Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Vliv biopásů na stabilitu půdní struktury a retenci vody v půdě

Bio-belts effect on soil structure and water retention in soil

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor práce: Michaela Kinclová

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

© 2024 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Michaela Kinclová

Aplikovaná ekologie

Název práce

Vliv biopásů na stabilitu půdní struktury a retenci vody v půdě

Název anglicky

Bio-belts effect on soil structure and water retention in soil

---

Cíle práce

Vytváření biopásů podporované Programem rozvoje venkova si klade za cíl mimo jiné zlepšení půdní struktury či zvýšení obsahu živin a organické hmoty v půdě. Tato bakalářská práce se v obecné rovině zaměří na zhodnocení a na konkrétním příkladu i experimentální ověření pozitivního efektu biopásů na vybrané půdní vlastnosti. Cílem teoretické části BP je popsat širší škálu půdoochranných opatření na zemědělské půdě, mezi něž biopásy patří, a jejich vliv na půdní vlastnosti. Cílem praktické části je experimentální ověření efektu víceletých nektarodárných biopásů na stabilitu půdní struktury a retenční schopnost půdy.

Splněním těchto cílů studentka prokáže schopnost samostatné vědecké práce a rovněž potvrdí či vyvrátí následující vědecké hypotézy vztahující se k experimentální části práce:

1) V půdě víceletého biopásu je půdní struktura stabilnější než na sousedící orné půdě.
2) Retenční schopnost půd je u orné půdy horší než u půdy biopásu.

Metodika

Teoretická část práce popíše širší škálu půdoochranných opatření, jejich vliv na půdní vlastnosti a detailněji se zaměří na utváření půdní struktury, péči o půdní strukturu a na negativní dopady související s její destabilizací.

Experimentální část práce bude zahrnovat odběr neporušených i porušených půdních vzorků z víceletého biopásu a sousedící orné půdy. Bude stanovena retenční vodní kapacita spolu s dalšími fyzikálními parametry půdy a stabilita půdních agregátů metodou WSA. Pomocí vhodných statistických metod budou porovnány rozdíly v půdních vlastnostech biopásů a orné půdy

Doporučený rozsah práce
Podle platných pokynů pro vypracování bakalářské práce.

Klíčová slova
biopásy, půdní struktura, retenční vodní kapacita

Doporučené zdroje informací
Abiven, S., Menasseri, S., Chenu, C., 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability — a literature analysis. Soil Biology and Biochemistry 41, 1–12.

Pavlů L, Kodešová R, Fér M, Nikodem A, Němec F, Prokeš R 2021: The Impact of various mulch types on soil properties controlling water regime of the Haplic Fluvisol. Soil and tillage research 205: 104748.

Šarapatka, B. 2014. Pedologie a ochrana půdy. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-3736-1.

Šimek a kol. 2019. Živá půda. Praha: Academia. ISBN 978-80-200-2976-8.

Thai, S., Davídek, T., Pavlů, L. 2022: Causes clarification of the soil aggregates stability on mulched soil. Soil and Water Research 17 (2): 91–99.

Předběžný termín obhajoby
2023/24 LS – FŽP

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

Garantující pracoviště
Katedra pedologie a ochrany půd

Elektronicky schváleno dne 6. 10. 2023

prof. Dr. Ing. Luboš Borůvka
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 11. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.
Děkan

V Praze dne 02. 01. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/závěrečnou práci na téma: "Vliv biopásů na stabilitu půdní struktury a retenci vody v půdě" vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

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

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

V Praze dne datum odevzdání Podpis:

_____

Poděkování

Ráda bych poděkovala na tomto místě mé vedoucí, doc. ING. Lence Pavlů, Ph.D. za odborné rady, ochotu a její čas, který mi věnovala.

Dále bych chtěla poděkovat RNDr. Václavu Tejneckému, Ph.D. za užitečné rady v praktickém směru a Ing. Martinu Štroblovi za cenné informace.

Hlavně děkuji své rodině za podporu během celého mého studia.

