

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra vodních zdrojů



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv aplikace kompostu na povrch půdy bez zapravení
na vybrané fyzikální vlastnosti půdy**

Diplomová práce

Bc. Milan Půta

Ochrana a využívání přírodních zdrojů

Vedoucí práce: Ing. Markéta Miháliková, Ph.D.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci vliv aplikace kompostu na povrch půdy bez zapravení na vybrané fyzikální vlastnosti půdy jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 19.4.2024

Poděkování

Data v této práci jsou součástí projektu QK22020032: Analýza a úpravy aplikačních schémat kompostů směřujících k posílení systému ochrany půdy v rámci stabilizace produkční schopnosti, jehož řešitelem za ČZU je Ing. Petr Dvořák, Ph.D.

Rád bych poděkoval Ing. Markétě Mihálikové, Ph.D., za skvělé vedení diplomové práce a její cenné konzultace. Dále studentům doktorského studia Cansu Almaz, MSc., Ph.D.; Recep Serdar Kara, MSc.; Furkan Yılğan, MSc., za pomoc s odběrem vzorků a následném výzkumu v laboratoři. Výzkumné stanici v Praze-Uhřetěvesi děkuji za umožnění experimentálního projektu. Katedře pedologie a ochrany půd, Katedře agroekologie a rostlinné produkce za zapůjčení přístroje na měření stability agregátů. Poděkování také všem členům projektového týmu za pomoc s měřením dalších dat, která byla zpracována a vyhodnocena v této práci. Jako poslední bych rád poděkoval celé své rodině za podporu, a hlavně své ženě a dceři Emily za trpělivost při psaní diplomové práce.

Vliv aplikace kompostu na povrch půdy bez zapravení na vybrané fyzikální vlastnosti půdy

Souhrn

Kompost je tradičně využíván jako zdroj živin pro rostliny a zdroj organické hmoty pro půdní mikroorganismy, což je využíváno pro zvyšování půdní úrodnosti. Aplikace stabilního kompostu na povrch půdy jako mulč bez zapravení má též pozitivní vliv na fyzikální vlastnosti půdy, ovšem zatím se tomuto tématu věnovalo málo odborných studií. Cílem práce bylo zhodnotit vliv aplikace stabilního kompostu na povrch půdy bez zapravení na stabilitu půdních agregátů a hydraulickou vodivost půdy. Studie byla provedena in-situ na čtyřech zemědělských lokalitách jako poloprovozní (Blatnice u Jaroměřic, Jevíčko a Velké Hostěrádky) a maloparcelkový (Výzkumná stanice Uhříněves) polní experiment. Na každé lokalitě byly parcely ošetřeny povrchově aplikovaným kompostem a kontrolní parcely bez aplikace kompostu. Dávky kompostu se pohybovaly od 20 do 200 t/ha. Na lokalitách se pěstovala kukuřice nebo obilniny.

Během vegetační sezóny 2023 byly provedeny infiltrační testy in-situ mini diskovým (pro nenasycenou hydraulickou vodivost) a tlakovým (pro nasycenou hydraulickou vodivost) infiltrometrem. Zároveň byly odebrány porušené půdní vzorky, na kterých byla stanovena stabilita agregátů metodou mokrého prosévání, a další půdní vlastnosti. Stanovení byla provedena na každé lokalitě jednou až třikrát.

Dle výsledků byl prokázán významný vliv povrchového ošetření půdy kompostem na sledované vlastnosti. V lokalitě A: Blatnice u Jaroměřic vyšla průměrná hodnota stability agregátů během vegetační sezóny 0,75 WSA pro půdu ošetřenou kompostem, což je statisticky významně více ($p < 0,001$) ve srovnání s kontrolou, kde vyšlo 0,66 WSA. V lokalitě B: Jevíčko byly během vegetační sezóny provedeny tři nezávislé odběry, kde vyšla průměrná hodnota stability půdních agregátů na půdě ošetřené kompostem 0,62 WSA, tedy statisticky významně více ($p < 0,0001$) ve srovnání s kontrolní půdou s 0,49 WSA. Pro lokalitu C: Velké Hostěrádky vyšly výsledky opačně, 0,61 WSA na kontrolní půdě a 0,55 WSA na půdě ošetřené kompostem. Na poslední testované lokalitě U: Praha-Uhříněves vyšla stabilita půdních agregátů ve prospěch půdy ošetřené kompostem 0,57 WSA ve srovnání s kontrolou 0,50 WSA. Nenasycená hydraulická vodivost měřená při tlakové výšce -2 cm vyšla v lokalitě B: Jevíčko statisticky významně vyšší ($p < 0,01$) pro půdu ošetřenou kompostem ($3,58 \cdot 10^{-3}$ cm/min) oproti kontrole ($1,05 \cdot 10^{-3}$ cm/min). V lokalitách A: Blatnice u Jaroměřic a U: Praha-Uhříněves nebyl statisticky neprůkazný rozdíl mezi kontrolní a ošetřenou půdou.

Klíčová slova: stabilní kompost, mulč, stabilita půdních agregátů, nasycená hydraulická vodivost, nenasycená hydraulická vodivost, infiltrometr

Influence of compost application on soil surface without incorporation of selected physical properties of soil

Summary

Traditionally, compost has been used as a source of nutrients for plants and a source of organic matter for soil micro-organisms, which is used to increase soil fertility. The application of stable compost on the soil surface as a mulch without incorporation also has a positive effect on the physical properties of the soil, but so far only few studies have addressed this topic. The aim of this study was to evaluate the effect of application of stable compost on the soil surface without incorporation on the stability of soil aggregates and soil hydraulic conductivity. The study was conducted in-situ at four agricultural sites as a semi-operational (Blatnice u Jaroměřic, Jevíčko and Velké Hostěrádky) and small-plot (Research Station Uhříněves) field experiment. At each site, plots were treated with surface-applied compost and control plots without compost application. Compost application rates ranged from 20 to 200 t/ha. The sites were cultivated with maize or cereals.

In-situ infiltration tests were conducted during the 2023 vegetation season by mini-disc and pressure infiltrometers, for unsaturated and saturated hydraulic conductivity, respectively. At the same time, disturbed soil samples were collected to determine soil aggregate stability using the wet sieving method, and other soil properties. Analyses were carried out one to three times at each site.

According to the results, a significant effect of the surface compost application on the observed soil properties was demonstrated. At site A: Blatnice at Jaroměřice, the average value of aggregate stability during the vegetation season was 0.75 WSA for soil treated with compost, which is statistically significantly higher ($p < 0.001$) compared to 0.66 WSA for the control. At site B: Jevíčko, three independent rounds of sampling were carried out during the vegetation season and the average value of soil aggregate stability for the compost-treated soil was 0.62 WSA compared to 0.49 WSA for the control soil, which is statistically significant ($p < 0.0001$). Opposite results were found for the site C: Velké Hostěrádky; WSA was 0.61 for the control soil and 0.55 for the compost treated soil. The last tested site U: Praha-Uhříněves showed a stability of soil aggregates in favour of the compost-treated soil, which was 0.57, compared to WSA of the control soil that was 0.50. Unsaturated hydraulic conductivity measured at pressure head -2 cm at site B: Jevíčko was statistically significantly higher for the compost treated soil ($3.58 \cdot 10^{-3}$ cm/min) compared to the control ($1.05 \cdot 10^{-3}$ cm/min). At sites A: Blatnice at Jaroměřice and U: Praha-Uhříněves, the difference between control and compost-treated soil was statistically insignificant.

Keywords: stable compost, mulch, soil aggregate stability, saturated hydraulic conductivity, unsaturated hydraulic conductivity, infiltrometer

Obsah

| | |
|---|-----------|
| 1 Úvod..... | 9 |
| 2 Vědecká hypotéza a cíle práce | 10 |
| 3 Literární rešerše..... | 11 |
| 3.1 Půda..... | 11 |
| 3.1.1 Zemědělská půda | 11 |
| 3.1.2 Fyzikální vlastnosti půdy | 13 |
| 3.1.3 Objemová hmotnost a zhutnění | 14 |
| 3.1.4 Zrnitost půdy | 15 |
| 3.1.5 Struktura půdy..... | 17 |
| 3.1.6 Uhlíkový koloběh v půdě..... | 20 |
| 3.1.7 Nasycená a nenasycená hydraulická vodivost | 21 |
| 3.1.8 Půdní eroze | 22 |
| 3.2 Kompost | 23 |
| 3.2.1 Důvody kompostování | 23 |
| 3.2.2 Kompostování | 24 |
| 3.2.3 Výchozí materiál..... | 25 |
| 3.2.4 Využití organické hmoty | 27 |
| 3.2.5 Významné faktory v procesu kompostování | 27 |
| 3.2.6 Průběh kompostování | 29 |
| 3.2.7 Stabilita a zralost kompostu..... | 31 |
| 3.2.8 Rychlost infiltrace a kapacita zadržování vody | 33 |
| 3.2.9 Mulč..... | 33 |
| 3.2.10 Mulčovací materiály | 34 |
| 4 Materiály a metody | 36 |
| 4.1 Výzkumné lokality | 36 |
| 4.2 Kompost aplikovaný na povrch jako mulč | 40 |
| 4.2.1 Vlastnosti použitého kompostu..... | 40 |
| 4.2.2 Kompostárny..... | 40 |
| 4.3 Stanovení stability agregátů: mokré prosévání..... | 41 |
| 4.4 Stanovení nasycené hydraulické vodivosti..... | 43 |
| 4.5 Stanovení nenasycené hydraulické vodivosti..... | 46 |
| 4.6 Měření vlhkosti půdy | 48 |
| 5 Výsledky | 50 |
| 5.1 Stabilita půdních agregátů | 50 |
| 5.1.1 Blatnice | 54 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 5.1.2 | Jevíčko | 55 |
| 5.1.3 | Velké Hostěradky | 57 |
| 5.1.4 | Praha – Uhřetěves | 58 |
| 5.2 | Půdní vlhkost | 61 |
| 5.3 | Nasyčená hydraulická vodivost..... | 62 |
| 5.4 | Nenasycená hydraulická vodivost..... | 63 |
| 6 | Diskuze | 66 |
| 7 | Závěr | 72 |
| 8 | Literatura..... | 73 |
| | Seznam použitých zkratk a symbolů..... | 84 |
| | Seznam obrázků..... | 85 |
| | Seznam tabulek | 87 |
| | Samostatné přílohy | I |

1 Úvod

Moderní zemědělské praktiky čelí neustálému hledání udržitelnějších a ekologicky šetrnějších metod pěstování plodin. Jedním z aspektů, který dlouhodobě přitahuje pozornost v zemědělství, je využití kompostu jako zdroje organické hmoty v půdě. Fyzikální vlastnosti půdy hrají klíčovou roli v její schopnosti poskytovat živiny rostlinám a udržovat optimální podmínky pro růst a vývoj. Zatímco tradiční postupy zapravování kompostu do půdy jsou běžně známé, nedostatek výzkumu zaměřeného na aplikaci kompostu na povrch půdy představuje otázku, která vyžaduje podrobnější zkoumání, neboť je v souladu s principy tzv. regenerativního zemědělství. Regenerativní zemědělství, které v poslední době značně nabývá na oblibě, je založeno mj. na klíčových principech minimálního rozrušování půdního povrchu a neustálém pokryvu půdy vegetací (Khangura et al., 2023). Organická hmota v půdě hraje klíčovou roli ve stabilizaci půdní struktury, koloběhu živin a podpoře biologické aktivity. Tím přispívá ke snížení negativních účinků eroze a utužování půdy. Tradiční metody zapravení kompostu mohou být nákladné a vedou k narušení půdního profilu. Naopak, povrchová aplikace kompostu může přinést výhody pro různé plodiny i pro půdu a zároveň snižovat náklady na aplikaci (Cogger et al., 2008). Cílem této práce je systematicky zhodnotit, jak aplikace kompostu na povrch půdy ovlivňuje vybrané fyzikální charakteristiky půdy. Prostřednictvím zkoumání otázek týkajících se stability půdních agregátů, vlhkosti půdy a hydraulické vodivosti v nasyceném a nenasyčeném stavu se snažíme poskytnout komplexní přehled o možných přínosech a výzvách spojených s touto inovativní metodou.

Ve světle současných výzev spojených s udržitelností a ochranou půdy je zkoumání alternativních metod aplikace kompostu nejen relevantní, ale také klíčové pro budoucnost udržitelného zemědělství. Tato práce si klade za cíl přispět k této diskusi a poskytnout konkrétní poznatky do oblasti, která má potenciál ovlivnit agronomické postupy a životní prostředí.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Hypotéza

Aplikace stabilního kompostu na povrch půdy bez zapravení povede k pozitivním změnám ve sledovaných fyzikálních vlastnostech půdy.

Cíle práce

Sledovat chování půdy po povrchové aplikaci kompostu z pohledu fyzikálních vlastností půdy, konkrétně hydraulické vodivosti nasycené a blízko nasycení a stability agregátů.

3 Literární rešerše

3.1 Půda

Půda je pro nás jednou z nejdůležitějších částí ekosystémů, jelikož umožňuje růst rostlin a zásadně se podílí na produkci potravin (Cornu et al., 2023). Půda nezahrnuje jen horninovou složku, ale je také tvořena nadzemní biomasou rostlin a živočichy (Miko, 2019). Půda je úžasným terestrickým útvarům s vlastním metabolismem, který vzniká díky biotě v produktech zvětrávání půdotvorného substrátu. Půda se nachází na rozhraní biosféry, atmosféry, hydrosféry a litosféry. Její vznik je výsledkem působení základních fyzikálních, chemických a biologických interakcí utvářející vertikální struktury. Při definování půdy nesmí být opomenut život v půdě, jelikož půda je ekosystém sám o sobě. Nachází se zde velké množství živočichů, rostlin, hub, prvků a prokaryotických mikroorganismů (Rejšek a Vácha, 2018; Sahu et al., 2017).

Půdní mikroorganismy představují pouze malou část hmotnosti půdy. Přesto jsou zodpovědné za klíčové půdní procesy. Odumřelá rostlinná biomasa je jedním z hlavních zdrojů, jež slouží půdním mikroorganismům, které tento materiál následně přeměňují, což následně přispívá k lepší tvorbě organické hmoty v půdě (Miko, 2019). Půdní mikroorganismy jsou nedílnou součástí půdních ekosystémů. Jejich role je klíčová při rozkladu organických látek a následné mineralizaci. Úrodnost půdy je výrazně závislá na počtu a typu bioaktivních mikroorganismů, které se dále podílejí na tvorbě půdních agregátů, na koloběhu prvků, čímž poskytují živiny pro rostliny. Významnými ukazateli, které můžeme využít pro stanovení počtu mikrobiálních společenstev, jsou půdní vlhkost a pH (Baćmaga et al., 2023). Mikroorganismy představují jeden z nejdůležitějších článků půdy, jelikož jejich aktivita a rozmanitost přispívá ke zdraví půdy (Tahat et al., 2020). Například studie Sashu et al. (2017) prokázala, že zdravá půda je nejen schopná potlačovat patogeny, ale zároveň udržuje správnou biologickou aktivitu. Dále je schopna inaktivovat toxické látky a recyklovat živiny. Nevhodné využívání zemědělských postupů, mezi jejichž důsledky v dnešní době nejčastěji patří zasolování a zhutňování půdy, způsobuje snižování půdní biodiverzity. Tyto nevhodné postupy vedou k narušení koloběhu prvků a k celkovému snížení kvality půdy (Tahat et al., 2020).

3.1.1 Zemědělská půda

Zemědělství, jako jedno z nejstarších povolání lidstva, se praktikuje již po mnoho staletí. Avšak pro uspokojení neustále rostoucí poptávky po potravinách v důsledku narůstající lidské populace se skutečným problémem stává nutnost vyrobit více potravin ze stále omezenějších zdrojů, což začíná být velmi náročné (Gupta et al., 2022). V konvenčních zemědělských postupech se využívají syntetická hnojiva a pesticidy, které negativně ovlivňují kvalitu půdy i vodních systémů, a tím také zdraví rostlin, zvířat a v důsledku potravního řetězce i člověka. Z krátkodobého hlediska je samozřejmě u konvenčního zemědělství hubení plevelů a škůdců jednodušší než v případě ekologického zemědělství. Ekologická kultivace může však být kvůli některým organickým materiálům, které neuvolňují dostatečné množství dusíku pro plodiny, méně produktivní než konvenční. Pro ekologické zemědělství se preferenčně využívají hnojiva na rostlinné a živočišné bázi. Mezi rostlinná hnojiva patří zejména moučka z luštěnin a

kukuřice. Tato rostlinná hnojiva jsou hojně využívána jako „zelené hnojení“ pro zvýšení obsahu dusíku v půdě. Z dlouhodobého hlediska jsou rostlinná hnojiva výbornou volbou pro zlepšení půdního zdraví (Tahat et al., 2020).

Zemědělská půda na celém světě se potýká s velkým nedostatkem organické hmoty, který způsobuje závažné problémy. Mezi problémy se řadí fyzikální, chemické, biologické a také ekologické procesy, jež snižují kvalitu půdy a mohou potenciálně ovlivnit její produktivitu (Noor et al., 2021).

Z hlediska volby pěstovaných plodin je důležité sladit faktor jejich specifické náročnosti a úrodnosti půdy. Pro úrodné půdy platí, že by měly obsahovat dostatečné množství živin a také příznivou půdní reakci s potřebnou hloubkou. Půdy splňující tyto parametry jsou černozemě, černice a šedozemě. Dále mezi ně řadíme také hnědozemě; všechny tyto druhy půd se využívají převážně jako orné půdy nebo k pěstování zeleniny a chmele (Šarapatka, 2021).

Pokud vycházíme z dat Českého statistického úřadu a Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (Ministerstvo zemědělství, 2021), celková rozloha půdního fondu v České republice činí 7 887 tisíc ha, které jsou rozděleny do pěti kategorií:

- zemědělská půda – 4200 tisíc ha půdy; 53,25 % z celkové plochy půdy ČR
- lesní půda – 2677 tisíc ha půdy; 33,95 %
- vodní plochy – 167 tisíc ha plochy;
- zastavěné plochy – 133 tisíc ha plochy;
- ostatní plochy – 709 tisíc ha plochy;

Ze situační a výhledové zprávy (Ministerstvo zemědělství, 2021) vyplývá, že mezi lety 1999 a 2020 dosáhla celková ztráta zemědělské půdy 82 242 ha. Naopak v období 1999–2020 byl zaznamenán nárůst o 42 856 ha lesních půd. Rozlišené klimatické podmínky a půdně členitý terén jsou jedním z důvodů nárůstu zalesňování, jelikož se zde nacházejí nevyužívané zemědělské půdy. V České republice se v nadmořské výšce přesahující 500 m n. m. nachází více než 20 % z celkového zemědělského půdního fondu.

Zemědělskou půdu dále rozdělujeme na jednotlivé podkategorie:

- orná půda – 2931 tisíc ha; 31,17 % z celkového půdního fondu v ČR
- vinice – 20 tisíc ha;
- chmelnice – 9 tisíc ha;
- trvalé travní porosty (louky a pastviny) – 1022 tisíc ha;
- ovocné sady – 44 tisíc ha;
- zahrady – 172 tisíc ha;

Česká republika dnes disponuje cca 40 % nadprůměrně úrodných půd, přičemž polovina z tohoto množství je ohrožena ztrátou půdní hmoty v důsledku vodní a větrné eroze (Rejšek a Vácha, 2018). Kvalita půdy se hodnotí její schopností spoluvytvářet harmonický ekosystém a jeho biodiverzitu, čímž se ovlivní i jeho produktivita. Současně je zapotřebí podporovat celkovou kvalitu prostředí, tj. zdravý vývoj rostlin a živočichů. Úrodnost půdy je tudíž závislá na několika parametrech (Šarapatka, 2021):

- zásoby humusu
- rozmanitost a hojnost půdního života (edafonu)
- optimální pH v rozmezí 6,0 – 6,8
- přítomnost stopových prvků (například Mg, Mn, S, Zn a další)
- obsah živin, především dusíku, fosforu a draslíku
- struktura půdy (provzdušnění, zadržování vody), (Šarapatka, 2021)
- obsah organické hmoty v půdě
- hygroskopicitu
- sorpční vlastnosti půdy
- oxidačně redukční potenciál půdy (Rejšek a Vácha, 2018).

Výběr vhodné půdy určené pro zemědělské účely je dnes vybírán podle cíleně stanovených indikátorů. K nim patří biologické, fyzikální a chemické vlastnosti půdy. Mezi nejčastěji sledované ukazatele řadíme celkový obsah uhlíku, aktivitu půdních enzymů a biotu. Sleduje se také obsah organické hmoty a dusičnanů (Rejšek a Vácha, 2018).

3.1.2 Fyzikální vlastnosti půdy

Půdu lze charakterizovat na základě jejích fyzikálních a fyzikálně-chemických vlastností, a rovněž podle vodního a termického půdního režimu. Mezi základní fyzikální faktory půdy patří barva, konzistence, zrnitost, pórovitost a struktura (Šarapatka, 2021).

Fyzikální a hydraulické charakteristiky půdy mají přímý i nepřímý dopad na správnou půdní funkčnost, na procesy v jejích makro a mikro úrovních (Blanco-Canqui, 2017). Fyzikální vlastnosti půdy se podílejí na regulaci dostupnosti vody a živin pro rostliny. Textura je jedním ze základních parametrů, která určuje schopnost konkrétních půd zadržovat vodu. Produktivita rostlin závisí vždy na dostupnosti vody, která je rozdílná pro různé druhy půd. Půdy nejméně zadržující vodu jsou písčité, naopak půdy více zadržující vodu jsou jílovité a hlinité (Callahan a Stanturf, 2021)

K hlavním biologickým procesům úspěšného zemědělství patří růst kořenů a provzdušňování půdy. Tyto procesy jsou ovlivňovány i zhutňováním půdy a příjmem vody s živinami. Mezi další vlivy patří eroze, tok vody a regulace teploty (Blanco-Canqui, 2017). Integrace těchto faktorů pak může v důsledku vést k znečištění povrchových a podpovrchových vod.

Několik důležitých fyzikálních vlastností (Rejšek a Vácha, 2018):

- Mechanické vlastnosti (objemová hmotnost suché půdy, zdánlivá hustota půdních částic, pórovitost)
- Hydrofyzikální vlastnosti (hmotnostní vlhkost, objemová vlhkost, relativní vlhkost, relativní nasycenost pórů, maximální kapilární vodní kapacita, retenční čára půdní vlhkosti, hydraulická vodivost půdy)
- Zrnitost (zrnitostní frakce, fyzikální jíl, obsah celkového skeletu)
 - Vzdušný režim (procento provzdušenosti, vzdušná kapacita)

Fyzikální vlastnosti půdy jsou důležité ukazatele, dle nichž můžeme hodnotit její kvalitu, úrodnost a, obecněji, celkovou využitelnost. Větším zhutněním půdy se zmenšuje objem pórů, což má za následek snížení infiltrace vody. Při zvýšené objemové hmotnosti nastává několik nepříjemných změn, a to zejména pokles teploty půdy, zpomalení koloběhu živin a zvýšení aeračního stresu. Naším cílem je naopak posílit proces agregace půdy, která podporuje sekvestraci uhlíku, mikrobiální aktivitu a zvyšuje růst plodin i kořenů (Sainju et al., 2022).

3.1.3 Objemová hmotnost a zhutnění

Objemová hmotnost je hmotnost objemu jednotky půdy v jejím přirozeném stavu, vyjádřená v jednotkách hustoty. Existují dva klíčové faktory týkající se této hmotnosti: vždy je nižší než měrná hmotnost (neboli zdánlivá hustota půdních částic) a závisí na zrnitosti půdy, včetně obsahu skeletu a na velikosti jeho částic. Objemová hmotnost také závisí na struktuře, vlhkosti a pórovitosti materiálu (Rejšek a Vácha, 2018).

Objemová hmotnost suché půdy, zvaná také redukováná objemová hmotnost, je ukazatelem, který nám umožňuje posoudit, do jaké míry je půda utužená. Pomocí redukováné objemové hmotnosti také můžeme vyjádřit, do jaké míry je půda nakypřena (Poláková et al., 2017).

Objemová hmotnost suché půdy minerálních horizontů se pohybuje v rozmezí 0,8 až 1,8 g/cm³, přičemž optimální hodnota je kolem 1,2 g/cm³. Organogenní horizonty obvykle dosahují hodnot objemové hmotnosti mezi 0,2 a 0,3 g/cm³ (Rejšek a Vácha, 2018). Ideální rozmezí této hodnoty v ornici pro polní plodiny se pohybuje v rozmezí 1,2 až 1,5 g/cm³, zatímco ve spodních vrstvách by se měla pohybovat od 1,6 do 1,8 g/cm³. Přibližná hodnota 1,8 g/cm³ je stanovena jako horní hranice pro životaschopnou biologickou aktivitu v půdě. Překročení meze 2,0 g/cm³ značí nedostatek potřebných podmínek pro život, zajišťujících, aby organismy dokázaly vyvíjet biologickou aktivitu v půdě (Poláková et al., 2017).

Stanovení objemové hmotnosti suché půdy pro nás představuje důležitý parametr, jelikož na základě měření můžeme charakterizovat kompaktnost půdy. Na základě stanovení objemové hmotnosti jsme schopni odhalit velikost infiltrace, a tím i vodní kapacitu. Jejím stanovením současně analyzujeme dostupnost půdního vzduchu a dostupnost živin. Zvýšená objemová hmotnost půdy není žádoucí, neboť zde hrozí degradace půdy. Při ní nastávají změny v uspořádání pórů, s čímž souvisí zhoršená retence vody v půdě, což vyvolává nepříznivý efekt na zásobování rostlin vodou a živinami (Pastuszczyk et al., 2022).

Rozšíření mechanizace v zemědělství a nadměrná zemědělská činnost přináší zvýšený tlak na půdu. Tato tlaková zátěž má za následek poškození kvality půdy, což nepříznivě ovlivňuje její úrodnost a udržitelné využívání. Hlavním důvodem fyzikální degradace půdy za nepříznivých podmínek je především její nadměrné namáhání nevhodným způsobem hospodaření (Negiş et al., 2020). Půdní zrna se v půdě přeskupují, pod tlakem vyplňují prázdný prostor, a tím se zvětšuje objemová hustota půdy (Hamza a Anderson, 2005). Zhutnění půdy lze hodnotit pomocí změn objemové hmotnosti nebo penetrometrického odporu. Toto zhutnění je úzce spojeno s fyzikálními charakteristikami půdy, jako je textura, pórovitost a struktura, které jsou klíčové pro absorpci vody a živin rostlinami (Alameda et al., 2012).

Přibližně 49 % zemědělských půd se potýká s problémem utužení. Tento jev je částečně způsoben přirozenými vlastnostmi půdy, ale častěji je důsledkem nevhodného zemědělského hospodaření (Ministerstvo zemědělství, 2021). Jako jedna z možností zmírnit zhutnění půdy se využívá kypření půdy nebo aplikace kompostu (Kranz, 2020). Cogger (2008) zjistil, že zapracování kompostu má velmi pozitivní vliv na objemovou hmotnost půdy. Výborně si ve studii vedla i aplikace kompostu bez zapravení, a to v kombinaci s aplikací mulčovací kůry. Utužení půdy se s postupem času u aplikace kompostu bez zapravení také snižovalo, ale pouze v kombinaci s mulčovací kůrou.

3.1.4 Zrnitost půdy

Půdní zrnitost, známá též jako textura, představuje jednu z klíčových fyzikálních vlastností půdy. Tuhá fáze půdy se skládá z částic různých velikostí (viz tabulka 1). Tyto částice jsou seskupeny do definovaných velikostí, a tato seskupení nazýváme zrnitostní frakce. Zrnitost půdy je formována podílem jednotlivých frakcí v půdě. Frakce představuje kolekci půdních částic (zrn) různých velikostí, které mají vliv na pevnou minerální strukturu půdy (Šarapatka, 2021).

Z hlediska velikosti částic lze půdu charakterizovat jako polydisperzní systém, zahrnující:

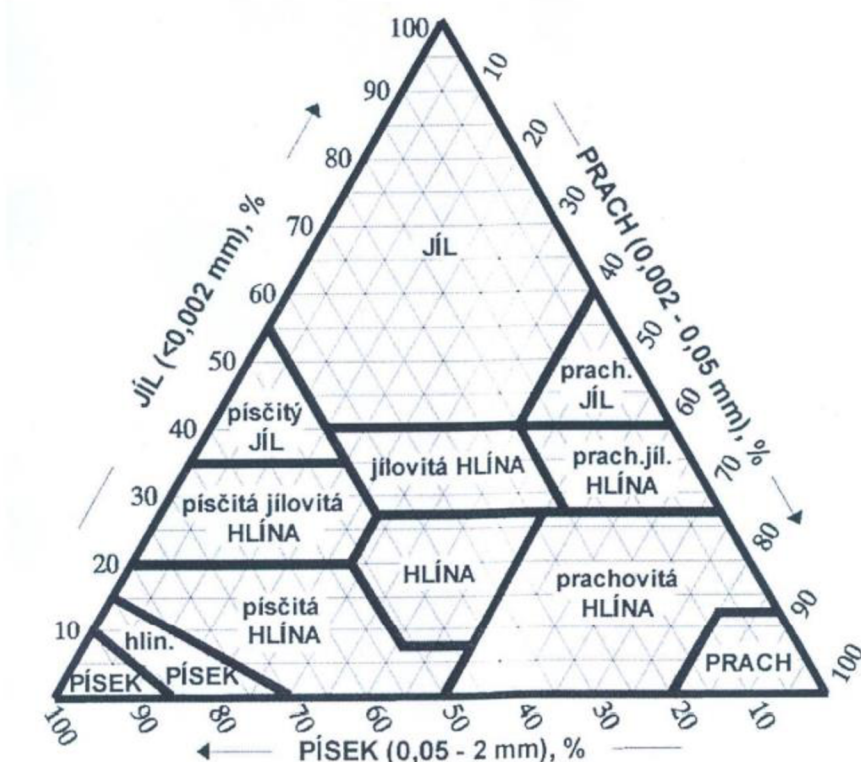
- Hrubé disperze s částicemi o velikosti nad 1 μm (prach, písek, štěrk a kameny), které mají relativně malou specifickou plochu a svůj vliv ve spodních vrstvách půdy projevují především mechanicky.
- Koloidní disperze, s částicemi v rozmezí od 1 μm do 1 nm (koloidní jíly, hydratované sesquioxidy, kyselina křemičitá), charakterizované vysokou specifickou povrchovou plochou a energií. V půdě působí zejména fyzikálně-chemicky.
- Molekulární disperze, s částicemi menšími než 1 nm (rozpuštěné soli, kyseliny, zásady a disociované ionty ve formě půdního roztoku), které ovlivňují půdu především chemicky (Vlček et al., 2020).

Pro půdy je klíčovým faktorem jejich obsah tzv. jemnozemě, což představuje sumu minerálních částic s průměrem menším než 2 mm. Většina půdních analýz se provádí právě na vzorcích jemnozemě. Částice větší než 2 mm se nazývají skelet a dělí se na hrubý písek (2–4 mm), štěrk (4–30 mm), kameny (větší než 30 mm) a balvany (větší než 300 mm), (Vopravil, 2011).

Tabulka 1. Rozlišení velikosti půdních částic (Šimek, 2019).

| Typ | Velikost částice |
|-------------|------------------|
| Skelet | > 2 mm |
| Písek | 0,1 – 2 mm |
| Písek jemný | 0,05 – 0,1 mm |
| Prach | 0,01 – 0,05 mm |
| Prach jemný | 0,002 – 0,01 mm |
| Jíl | <0,002 mm |

V roce 2001 bylo spolu s novým Taxonomickým klasifikačním systémem půd v České republice navrženo hodnocení zrnitostního složení ve formě 12 zrnitostních tříd určovaných pomocí trojúhelníkového diagramu, který je na obrázku 1 (Šimečková, 2015). Pomocí tohoto diagramu se určují druhy půd a jednotlivé zastoupení velikostních frakcí. Dále se rozlišují v zásadě tři hlavní půdní druhy, a to jsou půdy písčité, hlinité a jílovité (Šimek, 2019).



Obrázek 1. Trojúhelníkový diagram – NRCS USDA (Novotný a Vopravil, 2013).

3.1.5 Struktura půdy

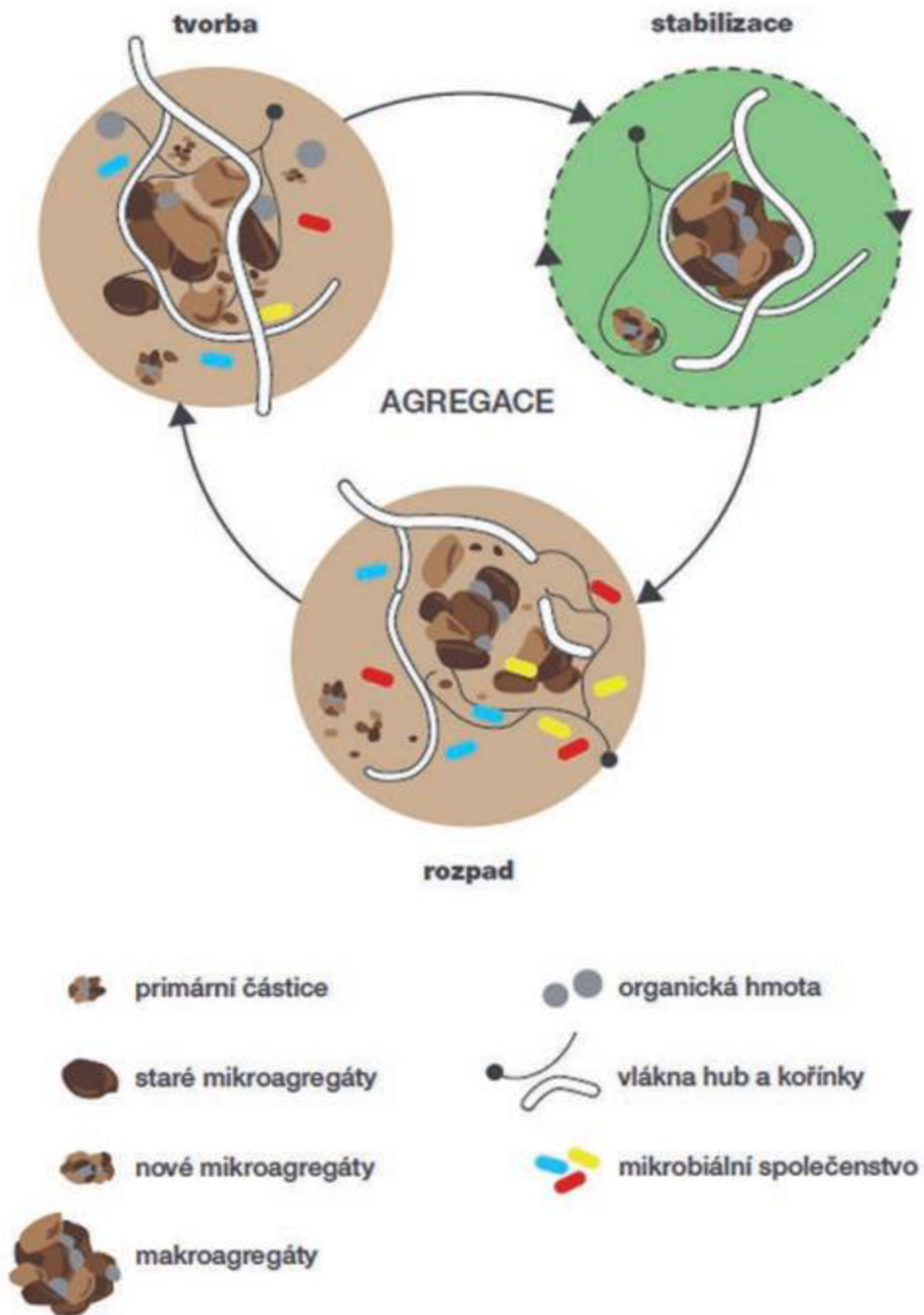
Struktura půdy představuje zásadní parametry půdního prostředí a významně určuje jeho kvalitu (Miko, 2019). Půdní struktura se postupně neustále vyvíjí v závislosti na procesech, jež v půdě probíhají, a proto se řadí k jejím nejvýznamnějším fyzikálním charakteristikám. Kromě nich však půdní strukturu ovlivňují i další dva základní faktory: chemické a biologické procesy (Šimek, 2019). Správná struktura půdy zajišťuje dobrou drenáž, pohyb i optimální úroveň provzdušňování a zadržování vody v ní. Všechny tyto parametry podporují biologickou aktivitu, která je klíčová pro zdravý růst rostlin od kořenů. Rostliny pěstované v půdě s nevhodnou strukturou mohou trpět přemokřením a špatnou dostupností kyslíku, což vede k negativním procesům. Špatná půdní struktura přináší rostlinám riziko, že mohou vykazovat absenci živin a přítomnost fyto toxinů jak organického, tak anorganického původu. Struktura půdy je dynamická vlastnost, která se neustále mění v reakci na různé vnitřní a vnější podněty, včetně kolísání vlhkosti a teploty, biologické aktivity a samozřejmě i lidské činnosti (Sharma a Kumar, 2023).

