

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA

V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

**KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A
ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ**



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**RETENCE VODY V PÍŠČITÉ PŮDĚ PO
POLNÍ APLIKACI SMĚSI BIOUHLU A
HNOJE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

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

Bakalant: Kryštof Ottomanský

2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kryštof Ottomanský

Vodní hospodářství

Název práce

Retence vody v písčité půdě po polní aplikaci směsi biouhlu a hnoje

Název anglicky

Water retention of sandy soil after field application of biochar-manure mixture

Cíle práce

Vyhodnotit vliv hnoje a různých směsí hnoje s biouhlem na retenční schopnosti písčité půdy v Polabí s využitím neporušených vzorků odebraných v prvním roce po polní aplikaci.

Metodika

Na základě rešerše charakterizovat retenční schopnosti půdy a související hydro-fyzikální vlastnosti, způsobů jejich vyjádření, měření a vyhodnocování. Dále na základě literatury vyhodnotit vliv organických přídatků (zejména biouhlu, hnoje a jejich směsí) na schopnosti půdy zadržovat vodu.

V praktické části odebrat v terénu neporušené půdní vzorky za účelem měření retenční čáry, vlhkosti při odběru a objemové hmotnosti. Odběr provést na místech aplikace organických přídatků (čistý hnůj, biouhel: hnůj 1:10, biouhel: hnůj 1:1) a kontrolní půdě bez ošetření. Odběr provést ve vrchní vrstvě půdy, kde byla aplikace provedena. Vyhodnotit vliv přídatků na vlhkost půdy při odběru, objemovou hmotnost, retenční schopnosti a hydrolimity (zejména polní vodní kapacitu a snadno dostupnou vodu pro rostliny).

Doporučený rozsah práce

35 stran

Klíčová slova

biochar, hnůj, vysychavá písčité půda, zadržování vody

Doporučené zdroje informací

- Atkinson, C.J., 2018. How good is the evidence that soil applied biochar improves water holding capacity? *Soil Use Manag* 34:177–186.
- Edeh, I.G., Mašek, O., Buss, W., 2020. A meta-analysis on biochar's effects on soil water properties – new insights and future research challenges. *Sci. Total Environ.* 714, 136857.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136857>.
- Głąb, T., Żabiński, A., Sadowska, U., Gondek, K., Kopeć, M., Mierzwa-Hersztek, M., Tabor, S., 2018. Effects of co-composted maize, sewage sludge, and biochar mixtures on hydrological and physical qualities of sandy soil. *Geoderma* 315. P. 27–35.
- Kutílek, M., Nielsen, D.R., 1994. *Soil hydrology*. Catena Verlag, Cremlingen – Destedt, Germany
- Seyedsadr, S., Šípek, V., Jačka, L., Sněhota, M., Beesley, L., Pohořelý, M., Kovář, M., Trkal, L., 2022. Biochar considerably increases the easily available water and nutrient content in low-organic soils amended with compost and manure. *Chemosphere* 293, 133586.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Lukáš Jačka, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 6. 3. 2023

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 6. 3. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 16. 03. 2023

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Retence vody v písčité půdě po polní aplikaci směsi biohlu a hnoje vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

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

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

V dne

.....

(podpis autora práce)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych vyjádřil své upřímné díky všem, kteří mi pomohli při psaní této bakalářské práce. Nejprve bych chtěl poděkovat Ing. Lukáši Jačkovi, Ph.D., za jeho vedení, trpělivost a cenné rady, které mi byly nesmírně užitečné při psaní práce.

Dále bych rád poděkoval své rodině a přátelům, kteří mě podporovali během celého studia a byli mým zdrojem inspirace.

Děkuji vám všem z celého srdce.

ABSTRAKT

Organická hmota v půdě je klíčová pro udržení vodního režimu a snižování eroze, což má významný vliv na udržitelnost zemědělství a ochranu životního prostředí. Díky ní je půda schopna udržovat vodu a zlepšovat její kvalitu, a také snižovat riziko povodní a eroze.

Cílem této bakalářské práce je výzkum vybraných organických přísad na retenci vody v regozemi na výzkumné lokalitě v obci Zvěřínek, kde byly organické přísady aplikovány do zemědělské půdy. Práce se zaměřuje na posouzení účinnosti přísad na zlepšení retence vody a souvisejících hydrofyzikálních vlastností. (objemová hmotnost, vlhkost při odběru, polní vodní kapacita, snadno dostupná voda). Retence vody byla vyhodnocena na základě retenčních čar měřených pomocí pískového a písko-kaolinového tanku a přetlakové aparatury na neporušených vzorcích o objemu 100 cm³ (odebraných v ornici ve střední hloubce cca 7 cm pod povrchem.) Zkoumané organické přísady byly dvě směsi biouhle s hnojem v poměru 1:1 (BM1) a 1:10 (BM10). Třetím organickým přísadkem byl čistý hnůj (M). Dále byla měřena také kontrolní půda (C) bez aplikace organických přísad. Pro laboratorní měření byla využita hydropedologická laboratoř na Fakultě životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze.

Objemové hmotnosti vykazovaly rostoucí trend směrem k řece. Tento trend naznačoval různost půdy a mohl částečně zakrývat vliv organických přísad. V případě vlhkosti při odběru byla zjištěna větší vlhkost u organických přísad. Kdy v případě směsi BM10 bylo procento vlhkosti navýšeno v průměru o 6,5 % oproti kontrole. Tvar retenčních křivek poukazuje na menší odvodnění při vyšších podtlakových hodnotách u všech směsí s organickými přísadami. Nejmenší odvodnění při vyšších pF hodnotách (2 - 3,7) vychází u M. Polní vodní kapacita byla v případě BM10 zvýšena o 6 % statisticky významně oproti C.

Výsledky práce vykazují kladný vliv organických ošetření na retenční schopnosti půdy. Tento vliv je ale částečně zastřen přirozeně vysokou heterogenitou testované půdy. Dalším faktorem, který by mohl ovlivnit kladný vliv přísad, je nerovnoměrné aplikování biouhlu do půdy.

Přínosem práce je to, že se jedná o polní studii, kterých není v době vyhotovení velké množství. Dalším přínosem je to že půda, na které byla aplikována organická ošetření, je ohrožená suchem, proto jsou výsledky této práce velmi důležité pro výzkum boje proti suchu.

KLÍČOVÁ SLOVA

biouhel, hnůj, polní aplikace, retence vody, Polabí

ABSTRACT

Soil organic matter is key to maintaining the water regime and reducing erosion, which has important implications for agricultural sustainability and environmental protection. It enables soils to retain water and improve water quality, as well as reduce the risk of flooding and erosion.

The aim of this bachelor thesis is to investigate selected organic amendments on water retention in regiosis at a research site in the village of Zverinek, where organic amendments were applied to agricultural soils. The thesis focuses on the assessment of the effectiveness of the additives on improving water retention and related hydrophysical properties. (bulk density, moisture at abstraction, field water capacity, readily available water). Water retention was evaluated based on water retention lines measured using a sand and sand-kaolin tank and a pressure apparatus on intact 100 cm³ samples (collected in topsoil at a mean depth of about 7 cm below the surface.) The organic amendments investigated were two mixtures of biochar and manure in a ratio of 1:1 (BM1) and 1:10 (BM10). The third organic addition was pure manure (M). A control soil (C) without application of organic amendments was also measured. The hydropedology laboratory at the Faculty of Environment of the Czech University of Agriculture in Prague was used for laboratory measurements.

The bulk weights showed an increasing trend towards the river. This trend indicated soil heterogeneity and could partially mask the influence of organic additions. In the case of moisture content at sampling, the moisture content was found to be higher for organic additions. When in the case of BM10 mix, the moisture percentage was increased by an average of 6.5 %. The shape of the retention curves indicates less drainage at higher vacuum values for all mixtures with organic additions. The smallest drainage at higher pF values (2 - 3.7) results for M. The readily available water comes out about 1% better on average for mix BM1.

The results of the work show a positive effect of organic treatments, on soil retention capacity. However, this effect is partially obscured by the naturally high heterogeneity of the tested soil. Another factor that could influence the positive effect of the additions is the uneven application of biochar to the soil.

The contribution of this paper is that it is a field study, of which there are not many at the time of writing. Another contribution is that the soil on which organic treatments were applied is at risk of drought, so the results of this work are very important for research on drought solutions.

KEY WORDS

biochar, manure, field application, water retention, Polabí

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíle práce	3
3	Literární rešerše	4
3.1	Retenční schopnost krajiny	4
3.2	Půda.....	4
3.3	Voda v půdě	4
3.4	Hydrofyzikální vlastnosti půdy	5
3.4.1	Složení půdy	5
3.4.2	Pórovitost.....	6
3.4.2.1	Měření pórovitosti	7
3.4.2.2	Vyhodnocení pórovitosti	7
3.4.3	Aktivní pórovitost.....	8
3.4.3.1	Měření aktivní pórovitosti	8
3.4.4	Drenážní pórovitost	8
3.4.5	Vlhkost půdy	9
3.4.5.1	Měření vlhkosti půdy.....	9
3.4.6	Saturace půdy	10
3.4.6.1	Měření saturace půdy	10
3.4.7	Zrnitostní složení půdy	10
3.4.8	Měření zrnitosti	12
3.4.8.1	Vyhodnocení zrnitosti	13
3.4.9	Struktura půdy – klasifikace půdních druhů.....	14
3.4.10	Objemová hmotnost půdy	14
3.4.10.1	Měření objemové hmotnosti půdy	14
3.4.10.2	Vyhodnocení objemové hmotnosti půdy	15
3.5	Retenční schopnost půdy.....	15
3.5.1	Vliv organických přísad na retenční schopnost půdy	15
3.5.1.1	Biouhel	15
3.5.1.2	Hněj	18
4	Charakteristika studijního území	19
4.1	Pedologické poměry.....	20
4.2	Geologické poměry	21
4.3	Klimatické poměry.....	22

4.4	Hydrologické poměry	23
5	Metodika	24
5.1	Odebírání vzorků	24
5.2	Příprava vzorků na měření	26
5.3	Pískový box	28
5.4	Písko-kaolinový box	29
5.5	Tlakové nádoby	29
5.6	Vyhodnocení měření	31
6	Výsledky měření	32
6.1	Objemová hmotnost	32
6.2	Vlhkost při odběru	33
6.3	Průběh retenčních čar	34
6.4	Polní vodní kapacita	35
6.5	Snadno dostupná voda	36
7	Diskuze	37
7.1	Objemová hmotnost	37
7.2	Vlhkost při odběru	37
7.3	Průběh retenčních čar	38
7.4	Polní vodní kapacita	38
7.5	Snadno dostupná voda	39
8	Závěr	40
9	Přehled literatury a použitých zdrojů	42
10	Seznam obrázků	45

Použité zkratky

BM1: Vzorky se směsí vysokoteplotního biouhlu v poměru 1:1 s hnojem

BM10: Vzorky se směsí vysokoteplotního biouhlu v poměru 1:10 s hnojem

C: Vzorky, kde nebylo použito žádné ošetření

M: Vzorky s čistým hnojem.

1 Úvod

Úvodem této bakalářské práce je nutné zdůraznit význam hospodaření s vodou v půdě, které představuje klíčový prvek v prevenci sucha a povodní. Současná doba čelí častým projevům sucha a lokálních povodní, které jsou způsobeny především vlnami veder, nárůstem maximálních teplot vzduchu a zvyšující se frekvencí přívalových dešťů. Podstatou této problematiky je skutečnost, že kapacita vody, kterou půda dokáže pojmout, je mnohem vyšší než kapacita vodních nádrží. Půda tedy představuje obrovský rezervoár vody, který je třeba pečlivě chránit a spravovat (Vinterová, 2020).

Důležité vlastnosti zemědělské půdy zahrnují její schopnost vsakovat srážky a zadržovat vodu. Pokud půda nedokáže udržet dostatek vody, zvýší se riziko přívalových povodní. Pokud má půda sníženou schopnost zadržet vodu – prodlužuje se období sucha. Podle hydrologických a pedologických analýz z roku 2017 se retenční kapacita půdy od roku 1950 snížila o přibližně 40 % (Kufová, 2021).

V této souvislosti se však setkáváme s negativním vlivem těžké zemědělské techniky, která způsobuje zhutňování půdy. Zejména u půd oslabených nedostatkem organické hmoty je tento jev velmi patrný. Pro zachování struktury a ochranu půdy proti zhutnění je organická složka v půdě klíčová (Nawrath a Hašková, 2015). Zároveň hraje důležitou roli v boji proti půdnímu suchu, neboť její množství ovlivňuje fyzikální a hydrologické vlastnosti půdy (Jeřábková, 2019).

Tato práce zkoumá vliv organických přísad na retenci v půdě. Tyto přísady by totiž mohly v budoucnu výrazně pomoci s již zmíněným půdním suchem a jeho dopady na životní prostředí. Vybranými organickými přísadami pro polní aplikaci se stal biouhel v poměru 1:1 a 1:10 a hnůj.

Biouhel byl vybrán hlavně kvůli hojně zmiňovaným účinkům na zlepšení vlastností půdy a tím pádem zlepšení retence. Tyto účinky podle některých zdrojů jsou až tak výrazné, že se jedná podle některých o „zázrak.“ Druhotně byl vybrán kvůli výzkumu účinnosti či efektivnosti při polní aplikaci, která není v dnešní době tak běžná což může být způsobené jeho poměrně vyšší cenou či těžším způsobem aplikace.

Hnůj byl vybrán z důvodu běžného použití v zemědělství jako zdroj živin pro rostliny a významně ovlivňuje vlastnosti půdy, díky obsahu organické hmoty. Tato hmota má pozitivní vliv na strukturu půdy a pomáhá zvyšovat retenční kapacitu. Díky dlouhé době používání se jedná o prozkoumaný přídatek do půdy, který nemá tak vysokou pořizovací cenu a jeví se jako efektivní cenově dostupné ošetření. Z tohoto důvodu je dobrým přídatkem kvůli následnému porovnání vlivu s biouhlem.

V teoretické části autor popisuje hydrofyzikální vlastnosti půdy a to tak, že nejprve popíše, o jakou vlastnost se jedná a dále popíše jakým způsobem se měří a v některých případech uvádí i možnosti vyhodnocení. Dále popisuje vliv biouhlu a hnoje na retenci půdy

V praktické části nejprve přibližuje studijní území, na kterém byla provedená polní aplikace. Území je charakterizováno z hlediska umístění, pedologických

poměrů, geologických, klimatických a hydrologických. Následně popisuje postup odebrání vzorků a laboratorního měření.

V další řadě popisuje vytvořené boxploty a průběh retenčních křivek z naměřených dat, kde následně v další kapitole diskutuje tyto data.

Závěrem autor shrnul výsledky naměřených dat, následně vyvodil celkový závěr, hodnotil přístupy své práce a rozmýšlí nad využitím výsledků této práce pro další výzkum.

2 Cíle práce

Cílem práce je stanovit vliv polní aplikace biouhlu a hnoje (v poměru 1:1 a 1:10) na retenční schopnosti písčité regozemě v Polabí, konkrétně na zemědělské půdě ve Zvěřínku. Vyhodnocovanou vlastností je retence půdy, ze které se následně stanoví retenční křivka. Navazujícím cílem této práce je porovnání vlivů organických hmot na určenou retenci.