Vliv biopásů na stabilitu půdní struktury a retenci vody v půdě

Abstrakt

Práce je zaměřena na posouzení vlivu biopásů na stabilitu půdní struktury a na schopnosti půdy zadržovat vodu. Experimentální nektarodárný biopás se vyskytuje v blízkosti pole a je primárně určen pro opylující hmyz. Byl založen za účelem zjistit optimální druhové složení a v jakém poměru by měly být druhy trav a kvetoucí dvouděložné rostliny, aby byl biopás stabilní a měl pozitivní vliv na půdní vlastnosti a zároveň snížil negativní dopad klimatických změn. Biopás je složený z jednotlivých úseků, které obsahují různé experimentální směsi bylin.

V této práci jsou porovnávány půdy dvou úseků biopásu se sousedící ornou půdou. V srpnu roku 2023 byly odebrány vzorky půdy, z nichž byly následně určeny základní fyzikální parametry, včetně celkové pórovitosti (P) a retenční vodní kapacity (RVK) a současně byla hodnocena stabilita půdních agregátů pomocí metody WSA (Wet Sieving Apparatus).

Výsledky prokázaly, že na některých částech biopásu je stabilita půdních agregátů vyšší, zároveň jejich celková pórovitost je nižší a retenční vodní kapacita je u obou typů biopásu vyšší než na orné půdě. Nektarodárný biopás má tedy na stabilitu půdní struktury a na schopnost zadržovat vodu v půdě značný pozitivní vliv. Mechanická manipulace s ornou půdou má naopak negativní vliv na stabilitu půdní struktury a schopnost zadržovat vodu v půdě.

Klíčová slova

Biopásy, vlastnosti půdy, stabilita půdní struktury, retenční vodní kapacita

Bio-belts effect on soil structure stability and water retention in soil

Abstract

The work is focused on assessing the impact of bio-belt on soil structure stability and water retention capacity. An experimental nectar bio-belt is located near the field and is primarily designed for pollinating insects. It was establised for the purpose of determination the optimal species composition and the ratio of grass species to flowering dicot plants to make the bio-belt stable and have a positive impact on soil properties while reducing the negative effects of climate change. The bio-belt is composed of individual sections cotaining various experimental plant mixtures.

This study compares the soils of two sections of the bio-belt with adjacent arable land. In August 2023, soil samples were taken, from which basic physical parameters were determined, including porosity (P) and retention water capacity. At the same time, the stability of soil aggregates was assessed using the Wet Sieving Apparatus (WSA).

The results showed that in some parts of the bio-belt, the stability of soil aggregates is higher. At the same time, their porosity is lower and the water retention capacity is higher for both types of bio-belt compared to arable land. The nectar bio-belt therefore has a significant positive impact on soil structure stability and water retention capacity. In concrast, mechanical manipulation of arable soil has a negative impact on soil structure stability and water retention capacity.

Keywords

bio-belts, soil properties, soil structure stability, water retention capacity

Obsah

1. Úvod 10

2. Cíle práce 11

3. Teoretická část 12

3.1 Půdní struktura 12

3.2 Vznik a stabilizace půdních agregátů 13

3.3 Faktory ovlivňující půdní strukturu 14

3.3.1 Fyzikální vlastnosti 14

3.3.2 Chemické vlastnosti 17

3.3.3 Biologické vlastnosti 21

3.4 Voda v půdě 22

3.4.1 Retence vody 23

3.4.2 Pórovitost 23

3.5 Degradace půdy 24

3.5.1 Zhutnění půd 25

3.5.2 Eroze půdy 25

3.5.3 Salinizace 26

3.6 Půdoochranné opatření na zemědělské půdě 27

3.6.1 Biopásy 27

3.6.2 Rotace plodin 28

3.6.3 Minimální orba 29

3.6.4 Mulčování 29

3.6.5 Hnojení půdy 29

4. Praktická část 31

4.1 Charakteristika studovaného území 31

4.1.1 Půdní pokryv 34

4.1.2 Geologický pokryv 36

4.1.3 Charakteristika klimatu 36

4.2 Metodika 37

4.2.1 Základní fyzikální parametry 37

4.2.2 Stanovení WSA 40

4.2.3 Zpracování výsledků 41

4.3 Výsledky 42

4.4 Diskuse 45

5. Závěr 48

6. Zdroje 49
6.1 Seznam knižní literatury 49
6.2 Seznam odborných článků 49
6.3 Internetové zdroje 52
7. Seznam obrázků 53
8. Seznam tabulek 53
9. Seznam příloh 53

1. Úvod

Biopásy jsou dnes velmi zajímavým a důležitým prvkem v oblasti udržitelného zemědělství, ochrany životního prostředí a prevence eroze půdy. Jedná se o pásy porostů, které se pěstují či ponechávají mezi zemědělskými plodinami či kolem nich.