Půdu můžeme definovat jako pórovité medium, jehož struktura závisí na velikosti a stabilitě agregátů (Šimek, 2019). Kvalita agregace je ovlivňována především půdní texturou a množstvím organické hmoty. Důležitou roli však hraje také správná biologická aktivita v půdě (Miko, 2019). Z mechanického hlediska je pevnost jednotlivých agregátů závislá na počtu a kvalitě kontaktních bodů. Tyto body jsou měřeny jako úhel vnitřního tření a soudržnosti. Čím více jsou půdy strukturované, tím vyšší je podíl efektivního napětí na celkovém napětí (Sharma et al., 2023). Jednotlivé půdní částice jsou vždy tvořeny určitými minerály (Šimek, 2019), jak je vidět na *Obrázek 2*. Půdní agregáty vznikají spojením koloidních částic jílu při jejich vrstevnatém uspořádání a organické hmotě. Tyto složky společně utvářejí organominerální komplexy. Interakcí s vápníkem a hořčíkem ve vápenatých půdách, nebo s železem a hliníkem v kyselých půdách, dochází k vysrážení koloidů, čímž se vytvářejí stabilní, jemnozrnné organominerální částice. Tyto částice pak slouží jako základní stavební části strukturních agregátů neboli malých shluků, které nazýváme půdní agregáty (Miko, 2019), jejich přehled je zobrazen na *Obrázek 3*.

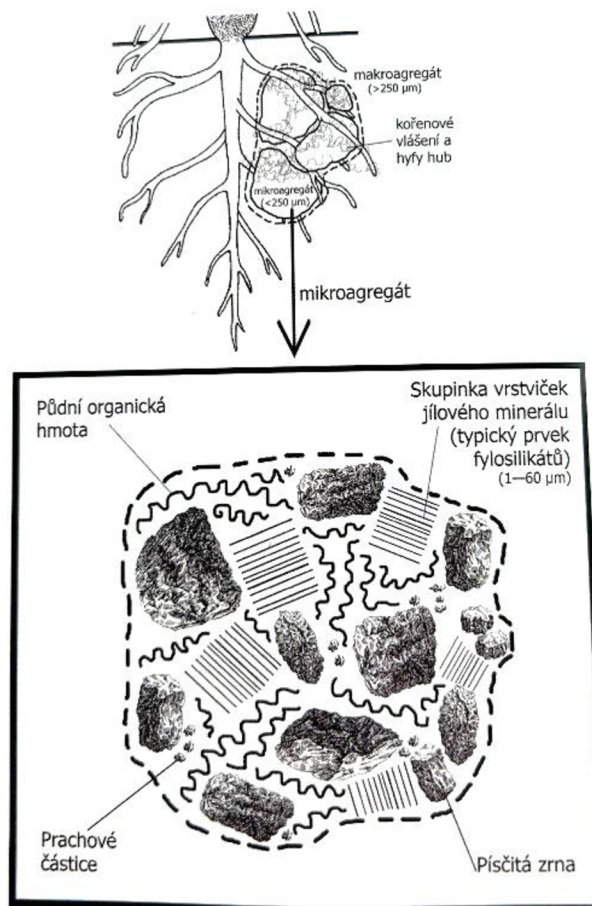
Zájem o dlouhodobou udržitelnost a snižování environmentálních nákladů zemědělských ekosystémů se objevil teprve v nedávné době. K dosažení lepších environmentálních cílů je zapotřebí většího porozumění struktuře půdy. S tím souvisí následně dynamičtější řízení půdní organické hmoty a koloběhu živin (Six et al., 2004). Stabilní půdní agregáty jsou klíčové pro zachování kvality půdy, jelikož zvyšují odolnost proti erozi, regulují výměnu plynů mezi půdou a atmosférou. Stabilní agregáty zlepšují propustnost pro vodu a zajišťují vyšší dostupnost živin (Xiao et al., 2020).

Konkrétně se půdní agregáty dělí do dvou hlavních kategorií (Jozedaemi a Golchin, 2024):

- makroagregáty (> 0,25 mm)
- mikroagregáty (< 0,25 mm).



Obrázek 2. Dynamika životního cyklu půdního agregátu (Šimek, 2019).



Obrázek 3. Obecný přehled o makro a mikro agregátech v půdě (Rejšek a Vácha, 2018).

Důležitými faktory ovlivňující formování agregátů v půdních vrstvách prostřednictvím interakcí mezi biologickými, fyzikálními a chemickými procesy jsou procesy spojené s cementací, flokulací a přeskupením půdních částic (Al-Omran et al., 2021). Nízký obsah koloidních a cementačních látek způsobuje, že pevné částice zůstávají rozptýlené a půda má nedostatečnou strukturu. Mikroagregáty, tedy shluky menší než 0,25 mm, jsou tvořeny především organickými molekulami, jílovými minerály, sesquioxidy a bakteriálními buňkami. Tyto prvky jsou klíčové pro vytváření a udržení dobré a stabilní struktury půdy (Miko, 2019). Klíčový podíl na vytváření makroagregátů i mikroagregátů mají především bakterie, zatímco k formování makroagregátů přispívají především houby. Ke zvýšení obsahu organického uhlíku v půdě při různých zemědělských postupech přispívají větší měrou houby tvořící převážnou část nekromasy oproti bakteriím. Mikrobiální společenstva jsou nezbytná pro procesy transformace a ukládání organického uhlíku v půdě (Zhang et al., 2024).

Stabilita půdních agregátů je také zásadní pro udržení stability organického uhlíku v půdě. Při zkoumání globální změny klimatu se stále více přihlíží k formování a mechanismům stability (Wang et al., 2020). Vodostálost agregátů je jedním ze základních faktorů stability půdní struktury, protože určuje schopnost půdy odolávat rozmývacím účinkům způsobeným vodou. Tato vlastnost vykazuje odolnost agregátů vůči vodě a mechanickým tlakům. Vodostálé agregáty částečně udržují svou soudržnost i za nepříznivých podmínek, kdy je půda nasycena vodou, a navíc je vystavena tlaku způsobenému těžkou mechanizací (Pospíšilová a Vlček, 2015).

Přítomnost kvalitních voděodolných agregátů zvyšuje schopnost půdy odolat erozi, zejména odnosu nejmenších částic vodou i větrem. To přispívá k větší odolnosti půdy jako celku (Šimek et al., 2021). Ve studii Aina Najwa Mohd Nor Azman et al. (2023) uvádí, že kombinace biouhlu a kompostu má příznivé účinky na stabilizaci půdních agregátů. K docílení stability je důležité, aby použitý kompost byl zralý a stabilní.

3.1.6 Uhlíkový koloběh v půdě

Unikátní strukturou svého atomu umožňuje uhlík vytvářet mimořádně stabilní řetězce. Uhlík zaujímá v periodické tabulce prvků specifické místo a vytváří širokou škálu sloučenin se zajímavými fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Tyto sloučeniny obvykle mají složitou vnitřní strukturu, jsou elektricky nevodivé a nestabilní za vysokých teplot. Navíc jsou nerozpustné ve vodě (Rejšek a Vácha, 2018). V suchozemských ekosystémech se uhlík akumuluje v půdě, rašelině, organickém materiálu, zbytcích rostlin a také v biomase (Šimek, 2019). Agregace půdy je často opomíjenou charakteristikou agroekosystémů, ačkoli hraje řadu zásadních rolí, jako je zachování zemědělské produktivity a podpora při ukládání uhlíku do půdy (Wang et al., 2022).

Cyklus uhlíku v suchých ekosystémech spočívá v komplexním souboru transformací uhlíku, které zajistí trvalý průběh života na Zemi. Tento proces lze vnímat jako globální cyklus existence (Šimek, 2019). Jeho základem je vazba atmosférického CO₂ rostlinami (Rejšek a Vácha, 2018). Během fotosyntézy dochází k transformaci uhlíku z oxidu uhličitého do organických látek, které se postupně v potravních řetězcích rozkládají zpět na CO₂ (Šimek, 2019). Z hlediska koloběhu uhlíku v půdní části je klíčový proces rozkladu odumřelé organické hmoty a její postupná mineralizace, která vede k uvolňování CO₂ do atmosféry. Tři hlavní zásobárny uhlíku v neoceánském zásobníku zahrnují biosféru, atmosféru a pedosféru, přičemž pedosféra obsahuje nejvíce uhlíku. V porovnání s půdou obsahuje biosféra 4,5krát méně uhlíku a atmosféra 3,3krát méně (Rejšek a Vácha, 2018).

Al-Maliki a Ebreesum (2020) zjistili, že při snížení pH přidáním biomasy z řas do půdy dosahuje proces mineralizace uhlíku svého vrcholu. Tímto urychlením procesu mineralizace uhlíku se zvyšuje dostupnost živin v půdě. Klíčovým faktorem je tedy hodnota pH, která ovlivňuje rozklad organické hmoty v zemědělských půdách. Hodnota pH půdy také významně přispívá k dynamice ekologických procesů a růstu rostlin, neboť tak ovlivňuje oběh živin (Al-Maliki a Ebreesum, 2020).

Většina moderních zemědělských systémů se v poslední době přiklání k používání syntetických hnojiv a opouští organické zdroje. To vede k degradaci půdy, erozi a ztrátě organické hmoty, což jsou neblahé důsledky nedostatku organických látek. Z tohoto důvodu se opět začíná uvažovat o obnovení různých organických přístupů, jako je používání kompostu, zvířecího hnoje a biouhlu. Tyto organické materiály mohou pomoci zlepšit ukládání uhlíku v půdě pomocí různých mechanismů, například zvýšením mikrobiální aktivity biomasy a zlepšením vodostabilních agregátů půdy. Biouhel se obvykle aplikuje jen jednou za několik let, zatímco kompost vytvořený z hnoje může být aplikován častěji, aby bylo zajištěno dostatečné množství živin pro rostliny. Wang et al. (2022) zjistili, že pravidelné aplikace kompostu by mohly potenciálně vytvářet pozitivní zpětnou vazbu pro formování půdních agregátů a související ukládání uhlíku tím, že udržují vyšší obsah rozpuštěného organického uhlíku a

zároveň zvyšují koncentraci mikrobiální biomasy, jež podporuje tvorbu velkých makroagregátů.

V půdním systému lze uhlík rozdělit do dvou skupin (Mason et al., 2023):

- Labilní uhlík – hlavní část labilního uhlíku je tvořena materiálem hrubé frakce s velikostí částic nad 0,4 mm.
- Stabilní uhlík – drobná frakce menší než 0,4 mm obsahuje uhlík, který je dlouhodobě stabilizovaný a vázaný na minerály (MAOM). Tato složka zahrnuje látky s nižší molekulovou hmotností, jako jsou polysacharidy, lipidy a ostatní produkty.

Půdní agregáty pracují jako ochranný mechanismus pro organický uhlík, brání jeho degradaci a prodlužují tak jeho dobu zadržení v půdě tím, že usnadňují transformaci labilních uhlíkových sloučenin na zásoby jeho odolných forem (Mason et al., 2023).

3.1.7 Nasycená a nenasycená hydraulická vodivost

Půda s vyšším obsahem písku nebo organické hmoty je pro vodu více propustná než půda s vyšším obsahem jílu (Šimek, 2019). Voda má schopnost pronikat do půdy prostřednictvím půdních pórů (Lee a Yoon, 2020). Struktura půdy je výrazně ovlivněna jak růstem kořenů rostlin, tak aktivitou půdních mikroorganismů, které rozkládají organickou hmotu. Rostliny přímo ovlivňují strukturu půdních pórů pomocí růstu kořenů, které prostupují půdní maticí. Tento růst kořenů vyvolává pohyb částic, zejména v axiálním směru kořenů a radiálně okolo nich (Meurer et al., 2020).

Pokud mají dva body v půdě vyrovnaný potenciál půdní vody, tj., není mezi nimi žádný tok vody, mluvíme o tzv. nulovém toku, kdy voda zůstává nehybná. Podle přírodního zákona vyrovnání potenciálů (mechanické, tepelné, elektrické energie) voda vždy proudí z oblasti s vyšším potenciálem půdní vody do oblasti nižšího potenciálu, což umožňuje její transport z půdy ke kořenům rostlin (Šimek, 2019). Charakteristika půdní textury a struktury určuje schopnost půdy vést vodu. Množství vody, které je půda schopna vést, závisí nejen na velikosti a objemu pórů, ale i na jejich geometrické konfiguraci. Tyto charakteristiky půdy se mohou v průběhu vegetačního období měnit, a to hlavně vlivem zemědělských postupů, jako je například orba. Nedostatečná schopnost půdy absorbovat vodu může vést k povrchovému odtoku a následné erozi půdy (Báťková et al., 2020). Po použití pesticidů na zemědělské půdě mohou tyto látky proniknout do povrchových nebo podzemních vod. Mnoho dalších kontaminantů může být poté přenášeno půdním profilem (Aldas-Vargas et al., 2022).

Pro lepší pochopení chování půdy při hospodaření je klíčová rychlost proudění vody, která představuje základní parametr (Lee a Yoon, 2020). Schopnost půdy infiltrovat a přenášet vodu napříč svým profilem je definována jako hydraulická vodivost (Báťková et al., 2020). Hydraulická vodivost je parametr popisující proudění vody, který vyjadřuje poměr rychlosti proudění k hydraulickému gradientu (Lee a Yoon, 2020). Rozeznáváme dvě odlišné úrovně hydraulické vodivosti pro nasycenou a nenasycenou zeminu (Báťková et al., 2020):

- Nasycená hydraulická vodivost – K_s
- Nenasycená hydraulická vodivost – $K(h)$.

Hydraulická vodivost se mění v závislosti na vlhkosti půdy, protože nižší vlhkost způsobuje snížení rychlosti pohybu vody v půdě (Šimek, 2019). K_s reprezentuje nejvyšší možnou rychlost, kterou se voda může pohybovat v půdním profilu, neboť všechny póry a jiné prostory mohou být nasyceny vodou, a tím přispívají k toku vody. Jelikož nasycený stav půdy je pouze dočasný, většina vztahů mezi polní půdou a vodou se odehrává v nenasyčeném stavu půdy (Báťková et al., 2020).

Hydraulická vodivost je závislá na vlhkosti půdy, při snížení její vlhkosti se zároveň snižuje rychlost pohybu vody. Aby mohlo dojít k nasycenému proudění vody, musí být dané půdní póry zcela vodou zaplněny. Nasycené proudění je dále vyjádřeno rovnicí 1 Darcyho vztahem:

$$v = \frac{Q}{A} = -K_s \left(\frac{h_1 - h_2}{L} \right) = -K_s \cdot i \quad (1)$$

kde:

- Q – je rychlost proudění [m^3/s]
- A – je plocha proudícího tělesa [m^2]
- K_s – nasycená hydraulická vodivost [m/s]
- L – je úměrná vzdálenost [m]
- i – hydraulický spád (Narsilio et al., 2009)

Nasycená hydraulická vodivost nabývá rozdílných hodnot pro různé druhy půd. V půdách málo propustných může dosahovat hodnot 0,1 až 0,5 cm/h, naopak ve velmi dobře propustném prostředí se vodivost může pohybovat mezi hodnotami 12,5 až 25 cm/h. Nenasyčené proudění nastává v půdách tehdy, pokud půdní póry nejsou zcela nasyceny vodou. K takovému jevu dochází při naplnění větších pórů vzduchem, kdy se s postupným úbytkem vody zaplňují stále jemnější póry (Šimek, 2019).

Žádná z metod přímého měření hodnoty K_s nebo $K(h)$ není standardní metoda, se kterou by se jiné metody mohly porovnávat, a proto je vždy důležité uvádět metodu měření pro následné srovnávání výsledků. Kromě přímého měření lze využít tzv. pedotransferové funkce, kdy jsou na základě jiných naměřených charakteristik získávány hodnoty K_s a $K(h)$, které lze vzájemně spojit funkčním vztahem (Báťková et al., 2020).

3.1.8 Půdní eroze

Eroze půdy sice nastává z části jako přirozený proces, do nějž však vstupuje řada lidských činností a nevhodných zásahů, které erozi urychlují. Jejím nejhorším důsledkem je snížená produkční schopnost zemědělské půdy, s níž se pojí celkové zhoršení kvality životního prostředí. Požadavek na zvýšení zemědělské produkce si vynucuje masivnější využívání těžké techniky na obdělávané půdě. Zemědělské půdy tak následně trpí zvýšenou erozí a tím i následnou rychlejší degradací půdy. Ta vede ke ztrátě živin a přináší s sebou rovněž riziko kontaminace vody. Fosfor a dusičnany se vymývají do povrchové vody, kde přispívají k procesu eutrofizace, jež bohužel ovlivňuje i zásobní povrchové zdroje pitné vody. Těžké kovy a další chemikálie dostávající se do povrchové vody ohrožují vodní organismy. Jednou

z možností snížení půdní eroze je postupný přechod k ekologickému zemědělství (Bhattarai et al., 2011).

Při mechanickém obdělávání půdy může docházet k různým změnám a dopadům na její strukturu. Půda se v důsledku působení zemědělské techniky může posouvat, drobit, stlačovat či kypřit. Mechanické zásahy tak ovlivňují převážně fyzikální stav půdy, přičemž většina zásahů má výrazný vliv jak na biologickou aktivitu, tak na mineralizační procesy.

Půdní úrodnost je závislá na zpracování půdy, kterým se snažíme připravit půdu do stavu ve kterém je schopná poskytnout optimální podmínky pro plodiny. Úrodnost je závislá na zpracování půdy, jímž se snažíme optimalizovat její produkční schopnosti z hlediska maximální výtěžnosti pro zvolený typ plodin. Při zpracování půdy můžeme s větším či menším úspěchem využívat půdoochrané metody, například technologii zachování posklizňových zbytků na povrchu půdy i po zasetí. Aplikace této technologie pro nás přináší nejen pozitivní výsledek: posklizňové zbytky jako vstupní surovina dodávají půdě organické látky, čímž zároveň podporují stabilitu půdních agregátů, a tak se stávají účinným opatřením proti vodní erozi (Šimek, 2019).

3.2 Kompost

Kompost je jedním z nejstarších a nejpřirozenějších způsobů, který lze využít pro zpětnou aplikaci organických zbytků na půdu. Hlavním přínosem kompostu je podpora udržení zdravého a vitálního stavu půdy. Vrácením organického materiálu do půdní matrice zvyšujeme dostupnost živin pro rostliny (Kalina, 2004). Velká část zemědělského odpadu, jež vzniká jako vedlejší produkt zemědělské výroby, je často spalována nebo není využita jako zpětný zdroj organické hmoty pro zkvalitnění složení půdy. Zemědělský odpad je veškerý odpad, jenž vzniká jako vedlejší produkt; jsou jimi například zbytky plodin či odpad z chovu hospodářských zvířat. Tato rezidua jsou velmi vhodná pro výrobu kompostu (Noor et al., 2024). Kompost je tak zároveň brán jako součást prevence vzniku odpadů (Kalina, 2004). Kompost poskytuje domov různým druhům živočichů, včetně slepýšů a užovek, kteří v něm nalézají své útočiště (Pears, 2017).

Kompost je často nazýván zeleným zlatem a zkušení pěstitelé si uvědomují, že má klíčovou roli v životním cyklu a je cenným produktem s pozitivními účinky na kvalitu půdy (Sulzberger, 2007). Je obecně známo, že velké množství organických odpadů se často zbytečně zničí, přestože by mohl být využit jako kompost k podpoře úrodnosti půdy (Kalina, 2016). Různorodé chemické a biologické vlastnosti kompostu záleží na vstupních surovinách, jež byly použity ke kompostování. Rozdíl v míře stimulace půdního života nastává při zvolení čerstvé organické hmoty, která může mít odlišné vlastnosti oproti zkompostované organické hmotě. Proto se někdy využívají pro aplikaci přímo nekompostované rostlinné zbytky, jako je pšeničná sláma, která je bohatá na lignin. Kdy využít čerstvé či kompostované rostlinné zbytky záleží většinou na regionální dostupnosti kompostu či hnoje (Van der Wurff et al., 2016).

3.2.1 Důvody kompostování

V posledních desetiletích se v důsledku rapidního nárůstu populace vytvořilo obrovské množství pevného odpadu, což se stalo globálním problémem. Světová banka odhaduje, že do

roku 2050 dosáhne produkce pevného komunálního odpadu ročně 3,4 miliardy tun, přičemž organický odpad tvoří přibližně 46 % této produkce. Organický odpad, také známý jako biologicky rozložitelný odpad, zahrnuje zbytky zvířat, rostlin, hnůj zemědělských zvířat, potravinový odpad a kal z čistíren odpadních vod (Yin et al., 2024; Kaza et al., 2018).

Naše zodpovědnost spočívá ve vytvoření cenného materiálu z organického odpadu, místo jeho předání na skládku, kde odpad z velké části zůstane nevyužitý. Pokud odpad vhodně zkompostujeme, snížíme tak negativní efekt odpadu na životní prostředí.

Redukcí množství odpadu, který musí obec sbírat a zpracovávat, snižujeme její náklady a umožňujeme jí investovat do jiných oblastí. Zmenšování množství komunálního odpadu je užitečné samo o sobě, především zejména proto, že ubývá místa pro nové skládky (Pears, 2017).

3.2.2 Kompostování

Kompostování představuje samovolný biologický proces, který je znám už po staletí a je hojně využíván až dodnes. Využívá se jako výborné řešení pro nakládání s organickým odpadem. Proces kompostování v průběhu let dosáhl značné úspory času a zlepšení vlastností kompostu (Lin et al., 2022). Kompostování představuje proces, při kterém se biologicky odbouratelné materiály mění na humusový materiál, který obsahuje organické živiny a minerální látky. Tento aerobní exotermický mikrobiologický proces je základním procesem kompostování (Hejátková, 2007). Vstupní suroviny jsou základem pro získání kvalitního organického hnojiva a následně určují, jaká bude stabilita a kvalita vytvořeného kompostu (Lin et al., 2022).

Půda není neživou horninou, ale živým systémem složeným z minerálních látek a humusových látek. Humus je důležitá část organické hmoty v půdě, jež hraje rozhodující roli v úrodnosti půdy. Organická hmota obsažená v kompostu, kterou aplikujeme na půdu, postupně formuje půdní strukturu. Zlepšuje její tepelné, vodní a vzdušné vlastnosti. Kompostováním se snažíme o návrat organické hmoty a živin do půdního koloběhu (Kalina, 2004). Nízký podíl organických látek v půdě má negativní dopad na hospodaření s vodou, čímž se zvyšuje riziko utužení půdy. Nedostatek organické hmoty vede k menší stabilitě půdních agregátů a k značnému omezení infiltrace vody z dešťových srážek (Růžek et al., 2020).

Kompostování se stalo preferovanou metodou zpracování organických odpadů s cílem získat stabilní a sanitovatelný produkt, který lze využít jako organické hnojivo, a to od domácího kompostování až po velké kompostovací závody pro zpracování komunálních odpadů. Tato technologie je jednou z mála, kterou lze efektivně aplikovat v různém měřítku. Rostoucí poptávka po zemědělských produktech vedla k rozšířenému používání intenzivních zemědělských systémů, které bohužel narušují svou aplikací zdraví půdy a mohou přinášet ekologické problémy. Naštěstí je recyklace organického odpadu pomocí kompostování považována za udržitelný přístup k nakládání s odpady. Tento proces poskytuje cenný zdroj organické hmoty, který může pomoci zvýšit dostupnost živin v půdě. Nicméně účinek aplikace kompostu na půdu závisí na různých faktorech, včetně vnitřních charakteristik půdy, stejně jako na množství použitého kompostu (Sayara et al., 2020).

Kompostování může probíhat uvnitř (tzv. indor metoda), nebo venku na volné ploše. Proces kompostování začíná mechanickým zpracováním zvoleného vstupního materiálu, který je postupně zakládán do vrstev z nichž vzniká kompostovací hromada. První vrstva obsahuje

organické odpady ve formě zbytků plodin, listí a posečené trávy. Další vstava je tvořena hnojem do výšky 5 cm. Zmíněné vstupní materiály se postupně opakovaně vrství dokud hromada nedosahuje 50-150 cm. Jedním z nejdůležitějších kroků pro dosažení správného procesu kompostování je nezbytné zajištění provzdušňování kompostované hromady (viz obrázek 4). Překopávání se provádí manuálně nebo mechanicky a to minimálně třikrát během procesu. Provzdušňování hromady tak dodává potřebný kyslík aktivním mikroorganismům a zároveň reguluje teplotu (Paul et al., 2019).



Obrázek 4. Překopávání kompostové hromady (foto: Miháliková, 2019)

Další možný způsob rozkladu organického materiálu je pomocí vermikompostování. Tato metoda spočívá v rozkladu a následné stabilizaci organického materiálu při aerobních podmínkách, která probíhá působením žízal. Organický odpad dodaný do vermikompostéru nevyžaduje mechanické provzdušňování, jelikož žízaly svým pohybem vytvářejí průduchy, přes které je následně zajištěno provzdušňování. Zásadní rozdíl oproti klasickému kompostování je teplota, který zde nesmí přesáhnout 35 °C, kdy následně hrozí uhybní žízal (Hanc et al., 2022).

3.2.3 Výchozí materiál

Mikroorganismy v kompostu potřebují esenciální prvky jako uhlík, dusík, fosfor a draslík. Dále jsou nezbytné kovy, minerály a mikronutrienty. Uhlík je především využíván jako energetický zdroj, zatímco dusík je klíčový pro růst a buněčné funkce (Lin et al., 2022). Původ bioodpadu má přímý vliv na kvalitu kompostu, což se projevuje obsahem nejen živin, ale i kontaminujících těžkých kovů, které mohou být obsaženy v některých vstupních surovinách. Přítomnost nevhodných složek tak může snížit kvalitu výsledného kompostu. Mezi hlavní příčiny špatného rozkladu organické hmoty patří právě přenos kontaminantů do organické hmoty. Suroviny používané jako vstupní materiály ke kompostování jsou závislé na procesu předchozího zpracování, jako je sběr a skladování. Pokud je tento proces proveden nesprávně,

může dojít k chemickým reakcím v organické hmotě, což má následný vliv na stav kompostovaného materiálu (Rodrigues et al., 2020). Vstupní suroviny by neměly obsahovat žádné znečišťující látky ani materiály, které by mohly narušit proces kompostování. Mezi nežádoucí materiály náleží kovy, sklo a neodbouratelné typy plastů. Pro zajištění účinnosti procesu kompostování je důležité, aby výchozí směs měla vhodný poměr C/N v rozmezí od 25 do 35 (Van der Wurff et al., 2016).

Příklady organických materiálů vhodných ke kompostování:

- Ovocné a zeleninové odpady
- Seno, posečená tráva (nesmí v kompostu dominovat), kompostovatelné drny
- Kravský a prasečí hnůj (Rejšek a Vácha, 2018)
- Kal z čistíren odpadních vod
- Pšeničná sláma
- Ovčí hnůj
- Rýžová sláma (Lin et al., 2022)
- Vrbové štěpky a kůra z topolu (Van der Wurff, 2016)
- Kávová dužina (San Martin Ruiz et al., 2020).

Poměr C/N je jedním z důležitých faktorů, k němuž se při kompostování musí přihlížet. Slouží k posouzení, zda mají mikroorganismy dostatek živin pro účinný rozklad organické hmoty. Obecně platí, že hnůj hospodářských zvířat a čistírenské kaly jsou bohaté na dusík, protože obsahují exkrementy. Tyto vstupní suroviny tak mají nižší poměr C/N (Lin et al., 2022). Zvýšený obsah dusíku v chlévském hnoji způsobuje významný problém při konvenčním kompostování z důvodu uvolňování forem dusíku NH_3 , N_xO , NO_x^- do atmosféry. Pro snížení negativního uvolňování je doporučeno přidávání přísad k chlévské mrvě v podobě slámy nebo biouhlu (Noor et al., 2024). Naopak lignocelulózové materiály, jako je pšeničná a rýžová sláma, mají vyšší obsah uhlíku, a proto i vyšší poměr C/N. Při nesprávném poměru C/N je zapotřebí jej před kompostováním náležitě upravit. Pro jeho zvýšení v kompostové směsi a pro snížení ztráty amoniaku se využívají látky jako sacharóza, glukóza a celulóza (Lin et al., 2022). Ve své studii Meng et al. (2016) zjistili, že přidáním 4% sacharózy do čistírenského kalu se zvýšil poměr C/N z 8,06 na 9,56 a zároveň se snížila ztráta dusíku o 46,3 %.

Pro optimalizaci procesu kompostování je možné přidat jílu, například zeolit (v množství 5 až 10 kg/m^3 , což odpovídá cca 3 až 5 % výchozí směsi). Tyto přídavné látky zpomalují tempo kompostování, minimalizují emise zápachu a zlepšují vytváření stabilních částic během fáze tuhnutí kompostu (Román et al., 2015). Jednou z možných strategií pro potlačení ztrát živin v kompostu je přidání sorbentů, které díky svému velkému povrchu umožňují absorbovat amoniak, čímž zabráňují jeho postupnému odpařování. U vstupních surovin je důležité sledovat počáteční velikost částic určující jejich celkovou plochu, která je rozhodujícím faktorem průběhu rozkladného procesu (rychlosti) výchozího kompostovatelného materiálu přítomnými mikroorganismy. Dle velikosti částic se dále určuje, do jaké míry bude výchozí směs homogenní. Přesné doporučení velikosti částic zatím neexistuje, jelikož jak malé, tak velké částice přináší pozitivní i negativní důsledky. Malé částice vzhledem k svému celkovému většímu povrchu zlepšují homogenitu promíchávání výchozí směsi, ale zároveň mohou bránit proudění vzduchu, kdy hrozí vznik anaerobních zón. Velké částice naopak mohou zajistit vyšší

provzdušňování, nicméně mohou také snižovat schopnost zadržování vody, a tím vést k pomalejšímu rozkladu (Lin et al., 2022).

3.2.4 Využití organické hmoty

Organická hmota může být použita v následujících formách:

- Čerstvou organickou hmotu lze aplikovat jako hnůj přímo na stejném pozemku.
- Organická hmota může být použita jako mulčovací materiál, včetně slámy a dalších přírodních materiálů.
- Zpracovaná organická hmota může být využita jako kompost a vermikompost (Román et al., 2015).

3.2.5 Významné faktory v procesu kompostování

Kyslík a voda

Zachování správné rovnováhy mezi vodou a vzduchem je jedním z nejdůležitějších faktorů pro kompostování. Voda má zásadní význam pro téměř všechny životní procesy, a rozklad organické hmoty není výjimkou. Avšak pokud je substrát příliš nasycen vodou, nezbyvá v něm dostatek místa pro přítomnost vzduchu (Sulzberger, 2007). Při procesu kompostování je však přísun kyslíku nesmírně důležitý, jelikož aerobní mikroorganismy působící v procesu kompostování jej potřebují k dýchání (Lin et al., 2022).

Kyslík je tudíž klíčovým faktorem při kompostování organického odpadu a pravidelná kontrola jeho koncentrace v kompostovací hromadě může odhalit jeho nízkou úroveň, která nežádoucím způsobem ovlivňuje proces kompostování. Nedostatečný přísun kyslíku může způsobit zastavení mikrobiální aktivity, která následně zpomalí organickou degradaci a způsobí nestabilitu kompostu (Zheng et al., 2018). Pro zachování metabolické činnosti mikroorganismů je tak nutné zajistit, aby při procesu kompostování bylo neustále přítomno dostatečné množství kyslíku. Po celou dobu procesu kompostování se doporučuje udržovat obsah kyslíku vyšší než 10 %, což se provádí buď ručními nebo mechanickými postupy při obracení kompostu. Dodržování doporučené (správné) koncentrace kyslíku je žádoucí i proto, že provzdušňování kompostu zároveň ovlivňuje teplotu a vlhkost (Lin et al., 2022).

Vlhkost

Voda je zásadní pro rozpustnost živin, které podporují buněčné procesy. Optimalizovaná úroveň vlhkosti se pohybuje mezi 50–60 %. Vlhkost je důležitým parametrem, jelikož na ní závisí aktivita mikroorganismů. Pokud přesáhne hodnoty vyšší než 70 %, kompostovací proces se značně zpomalí a přechází do anaerobního režimu. Při vlhkosti nižší než 30 % se aktivita mikroorganismů výrazně zpomalí. Vlhkost závisí i na teplotě: při zvýšení teploty v hromadě hrozí ztráta vody, a tím snížení vlhkosti kompostu. Proto je důležité, aby vlhkost kompostu byla po celou dobu řádně kontrolována (Gajalakshmi a Abbasi, 2008). Pro zabránění nadměrnému zvýšení teploty je nutné zajistit správné odpařování vody z kompostu. Toho docílíme jeho intenzivním provzdušňováním nebo převrácením. Převrácení kompostu tedy považujeme za primární nutnost pro stabilizaci rovnoměrné vlhkosti v celé hromadě. Správně rozloženou vlhkostí docílíme homogenní kvality kompostu (Van der Wurff et al., 2016).

Teplota

Teplota v kompostu vzniká jako vedlejší produkt působení aerobních mikroorganismů při rozkladu organického materiálu (Lin et al., 2022). Teplota je dalším z důležitých parametrů, které sledujeme při procesu kompostování. Tento parametr ovlivňuje aktivitu mikroorganismů při biodegradaci a poskytuje nám orientaci ohledně fáze, v jaké se nacházíme během procesu kompostování. Pro dosažení správného růstu mikroorganismů je zapotřebí teplota v rozmezí 25–40 °C v mezofilní fázi a přesahující 45 °C v termofilní fázi (Jain et al., 2019). Do termofilní fáze se dostáváme již při teplotách 40–50 °C, která je optimální pro termofilní mikrohouby a aktinomycety, které zahajují degradaci ligninu (Gajalakshmi a Abbasi, 2008). Při dosažení teplot nad 60 °C v kompostované hromadě převažuje větší poměr bakterií, zatímco houby při těchto teplotách již chybí (Lin et al., 2022). Ohrožení nastává při překročení teploty 65 °C, kdy může dojít k zahubení prospěšných mikroorganismů. Je proto vhodné udržovat teplotu kompostu na relativně nižších úrovních (Ho et al., 2022). U teplot od 60 °C výše dochází k likvidaci patogenů, jako např. *Escherichia coli* a *Salmonella sp.* (Lin et al., 2022).