3 Literární rešerše

3.1 Retenční schopnost krajiny

Retenční schopnost krajiny představuje klíčovou funkcionalitu přírodního prostředí, která umožňuje zadržování vody v různých částech krajiny. Jedná se konkrétně o vegetaci, objekty v povodí, půdu, mikrodepresi, poldry a vodní nádrže. Tento proces je velmi důležitý pro udržení přírodních ekosystémů a ochranu před negativními důsledky sucha a povodní (Petříček a Cudlín, 2003). Tato práce se konkrétně věnuje retenční schopnosti půdy.

3.2 Půda

Půda je složena nejen z anorganických částic, jako jsou jíla a písek, ale také z organických částic, jako jsou odumřelé organismy a humus. Organické částice jsou důležitou složkou půdy a mají významný vliv na její strukturu a vlastnosti. Na druhé straně, většina půdy je tvořena anorganickými částicemi, ale to nezmenšuje důležitost organických složek. Tyto organické částice jsou zastoupeny ve všech stádiích rozkladu a jsou tvořeny všemi přírodními materiály bez ohledu na jejich původ (Nimmo, 2004).

Výzkumy naznačují, že organické přísady mohou ovlivnit vlastnosti půdy, jako je její retence vody. Studie provedené Baldockem a Nelsonem (1999) ukázaly, že organické složky v půdě mohou být tvořeny nejen odumřelými organismy a humusem, ale také všemi materiály a látkami, které se vyskytují v půdě ve všech stádiích rozkladu. Tyto organické složky jsou tedy důležitými faktory, které mohou ovlivnit retenci vody v půdě.

Struktura půdy zahrnuje jak kapalnou, tak plynnou fázi, a právě do pórů vniká voda a ukládá se zde. Půdní póry jsou důležitým prvkem, který ovlivňuje retenci vody v půdě. Póry jsou definovány jako volné prostory v objemu půdy, které nejsou vyplněny pevným materiálem. Tyto póry mohou mít různé velikosti, tvary a původy, například od drobných mezer mezi půdními částicemi až po makroskopické trhliny, prostory po vyhníléch kořenech a chodbičky půdních živočichů. Retence vody v půdě je také ovlivněna velikostí a tvarem pórů, protože to ovlivňuje schopnost půdy udržet vodu a umožňuje rostlinám přístup k potřebnému množství vláhy (Poláková, 2020).

3.3 Voda v půdě

Voda hraje klíčovou roli v růstu a vývoji rostlin. Bez vody by rostliny nebyly schopny vstřebávat živiny z půdy a syntetizovat potřebné organické sloučeniny pro svůj růst. Voda je také důležitá pro přenos živin v rostlinách a pro udržování jejich turgoru, což je napětí v buňkách, které je nutné pro udržení rostliny vzpřímené.

Voda v půdě je také důležitá pro udržení stability půdního prostředí. Anorganické a organické částice jsou drženy pohromadě díky vodě v půdních pórech. Pokud dojde k odpaření vody z půdy nebo k nadměrnému odtoku, může se půda sesypat, což by vedlo k erozi a snížení úrodnosti půdy (Novotný, 2018).

Voda v půdě také hraje klíčovou roli při regulaci klimatu a udržování biodiverzity. Půda s dostatečným obsahem vláhy může snížit teploty v okolí a zlepšit mikroklima pro rostliny a živočichy. Ztráta vody v půdě může také vést k úbytku organismů, které v půdě žijí, což může mít negativní vliv na produktivnost půdy a ekosystém (Novotný, 2018).

3.4 Hydrofyzikální vlastnosti půdy

Hydrofyzikální vlastnosti půdy jsou klíčovými parametry, které ovlivňují chování vody v půdě a jsou důležité pro pochopení procesů spojených s pohybem a zásobováním vody v půdě. Tyto vlastnosti zahrnují složení půdy, pórovitost nebo například saturaci půdy.

Schopnost půdy vstřebávat vodu a množství, které je půda schopna pojmout, se nazývá vodní retence a závisí na velikosti pórů a na povrchovém napětí vody. Vodní retence udává, jak velké množství vody jsou schopny půdní částice uchovat a jak rychle se půda nasákne vodou. Vysoká retence znamená, že půda je schopna udržovat vodu, což může být pro růst rostlin výhodné. Na druhou stranu, nízká retence může znamenat, že půda se rychle vysušuje a rostliny nemají dostatek vody k růstu (Sedláček, 2017).

3.4.1 Složení půdy

Půda je komplexní a složitý útvar, Půda je obvykle popisována jako systém tvořený třemi fázemi: pevnou částí, půdní vodou a půdním vzduchem (Weil a Brady, 2017).

Při pozorování půdy zblízka lze identifikovat různobarevné a různě tvarované pevné částice, které nejsou jednotným celkem, ale jsou oddělené, nebo jsou oddělitelné minimálním tlakem na půdu. Součástí pozorovaného vzorku půdy jsou také půdní póry, které jsou volnými prostory mezi pevnými částicemi. Tyto póry mohou být částečně vyplněné půdní vodou a částečně plynem, který se nazývá půdní vzduch. Výskyt půdního vzduchu a vody je velice proměnlivý a závisí na stavu půdy ve kterém se právě nachází. Například po silném dešti se póry v horní vrstvě půdy zaplní půdní vodou, zatímco při dlouhodobém suchu se zvyšuje množství půdního vzduchu v pórech. Tím, že jsou tyto složky proměnlivé, tak se často přistupuje hlavně u kapalně složky k modelování procesů v půdě (Pavlásek a Jačka, 2014).

Voda v půdě, známá jako půdní voda, je složena z rozpuštěných minerálních a organických sloučenin, které jsou částečně určeny půdním okolím. Tyto rozpustné látky jsou vytvářeny rychlostí zvětrávání, chemickými procesy a přeměnou organických látek v půdě. Půdní voda je klíčovým transportním médiem v půdním prostředí, což znamená, že voda přenáší látky z jedné oblasti na druhou. Rostliny využívají rozpuštěné látky v půdní vodě jako zdroj živin. Z tohoto důvodu je půdní voda velmi důležitá pro udržení biologické rozmanitosti a plodnosti půdy (Pavlásek a Jačka, 2014).

Složení půdního vzduchu je proměnlivé jak prostorově, tak časově. Na rozdíl od atmosférického vzduchu se vyznačuje výrazně vyšší koncentrací oxidu uhličitého (CO₂), a to desetinásobně až stonásobně. Tento stav je výsledkem životních procesů

půdních organismů a dalších chemických procesů. Vlivem vyšší koncentrace CO₂ dochází k úbytku kyslíku (O₂) v půdním vzduchu. Kromě toho, půdní vzduch je také charakterizován vysokou relativní vlhkostí, která se blíží maximálnímu nasycení (Vlk, 2019).

Pevná část půdy je složena z minerálních a organických látek, které jsou relativně stabilní během určitého času. Půda, kde převažuje minerální složka, je půda anorganogenní, a tam, kde převažuje organická složka, se jedná o půdu organogenní. Organická složka půdy je proměnlivá a její složení se liší v závislosti na různých faktorech. Organická hmota v půdě se postupně rozkládá, což vyžaduje neustálé dodávání nových organických látek do půdního prostředí. V přírodním prostředí jsou organické látky přiváděny do půdy z odumřelých organismů. V běžných anorganogenních půdách, například v půdách používaných pro zemědělskou produkci, je organická hmota zastoupena v jednotkách procent. Ačkoli je to ku předešlému případu malé množství, organická hmota má zásadní vliv na vlastnosti půdy a tvorbu půdní struktury. Minerální složka (anorganogenní) se prakticky v průběhu času neproměňuje, ale vlastnosti se mění z největší části zvětráváním. Z tohoto důvodu je tato složka vnímána jako nejstabilnější. Podstatným faktem ale zůstává, že stabilita je poměrná, protože půda je ve stálém vývoji (Pavlásek a Jačka, 2014).

3.4.2 Pórovitost

Porozita půdy je důležitou hydrofyzikální vlastností, která ovlivňuje retenční schopnost půdy. Jedná se o podíl objemu půdních pórů k objemu půdy (Pavlů, 2018). Základní definice je realizována systémem, ve kterém zahrnujeme tři složky, a to půdní, vodní a složku plynu. Třífázový systém je součtem kapalné a plynné složky, kterou podělíme součtem všech tří složek. Tento vztah popisuje následující rovnice.

$$P = \frac{V_P}{V_S} = \frac{V_A + V_W}{V_A + V_W + V_M}$$

Porozita půdy se nepřímo vztahuje k obsahu pevných půdních částic v půdním vzorku. Velikost a povaha půdních pórů ovlivňuje další fyzikální vlastnosti půdy (Doušová, 2021).

Půdní póry jsou struktury v půdě, které mají různé tvary a velikosti. Většina pórů je spojitá, a proto se pro popis jejich vlastností používá model trubic neboli kapilár, které mají určitý průměr. Tento průměr se nazývá ekvivalentní průměr póru, což je charakteristický rozměr póru. Ačkoli se při modelování půdních pórů často používá ekvivalentní průměr, ve skutečnosti jsou průměry pórů proměnlivé. Proto je důležité být opatrný při používání modelů a zohlednit variabilitu jejich skutečných rozměrů (Pavlásek a Jačka, 2014).

Pórovitost půdy se může významně proměňovat v závislosti na mnoha faktorech, například biologických, klimatických antropogenních vlivech. Tyto faktory zahrnují sezonní výkyvy teplot nebo srážek, ale také krátkodobé změny, kterými může být zásah člověka nebo změna vlhkosti půdy. Vzhledem k významu pórovitosti pro mnoho procesů v půdě jako je například retenční schopnosti půdy je důležité tyto změny sledovat a zohledňovat je v analýzách půdních vlastností (Pavlásek a Jačka, 2014).

3.4.2.1 Měření pórovitosti

Způsob, jakým stanovujeme pórovitost půdy, obvykle zahrnuje poměr objemů jednotlivých fází, hodnotu hustoty půdy a zdánlivé hustoty půdních částic, nebo čísla pórovitosti (Pokorná a Zábranská, 2008). Vzorec, díky kterému lze určit pórovitost se popisuje následující rovnicí.

$$P = \frac{\rho_M - \rho_S}{\rho_M} = 1 - \frac{\rho_S}{\rho_M}$$

ρ_M se vztahuje k hustotě částic v půdě na základě objemu, který tyto částice zabírají, zatímco ρ_S vyjadřuje poměr celkové hmotnosti půdy k objemu, který tato půda zabírá.

Pro popis půd, které jsou bobtnavé neboli jim kolísá objem v důsledku vlhkosti půdy, se volí číslo pórovitosti se značkou e , který se počítá následující rovnicí.

$$e = \frac{V_P}{V_M} = \frac{V_A + V_W}{V_M}$$

Pro převod mezi číslem pórovitosti e a P existují následující vzorce (Pavlásek a Jačka, 2014).

$$e = \frac{P}{1 - P} \text{ nebo } P = \frac{e}{1 + e}$$

3.4.2.2 Vyhodnocení pórovitosti

Jak již bylo zmíněno dříve, v rámci hodnocení kvality půdy je důležité brát v úvahu i její pórovitost. Hodnota pórovitosti není konstantní a lze pozorovat změny závislé na aktivitě organismů, intenzitě růstu rostlin a sezónních změnách teplot. Kromě sezónních změn může pórovitost půdy ovlivnit i změna vlhkosti, bobtnání nebo smrštění půdy v závislosti na srážkách, antropogenní zásahy a denní změny teploty (Pavlásek a Jačka, 2014).

V literatuře lze nalézt orientační hodnoty pórovitosti u našich anorganogenních půd v rozmezí od 30 % u písčítých půd bez vyvinuté struktury do 80% u povrchových horizontů vysoce strukturních půd s vysokým obsahem organických látek. U organogenních půd může hodnota pórovitosti dosáhnout až 90%. Obecně se pórovitost zvyšuje s rostoucí agregací půdních částic a s rostoucím

obsahem organických látek. Zároveň se hodnota pórovitosti většinou snižuje s hloubkou půdy vlivem tlaku nadložních vrstev (Nimmo, 2004).

3.4.3 Aktivní pórovitost

Při popisu vlivu půdního prostředí na chování vody je důležité brát v úvahu rozměry a propojenost půdních pórů. Vlivem kapilární síly a nespojitosti pórů (např. když jsou póry slepé nebo uzavřené), neodtéká z nasyceného půdního vzorku veškerý objem vody vlivem gravitační síly. Část vody je držena v půdě silou, která je větší než gravitační síla. Pro určení množství vody, které může z nasyceného půdního vzorku vytéct pouze vlivem gravitačních sil, byla definována aktivní pórovitost. Tato pórovitost odráží schopnost půdy udržet a uvolnit vodu, což je důležité pro zemědělské i environmentální aplikace. Vysoká aktivní pórovitost indikuje, že půda má dobré hydraulické vlastnosti a může udržovat dostatečné množství vody pro rostliny a ekosystémy. Naopak nízká aktivní pórovitost může vést k omezenému zásobování rostlin vodou a zvýšené erozi a povodním (Pavlásek a Jačka, 2014).

Tato vlastnost je ovlivněna množstvím rozpuštěných látek, které ovlivňují povrchové napětí půdního roztoku a vlastnosti na rozhraní pevné a kapalné fáze. Teplota půdního roztoku také hraje roli v ovlivňování povrchového napětí a viskozity kapaliny. Vlastnosti na rozhraní pevné a kapalné fáze jsou ovlivněny obsahem organických látek, nábojem povrchu půdních částic, charakterem iontů vázaných na povrchu půdních částic a dalšími faktory. V půdním prostředí, kde jsou rozměry pórů velmi proměnlivé, záleží více na průměru pórů v místě vzájemného propojení pórů než na samotném nebo maximálním průměru daných pórů (Pavlásek a Jačka, 2014).

3.4.3.1 Měření aktivní pórovitosti

Aktivní pórovitost se značí P_A . Výpočet se provádí dělením objemu vody, která vytekla z zcela nasyceného vzorku půdy vlivem gravitace, objemem odebraného vzorku půdy.

$$P_A = \frac{V_G}{V_S}$$

V_G nám v této rovnici značí objem vody, která vytekla z nasyceného vzorku a V_S objem odebraného vzorku (Pavlásek a Jačka, 2014).

3.4.4 Drenážní pórovitost

Při zkoumání množství uvolňované vody z půdy při poklesu hladiny podzemní vody se využívá drenážní pórovitost. Tato hodnota je ovlivněna hloubkou ležící hladiny podzemní vody. Část vody v pórech, která by jinak odtékala gravitací (definovaná aktivní pórovitostí), se udrží v půdě kvůli tlakovým poměrům v blízkosti hladiny podzemní vody. Tato zůstávající voda se nazývá podepřená kapilární voda.

Tato pórovitost je definována jako objem vody, který se uvolní z jednotkového územního bloku při poklesu hladiny podzemní vody o metr. Hodnoty drenážní pórovitosti jsou ovlivněny vlastnostmi půdy a také složením vody, kterou

prochází. Proto je nutné při praktickém použití myslet na fakt, že jako v případě aktivní pórovitosti se hodnoty během času mění (Pavlásek a Jačka, 2014).