Aktuálně je zásadním tématem zadržování vody v půdě a v krajině jako celek. Proto v některých zemích může existovat legislativa nebo programy podpory, které upravují, podporují nebo finančně motivují zemědělce k vytváření a udržování biopásů.

V České republice má obvykle odpovědnost za biopásy na zemědělské půdě ministerstvo zemědělství. Kromě jejich vlivu na biodiverzitu a zadržování vody v půdě lze očekávat, že prostřednictvím biopásů lze celkově zlepšit vlastnosti půdy a tím i podmínky pro růst zemědělských plodin. Biopásy by v budoucnu mohly představovat důležitou roli zemědělské krajiny v plnění mimoprodukčních funkcí.

2. Cíle práce

1) Popis půdoochranných opatření na zemědělské půdě a jejich vliv na půdní vlastnosti
2) Experimentální ověření efektu víceletých nektarodárných biopásů na stabilitu půdní struktury a retenční schopnost půdy.

Splněním těchto cílů budou potvrzeny či vyvráceny následující vědecké hypotézy vztahující se k experimentální části práce.

1. V půdě víceletého biopásu je půdní struktura stabilnější než na sousedící orné půdě.
2. Retenční schopnost půd je u orné půdy horší než u půdy biopásu.

3. Teoretická část

3.1 Půdní struktura

Šarapatka (2014) uvedl, že půdní struktura představuje uspořádání základních částic do strukturních prvků, které se nazývají agregáty. Vznik a formování půdní struktury jsou důsledkem přirozených procesů, kterých se účastní obsah a kvalita organické hmoty a půdních koloidů, výměnné kationty v koloidním systému, biologická aktivita a další faktory.

Prax et al. (1995) také definovali půdní strukturu jako vzájemné prostorové uspořádání agregátů v půdě. Je podmíněna schopností spojovat (agregovat) a vytvářet tak strukturní agregáty. Podle velikosti se rozlišuje mikrostruktura (< 0,25 mm), makrostruktura (0,25 – 50 mm) a megastruktura (> 50 mm).

V tvorbě struktury se uplatňují síly molekulární, adhezní a meniskové, organických koloidů aj. Agronomicky je významná také stabilita půdních agregátů (odolnost proti rozplavování vodou nebo mechanickým tlakům), která se zvyšuje v přítomnosti dostatku kvalitních organických látek, vápníku a příznivého zrnitostního složení (Prax et al., 1995).

Důležité pro tvorbu půdní struktury jsou stabilní organominerální komplexy, které vznikají vázáním organických látek na anorganické látky v půdě. Tyto komplexy jsou důležité pro vývoj půdní struktury (Šantrůčková et al., 2018).

Šarapatka (2014) dále rozdělil strukturu podle procesů, které přispívají k formování agregátů:

1. Elementární – základní půdní částice nejsou spojeny do agregátů. V suchém stavu je tato půda písčitá,
2. Koherentní – základní částice jsou spojeny do kontinuálních a poměrně pevných struktur. Tyto spojení mohou vzniknout díky různým látkám, jako je kyselina křemičitá, jíly, hydroxidy hliníku a železa,
3. Agregátová – spojování částic dohromady je způsobeno působením humusových látek, jílu a organominerálních sloučenin.

3.2 Vznik a stabilizace půdních agregátů

Existuje několik mechanismů agregace. Agregáty se tvoří ve fázích, přičemž v každé fázi převládají jiné mechanismy vazby (Tisdall a Oades, 1982).