Vrchní část hromady má nižší teplotu z důvodu tepelných ztrát. V průběhu procesu jeho teplota postupně klesá, jelikož se snižuje rychlost degradace organické hmoty. Proces kompostování tak vede k dostatečné stabilizaci této hmoty (Gajalakshmi a Abbasi, 2008).

pH

Parametr pH je jedním z dalších faktorů, který musíme kontrolovat, jelikož jeho rozdílné hodnoty ovlivňují proces kompostování. Většina mikroorganismů preferuje pH v rozmezí 6,5 až 7,5 (Gajalakshmi a Abbasi, 2008). Výchozí hodnoty pH jsou vždy závislé na typech organického materiálu připraveného pro kompostování. V průběhu kompostovacího procesu se setkáváme s proměnlivým pH, jelikož na jeho začátku dochází k produkci organických kyselin. Tyto organické kyseliny mohou snížit hodnoty pH kompostu. Vyšší pH registrujeme při rozkladu organických látek obsahujících dostatečné množství dusíku, kdy z katabolických produktů vzniká amoniak, který zvyšuje pH v termofilní fázi (Lin et al., 2022).

Velmi nízké pH je nežádoucí pro průmyslové kompostování, protože hrozí riziko špatného přechodu z mezofilní do termofilní fáze (Aguilar-Paredes et al., 2023).

Poměr C/N

Kompostování lze chápat jako soubor složitých metabolických procesů prováděných různými mikroorganismy podílejícími se na rozkladném procesu organických látek. Tyto organismy využívají přítomnost kyslíku k transformaci dostupného dusíku (N) a uhlíku (C) (Azim et al., 2018). Poměr C/N se pohybuje v rozmezí mezi 15–25:1. Obsah uhlíku by měl být vždy vyšší než obsah dusíku, protože C funguje jako energetický zdroj (Sulzberger, 2007). Proces kompostování může ovlivňovat právě poměr C/N u vstupních surovin (viz tabulka 2). Pokud je jejich poměr větší než 35, mikroorganismy musí projít několika životními cykly, aby postupně zoxidovaly přebytek uhlíku (Azim et al., 2018).

Tabulka 2. Poměr C/N u kompostovatelných materiálů (Sulzberger, 2007).

| Druh | Poměr C/N |
|------------------------|-----------|
| Posečená tráva | 10-25:1 |
| Zelený rostlinný odpad | 20-60:1 |
| Jehličí | 30-80:1 |
| Kuchyňský odpad | 10-25:1 |
| Papír | 100-200:1 |
| Piliny | 100-500:1 |
| Chlévský hnůj | 10-30:1 |
| Obilná sláma | 50-150:1 |
| Kůra | 100-150:1 |
| Dřevěný popel | 200-500:1 |

3.2.6 Průběh kompostování

Kompost je jedním z materiálů, který lze využít jako organické hnojivo. Tvůrčí metoda vzniku kompostu se výrazně odlišuje od procesů používaných při výrobě nebo upravování ostatních organických hnojiv, neboť je založena na specifické technologii kompostování (Hejátková, 2023).

Organická hmota podléhá dvěma rozdílným procesům rozkladu:

- Anaerobní degradaci (hnití), která probíhá bez přístupu kyslíku (Kalina, 2016).
- Aerobní degradaci – proces, při kterém dochází k biologickému rozkladu organických materiálů za přítomnosti kyslíku, který vede k vytvoření stabilizovaného produktu, známého jako kvalitní kompost, jehož definice a produkce podléhá ČSN 465735 Kompostování (Hejátková, 2023).

Kompostování je možné provádět průmyslově ve velkém měřítku, nebo v menším měřítku na zahradách nebo i v domácnostech. V důsledku toho je proces úpravy organického materiálu obecně přijímán a rozšířen po celém světě. V domácnostech je kompostování jednoduché, stačí mít kompostovací nádobu. Lze ji umístit do zahrady, na balkon nebo menší nádobu i do bytu (Mahapatra et al., 2022).

Při založení kompostu na zahradě hrozí riziko, že může dojít k procesu hnití z důvodu nedostatku kyslíku. Hnití není žádoucím procesem, protože některé druhy bakterií začínají produkovat páchnoucí plyny a toxické sloučeniny, jako například indol. Tyto a další jedovaté látky přitahují hmyz, a tak zvyšují riziko šíření nemocí (Kalina, 2016).

Naopak aerobní kompostování je proces, při němž se za kontrolovaných podmínek využívají mikroorganismy k transformaci biologicky rozložitelných organických materiálů na stabilní humus. Kompost vzniká transformací organické hmoty z nestabilního stavu na stabilní humusovou substanci, která nepředstavuje zátěž pro životní prostředí, zejména pak pro půdní prostředí. Během procesu kompostování dochází k významným změnám objemu a hmotnosti kompostovaného materiálu. Obvykle se hmotnost i objem zmenší přibližně o 30 % až 50 % (Noor et al., 2024). Během kompostování jsou přítomné enzymy nezbytné pro řadu důležitých

procesů. K nejpotřebnějším enzymům se řadí celulózy, hemicelulózy, proteázy, lipázy, fosfatázy a arylsulfatázy. Během aktivní fáze kompostování byly zaznamenány vysoké hladiny proteázové, lipázové a celulózové aktivity (Goyal et al., 2005).

Za příznivých podmínek probíhá proces kompostování v několika hlavních fázích, přičemž každé z nich dominují různá společenstva mikroorganismů (Sayara et al., 2020). Výsledkem tohoto multifázového procesu je finální produkt, jímž je kvalitní kompost. K němu vedou čtyři hlavní fáze, které se označují jako (Waqas et al., 2023):

- fáze mezofilní
- fáze termofilní
- fáze chladicí – druhá mezofilní fáze
- fáze zrání.

Fáze mezofilní je takzvanou fází zahřívací, která obvykle trvá jen pár dní. Během ní dochází především k rychlému rozkladu organické hmoty, v níž se nachází snadno rozložitelné sloučeniny, jakými jsou cukry a bílkoviny (Van der Wurff et al., 2016). Když mikrobiální populace začíná zpracovávat nejněsněji rozložitelný materiál, teplota v hromadě stoupá díky proliferaci mikroorganismů a jejich vyšší enzymatické aktivitě. Tento nárůst teploty přechází z oblasti mezofilního rozkladu (25–45 °C) do oblasti termofilního rozkladu (nad 45 °C) (Sayara et al., 2020). Odpovídající druhy mikroorganismů (viz tabulka 3).

Tabulka 3. Teplotní rozmezí odpovídající převládajícím druhům mikroorganismů (Hejátková, 2007).

| Rozsah teploty | Charakteristika |
|----------------|---|
| -4 až 20 °C | Psychrofilní – optimální pro bakterie a plísně |
| 15 až 42 °C | Mezofilní – optimální pro bakterie a aktinomycety |
| 45 až 70 °C | Termofilní – optimální pro bakterie a výtrusy hub |

Při termofilní fázi se urychluje proces rozkladu, což vede ke zvýšení teploty v hromadě (Van der Wurff et al., 2016). Teploty vyšší než 55 °C jsou vítány, protože pomáhají likvidovat patogeny, semena plevelů a larvy hmyzu v materiálu určeném ke kompostování. Vzhledem k tomu, že teploty nad přibližně 65 °C ničí mnoho druhů mikrobů a snižují rychlost rozkladu, provádí se v kompostu pravidelné provzdušňování a míchání s cílem udržet teplotu pod touto hranicí. (Sayara et al., 2020). V této fázi dochází k rozkladu již složitějších částí organické hmoty, jakými jsou celulóza, lignin a tuky. Při vyšších teplotách nad 55 °C převažují při rozkladu bakterie a výjimečně některé termofilní druhy hub (Van der Wurff et al., 2016).

Druhá mezofilní fáze, označovaná jako chladicí proces, nastupuje při zpomalení mikrobiálního rozkladu (Van der Wurff et al., 2016). Když se spotřebují zásoby vysokoenergetických sloučenin, teplota v kompostu postupně klesá a mezofilní organismy opět dominují (Sayara et al., 2020). Při fázi chlazení se znovu daří mezofilním organismům, které při této fázi získávají dostupné živiny ve formě lignocelulózy. Makrofágní houby konzumují tyto složité organické materiály v průběhu celého chladicího procesu. Chladicí fáze je snadno zaměnitelná s poslední fází, kterou je fáze zrání, jelikož trvá několik týdnů (Waqas et al., 2023).

Mineralizované živiny jsou jako základní stavební kameny integrovány do humusového komplexu (Kalina, 2016).

Fáze zrání je poslední fází procesu, která následuje po ochlazení, kdy zpracováváný kompost neobsahuje dostatečné množství zdrojů energie pro heterotrofní bakterie. Ve fázi zrání dochází k obměně organismů, kdy do procesu vstupují organismy méně závislé na dostupném organickém uhlíku. Mikroorganismy jsou nadále v kompostu aktivní, avšak jejich činnosti se již neprojevují s takovou intenzitou jako při fázi zrání (Van der Wurff et al., 2016). Pokud necháme kompost déle zrát, postupně získává stále zemitější strukturu. I když jsou živiny stále pevněji vázány, účinnost humusu se přesto zvyšuje (Kalina, 2016).

3.2.7 Stabilita a zralost kompostu

Základem pro hodnocení kvality kompostu jsou obvykle ukazatele jeho zralosti a stability. Zralost kompostu je informace o fázi nebo stupni, na kterém je proces kompostování ukončen (Mahapatra et al., 2022). Stupeň zralosti ovlivňuje pohyb dusíku, tedy množství dusíku, které je okamžitě k dispozici ve formě minerálního prvku. Rovněž se mění množství dusíku vázaného v organických sloučeninách, který se uvolňuje v průběhu následujících let podle základních agrotechnických postupů (Hejátková, 2023). Pokud je kompost použit jako mulčovací materiál, může být považován za zralý již po čtyřech týdnech. Stáří kompostu hraje zásadní roli pro jeho následné využití (Kalina, 2016). Pro správné určení zralosti kompostu není dostatečné zhodnotit pouze jednu z jeho vlastností, nýbrž je třeba zvážit a posoudit alespoň dva nebo více parametrů. Mezi tyto určovací parametry řadíme jeho barvu, zápach a vlhkost (Mahapatra et al., 2022). Další indikátor, který se používá k posouzení zralosti kompostu, je stanovení poměru $N-NH_4$ a $N-NO_3$ (Hejátková, 2023).

Proces kompostování závisí na vstupních surovinách, které mají různou dobu a rychlost rozkladu. Stabilitu určuje fáze jejich rozkladu. Nestabilní suroviny pokračují v rozkladu, čímž se podílejí na vzniku nepříjemných zápachů a rovněž mohou obsahovat organické fytotoxiny (Hejátková, 2023).

Dosažení pokročilého stupně zralosti a stability kompostu podporuje tvorbu huminových látek, které jsou spojeny s vytvářením úrodné půdy a zvyšováním obsahu organické hmoty v půdě. Tímto procesem vytvořená stabilní dusíkatá hnojiva jsou méně náchylná k vymývání, vyluhování a denitrifikaci, což minimalizuje negativní dopady na životní prostředí. Například dusičnan je nejvýhodnější formou dusíku pro rostlinný růst. Použití stabilního kompostu snižuje riziko kontaminace podzemní vody. Zároveň je doporučováno pěstovat plodiny s vysokými požadavky na obsah dusíku, jako je pšenice a kukuřice, aby se minimalizovalo vyplavování dusíkatých sloučenin (Sayara et al., 2020).

Během procesu kompostování organická hmota obsahuje různé organické materiály, jako je celulóza, lignin, sacharidy (hemicelulóza, škrob, mono- a oligosacharidy), proteiny a lipidy. Tyto látky jsou metabolizovány různými biochemickými drahami, což vede k jejich mineralizaci, transformaci nebo stabilizaci. Sledování osudu těchto materiálů během aerobního kompostování může poskytnout informace o změnách mikrobiálního metabolismu v průběhu času a umožnit identifikaci biochemických procesů, které přispívají ke stabilitě a zralosti kompostu. Navíc chemická analýza ve vodě rozpustných organických sloučenin přítomných v konečném kompostu může pomoci identifikovat povahu exogenní organické hmoty zavedené

do půdního prostředí pomocí aplikace kompostu, a posoudit její vliv na systémy rostliny a půdy (Said-Pullicino et al., 2007).

Pokud jsou ve vstupním materiálu značná množství složitých uhlíkatých sloučenin, například ligninu, může toto složení kompostu přechodně omezit dostupnost dusíku v půdě. Kompost takto charakterizovaný stále obsahuje fytotoxické látky, které se uvolňují během rozkladu organické hmoty. Proto se doporučuje tento typ kompostu používat pouze v omezeném množství, zejména při pěstování citlivých rostlin (Van der Wurff et al., 2016). Pro zabránění vedlejším účinkům a zajištění správného využití kompostu se doporučuje určit jeho kvalitu pomocí hodnocení stupně zralosti a stability. Zralost kompostu je výborný identifikátor k posouzení jeho vhodnosti pro zemědělské účely a hodnocení jeho vlivu na růst rostlin či potenciální fytotoxicitu. Stabilita se zabývá odolností organické hmoty vůči rozkladu způsobenému biologickou aktivitou nebo mikrobiálním procesem. Při posuzování kvality kompostu je důležité zkoumat obě charakteristiky, tj. zralost i stabilitu, a vzájemně je korelovat. Fytotoxické látky jsou produkty mikrobiální aktivity v nestabilní organické hmotě (Sayara et al., 2020).

Pro hodnocení kvality kompostu lze použít několik ukazatelů:

- Biologický růstový ukazatel
- Index klíčivosti semen
- Relativní klíčivost semen
- Relativní růst kořenů (Hou et al., 2024)
- Stanovení poměru $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$
- Zbytková biologická aktivita
- Blízká infračervená spektroskopie (Hejátková, 2023)
- Poměr C/N v pevném a vodném roztoku
- Analýza těžkých kovů
- Aktivita enzymů
- Mikrobiální biomasa (Noor et al., 2024).

Pokud není správně řízena fáze zrání, především kvůli nedostatku kyslíku, mohou vznikat toxické látky, čímž se kompost stává fytotoxickým. Testy fytotoxicity jsou prováděny pro minimalizaci rizik na životní prostředí a slouží k posouzení toxicity a zralosti kompostu před jeho použitím na zemědělských půdách (Wang et al., 2022). Nejběžnějšími zkouškami zralosti kompostu jsou biologické testy klíčení semen. Index klíčivosti různých druhů semen se definuje jako poměr vyklíčených semen v prostředí kompostu, respektive v destilované vodě a udává se v procentech (Komilis et al., 2011). Kompost s kratší dobou zrání se nazývá nestabilní kompost. Tento druh kompostu může být v zemědělství využit pro okamžitý hnojivý účinek, zejména díky vyššímu obsahu dusíku. Nicméně je důležité tento nestabilní kompost vždy aplikovat do půdy, aby se zabránilo možnému uvolňování skleníkových plynů do vzduchu nebo do vody (Hejátková, 2023).

3.2.8 Rychlost infiltrace a kapacita zadržování vody

Schopnost půdy zadržovat vodu je klíčovým faktorem pro účinné využívání vody v zemědělství. Je patrné, že při zadržování půdní vody hraje jednu ze zásadních rolí půdní organická hmota svým působením na hydrofyzikální vlastnosti půdy, jak bylo popsáno v předchozích kapitolách. Přidání kompostu je tedy vynikajícím způsobem, jak zvýšit obsah organické hmoty v půdě, protože je prokázáno, že také ta ovlivňuje schopnost půdy zadržovat vodu (Sayara et al., 2020).

3.2.9 Mulč

Mulčování, které spočívá v pokrytí povrchu půdy, simuluje přirozené podmínky (Rejšek a Vácha, 2018). Mulčování je obecně proces, kdy se na povrch půdy aplikuje materiál, který má různé účinky, včetně ochrany půdy před erozí, zlepšení půdní struktury a udržení vlhkosti. Tato metoda je udržitelným způsobem využívána k recyklaci organického odpadu, který se postupně rozkládá a je integrován do půdního ekosystému prostřednictvím činnosti žížal a další mikrobiální bioty (Pears, 2017). Je samozřejmě důležité pravidelně doplňovat organický mulč na základě jeho postupného rozkladu (Yimer, 2020).

Účinky mulčování vždy závisí na zvoleném vstupním materiálu (Pears, 2017). Existuje široká škála zemědělských materiálů, které lze použít k mulčování, například pšeničná sláma, rýžová sláma, plastové fólie, tráva, dřevěné hobliny, štěpka, kůra, kukuřičné zbytky, ořechové skořápky a zaschlé plevele. Volba materiálu určeného k mulčování závisí na tom, jakého zlepšení půdní kvality chceme dosáhnout. Mulčování zbytků plodin a vrácení zpět na zemědělskou půdu zvyšuje koncentraci organického uhlíku v půdě a příznivě na ni působí (Ibrahim et al., 2020). Pro půdy, které trpí nedostatkem vody, může být silná vrstva mulče užitečná díky své schopnosti zadržovat vláhu, a tím bránit jejímu vypařování (Pears, 2017). Aplikace mulčovacích materiálů na půdu umožňuje absorpci tepelné energie ze slunečního záření, která následně zahřívá vzduch pod mulčem (Burg et al., 2022).

Jedním z nejhorších dopadů na půdní kvalitu je nadměrné využívání anorganických hnojiv. Organické mulče na bázi rostlinných materiálů mohou oproti tomu napomáhat podpoře udržitelného zemědělství. Organické mulče přinášejí pro zemědělskou půdu mnoho pozitivních účinků (Ibrahim et al., 2020). V suchých klimatických oblastech má použití mulče ze slámy velký potenciál, protože může snížit odpařování vody, což opět potenciálně vyvolává zvýšení obsahu vlhkosti v půdě, a tak přispívá k lepšímu růstu plodin (Akhtar et al., 2018).

Další pozitivní účinky při využívání organického mulče (Rejšek a Vácha, 2018):

- Navýšení biologické aktivity
- Vyšší příjem živin pro rostliny a mikroorganismy
- Zlepšení struktury půdy
- Zlepšení pórovitosti půdy
- Regulace odtoku vody (Ibrahim et al., 2020).
- Potlačení růstu nežádoucích rostlinných plevelů
- Potlačení míry vodní a větrné eroze.

Nárůst nedostatku vody po celém světě je jedním z hlavních negativních důsledků změny klimatu. Pro zajištění potravinové zabezpečení je nezbytné uplatňovat jednoduché a ekonomicky efektivní techniky, které zvyšují produkci plodin při omezeném množství vody. Všechny druhy půdního pokryvu potlačují růst plevelů, a mají tak významný vliv na větší výnosnost plodin (Ahmad et al., 2020). Studie Sharma et al. (2023) prokázaly, že použití mulčovací vrstvy o síle minimálně 5 cm snižuje povrchový výpar o 40 % v prvních třech dnech ve srovnání s výparem u půdy, kde nebyl použit mulč. Zvýšení tloušťky mulče z 5 na 10 cm udržuje půdní vlhkost o 10 % vyšší než u půdy bez mulče.

Autoři Gheshm a Brown (2020) zkoumali rozdíl teploty půdy pod černým polyethylenovým anorganickým mulčem ve srovnání s organickým mulčem z kompostu. Závěry studie uvádějí, že teplota pod srovnávanými materiály nebyla statisticky významná, záviselo ovšem na barvě zvoleného materiálu použitého jako mulče. Kompostový mulč zároveň pozitivně zvyšoval teplotu půdy i na jaře. Záchování šetrného přístupu k životnímu prostředí autoři studie doporučují použití kompostového mulče ve srovnání s polyethylenovou variantou.

3.2.10 Mulčovací materiály

Existuje celá řada materiálů, které lze použít k mulčování. Při tom je klíčovým krokem výběr správného mulče, protože pokud dobře neznáme jeho složení, může se stát, že spolu s ním vneseme do půdy i nežádoucí látky, jako jsou například herbicidy (Rejšek a Vácha, 2018). Použití vhodných druhů mulčovacích materiálů proto může nejen vyloučit intoxikaci obdělávané půdní matrice, ale současně i zamezit vyluhování herbicidů, potenciálně obsažených v mulči, do podzemních vod (Burg et al., 2022).

Obecně se mulč dělí třech hlavních typů (Fan et al., 2023):

- Organický mulč, k němuž patří sláma, lesní zbytky, sečená tráva, dřevní štěpka, listí, větve aj.
- Anorganický mulč, jehož součástí je šterk, kameny, úlomky hornin a další anorganické materiály.
- Umělý mezi ně patří geotextilie z nepřírodních materiálů aj.

K jednomu z nejpoužívanějších organických mulčů patří slámový, který poskytuje významné množství energie a živin pro aktivitu půdních mikroorganismů. Při procesu degradace slámy se současně odehrává řada komplexních mikrobiálních procesů. Například houby bílé hniloby mají schopnost rozkládat lignin obsažený ve slámě a přeměňovat složité polysacharidy na jednoduché cukry. Tyto cukry mohou být následně využity jako zdroj uhlíku bakteriálními komunitami nebo kořeny rostlin. Sláma obsahuje široké spektrum organických složek. Obsažený lignin, celulóza a proteiny mohou ovlivňovat ukládání organického uhlíku a dusíku v půdě, a tak kompenzovat ztrátu přirozeného C a N (Liu et al., 2023). Během rozkladu organického mulče mikroorganismy rozkládají celulózu a hemicelulózu, což způsobuje uvolňování živin do půdy, jako je dusík, fosfor a draslík. Aplikace slámového mulče na půdu snižuje kinetickou energii dešťových kapek, které dopadají na půdu. Tím se nezávisle zvyšuje infiltrace vody do půdy a následně se tak zlepšuje formování půdních agregátů a snižuje eroze půdy (Fan et al., 2021; Fan et al., 2023).

Využití sečené trávy jako mulče je zajímavé díky jejímu bohatému biologickému složení. Nicméně může být problematické, pokud je vrstva aplikována ve vrstvě silnější než 1 cm. Existuje riziko, že při vyšší vlhkosti dojde k rozmnožení hub a bakterií a k následnému hnití materiálu. Obecně platí, že sečená tráva, použitá jako materiál pro mulčování, by měla být před aplikací nejprve důkladně předsušena. Použití sena však může zvýšit riziko následného zaplevelení.

Jiným možným mulčovacím materiálem je kompost, mj. známý jako skvělý kondicionér půdy. Snadno ho lze vytvořit z různých organických odpadů, jako je sláma, tráva a rostlinné zbytky. Jeho dostupnost a využití v zemědělství má dlouholetou historii. Kompost k použití jako mulč však musí být stabilní. Použití kompostu významně zlepšuje vlastnosti půdy a také její obsah uhlíku, což přispívá ke zlepšení její schopnosti udržovat vlhkost (El-Beltagi et al., 2022). Studie autorů Waheed et al. (2023) zjistila, že půda, na níž byl aplikován mulč, vykazuje až o 6 % více vlhkosti než půda bez mulče.

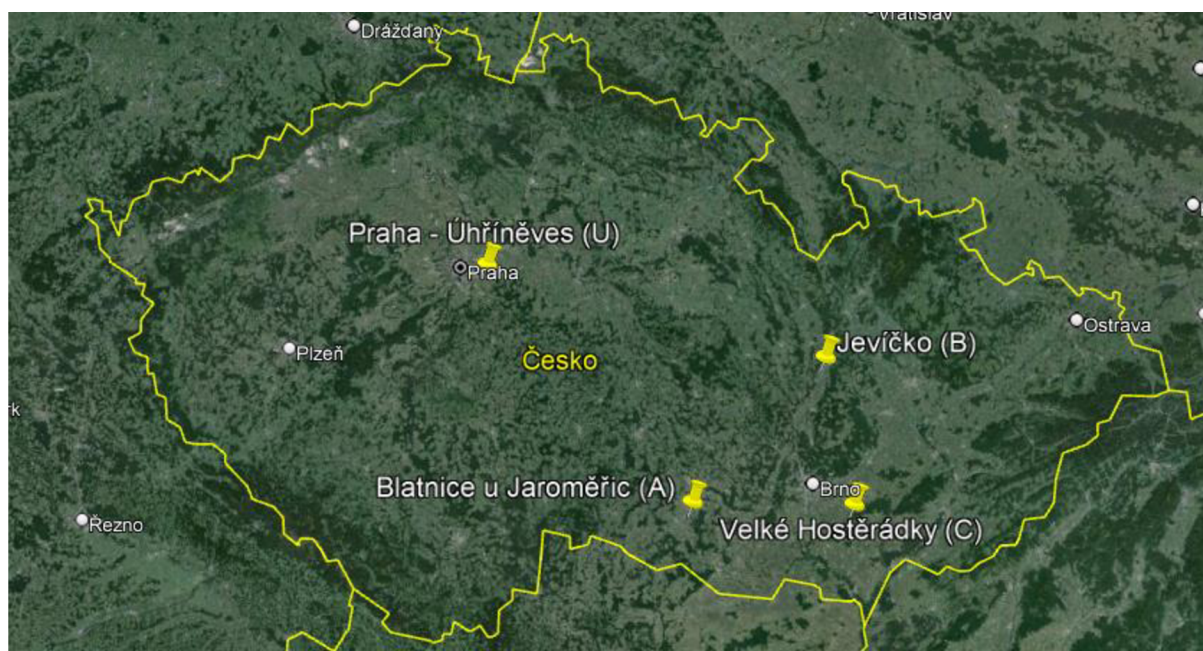
Všechny mulčovací materiály přinášejí pozitivní i negativní účinky je proto důležité aby zemědělci výběr zvoleného materiálu pečlivě zvážili. Například využití geotextilie jako mulče je atraktivní z důvodu rychlé aplikace. Ovšem při větší aplikaci na pole může tento mulč negativně působit na životní prostředí a náklady na likvidaci mohou často převažovat nad jeho výhodami. Naopak kompost použit jako mulčový materiál může být na konci vegetační sezóny zapracován do půdy, čímž bude dodán organický materiál (Ghesm a Brown, 2020). Autoři Ghesm a Brown (2018) prováděli výzkum vlivu kompostového mulče na výnosnost a listovou plochu salátu. Výsledky studie prokázaly, že aplikace kompostu jako mulče měla pozitivní vliv na salát, kdy na ošetřené půdě měly hlávky o 20 % větší listovou plochu ve srovnání s kontrolní půdou. Dále na pozemcích ošetřených kompostovým mulčem byla zjištěna vyšší teplota, mulč tedy působil jako izolační vrstva zpomalující pokles teplot ve srovnání s kontrolní půdou.

Studie autorů Burg et al. (2022) zkoumala vliv mulčovacích materiálů z hlediska půdních vlastností. V pokusu byly použity jako mulčovací materiály kompost a drcená obilná sláma. Při aplikaci drcené obilné slámy došlo ke zvýšení obsahu vody v půdě o 46-60 % a u kompostu aplikovaného jako mulč došlo ke zvýšení vlhkosti půdy o 9-12 % oproti neošetřené půdě. V závěru studie autoři doporučují použít mulčovací materiály v sušších oblastech.

4 Materiály a metody

4.1 Výzkumné lokality

Pro sledování vlivu aplikace kompostu na povrch půdy byly vybrány čtyři lokality, které mají rozdílné půdní vlastnosti a pěstitelské podmínky. Mapa s vybranými lokalitami je znázorněna na obrázku. 5. Lokality byly zvoleny v rámci řešení projektu ve spolupráci se zemědělskými podniky, které poskytly svá pole pro provádění polních pokusů v Blatnici u Jaroměřic (A), v Jevíčku (B) a Velkých Hostěrádkách (C). Rozměry pokusných parcel byly přibližně 30 x 120 metrů. Ve zmíněných lokalitách byly v r. 2022 zahájeny poloprovozní experimenty, přičemž každý pokus zahrnoval dvě varianty: jednu s kompostem aplikovaným v různých množstvích a obdobích, a druhou jako kontrolní alternativu pro porovnání výsledků. Na Výzkumné stanici rostlinné výroby v Praze-Uhříněvsi (U) byl proveden maloparcelkový pokus. Tento pokus zahrnoval celkem devět parcel o rozloze 10 m², z nichž tři byly určeny jako kontrolní. U dalších tří byl aplikován kompost z lokality Blatnice u Jaroměřice (A), a na posledních třech parcelách byl použit kompost z lokality Velké Hostěrádky (C), tedy stejné komposty, které byly použity pro poloprovozní pokusy. V tabulce 4 je pak znázorněno schéma rozložení parcel pro maloparcelkový pokus v lokalitě Praha Uhříněves (C). V tabulce 5 jsou shrnuty základní informace o parcelách. Dále je v tabulce sumarizováno období aplikace kompostu a jeho použitého množství, stejně jako informace o pěstovaných rostlinách.



Obrázek 5. Mapa vybraných lokalit (Google Earth, 2024).

V tabulce 4 je zobrazeno rozdělení parcel. Parcely označené písmenem X nebyly do experimentu zařazeny, tzn. nebyla provedena žádná aplikace kompostu, a nebyly brány v úvahu ani jako kontrolní slepé vzorky. Následně bylo vybráno 9 pozemků s vymezením, zda se jedná o kontrolní parcelu, nebo o pozemek, na němž byl aplikován kompost z určité zvolené lokality.

Tabulka 4. Schéma rozložení parcel Praha – Uhřetěves (autor, 2024).

| | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|---|----------|-------|
| X | X | X | X | X | X | X | Brambory | Cesta |
| X | 3(K) | 3(A) | 3(C) | X | X | X | | |
| X | X | 2(K) | 2(A) | 2(C) | X | X | | |
| X | X | X | 1(K) | 1(A) | 1(C) | X | | |
| X | X | X | X | X | X | X | | |
| Sója | | | | | | | | |

Parcely určené k testování byly tímto způsobem znáhodněny, přičemž:

A – parcelky ošetřené stejným kompostem, jaký byl použit v Blatnici u Jaroměřic

C – parcelky ošetřené stejným kompostem, jaký byl použit ve Velkých Hostěrádkách

K – kontrolní parcelky bez kompostu

Tabulka 5. Základní přehled lokalit využitých k polnímu experimentu ve vegetační sezóně 2023 (Badalíková et al., 2022).

| Lokalita | Typ experimentu | Klimatický region | Velikost parcel (m ²) | Plodiny | Dávka kompostu (t/ha) | Aplikace kompostu |
|--------------------------|-----------------|-------------------|-----------------------------------|---------------|-----------------------|----------------------|
| Blatnice u Jaroměřic (A) | poloprovodní | 5 | 3600 | pšenice ozimá | 30 | během vegetace |
| Jevíčko (B) | poloprovodní | 5 | 3600 | kukuřice | 200 | jaro 2022 před setím |
| Velké Hostěrádky (C) | poloprovodní | 3 | 3600 | oves | 20 | během vegetace |
| Praha – Uhřetěves (U) | maloparcelky | 2 | 10 | pšenice jarní | 20 | před setím |

Lokalita (A) – Blatnice u Jaroměřic

Pozemek nacházející se v lokalitě Blatnice u Jaroměřic má bonitovanou půdně ekologickou jednotku (BPEJ) 5.32.01 (VÚMOP, 2022). Nachází se v klimatickém regionu 5, který je charakterizován jako mírně teplý a mírně vlhký (MT2). Dlouhodobá průměrná roční teplota zde dosahuje hodnoty 7–8 °C, s průměrným dlouhodobým úhrnem srážek mezi 550 a 650 mm. Podnik, který poskytl své pozemky k experimentu, praktikuje konvenční zemědělství.

Co se týče půdní charakteristiky, genetickým půdním představitelem dle Klasifikačního a typologického půdního rozboru (KPP) je kambizem modální karbonátová (KAmc). Tato půda je bezskeletovitá, s příměsí a celkovým obsahem skeletu nepřesahujícími 25 %. Hloubka půdy

je hluboká až středně hluboká, dosahující do 30 cm. Terén je převážně rovinný, se sklonem od roviny až po úplnou rovinu, s hodnotami sklonu nepřesahujícími 3° (Badalíková et al., 2022). Kompost byl aplikován na podzim r. 2022 při zakládání porostu ozimé pšenice a podruhé do vzrostlého porostu na konci dubna 2023.

Půdní druh na této lokalitě je „loam“ dle USDA (Soil Survey Staff, 1999), tedy „hlína“ dle oficiálního překladu v publikaci Kozáka et al. (2009).

Lokalita (B) – Jevíčko

Pozemek nacházející se v lokalitě Jevíčko nemá evidenci pod BPEJ, sousedí však s pozemkem označeným BPEJ č. 5.33.11, jak je uvedeno v eKatalogu BPEJ (VÚMOP, 2022). Klimatické podmínky této oblasti odpovídají regionu 5, který charakterizuje mírně teplé a mírně vlhké prostředí (MT2). Průměrná roční teplota se zde pohybuje mezi 7–8 °C, a průměrné roční srážky oscilují mezi 550 a 650 mm. Podnik, který poskytl své pozemky k experimentu, praktikuje konvenční zemědělství.

Co se týče půdní charakteristiky, genetickým půdním představitelem dle Komplexního průzkumu půd (KPP) je zde kambizem modální eubazická (KAme). Tato půda je bezskeletovitá, s obsahem skeletu opět nepřesahujícím 25 %. Hloubka půdního profilu se pohybuje od hluboké až po středně hlubokou do 30 cm. Terén je mírně zvlněný, s úhlem sklonu od 3 do 7 stupňů. Tento pozemek je erozně ohrožený (Badalíková et al., 2022).

Na pozemku byly záměrně zvolena reprezentativní mírně svažité plocha, jež byla rozdělena na dvě parcely. Jedna z parcel sloužila jako kontrolní bez aplikace kompostu, zatímco druhá parcela byla ošetřena kompostem. Na tomto pozemku byla provedena jednorázová povrchová aplikace kompostu v extrémním množství 200 t/ha během jarního období (28. 2. 2022) (viz Příloha 2, kde je zobrazena povrchová aplikace kompostu). Kompost byl následně ponechán až do zpracování půdy metodou Striptill, po níž následovalo založení porostu silážní kukuřičí. Vzorky a měření v této práci pochází z r. 2023, tedy rok po této extrémní aplikaci.

Půdní druh na této lokalitě je „silty clay loam“ dle USDA (Soil Survey Staff, 1999), tedy „prachovito-jílovitá hlína“ dle oficiálního překladu v publikaci Kozáka et al. (2009).

Lokalita (C) – Velké Hostěrádky

Pozemek nacházející se v lokalitě Velké Hostěrádky má podle eKatalogu (VÚMOP, 2022) označení BPEJ 3.08.40. Klimatický region této oblasti spadá do kategorie 3, což znamená teplé a mírně vlhké klima (T3). Průměrná roční teplota zde dosahuje 8–9 °C, s průměrným ročním úhrnem srážek mezi 550 a 650 mm. Podnik, který poskytl své pozemky k experimentu, praktikuje ekologické zemědělství.

Pokud jde o půdní charakteristiku, genetickým půdním typem podle KPP je zde černozem modální (CEm). Jedná se o půdu bez přítomnosti skeletu nebo s minimálním obsahem skeletu do 10 %. Hloubka půdy dosahuje až do 60 cm a terén je téměř rovný (Badalíková et al., 2022). Kompost byl aplikován poprvé na jaře 2022 do porostu ovsa (30 t/ha), a podruhé na konci dubna 2023 do porostu meziploidy (inkarnátu), v kterém byl následně založen porost pohanky.

Půdní druh na této lokalitě je „silty clay loam“ dle USDA (Soil Survey Staff, 1999), tedy „prachovito-jílovitá hlína“ dle oficiálního překladu v publikaci Kozáka et al. (2009).

Lokalita (U) – Praha Uhřetěves

Pokusné plochy Výzkumné stanice rostlinné výroby v Praze – Uhřetěvesi mají přiděleno BPEJ 2.10.00 (VÚMOP, 2022). Klimatický region této oblasti je klasifikován jako 2, což znamená teplý, mírně suchý typ klimatu (T2), s dlouhodobou průměrnou roční teplotou 8–9 °C a průměrným dlouhodobým úhrnem srážek 500–600 mm.

Pokud jde o půdní charakteristiku, genetickým představitelem je hnědozem modální (HNm), konkrétně slabě oglejená hnědozem modální (HNmg'), která je bezskeletovitá a obsahuje příměsi s celkovým obsahem skeletu do 10 %. Hloubka půdy se pohybuje do 60 cm, terén je převážně rovinatý až zcela rovinatý, s mírným sklonem od 0 do 3 stupňů.