3.4.5 Vlhkost půdy

Půdní vlhkost je určena množstvím vody obsažené v půdě. V závislosti na tom, zda je množství vody vyjádřeno vzhledem k hmotnosti nebo objemu, se používají termíny vlhkost hmotnostní a vlhkost objemová. Vlhkost hmotnostní znamená množství vody na jednotku hmotnosti půdy, zatímco vlhkost objemová vyjadřuje množství vody na jednotkový objem půdy (Kutílek, 1984).

Z fyzikálního hlediska lze přesněji vyjádřit množství vody v půdě pomocí hmotnostní vlhkosti, toto vyjádření je založeno na neměnné hmotnosti pevné fáze půdního vzorku. Oproti tomu u objemové vlhkosti je důležitá nestálost zemin, zahrnující její bobtnání a smrštění, což je závislé mimo jiné na vlhkosti. Proto se pro vyjádření obsahu vody v půdním vzorku využívají čísla vlhkosti, vyjadřující poměr objemu vody a objemu pevné fáze v půdním vzorku (Pavlásek a Jačka, 2014).

$$\omega = \frac{V_W}{V_M}$$

Voda, která se nachází v pórovém prostoru půdy, nemá konstantní dostupnost a pohyblivost. Pohyblivost vody v půdním prostředí a dosažitelnost půdní vody pro rostliny záleží na charakteru půdních pórů. Do této skupiny spadá tvar, vzájemná propojenost, nebo třeba průměr. Dalšími faktory, na kterých záleží pohyblivost a dosažitelnost, jsou vlastnosti půdních částic, například obsah organické složky a náboj povrchu, nebo charakteristiky půdní vody, například obsah rozpuštěných látek (Pavlásek a Jačka, 2014).

Vlhkost půdy není přímým indikátorem přítomnosti nebo pohybu vody, ale spíše celkovým vyjádřením obsahu vody v daném půdním vzorku. Vliv na množství vody v půdě má kromě vlastností půdy také okolní prostředí a faktory, jako jsou například počasí a závlaha. Hodnoty vlhkosti v půdě se proto mohou v dané oblasti velmi rychle měnit. Maximální množství vody, které je schopna půda udržet, je rovno pórovitosti dané půdy. Množství dosažitelné vody se bude lišit v závislosti na různých typech půd a tlacích, kterým jsou vystaveny (Cejpek, 2011).

3.4.5.1 Měření vlhkosti půdy

Vlhkost půdy (w) se vyjadřuje následující rovnicí.

$$\omega = \frac{m_W}{m_M}$$

m_W vyjadřuje v této rovnici hmotnost vody a m_M zase hmotnost pevné fáze vzorku. Ta se určuje zvážení již vysušeného vzorku půdy. Během sušení vzorků je důležité zajistit, aby se zvýšenou teplotou odstranila pouze voda a nebyla narušena organická hmota nebo další snadno odstranitelné minerální složky.

Objemová vlhkost půdy (θ) se vyjadřuje následující rovnicí.

$$\theta = \frac{V_W}{V_S}$$

V_W vyjadřuje objem půdní vody a V_S vyjadřuje objem celého vzorku (Pavlásek a Jačka, 2014).

3.4.6 Saturace půdy

Definice saturace půdy byla vytvořena s úmyslem posuzovat plnost půdních pórů vodou. Tato definice byla vytvořená, protože vlhkost půdy při hodnocení nasycení půdního prostředí není dostačující, jelikož když budeme mít dva vzorky s totožnou hodnotou objemové vlhkosti, která bude činit třeba třicet procent, tak by to znamenalo, že vzorek, který má menší hodnotu pórovitosti například písčité půda bude dosahovat téměř plného nasycení. Naopak vzorek, který má vyšší pórovitost by měl nasycení velmi nízké, tudíž by rostliny mohly schnout díky nedostatku vody. Toto je velmi důležité například u utužování půdy pomocí zemědělské techniky. Tento proces může vést k redukci pórovitosti půdy a následnému snížení její celkové schopnosti udržovat vlhkost (Tuller a Or, 2004).

3.4.6.1 Měření saturace půdy

Pro výpočet této hodnoty budeme potřebovat znát hodnotu objemové vlhkosti půdy a půdní pórovitosti. Rovnice pro výpočet je následující (Pavlásek a Jačka, 2014).

$$S = \frac{V_W}{V_A + V_W} = \frac{\theta}{P}$$

3.4.7 Zrnitostní složení půdy

Zrnitostní složení je charakterizováno pevnou fází půdy, která je složena z minerálních částic definovatelného tvaru a velikosti, které mají diskrétní povahu. Tyto částice tvoří půdní agregáty, které mají výrazný vliv na vlastnosti půdy. Pro popis jednotlivých minerálních zrn v půdě je třeba je nejdříve od sebe oddělit procesem nazývaným dispergace. Nutné je také oddělení organických látek, které způsobují nežádoucí poutání mezi pevnými částčkami (Kubínová, 2019).

Zrnitostní rozbor má za úkol stanovit podíl jednotlivých zrnitostních frakcí v půdním vzorku na základě velikosti částic. Při tomto rozboru není důležité mineralogické zařazení, ale slouží jako doplňující informace k charakteru částic. Existuje několik klasifikací, které definují hranice jednotlivých zrnitostních frakcí a na základě nich se určuje půdní textura. V České republice používáme Taxonomický klasifikační systém půd České republiky, který má obdobnou metodiku jako celosvětově užívaný USDA.

Jednotlivé klasifikační systémy mají některé společné hranice. Hlavním rozměrem pro rozřazení půdy na skelet a jemnozem je rozměr 2 mm. Podle klasifikačního systému půd České republiky se jemnozem dělí na: jíl (půdní částice menší než 0,002 mm), prach (půdní částice od 0,002 mm do 0,05 mm), písek (půdní

částice od 0,05 mm do 2 mm). Obdobně i skelet se dále dělí na: hrubý písek (půdní částice od 2 mm do 4 mm), štěrk (půdní částice od 4 mm do 30 mm), kamení (půdní částice od 30 mm do 300 mm), balvany (půdní částice větší než 300 mm) (Pavlásek a Jačka, 2014; Bažantová, 2015).

3.4.8 Měření zrnitosti

Pro určení množství různě velkých částic v půdě se používá analýza zrnitosti. K provedení této analýzy je třeba odebrat vzorek půdy, který přesně reprezentuje podmínky na místě měření. Pokud se v půdě vyskytuje kamenitý skelet s větším průměrem, popisují se tvary, velikosti a zastoupení skeletu přímo v terénu a pro laboratorní analýzu se odebírá pouze vzorek jemnější frakce. Základní metodou pro stanovení zrnitosti skeletu a oddělení jemnozeme je rozbor na sítích, kde postupným proséváním a vážením určujeme zastoupení jednotlivých složek skeletu. Rozbor na sítích jde také využít pro určení kategorií písku a také pro oddělení části vzorku pro sedimentační metodu (Bažantová, 2015).

Pro určení obsahu částic jílu a prachu v půdním vzorku používáme metodu sedimentace.

Metoda, která se používá, zahrnuje určení rychlosti, kterou se částice sedimentují ve viskózní kapalině, v závislosti na jejich velikosti. Pro částice s průměrem mezi 0,001 mm a 0,08 mm (tj. pro Reynoldsovo číslo $Re < 1$) se používá Stokesova rovnice k popisu rychlosti sedimentace.

$$v = \frac{2}{9} g \frac{\rho_M - \rho_V}{\mu} r^2$$

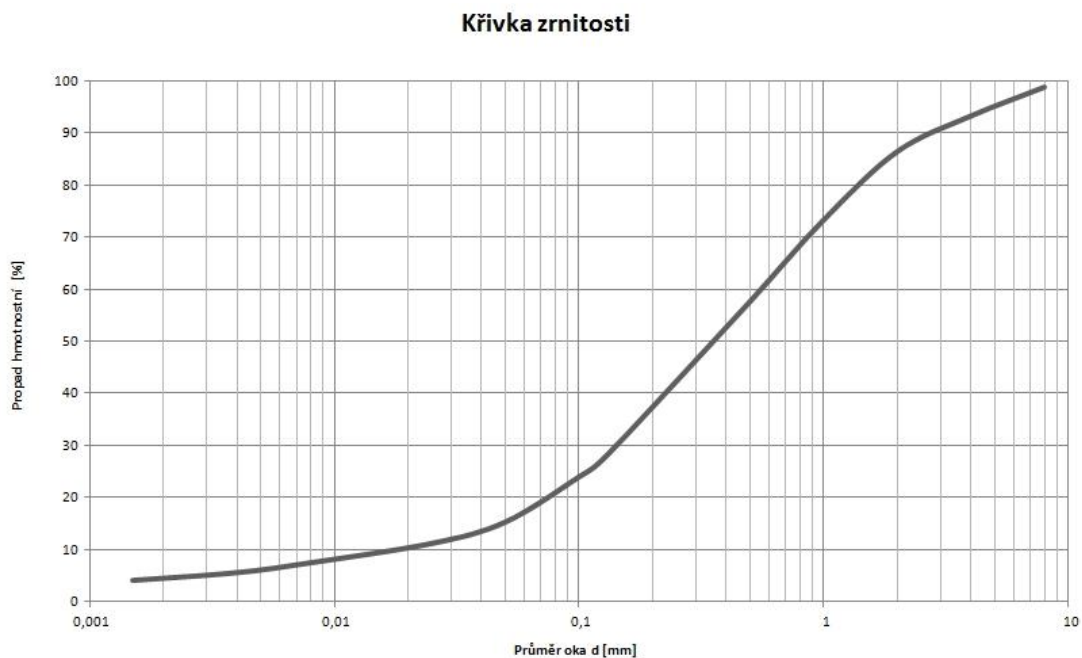
V rovnici se vyskytují následující proměnné: sedimentační rychlost, což je rychlost, s jakou se částice sedimentují v kapalině; tíhové zrychlení, což je zrychlení vlivem gravitačního pole; střední hustota sedimentujících částic, což je průměrná hustota částic, které se sedimentují; hustota disperzního prostředí, což je hustota kapaliny, ve které se sedimentující částice nacházejí; dynamická viskozita disperzního prostředí, což je měření vnitřního tření kapaliny, ve které se částice sedimentují; a poloměr sedimentujících částic s předpokládaným kulovitým tvarem, což je poloměr částic, které se sedimentují v kapalině (Pavlásek a Jačka, 2014).

3.4.8.1 Vyhodnocení zrnitosti

Analýzou zrnitosti půdy identifikujeme podíl jednotlivých zrnitostních frakcí v půdním vzorku. Pomocí výše zmíněných metod zjistíme hmotnostní podíl každé frakce. Porovnáním této hmotnosti s původní váhou vzorku určíme jejich procentuální zastoupení.

Graficky můžeme tyto informace zobrazit pomocí křivky zrnitosti, kde na vodorovné ose je velikost částecek uvedena v mm a na svislé ose hmotnostní procenta (Bažantová, 2015).

Křivka zrnitosti (obr. 1) může zobrazovat kumulativní složení celého půdního vzorku nebo pouze složení jemnozemě. Z křivky pro celý vzorek lze určit podíl skeletu a jeho složení. Z křivky pro jemnozeme odečteme zastoupení jednotlivých frakcí jemnozeme, což dále používáme pro stanovení druhu půdy neboli textury (Bažantová, 2015).



Obrázek 1 Křivka zrnitosti (převzato od Šobr, 2011)

3.4.9 Struktura půdy – klasifikace půdních druhů

Struktura půdy je charakteristika, která popisuje uspořádání jednotlivých půdních částic do větších agregátů. Tato uspořádání mohou být různá a závisí na mnoha faktorech, jako jsou složení půdních částic, typ a množství organické hmoty, pH, vlhkost a mnoho dalších (Pavlásek a Jačka, 2014).

Struktura půdy ovlivňuje mnoho procesů v půdě, jako je průchod vody, přístup vzduchu a kořenů rostlin, vstřebávání živin a mnoho dalšího. Proto je důležité znát a sledovat strukturu půdy, aby se lépe porozumělo procesům, které se v půdě odehrávají (Doušová, 2021).

Strukturu půdy můžeme hodnotit různými způsoby, například vizuálně, nebo pomocí různých měřicích metod. Tyto metody nám umožňují hodnotit velikost a tvar půdních agregátů, jejich stabilitu a propustnost (Pavlásek a Jačka, 2014).

3.4.10 Objemová hmotnost půdy

Objemová hmotnost půdy se dělí na dvě skupiny. První je objemová hmotnost půdy v neporušeném stavu, což znamená, že se jedná o půdní vzorek s póry vyplněnými momentním obsahem vody a vzduchu. Hodnota této vlastnosti se mění v závislosti na měrné hmotnosti, podílu pórů v půdě a množství vody, která jsou v nich obsažena. Tato vlastnost nemusí být konstantní a mění se v průběhu roku stejně jako pórovitost v důsledku bobtnání a smršťování půdy v závislosti na vlhkosti, nebo třeba obdělávání půdy. Nicméně směrem do hloubky půdního profilu má tendenci růst (Bažantová, 2015).

Druhou skupinou je hustota půdy, která se odebírá ze suché půdy, dá se nazvat i objemová hmotnost redukováná. Hodnoty této vlastnosti jsou stabilnější. Čím prostupujeme hlouběji ve vrstvách vzorku, hodnota této vlastnosti se zvyšuje. Hodnota signalizuje zahuštění a ulehlost půdy a je důležitá pro výpočet pórovitosti (Pavlásek a Jačka, 2014).

3.4.10.1 Měření objemové hmotnosti půdy

Pro stanovení hustoty suché půdy je třeba odebrat neporušený vzorek půdy o známém objemu. Ten se obvykle odebírá v nejvíce případech do Kopeckého válečku o objemu 100 cm³, ale pokud to není možné (například u skeletovité půdy), lze odebrat vzorek z původního povrchu a prohlubeň vyplnit stejnozrnným pískem o známé objemové hmotnosti a následně zjistit objem vzorku. Vzorek se poté suší při 105 °C a zváží, přičemž hmotnost suchého půdního vzorku odpovídá hmotnosti pevné složky v půdním vzorku a hmotnost vzduchu v něm je zanedbatelná (Pokorná a Zábranská, 2007).

Díky známému objemu a zvážené hmotnosti můžeme vypočítat hustotu vysušené půdy. Pro výpočet využijeme následující vzorec.

$$\rho_S = m_M/V_S$$

m_M nám v tomto vzorci zastupuje zváženou hmotnost a V_S je objem půdního vzorku, který je známý díky použitému válečku (Pavlásek a Jačka, 2014).

3.4.10.2 Vyhodnocení objemové hmotnosti půdy

Pro anorganické půdy jsou typické hodnoty hustoty v rozmezí 1,2 až 1,6 g/cm³, přičemž písčité půdy s nízkým obsahem organických látek mají vysokou hustotu, zatímco jílovité půdy mají nižší hustotu (Pavlů, 2018). Obsah organických látek v půdě ovlivňuje hustotu půdy, takže půdy s vyšším obsahem organických látek jsou méně husté. V půdách s organickým původem, jako jsou rašeliny s minimálním obsahem minerálních látek, se může vyskytovat velmi nízká hustota půdy až do hodnot kolem 0,2 g/cm³.

Hustota vysušené půdy závisí na jejích fyzikálních a chemických vlastnostech, jako je obsah minerálních a organických látek. Jílovité půdy mají nižší hustotu než písčité půdy s nízkým obsahem organických látek. Při vysokém obsahu organických látek je půda méně hustá. Půdy s organickým původem, jako jsou rašeliny s minimálním obsahem minerálních látek, mohou mít velmi nízkou hustotu půdy (Pavlásek a Jačka, 2014).