Tvorba půdních agregátů a jejich stabilizace jsou velmi důležité pro formování struktury půdy. Agregáty se vytvářejí buď rozpadem velkých konglomerátů (hrud) – desagregací-, nebo spojováním menších částí – agregací-. Další možností je stmelování půdních částic například oxidy železa v procesu cementace (Šimek et al., 2019).

Edwards a Bremmer (1967) charakterizovali vznik půdní struktury následovně. Mikroagregáty se spojují, tvoří makroagregáty a vazby uvnitř mikroagregátů jsou pevnější než vazby mezi mikroagregáty. Tyto mikroagregáty, které mají velikost menší než 250 mikrometrů, vznikají z interakcí organických molekul (OM) s jílem (Cl) a polyvalentními kationty (P). Tyto interakce vedou ke vzniku komplexních částic (Cl-P-OM), které se spojují s dalšími komplexními částicemi (Cl-P-OM), čímž vytvářejí makroagregáty ve tvaru [(Cl-P-OM) x] y.

Jiným způsobem vytváření makroagregátů je kolem organických částic. Během rozkladu organických částic a opětovného uvolňování mikrobiálních exudátů se makroagregát stává stabilnějším, dochází k snížení poměru C:N a uvnitř se formují mikroagregáty (Bronick a Lal, 2005).

Mechanismy stabilizace půdních agregátů jsou závislé na jejich velikosti. Jiné mechanismy fungují u mikroagregátů s průměrem < 250 μm, a jiné u makroagregátů s průměrem > 250 μm (Tisdall a Oades, 1982).

Existuje názor, že půdní polysacharidy, pocházející z rostlin a mikrobiálních zdrojů, hrají klíčovou úlohu při stabilizaci mikroagregátů v půdě. Z teoretického hlediska je vazebná aktivita spojena s délkou a lineární strukturou polysacharidů, což jim umožňuje vytvářet mosty mezi částicemi půdy. Alternativní teorie stabilizace mikroagregátů souvisí s huminovými látkami v půdě. V průběhu fází rozkladu probíhají biotické a abiotické reakce od rozkladu rostlinných zbytků k vytvoření složení směsi aromatických sloučenin, pocházejících z rostlin a mikroorganismů (Martens, 2000).

Zlepšená stabilita půdních agregátů má za následek nižší ztráty půdy, uhlíku, dusíku a fosforu, zároveň zvyšuje počet makroagregátů a celkovou pórovitost. Stabilita půdních agregátů má také vliv na tok vody a přenos kontaminantů v půdách (Kodešová et al., 2009).

3.3 Faktory ovlivňující půdní strukturu

Procesy agregace závisejí na různých faktorech, některé jsou biologické (jako množství a kvalita organických látek, organické stabilizační látky, biologická aktivita), zatímco jiné jsou anorganické (sražení jílu, ionty, kovové oxidy a hydroxidy, uhličitany a sádrovec). Agregace je také ovlivněna vnějšími faktory, jako jsou klimatické podmínky, využívání půdy a strategie hospodaření s půdou. (Clerque et al., 2023).

Oades (1993) popsal, že formování půdní struktury zahrnuje fyzikální síly smrštění a rozpínání, které vznikají v důsledku změn ve vlhkostním stavu půdy, mrazem a táním, oráním nebo pohybem větších organismů v půdě.

Šantrůčková et al. (2018) popsali hlavní faktory ovlivňující strukturu agregátů takto: zvlhčování a vysoušení; rozmrzání a zamrzání; aktivita mikroorganismů a dekompozice organické hmoty; činnost kořenů a půdní fauny; flokulace indukovaná přítomností kationtů.

3.3.1 Fyzikální vlastnosti

Obecně lze říci, že fyzikální faktory půdy se týkají jejího chování a interakce s fyzikálními vlastnostmi, které jsou schopny regulovat a dodávat půdě vodu, živiny vzduch a teplo, což přímo ovlivňuje růst vegetace (Ding et al., 2023).