Půdní druh na této lokalitě je „silt loam“ dle USDA (Soil Survey Staff, 1999), tedy „prachovitá hlína“ dle oficiálního překladu v publikaci Kozáka et al. (2009).

Pro další charakterizaci pokusných ploch byly v rámci řešení projektu na odebraných vzorcích stanoveny půdní vlastnosti, které jsou uvedeny v Tabulka 6. Jedná se vždy o průměry z pěti odebraných vzorků. Odběry, které probíhaly v dubnu a květnu byly provedeny těsně po aplikaci kompostu, která se tudíž na výsledcích zatím nemusela projevit. První vzorkování v Uhřetěvesi proběhlo před aplikací kompostu. Nicméně vzhledem k druhému roku řešení projektu, kdy se jednalo již o druhou aplikaci (mimo U), je z těchto hodnot patrný pozitivní vliv povrchově aplikovaného kompostu ve srovnání s kontrolou.

Čary zrnitosti všech lokalit, které byly stanoveny v rámci řešení projektu kolegy v projektovém týmu, jsou uvedeny v Příloze 1.

Tabulka 6. Vybrané fyzikální a chemické vlastnosti experimentálních půd (autor, 2024).

| <i>Lokalita</i> | <i>Datum odběru vzorku</i> | <i>Ošetření</i> | <i>Nasycená vlhkost půdy (cm³/cm³)</i> | <i>Objemová hmotnost suché půdy (g/cm³)</i> | <i>Obsah organické hmoty (%)</i> | <i>Elektrická vodivost (μS/cm)</i> | <i>pH</i> |
|-------------------------|----------------------------|-----------------|--|--|----------------------------------|------------------------------------|-----------|
| <i>Blatnice</i> | duben | kompost | 53,74 | 1,15 | 3,25 | 180,56 | 7,12 |
| | | kontrola | 51,20 | 1,18 | 2,50 | 149,56 | 6,54 |
| | červenec | kompost | 53,37 | 1,13 | 4,28 | 467,00 | 7,00 |
| | | kontrola | 53,33 | 1,13 | 3,33 | 245,05 | 6,65 |
| <i>Jevíčko</i> | květen | kompost | 53,04 | 1,07 | 3,70 | 234,10 | 7,00 |
| | | kontrola | 44,14 | 1,43 | 2,70 | 157,85 | 6,26 |
| | červenec | kompost | 50,12 | 1,21 | 5,24 | x | x |
| | | kontrola | 44,18 | 1,40 | 2,59 | x | x |
| <i>Velké Hostěrádky</i> | duben | kompost | 50,24 | 1,20 | 2,82 | 254,60 | 7,65 |
| | | kontrola | 48,41 | 1,28 | 2,33 | 129,55 | 7,57 |
| <i>Uhřetěves</i> | květen | kompost | x | x | 2,20 | 163,16 | 6,90 |
| | | kompost | x | x | 2,56 | 162,04 | 6,99 |
| | | kontrola | x | x | 2,48 | 137,68 | 6,87 |
| | srpen | kompost | x | x | x | 150,56 | 6,94 |
| | | kompost | x | x | x | 170,80 | 6,81 |
| | | kontrola | x | x | x | 124,72 | 6,73 |

4.2 Kompost aplikovaný na povrch jako mulč

4.2.1 Vlastnosti použitého kompostu

Na vybraných lokalitách byl na každém pozemku použit odlišný kompost. Jedním z hlavních kritérií při výběru vhodných lokalit pro tento polní pokus byla možnost využití kompostárny v nejbližším okolí. Analýza vzdálenosti kompostáren z hlediska dopravních nákladů potvrdila význam ekonomických úspor při volbě správné zdrojové lokality. Studie prokázala, že ekonomicky přijatelná vzdálenost pro přepravu kompostu je obvykle limitována maximálně 15 km od kompostárny. Další kritéria, zejména kvalita, stabilita a zralost kompostu, byla ověřena pomocí testů dle ČSN Kompostování 465735. Komposty použité v experimentu odpovídají stanoveným standardům kvality pro aplikaci na zemědělskou půdu (viz Tabulka 7).

Testy, které byly provedeny k určení stabilních parametrů a hodnot pro zajištění bezpečné aplikace kompostu jako mulče bez zapravení, ukázaly na lokalitě A a C vyrovnaný poměr C/N. Na lokalitě B byl oproti ostatním lokalitám zaznamenán přebytek dusíku. Zralost je pojem související s mírou rozložení fytotoxických látek, které vznikají během procesu kompostování. Kontrola zralosti kompostu je velice důležitá, protože komposty v nedokonalé fázi zrání mohou mj. podporovat růst patogenních mikroorganismů. Komposty zvolené pro polní experimenty prokázaly dobrou zralost ve všech lokalitách (Badalíková et al., 2022).

Tabulka 7. Parametry použitých kompostů (Badalíková et al., 2022).

| Lokalita | C:N | zralost | stabilita |
|----------------------|------|--------------------------------------|------------------|
| | | N-NH ₄ /N-NO ₃ | stupeň |
| Blatnice (A) | 13:1 | 1,27 - zralý | 4,1 - nestabilní |
| Jevíčko (B) | 6:1 | 0,96 - zralý | 6,6 - stabilní |
| Velké Hostěradky (C) | 12:1 | 0,14 - velmi zralý | 6,9 - stabilní |

4.2.2 Kompostárny

K vybudování zemědělských kompostáren je nezbytné dodržet požadavky stanovené pro jejich zřízení a provozování v souladu s normou ČSN 465735 (Hejátková, 2023). Výstupní kompost určený pro aplikaci na půdu, byl vybrán podle předem stanovených kritérií stability a zralosti.

Kompostárny schopné poskytnout certifikovaný kompost byly vybrány s ohledem na nejbližší vzdálenost k experimentálním parcelám. Z výsledků studie je zřejmé, že vzdálenost sehrává klíčovou roli v ekonomickém hledisku aplikace kompostu na půdní povrch. Do nákladů dopravy se totiž zahrnují i další faktory, jako jsou nákladové a aplikační operace. Studie ukazuje, že z hlediska zvýšení retence půdy pro vodu je zásadní zejména aplikace kompostu v dávkách kolem 60–100 t/ha. Avšak v porovnání se standardními dávkami kolem 30–50 t/ha, tyto vyšší koncentrace vyžadují 3–6krát vyšší náklady. Hlavním faktorem je zvýšená náročnost práce při aplikaci vyšších dávek, což logicky souvisí se zvýšením frekvence dopravních intervalů a cenami pohonných hmot. Tabulka 8 obsahuje seznam kompostáren, které dodaly

kompost pro aplikaci na experimentální plochy. Dále uvádí příklady cen aplikace kompostu v závislosti na množství a vzdálenosti zdroje, což výsledky studie potvrzují (Badalíková et al., 2023).

Tabulka 8. Kompostárny (Badalíková et al., 2022 a Badalíková et al., 2023).

| Kompostárna | Pro-farm Blatnice | HZS Jevíčko a.s. Jevíčko | EKOFARMA PROBIO s.r.o., V. Hostěradky |
|-------------------------|--|-----------------------------|--|
| Lokalita | Blatnice (A) | Jevíčko (B) | V. Hostěradky (C) |
| Technologie | na volné ploše s překopávačem | | otevřený box s pásy pro provzdušňování |
| Vstupní suroviny | Tříděný biologicky rozložitelný odpad rostlinného charakteru | | Tříděný biologicky rozložitelný odpad rostlinného charakteru, statková hnojiva |
| Kapacita (t/rok) | 2500 | 2500 | 3000 |
| Dávka (t/ha) | 30 | 200 | 60 |
| Vzdálenost (km) | 4 | 2 | 6 |
| Celkové náklady (Kč/ha) | 4 730 | 12 270 | 10 085 |

4.3 Stanovení stability agregátů: mokré prosévání

Stabilita agregátů může být hodnocena různými metodami, nejčastěji prostřednictvím procesu mokrého prosévání, kdy se stanoví podíl vodostabilních agregátů, tzv. „water stable aggregates“ (WSA) (Almajmaie et al., 2017). Měření se provádí pomocí přístroje pro mokré prosévání, např. tím od společnosti Eijkelkamp s kapacitou 8 vzorků v jednom prosévacím cyklu, který je znázorněn na obrázku 6. Tento přístroj pracuje na principu využívajícím různé

míry stability, kdy nestabilní agregáty se ve vodě rozpadají snáze a rychleji než stabilní, čehož se dosáhne automatizovaným mechanickým ponořováním sít se vzorky do misky s činidlem.

Postup začíná pečlivým odběrem porušených půdních vzorků tak, aby byly v co největší míře zachovány strukturní agregáty, a jejich opatrným sušením na vzduchu, rozložené na filtračním papíře. Poté jsou všechny vzorky prosívány přes síta, aby se oddělily agregáty o velikosti 2 až 5 mm. Z nich byly vytvořeny vzorky o hmotnosti 4 g, které se postupně navažují do osmi připravených sít. Následně se 8 misek naplní destilovanou vodou a vloží do přístroje pro mokré prosévání. Nad miskami je umístěno 8 sít se vzorky a probíhá první prosévací proces trvající 3 minuty, během něhož dochází k postupnému uvolňování půdních částic do vody. Vzorky agregátů tak procházejí přibližně 34krát skrz síta do misek s destilovanou vodou. Nestabilní agregáty se rozpadají a proplavují se sítky do misek umístěných pod nimi. Fotografie misek s rozpadlými agregáty jsou k dispozici v příloze 2.

Po dokončení prvního procesu byly misky vyjmuty a byly připraveny nové misky s dispergačním činidlem – hexametfosforečnanem sodným – v poměru 2 g na 1 litr vody. Tyto misky byly opět umístěny pod síta se vzorky.

Po dokončení druhé fáze se všechny zbývající agregáty rozpadly a na sítku zůstaly pouze zbytky rostlinných kořenů, zrnka písku nebo skeletu. Obě sady misek byly následně umístěny do sušárny. Tato sušárna využívala nucenou cirkulaci vzduchu a zajišťovala homogenní rozložení teploty v celém systému. Sušení bylo prováděno při teplotě 110°C po dobu nejméně 24 h do konstantní hmotnosti. Po usušení vzorků byla zvážena hmotnost stabilních a nestabilních agregátů. Sušárna Venticell je na obrázku 7.

Stabilita byla vyjádřena pomocí indexu vodní stability agregátů (WSA). Stabilní frakce je definována jako poměr hmotnosti půdy získané v miskách s disperzním roztokem k součtu hmotností agregátů získaných v miskách s disperzním roztokem a s destilovanou vodou, jak definuje následující rovnice 2. Čím více se index WSA přibližuje hodnotě 1, tím větší je stabilita půdních agregátů vůči vodě.

$$WSA = \frac{WDS}{WDS+W DW} \quad (1)$$

Kde (dle Rohoškové a Vally, 2004):

- WSA – index vodostabilních agregátů [bezrozm.]
- WDS – je hmotnost agregátů dispergovaných ve vodě [g]
- WDW – je hmotnost agregátů dispergovaných v disperzním roztoku [g]

V této práci byl každý vzorek analyzován ve čtyřech opakováních, jejichž aritmetický průměr byl dále porovnáván.



Obrázek 6. Eijkelkamp (autor, 2024)

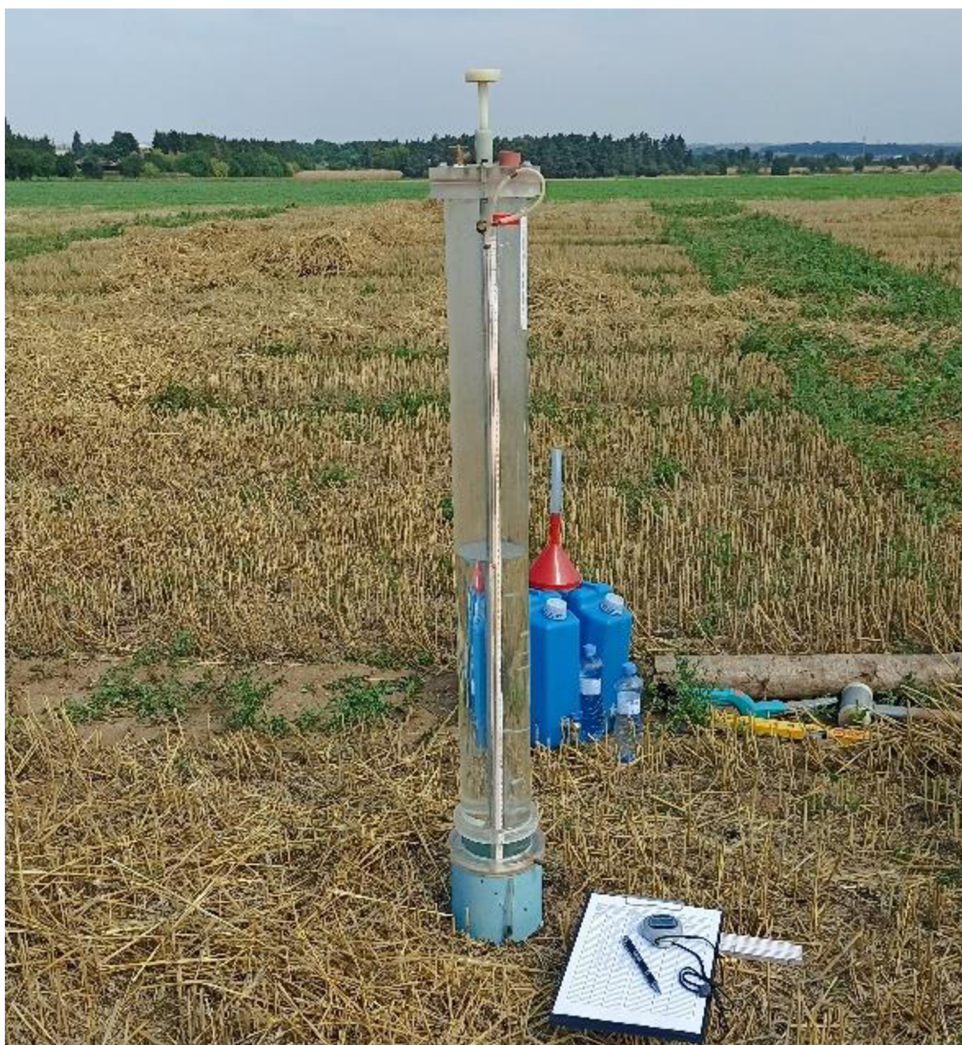


Obrázek 7. Venticell (autor, 2024)

4.4 Stanovení nasycené hydraulické vodivosti

Pro stanovení nasycené hydraulické vodivosti byl pro měření využit jednoduchý tlakový infiltrometr podle autorů Matuly a Kozákové (1997). Zařízení je vyrobeno z nekorodujících materiálů, jimiž jsou mosaz, plexisklo, PVC a teflon. Bylo využito pro svou jednoduchost, která vyniká měřením v polních podmínkách bez nutnosti napájení externím zdrojem energie. Tento infiltrometr zároveň disponuje rezervoárem vody s dostatečným objemem pro dosažení vyrovnané rychlosti proudění. Infiltrometr umožňuje měření kumulativní infiltrace vody do půdy, která byla měřena na maloparcelkovém pokusném experimentu v lokalitě Praha – Uhřetěves (U).

Zařízení se skládá ze dvou částí, kdy je nejprve nutné v místě měření odstranit travní pokryv či drnovou vrstvu. V tomto případě měření probíhalo mezi řádky ve strništi několik dní po sklizni. Po úpravě půdního povrchu se zapustí (zatloukáním) infiltrační válec s vnitřním průměrem 15 cm tak, aby byl ve vodovázce, což zajišťuje jednak správný průběh měření, druhak stabilitu úzkého a poměrně těžkého těla infiltrometru. Pro správné měření je nezbytné tento válec zarazit do půdy po úroveň vodoznaku a následně jej osadit infiltrometrem. Na obrázku 8 je vidět tlakový infiltrometr: v části zásobního prostoru je naplněn vodou, kde při následném otevření ventilu dojde k zatopení měřeného povrchu. Množství zainfiltrované vody je postupně odečítáno ze stupnice v pravidelných časových intervalech a manuálně zapisováno společně s těmito intervaly. Tyto hodnoty jsou důležité pro následný výpočet nasycené hydraulické vodivosti. Posledním krokem je vyhodnocení kumulativní infiltrace pomocí níže uvedených rovnic (Bát'ková et al., 2013).



Obrázek 8. Tlakový infiltrometr (autor, 2024).

Dle Bát'kové et al. (2013) základní rovnice 3 (Reynolds a Elrick, 1991, Reynolds et al., 1985) popisuje proces infiltrace vody do půdy, musí však být upravena pro měření využívající tlakového infiltrometru na rovnici 4, jejíž tvar je upraven podle Elricka a Reynoldse (1992):

$$Q = \pi a^2 K_s(\psi) + G\phi(\psi) \quad (3)$$

$$Q_{ti} = \left(\pi a^2 + \left(\frac{a}{G_{ti}} \right) \left(H + \frac{1}{\alpha} \right) \right) K_s \quad (4)$$

Kde:

- Q – množství vody do půdy dodávané infiltrometrem [L^3/T]
- Q_{ti} – vyrovnané proudění vody do půdy pro tlakový infiltrometr [L^3/T]
- a – poloměr infiltračního válce [L]
- K_s – nasycená hydraulická vodivost [L/T]
- ψ – vlhkostní potenciál [L]
- ϕ – tokový potenciál [L]
- G – funkční geometrie vsakovaného povrchu [L]
- G_{ti} – tvarový koeficient [L^3/T]
- α – parametr [$1/L$].

V rovnici 3 veličina Q určuje výslednou infiltraci vody do půdy vyjádřené v tomto případě v cm^3/s , parametr a vyjadřuje poloměr válce, který je zachován i v upravené rovnici, přičemž v experimentu byl využit poloměr infiltračního válce 7,5 cm. Proměnná K_s se vyskytuje v obou rovnicích, jelikož je to hledaná neznámá, tj. nasycená hydraulická vodivost, která bude postupně vypočítána. Vlhkostní potenciál ψ v rovnici 3 a tokový potenciál ϕ jsou v rovnici 4 upraveny pro tlakový infiltrometr, aby bylo možné explicitně vyjádřit a následně vypočítat hodnotu K_s . V rovnici 4 parametr G_{ti} udává tvarový koeficient, který je samostatně vypočítán v rovnici 5. Další parametr H v druhé rovnici je vyjádřen z vlhkostního potenciálu a reprezentuje výšku vodní hladiny v infiltračním válci (Bátková et al., 2013).

Rovnice 5 je určena k výpočtu tvarového koeficientu podle Reynoldse a Elricka (1991) v následujícím tvaru:

$$G_{ti} = 0.316 \frac{d}{a} + 0.184 \quad (5)$$

- d – hloubka, do které je zaražen infiltrační válec [cm]
- a – poloměr infiltračního válce [cm]

Hloubka a poloměr infiltračního válce jsou 7.5 cm. Tvarový koeficient je tedy roven hodnotě: 0.5

Dále potřebujeme získat hodnotu Q_{ti} , jež je vyjádřena rovnicí 6, a slouží k přepočítání výškového poklesu hladiny h v rezervoáru (tedy čtení na infiltrometru) na množství vody zainfiltrované do půdy za časovou jednotku. Rovnice 7 slouží k výpočtu K_s . Pro její výpočet potřebujeme znát parametr α , který byl v našem experimentu dle struktury půdy určen jako $\alpha = 0,12$ 1/cm (Bátková et al., 2013).

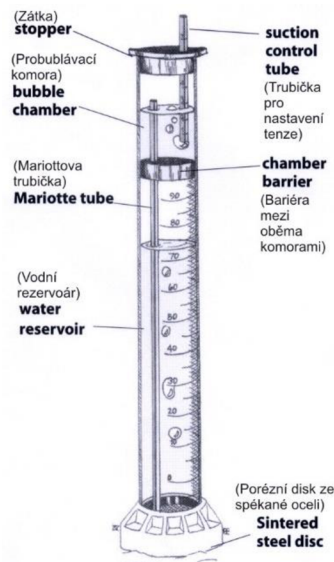
$$Q_{ti} = \frac{V_{cal1cm}h}{\Delta t} \quad (6)$$

$$K_s = \frac{(Q_{ti}G_{ti})}{aH + a^2G_{ti}\pi + \frac{a}{\alpha}} \quad (7)$$

Tlakový infiltrometr byl použit k měření nasycené hydraulické vodivosti na maloparcelkovém experimentu. Celkem bylo ve spolupráci s dalšími členy projektového týmu provedeno 9 měření infiltrací, na každé experimentální parcelce jedno. Následně pak byla všechna měření vyhodnocena autorem práce.

4.5 Stanovení nenasyčené hydraulické vodivosti

Mini diskový infiltrometr umožňuje měření nenasyčené hydraulické vodivosti blízko nasycení. Jedná se o malý kompaktní přístroj vhodný pro terénní měření, jelikož k jeho provozu stačí malé množství vody. Jak je vidět na obrázku 9, zařízení je rozděleno na dvě části. V horní probublávací komoře se řídí sání vzduchu, jež je regulováno pouze skrze trubičku určenou pro nastavení tlakové výšky. V okamžiku jejího správného nastavení slouží dolní komora jako zásobník vody, jež se postupně infiltruje do půdy. Spodní část infiltrometru je osazena porézním diskem ze spékané nerezové oceli, jenž slouží jako polopropustná membrána. Umístěním infiltrometru na povrch půdy a hydraulickým kontaktem mezi porézním diskem a půdou začíná infiltrace do půdy, jejíž rychlost je určena hydraulickými vlastnostmi půdy a nastavenou tlakovou výškou (METER Group, Inc., 2021).



Obrázek 9. Mini diskový infiltrometr (Bátková et al., 2013).

Pokles hydraulické vodivosti při vysychání půdy se děje hlavně v důsledku pronikání vzduchu do půdy, který postupně nahrazuje vodu. Proudění vody mezi půdními částicemi se tak stává obtížnějším, neboť jejich menší velikost v důsledku zmenšuje prostor mezi nimi.

Ke stanovení nenasyčené hydraulické vodivosti byla využita metoda dle Zhanga (1997), jak je popsána Bářkovou et al. (2013). Zvolená metoda patří k jednodušším, a proto je pro měření infiltrace vody do půdy ideální (METER Group, Inc., 2021). K výpočtu rovnice 8 je nezbytné parametrizování výsledků a měření kumulativní infiltrace v závislosti na čase, který je zapisován po celou dobu měření.

$$I = C_1\sqrt{t} + C_2t \quad (8)$$

Kde:

- C_1 – směrnice křivky kumulativní infiltrace [cm/s]
- C_2 – sorptivita [cm/ \sqrt{s}]
- t - je čas [s].

Při výpočtu výsledné neznámé hodnoty nenasyčené hydraulické vodivosti $K(h)$ je tato explicitně vyjádřena v rovnici 9 (Bářková et al., 2013).

$$K(h) = \frac{C_1}{A} \quad (9)$$

Kde:

- A – je hodnota vztažená k van Genuchtenovým parametrům, vycházejícím odlišně pro jednotlivé druhy půd, a je závislá na nastavených hodnotách tenze a poloměru využitého mini diskového infiltrometru (Bářková et al., 2013; Bářková et al., 2020; METER Group, Inc., 2021).

$$A = \frac{11.65(n^{0.1} - 1)\exp[2.92(n - 1.91)ah]}{(\alpha r_d)^{0.91}} \quad n \geq 1.9 \quad (10)$$

$$A = \frac{11.65(n^{0.1} - 1)\exp[7.5(n - 1.91)ah]}{(\alpha r_d)^{0.91}} \quad n < 1.9 \quad (11)$$

Hodnota A z rovnice 9 může být vypočítána dle následujících rovnic 10 a 11, v nichž je pro výpočet nezbytné znát parametry:

- α – parametr van Genuchtena pro půdu [1/cm]
- n – parametr van Genuchtena pro půdu [bezrozm.]
- r_d – poloměr využitého mini disku [cm]
- h – tlaková výška nastavená při měření [cm]

Parametry van Genuchtena se nachází v Tabulka 9, kde jsou zároveň vypočteny hodnoty A pro dané jednotlivé druhy půd. Při měření nenasyčené hydraulické vodivosti byl využit mini diskový infiltrometr s poloměrem 2,25 cm a s rozsahem tenze od -0,5 až do -6 cm. Pro všechna měření v této práci byla nastavena tlaková výška -2 cm (Bářková et al., 2013; METER Group, Inc., 2021).

Měření nenasyčené hydraulické vodivosti pomocí mini diskového infiltrometru bylo provedeno na lokalitách A: Blatnice a B: Jevíčko tak, že proběhlo vždy minimálně 5

nezávislých měření na kontrolní půdě, a 5 měření na půdě ošetřené kompostem. Na lokalitě U: Praha-Uhřetěves byla provedena vždy tři měření na každé z 9 parcel, celkem tedy 27 měření. Zaznamenané hodnoty infiltrace a času byly následně vypočteny dle výše uvedených vzorců s použitím tabulky pro infiltrometr s poloměrem 2,25 cm. V příloze 3 je náhled zaznamenaných hodnot infiltrace, následného výpočtu a zobrazeného grafu kumulativní infiltrace.

Terénní měření opět proběhla ve spolupráci s dalšími členy projektového týmu. Lokality jsou poměrně vzdálené a jednodenní výjezdy byly organizovány dle potřeby vždy ve vícečlenném týmu, aby bylo možné splnit všechny vytyčené úkoly, čímž se přispívalo k hospodárnému využití grantových prostředků. Následně pak byla všechna měření vyhodnocena autorem práce.

Tabulka 9. Van Genuchtenovy parametry a hodnoty A pro půdní druhy USDA (METER Group, Inc., 2021).

| Soil Texture | α | n/h_o | A | | | | | | |
|-----------------|----------|---------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | | | -0,5 | -1 | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 |
| Sand | 0,145 | 2,68 | 2,84 | 2,40 | 1,73 | 1,24 | 0,89 | 0,64 | 0,46 |
| Loamy Sand | 0,124 | 2,28 | 2,99 | 2,79 | 2,43 | 2,12 | 1,84 | 1,61 | 1,40 |
| Sandy Loam | 0,075 | 1,89 | 3,88 | 3,89 | 3,91 | 3,93 | 3,95 | 3,98 | 4,00 |
| Loam | 0,036 | 1,56 | 5,46 | 5,72 | 6,27 | 6,87 | 7,53 | 8,25 | 9,05 |
| Silt | 0,016 | 1,37 | 7,92 | 8,18 | 8,71 | 9,29 | 9,90 | 10,55 | 11,24 |
| Silt Loam | 0,020 | 1,41 | 7,10 | 7,37 | 7,93 | 8,53 | 9,19 | 9,89 | 10,64 |
| Sandy Clay Loam | 0,059 | 1,48 | 3,21 | 3,52 | 3,24 | 5,11 | 6,15 | 7,41 | 8,92 |
| Clay Loam | 0,019 | 1,31 | 5,86 | 6,11 | 6,64 | 7,23 | 7,86 | 8,55 | 9,30 |
| Silty Clay Loam | 0,010 | 1,23 | 7,89 | 8,09 | 8,51 | 8,95 | 9,41 | 9,90 | 10,41 |
| Sandy Clay | 0,027 | 1,23 | 3,34 | 3,57 | 4,09 | 4,68 | 5,36 | 6,14 | 7,04 |
| Silty Clay | 0,005 | 1,09 | 6,08 | 6,17 | 6,36 | 6,56 | 6,76 | 6,97 | 7,18 |
| Clay | 0,008 | 1,09 | 4,00 | 4,10 | 4,30 | 4,51 | 4,74 | 4,98 | 5,22 |

4.6 Měření vlhkosti půdy

Měření půdní vlhkosti bylo provedeno na lokalitě U: Praha-Uhřetěves za použití vlhkostní sondy ThetaProbe ML2x a připojeného datového záznamníku Delta T HH2 (Delta-T Devices, Ltd.). Na obrázku 10 je zobrazena sonda, která je uložena ve vodotěsném obalu; ten chrání citlivou elektroniku uvnitř ní. Ve spodní části jsou umístěny čtyři velmi ostré hroty vyrobené z nerezové oceli určené pro zasunutí do půdy, až po obal. Elektronika vně sondy generuje sinusový signál o frekvenci 100 MHz, a to z důvodu minimalizace iontové vodivosti. Signál je tak přiváděn vnitřním přenosovým vedením skrze hroty do půdy. Vzniklá impedance v obvodu se mění v závislosti na impedanci půdy, jež se rozděluje na dvě složky. Zvolená frekvence, jak bylo výše zmíněno minimalizuje iontovou vodivost je tedy proto impedance závislá pouze na zdánlivé dielektrické konstantě. Změny dielektrické konstanty jsou

převodníkem převedeny na stejnosměrné napětí, díky těmto procesům tak můžeme měřit sondou objemovou vlhkost půdy θ_v (Delta-T Devices, Ltd., 1999).

Před vlastním měřením je důležité prozkoumat složení půdy, jelikož ohyb měřících hrotů o více než 1 mm může ovlivnit přesnost měření. Je proto doporučeno u kamenitých půd provést předběžnou přípravu otvorů určených pro měření. Samostatnou měřicí sondu lze používat i bez datového záznamníku, je tu ovšem podmínka připojení externího zdroje energie. Před začátkem měření je důležité provést kalibraci pro konkrétní půdu, čímž se minimalizují možné chyby. Po zapuštění sondy do měřené půdy je na datovém záznamníku proveden automatický převod výstupního napětí z mV na hodnotu druhé odmocniny zdánlivé dielektrické konstanty. Tyto hodnoty zobrazené na datovém záznamníku jsou poté zapsány a vyhodnoceny (Delta-T Devices Ltd, 1999).



Obrázek 10. Theta Probe ML2x a Delta T (autor, 2024).

Na výzkumné stanici U: Praha-Uhřetěves bylo provedeno celkem 99 měření na 9 výzkumných parcelách. Měřená data pro vstupní vlhkost byla provedena před měřením mini diskovým a tlakovým infiltrometru. Na každé parcele bylo pro vstupní vlhkost provedeno vždy 9 nezávislých měření, aby se zmenšila statistická chyba měření. Finální vlhkost byla měřena po dokončení měření s mini diskovým infiltrometrem. Na každé parcele pro finální vlhkost byla provedena dvě měření. V příloze 5 jsou zobrazena měřená data z polního experimentu.

Pro tuto půdu nebyla provedena místně specifická kalibrace, neboť účelem měření bylo porovnat hodnoty mezi sebou, a nikoliv zjištění přesné hodnoty vlhkosti půdy. Pro tyto účely je tovární kalibrace dostačující.

5 Výsledky

Odběr vzorků pro analýzu, terénní měření a následné vyhodnocení výsledků probíhaly na čtyřech vybraných lokalitách opakovaně s cílem zhodnotit rozdíl mezi variantou ošetřenou povrchovou aplikací kompostu a kontrolní variantou, a dále, zda existuje změna vybraných vlastností v čase během vegetační sezóny. Stabilita půdních agregátů byla měřena v laboratoři pro všechny zkoumané lokality. Pro vzorky kompostu a kontrolní půdy bylo vždy provedeno měření nejméně 4 vzorků, aby byla minimalizována chybovost měření. Nasycená hydraulická vodivost byla měřena tlakovým infiltrometrem pouze v Uhříněvsi, stejně jako detailní měření půdní vlhkosti. Nenasycená hydraulická vodivost byla měřena na lokalitách Jevíčko, Blatnice a Uhříněves.

Výsledky práce jsou rozděleny do jednotlivých podkapitol. Tyto výsledky zahrnují segmenty týkající se různých vlastností půdy po povrchové aplikaci kompostu. Zjištěná fakta potenciálně rozšiřují nové poznatky o hydraulickém chování půdy a stabilitě půdních agregátů. Výsledky byly statisticky vyhodnoceny pomocí metody ANOVA v programu Statistika 13 (TIBCO Software Inc.), dále pro výpočet rovnic a k zápisu dat byl využit program MS Excel (verze 365).

5.1 Stabilita půdních agregátů

V lokalitě Velké Hostěradky (C) byly vzorky z půdy odebírány během jednoho roku pouze jednou, zatímco v lokalitách Blatnice (A) a Praha-Uhříněves (U) dvakrát, a v Jevíčku (B) dokonce třikrát. Celkem bylo vždy odebráno 5 vzorků z půdy ošetřené kompostem a 5 vzorků z kontrolní půdy. V lokalitě (U) byl využit odlišný postup odběru vzorků: jelikož tento pozemek je určen k maloparcelkovému experimentu, byly odebrány 3 vzorky z kontrolní půdy a 6 vzorků z půdy s aplikovaným kompostem. Těchto 6 vzorků odpovídá 6 parcelám ošetřeným kompostem z lokalit Blatnice (A) a Velké Hostěradky (C). Z každého půdního vzorku bylo vždy provedeno 8 měření, jejichž celkový počet dosáhl počtu 624. V tabulce 10 jsou zobrazeny průměrné hodnoty stability půdních agregátů WSA kompostové varianty a také průměrné hodnoty kontrolní půdy.

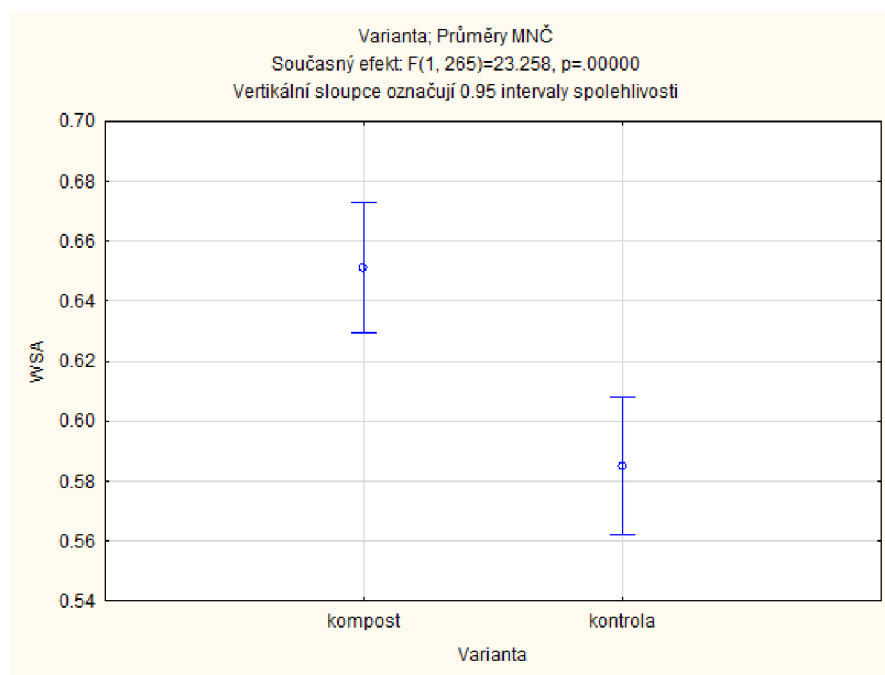
Index stability půdních agregátů v reakci s vodou (WSA) je kvantitativním ukazatelem, který slouží k posouzení struktury půdy, jeho hodnoty se pohybují od 0 do 1 a jsou zobrazeny na ose y. Vyšší hodnoty na stupnici WSA odpovídají vyšší stabilitě půdních agregátů.

V tabulce 10 lze pozorovat, že ve všech lokalitách s výjimkou Velkých Hostěrádek (C) byla po měření stability agregátů půdy ošetřené kompostem zaznamenána vyšší hodnota WSA. Statistická analýza byla provedena pomocí jednofaktorové nebo vícefaktorové analýzy rozptylu (ANOVA), kde statistická významnost byla posuzována na základě hodnoty $p < 0,05$.

Tabulka 10. Průměrné hodnoty WSA ošetřené a kontrolní půdy (autor, 2024).

