorku obsahujícího biochar. Se zvýšením pórovitost u zemin došlo tedy i ke zvýšení PVK. Změny v hodnotách K_s nebyly tak významné jako u ostatních měřených vlastností, toto platí pro regozem i fluvizem. U hodnot K_s došlo jen k malému zvýšení pouze u regozemě s hnojem ZM a u všech ostatních přísadků došlo k nevýraznému snížení hodnot K_s . Největší pokles K_s u regozemě došlo u vzorku ZBM obsahujícího hnůj a biochar z $8,95 \cdot 10^{-3}\text{cm/s}$ na $6,1 \cdot 10^{-3}\text{cm/s}$. Největší pokles u fluvizemě by u vzorku LK s kompostem kde došlo ke snížení z $1,45 \cdot 10^{-3}\text{cm/s}$ na $6,13 \cdot 10^{-4}\text{cm/s}$.

Všechny testované příměsi jsou efektivní pro úpravu objemové hmotnosti a pórovitosti a polní vodní kapacity regozemě i fluvizemě a práce jasně ukazuje velký význam organické hmoty v půdě. Regozem byla přísadky všeobecně více ovlivněna než fluvizem. Vliv použitých přísadků na K_s je malý. Reakce půd mohou být na stejné přísadky jinak velké. Pro získání více znalostí o efektu jednotlivých přísadků

na různé zeminy je třeba mnoho dalších měření, protože se efekty různí podle vlastností testované půdy i typu organického přídatku.

9. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

- Aggelides S.M., Londra P.A., 2000: Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. *Bioresource Technology*. 71:253-259.
- Ajayi A.E, Holthusen D., Horn R., 2016: Changes in microstructural behaviour and hydraulic functions of biochar amended soils. *Soil and Tillage Research*. 155: 166-175.
- Bauer Q., Black A.L., 1992: Organic carbon effect on available water capacity of three soil textural groups. *Soil Sci. Soc. Am.* 56: 248-254.
- Baldock J. A., Nelson P. N., 1999: Soil Organic Matter. In: Sumner M: *Handbook of Soil Science*. CRC Press, Boca Raton. B25-B84.
- Barnes R.T., Gallagher M.E., Masiello C.A., Liu Z., Dugan B., 2014: Biochar-induced changes in soil hydraulic conductivity and dissolved nutrient fluxes constrained by laboratory experiments. *PLoS ONE* 9, e108340.
- Bičík I., Budňáková M., Čermák P., Čtyrská J., Dreslerová D., Fiala P., Hauptman I., Janderková J., Jech K., Kender J., Kopp J., Kubík L., Kukul Z., Matějů L., Němec J., Němec J., Novák P., Pošmourný K., Rejšek K., Penížek V., Petřů K., Sáňka M., Sedláček J., Šefrna L., Vácha R., Vašků Z., Zimová M., 2009: *Půda v České republice*. Consult, Praha, 255 s.
- Bot A., Benites J., 2005: *The Importance of Soil Organic Matter: Key to Drought-resistant Soil and Sustained Food Production*. Food & Agriculture Org, Řím, 78 s.
- Cotching W.E., 2018: Organic matter in the agricultural soils of Tasmania, Australia – A review. *Geoderma*. 312: 170-182.
- Doušová K., 2019: Vliv kompostu na hydro-fyzikální vlastnosti upravené nivní půdy. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. 56 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“ Dep. SIC ČZU v Praze.
- Gallagher B. N., 2019: Diplomová práce *Environmental and Economic potential of Using Co-Compost and Biochar for Agriculture and Soil Remediation*. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. 79 s. (diplomová práce). „nepublikováno“ Dep. SIC ČZU v Praze.
- Głab T., Żabiński A., Sadowska U., Gondek K., Kopeć M., Mierzwa M., Tabor S., 2018: Effects of co-composted maize, sewage sludge, and biochar mixtures on hydrological and physical qualities of sandy soil. *Geoderma*. 315: 27- 35.
- Ingham E. R., Moldenke A. R., Edwards C. A., 2000: *Soil Biology Primer*. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, 48s.
- Jačka L., Trakal L., Ouředníček P., Pohořel M., Šípek V., 2018: Biochar presence in soil significantly decreased saturated hydraulic conductivity due to swelling. *Soil & Tillage Research*. 184: 181-185.