Barva a teplota půdy

Barva půdy je jedním z klíčových morfologických rysů, které přispívají k popisu půdního profilu a jeho rozdělení do půdních horizontů. Poskytuje informaci o akumulaci složek půdy a jejich uspořádání v půdním profilu. Barva půdy závisí na přítomnosti různě zbarvených složek, které mohou zahrnovat sloučeniny železa, sloučeniny manganu, uhličitan vápenatý a kaolinit, křemen a jíl, humus (Šarapatka, 2014).

Teplota půdy má vliv na různé fyzikální, chemické a biochemické děje, které se odehrávají v půdě. Teplotní režim půdy je ovládaný sezónními a denními kolísáními teplot,

existencí rostlinného pokryvu, vlhkostí a hloubkou půdního profilu – Nejvýraznější teplotní změny nastávají na povrchu půdy a jak se pohybujeme do hloubky oscilace teplot postupně klesají (Šantrůčková et al., 2018).

Hlavním zdrojem energie pro zahřátí půdy je sluneční záření. Nicméně mraky a částice v atmosféře adsorbují, rozptylují nebo odrážejí významnou část tohoto záření (Šarapatka, 2014).

Šantrůčková et al. (2018) napsali, že půda s tmavou barvou absorbuje více tepla než světlá půda. Také, že půda bez rostlinného krytu je teplejší než půda zastíněná rostlinným porostem. A když je půda vlhká je mnohem chladnější než půda suchá, protože se část energie ze slunce spotřebuje na odpařování vody.

Klima

Bronick a Lal (2005) napsali, že klima ovlivňuje agregaci půdy prostřednictvím změn teplotních a vlhkostních podmínek a cyklů vlhka a sucha, a procesů zmrazování a rozmrazování. Tyto faktory mohou změnit orientaci částic, což následně může posílit proces agregace.

Půdy jsou neustále pod vlivem proměn vlhkostních podmínek. V oblastech se srážkovým režimem jsou cykly vlhka a sucha často spojeny s klimatickými vlivy. Na lokální úrovni může absorpce vody kořeny rostlin, ovlivněná procesem evapotranspirace, způsobit vysychání v oblasti kořenové zóny (Bronick a Lal, 2005).

Změny teploty a vlhkosti ovlivňují mikrobiální a biotickou aktivitu, což způsobuje variabilitu v rychlostech rozkladu. Vztah mezi teplotou a procesem rozkladu je velmi proměnlivý a závisí na mnoha dalších faktorech. Vyšší teploty podporují zvýšenou respiraci a biologickou aktivitu v půdách. Nižší teploty naopak přispívají ke zvyšování zásob organické hmoty. V oblastech s vlhkým mírným klimatem je agregace půdy ovlivňována cykly zmrazování a rozmrazování (Bedrna, 2002).

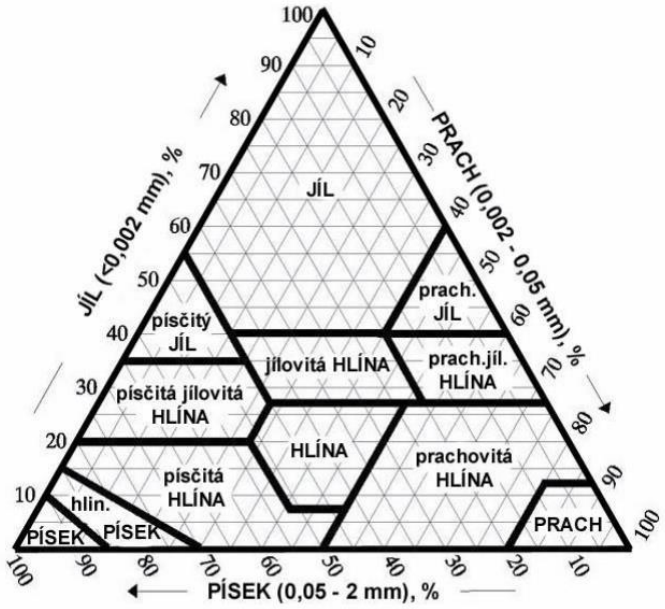
Zrnitost

Zrnitost půdy, také nazývaná jako půdní textura, je důležitým fyzikálním aspektem půdy a má zásadní vliv na její vlastnosti a schopnosti. Ovlivňuje rovnováhu mezi vodou a vzduchem, poměr kapilárních a nekapilárních pórů, adhezi a kohezi, chemické, fyzikálně

chemické i biochemické procesy v půdách. Dále má vliv na procesy zvětrávání půdotvorného substrátu a minerální části pevné fáze půdy, dostupnost živin, dýchání rostlin a celkově zemědělskou produktivitu. Půdní zrnitost se týká velikosti částic půdy a poměru mezi pískem, jílem a hlínou v půdě (Prax et al., 1995).