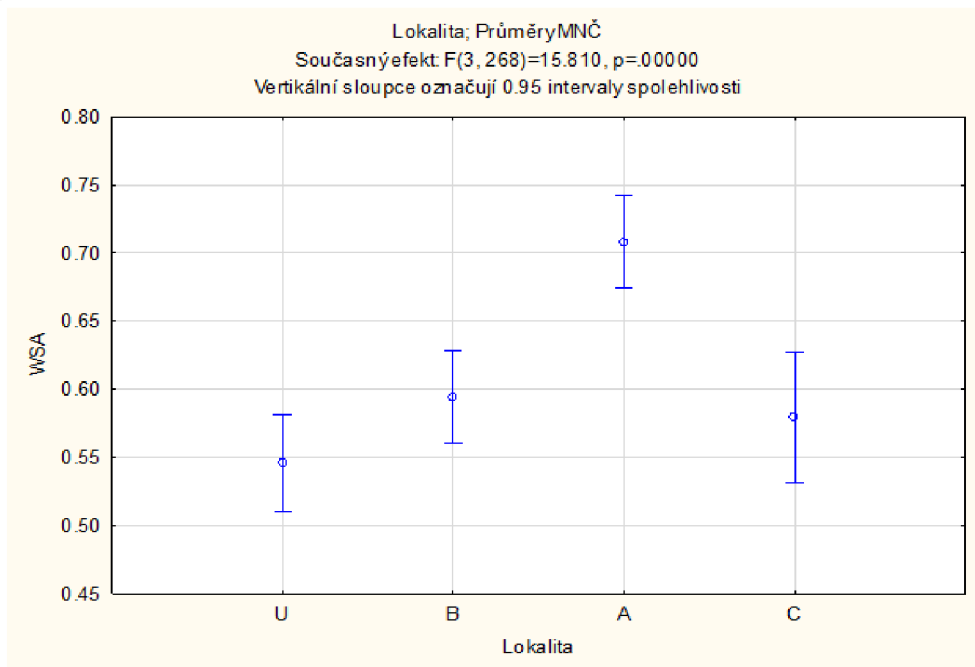
| Stabilita půdních agregátů WSA (-) | | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------|----------|-------------|----------|------|----------------------|---------------------|-------|
| Odběr | květen | červenec | květen | červenec | září | květen | květen | srpen |
| | Blatnice (A) | | Jevíčko (B) | | | Velké Hostěrádky (C) | Praha-Uhřetěves (U) | |
| Kompost | 0,56 | 0,95 | 0,59 | 0,71 | 0,57 | 0,55 | 0,58 | 0,55 |
| Kontrola | 0,47 | 0,85 | 0,46 | 0,62 | 0,38 | 0,61 | 0,52 | 0,48 |

Na obrázku 11 je porovnání půdy ošetřené kompostem a kontrolní půdy na všech lokalitách. Zřetelně lze pozorovat, že půda ošetřená kompostem vykazuje vyšší hodnoty indexu WSA než kontrolní půda. Průměrné hodnoty indexu WSA pro půdu ošetřenou kompostem se pohybují v rozmezí 0,61 až 0,67, zatímco kontrolní půda osciluje v průměrném rozmezí 0,55 až 0,61. Pro statistické vyhodnocení výsledků byla použita jednofaktorová analýza rozptylu. Vyhodnocení výsledků je prováděno na základě hladiny významnosti $p < 0,05$, což je indikátor, který ukazuje statisticky průkazný vliv při aplikaci kompostu na vyšší stabilitu půdních agregátů ve srovnání s kontrolní půdou, jak je patrné z obrázku 11.



Obrázek 11. Porovnání variant ANOVA hlavních efektů pro všechny lokality (autor, 2024).

Srovnání stability půdních agregátů na lokalitách ošetřených kompostem ukazuje, že nejvyšší míry stability bylo dosaženo v lokalitě A, což zřetelně vyplývá i z obrázku 12, který ji potvrzuje jako nejkvalitnější ze všech testovaných pozemků. Naopak lokalita U dosáhla nejhorších výsledků. Rozdíl mezi jednotlivými lokalitami je statisticky významný při hodnotě $p < 0,001$.

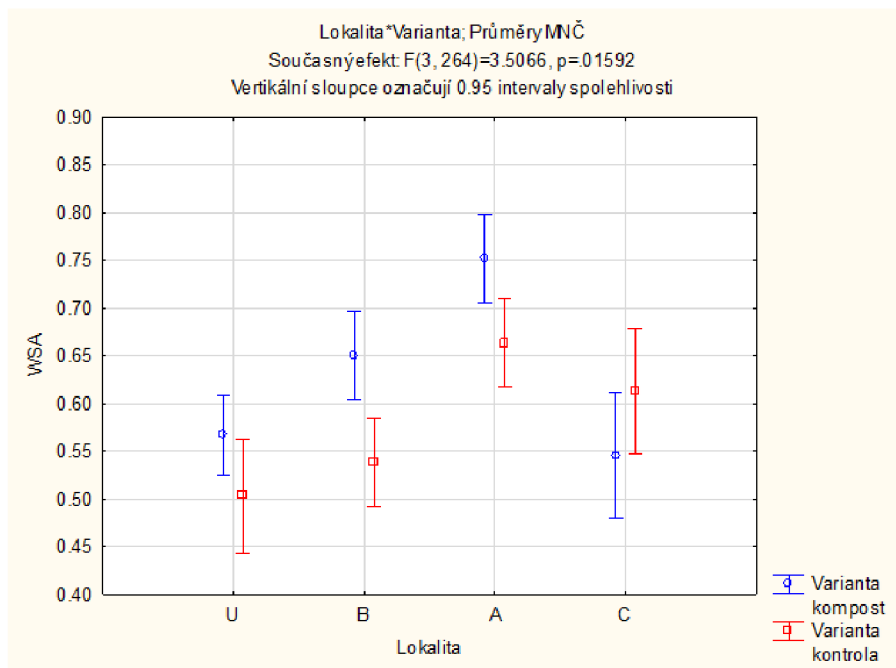


Obrázek 12. Porovnání WSA na všech lokalitách, pouze pro variantu s kompostem (autor, 2024).

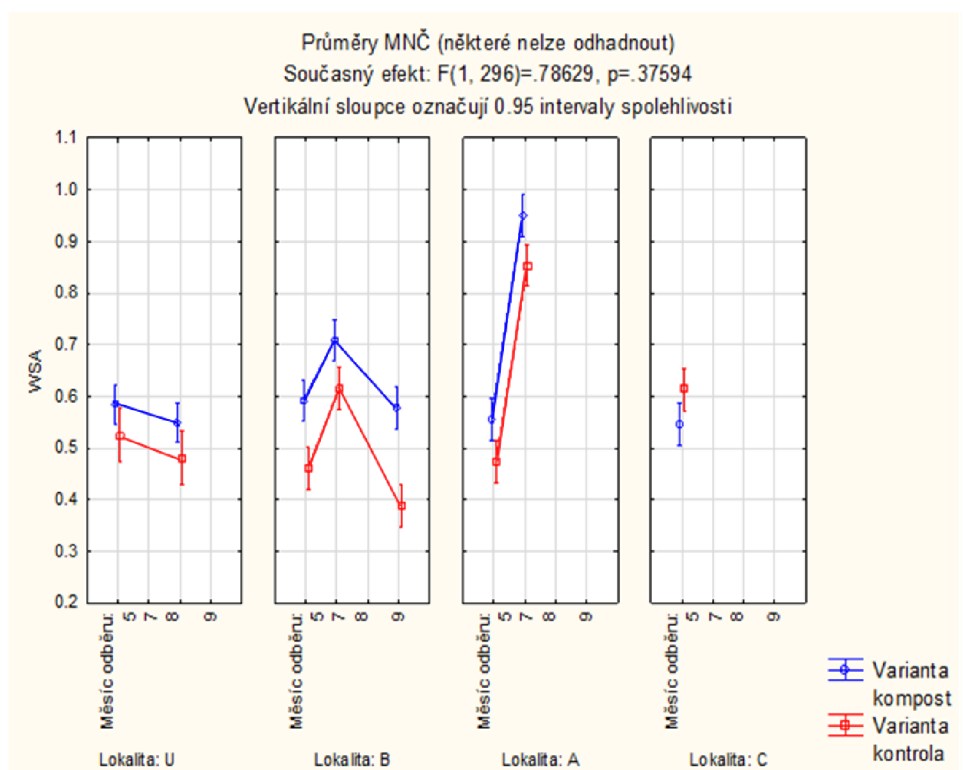
Statistické srovnání lokalit využívajících ošetřenou půdu kompostem s kontrolními půdami na stejných parcelách ukazuje, že lokalita A opět dosahuje statisticky nejlepších výsledků. Na obrázku 13 je patrné, že stabilita půdních agregátů byla v lokalitě C vyšší na kontrolní půdě než na půdě ošetřené kompostem. Na základě vyhodnocení hladiny významnosti v režimu $p < 0,05$ se prokázaly statisticky významné rozdíly mezi ošetřenou a kontrolní půdou v lokalitách A, B a U. Byla zvolena analýza rozptylu s interakcemi. Ačkoli výsledek měření v lokalitě C nepřinesl příznivý efekt, hladina významnosti tím nebyla statisticky ovlivněna, a byl tak potvrzen statisticky významný rozdíl ve stabilitě agregátů mezi půdou ošetřenou kompostem a kontrolním vzorkem.

Obrázek 14 znázorňuje zkoumanou závislost stability půdních agregátů v průběhu vegetační sezóny. Interakce mezi lokalitou a dobou odběru vzorků je statisticky významná na hladině $p < 0,001$. U všech lokalit s výjimkou C byla pozorována lepší stabilita půdních agregátů na ošetřené variantě než na kontrolní, a to nezávisle na čase odběru vzorků. Stabilita půdních agregátů při květnovém a srpnovém odběru je nižší než odběry v červenci tento rozdíl mezi odběry je statisticky významný. Vzorky v květnu byly odebrány velmi brzy po provedení agrotechnických operací (setí, aplikace kompostu apod.) s využitím těžké zemědělské techniky, což mohlo ovlivnit hodnoty WSA zkoumaných vzorků.

V lokalitě C (Velké Hostěrádky) byl odebíráván vzorek pouze v květnu; sledování na této lokalitě bylo bohužel předčasně ukončeno z důvodů na straně zemědělského podniku.



Obrázek 13. Celkové porovnání WSA na všech lokalitách s kompostem vůči kontrolní půdě bez ohledu na čas odběru vzorků (autor, 2024).

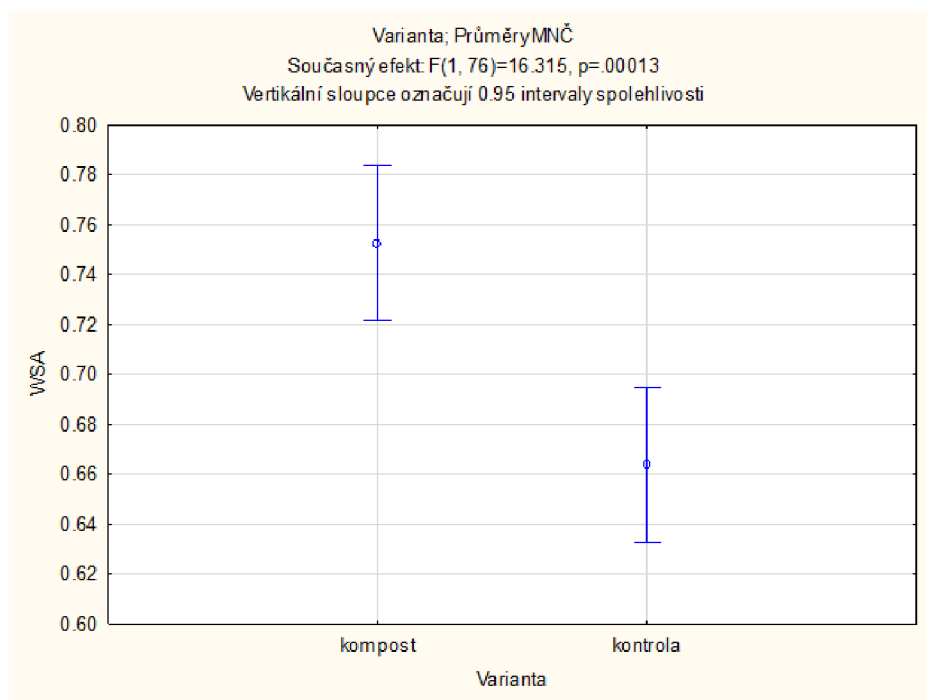


Obrázek 14. ANOVA s interakcemi pro obě varianty na experimentálních lokalitách během vegetační sezóny (autor, 2024).

Následují podkapitoly s detailním popisem výsledků na jednotlivých lokalitách.

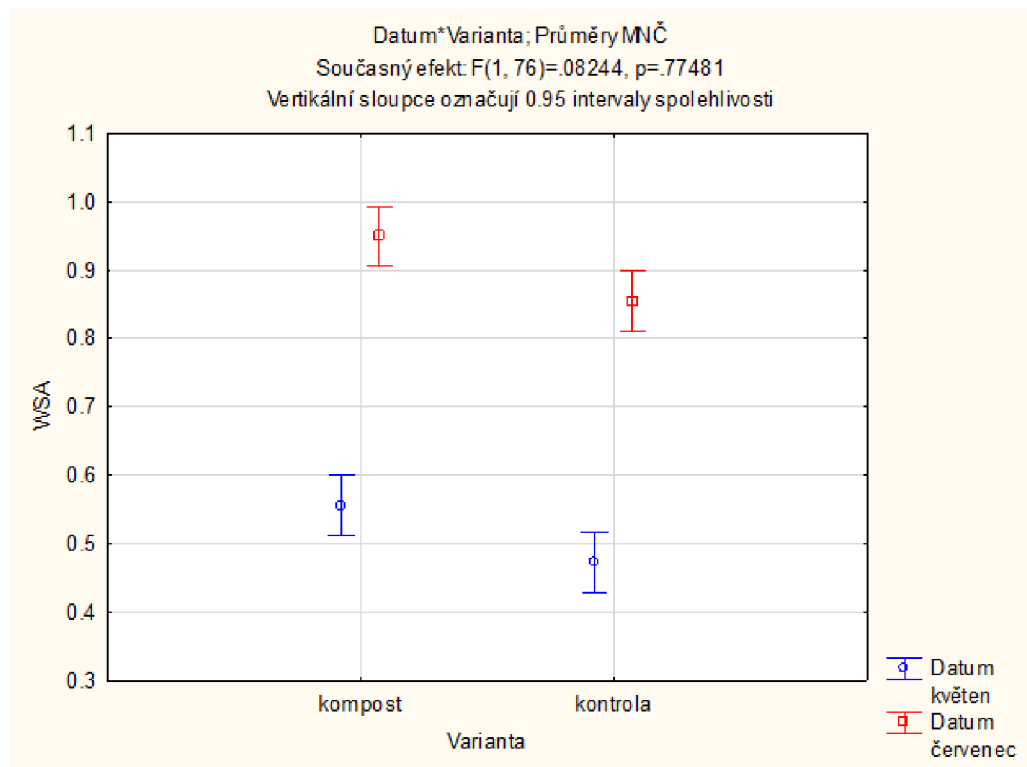
5.1.1 Blatnice

Vyhodnocení odběrů vzorků z Blatnice vystihuje obrázek 15 prezentující statisticky průkazný rozdíl ($p < 0,005$), která dokazuje vyšší stabilitu půdních agregátů WSA v ošetřené půdě s kompostem vůči kontrolní půdě.



Obrázek 15. Porovnání WSA pro ošetřenou a neošetřenou půdu v lokalitě A: Blatnice (autor, 2024).

Stanovením dvoufaktorové analýzy rozptylu, nevyšla hladina významnosti p pozitivně. Přesto z obrázku 16 plyne existující rozdíl mezi odběry vzorků na kontrolní a ošetřené půdě. Odebrané vzorky na půdě s kompostem vykazují pro období květen i červen vyšší stabilitu agregátů WSA oproti vzorkům odebraným na neošetřené půdě. V květnu ještě není rozdíl statisticky významný, neboť odběr byl proveden krátce po aplikaci kompostu. V červenci dosahovala stabilita agregátů v lokalitě Blatnice nejlepších výsledků z celého studijního polního experimentu, jímž se tato diplomová práce zabývá (viz Tabulka 10), a rozdíl mezi variantami je již statisticky průkazný.



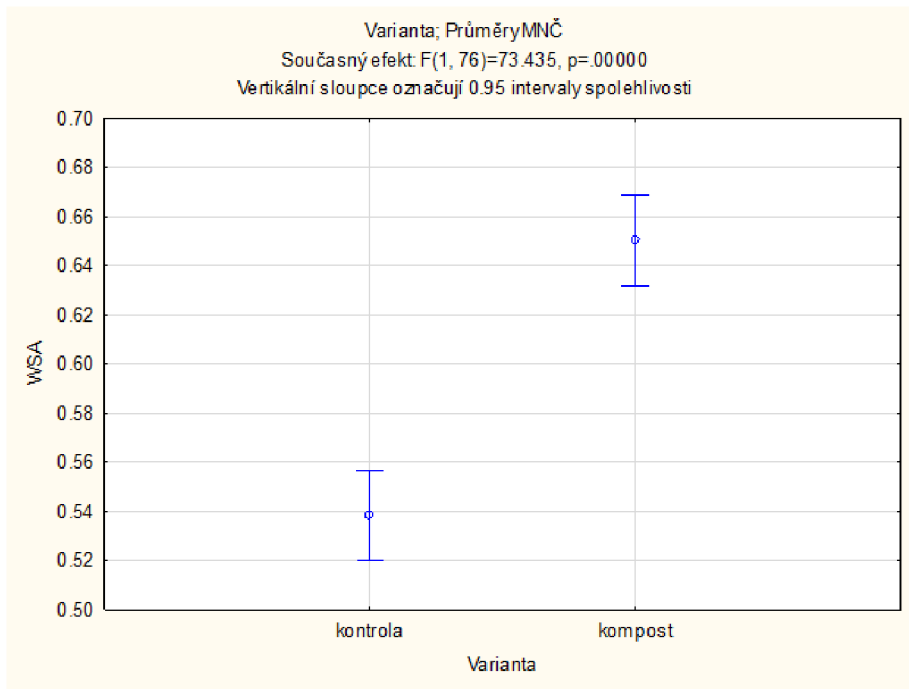
Obrázek 16. Porovnání WSA pro ošetřenou a neošetřenou půdu v závislosti na termínech odběru na lokalitě A: Blatnice (autor, 2024).

5.1.2 Jevíčko

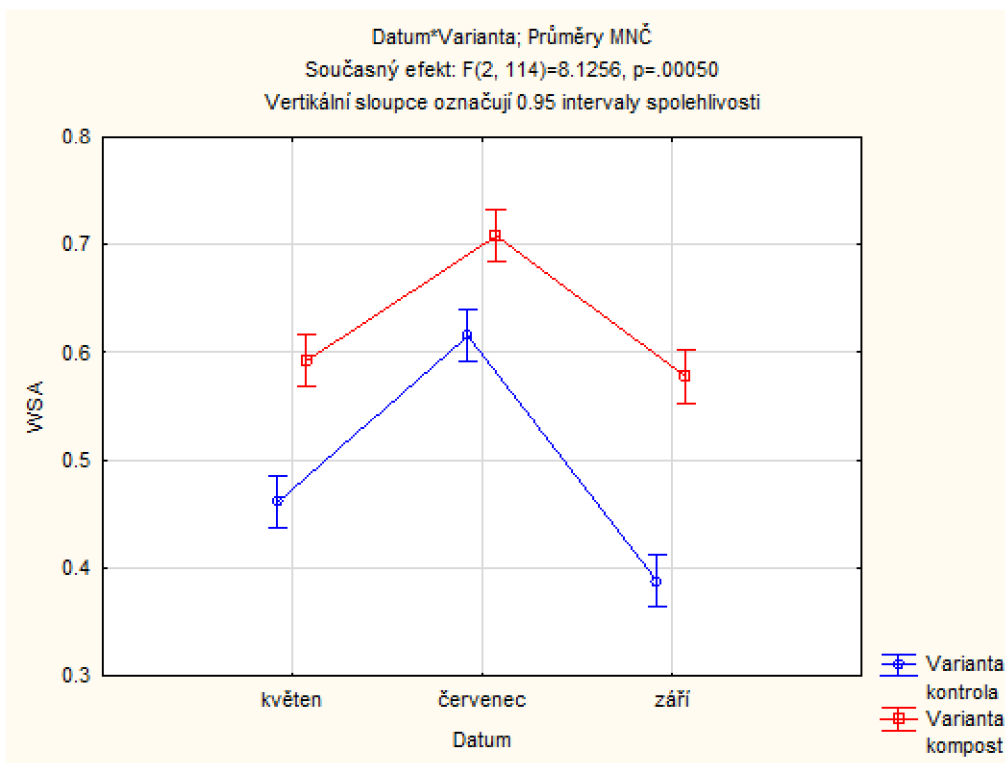
V této lokalitě byly odebrány vzorky třikrát během sezóny, což bylo umožněno dlouhou dobou vegetace plodiny (kukuřice). Z obrázku 17 (jednofaktorová ANOVA) je zjevné, že hodnoty WSA na parcele, kde byl aplikován kompost, se pohybují mezi 0,61 až 0,67, zatímco na kontrolní parcele dosahují hodnot mezi 0,51 až 0,55. Provedená analýza zobrazuje existenci významného statistického rozdílu mezi ošetřenou a kontrolní půdou ($p < 0,001$). Půda ošetřená kompostem tak vykazuje vyšší stabilitu agregátů oproti kontrolní půdě. Rozdíl mezi odběry v průběhu vegetační sezóny na obrázku 18 je statisticky významný.

Byla provedena analýza rozptylu s interakcemi, jak je vidět na obrázku 18. Existuje statisticky významný rozdíl mezi kontrolní půdou a kompostem. U vzorků analyzovaných v různých časech odběru se vždy prokázala vyšší stabilita agregátů než v kontrolních vzorcích.

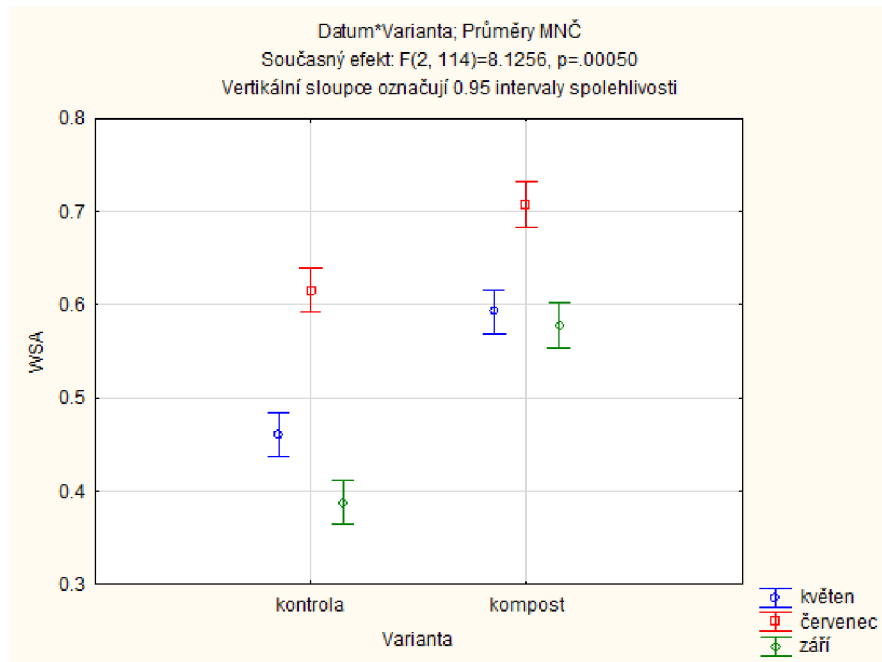
Na obrázku 19 byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi kontrolní a ošetřenou půdou v závislosti na odběrech vzorků ($p = 0,005$). Stabilita půdních agregátů pro kontrolní půdu odebranou v červenci je vyšší, než v květnu což může být důsledkem delšího časového intervalu odběru vzorků od setí plodin.



Obrázek 17. Lokalita B: Jevíčko porovnání kontroly a půdy ošetřené kompostem (autor, 2024).



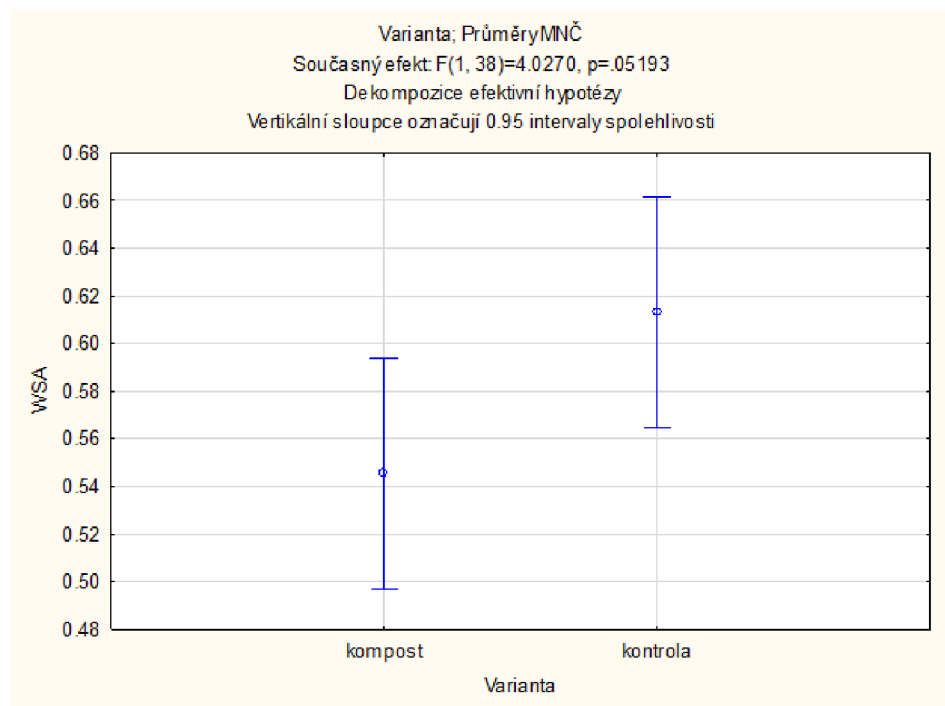
Obrázek 18. Lokalita B: Jevíčko porovnání variant v průběhu vegetační sezóny (autor, 2024).



Obrázek 19. B: Jevičko více faktorová analýza rozptylu: WSA a variant s datem odběru vzorků (autor, 2024).

5.1.3 Velké Hostěrádky

V lokalitě Velké Hostěrádky byl výsledek hladiny významnosti p po stanovení jednofaktorové analýzy rozptylu neprůkazný. Na obrázku 20 můžeme vidět, že vzorky odebrané na kontrolní půdě dosahují vyšší stability agregátů oproti půdě ošetřené kompostem.

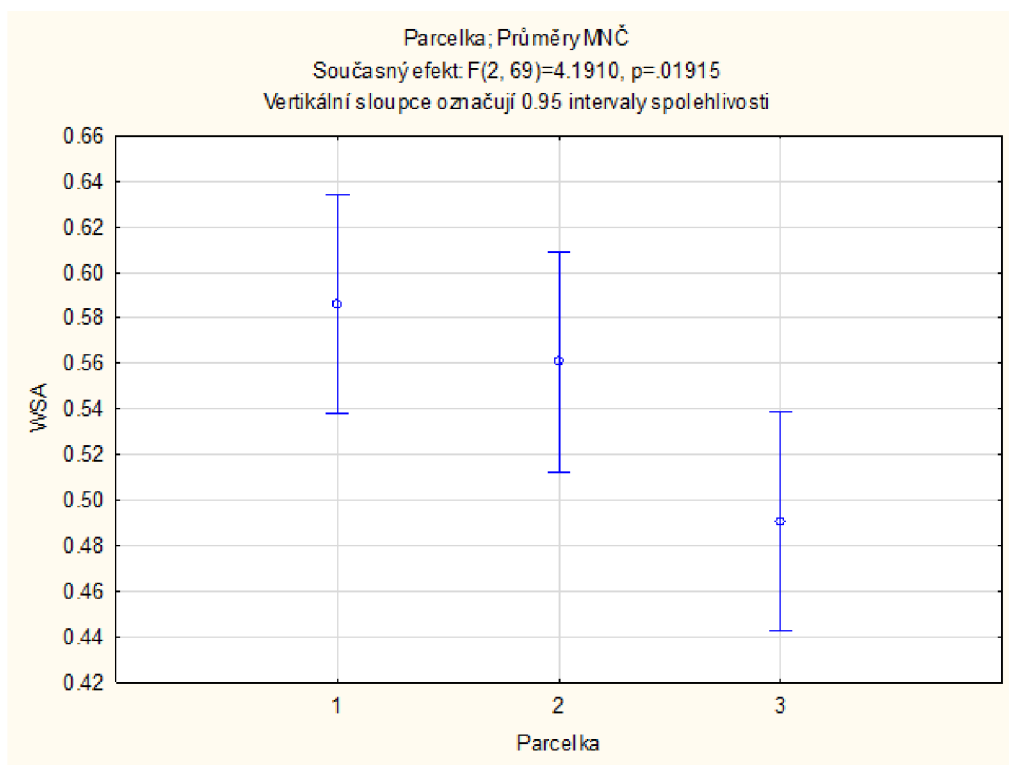


Obrázek 20. Porovnání WSA pro ošetřenou a neošetřenou půdu v lokalitě C: Velké Hostěrádky (autor, 2024).

V Tabulka 10 lze pozorovat mírný rozdíl mezi vzorky ve výši 0,06 WSA. Polní experiment v této lokalitě byl ovlivněn agrotechnickými chybami, což dokazuje i výsledek pokusu. Po prvním květnovém odběru bylo proto rozhodnuto další vzorky v této lokalitě již neodebírat.

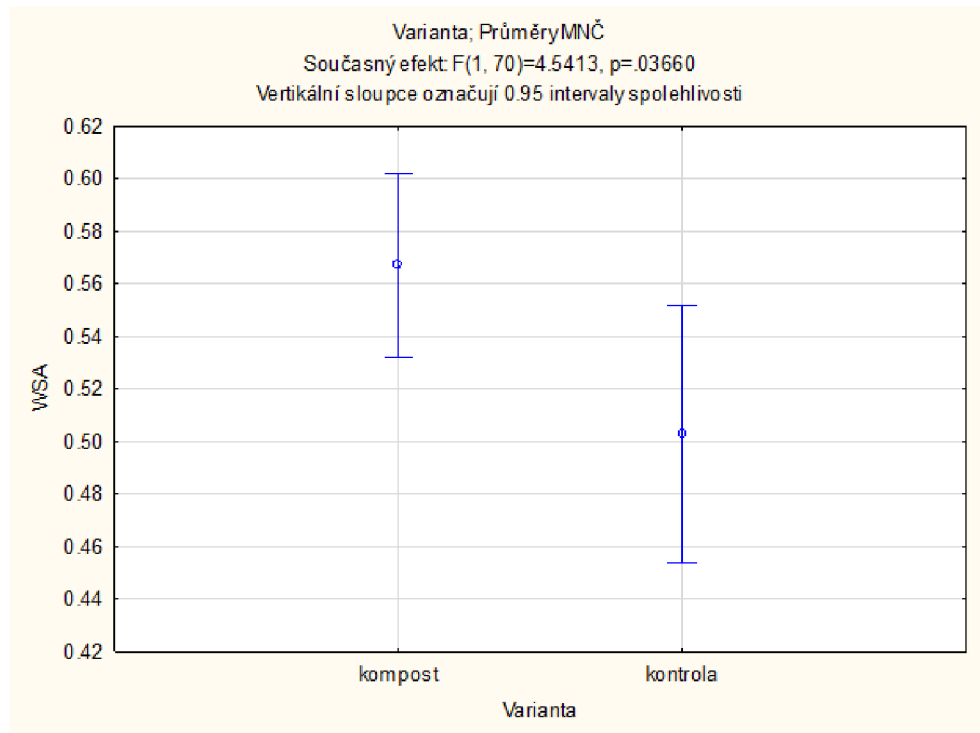
5.1.4 Praha – Uhřetěves

Experimentální pole bylo rozděleno na parcely, z nichž devět bylo využito pro tuto práci. Parcely byly voleny tak, aby schéma pokusů bylo dostatečně znáhodněno, (viz *Tabulka 4*). Parcelky byly umístěny ve třech řadách (na grafech označených čísly 1-3), přičemž každá řada obsahovala kontrolu a dvě ošetření dvěma různými komposty. Na obrázku 21 se pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu zkoumá stabilita půdních agregátů WSA pro každou řadu. V této analýze jsou zahrnuty vzorky jak ošetřené, tak i kontrolní půdy. Z toho vyplývá, že mezi řadami parcel by neměl být významný rozdíl. Nicméně, hladina významnosti $p < 0,05$ představuje významný statistický rozdíl mezi řadami parcel. Nejlepší stabilitu půdních agregátů nacházíme v řadě 1.



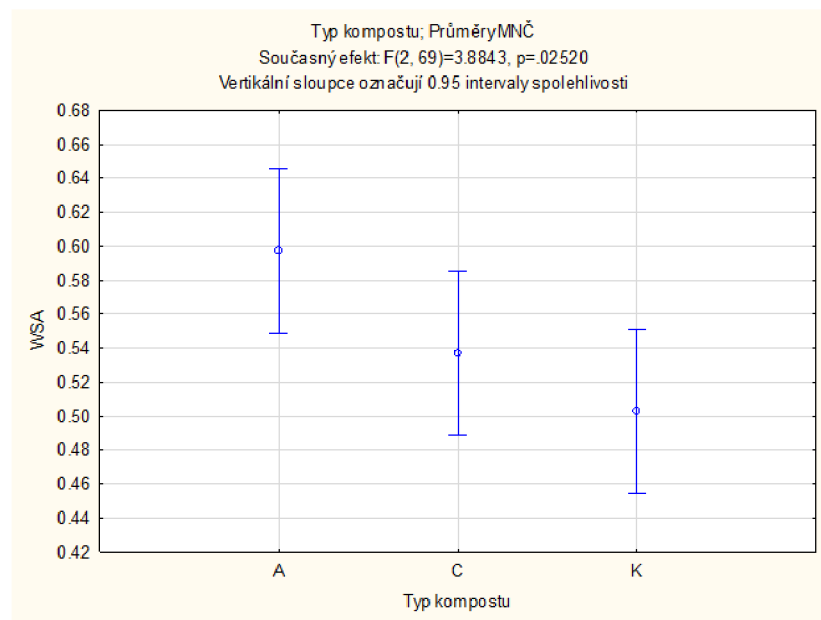
Obrázek 21. Porovnání WSA na jednotlivých parcelkách v lokalitě U: Praha – Uhřetěves (autor, 2024).

Na obrázku 22 se porovnává stabilita půdních agregátů na kontrolní a ošetřené půdě (bez ohledu na původ kompostu). Z analýzy vychází významný statistický rozdíl mezi stabilitou půdních agregátů na ošetřené, respektive kontrolní půdě.