3.5 Retenční schopnost půdy

Retenční schopnost půdy je jinak řečeno schopnost půdy zadržovat vodu. Tato vlastnost závisí především na struktuře a textuře půdy. K tomuto jevu dochází v povrchových depresích, které mohou být různé velikosti, nebo v pokryvné vegetační a případně kulturní vrstvě povrchu krajiny. Do této skupiny můžeme řadit pokryvy jako například lužní lesy, mokřady, nebo třeba zasakovací pásy. Retenční schopnost půdy představuje klíčový faktor ovlivňující vznik a průběh povrchového odtoku v krajině, stejně jako snižování a zpomalování kulminačních průtoků v případě zvýšeného výskytu vody v krajině. Tato vlastnost půdy má významný dopad na regulaci vodního režimu v krajině a snižování rizik spojených s přírodními katastrofami, jako jsou záplavy a sesuvy půdy (Sáňka a kol. 2018).

3.5.1 Vliv organických přísad na retenční schopnost půdy

Pro dosažení optimálního množství vody v půdě se využívá přimíchání organických přísad do půdy (kompost, hnůj, biouhel), které by při správném určení materiálu a množství měly zajistit zlepšení retenční schopnosti půdy. Retenční schopnost půdy se zlepšuje díky organickému materiálu, který zvyšuje počet a velikost pórů v půdě, což umožňuje, aby voda lépe pronikala do půdy a byla lépe udržována v půdě. Organické přísady také zvyšují schopnost půdy udržovat živiny, což může vést ke zlepšení růstu rostlin. Organické přísady mohou také zlepšit strukturu a propustnost půdy, což může vést k lepšímu odvodnění a snížení rizika eroze (Francis, 2009).

3.5.1.1 Biouhel

Biouhel je tuhý materiál, který se získává procesem zvaným karbonizace, což je termochemická reakce, která se odehrává za omezeného přístupu kyslíku. Technicky se biouhel vyrábí z organických materiálů, jako jsou dřevo, hnůj a listy, při nízkých teplotách do 700 °C. Tento proces se podobá výrobě dřevěného uhlí, která je jednou z nejstarších průmyslových technologií vyvinutých lidmi

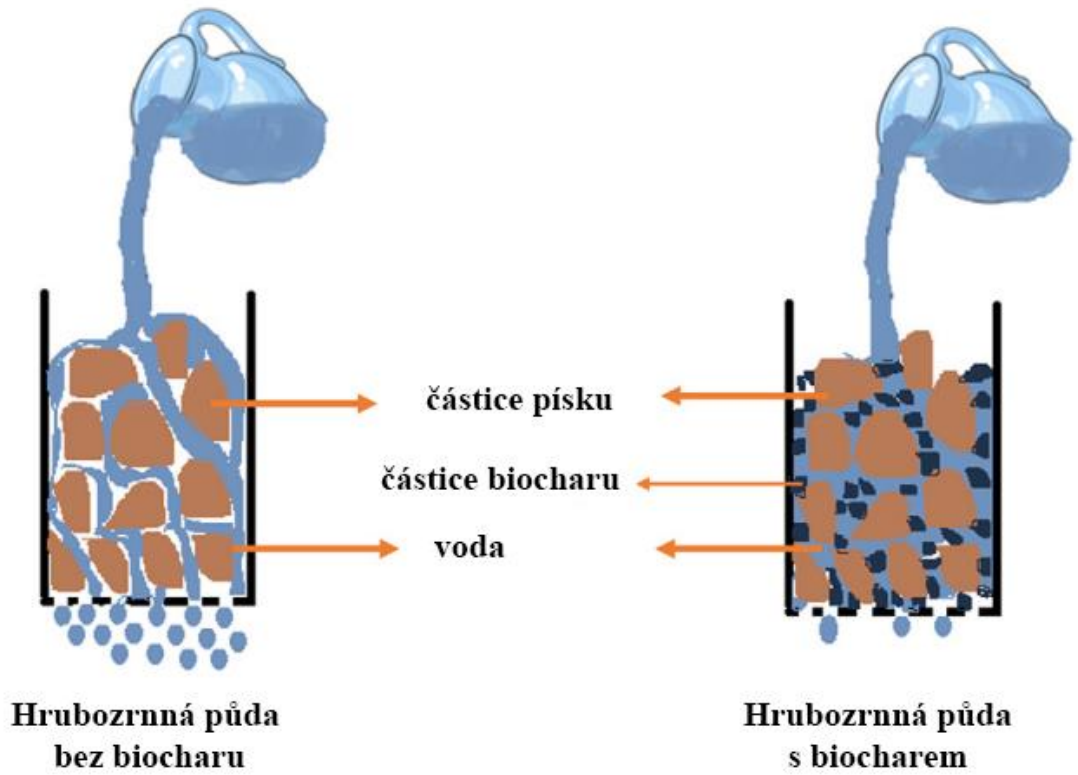
společností. Hlavním účelem biouhlu je však poskytnout zdroj organické hmoty, která může být přidána do půdy s cílem zlepšit její funkce a fyzikální vlastnosti (Dvořáková, 2017). Tím pádem může mít velký dopad na retenční schopnost půdy.

Vlastnosti biouhlu jsou ovlivněny dvěma klíčovými faktory: surovinou a teplotou pyrolýzy. Výchozí materiál, který se používá k výrobě biouhlu, je klíčovým faktorem, který určuje fyzikálně-chemické vlastnosti biouhlu. Teplota pyrolýzy je nejdůležitějším faktorem v procesu, který ovlivňuje výtěžek, obsah uhlíku a velikost povrchu biouhlu. V studii provedené Yasuyuki Okimorim a kol. (2003) se ukázalo, že při teplotách mezi 300 a 800 °C se obsah uhlíku v biouhlu zvýšil zatímco výtěžek se snížil.

Dle studie Edeha a kol. (2020) přidání biouhlu do půdy obecně zlepšuje vlastnosti půdy vůči vodě jako je například snížení rychlosti pohybu vody v půdě viz. Obr. 2., nebo zvýšení dostupné vodní kapacity, což je množství vody, která je zadržovaná v půdě a je dostupná pro rostliny. To lze připsat modifikaci strukturálních vlastností půdy přídatkem biouhlu. Biouhel zvyšuje celkovou pórovitost půdy, propojenost pórového prostoru a počet pórů, což má přímý vliv na ukládání vody v půdě. Zvýšení celkové pórovitosti půdy vede k nárůstu zadržování vlhkosti v půdě.

Tvar a velikost částic biouhlu se také liší od částic půdy a při inkorporaci do půdy mohou měnit charakteristiky pórů s přímým účinkem na vlastnosti vody v půdě. Přidání jemných částic biouhlu do hrubé půdy způsobí, že velké pórové prostory spojené s hrubou texturou půdy se zaplní, což vede k redukci velikosti pórů a zvýšení zadržování vody. Kromě pórů vznikajících mezi částicemi biouhlu a částicemi půdy (interpory) přispívají k zadržování vody v biouhlu i intrapory (póry uvnitř částic biouhlu). To je způsobené tím, že se voda ukládá a drží v pórech biouhlu. Nárůst pórovitosti biouhlu vede k nárůstu zadržování vody. Nicméně jejich velikost určuje, zdali bude voda k dispozici pro rostliny (Edeh a kol. 2020).

Vliv biouhlu na půdu velice závisí i na zrnitosti půdy. Hrubozrnné půdy prokázaly největší odezvu na biouhel. To je způsobeno tím, že velké póry v hrubých půdách jsou vyplněny biouhlem, což vede ke snížení pohybu vody a zvýšení její zadržovací schopnosti. Jemnozrnné půdy obsahují vrozeně více skladovacích pórů a proto kapacita dostupné vody v půdě reaguje na přidávek biouhlu méně. Nicméně, přidání biouhlu do jemnozrnných půd zvyšuje hydraulickou vodivost půdy, což je důležité pro průnik vody. Navíc stáří biouhlu a změny jeho vlastností mohou ovlivnit odezvu biouhlu na vlastnosti půdní vody. Proto jsou potřebné dlouhodobé polní studie, aby byly prozkoumány účinky biouhlu na půdu (Edeh a kol. 2020).



Obrázek 2 Schematický obrázek vlivu biouhlu na pohyb vody v půdě (upraveno z Edeh a kol. 2020)

3.5.1.2 Hnůj

Hnůj je materiál, který vzniká z rozkladu zvířecího trusu a moči. Obsahuje velké množství živin, jako jsou dusík, fosfor a draslík, které jsou pro růst rostlin nezbytné. Existují různé druhy hnoje v závislosti na druhu zvířat, např. krávy, prasata, ovce nebo drůbež, a chemické složení se může lišit. Hnůj se často používá jako hnojivo, protože obsahuje živiny, které jsou důležité pro růst rostlin a zlepšují kvalitu půdy (Hlušek, 2004).

Přidání organického hnoje do půdy může být prospěšné, protože hnůj obsahuje organickou hmotu, která může pozitivně ovlivnit strukturu půdy. Organická hmota se v půdě rozkládá a vytváří látky nazývané humus, které mohou zlepšit pórovitost půdy. To zase vede k větší schopnosti půdy udržet vodu a zlepšit dostupnost vody pro rostliny (Kovaříček a kol. 2017).

Nicméně, vliv hnoje na retenci vody v půdě závisí na mnoha faktorech, jako jsou typ a množství použitého hnoje, zrnitost a struktura půdy a klimatické podmínky. Přidání příliš velkého množství hnoje může vést k přehnojení a způsobit výrazné snížení retence vody v půdě, což může být způsobené navýšením obsahu soli v půdě. Použití organického hnoje může zvýšit mikrobiální aktivitu v půdě, jako jsou například bakterie, houby a řasy. Tyto mikroorganismy rozkládají organickou hmotu v půdě a uvolňují živiny, které jsou potřebné pro růst rostlin. Tento rozklad organické hmoty také vytváří póry v půdě, což zlepšuje její strukturu a zvětšuje prostor pro uchování vody, což může zlepšit schopnost půdy udržet vodu (Kovaříček a kol. 2017).

Celkově lze tedy říci, že přidání hnoje do půdy může mít pozitivní vliv na retenci vody v půdě, ale je důležité dbát na správné množství a typ hnoje a zohlednit další faktory ovlivňující vlastnosti půdy.

4 Charakteristika studijního území

Pro tuto bakalářskou práci byly použity odebrané vzorky ze vzorkovací kampaně, která proběhla 4. 4. 2022 na poli v těsné blízkosti obce Zvěřínek. Tato obec leží mezi městy Nymburk a Sadská v okrese Nymburk, ve Středočeském kraji. Poloha studijního území je vyznačena na obr. 3.

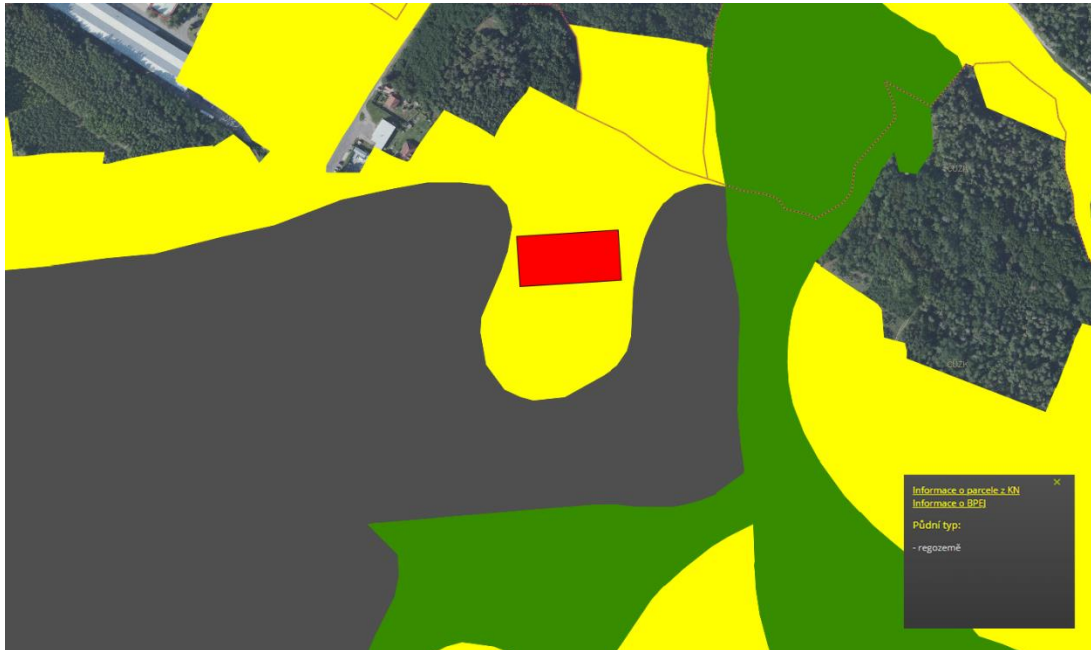


Obrázek 3 Vyznačení studijního území, napravo nahoře vyznačení přibližného umístění v rámci celé republiky (upraveno z aplikace ArcGIS Pro, 2023)

Na tomto místě leží území s rozlohou okolo 2 hektarů, ve kterém byly v pásech aplikovány směsi vysokoteplotního biouhlu a čistého hnoje. Tyto varianty biouhlu byly do pole aplikovány v dávce 40 tun/ha. Což odpovídá zhruba 1 % hm. Směsi byly aplikovány ve dvou dávkách a následně vpraveny zaoráním do hloubky zhruba 30 – 35 cm. Takto bylo rozhodnuto s ohledem na ošetření co nejsilnější vrstvy půdy.

4.1 Pedologické poměry

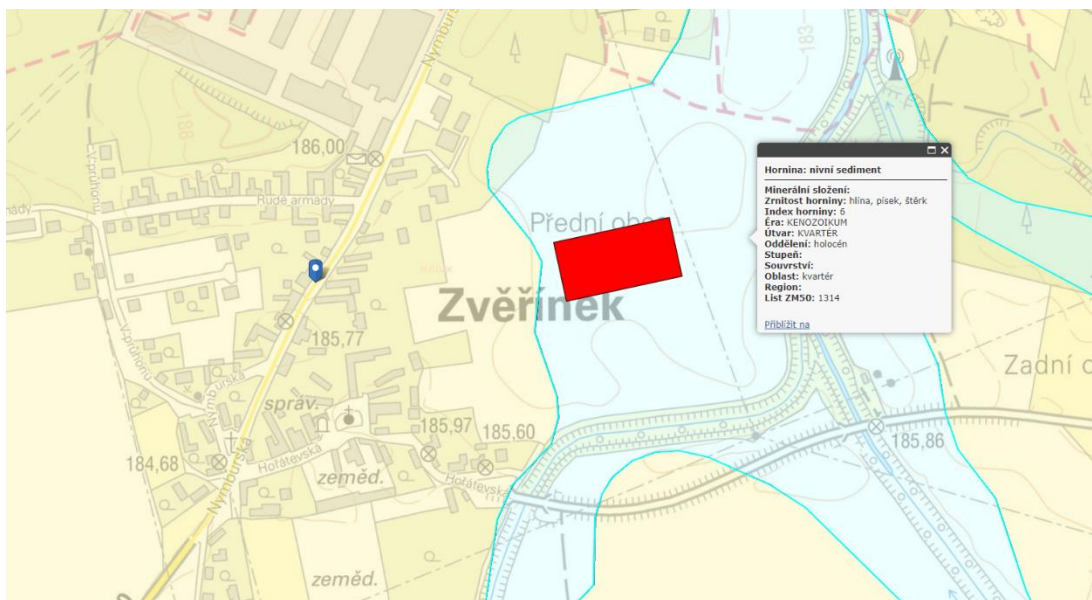
Dle průběžné zprávy o tomto projektu z roku 2021 a 2022 se na území nachází regozem oglejená (obr. 4), půdní druh písku se zastoupením písčité frakce 89 %. Toto území vykazuje značnou heterogenitu půdy, která se dá pozorovat i v jednom pruhu aplikace. Místní půda čelí riziku zemědělského sucha, hutnění a větrné erozi a potřebovala zlepšení hydrofyzikálních vlastností, kvůli kterým byla vybrána pro aplikaci organických ošetření (Obec Zvěříněk, 2007; Poláková, 2020).