Šimek et al. (2019) tedy napsali, že podle textury půdy, což znamená podíl hlavních frakcí zrnitosti vyjádřený v hmotnostních procentech, se klasifikují půdní druhy. Tato klasifikace zahrnuje základní kategorie, jako jsou písčité, hlinité a jílovité půdy, a také přechody mezi nimi, případně další kategorie.

Aktuální platná mezinárodní klasifikace zrnitosti využívá trojúhelníkového diagramu na obrázku č. 1 (Němeček et al., 2011).



Obrázek 1: Trojúhelníkový diagram zrnitosti půd dle NRSC USDA (Němeček et al., 2011)

Jemnozem zahrnuje jíl (< 0,001 mm, < 0,002 mm), prach (0,001 či 0,002 – 0,05 mm) a písek (0,05 – 2,00 mm). Dále následuje skelet, ve kterém se nachází hrubý písek (2,00 – 4,00 mm), štěrk (4,00 – 30,00 mm), kamení (> 30,00 mm) a balvany (> 300,00 mm).

Hrubě zrnitá půda má omezenou schopnost retence vody, což umožňuje srážkám proniknout hlouběji, čímž se povrchová půda rychleji vysuší. Tato půda také vykazuje nižší kapilární evaporaci vlhkosti, ale zároveň podporuje vyšší transpiraci rostlin, což přispívá k jejich růstu. Hlubší infiltrace vlhkosti do hrubě texturované půdy vytváří příležitosti pro diferenciaci rostlinných nik, umožňující koexistenci rostlin s různou hloubkou kořenů, a

tím efektivní využívání vody. Pro rostliny je též jednodušší extrahovat vlhkost z písčitých než z jílovitých půd, když obsah vlhkosti v půdě klesá, a tak trpí méně vodním stresem při fluktuaci vlhkosti v půdě (Gao a Li, 2023).

3.3.2 Chemické vlastnosti

Chemické vlastnosti mají zásadní význam pro půdu a výživu rostlin. Ovlivňují schopnost zadržovat a dodávat živiny rostlinám a celkovou reaktivitu půdního materiálu. Zahrnují různé chemické charakteristiky půdního prostředí (Šarapatka, 2014).

Je obecně známo, že vytváření a stabilita půdních agregátů jsou především ovlivněny několika chemickými vlastnostmi půdy, včetně obsahu jílu a jeho chování, pH půdy a obsahem organické hmoty v půdě (Pavlů et al., 2022).

Šarapatka (2014) rozdělil složení půdy z chemického hlediska do tří kategorií: organické, minerální a organominerální látky. Minerální látky v půdě pocházejí z horní části litosféry, která je vystavena procesům zvětrávání. Půdotvorné mechanismy následně v této oblasti tvoří samotnou půdu.

V roce 1961 došlo na základě usnesení vlády k iniciování komplexního průzkumu zemědělských půd. Tento průzkum byl právně upraven zákonem č. 61/1964, zaměřeným na rozvoj rostlinné výroby. Kromě samotného půdoznaleckého průzkumu a podrobnějšího popisu půdních vlastností zahrnoval také systematické agrochemické testování zemědělských půd (AZZP) (Zákony pro lidi, sbírka zákonů, 23. listopadu 2023).

Ovšem tento zákon byl 1.9. roku 1998 zrušen a místo něj začal platit nový zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, rostlinných biostimulantech a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zkráceně „zákon o hnojivech“) (Zákony pro lidi, sbírka zákonů, 23. listopadu 2023).