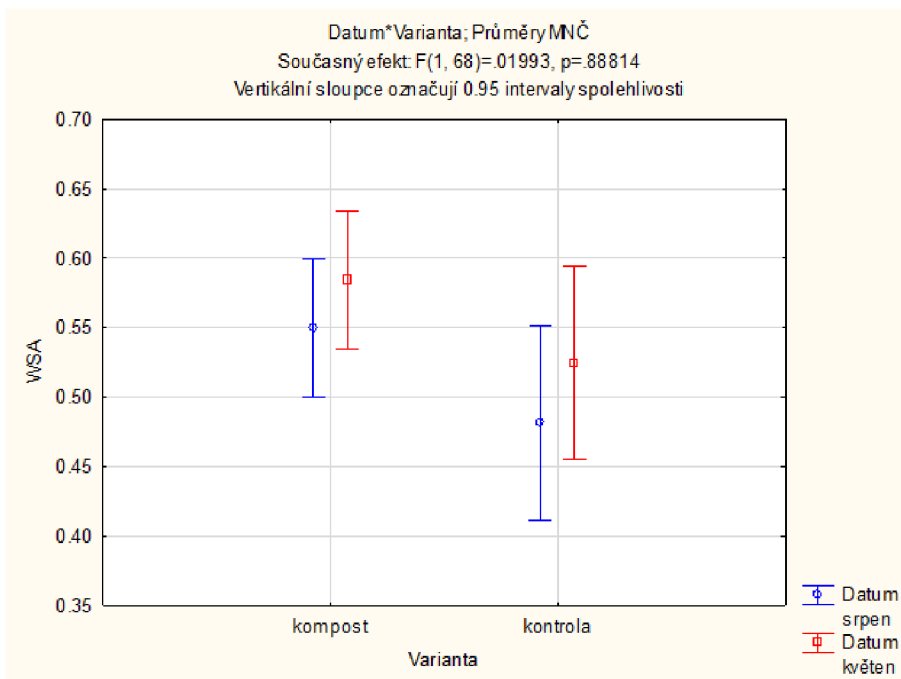
Obrázek 22. Stabilita půdních agregátů, ošetřená a kontrolní půda (autor, 2024).

V obrázku 23 jsou rozděleny typy kompostů a kontrolních půd. Existuje statisticky průkazný rozdíl stability půdních agregátů v závislosti na variantě včetně druhu použitého kompostu (A nebo C).



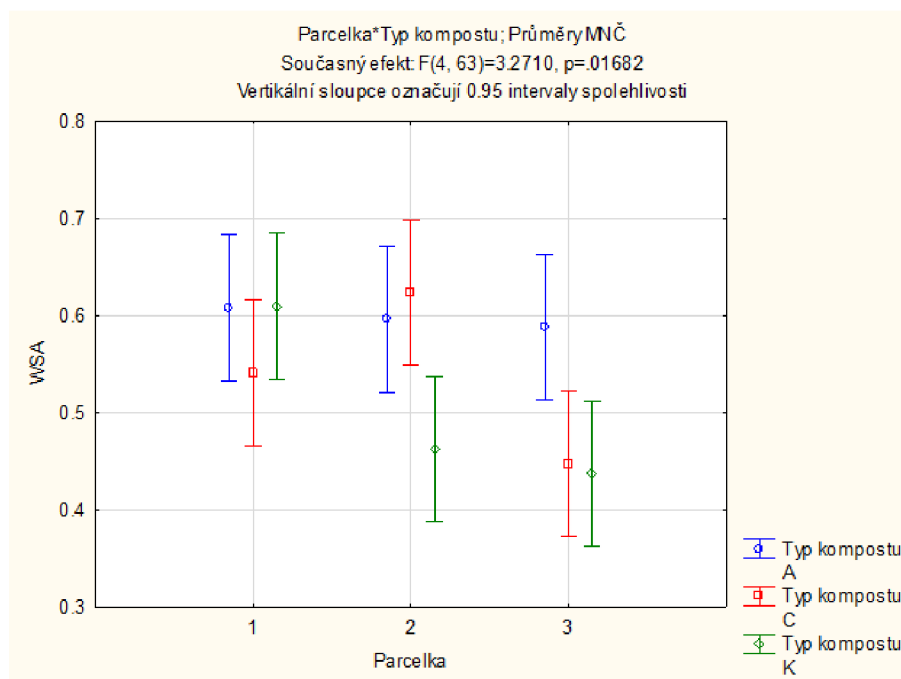
Obrázek 23. Závislost WSA na typech kompostu a kontrolní půdy (autor, 2024).

Dále bylo provedeno zjištění, zda stabilita půdních agregátů závisí na době odběru vzorku. Byla aplikována vícefaktorová analýza rozptylu. Na obrázku 24 můžeme vidět, že se neprokázal statisticky významná rozdíl mezi odběry vzorků v květnu a srpnu. Hladina významnosti nesplnila požadovanou podmínku $p < 0,05$.



Obrázek 24. Závislost WSA kompostu a kontrolní půdy na období odběru vzorků (autor, 2024).

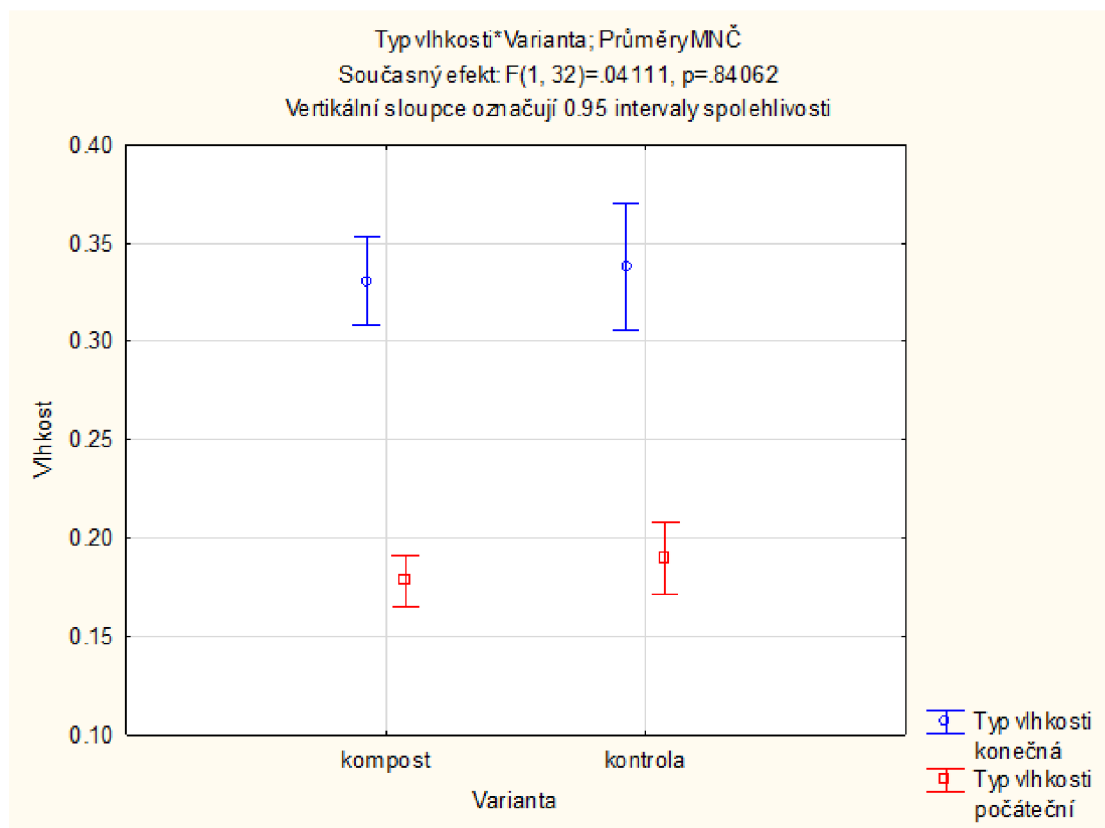
Posledním statistickým vyhodnocením v lokalitě Praha-Uhřetěves bylo stanovení závislosti WSA, řad parcel a druhů využitého kompostu jak je znázorněno na obrázku 25. S pomocí vícefaktorové analýzy vzniká statisticky významná rozdíl mezi typem použitého kompostu a testovanou řadou parcel. V řadě 2 vychází nejlepší výsledek stability agregátů pro oba typy kompostu, a nižší hodnoty WSA pro kontrolní půdu (K). U řady 1 se neprokázal statisticky významný rozdíl mezi vzorky z ošetřené a neošetřené půdy.



Obrázek 25. Závislost WSA kompostu a kontrolní půdy na jednotlivých řadách parcel (autor, 2024).

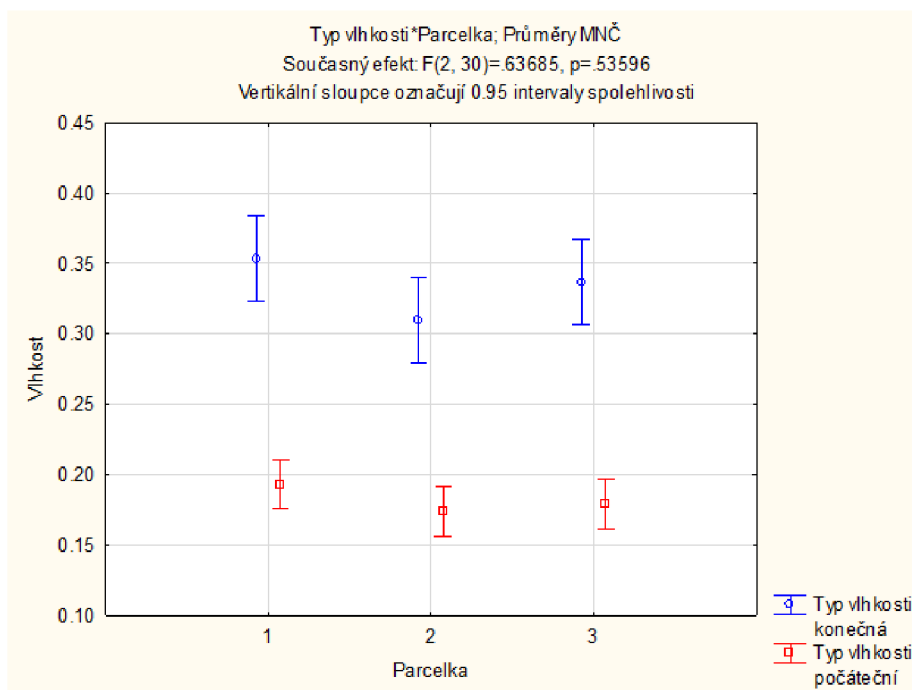
5.2 Půdní vlhkost

Půdní vlhkost byla stanovena v lokalitě U: Praha-Uhřetěves jako doprovodná vlastnost při detailních měřeních hydraulické vodivosti. Měření proběhla vždy před měřením mini diskovým infiltrometrem (počáteční vlhkost) a následně po měření (konečná vlhkost). Statistická analýza vychází z vlhkosti měřené ošetřené a kontrolní půdy v závislosti na počáteční i konečné vlhkosti. Dle hodnoty hladiny významnosti p není statistický rozdíl mezi aplikovaným kompostem a kontrolou průkazný. Při všech konečných měřeních se výsledná vlhkost projevila výrazněji než v případě počátečních měření. Na obrázku 26 pozorujeme mírně sníženou hodnotu vlhkosti na půdě ošetřené kompostem jak pro počáteční, tak i pro konečnou fázi.



Obrázek 26. Závislost vlhkosti na kontrolní a ošetřené půdě (autor, 2024).

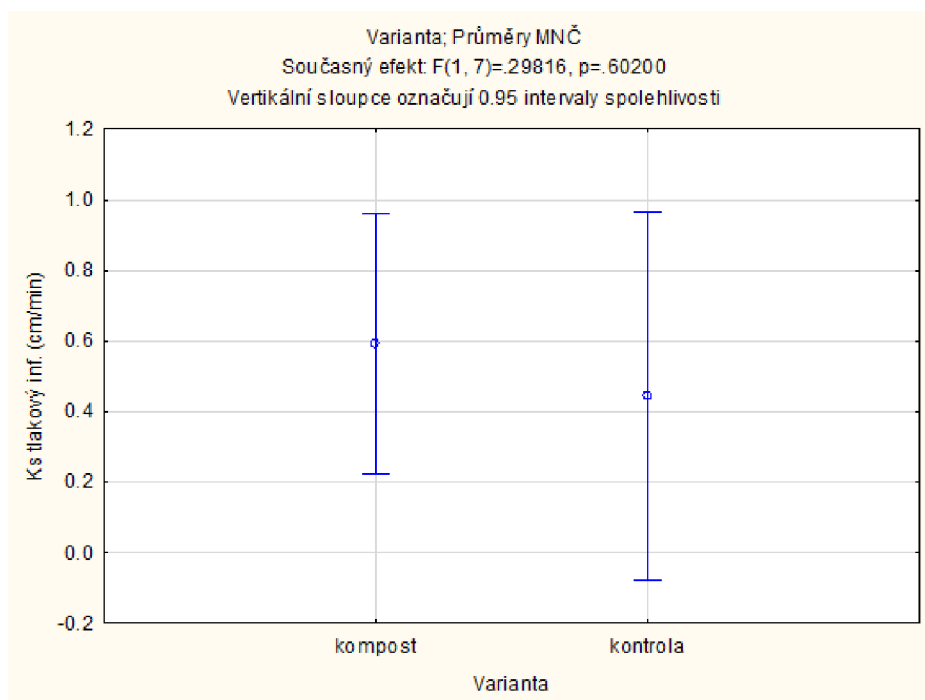
Obrázek 27 dokumentuje, že porovnání vlhkostí půdy pro jednotlivé řady parcel je při požadované hodnotě hladiny významnosti v intervalu $p < 0,05$ statisticky nevýznamné, což je v pořádku. Na všech parcelách je změřená konečná vlhkost vždy vyšší ve srovnání s počátečním stavem.



Obrázek 27. Závislost vlhkosti na kontrolních parcelách (autor, 2024).

5.3 Nasycená hydraulická vodivost

Nasycená hydraulická vodivost byla měřena s pomocí tlakového infiltrometru (Matula a Kozáková, 1997) na parcelkách v Praze-Uhřetěvesi. Z obrázku 28 snadno nahlédneme, že na kompostem ošetřených parcelkách byla dosažena mírně větší nasycená hydraulická vodivost, avšak podle požadované hladiny významnosti $p < 0,05$ to nelze statisticky potvrdit.



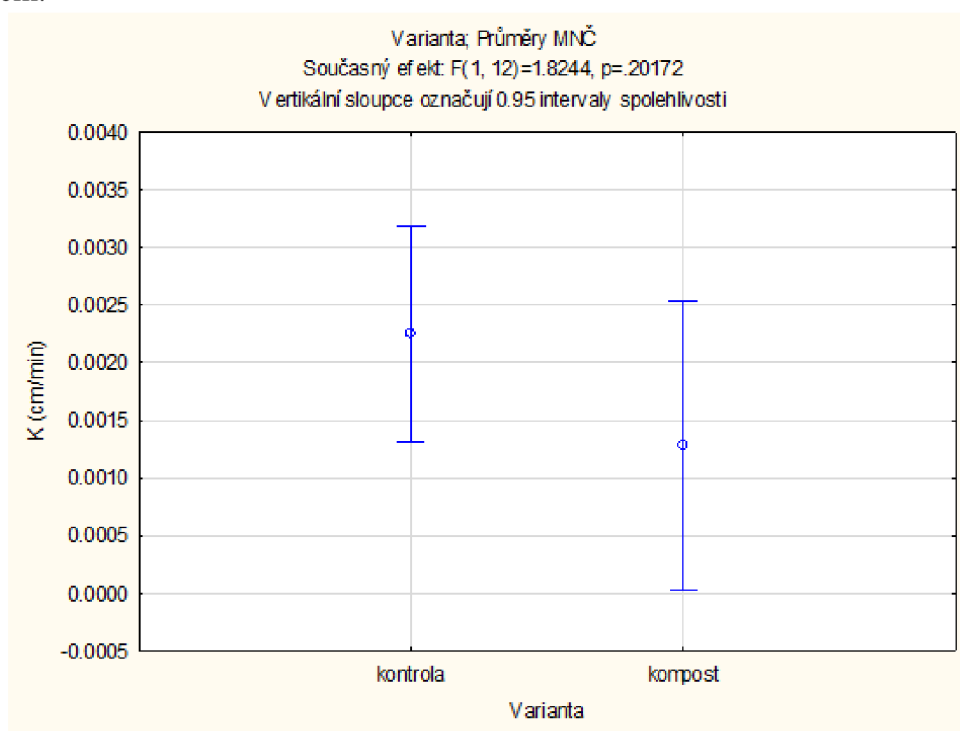
Obrázek 28. Nasycená hydraulická vodivost v závislosti na variantě v lokalitě U: Praha-Uhřetěves (autor, 2024).

Zkoumalo se tak více faktorů, které mohly do značné míry ovlivnit výsledek. Jedním z možných faktorů je, že na parcelách ošetřených kompostem bylo v době měření odhaleno větší množství cest od hlodavců (viz příloha 4), což se mohlo projevit na výsledku měření nasycené hydraulické vodivosti v nepřímo průkazném porovnání.

5.4 Nenasycená hydraulická vodivost

Nenasycená hydraulická vodivost byla měřena in-situ pomocí mini diskového infiltrometru jednotně při tlakové výšce -2 cm. Na lokalitě B byly opět vzhledem k dlouhé vegetační době provedeny dvě série měření, na lokalitách A a U vždy jedna série měření a na lokalitě C se toto měření neprovádělo z důvodů uvedených v předchozí kapitole.

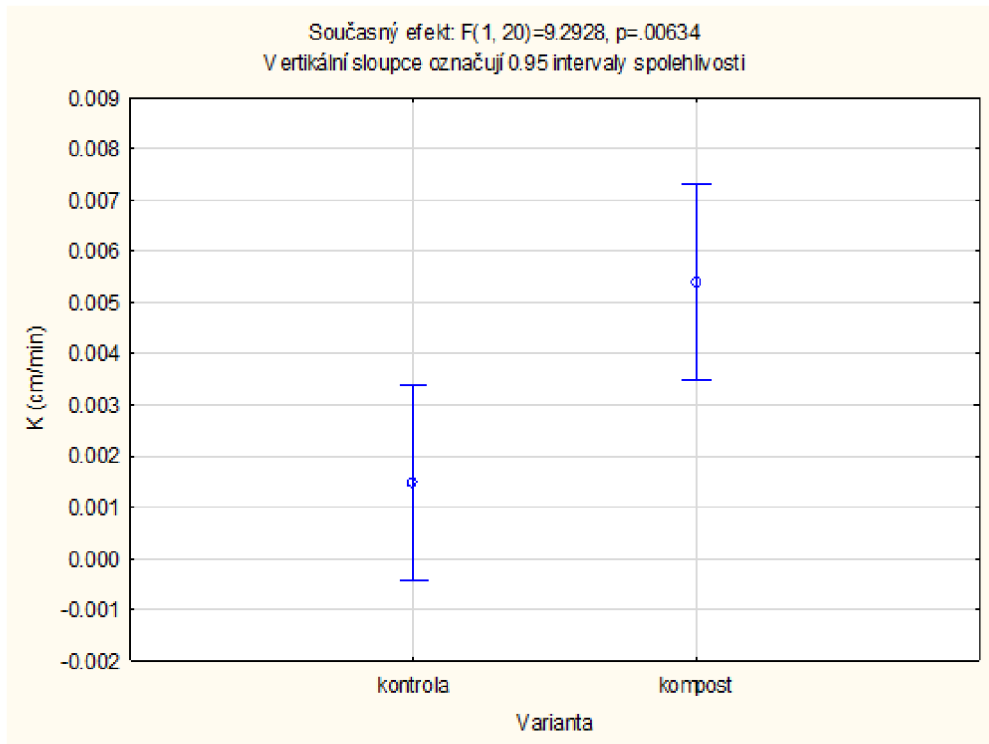
Měření nenasyčené hydraulické vodivosti s mini diskovým infiltrometrem proběhla na lokalitě Blatnice u Jaroměřic. Na obrázku 29 neexistuje statisticky významný rozdíl mezi variantami, avšak kontrolní půda zde dosahuje mírně vyšších hodnot než půda ošetřená kompostem.



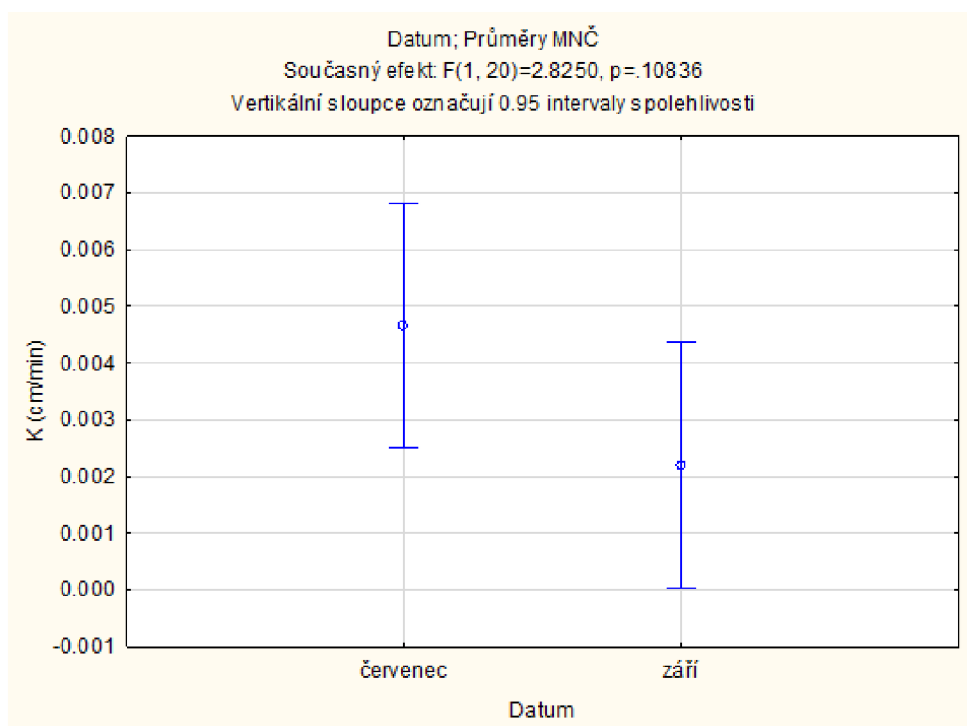
Obrázek 29. Nenasycená hydraulická vodivost – porovnání variant v lokalitě A: Blatnice u Jaroměřic (autor, 2024).

Na obrázku 30 lze pozorovat srovnání mezi ošetřenou a neošetřenou půdou na lokalitě Jevíčko. Existuje statisticky významný rozdíl mezi testovanými variantami. Nenasycená hydraulická vodivost je vyšší na ošetřené půdě ve srovnání s kontrolní.

Půda ošetřená kompostem vykazuje dle jednofaktorové analýzy rozptylu, že kompost dosahuje vyšší hydraulické vodivosti oproti kontrolní půdě. V lokalitě Jevíčko bylo pomocí mini diskového infiltrometru měřena hydraulická vodivost v červenci a v září. Na obrázku 31 sice není statisticky průkazný rozdíl mezi dobou měření. Měření v červenci přesto ukazuje vyšší hydraulickou vodivost. Tento trend lze zdůvodnit tím, že v červenci byla půda méně konsolidovaná než v září.



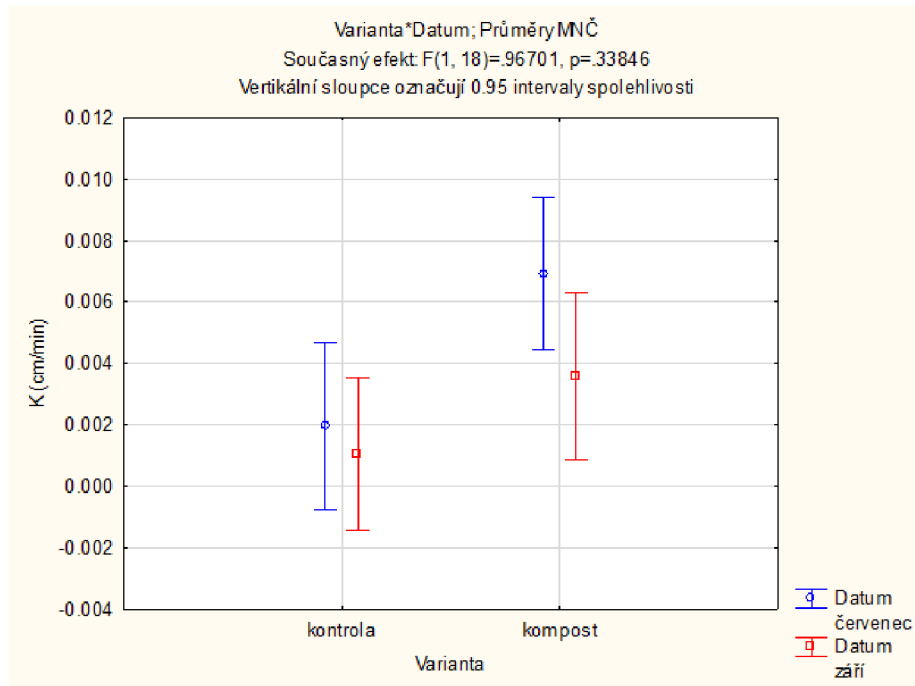
Obrázek 30. Nenasycená hydraulická vodivost – porovnání variant v lokalitě B: Jevičko (autor, 2024).



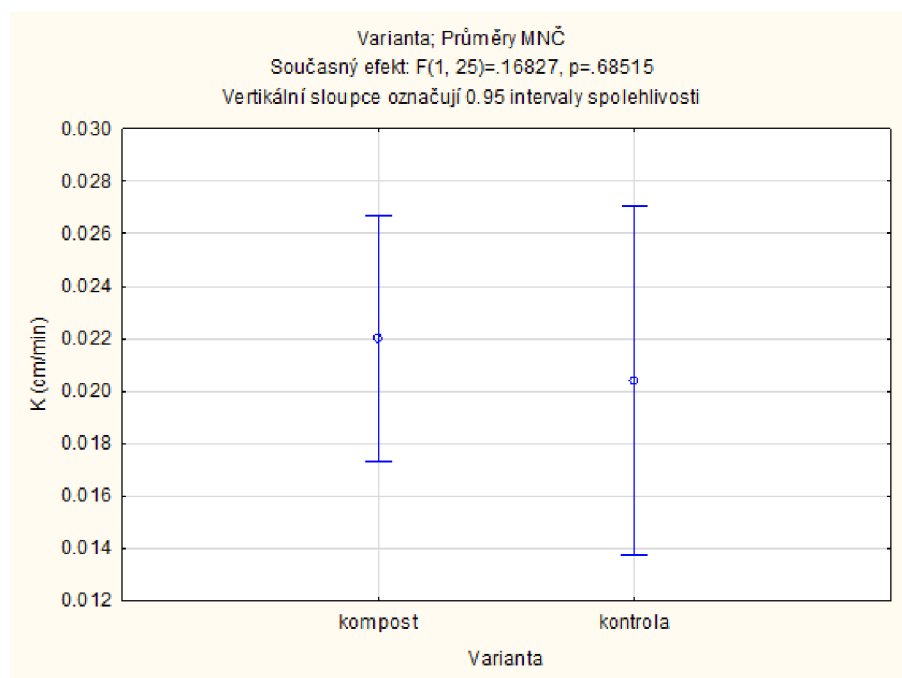
Obrázek 31. Nenasycená hydraulická vodivost – porovnání měření v různém období na lokalitě B: Jevičko (autor, 2024).

Při analýze ANOVA s interakcemi hladina významnosti p neproказuje významný statistický rozdíl mezi zvolenými parametry, jak je vidět na obrázku 32. Při porovnání variant má významně vyšší hydraulickou vodivost půda ošetřená kompostem ($p = 0.0074$).

Na lokalitě Uhřetěves nebyl potvrzen statisticky významný rozdíl mezi kompostem ošetřenou a kontrolní půdou, což je demonstrováno na obrázku 33 (jednofaktorová analýza rozptylu). Další provedená statistická vyhodnocení neprokázala žádný významný rozdíl.



Obrázek 32. Nenasycená hydraulická vodivost závislá na interakcích mezi variantou a dobou odběru na lokalitě B: Jevíčko (autor, 2024).



Obrázek 33. Nenasycená hydraulická vodivost porovnání variant na lokalitě U: Praha – Uhřetěves (autor, 2024).

6 Diskuze

Při povrchové aplikaci kompostu je snaha dosáhnout zlepšení fyzikálních vlastností půdy. Mezi ně řadíme mj. stabilitu půdních agregátů, hydraulickou vodivost a půdní vlhkost. Tyto vlastnosti jsou nesmírně důležité pro dosažení a udržení zdravé produktivní půdy. Hypotéza, která byla definovaná na začátku práce, vycházela z předchozích poznatků (Sayara et al., 2020), že organický materiál obsažený v kompostu bude působit příznivě na kvalitu půdy jako půdní stabilizátor, jež ovlivní fyzikální vlastnosti půdy, a to i při formě aplikace jako mulče, tedy bez zapravení. Výsledky získanými v průběhu práce je možné tuto hypotézu potvrdit.

Vyhodnocení výsledků stability půdních agregátů stanovených metodou mokrého prosévání v této studii vycházejí z posouzení indexu vodní stability (WSA), jež je uváděna jako bezrozměrná hodnota oscilující v rozmezí 0–1. Hodnoty WSA blíží se k 1 znamenají lepší stabilitu půdních agregátů. Získaná data z lokalit A, B, U dosahují vyšších hodnot WSA na variantě ošetřené kompostem ve srovnání s kontrolní půdou. Aplikace kompostového mulče na povrch půdy může vést k pozitivnímu nárůstu stability půdních agregátů, jak potvrzuje i studie Zhanga et al. (2014), kde aplikace slámového mulče zvýšila stabilitu půdních agregátů, což zároveň zlepšilo fyzikální kvalitu půdy. Studie autorů Schnee et al. (2021) zjistila že aplikace kompostu zlepšuje objemovou hmotnost a hydraulickou vodivost půdy. Závěrem studie bylo zjištění, že i jednorázová aplikace kompostu vykazuje pozitivní změny na půdní agregaci v důsledku zlepšení mikrobiální aktivity půdy. V době odběru porušených vzorků pro stanovení stability půdních agregátů v lokalitách B: Jevíčko, C: Velké Hostěrádky a U: Praha – Uhřetěves, byly opticky viditelně větší žízy na půdách ošetřených kompostem oproti kontrolním. (Nicméně toto pozorování nebylo doloženo vědeckým zkoumáním.) Lapiéd et al. (2009) ve své studii prezentují, že při aplikaci organické hmoty na půdu se zvyšuje bioturbační činnost žížal, jež svým působením ovlivňují stabilitu agregátů. Aplikace kompostu či mulče obsahujícího organický materiál vede ke zvýšené biologické aktivitě, jak se shodují i Lapiéd et al. (2009) a také Adugna (2016), kteří uvádějí, že agregační proces a stabilita vytvořených agregátů se zlepšila na základě dodání kompostu do půdy. Jedním z nejdůležitějších faktorů pro dosažení vyšší stability půdních agregátů je zvolený vstupní organický materiál. Stabilita agregátů je závislá na rozkladu organické hmoty, například čerstvé zelené hnojení je schopno vyvolat během prvního měsíce aplikace pozitivní účinek na stabilitu agregátů; naopak zralý kompost dosahuje vyšších účinků v dlouhodobém časovém měřítku (Paradelo et al., 2019). Na obrázku 33 je vidět odebraný neporušený vzorek z ošetřené půdy kompostem. Na spodní části odebraného vzorku je žížala, u níž si můžeme všimnout vzniklých bioturbačních změn v půdě.

Hodnoty WSA pro půdu ošetřenou kompostem v celé experimentální studii diplomové práce vycházejí nejlépe v lokalitě A: Blatnice u Jaroměřic. Půdní vzorky z této lokality byly odebrány dvakrát během vegetační sezóny. Vzorky odebrané v měsíci července byly podrobeny analýze na přístroji určenému k mokrému prosévání, jejich průměrná hodnota WSA dosáhla 0,95. Na Obrázek 16 v kap. č. 5.1 je viditelný nárůst stability půdních agregátů na půdě ošetřené kompostem ve srovnání s kontrolní. Průměrné hodnoty WSA pro ošetřenou půdu kompostem vzrostly mezi odběry ve vegetační sezóně skoro o 70 %, jež je zdokumentováno i v Tabulka 10. Vzrůstající stabilita půdních agregátů je žádoucí, jelikož hodnoty WSA blíží se 1 deklarují vyšší stabilitu půdních agregátů. Aplikovaný kompost na půdě tak slouží jako skvělý zdroj

organických látek, jež vedou ke zvýšení stability půdních agregátů. Studie Abiven et al. (2009) dokazuje, že vstupní materiál obsahující dostatečné množství organických látek snižuje pravděpodobnost rozpadu půdních agregátů, a to kvůli zvýšené hydrofobicitě půdy. Stabilní půdní agregáty jsou jednou z klíčových vlastností, jimiž definujeme například odolnost vůči degradačním procesům. Hlavním negativním procesem může být vodní eroze, která z velké míry přispívá k rozpadu půdních agregátů (Royer et al., 2024). Naopak studie Zhou et al. (2017) zjistila, že využívání vyššího množství chemických hnojiv vedlo ke snížení stability půdních agregátů.

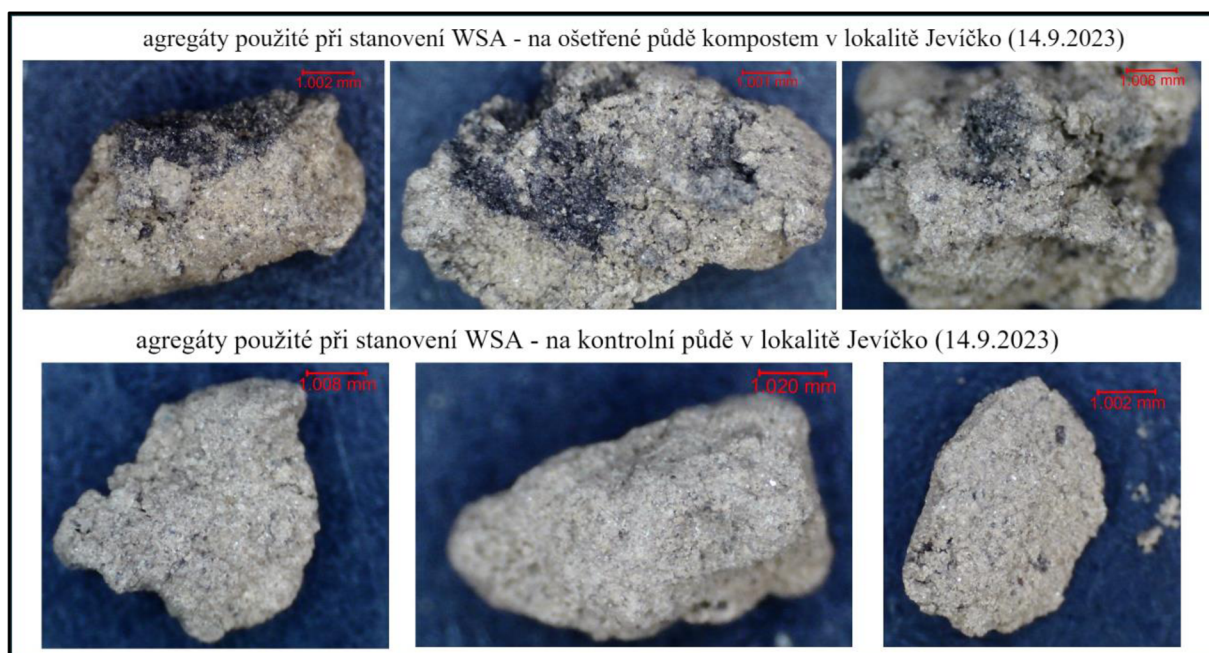


Obrázek 34. Bioturbační změny na spodní části odebraného neporušeného vzorku (foto: Miháliková, 2023)

V lokalitě B: Jevíčko vyšel statisticky významný rozdíl mezi ošetřenou půdou a kontrolou. Na této lokalitě bylo dle projektu QK22020032 aplikováno jednorázově 200 t/ha, což je mnohonásobně vyšší aplikační dávka na 1 ha, než je v odborných literaturách doporučováno. Například pro aplikaci chlévské mrvy či kompostu z pohledu protierozního opatření je dle Novotného et al. (2017) doporučená dávka v rozmezí 20-50 t/ha. U půd erozně ohrožených může být však tato aplikační dávka navýšena. Aplikace kompostu na lokalitě Jevíčko proběhla brzy na jaře v r. 2022, zatímco vzorky v této práci byly odebrány v r. 2023. Aplikovaný mulčový kompost na základě získaných výsledků z lokality Jevíčko dokazuje vyšší stabilitu půdních agregátů na ošetřené půdě ve srovnání s kontrolou. Tento výsledek tak podporuje fakt, že ošetřená půda zabraňuje vlivům vodní eroze, která svým působením snižuje schopnost agregace. Zamezením působení vodní eroze tak zmenšujeme pravděpodobnost snížení obsahu živin a humusových látek obsažených v půdě (Novotný et al., 2017).