Obrázek 4 Mapa půdních typů s vyznačeným územím (upraveno z mapy.vumop.cz, 2023)

4.2 Geologické poměry

Dle obr. 5 je zřejmé, že území bylo vytvořené nivními sedimenty, protože toto území bylo v minulosti zaplavováno jarními povodněmi Labe, které se před splavněním rozšiřovalo až na 4 km. Zásadní vliv na toto území měl kvartérní pokryv (10 - 20 m). Vyskytují se zde pleistocenní říční štěrkopísky s naplaveninami z wormského glaciálu (Obec Zvěříněk, 2007).



Obrázek 5 Geologická mapa s vyznačeným územím (upraveno z mapy.geology.cz, 2023)

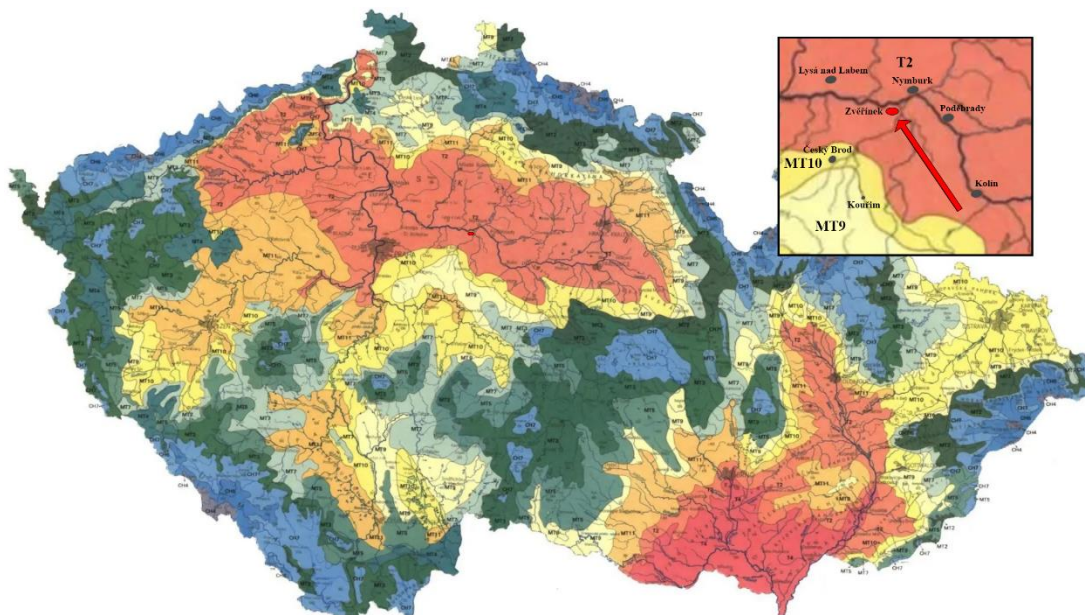
Geomorfologicky se řadí do oblasti Středočeská tabule, geomorfologického celku Středolabská tabule, podcelku Sadská rovina. (obr. 6) Zdejší oblast je zásobárnou stavebního a sklářského písku (Obec Zvěříněk, 2007; Poláková, 2020).



Obrázek 6 Geomorfologická mapa s vyznačeným územím (upraveno z ags.cuzk.cz, 2023)

4.3 Klimatické poměry

Studijní území leží v Teplé klimatické oblasti T2, (obr. 7) která je nejteplejší a nejsušší oblastí v České republice. Dominantním obdobím je léto, protože je nejdelší. Po celý rok zde panuje sucho (Hruban, 2019).



Obrázek 7 Mapa klimatických oblastí s vyznačeným územím (upraveno z mapy od E. Quitta, 2023)

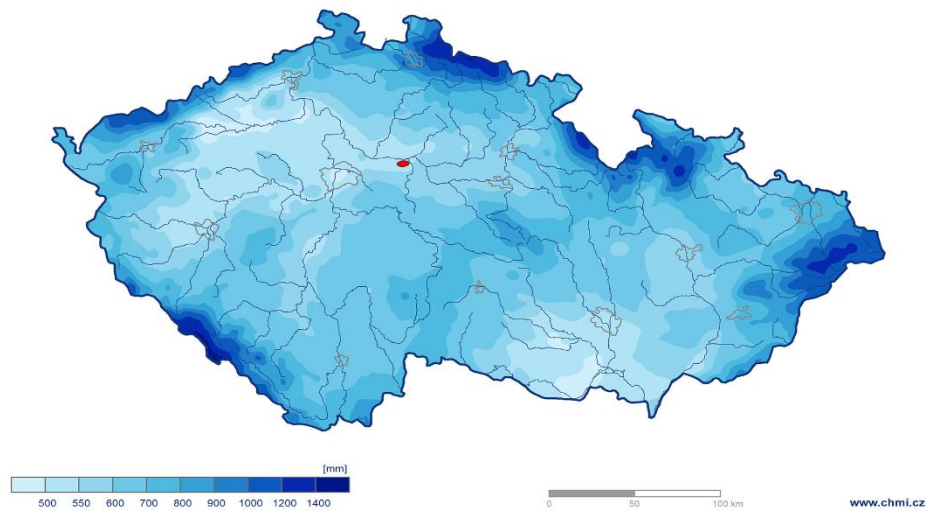
Přes rok je zde průměrná roční teplota 8-9 °C a průměrný počet dní, které mají teplotu vyšší než 25 °C je 50 dní. Teplota přes vegetační období je 14-15 °C (Obec Zvěřínek, 2007).

4.4 Hydrologické poměry

Studijní území patří pod povodí Labe. V blízkosti protékají dva menší toky a to Šembera, která se následně vlévá do Výrovky, ale hrozba povodně je zde velmi nízká. Roční srážky zde jsou průměrně 500 – 550 mm (obr. 8) a ve vegetačním období 350 mm (Obec Zvěřinec, 2007).

Průměrný roční úhrn srážek za období 1991 – 2020

Český
hydrometeorologický
ústav



Obrázek 8 Mapa průměrného ročního úhrnu s vyznačeným územím (upraveno z www.chmi.cz, 2023)

5 Metodika

Pro tuto bakalářskou práci byla použita data naměřená na odebraných vzorcích z problematické vysýchavé půdy s nepříznivými hydrofyzikálními vlastnostmi, která se nachází u obce Zvěřínec. Do pole, ze kterého se vzorky odebíraly, byly aplikovány organické přídatky hnůj a biouhel v poměru 1:1 a 1:10. Aplikace probíhala v pruzích.

Tato práce vyhodnocuje vliv výše uvedených přídatků na retenci vody v půdě. Data byla naměřená v rámci projektu na FŽP ČZU ve větším týmu měřitelů a bakalářská práce zpracovává pouze určitý segment těchto dat. Charakteristiky půd, organických přídatků a metody přípravy vzorků jsou odvozeny z již existujících projektových zpráv, studentských prací a publikovaných článků. V posledních letech se FŽP ČZU intenzivně zaměřuje na téma aplikace organických přídatků a jejich vliv na hospodaření půdy s vodou. V rámci této práce byly odebrány vzorky a část z nich byla připravena pro analýzu. Hlavním úkolem však bylo zpracování odebraných vzorků a vyhodnocení získaných dat.

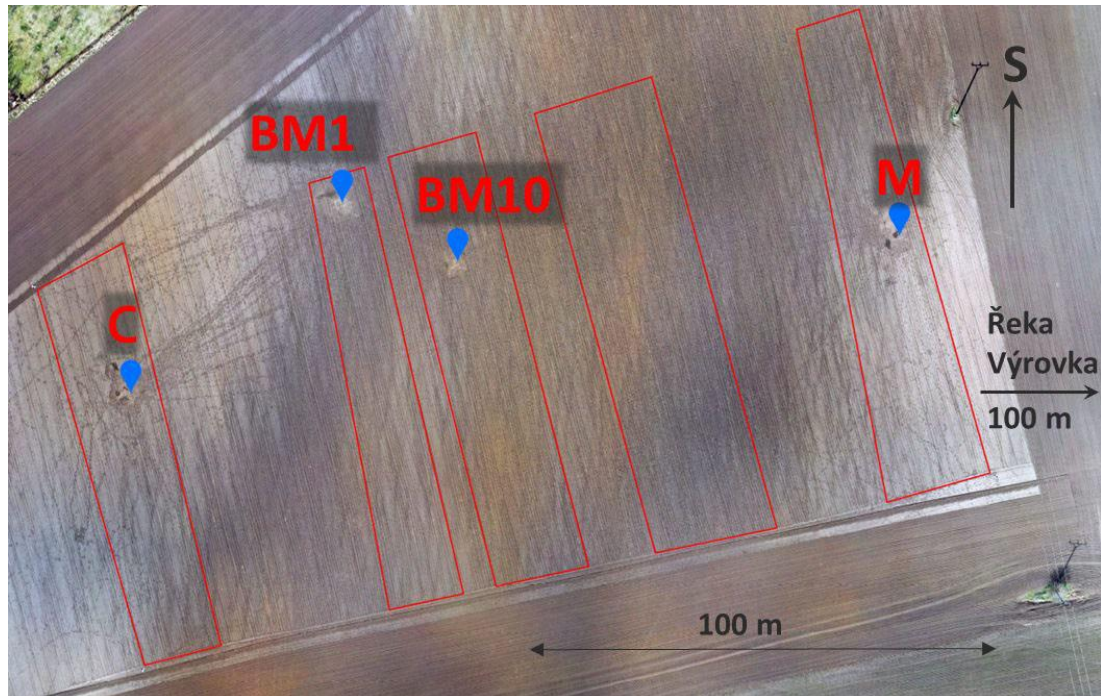
5.1 Odebírání vzorků

V roce 2022 bylo naplánováno odebrání vzorků během 3 termínů. Tato práce se věnuje analýze dat z 4. 4. 2022 během první kampaně, která byla v období před výsevem plodiny. Vzorkování probíhalo na 4 místech v rozlišných pruzích, které byly ošetřeny biouhlem 1:1 a 1:10, hnojem a poslední místo pro vzorkování bylo kontrolní, na kterém neproběhla žádná aplikace (obr. 9).

Místa vzorkování (viz modré body na obr. 9), která byla vybrána pro samostatné odebírání vzorků, byla vybrána po pečlivém průzkumu půdy, tak aby podomníčí bylo co nejpodobnější všem políčkům s aplikací organických směsí. Průzkum byl zaměřen na nalezení signifikantního obsahu biouhlu na první pohled. Na tomto konkrétním místě byla nejprve použita vpichová sonda, která se točením a tlakem rukou vpraví do půdy co nejhlouběji to lze a následně se opatrně vytáhne, tak aby nedošlo k narušení zeminy uvnitř sondy. Sonda je následně opatrně položena a seříznutá (viz obr. 3. Tato sonda byla použita z důvodu co největší podobnosti podomníčí na všech vzorkováních.) Tento úkol nebyl vůbec snadný, protože pole ze kterého se odebíraly vzorky, leží v blízkosti řeky a vykazuje významnou heterogenitu půdy.

Následně byla odkopána půda o hloubce zhruba 10–20 centimetrů do roviny, kde bylo zkontrolováno, že v půdě nejsou žádné viditelné vady jako jsou například kameny, které by zavinily porušení vzorku. Následně byly do půdy ručně vtlačeny ostrou hranou Kopeckého válečky o objemu 100 cm³, dostatečného vtlačení bylo dosaženo pomocí odběrové hlavy, do které se váleček nasadí a následně je vtlačen do půdy tlakem ruky, nebo si lze dopomoci gumovou paličkou, ale její použití je dobré omezit na minimum, protože její použití může vést k rozrušení půdy. Váleček bylo potřeba vtlačit rovně zhruba do 0,5cm pod povrch půdy. Po zatlačení byla opatrně odstraněna okolní zemina a váleček vyrýpnut, přebytečná zemina z druhé strany válečku byla lehce seříznuta ostrým pedologickým nožem. Pokud část zeminy při odběru nebo při seřezávání vypadla, vzorek byl porušený a místo něj se odebral jiný. Vzorek byl následně zavíčkovaný a zvážen na přenosné váze, aby se zjistila

momentální vlhkost půdy při odběru, zvážen byl na poli z důvodu zamezení ovlivnění hodnoty výparem. Tato váha byla následně zapsána do příslušné tabulky. Na každé lokalitě bylo odebráno 10 neporušených vzorků. Odebrané zvážené vzorky byly umístěny do kufříku v jejich přirozené svislé poloze a následně byly převezeny na Fakultu životního prostředí do hydroopedologické laboratoře.



Obrázek 9 Místa vzorkování (foto: Klápště, upraveno Jačka, 2022)

5.2 Příprava vzorků na měření

Vzorky byly v laboratoři odvíčkovány ze spodní strany a očištěny. Z deseti vybraných vzorků se vybralo šest, které byly určeny ke stanovení bodů retenční čáry a objemové vlhkosti. V těchto vzorcích se nacházely vzorky, u kterých byl viditelné kousky biouhlu v půdě, viz obr. 10 a obr. 11. Vzorky byly vybrány podle kvality odběru. Zbylé 4 vzorky se daly do sušičky kvůli následnému použití na zrnitostní rozbor. Vybrané vzorky na retenční čáru se ze spodní strany opatřily hydrofilní gázou, která se připevnila na váleček gumičkou. Tato gáza zamezuje vypadnutí vzorku z válečku, ale přitom zajišťuje dostatečné proudění vody skrz zeminu. Následně byly sejmuta i druhá víčka ze vzorku a mohlo se přistoupit k vložení do již předpřipraveného pískového boxu. To znamená, že byl naplněný destilovanou vodou zhruba 0,5 – 1 cm nad úroveň písku. Válečky zde byly promíchány tak, aby vzorky byly na celé ploše tanku a ne pouze v jedné části. Toto rozmístění bylo zakresleno pro lehčí manipulaci se vzorkem při pozdějším vážení. Váleček se při vložení lehce přitlačil na povrch písku, aby celý povrch byl v kontaktu s pískem uvnitř boxu. Tank byl nastaven na hodnotu pF 0, která odpovídá plnému nasycení válečků vodou. Tento proces trval 2 dny, kdy byla do boxu dolévána voda přes lopatku, která se umístila na písek tak, aby nedošlo k vymílání děr do písku při lití vody.