- Jeffery, S., Meinders, M.B.J., Stoof, C.R., Bezemer, T.M., van de Voorde, T.F.J., Mommer, L., van Groenigen, J.W., 2015: Biochar application does not improve the soil hydrological function of a sandy soil. *Geoderma* 251–252:47–54.
- Jeřábková J., 2019: Proč je důležitá organická hmota v půdě. *Biom* 2019/1:2.
- Krull E.S., Skjemstad J.O., Baldock J.A., 2004: Functions of soil organic matter and the effect on soil properties. In: *Grains Research and Development Corporation*, 129 s.
- Kutílek M., Kuráž V., Císlarová M., 2004: *Hydropedologie 10*. České vysoké učení technické v Praze, Praha, 176 s.
- Kutílek M., 1978: *Vodohospodářská pedologie*. druhé vydání, SNTL Bratislava, 296 s.
- Liu, Q., 2017: Stanovení hydraulických parametrů nivní půdy a jejich časoprostorových změn. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. 66 s. (diplomová práce) „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- Loveland P., Webb J., 2003: Is There Critical Level of Organic Matter in the Agricultural Soils of Temperate Regions: Review. *Soil Tillage Research*, 70: 1-18.
- Murphy B.W., 2015: Key soil functional properties affected by soil organic matter – Evidence from published literature, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences*, 25.
- Pavlů L., 2019: *Základy pedologie a ochrany půdy*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 76 s.
- Poláková, L., 2020: Stanovení vybraných hydro-fyzikálních charakteristik problematické písčité půdy v blízkosti obce Zvěřínek v Polabí. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, (diplomová práce) aktuálně v přípravě, „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- Šantrůčková H., Kaštovská E., Bárta J., Minko L., Tajovský K., 2018: *Ekologie půdy*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice, 260 s.
- Šantrůčková H., 2014: *Základy ekologie půdy*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice, 125 s.
- Šarapatka B., 2014: *Pedologie a ochrana půdy*. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 232 s.
- Šimek M., 2003: *Základy nauky o půdě 1. neživé složky půdy*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice, 120 s.
- Šípek, V., Jačka, L., Seyedsadr, S., Trakal, L., 2019: Manifestation of spatial and temporal variability of soil hydraulic properties in the uncultivated Fluvisol and performance of hydrological model. *CATENA*. 182:104119

- Teodoro M., Trakal L., Gallagher B. N., Simek P., Soudek P., Pohorely M., Beesley L., Jacka L., Kovar M., Seyedsadr S., Mohan D., 2020: Application of co composted biochar significantly improved plant-growth relevant physical/chemical properties of a metal contaminated soil. *Chemosphere*, 242 :125255.
- Trakal, L., Raya-Moreno, I., Mitchell, K., Beesley, L., 2017: Stabilization of metal(loid)s in two contaminated agricultural soils: Comparing biochar to its non-pyrolysed source material. *Chemosphere*, 181, s. 150-159.
- Urban K., Šarapatka B., Čížková S., Dukát V., Diviš J., Hejátková K., Hejduk S., Hluchý M., Hrabě F., Hradil R., Macháč R., Moudrý J., Pert J., Plíšek B., Pokorný E., Pražan J., Rozsypal R., Sedlo J., Šarapatková J., Škeřík J., Teksl m., Veverka A., 2003: *Ekologické zemědělství: učebnice pro školy i praxi, I. díl (základy ekologického zemědělství, agroenvironmentální aspekty a pěstování rostlin)*. Ministerstvo životního prostředí ČR a PRO-BIO Svaz ekologických zemědělců, Praha, 280 s.
- Urbancová L., Lacková E., 2015: *Pedologie Teorie a cvičení*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, 117 s.
- Vopravil J. a kol., 2010: *Půda a její hodnocení v ČR – Díl I. VÚMOP*, Praha, 147 s.
- Žák, K., Rohovec, J., Navrátil, T., 2009. Fluxes of Heavy Metals from a Highly Polluted Watershed During Flood Events: A Case Study of the Litavka River. Czech Republic. *Water Air Soil Pollut.* 203, 343–358
- Žalud Z., Trnka M., Hlavinka P., Bláhová M., Dobrovolný P., CSc., Klem K., Kudláčková L., Kusá H., Možný M., Mühlbachová G., Ph.D., Pavlík F., Růžek P., Štěpánek P., Vopravil J., Zahradníček P., 2019: *Zemědělské sucho v České republice: vývoj, dopady a adaptace*. Agrární komora České republiky, Praha, 115s.

Internetové zdroje

- Vaněk V., Kolář L., Pavlíková D., 2010 28. 4.: Úloha organické hmoty v půdě (online) [cit. 2020 13.1.], dostupné z <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/uloha-organicke-hmoty-v-pude>>.
- Černý j., Balík j., Kulhánek M., Ph.D., Sedlár O., 2019 5. 11.: Organická hmota v půdě, její obsah, složky a význam (online) [cit. 2020 13.1.], dostupné z <<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/organicka-hmota-v-pude-jeji-obsah-slozky-a-vyznam>> .
- Kovaříček P., Hůla J., Vlášková., Stehlík M., 2017 5.11.: Organická hmota zvyšuje bioaktivitu a zadržování vody v půdě (online) [cit. 2020 18.3.], dostupné z <<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/organicka-hmota-zvysuje-bioaktivitu-a-zadrzovani-vody-v-pude>> .

- Nawrath A., Hašková P., 2015 15. 8.: Pozitivní vliv organické hmoty v půdě (online) [cit. 2020 15.1.], dostupné z <<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/stimulace/pozitivni-vliv-organicke-hmoty-v-pude>>.

Návody a manuály

- Eijkelkamp Soil & Water, 2013: 09.02 Laboratory-Permeameters operating instructions. Eijkelkamp Soil & Water, Giesbeek, 14 s.