V lokalitě Jevíčko byly během vegetační sezóny 2023 provedeny odběry v květnu, červenci a v září. Byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými odběry. Nejvyšší

stabilita půdních agregátů byla dosažena v červenci. Rozdíl mezi odběry v květnu a září jsou minimální, avšak jsou nižší oproti odběrům v červenci. Tento rozdíl může být způsoben rozdílnými vlhkostními podmínkami během sezóny. Zjištěnými výsledky odběrů v průběhu vegetační sezóny byly vzorky odebrané z ošetřené půdy vždy výrazně vyšší ve stabilitě půdních agregátů oproti kontrole. Z těchto výsledků tak lze potvrdit, že v průběhu celé vegetační sezóny se díky aplikovanému kompostu v podobně mulče zlepšila půdní struktura, která nedílně souvisí se stabilitou půdních agregátů. Studie autorů Bronick a Lal (2005) zjistila, že vstupní materiál obsahující organický uhlík vede ke zlepšení půdní struktury z důvodu stabilizace uhlíku v půdních agregátech. Toto tvrzení potvrzují i autoři Abiven et al. (2009), kteří prokázali, že mezi hlavní faktory, jež ovlivňují stabilitu půdních agregátů, patří struktura půdy a obsah organické hmoty. Před aplikací kompostu na pozemky určené pro polní experiment byl pečlivě vybrán kompost, který musel splňovat přísná kritéria zralosti a stability. Kompost aplikovaný na experimentální pozemek v Jevičku vykazoval pozitivní hodnoty zralosti a stability (Badalíková et al., 2022). Tyto splněné parametry tak zvýšily pravděpodobnost úspěšných výsledků stability půdních agregátů, stejně tak použitá vysoká dávka kompostu. Autoři Abiven et al. (2009) testovali stabilitu půdních agregátů v souvislosti s aplikovaným kompostem s rozdílnými hodnotami zralosti, které prokázaly, že vyšší stupeň zralosti kompostu vedl k vyšším hodnotám WSA. Na obrázku 35 jsou zdokumentovány rozdílné půdní agregáty, které byly použité při stanovení WSA. Agregáty na ošetřené půdě v sobě mají inkorporovanou organickou hmotu aplikovaného kompostu, což se projevuje tmavým zabarvením.



Obrázek 35. Porovnání agregátů odebraných z ošetřené a kontrolní půdy v lokalitě B: Jevičko (foto: Recep Serdar Kara, 2024).

Při stanovení stability půdních agregátů mezi ošetřenou a kontrolní půdou v lokalitě C: Velké Hostěrádky vyšel výsledek ve prospěch kontrolní půdy ve srovnání s ošetřenou kompostem. Na této lokalitě došlo k odběrům vzorků pouze v květnu, protože později byl

experiment na testovaném pozemku z důvodu agrotechnických chyb ukončen. Vlivem špatného sklonu testované parcely došlo vodní erozí k odplavení části kontrolní půdy, která překryla část ošetřené, jež se mohlo projevit i ve výsledků analýzy stability půdních agregátů. Byl zde očekávaný pozitivní výsledek ve stabilitě půdních agregátů, jelikož zvolený kompost splňoval výborné hodnoty zralosti a stability jako tomu bylo v přechozí lokalitě B: Jevíčko.

Na poslední testované lokalitě U: Praha-Uhřetěves byly během vegetační sezóny odebrány porušené půdní vzorky v květnu a srpnu. Mezi oběma odběry vzorků nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl, jak je zdokumentováno na Obrázek 24. Pro stabilitu půdních agregátů v obou měsících vyšel statisticky významný rozdíl mezi kompostem ošetřenou půdou a kontrolní. Parcely v lokalitě C: Praha-Uhřetěves byly navrženy o rozloze 10 m², tudíž zde byly některé agrotechnické zásahy prováděny manuálně (např. aplikace kompostu). Dalším předmět zkoumání bylo, zda existuje rozdíl v použitém aplikovaném kompostu na půdu ve srovnání s kontrolou. Byly použity dva druhy kompostu pocházejících z kompostáren v lokalitách A: Blatnice u Jaroměřic a C: Velké Hostěradky. Podle zprávy z projektu QK22020032 od Badalíkové et al. (2022) vychází pro komposty rovný poměr C/N a dobrá hodnota zralosti. Na Obrázek 23 vychází lepší stabilita půdních agregátů u použitého kompostu A. U testovaného kompostu pocházejícího z lokality C aplikovaného na parcelu nevyšel statisticky významný rozdíl oproti kontrolní půdě. Výsledek aplikovaného kompostu C mohl být ovlivněn předchozími pokusy na tomto pozemku, krátkou dobou aplikovaného kompostu mezi odběry vzorků, a nebo nižší dávkou kompostu. Pro dosažení rychlého pozitivního účinku aplikace kompostu pro účely experimentu by bylo vzhledem k dalším fyzikálním vlastnostem půdy (zrnitostně těžší půda) vhodné dávkou kompostu navýšit. Aplikované hnojivo ve formě kompostu se může projevit až v delším časovém horizontu z důvodu pomalého uvolňování živin (Sayara et al., 2020). Například autoři studie Bouajila a Sanaa (2011) dospěli k závěru, že zlepšení stability půdních agregátů v polním experimentu bylo dosaženo až při dávce 120 t/ha kompostu.

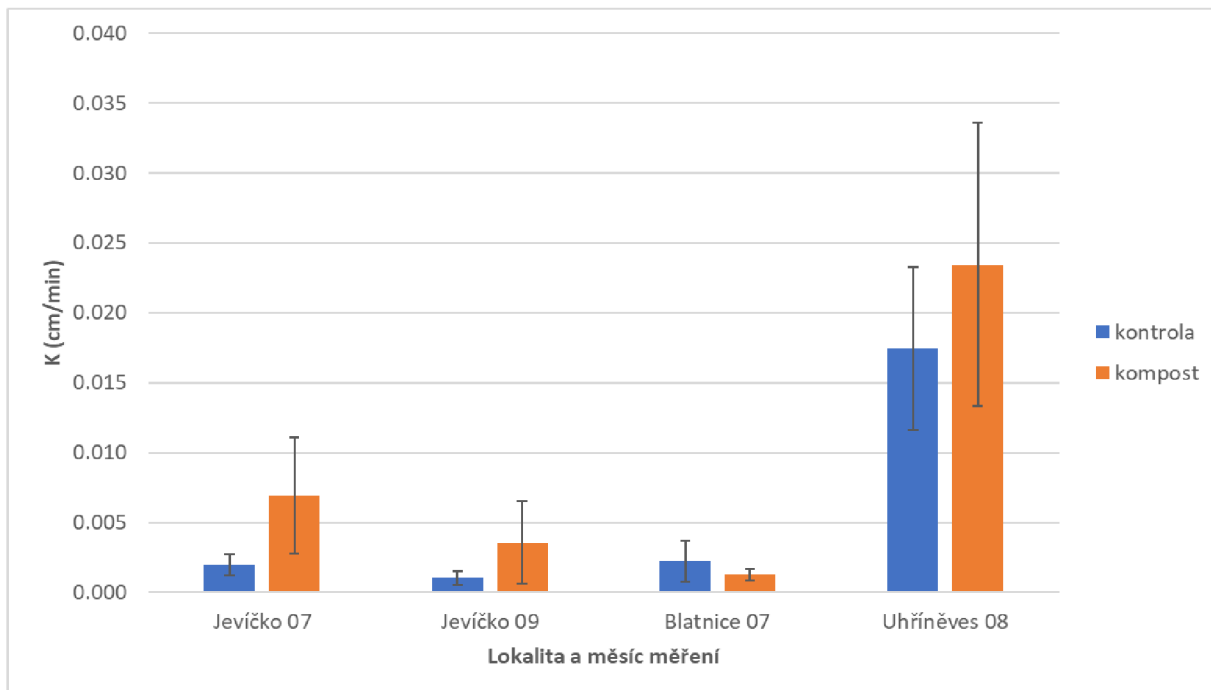
Půdní vlhkost byla stanovena v lokalitě U: Praha-Uhřetěves jako doprovodná vlastnost při detailních měřeních hydraulické vodivosti. Hlavním cílem zjištění bylo, zda aplikovaný kompost ve formě mulče bude mít významný podíl na zvýšení půdní vlhkosti ve srovnání s kontrolou. V porovnání mezi ošetřenou a kontrolní půdou se však neprojevil statisticky významný rozdíl. Neprůkazný rozdíl mezi ošetřenou a kontrolní půdou může být způsoben nižší dávkou aplikovaného kompostu. Aplikovaný kompost dodává do půdy organickou hmotu, která má zásadní vliv na fyzikální, chemické a biologické aspekty půdy, jež působí jako zdroj potravy pro půdní biotu a stabilizuje vodní poměry (Larkin, 2020). Autoři Cox et al. (2021) zjistili, že povrchově aplikovaný biouhel a kompost ve formě mulče dodal postupem času mineralizované živiny rostlinným kořenům. Dle studie Zemánka a Burga (2009) vychází, že při zapraveném kompostu do půdy byla půdní vlhkost vyšší o 15 až 20 % ve srovnání s kontrolou, ale pouze pro vyšší dávku a tou bylo 100 t/ha.

Nasyčená hydraulická vodivost byla měřena tlakovým infiltrometrem (Matula a Kozáková, 1997) pouze na polním experimentu v lokalitě U: Praha-Uhřetěves z důvodu časové náročnosti měření. Studie autorů Cogger et al. (2008) zjistila, že aplikace kompostu jako povrchového mulče, který není zapraven do půdy, vede k lepší kvalitě půdního podkladu.

Zároveň autoři Oliveira a Merwin (2001) prezentují ve svých výsledcích, že aplikace mulče vedla ke snížení objemové hmotnosti půdy a ke zvýšení infiltrace vody do půdy i půdní pórovitosti. Autoři Cogger et al. (2008) dále ve studii zmiňují, že povrchově aplikovaný kompost dosáhl stejných výsledků na rychlost infiltrace jako u kompostu, který byl zapracován. Tento výsledek se odvíjel od doby působení aplikovaného kompostu ve formě mulče na půdě. Pozitivní výsledky se ukázaly po 3 letech aplikace kompostu na povrch půdy. Neprůkazný rozdíl mezi ošetřenou a kontrolní půdou může tedy souviset s nedostatečnou dávkou a dobou působení aplikovaného kompostu. Další z možných faktorů, který se mohl negativně projevit na výsledku, bylo v lokalitě U: Praha-Uhřetěves viditelné množství cest od hlodavců (viz příloha 4).

Hydraulická vodivost blízko nasycení (při tlakové výšce -2 cm) byla stanovena mini diskovým infiltrometrem (METER Group, Inc.) na lokalitách A, B a U, přičemž na lokalitě B: Jevíčko proběhlo měření dvakrát. Při obou měřeních v Jevíčku byla nenasyčená hydraulická vodivost statisticky průkazně vyšší u ošetřené varianty. Na lokalitě Uhřetěves vycházela nenasyčená hydraulická vodivost taktéž mírně vyšší na ošetřené variantě, avšak statisticky neprůkazně, což je v souladu s dosaženými hodnotami nasycené hydraulické vodivosti i posouzení stability agregátů. Na této lokalitě také vycházely nejvyšší hodnoty při absolutním srovnání všech lokalit (viz Obrázek 36). Naopak na lokalitě Blatnice byly naměřeny hodnoty bez významného statistického rozdílu, přičemž trend je opačný, vyšší hodnoty vycházejí na kontrolní variantě.

Na hodnotu nenasyčené hydraulické vodivosti má vliv celá řada faktorů, např. počáteční vlhkost (Matula et al., 2015) nebo agrotechnické postupy (Bátková et al., 2020). Vodivost měřená u nenasyčených půd vždy závisí na její struktuře a textuře. V případě kdy je půdní profil nenasyčený je určitá část půdních pórů vyplněna vzduchem a tudíž hydraulická vodivost klesá (Matula et al., 2015).



Obrázek 36. Porovnání průměrných hodnot nenasycené hydraulické vodivosti pro všechny lokality (úsečky jsou směrodatné odchylky; autor, 2024).

7 Závěr

Diplomová práce se zabývá studiem vlivu aplikace kompostu na půdu bez zapravení. Byly sledovány zejména tyto půdní vlastnosti: stabilita agregátů a nenasycená hydraulická vodivost. Na základě výsledků získaných v průběhu experimentálních měření na čtyřech lokalitách lze konstatovat, že tato aplikace měla pozitivní vliv na půdu. Ačkoliv výsledky při vzájemném porovnání všech lokalit a získaných hodnot nejsou vždy jednoznačné, lze prokázat trend, kdy stabilní kompost aplikovaný formou mulče zvyšuje stabilitu půdních agregátů a zlepšuje hydraulickou vodivost půdy. Z literatury vyplývá, že stabilní kompost pozitivně působí na fyzikální vlastnosti půdy v delším časovém horizontu, což nebylo možné postihnout v rámci této diplomové práce.

Cílem této práce bylo zjištění, zda aplikovaný kompost ve formě mulče zlepší stabilitu půdních agregátů tím, že podpoří jejich pevnější spojení. Ty pak budou lépe odolávat účinkům eroze a celkově se i zlepší struktura půdy. Výsledky v kapitole stabilita půdních agregátů potvrzují, že aplikace kompostu ve formě mulče vedla vždy k vyšší stabilitě půdních agregátů, ve srovnání s kontrolní půdou, vyjma výsledků z lokality C: Velké Hostěradky, kvůli agrotechnickým chybám. Dnes je již obecně známo, že odborná literatura zabývající se stabilitou půdních agregátů v souvislosti se zapraveným kompostem do půdy potvrzuje, že dodaný kompost pozitivně zvyšuje jejich stabilitu. Postup aplikace kompostu na povrch půdy není všeobecně rozšířen, proto není k dispozici mnoho odborné literatury k tomuto tématu. Nicméně, výsledky z této studie zabývající se aplikací kompostu bez zapravení jsou v souladu s odbornou literaturou. Tato práce tak svými poznatky přispívá k lepšímu poznání tématu. Cíle práce byly splněny. Je možné doporučit dlouhodobější sledování zvolených lokalit pro plné projevení účinků aplikace stabilního kompostu na povrch bez zapravení.

8 Literatura

- Abiven, S., Menasseri, S., Chenu, C. 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis. *Soil Biology and Biochemistry*. vol. 41, no. 1, s. 1-12. ISSN 00380717. DOI: 10.1016/j.soilbio.2008.09.015.
- Adugna, G. 2016. A review on impact of compost on soil properties, water use and crop productivity. *Acad. Res. J. Agric. Sci. Res.*, s. 93–104. DOI: 10.14662/ARJASR2016.010
- Aguilar-Paredes, A., Valdés, G., Araneda, N., Valdebenito, E., Hansen, F., Nuti, M. 2023. Microbial Community in the Composting Process and Its Positive Impact on the Soil Biota in Sustainable Agriculture. *Agronomy*, vol. 13, no. 2. ISSN 2073-4395. DOI:10.3390/agronomy13020542.
- Ahmad, S., Mas, R., Saleem, M. F., Zaheer, M. S., Iqbal, R., Haider, I., Aslam, M., Ali, M., Khan, I. H. 2020. Significance of partial root zone drying and mulches for water saving and weed suppression in wheat. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, vol. 30, no. 1. ISSN 10187081. DOI: 10.36899/JAPS.2020.1.0018.
- Aina Najwa Mohd Nor Azman, N., Inderakusumowati Md Khalid, P., Aishah Saidina Amin, N., Yamani Zakaria, Z., Mohammad Zainol, M., Ilham, Z., Phaiboonsilpa, N., Asmadi, M. 2023. Effects of biochar, compost, and composted biochar soil amendments on okra plant growth. *Materials Today: Proceedings*. ISSN 22147853. DOI: 10.1016/j.matpr.2023.08.017.
- Akhtar, K., Wang, W., Ren, G., Khan, A., Feng, Y., Yang, G. 2018. Changes in soil enzymes, soil properties, and maize crop productivity under wheat straw mulching in Guanzhong, China. *Soil and Tillage Research*, vol. 182, s. 94-102. ISSN 01671987. DOI: 10.1016/j.still.2018.05.007.
- Alameda, D., Villar, R., Iriondo, J. M. 2012. Spatial pattern of soil compaction: Trees' footprint on soil physical properties. *Forest Ecology and Management*, vol. 283, s. 128-137. ISSN 03781127. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.07.018.
- Aldas-Vargas, A., Poursat, B. A. J., Sutton, N. B. 2022. Potential and limitations for monitoring of pesticide biodegradation at trace concentrations in water and soil. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 38, no. 12. ISSN 0959-3993. DOI: 10.1007/s11274-022-03426-x.
- Almajmaie, A., Hardie, M., Acuna, T., Birch, C. 2017. Evaluation of methods for determining soil aggregate stability. *Soil and Tillage Research*, vol. 167, s. 39-45. ISSN 01671987. DOI: 10.1016/j.still.2016.11.003.
- Al-Maliki, S., Ebreesum, H. 2020. Changes in soil carbon mineralization, soil microbes, roots density and soil structure following the application of the arbuscular mycorrhizal fungi and green algae in the arid saline soil. *Rhizosphere*, vol. 14. ISSN 24522198. DOI: 10.1016/j.rhisph.2020.100203.

- Al-Omran, A., Ibrahim, A., Alharbi, A. 2021. Effects of Biochar and Compost on Soil Physical Quality Indices. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 52, no. 20, s. 2482-2499. ISSN 0010-3624. DOI: 10.1080/00103624.2021.1949461.
- Azim, K., Soudi, B., Boukhari, S., Perissol, C., Roussos, S., Thami Alami, I. 2018. Composting parameters and compost quality: a literature review. *Organic Agriculture*, vol. 8, no. 2, s. 141-158. ISSN 1879-4238. DOI: 10.1007/s13165-017-0180-z.
- Baćmaga, M., Wyszowska, J., Borowik, A., Kucharski, J. 2023. Bacteria, Fungi, and Enzymes in Soil Treated with Sulcotrione and Terbutylazine. *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 24, no. 19. ISSN 1422-0067. DOI: 10.3390/ijms241914469.
- Badalíková, B., Burg, P., Dvořák, P., Plíva, P., et al. 2022. Analýza a úpravy aplikačních schémat kompostů směřujících k posílení systému ochrany půdy v rámci stabilizace produkční schopnosti. Výroční zpráva projektu č. QK22020032. QK – Program aplikovaného výzkumu Ministerstva zemědělství na období 2017–2025, ZEMĚ.
- Badalíková, B., Burg, P., Dvořák, P., Plíva, P., et al. 2023. Analýza a úpravy aplikačních schémat kompostů směřujících k posílení systému ochrany půdy v rámci stabilizace produkční schopnosti. Výroční zpráva projektu č. QK22020032. QK – Program aplikovaného výzkumu Ministerstva zemědělství na období 2017–2025, ZEMĚ.
- Bát'ková, K., Matula, S., Miháliková, M. 2013. Multimediální učebnice hydropedologických terénních měření. 2. doplněné vydání. Česká verze. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. Nestránkováno. Dostupné z: <http://hydropedologie.agrobiologie.cz>. ISBN: 978-80-213-2434-3. [cit. 2024-01-21].
- Bát'ková, K., Miháliková, M., Matula, S. 2020. Hydraulic Properties of a Cultivated Soil in Temperate Continental Climate Determined by Mini Disk Infiltrimeter. *Water*, vol. 12, no. 3. ISSN 2073-4441. DOI: 10.3390/w12030843.
- Bhattarai, R., Kalita, P. K., Yatsu, S., Howard, H. R., Svendsen, N. G. 2011 Evaluation of compost blankets for erosion control from disturbed lands. *Journal of Environmental Management*, vol. 92, no. 3, s. 803-812. ISSN 03014797. DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.10.028.
- Blanco-Canqui, H. 2017. Biochar and Soil Physical Properties. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 81, no. 4, s. 687-711. ISSN 03615995. DOI: 10.2136/sssaj2017.01.0017.
- Bouajila, K., Sanaa, M. 2011. Effects of organic amendments on soil physico-chemical and biological properties. *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 2, s. 485-490.
- Bronick, C.J., Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*. vol. 124, no. 1-2, s. 3-22. ISSN 00167061. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.03.005.
- Burg, P., Čížková, A., Mašán, V., Sedlar, A., Matwijczuk, A., Souček, J. 2022. The Effect of Mulch Materials on Selected Soil Properties, Yield and Grape Quality in Vineyards under Central European Conditions. *Agronomy*, vol. 12, no. 8. ISSN 2073-4395. DOI: 10.3390/agronomy12081862.

- Callaham, M. A., Stanturf, J. A. 2021. Soil ecology and restoration science. In: *Soils and Landscape Restoration*. Elsevier, s. 39-62. ISBN 9780128131930. DOI: 10.1016/B978-0-12-813193-0.00002-3.
- Cogger, C., Hummel, R., Hart, J., Bary, A. 2008. Soil and Redosier Dogwood Response to Incorporated and Surface-applied Compost. *HortScience*, vol.43, no. 7, s. 2143-2150. ISSN 0018-5345. DOI: 10.21273/HORTSCI.43.7.2143.
- Cornu, S., Keesstra, S., Bispo, A., Fantappie, M., van Egmond, F., Smreczak, B., Wawer, R., Pavlů, L., Sobocká, J., Bakacsi, Z., Farkas-Iványi, K., Molnár, S., Møller, A. B., Madenoglu, S., Feiziene, D., Oorts, K., Schneider, F., da Conceição Gonçalves, M., Mano, R., et al. 2023. National soil data in EU countries, where do we stand?. *European Journal of Soil Science*, vol. 74, no. 4. ISSN 1351-0754.
- Cox, J., Hue, N. V., Ahmad, A., Kobayashi, K. D. 2021. Surface-applied or incorporated biochar and compost combination improves soil fertility, Chinese cabbage, and papaya biomass. *Biochar*, vol. 3, no. 2, s. 213-227. ISSN 2524-7972. DOI: 10.1007/s42773-020-00081-z.
- ČSN 46 5735. 2020. Kompostování. Praha: Česká agentura pro standardizaci. s. 24. Třídící znak 46 5735.
- Delta-T Devices Ltd. 1999. *ThetaProbe SOIL MOISTURE SENSOR Type ML2x*. 128 Low Road, Burwell, Cambridge, CB5 0EJ. England. s. 23. User's manual.
- El-Beltagi, H. S., Basit, A., Mohamed, H. I., Ali, I., Ullah, S., Kamel, E. A. R., Shalaby, T. A., Ramadan, K. M. A., Alkhateeb, A. A., Ghazzawy, H. S. 2022. Mulching as a Sustainable Water and Soil Saving Practice in Agriculture: A Review. *Agronomy*, vol. 12, no. 8. ISSN 2073-4395. DOI: 10.3390/agronomy12081881.
- Elrick, D.E., Reynolds, W.D. 1989. Water Flux Components and their measurements. Proc. App. Soil Physics in Stress Environments. Jan. s. 22-26 NARC. Islamabad, Pakistan.
- Elrick, D.E., Reynolds, W.D. 1992. Methods for analysing constant head well permeameter data. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 56, s. 309-312.
- Fan, D., Jia, G., Wang, Y., Yu, X. 2023. The effectiveness of mulching practices on water erosion control: A global meta-analysis. *Geoderma*, vol. 438. ISSN 00167061. DOI: 10.1016/j.geoderma.2023.116643.
- Fan, L., Zhao, T., Tarin, M. W. K., Han, Y., Hu, W., Rong, J., He, T., Zheng, Y. 2021. Effect of Various Mulch Materials on Chemical Properties of Soil, Leaves and Shoot Characteristics in *Dendrocalamus Latiflorus* Munro Forests. *Plants*, vol. 10, no. 11. ISSN 2223-7747. DOI: 10.3390/plants10112302.
- Gajalakshmi, S., Abbasi, S. A. 2008. Solid Waste Management by Composting: State of the Art. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 38, no. 5, s. 311-400. ISSN 1064-3389. DOI: 10.1080/10643380701413633.

- Gheshm, R., Brown, R. N. 2018. Organic Mulch Effects on High Tunnel Lettuce in Southern New England. *HortTechnology*. vol. 28, no. 4, s. 485-491. ISSN 1063-0198. DOI: 10.21273/HORTTECH04056-18.
- Gheshm, R., Brown, R. N. 2020. Compost and Black Polyethylene Mulches Improve Spring Production of Romaine Lettuce in Southern New England. *HortTechnology*. vol. 30, no. 4, s. 510-518. ISSN 1063-0198. DOI: 10.21273/HORTTECH04594-20.
- Goyal, S., Dhull, S., Kapoor, K. 2005. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology*, vol. 96, no. 14, s. 1584-1591. ISSN 09608524. DOI: 10.1016/j.biortech.2004.12.012.
- Gupta, A., Singh, U. B., Sahu, P. K., Paul, S., Kumar, A., Malviya, D., Singh, S., Kuppusamy, P., Singh, P., Paul, D., Rai, J. P., Singh, H. V., Manna, M. C., Crusberg, T. C., Kumar, A., Saxena, A. K. 2022. Linking Soil Microbial Diversity to Modern Agriculture Practices: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol 19, no. 5. ISSN 1660-4601. DOI: 10.3390/ijerph19053141.
- Hanc, A., Dume, B., Hrebeckova, T. 2022. Differences of Enzymatic Activity During Composting and Vermicomposting of Sewage Sludge Mixed With Straw Pellets. *Frontiers in Microbiology*. vol. 12. ISSN 1664-302X. DOI: 10.3389/fmicb.2021.801107.
- Hamza, M. A., Anderson, W. K. 2005. Soil compaction in cropping systems. *Soil and Tillage Research*, vol. 82, no. 2, s. 121-145. ISSN 01671987. DOI: 10.1016/j.still.2004.08.009.
- Hejátková, K., et al. 2007. *Kompostování přebytečné travní biomasy: metodická pomůcka*. Náměšť nad Oslavou: ZERA - Zemědělská a ekologická regionální agentura. s. 80. ISBN 80–903548–6–6.
- Hejátková, K. 2023. Udržitelné zemědělství díky kompostování. *Biom*, roč. 27, č. 3, s. 14-15. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <https://www.czbiom.cz/wp-content/uploads/casopis-Biom-2023-03-29.10-web.pdf>
- Ho, T. T. K., Tra, V. T., Le, T. H., Nguyen, N. -K. -Q., Tran, C. -S., Nguyen, P. -T., Vo, T. -D. -H., Thai, V. -N., Bui, X. -T. 2022. Compost to improve sustainable soil cultivation and crop productivity. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 6. ISSN 26660164. DOI: 10.1016/j.cscee.2022.100211.
- Hou, J. -yi, Liu, H. -tao, Wang, L. -xia, Zhang, Z. -lin. 2024. Novel perspective on qualitative assessment of swine manure compost maturity using organic carbon density fractions. *Bioresource Technology*, vol. 395. ISSN 09608524. DOI: 10.1016/j.biortech.2024.130386.
- Ibrahim, M., Khan, A., Anjum, Ali, W., Akbar, H. 2020. Mulching techniques: An approach for offsetting soil moisture deficit and enhancing manure mineralization during maize cultivation. *Soil and Tillage Research*, vol. 200. ISSN 01671987. DOI: 10.1016/j.still.2020.104631.

- Jain, M. S., Daga, M., Kalamdhad, A. S. 2019. Variation in the key indicators during composting of municipal solid organic wastes. *Sustainable Environment Research*, vol. 29, no. 1. ISSN 2468-2039. DOI: 10.1186/s42834-019-0012-9.
- Jozedaemi, E., Golchin, A. 2024. Changes in aggregate-associated carbon and microbial respiration affected by aggregate size, soil depth, and altitude in a forest soil. *CATENA*, vol. 234. ISSN 03418162. DOI: 10.1016/j.catena.2023.107567.
- Kalina, M. 2004. *Kompostování a péče o půdu*. 2. upr. vyd. Praha: Grada. Česká zahrada. s. 116. ISBN 80-247-0907-4.
- Kalina, M. 2016. *Hnojení půdy a kompostování v zahradě*. Praha: Grada Publishing. Česká zahrada. s. 128. ISBN 978-80-247-5848-0.
- Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., Van Woerden, F. 2018. *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington, DC: World Bank. ISBN 978-1-4648-1329-0. DOI: 10.1596/978-1-4648-1329-0.
- Khangura, R., Ferris, D., Wagg, C., & Bowyer, J. 2023. Regenerative Agriculture—A Literature Review on the Practices and Mechanisms Used to Improve Soil Health. *Sustainability*. vol. 15, no. 3. ISSN 2071-1050. DOI: 10.3390/su15032338
- Komilis, D., Kontou, I., Ntougias, S. 2011. A modified static respiration assay and its relationship with an enzymatic test to assess compost stability and maturity. *Bioresource Technology*, vol. 102, no. 10, s. 5863-5872. ISSN 09608524. DOI: 10.1016/j.biortech.2011.02.021.
- Kozák, J., Němeček, J., Borůvka, L., Lérová, Z., Němeček, K., Kodešová, R., Janků, J., Jacko, K., Hladík, J., Zádorová, T. 2009. *Atlas půd České republiky*. 2. upravené vydání. Praha. Česká zemědělská univerzita v Praze. s. 150. ISBN: 978-80-213-1882-3.
- Kranz, C. N., McLaughlin, R. A., Johnson, A., Miller, G., Heitman, J. L. 2020. The effects of compost incorporation on soil physical properties in urban soils – A concise review. *Journal of Environmental Management*, vol. 261. ISSN 03014797. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110209.
- Lapied, E.; Nahmani, J. a Rousseau, G.X. 2009. Influence of texture and amendments on soil properties and earthworm communities. *Applied Soil Ecology*. vol. 43, no. 2-3, s. 241-249. ISSN 09291393. DOI: 10.1016/j.apsoil.2009.08.004.
- Larkin, R. P. 2020. Effects of Selected Soil Amendments and Mulch Type on Soil Properties and Productivity in Organic Vegetable Production. *Agronomy*. vol. 10, no. 6. ISSN 2073-4395. DOI: 10.3390/agronomy10060795.
- Lee, S., Yoon, H. -K. 2020. Hydraulic Conductivity of Saturated Soil Medium through Time-Domain Reflectometry. *Sensors*, vol. 20, no. 23. ISSN 1424-8220. DOI: 10.3390/s20237001.

- Lin, C., Cheruiyot, N. K., Bui, X. -T., Ngo, H. H. 2022. Composting and its application in bioremediation of organic contaminants. *Bioengineered*, vol. 13, no. 1, s. 1073-1089. ISSN 2165-5979. DOI: 10.1080/21655979.2021.2017624.
- Liu, B., Dai, Y., Cheng, X., He, X., Bei, Q., Wang, Y., Zhou, Y., Zhu, B., Zhang, K., Tian, X., Duan, M., Xie, X., Wang, L. 2023. Straw mulch improves soil carbon and nitrogen cycle by mediating microbial community structure and function in the maize field. *Frontiers in Microbiology*, vol. 14. ISSN 1664-302X. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1217966.
- Mahapatra, S., Ali, M. H., Samal, K. 2022. Assessment of compost maturity-stability indices and recent development of composting bin. *Energy Nexus*, vol. 6. ISSN 27724271. DOI: 10.1016/j.nexus.2022.100062.
- Mason, A. R. G., Salomon, M. J., Lowe, A. J., Cavagnaro, T. R. 2023. Microbial solutions to soil carbon sequestration. *Journal of Cleaner Production*, vol. 417. ISSN 09596526. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.137993.
- Matula, S., Miháliková, M., Lufinková, J., Bářková, K. 2015. The role of the initial soil water content in the determination of unsaturated soil hydraulic conductivity using a tension infiltrometer. *Plant, Soil and Environment*. 2015-11-30, vol. 61, no. 11, s. 515-521. ISSN 12141178. DOI: 10.17221/527/2015-PSE.
- Matula, S., Kozáková, H. 1997. A simple pressure infiltrometer for determination of soil hydraulic properties by in situ infiltration measurements. *Rostlinná výroba*, roč. 43, s. 405-413.
- Meng, L., Li, W., Zhang, S., Wu, C., Jiang, W., Sha, C. 2016. Effect of different extra carbon sources on nitrogen loss control and the change of bacterial populations in sewage sludge composting. *Ecological Engineering*, vol. 94, s. 238-243. ISSN 09258574. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2016.05.013.
- METER Group, Inc. 2021. Minidisk infiltrometer. 2365 NE Hopkins Court Pullman, WA 99163. s. 21. User's manual.
- Meurer, K., Barron, J., Chenu, C., Coucheney, E., Fielding, M., Hallett, P., Herrmann, A. M., Keller, T., Koestel, J., Larsbo, M., Lewan, E., Or, D., Parsons, D., Parvin, N., Taylor, A., Vereecken, H., Jarvis, N. 2020. A framework for modelling soil structure dynamics induced by biological activity. *Global Change Biology*, vol. 26, no. 10, s. 5382-5403. ISSN 1354-1013. DOI: 10.1111/gcb.15289.
- Miko, L. 2019. *Život v půdě: příručka pro začínající půdní biology*. Brno: Lipka - školské zařízení pro environmentální vzdělávání Brno, příspěvková organizace. s. 240. ISBN 978-80-88212-17-1.
- Ministerstvo zemědělství České republiky. 2021. *Situační a výhledová zpráva*. Praha. s. 133. ISBN 978-80-7434-598-2. ISSN 1211-7692. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/portal/q342039---OEFwN1E5/situacni-a-vyhledova-zprava-puda-2021>.