Obrázek 10 Válečky s půdními vzorky s přítomným biouhlem (zvýrazněný) zleva C, BM1, BM10, M (Foto Jačka, 2022)



Obrázek 11 Přítomný biouhel v půdě (foto autor práce, 2022)

5.3 Pískový box

Po dosažení plného nasycení vzorků tedy bodu pF 0, byly válečky po jednom vyndány z boxu a po odkapání byly umístěny na sklíčko, které se používá v laboratoři na veškerá vážení, protože je u něj známá hmotnost. Vzorek byl se sklíčkem vložen na váhu a jeho váha byla zapsána do formuláře. Tento bod odpovídá zhruba bodu pórovitosti. Po zvážení vzorku byl vzorek položen na přiložený odkládací táč. Po zvážení všech vzorků byly válečky vloženy na stejná místa do boxu a znovu jemně přitlačeny na povrch. Pískový tank se nyní nastavil na hodnotu pF 1, což je rovno 0,1 m podtlaku, nebo se dá říci 0,1 m vodního sloupce. Odvodnění vzorků trvalo k bodu pF 1 dva dny. Poté byl proveden stejný proces jako u bodu pF 0. Vzorky byly zváženy, hmotnosti byly zapsány do formuláře a znovu se vložily na stejné místo. Následně se nastavila hodnota pF 1,5 (zhruba 0,32 m vod. sloupce) Tato hodnota se odvodňovala 6 dní. Následně byla nastavena hodnota pF 1,8 (zhruba 0,63 m vod. sloupce). Poslední hodnotou, která byla na pískovém boxu nastavená, byla pF 2 (zhruba 1 m vod. sloupce). Tato hodnota značí polní vodní kapacitu a odvodnění na tuto hodnotu trvalo 5 dní. Během měření v pískovém boxu se občas stalo, že z některého válečku vyrostl výhonek rostliny, který byl odstřižnut nůžkami. Toto můžeme pozorovat na obrázku 12.



Obrázek 12 Výhonek rostliny ve vzorku (foto autor práce, 2022)

5.4 Písko-kaolinový box

Po dosažení hodnoty pF 2 se vzorky musely přemístit do písko-kaolinového boxu, ve kterém můžeme dosáhnout větších podtlakových hodnot, díky složení písku, který je v boxu. Vzorky byly do tohoto boxu umístěné ve stejném rozmístění jako v pískovém boxu. Na tomto boxu byla nejprve nastavena hodnota pF 2,7 (zhruba 5 m vod. sloupce, trvání odvodnění zhruba 1 měsíc). Po měsíci byly vzorky po vyndání a zvážení připraveny na měření v tlakových nádobách.

5.5 Tlakové nádoby

Jak již bylo zmíněné na konci minulé kapitoly, tak následný krok je měření pomocí tlakové nádoby obr. 13, která díky kompresoru může dosáhnout mnohem vyššího podtlaku. Před započítím měření touto tlakovou nádobou se musí nasytit deska, na kterou jsou válečky umístěny. Toho je dosaženo vložením desky do nádoby s destilovanou vodou po dobu několika dnů, viz obr. 14. Vzorky byly do nádoby umístěné na dvě nasycené desky, které byly umístěny nad sebou. Po položení byly jemně přimáčknuty, aby nedošlo k prasknutí desky. Nádoba byla následně uzavřena víkem s těsněním, které bylo připevněno šrouby, aby zde mohl vzniknout podtlak. Po pečlivém dotažení šroubů byl na kompresoru nastaven podtlak pF 3. Voda z této nádoby teče do připravené nádoby. Pokud voda vytéká, proces funguje a vzorky se odvodňují. Díky tomu lze sledovat, kdy vzorek dosáhne nastaveného podtlaku, protože v tu chvíli přestane voda vytékat. Dosažení bodu pF 3 trvalo zhruba 2 měsíce. Poté byly vzorky znovu zváženy. Posledním měřením, které touto nádobou lze provést, je bod pF 3,7, odvodnění na tento bod trvalo další dva měsíce.



Obrázek 13 Tlaková nádoba (foto autor práce, 2022)



Obrázek 14 Sací deska (foto Vinterová, 2020)

5.6 Vyhodnocení měření

Z naměřených hodnot byl vyneseny boxploty a průběh retenčních čar, ze kterých bude vyhodnocován vliv biouhlů ve směsi a čistého hnoje oproti kontrolní půdě.

Boxplot nám zobrazuje u každého vzorku 25% procentní kvantil, 50% kvantil a 75% kvantil. Přičemž 25% kvantil (Q1) ukazuje hodnotu, pod kterou leží 25% pozorování, 50% kvantil (medián, Q2) představuje střední hodnotu dat, a 75% kvantil (Q3) značí hodnotu, pod kterou leží 75% pozorování.

Vyhodnocovány jsou následující vlastnosti objemová hmotnost viz kapitola 3.4.10, vlhkost při odběru viz kapitola 3.4.5,

Následně je vyhodnocován tvar retenčních křivek což je vlastně graficky vyznačený vztah půdní vlhkosti a tlakové výšky (pF), tudíž se jí dá také říkat pF křivka. Retenční křivka se mění v závislosti na obsahu organické hmoty, hustotě půdy, minerálním a zrnitostním složení, výměnných kationtech a také na struktuře půdy (Pokorná, Zábranská, 2007).

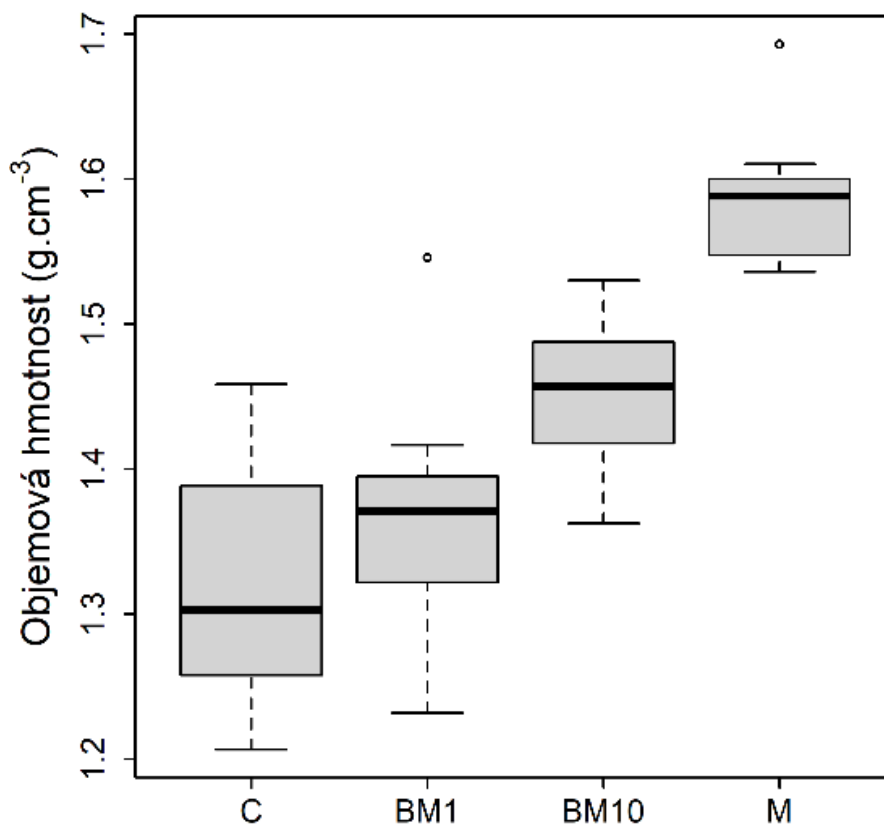
Dále se hodnotí Polní vodní kapacita, která se odhaduje z pF2 a je to vlastně maximální množství vody, kterou si půda udrží vnitřními silami v půdě.

Snadno dostupná voda se počítá jako odečtení objemové vlhkosti pF 2 – 3,7. a vyznačuje nám vodu, která je snadno dostupná pro rostliny, tudíž rostliny lépe odolávají suchu.

6 Výsledky měření

6.1 Objemová hmotnost

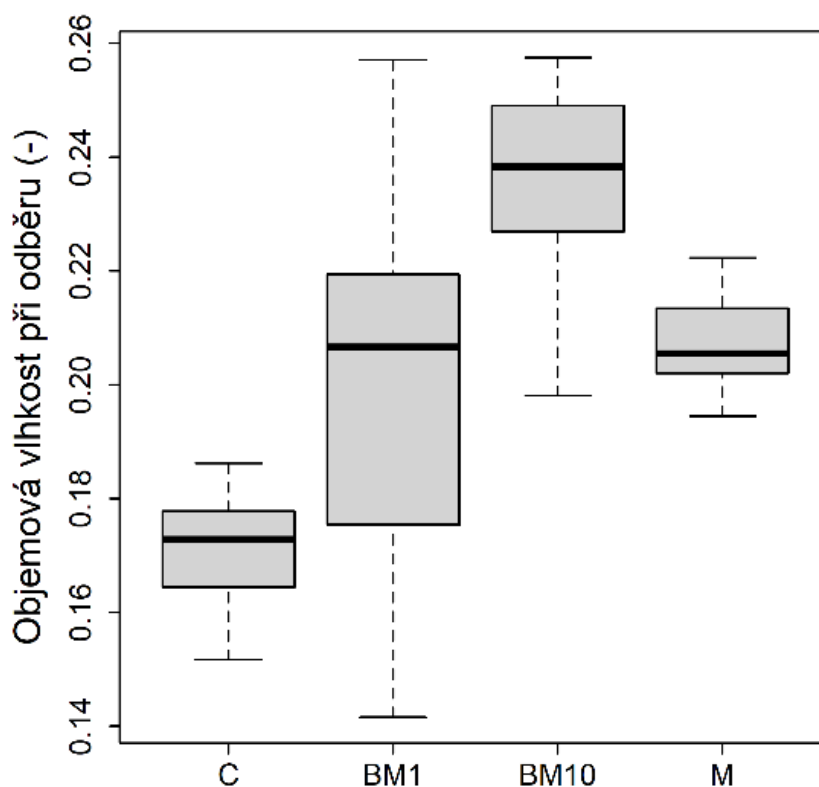
Rozpětí naměřených hodnot objemové hmotnosti bylo mezi 1,206 g/cm³ (C) a 1,590 g/cm³ (M). Mediány dat jsou následující C: 1,303 g/cm³, BM1: 1,371 g/cm³, BM10: 1,456 g/cm³, M: 1,588 g/cm³. Nejnižší hodnota byla naměřená u C. Tato hodnota byla skoro o čtvrtinu nižší než u nejvyšší hodnoty M. Největší rozptyl mělo C, zatímco nejmenší byl zaznamenán u M. Směrodatné odchylky nejvíce činily 0,09 g/cm³. Z boxplotu na obr. 15. je zřejmé, že M je výrazně vyšší než ostatní směsi.



Obrázek 15 Boxplot objemové hmotnosti (Jačka, 2022)

6.2 Vlhkost při odběru

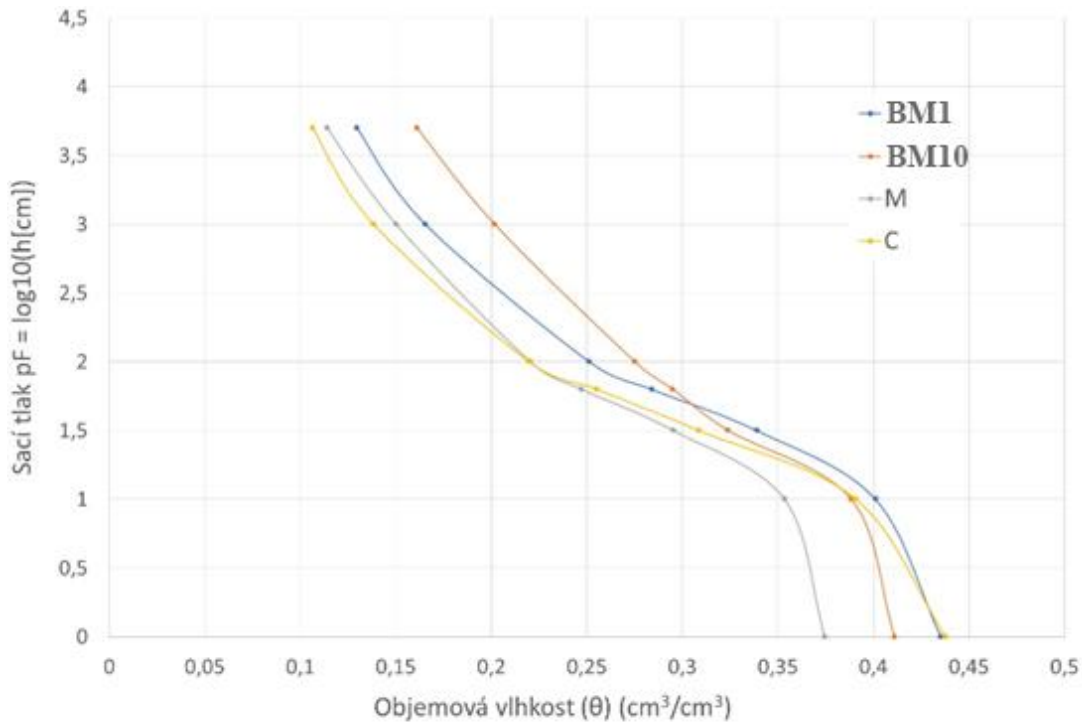
Při odběru byly naměřeny vlhkosti pro směsi, které se pohybovaly mezi 0,1416 (BM1) a 0,2575. (BM10) Mediánem dat pro tyto směsi byly hodnoty C: 0,1728, BM1: 0,2066, BM10: 0,2383 a M: 0,2055. Nejnižší hodnota byla naměřena u směsi BM1 a byla o více než 0,11 nižší než nejvyšší hodnota BM10. Směs BM1 měla největší rozptyl, který téměř postihoval všechny hodnoty ostatních směsí, kromě směsi BM10, která měla nejvyšší hodnotu o 4 desetitisíciny vyšší, zatímco nejmenší rozptyl byl pozorován u směsi M. Směrodatná odchylka byla nejvyšší u BM1: 0,039 a nejmenší odchylka 0,0099 u M. Dopočítaná procenta vlhkosti jsou následující: C: 12,89%, BM1: 14,56%, BM10: 16,18 %, M : 13,06 % (obr. 16).



Obrázek 16 Boxplot vlhkosti při odběru (Jačka, 2022)

6.3 Průběh retenčních čar

Na obrázku 17 jsou vyobrazeny průběhy retenčních čar všech vzorků.



Obrázek 17 Průběh retenčních čar (Jačka, 2022)

Při plném vodním nasycení neboli pF 0 vycházejí nejvyšší hodnoty u C a nejmenší u M. Vývoj křivek mezi pF 0 do pF 1 je pro obě směsi BM a M velmi podobný, ale v případě C je pokles strmější.

Vývoj křivek mezi pF 1 až pF 1,5 je strmější u všech přísadků a stále pokračuje strmější pokles u C. V pF 1 má nejnižší hodnotu M a největší vychází směs BM1. Zajímavější je bod pF 1,5 kdy sice stále vychází nejmenší M, ale C se velmi přiblížilo. Nejvyšší hodnota vychází stále u BM1.