- Narsilio, G. A., Buzzi, O., Fityus, S., Yun, T. S., & Smith, D. W. 2009. Upscaling of Navier–Stokes equations in porous media: Theoretical, numerical and experimental approach. *Computers and Geotechnics*. vol. 36, no. 7, s. 1200-1206. ISSN 0266352X. DOI: 10.1016/j.compgeo.2009.05.006.
- Negiş, H., Şeker, C., Gümüş, I., Manirakiza, N., Mücevher, O. 2020. Effects of Biochar and Compost Applications on Penetration Resistance and Physical Quality of a Sandy Clay Loam Soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 51, no. 1, s. 38-44. ISSN 0010-3624. DOI: 10.1080/00103624.2019.1695819.
- Noor, R. S., Sun, Y., Qu, J., Hussain, F., Waqas, M. M., Shah, A. N., Noor, R., Bhat, S. A. 2021. Quantifying the effects of co-composting organic biomass mixtures with inorganic amendments to obtain value-added bio-products. *PLOS ONE*, vol. 16, no. 7. ISSN 1932-6203. DOI: 10.1371/journal.pone.0253714.
- Noor, R. S., Shah, A. N., Tahir, M. B., Umair, M., Nawaz, M., Ali, A., Ercisli, S., Abdelsalam, N. R., Ali, H. M., Yang, S. H., Ullah, S., Assiri, M. A. 2024 Recent Trends and Advances in Additive-Mediated Composting Technology for Agricultural Waste Resources: A Comprehensive Review. *ACS Omega*, vol. 9, no. 8, s. 8632-8653. ISSN 2470-1343. DOI: 10.1021/acsomega.3c06516.
- Novotný, I., Vopravil, J. 2013. *Metodika mapování a aktualizace bonitovaných půdně ekologických jednotek: bonitace zemědělského půdního fondu*. 4., přeprac. a dopl. vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. s. 172. ISBN 978-80-87361-21-4.
- Novotný, I., et al. 2017. *Příručka ochrany proti erozi zemědělské půdy*. 3., aktualizované vydání. Praha: Ministerstvo zemědělství a Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. s. 92. ISBN: 978-80-87361-67-2
- Oliveira, M.T., Merwin, I. A. 2001. Soil physical conditions in a New York orchard after eight years under different groundcover management systems. *Plant and Soil*. vol. 234, no. 2, s. 233-237. ISSN 0032079X. DOI: 10.1023/A:1017992810626.
- Paradelo, R., Lerch, T. Z., Hout, S., Dignac, M. F. 2019. Composting modifies the patterns of incorporation of OC and N from plant residues into soil aggregates. *Geoderma*. vol. 353, s. 415-422. ISSN 00167061. DOI:10.1016/j.geoderma.2019.07.025.
- Pastuszczyk, M., Stanek-Tarkowska, J., Kačániová, M. 2022. Impact of Soil Fertilized with Biomass Ash on Depth-Related Variability of Culturable Bacterial Diversity and Selected Physicochemical Parameters in Spring Barley Cultivation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 21. ISSN 1660-4601. DOI: 10.3390/ijerph192113721.
- Paul, N., Giri, U., Roy, G. 2019. Composting. In: LARRAMENDY, Marcelo a SOLONESKI, Sonia (ed.). *Organic Fertilizers - History, Production and Applications*. IntechOpen. ISBN 978-1-78985-147-2. DOI: 10.5772/intechopen.88753

- Pears, P. 2017. *Kompost: snadno a ekologicky*. Esence. Praha: Euromedia. s. 192. ISBN 978-80-7549-244-9.
- Poláková, Š., Kubík, L., Prášková, L., Malý, S., Němec, P., Staňa, J. 2017. *Monitoring zemědělských půd v České republice 1992-2013: Monitoring of agricultural soils in the Czech Republic 1992-2013*. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. s. 174. ISBN 978-80-7401-136-8.
- Pospišilová, L., Vlček, V. 2015. *Chemické, biologické a fyzikální ukazatele kvality/zdraví půdy: Chemical, biological and physical parameters of soil quality/health: původní vědecká práce*. Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. Brno: Mendelova univerzita v Brně. s. 86. ISBN 978-80-7509-244-1.
- Rejšek, K., Vácha, R. 2018. *Nauka o půdě*. Olomouc: Agriprint. s.527. ISBN 978-80-87091-82-1.
- Reynolds, W. D., Elrick, D. E., Clothier, B.E. 1985. The constant head well permeameter: effect of unsaturated flow. *Soil Science*, vol. 139, s.172-180.
- Reynolds, W. D., Elrick, D. E. 1991. Determination of hydraulic conductivity using a tension infiltrometer. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 55, s. 633-639.
- Rodrigues, L. C., Puig-Ventosa, I., López, M., Martínez, F. X., Ruiz, A. G., Bertrán, T. G. 2020. The impact of improper materials in biowaste on the quality of compost. *Journal of Cleaner Production*, vol. 251. ISSN 09596526.DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119601.
- Rohošková, M., Valla, M. 2004. Comparison of two methods for aggregate stability measurement - a review. *Plant, Soil and Environment*, vol. 50, no. 8, s. 379-382. ISSN 12141178. DOI: 10.17221/4047-PSE.
- Román, P., Martínez, M. M., Pantoja, A. 2015. *FARMER'S COMPOST HANDBOOK Experiences in Latin America*. 1. FAO. ISBN 978-92-5-107845-7. Dostupné z: <https://www.fao.org/3/i3388e/I3388E.pdf>.
- Royer, A. C., De Figueiredo, T., Foneseca, F., Lado, M., Hernández, Z. 2024. Short-Term Effects of Olive-Pomace-Based Conditioners on Soil Aggregation Stability. *Agronomy*. vol. 14, no. 1. ISSN 2073-4395. DOI: 10.3390/agronomy14010005.
- Růžek, P., Kusá, H., Mühlbachová, G. 2020. Nové postupy v hnojení rostlin ve vztahu ke změně klimatu. *Za vysokou úrodu: časopis pro výrobu rostlinnou*, roč. LXVIII, č. 6, s. 38-41. ISSN 0139-6013.
- Sahu, N., Vasu, D., Sahu, A., Lal, N., Singh, S. K. 2017. Strength of Microbes in Nutrient Cycling: A Key to Soil Health. In: MEENA, Vijay Singh; MISHRA, Pankaj Kumar; BISHT, Jaideep Kumar a PATTANAYAK, Arunava (ed.). *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture*. Singapore: Springer Singapore, s. 69-86. ISBN 978-981-10-5588-1. DOI: 10.1007/978-981-10-5589-8_4.

- Said-Pullicino, D., Kaiser, K., Guggenberger, G., Gigliotti, G. 2007. Changes in the chemical composition of water-extractable organic matter during composting: Distribution between stable and labile organic matter pools. *Chemosphere*, vol. 66, no. 11, s. 2166-2176. ISSN 00456535. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2006.09.010
- Sainju, U. M., Liptzin, D., Jabro, J. D. 2022. Relating soil physical properties to other soil properties and crop yields. *Scientific Reports*. vol.12, no.1. ISSN 2045-2322. DOI: 10.1038/s41598-022-26619-8.
- San Martin Ruiz, M., Reiser, M., Kranert, M. 2020. Enhanced composting as a way to a climate-friendly management of coffee by-products. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 27, no. 19, s. 24312-24319. ISSN 0944-1344. DOI: 10.1007/s11356-020-08742-z.
- Sayara, T., Basheer-Salimia, R., Hawamde, F., Sánchez, A. 2020. Recycling of Organic Wastes through Composting: Process Performance and Compost Application in Agriculture. *Agronomy*, vol. 10, no. 11. ISSN 2073-4395. DOI: 10.3390/agronomy10111838.
- Sharma, P. K., Kumar, S. 2023. *Soil Physical Environment and Plant Growth*. Cham: Springer International Publishing. ISBN 978-3-031-28056-6. Dostupné z: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-28057-3>.
- Sharma, P. K., Kumar, S. 2023. *Soil Structure and Plant Growth*. In: *Soil Physical Environment and Plant Growth*. Cham: Springer International Publishing, s. 125-154. ISBN 978-3-031-28056-6. Dostupné z: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-28057-3_5.
- Sharma, S., Basnet, B., Bhattarai, K., Sedhai, A., Khanal, K. 2023. The influence of different mulching materials on Tomato's vegetative, reproductive, and yield in Dhankuta, Nepal. *Journal of Agriculture and Food Research*, vol. 11. ISSN 26661543. DOI: 10.1016/j.jafr.2022.100463.
- Schnee, L. S., Koehler, H., Ngakou, A., Eickhorst, T. 2021. Long-term impact of single biochar and compost application on soil aggregation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. vol. 648, s. 1. ISSN 1755-1307. DOI:10.1088/1755-1315/648/1/012160.
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Deneff, K. 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research*, vol. 79, no. 1, s. 7-31. ISSN 01671987. DOI: 10.1016/j.still.2004.03.008.
- Soil Survey Staff. 1999. *Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. 2nd edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436.
- Sulzberger, R. 2007. *Kompost, půda, hnojení: zdravá zahradní půda, výživa rostlin, hnojení. Zahradna plus*. Čestlice: Rebo. s. 96. ISBN 978-80-7234-654-7.
- Šarapatka, B. 2021. *Půda - přehlížené bohatství: publikace pro střední školy i další zájemce o danou problematiku*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci ve spolupráci s Českou

- pedologickou společností, z.s. a Radou vědeckých společností ČR. s. 64. ISBN 978-80-244-6022-2.
- Šimečková, J. 2015. *ZRNITOSTNÍ SLOŽENÍ PŮDY*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/19/19-zrnitost.pdf.
- Šimek, M. 2019. *Živá půda: biologie, ekologie, využívání a degradace půdy*. Praha: Academia, 2 svazky (789 stran). ISBN 978-80-200-2976-8.
- Šimek, M., Elhottová, D., Pižl, V. 2021. Prostorová, časová a funkční organizace půdy. *Živa*, roč. 69 (107), č. 2, s. 77-83. ISSN 0044-4812.
- Tahat, M. M., Alananbeh, K. M., Othman, Y. A., Leskovar, D. I. 2020. Soil Health and Sustainable Agriculture. *Sustainability*, vol. 12, no. 12. ISSN 2071-1050. DOI: 10.3390/su12124859.
- Tibco Statistica, v. 13.3.0, TIBCO Software Inc, Palo Alto, CA, USA. 2017. Dostupné z: <https://www.tibco.com/products/tibco-statistica>.
- Van der Wurff, A.W.G., Fuchs, J.G., Raviv, M., Termorshuizen, A.J. 2016: Handbook for Composting and Compost Use in Organic Horticulture, BioGreenhouse COST Action FA 1105. Nizozemsko: BioGreenhouse. s. 108. ISBN: 978-94-6257-749-7. Dostupné z: <https://research.wur.nl/en/publications/handbook-for-composting-and-compost-use-in-organic-horticulture>
- Vlček, V., Pospíšilová, L., Šimečková, J., Dvořáčková, H., Jandák, J. 2020. *Půdoznalství*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. s. 136. ISBN 978-80-7509-738-5.
- Vopravil, J. 2011. *Půda a její hodnocení v ČR*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. s. 148. ISBN 978-80-87361-02-3.
- VÚMOP. 2022. eKatalog BPEJ. Dostupné z: <https://bpej.vumop.cz/>. [cit. 2024-03-28].
- Waheed, A., Li, C., Muhammad, M., Ahmad, M., Khan, K. A., Ghramh, H. A., Wang, Z., Zhang, D. 2023. Sustainable Potato Growth under Straw Mulching Practices. *Sustainability*, vol. 15, no. 13. ISSN 2071-1050. DOI: 10.3390/su151310442.
- Wang, D., Lin, J. Y., Sayre, J. M., Schmidt, R., Fonte, S. J., Rodrigues, J. L. M., Scow, K. M. 2022. Compost amendment maintains soil structure and carbon storage by increasing available carbon and microbial biomass in agricultural soil – A six-year field study. *Geoderma*, vol. 427. ISSN 00167061. DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.116117.
- Wang, G., Yang, Y., Kong, Y., Ma, R., Yuan, J., Li, G. 2022. Key factors affecting seed germination in phytotoxicity tests during sheep manure composting with carbon additives. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 421. ISSN 03043894. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.126809.
- Wang, J., Zhao, C., Zhao, L., Wen, J., Li, Q., Paradelo Núñez, R. 2020. Effects of grazing on the allocation of mass of soil aggregates and aggregate-associated organic carbon in an alpine meadow. *PLOS ONE*, vol. 15, no. 6. ISSN 1932-6203. DOI: 10.1371/journal.pone.0234477.

- Waqas, M., Hashim, S., Humphries, U. W., Ahmad, S., Noor, R., Shoaib, M., Naseem, A., Hlaing, P. T., Lin, H. A. 2023. Composting Processes for Agricultural Waste Management: A Comprehensive Review. *Processes*, vol. 11, no. 3. ISSN 2227-9717. DOI: 10.3390/pr11030731.
- Xiao, L., Yao, K., Li, P., Liu, Y., Chang, E., Zhang, Y., Zhu, T. 2020. Increased soil aggregate stability is strongly correlated with root and soil properties along a gradient of secondary succession on the Loess Plateau. *Ecological Engineering*, vol. 143. ISSN 09258574. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2019.105671.
- Yimer, O. 2020. Different mulch material on growth, performance, and yield of garlic: A Review. *International Journal of Food Science and Agriculture*, vol. 4, no. 1, s. 38-42. ISSN 25783467. DOI: 10.26855/ijfsa.2020.03.007.
- Yin, J., Xie, M., Yu, X., Feng, H., Wang, M., Zhang, Y., Chen, T. 2024. A review of the definition, influencing factors, and mechanisms of rapid composting of organic waste. *Environmental Pollution*, vol. 342. ISSN 02697491. DOI: 10.1016/j.envpol.2023.123125.
- Zemánek P., Burg P. 2009. Možnosti využití kompostů při optimalizaci hydrofyzikálních vlastností zemědělských půd. The possibilities by utilization of compost on optimalization of hydrophysical characteristics of agricultural soils. *Agrotech Science*. roč. 3, č. 1, článek 4, s. 1-4. ISSN 1802-8942. Dostupný z :www.agrotech.cz.
- Zhang, M., Song, X., Wu, X., Zheng, F., Li, S., Zhuang, Y., Man, X., Degré, A. 2024. Microbial regulation of aggregate stability and carbon sequestration under long-term conservation tillage and nitrogen application. *Sustainable Production and Consumption*, vol. 44, s. 74-86. ISSN 23525509. DOI: 10.1016/j.spc.2023.11.022.
- Zhang, P., Wei, T., Jia, Z., Han, Q., Ren, X., et al. 2014. Effects of Straw Incorporation on Soil Organic Matter and Soil Water-Stable Aggregates Content in Semiarid Regions of Northwest China. *PLoS ONE*, vol. 9, no. 3. ISSN 1932-6203. DOI: 10.1371/journal.pone.0092839.
- Zhang, R. 1997. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 61, s. 1024-1030.
- Zheng, G., Wang, Y., Wang, X., Yang, J., Chen, T. 2018. Oxygen Monitoring Equipment for Sewage-Sludge Composting and Its Application to Aeration Optimization. *Sensors*, vol. 18, no. 11. ISSN 1424-8220. DOI: 10.3390/s18114017.
- Zhou, H., Fang, H., Hu, C., Mooney, S. J., Dong, W., et al. 2017. Inorganic Fertilization Effects on the Structure of a Calcareous Silt Loam Soil. *Agronomy Journal*. vol. 109, no. 6, s. 2871-2880. ISSN 0002-1962. DOI: 10.2134/agronj2016.10.0590.

Seznam použitých zkratk a symbolů

| | |
|------------------------------|--|
| ANOVA | Analysis of variance (analýza rozptylu) |
| BPEJ | Bonitovaná půdně ekologická jednotka |
| ČSN | Česká technická norma |
| NH ₃ | Amoniak |
| NH ₄ ⁺ | Amoniakální dusík |
| NO ₃ ⁻ | Dusičnanový dusík |
| ÚKZÚZ | Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský |
| WSA | water stable aggregates, vodostabilní agregáty |

Poznámka: V tomto seznamu nejsou obsaženy obecně známé symboly a zkratky.

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1. Trojúhelníkový diagram – NRCS USDA (Novotný a Vopravil, 2013). | 16 |
| Obrázek 2. Dynamika životního cyklu půdního agregátu (Šimek, 2019). | 18 |
| Obrázek 3. Obecný přehled o makro a mikro agregátech v půdě (Rejšek a Vácha, 2018). | 19 |
| Obrázek 4. Překopávání kompostové hromady (foto: Miháliková, 2019) | 25 |
| Obrázek 5. Mapa vybraných lokalit (Google Earth, 2024). | 36 |
| Obrázek 6. Eijkelkamp (autor, 2024). | 43 |
| Obrázek 7. Venticell (autor, 2024) | 43 |
| Obrázek 8. Tlakový infiltrometr (autor, 2024). | 44 |
| Obrázek 9. Mini diskový infiltrometr (Bát'ková et al., 2013). | 46 |
| Obrázek 10. Theta Probe ML2x a Delta T (autor, 2024). | 49 |
| Obrázek 11. Porovnání variant ANOVA hlavních efektů pro všechny lokality (autor, 2024). | 51 |
| Obrázek 12. Porovnání WSA na všech lokalitách, pouze pro variantu s kompostem (autor, 2024). | 52 |
| Obrázek 13. Celkové porovnání WSA na všech lokalitách s kompostem vůči kontrolní půdě bez ohledu na čas odběru vzorků (autor, 2024). | 53 |
| Obrázek 14. ANOVA s interakcemi pro obě varianty na experimentálních lokalitách během vegetační sezóny (autor, 2024). | 53 |
| Obrázek 15. Porovnání WSA pro ošetřenou a neošetřenou půdu v lokalitě A: Blatnice (autor, 2024). | 54 |
| Obrázek 16. Porovnání WSA pro ošetřenou a neošetřenou půdu v závislosti na termínech odběru na lokalitě A: Blatnice (autor, 2024). | 55 |
| Obrázek 17. Lokalita B: Jevíčko porovnání kontroly a půdy ošetřené kompostem (autor, 2024). | 56 |
| Obrázek 18. Lokalita B: Jevíčko porovnání variant v průběhu vegetační sezóny (autor, 2024). | 56 |
| Obrázek 19. B: Jevíčko více faktorová analýza rozptylu: WSA a variant s datem odběru vzorků (autor, 2024). | 57 |
| Obrázek 20. Porovnání WSA pro ošetřenou a neošetřenou půdu v lokalitě C: Velké Hostěrádky (autor, 2024). | 57 |
| Obrázek 21. Porovnání WSA na jednotlivých parcelkách v lokalitě U: Praha – Uhřetěves (autor, 2024). | 58 |
| Obrázek 22. Stabilita půdních agregátů, ošetřená a kontrolní půda (autor, 2024). | 59 |
| Obrázek 23. Závislost WSA na typech kompostu a kontrolní půdy (autor, 2024). | 59 |
| Obrázek 24. Závislost WSA kompostu a kontrolní půdy na období odběru vzorků (autor, 2024). | 60 |
| Obrázek 25. Závislost WSA kompostu a kontrolní půdy na jednotlivých řadách parcel (autor, 2024). | 60 |
| Obrázek 26. Závislost vlhkosti na kontrolní a ošetřené půdě (autor, 2024). | 61 |
| Obrázek 27. Závislost vlhkosti na kontrolních parcelkách (autor, 2024). | 62 |
| Obrázek 28. Nasycená hydraulická vodivost v závislosti na variantě v lokalitě U: Praha – Uhřetěves (autor, 2024). | 62 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 29. Nenasycená hydraulická vodivost – porovnání variant v lokalitě A: Blatnice u Jaroměřic (autor, 2024). | 63 |
| Obrázek 30. Nenasycená hydraulická vodivost – porovnání variant v lokalitě B: Jevíčko (autor, 2024). | 64 |
| Obrázek 31. Nenasycená hydraulická vodivost – porovnání měření v různém období na lokalitě B: Jevíčko (autor, 2024). | 64 |
| Obrázek 32. Nenasycená hydraulická vodivost závislá na interakcích mezi variantou a dobou odběru na lokalitě B: Jevíčko (autor, 2024). | 65 |
| Obrázek 33. Nenasycená hydraulická vodivost porovnání variant na lokalitě U: Praha – Uhřetěves (autor, 2024). | 65 |
| Obrázek 34. Bioturbační změny na spodní části odebraného neporušeného vzorku (foto: Miháliková, 2023). | 67 |
| Obrázek 35. Porovnání agregátů odebraných z ošetřené a kontrolní půdy v lokalitě B: Jevíčko (foto: Recep Serdar Kara, 2024). | 68 |
| Obrázek 36. Porovnání průměrných hodnot nenasycené hydraulické vodivosti pro všechny lokality (úsečky jsou směrodatné odchylky; autor, 2024). | 71 |

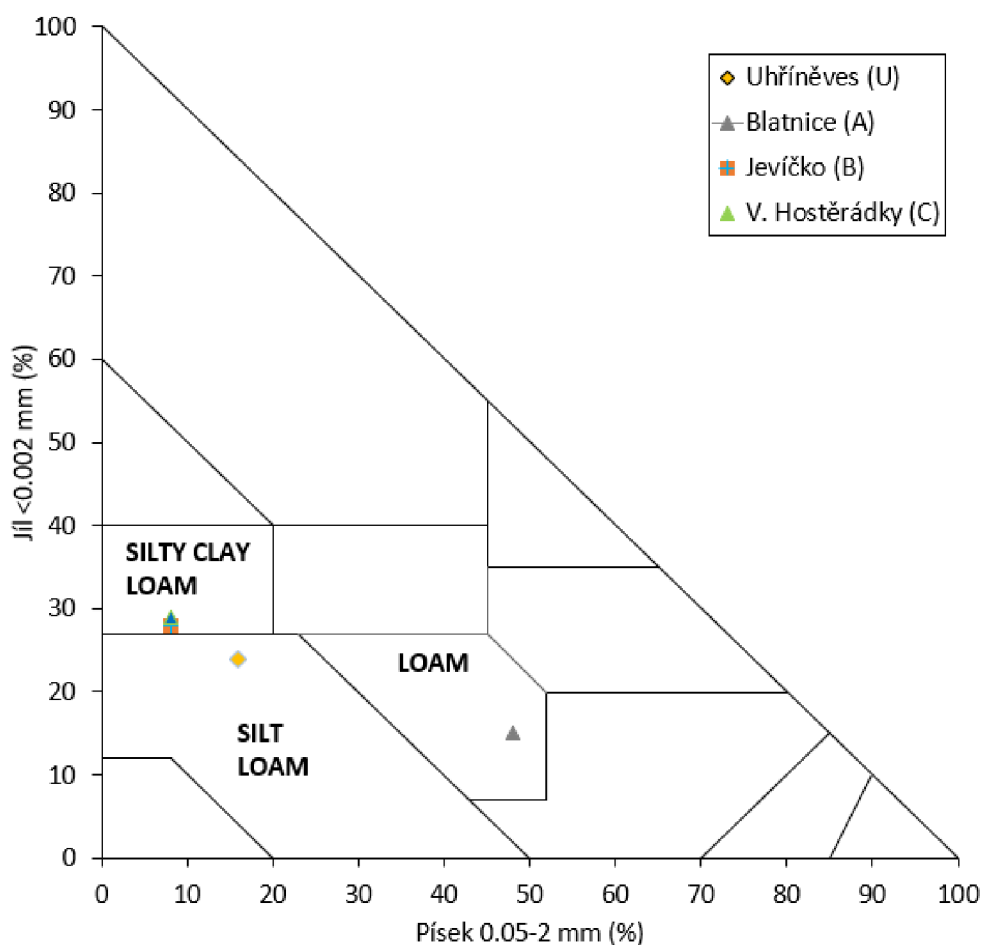
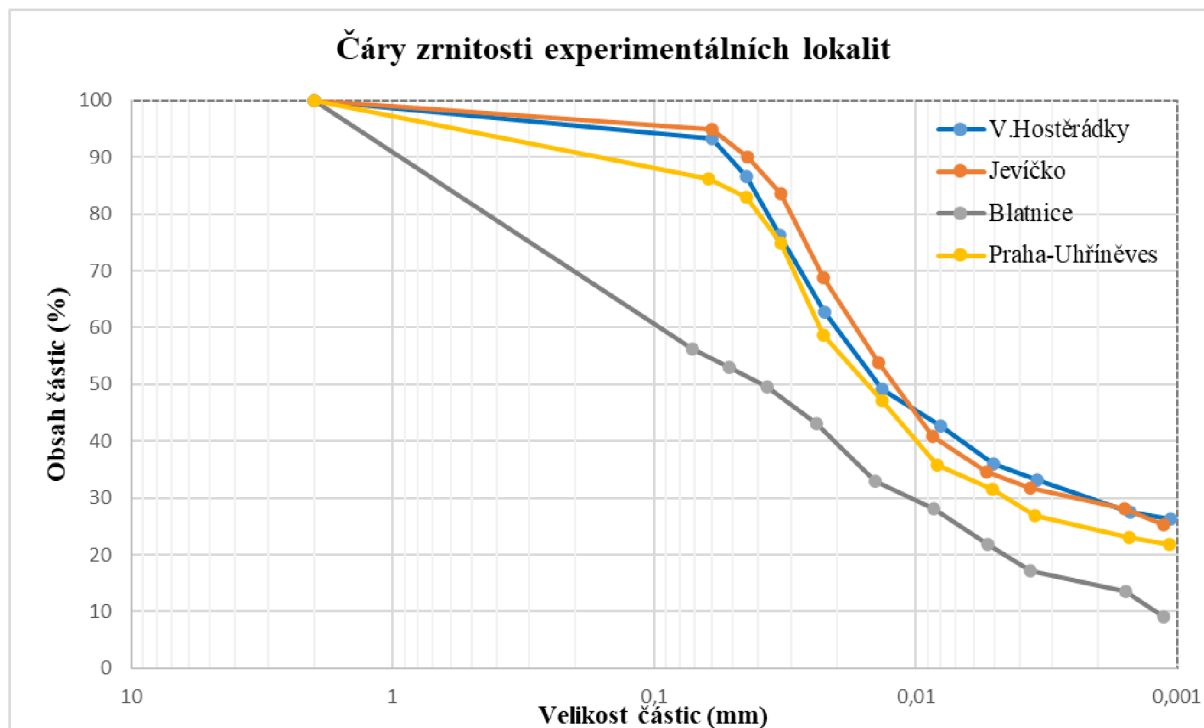
Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tabulka 1. Rozlišení velikosti půdních částic (Šimek, 2019)..... | 16 |
| Tabulka 2. Poměr C/N u kompostovatelných materiálů (Sulzberger, 2007). | 29 |
| Tabulka 3. Teplotní rozmezí odpovídající převládajícím druhům mikroorganismů (Hejátková, 2007). | 30 |
| Tabulka 4. Schéma rozložení parcel Praha – Uhřetěves (autor, 2024)..... | 37 |
| Tabulka 5. Základní přehled lokalit využitých k polnímu experimentu ve vegetační sezóně 2023 (Badalíková et al., 2022). | 37 |
| Tabulka 6. Vybrané fyzikální a chemické vlastnosti experimentálních půd (autor, 2024). | 39 |
| Tabulka 7. Parametry použitých kompostů (Badalíková et al., 2022)..... | 40 |
| Tabulka 8. Kompostárny (Badalíková et al., 2022 a Badalíková et al., 2023). | 41 |
| Tabulka 9. Van Genuchtenovy parametry a hodnoty A pro půdní druhy USDA (METER Group, Inc., 2021). | 48 |
| Tabulka 10. Průměrné hodnoty WSA ošetřené a kontrolní půdy (autor, 2024). | 51 |

Samostatné přílohy

| | |
|--|-----|
| Příloha 1 Zrnitostní rozbor experimentálních lokalit (vlastní zpracování autora z dat poskytnutých školitelkou, 2024)..... | II |
| Příloha 2 Pracovní sešit pro měření WSA, dokumentace z laboratoře (autor, 2024). a aplikovaný kompost v extrémní dávce lokalita B: Jevíčko | III |
| Příloha 3 Pracovní sešit pro mini diskový infiltrometr (autor, 2024) a foto dokumentace měření při polním experimentu (Miháliková, 2023)..... | VI |
| Příloha 4 Pracovní sešit pro tlakový infiltrometr (autor, 2024) a foto dokumentace z měření v lokalitě U: Praha-Uhřetěves (Miháliková, 2023) | IX |
| Příloha 5 Pracovní sešit pro hodnoty z měření vlhkostí půdy (autor, 2024) | XI |

Příloha 1 Zrnitostní rozbor experimentálních lokalit (vlastní zpracování autora z dat poskytnutých školitelkou, 2024)



Příloha 2 Pracovní sešit pro měření WSA a dokumentace z laboratoře (autor, 2024).

| <i>číslo misky s hexa</i> | hmotnost prázdné misky na hexametr | hmotnost misky po vysušení | Wds | WSA | Vzorek | průměr | směrodatná odchylka |
|---------------------------|------------------------------------|----------------------------|-------|-------|--------|--------|---------------------|
| A2 | 188,367 | 190,48 | 2,113 | 0,539 | 17 | | |
| 1.K | 188,766 | 191,07 | 2,304 | 0,580 | 17 | | |
| 5.H | 186,572 | 188,74 | 2,168 | 0,552 | 17 | | |
| C.K | 186,791 | 188,95 | 2,159 | 0,555 | 17 | 0,56 | 0,0146 |
| 1.H | 184,833 | 186,96 | 2,127 | 0,560 | 18 | | |
| 4.H | 190,281 | 192,41 | 2,129 | 0,561 | 18 | | |
| 6.H | 184,894 | 187,11 | 2,216 | 0,563 | 18 | | |
| 8.H | 190,074 | 192,18 | 2,106 | 0,545 | 18 | 0,56 | 0,0072 |

Pracovní sešit pro zápis naměřených hodnot a k pomocným výpočtům pro WSA



Sušení vzorků v přístroji Venticell (foto: autor, 2024)



Vysušené vzorky připravené k vážení (foto: autor, 2024)



Aplikovaný kompost v extrémní dávce 200 t/ha v lokalitě B: Jevíčko (foto: Miháliková, 2022)

Příloha 3 Pracovní sešit pro mini diskový infiltrometr (autor, 2024) a foto dokumentace měření při polním experimentu (Miháliková, 2023).

| Instructions | | | |
|--------------|---|--|--|
| Step 1: | Enter measurement times beginning with zero | | |
| Step 2: | Enter corresponding volume measurements | | |
| Step 3: | Adjust selection field on graph to fit data | | |

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infiltr (cm) |
|----------|----------|-------------|--------------|
| 0 | 0,00 | 83 | 0,00 |
| 60 | 7,75 | 79 | 0,25 |
| 120 | 10,95 | 77 | 0,38 |
| 190 | 13,78 | 74,5 | 0,53 |
| 240 | 15,49 | 73 | 0,63 |
| 300 | 17,32 | 72 | 0,69 |
| 360 | 18,97 | 70,5 | 0,79 |
| 420 | 20,49 | 69 | 0,88 |
| 480 | 21,91 | 68 | 0,94 |
| 540 | 23,24 | 67,5 | 0,97 |
| 600 | 24,49 | 66,5 | 1,04 |
| 720 | 26,83 | 65 | 1,13 |
| 840 | 28,98 | 63,5 | 1,23 |
| 960 | 30,98 | 62 | 1,32 |
| 1080 | 32,86 | 61 | 1,38 |
| 1200 | 34,64 | 59,5 | 1,48 |
| 1320 | 36,33 | 58,5 | 1,54 |
| 1440 | 37,95 | 57,5 | 1,60 |
| 1560 | 39,50 | 56 | 1,70 |
| 1680 | 40,99 | 55 | 1,76 |
| 1800 | 42,43 | 54 | 1,82 |
| 1920 | 43,82 | 53 | 1,89 |

| | |
|-----------------------------------|-----------------|
| Step 4: Select Infiltrometer Type | Mindisk |
| Step 5: Select Soil Type | silty clay loam |
| Step 6: Select Suction | 2 |

| | |
|------------------|---------|
| Radius | 2,25 cm |
| alpha | 0,01 |
| n/h _s | 1,23 |
| Suction | -2 cm |

| | |
|----|------------------|
| A | 8,511174841 |
| C1 | 8,62927E-05 cm/s |
| K | 1,0139E-05 cm/s |

Cumulative Infiltration (cm)

Square Root of Time

$v = 0,00005x^2 + 0,0320x$
 $R^2 = 0,99961$

Pracovní sešit pro zápis naměřených hodnot a k pomocným výpočtům nenasycené hydraulické vodivosti K



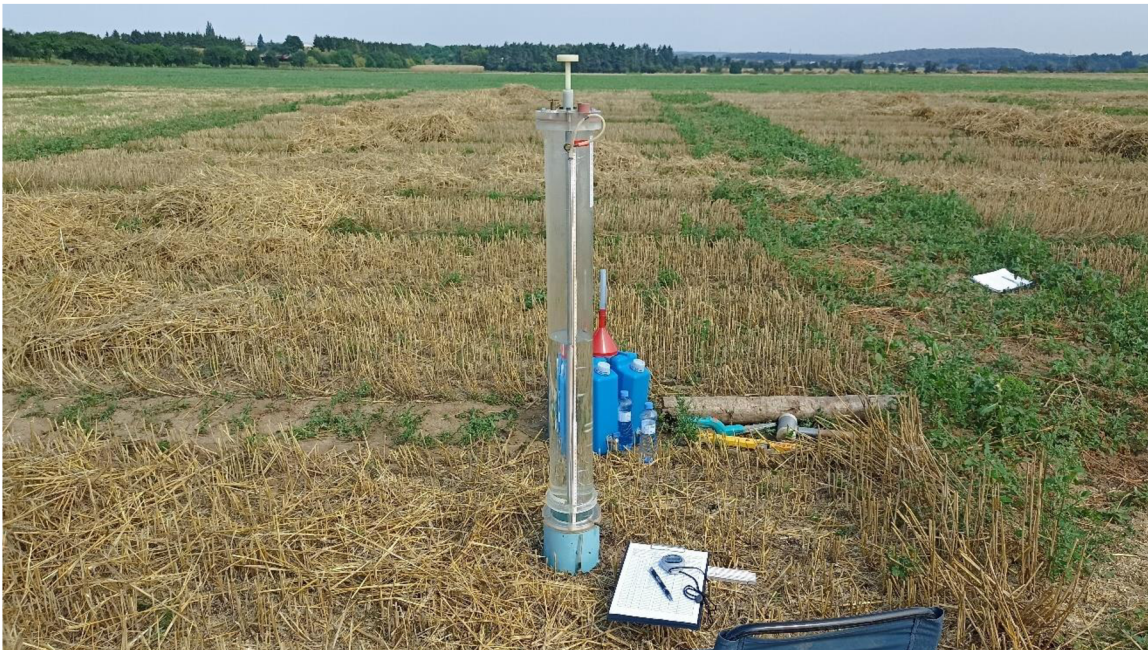
Měření nenasycené hydraulické vodivosti v lokalitě A: Blatnice u Jaroměřic (foto: Miháliková, 2023)



Měření nenasycené hydraulické vodivosti v lokalitě B: Jevíčko (foto: Miháliková, 2023)



Hlodavec při měření v nasycené hydraulické vodivosti v lokalitě U: Praha-Uhřetěves (foto: Miháliková, 2023)



Měření nasycené hydraulické vodivosti pomocí tlakové infiltrometru v lokalitě U: Praha-Uhřetěves (foto: Miháliková, 2023)

Příloha 5 Pracovní sešit pro hodnoty z měření vlhkostí půdy (autor, 2024)

| | δ FINAL | | δ INITIAL | | |
|----|----------------|--|------------------|---------------|---------------|
| 1C | 808 mV | | 440 mV | 606 mV | 431 mV |
| | 0,351 | | 0,171 | 0,243 | 0,168 |
| | 0,353 | | 0,171 | 0,243 | 0,167 |
| | | | 0,171 | 0,244 | 0,167 |
| 1A | 974 mV | | 487 mV | 399 mV | 507 mV |
| | 0,338 | | 0,19 | 0,155 | 0,199 |
| | 0,339 | | 0,19 | 0,155 | 0,199 |
| | | | 0,19 | 0,156 | 0,199 |
| 1K | 837 mV | | 496 mV | 571 mV | 484 mV |
| | 0,37 | | 0,194 | 0,228 | 0,189 |
| | 0,37 | | 0,194 | 0,227 | 0,189 |
| | | | 0,194 | 0,227 | 0,189 |
| 2C | 725 mV | | 467 mV | 459 mV | 536 mV |
| | 0,293 | | 0,182 | 0,179 | 0,211 |
| | 0,304 | | 0,182 | 0,179 | 0,212 |
| | | | 0,182 | 0,179 | 0,212 |
| 2A | 756 mV | | 405 mV | 461 mV | 326 mV |
| | 0,32 | | 0,157 | 0,178 | 0,123 |
| | 0,322 | | 0,157 | 0,179 | 0,123 |
| | | | 0,157 | 0,179 | 0,123 |
| 2K | 732 mV | | 518 mV | 353 mV | 492 mV |
| | 0,308 | | 0,204 | 0,136 | 0,192 |
| | 0,309 | | 0,204 | 0,136 | 0,192 |
| | | | 0,204 | 0,136 | 0,192 |
| 3C | 815 mV | | 428 mV | 445 mV | 576 mV |
| | 0,355 | | 0,166 | 0,172 | 0,229 |
| | 0,357 | | 0,166 | 0,173 | 0,229 |

Pracovní sešit pro zápis naměřených hodnot