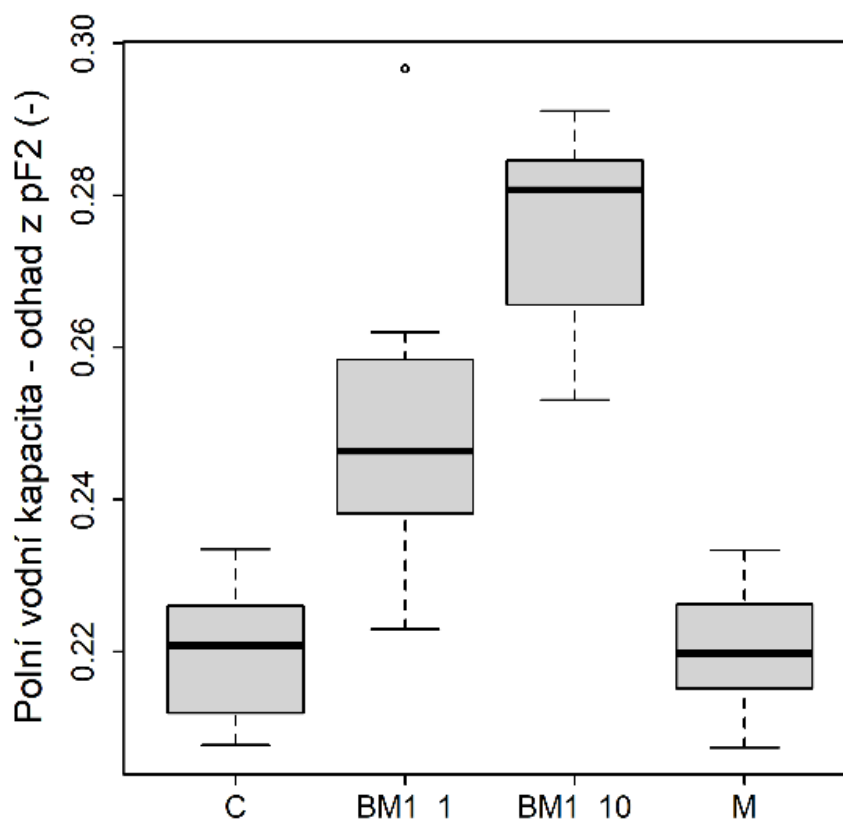
Mezi body pF 1,5 a 1,8 je situace zajímavější, protože u ošetření BM10 se zpomalil pokles a v pF 1,8 překročil ošetření BM1, tudíž nejvyšší hodnota vychází BM10. Nejmenší hodnotu má M.

U pF 1,8 až 2 je pokles u C strmější a končí na nejnižší hodnotě. Tento pokles pokračuje do pF 3 kdy lze vidět mírnější zpomalení do posledního měření. U M lze sledovat mírnější zpomalení rychlosti odvodnění, které je konstantní do konce měření. BM1 je od pF 1,8 téměř konstantní do poslední hodnoty pF. Pokles u směsi BM10 stále zpomaluje a tento proces trvá prakticky až do posledního bodu pF 3,7.

Z celkového průběhu se dá říct, že nejhůře dopadlo C, které z nejvyšší hodnoty objemové hmotnosti kleslo na nejnižší hodnotu. BM10 je zajímavé svým výrazným zpomalením poklesu.

6.4 Polní vodní kapacita

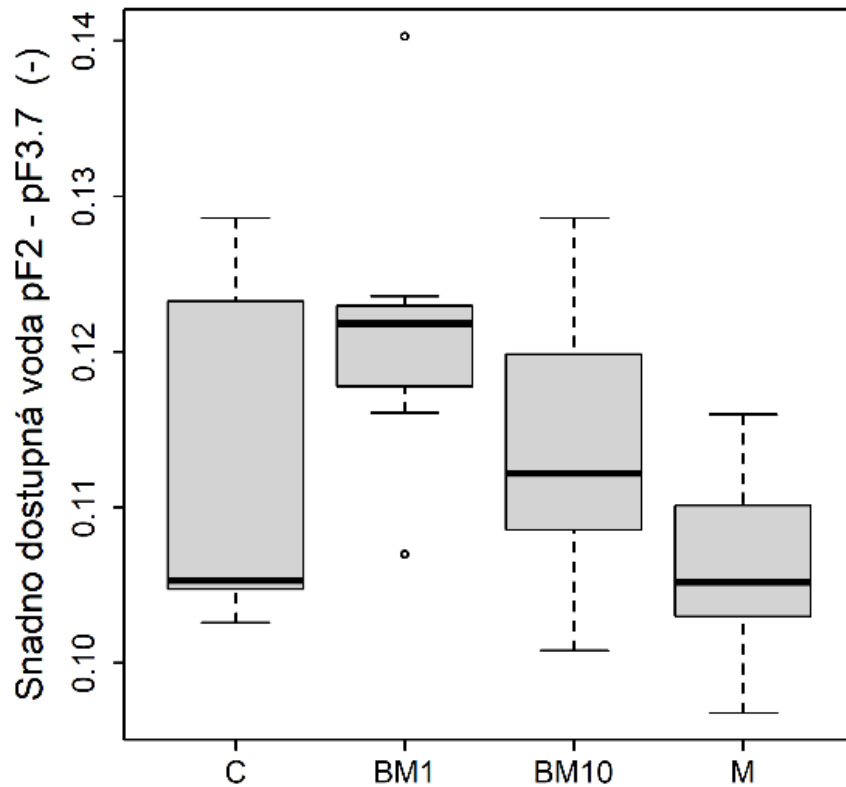
Na obr. 18 lze pozorovat, že obě BM směsi mají medián vyšší než v případě C a M. Rozpětí hodnot v tomto případě bylo od 0,2074 (M) do 0,2967 (BM10). Ošetření BM10 je oproti ošetřením C a M výrazně vyšší. Nejnižší hodnota u M byla vyšší pouze o 0,0003 než nejnižší hodnota C. Mediány těchto směsí byly následující hodnoty. C: 0,2208, BM1: 0,2464 BM10: 0,2807, M: 0,2198. Rozpětí C, M bylo prakticky totožné. Rozpětí BM10 bylo o trochu menší než BM1, které mělo největší rozpětí. Směrodatné odchylky nepřekročily 0,02.



Obrázek 18 Boxplot polní vodní kapacity (Jačka, 2022)

6.5 Snadno dostupná voda

Rozmezí hodnot snadno dostupné vody byla změřena od nejnižšího u směsi M (0,0968) do nejvyšší naměřené hodnoty u C a BM10 (0,1286), kde byla změřena stejná hodnota. Mediány hodnot vychází u BM1 nejvyšší. Zatímco nejnižší vychází u M 0,1052, která je velmi podobná hodnotě C 0,1053. Zbylé mediány byly pro BM1: 0,1218 a BM10: 0,1122. Rozmezím hodnot vychází všechny hodnoty podobně, pouze ošetření BM1 má velmi malé rozmezí. Rozdíly mezi hodnotami nejsou významné. Směrodatné odchylky nepřesáhly hodnotu 0,01 (obr. 19).



Obrázek 19 Boxplot snadno dostupné vody (Jačka, 2022)

7 Diskuze

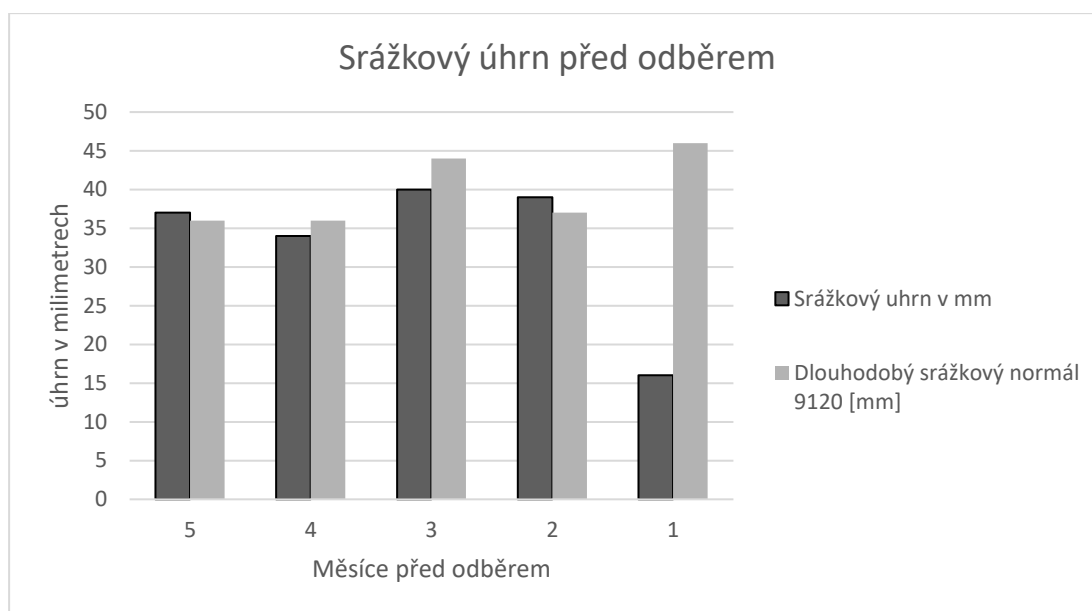
7.1 Objemová hmotnost

Objemové hmotnosti směsí spadají dle Kutílka (1978) do následujících kategorií. C spadá do kategorie s dobrým strukturním stavem. Směs BM1 se nachází na pomezí mezi dobrý a nevyhovující, zatímco směs BM10 vychází jako nevyhovující. M vychází nejhůře a to přesněji mezi nevyhovující a nestrukturní. Vinterová (2020) uvádí, že organické materiály díky nižší hustotě pevné fáze, než má půda, zapříčiní snížení objemové hmotnosti. Jačka a kol. (2018) pozorovali, že objemová hmotnost obohacené půdy klesá s rostoucím podílem biouhlu, protože biouhel způsobuje bobtnání půdy při jejím provlhčení. Tyto skutečnosti z měření nelze verifikovat, ale díky seřazení směsí v boxplotu směrem k řece se dá vypořádat určitá rostoucí tendence, která by mohla být zapříčiněná vysokou heterogenitou půdy, která je pozorovatelná z obr. 9. Tato heterogenita by mohla být zapříčiněná zaplavňováním tohoto území v době před splavněním Labe. To se tehdy rozlévalo až do těchto míst, což ovlivňovalo geomorfologický vývoj tohoto území (Obec Zvěřinec, 2007). Jiným zapříčiněním této obj. hmotnosti by mohly být pojezdy těžších strojů například při aplikaci organických přídatků. Tímto je dle Vopravila a kol. (2010) zemědělská půda velmi ohrožená.

7.2 Vlhkost při odběru

Dle spočítaných procent vlhkosti při odběru nám vychází nejlépe případ BM10. V případě BM1 nám vychází střední hodnota také lépe než C, ale rozptýl je tak velký, že zasahuje i pod C. To by mohlo být zapříčiněné velkou heterogenitou půdy. V tomto případě si spíše myslím, že by se mohlo jednat o nerovnoměrné rozložení biouhlu v půdě, které nejspíš mohlo být způsobené způsobem aplikace nebo nedostatečným rozmělněním biouhlu do půdy. Nedostatečnému rozmělnění biouhlu by napomáhal i fakt, že rozptýl i v případě BM10 je poměrně větší než v případě C a M. Toto by mohlo naznačovat, že biouhlu v některých vzorcích může být více než v jiných, protože už při odebrání vzorků byly pozorovatelné kousky biouhlu na místech v pruhu dané aplikace. M vychází výrazně lépe, než kontrola C.

Díky tomu, že směsi s organickými přídatky vycházejí s vyšší hodnotou, než kontrolní vzorky, mohlo by to nepřímou ukázkou na kladný efekt organických přídatků v půdě, která zadrží více vody, než půda bez přídatků, protože hodnota vlhkosti při odběru je velmi proměnlivá a závisí třeba na srážkovém úhrnu. (Schneiderová, 2017) Tak jsem zpracoval tabulku obr. 20, která ukazuje průběh srážek v mm oproti srážkovému normálu v mm na kterém je vidět výrazný pokles v měsíci před odběrem vzorků. Z tohoto si myslím, že půda s organickými přídatky zadrží více vody i přes suché období. Což potvrzuje práce Edeha a kol. (2020) nebo Głaba a kol. (2018).



Obrázek 20 Graf srážkového úhrnu před odběrem (vytvoreno z dat ČHMÚ)

7.3 Průběh retenčních čar

Výsledky ukazují, že přidání biouhlu do pískové půdy zvyšuje retenci vody. Vzorky s přidaným biouhlem (BM1 a BM10) měly vyšší objemovou vlhkost než kontrolní vzorek C i M. To naznačuje, že biouhel může pomoci zvýšit vodní retenci v písčité půdě. U samostatného vzorku s hnojem se dá pozorovat menší ztrátu vody při vyšších sacích tlacích, a to konkrétně od bodu pF 2.

Nicméně je třeba si uvědomit, že výsledky mohou být ovlivněny heterogenitou půdy, což může být důvodem rozdílu mezi jednotlivými výsledky. Proto by bylo vhodné provést více opakování měření. Další měření je v dnešní době v průběhu a následující kampaň vzorkování je v plánu.

Existuje několik prací, které se zabývají podobným tématem. Například studie provedená Atkinsonem (2018) zkoumala vliv biouhlu na vodní retenci v půdě a zjistila, že přidání biouhlu do půdy zvyšuje vodní retenci v závislosti na množství. Podobně jako u našich výsledků.

Další studie prováděná Krullem a kol. (2004) zkoumala vliv organické hmoty na vodní retenci v písčité půdě a zjistila, že přidání organické hmoty do půdy výrazně zvyšuje vodní retenci. Tyto výsledky jsou podobné našim výsledkům, kde přidání biouhlu zvyšuje vodní retenci.

7.4 Polní vodní kapacita

Polní vodní kapacita je označení pro největší množství vody, kterou půda dokáže udržet pouze díky vnitřním silám, které brání gravitačnímu odtoku vody (Kutílek, 1978). V ohledu na sucho by toto množství mělo být co největší, aby se rostliny mohly suchu bránit. Tato kapacita závisí na objemové hmotnosti. Tato vlastnost půdy je ovlivnitelná obsahem organiky v půdě. Z obr. 18 je viditelné zlepšení polní vodní kapacity v obou případech BM, ale v případě BM10 je zlepšení výraznější. Hodnoty C a M mají prakticky stejnou střední hodnotu, což by v případě M mohlo mít za

příčinu dle Hao a Changa (2003) zvýšení obsahu soli v půdě v důsledku aplikace přílišného množství hnoje do půdy, které by vedlo k hromadění solí v půdě. Druhá příčina by mohla být již zmiňovaná heterogenita půdy. Velmi dobré zlepšení polní vodní kapacity při použití biouhlu zmiňuje práce Razzaghiho a kol. (2020). V této práci se zmiňuje zlepšení kapacity. V našem případě jsme při porovnání středních hodnot BM oproti C v případě BM1 dosáhli průměrně zvýšení o 2,6 % a v případě BM10 bylo dosaženo výrazné zvýšení o 6 %.

7.5 Snadno dostupná voda

Snadno dostupná voda (RAW) je definována jako množství vody v půdě, kterou rostlina může snadno získat pro svůj růst. V tomto rozmezí půdní vlhkosti jsou podmínky pro růst rostlin optimální, nejsou přemokřené a nejsou v suchu. (NSW Department of Primary Industries, 2014).

Naměřené hodnoty snadno dostupné vody nevycházejí příliš rozdílné a ve většině případu mají poměrně velký rozptyl, pouze v případě BM1 rozptyl není velký. To by mohlo být způsobeno větším rozmělněním biouhlu v půdě, kdy by mohl mít aplikovaný biouhel větší účinnost, čímž by mohl být tento rozptyl zmenšen oproti ostatním směsím. Druhým faktorem by mohla být heterogenita půdy, protože snadno dostupná voda závisí mimo jiné i na struktuře půdy, která je díky heterogenitě rozdílná a mohla by být důvodem tohoto rozdílu.

Z průběhu retenčních čar se dá vyvodit, že směs BM1 má statisticky nevýznamně vyšší hodnotu.

Celková podobnost výsledků mezi ošetřeními by mohla vzniknout zakrytím efektu přídatků touto rozdílností půdy, či nerovnoměrným rozmělněním do půdy.

Efekt biouhlu na zvýšení snadno dostupné vody potvrzuje práce (Seyedsadr a kol. 2022).

8 Závěr

Bakalářská práce se zabývá vyhodnocením účinků biouhlu ve dvou poměrech a hnoje v půdě. Měření bylo provedené na odebraných vzorcích z výzkumné lokality a následně bylo provedeno měření v laboratoři. Z hodnot byl následně dopočítány hodnoty objemové hmotnosti, vlhkosti při odběru, polní vodní kapacity, snadno dostupné vody a byly vyneseny retenční čáry.

Objemové hmotnosti vychází velmi rozdílné, ale dá se na nich pozorovat určitý trend růstu směrem k řece, který je pravděpodobně ovlivněn vysokou proměnlivostí půdy, jež je viditelná už ze snímkování lokality. Tato proměnlivost nám výsledky zkresluje, a tudíž se nedá jasně potvrdit, že došlo k změně objemové hmotnosti v důsledku použití organických přísad.

Vlhkost při odběru vychází u vzorků, kde byly přidány organické příměsi, vyšší a s ohledem na srážkový úhrn, který byl měsíc před odebráním vzorků podstatně nižší než předchozí měsíce i dlouhodobý srážkový úhrn, se dá říci, že účinek je zde patrný. Tomu napomáhá i velký rozptyl u BM1, který je nejspíše způsoben nerovnoměrně aplikovaným biouhlem.

Průběh retenčních čar také vykazuje efekt přidané organiky, která vychází lépe v případě biouhlu, ale nižší odvodňování je pozorovatelné i v případě hnoje, hlavně při vyšších pF. Nejpomalejší průběh vykazuje ošetření BM10. Je důležité říci, že i v tomto případě mohou být výsledky ovlivněny heterogenitou půdy či nerovnoměrnou aplikací organiky.

U polní vodní kapacity je též viditelné zlepšení u obou případů biouhlu oproti C. V případě hnoje je zde velmi podobná střední hodnota a rozptyl jako u C v tomto případě by za tím mohl stát vliv zvýšení obsahu soli v půdě, nebo již zmíněná heterogenita.

Snadno dostupná voda nevyšla statisticky významně rozdílná, ale v případě BM1 je hodnota vyšší. Z průběhu retenčních čar se dá vyvodit, že směsi s biouhlem mají mírně vyšší hodnotu oproti C.

Celkově lze pozorovat, že kladné vlivy organických přísad je rozdílnost mezi ošetřeními ovlivněna i přirozeně vysokou heterogenitou zkoumaného území, které se nachází v blízkosti řeky. Další faktor, který přispívá ke zvýšené variabilitě naměřených dat a může zakrýt efekty organických přísad je jejich nerovnoměrná aplikace, která je při polní aplikaci obtížná.

Jako přínos této práce vnímám fakt, že je jednou z mála prací na toto téma, která zkoumá vliv organických přísad po polní aplikaci potýkající se s problémy jako například obtížná aplikace rozprostření směsí rovnoměrně v celé ploše aplikace nebo nedostatečné rozmělnění například v důsledku nízkého úhrnu srážek, či nedostatečnou dobou po aplikaci. Tudíž vpravení biouhlu do pórů, kde by mohl působit kýžený efekt nemusí být dostatečné. Dalším přínosem je, že zkoumá výsledky na půdě ohrožené suchem, které by mohli pomoci při hledání řešení proti suchu.

Výsledky této práce by se daly brát jako vodítko při dalším vyhodnocování měření retence půdy z této lokality. Bylo by vhodné vyhodnotit výsledky v dalších kampaních za další časové horizonty z důvodu dostatečného vpravení organiky do půdy za přispění srážek. Efekt by mohl být později zřetelnější.

9 Přehled literatury a použitých zdrojů

- 1) Atkinson, C. J., 2018: How good is the evidence that soil-applied biochar improves water-holding capacity?, *Soil Use and Management* 34, P. 177 - 186
- 2) Baldock, J.A., Nelson, P.N., 1999: Soil Organic Matter. In: Sumner, M.E. (ed.): *Handbook of Soil Science*, vol. 1. CRC Press, Boca Raton, FL, 3-1 - 3-28.
- 3) Bažantová, A., 2015: Změna fyzikálních vlastností podpovrchových vrstev půdy v závislosti na technologii zpracování půdy. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno, 55 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. Archiv VUT v Brně.
- 4) Cejpek J., 2011: Vodní režim rekultivovaných a nerektivovaných výsypek. Univerzita Karlova v Praze, Fakulta přírodovědecká, Praha. 76 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. Archiv Univerzity Karlovy.
- 5) Doušová, K., 2021: Vliv vybraných rekultivačních dřevin na hydrofyzikální vlastnosti půdy na Velké podkrušnohorské výsypce. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, 81 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- 6) Dvořáková, Z., 2017: Biouhel – prostředek pro remediace a zvýšení kvality půd. Masarykova univerzita, Fakulta přírodovědecká, Brno, 106 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. Archiv Masarykova univerzita.
- 7) Edeh, I. G., Mašek, O., Buss, W., 2020: A meta-analysis on biochar's effects on soil water properties – New insights and future research challenges, *Science of The Total Environment* 714, P. 136771 - 136784
Education Limited, Harlow.
- 8) FRANCIS, A., 2009: *Organic Farming: The Ecological System*. 54. U.S. states: American Society of Agronomy, Inc. Crop Science Society of America, Inc. Soil Science Society of America. American Society of Agronomy, Inc., Madison USA,
- 9) Głąb, T., Żabiński, A., Sadowska, U., Gondek, K., Kopeć, M., Mierzwa-Hersztek, M., Tabor, S., 2017: Effects of co-composted maize, sewage sludge, and biochar mixtures on hydrological and physical qualities of sandy soil, *Geoderma* 315(3), P. 27 - 35.
- 10) Hao, X., Chang, Ch., 2003: Does long-term heavy cattle manure application increase salinity of a clay loam soil in semi-arid southern Alberta?, *Agriculture Ecosystems & Environment* 94, P. 89 - 103
- 11) Hlušek, J., 2004: Statková hnojiva – Chlévský hnůj (online) [cit. 2023.03.30], Dostupné z http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/hnojiva/chlevsky_hnuj.htm.
- 12) Hruban R. 2019 Klimatické oblasti dle E. Quitta. Moravské Karpaty (online) [cit. 2023.03.30], Dostupné z <http://moravske-karpaty.cz/prirodni-pomery/klima/klimaticke-oblasti-dle-e-quitta-1971/>.
characteristic curve. *Encyclopedia of Soils in the Environment* 4, P. 278 - 289

- 13) Jačka L., Trakal L., Ouředníček P., Pohořelý M., Šípek V., 2018: Biochar presence in soil significantly decreased saturated hydraulic conductivity due to swelling, *Soil and Tillage Research*, 184s, P. 181-185.
- 14) Jeřábková J., 2019: Proč je důležitá organická hmota v půdě. *Biom* 2019, S. 2-4.
- 15) Kovaříček P., Hůla J., Vlášková, M., Stehlík, M., 2017 31. 10.: Organická hmota zvyšuje bioaktivitu a zadržování vody v půdě (online) [cit. 2023.03.30], dostupné z <<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/organicka-hmota-zvysuje-bioaktivitu-a-zadrzovani-vody-v-pude>>.
- 16) Krull, E.S., Skjemstad, J.O., Baldock, J.A., 2004: *Functions of Soil Organic Matter and the Effect on Soil Properties*. Grains Research & Development Corporation, Canberra, Australia.
- 17) Kubínová, R., 2019: Zmitostní složení rýhové eroze. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Praha, 71 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. Archiv ČVUT v Praze.
- 18) Kufová, P., 2021: Faktory ovlivňující sucho a prevence před suchem v regionu Chomutov. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství, Praha, 99 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“ Dep. Archiv ČVUT v Praze.
- 19) Kutílek, M. (1978) *Vodohospodářská pedologie*. Druhé, přepracované vydání. SNTL. Praha. 296 s.
- 20) Kutílek, M., 1984: *Vlhkost pórovitých materiálů*. Nakladatelství technické literatury, Praha.
- 21) Nawrath A., Hašková P., 2015: Pozitivní vliv organické hmoty v půdě (online) [cit. 2023.03.30], dostupné z <<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/stimulace/pozitivni-vliv-organicke-hmoty-v-pude>>.
- 22) Nimmo. J., 2004: Porosity and Pore Size Distribution. *Encyclopedia of Soils in the Environment* 4. P. 295 – 303.
- 23) Novotný, R., 2018: Pravda o vodě. Půda je vlastně přehrada. (online) [cit. 2023.03.30], Dostupné z: <<https://pravdaovode.cz/novinky/puda-je-vlastne-prehrada/>>.
- 24) NSW Department of Primary Industries, 2014: Determining readily available water to assist with irrigation management (online) [cit. 2023.03.30], Dostupné z <https://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0003/531957/determining-readily-available-water-for-im.pdf>.
- 25) Obec Zvěřínek, 2007: Koncept územního plánu obce Zvěřínek: Vyhodnocení vlivů územního plánu na životní prostředí pro účely posuzování vlivů koncepcí na životní prostředí dle přílohy č. 1 zákona č. 183/2006 Sb., Nymburk (online) [cit. 2023.03.30], Dostupné z <https://www.zverinek.cz/e_download.php?file=data/titulka/71csleft_19.pdf&original=SEA%20Zv%C4%9B%C5%99%C3%ADnek.pdf>.
- 26) Pavlásek, J., Jačka L., 2014: *Hydropedologie*. Skriptum, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

- 27) PAVLŮ, L., 2018: Základy pedologie a ochrany půdy. (online) [cit. 2023-03-30], dostupné z: <https://katedry.czu.cz/storage/4833_Zaklady-pedologie-a-ochrany-pudy.pdf>.
- 28) Petříček, V. & Cudlín, P. 2003: Máme bojovat proti povodním? Životní Prostředí 37 (4), S. 177-179.
- 29) Pokorná D., Zábranská J., 2008: Hydrologie a hydropedologie. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha.
- 30) Poláková, L., 2020: Stanovení vybraných hydro-fyzikálních charakteristik problematické písčité půdy v blízkosti obce Zvěřínek v Polabí. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha, 62 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- 31) Razzaghi, F., Obour P. B., Arthur, E., 2020: Does biochar improve soil water retention? A systematic review and meta-analysis, Geoderma 358. P. 113-122.
- 32) Sánka, M., Vácha, R., Poláková, J., Fiala, K., 2018: Kritéria pro hodnocení vlastností půd. 2. aktualizované vydání. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- 33) Sedláček, J., 2017: Přirozená retence vody v krajině versus výstavba retenčních nádrží. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta přírodovědecká, České Budějovice, 34 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. Archiv Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.
- 34) Seyedsadr, S., Šípek, V., Jačka, L., Sněhota., Beesley, L., Pohořelý, M., Kovář, M., Trakal, L., 2021: Biochar considerably increases the easily available water and nutrient content in low-organic soils amended with compost and manure. Chemosphere 293. P. 131931-131941
- 35) Schneiderová, Š., 2017: Vybrané hydrofyzikální parametry jako indikátory kvality půdy. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno 42 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. Archiv VUT v Brně.
- 36) Šobr, M., 2011: Křivka zrnitosti (online) [cit. 2023.03.30], dostupné z: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Krivka.jpg>>.
- 37) Tuller M., Or D., 2004: Retention of water in soil and the soil water
- 38) Vinterová, M., 2020: Vliv rozdílných forem organické hmoty na retenci a proděni vody v půdě. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha, 45 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- 39) Vlk, R., 2019: Půdní prostředí (online) [cit. 2023.03.30], dostupný z: <<https://is.muni.cz/el/ped/jaro2019/BIp012/s.28>>.
- 40) Vopravil J. a kol., 2010: Půda a její hodnocení v ČR – Díl I. VÚMOP, Praha, 147 s,
- 41) Weil R. R., Brady N. C., 2017: The nature and properties of soils. Pearson
- 42) Yasuyuki, O., Makoto, O., Takahashi, F., 2003: Potential of CO2 emission reductions by carbonizing biomass waste from industrial tree plantation in South Sumatra, Indonesia, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 8, P. 261 – 280

10 Seznam obrázků

Obrázek 1 Křivka zrnitosti (Šobr, M., Ukázka křivky zrnitosti (online)
[cit. 2023.03.30], dostupný z: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Krivka.jpg>>.

Obrázek 2 Schematický obrázek vlivu biouhlu na pohyb vody v půdě (upraveno autorem z Edeh a kol. 2020).

Obrázek 3 Vyznačení studijního území, napravo nahoře vyznačení přibližného umístění v rámci celé republiky (upraveno z aplikace ArcGIS Pro, 2023).

Obrázek 4 Mapa půdních typů s vyznačeným územím (upraveno autorem z mapy.vumop.cz, 2023).

Obrázek 5 Geologická mapa s vyznačeným územím (upraveno autorem z mapy.geology.cz, 2023).

Obrázek 6 Geomorfologická mapa s vyznačeným územím (upraveno autorem z ags.cuzk.cz, 2023).

Obrázek 7 Mapa klimatických oblastí s vyznačeným územím (upraveno autorem z mapy od E. Quitta, 2023).

Obrázek 8 Mapa průměrného ročního úhrnu s vyznačeným územím (upraveno autorem z www.chmi.cz, 2023).

Obrázek 9 Místa vzorkování (foto: Klápště, upraveno Jačka, 2022).

Obrázek 10 Válečky s půdními vzorky s přítomným biouhlem (zvýrazněný) zleva C, BM1, BM10, M (Foto Jačka, 2022).

Obrázek 11 Přítomný biouhel v půdě (foto autor práce, 2022).

Obrázek 12 Výhonek rostliny ve vzorku (foto autor práce, 2022).

Obrázek 13 Tlaková nádoba (foto autor práce, 2022).

Obrázek 14 Sací deska (foto Vinterová, 2020).

Obrázek 15 Boxplot objemové hmotnosti (Jačka, 2022).

Obrázek 16 Boxplot vlhkosti při odběru (Jačka, 2022).

Obrázek 17 Průběh retenčních čar (Jačka, 2022).

Obrázek 18 Boxplot polní vodní kapacity (Jačka, 2022).

Obrázek 19 Boxplot snadno dostupné vody (Jačka, 2022).

Obrázek 20 Graf srážkového úhrnu před odběrem (vytvořeno z dat ČHMÚ).