Výměnná kapacita

Šantrůčková et al. (2018) popsali výměnnou kapacitu následovně. Množství iontů, které jsou schopny se vázat na povrch koloidních částic půdy. Jedná se o schopnost půdy držet a vyměňovat ionty s půdním roztokem. Výměnná kapacita zahrnuje schopnost koloidních částic přitahovat ionty elektrostatistickými silami a udržovat je ve výměnných pozicích, kde mohou být zaměňovány za jiné ionty v půdním roztoku. Tato výměna probíhá vlivem

pohybu iontů a molekul vody kolem koloidních částic půdy. Když jsou na povrchu vázány kationty, hovoříme o kationtové výměnné kapacitě (KVK) z anglického jazyka Cation Exchange Capacity (CEC). Naopak, pokud jsou vázány anionty, používáme termín aniontová výměnná kapacita (zkráceně AVK) z anglického výrazu Anion Exchange Capacity (AEC).

Stav koloidních systémů je silně ovlivněn přítomností kationtů. Když vznikají mikroagregáty spojením prostřednictvím vícemocných kationtů (Ca^{2+}, Fe^{2+}, Al^{3+}) a humusu, projevují vysokou stabilitu. V opačném případě, kdy jsou vázány kationty Na^{+} nebo dochází k disperzi částic jílu, struktura půdy se naruší a stává se neprůchodnou pro vodu a vzduch (Jakšík et al., 2015).

pH

Pro většinu plodin a půdních organismů je nejvhodnější neutrální pH, které se pohybuje kolem hodnoty 6,5-7. Správné pH je klíčové pro efektivní fungování půdy. Půdy mají přirozenou tendenci k okyselování, která ještě vzrůstá v případě zemědělských půd. Protikladem okyselování půdy je její alkalizace, což zahrnuje zvyšování pH nad neutrální hodnotu (Šimek et al., 2021).

Při silně alkalickém pH (≥ 8,5) a slabě kyselém až kyselém pH (5,0-6,5), je stabilita půdních agregátů nižší a koloidy peptizují (tabulka č. 1). Naopak při slabě alkalickém až neutrálním pH (6,5-8,5) a silně kyselém pH (≤ 5,0) půdy, mají agregáty stabilitu velmi dobrou, protože dochází ke koagulaci koloidů. (Jakšík et al., 2015).

Tabulka 1: Vztah půdní reakce, půdní struktury a některých pedogenetických procesů (Pavlů et al., 2019)

Reakce	pH	Hlavní kationty	Chování koloidů	Struktura	Půdotvorný proces
Silně alkalická	≥ 8,5	Na^{+}	peptizace	špatná	soloncování
Slabě alkalická až neutrální	6,5 -8,5	Ca^{2+}, Mg^{2+}	koagulace	dobrá	
Slabě kyselá až kyselá	5,0-6,5	K^{+}, H^{+}	peptizace	špatná	illimerizace
Silně kyselá	≤ 5,0	Al^{3+}	koagulace	dobrá	podzolizace

Kyselina fosforečná podporuje agregaci půdy prostřednictvím sníženého pH, mobilizace Al^{3+} a následného vysrážení fosofrečnanu Al jako tmelícího činidla za vzniku stabilních agregátů (Bronick a Lal, 2005).

Významným aspektem je též vápnění půdy, které se aplikuje například při slabě kyselém pH. Přináší do půdy důležité dvojmocné kationty, které podporují stabilizaci půdních agregátů a formování vhodné půdní struktury (Šimek et al., 2021).

Živiny

Další složkou, která je důležitá pro půdu jsou živiny. Základními minerálními živinami, nezbytnými pro růst a vývoj rostlin jsou dusík (N), fosfor (P), draslík (K) a síra (S) (Šarapatka, 2014).

Biomasa a půdotvorné minerály jsou hlavním zdrojem živin. Půda, která je určena k zemědělství je navíc obohacena živinami z hnojiv. Aby živiny nezůstávali na jednom místě, starají se o jejich koloběh půdní organismy (Šimek et al., 2021).

Množství hlavních živin a mikroprvků jsou spolu s pH základními ukazateli pro agrochemické posuzování půdy. Tyto koncentrace jsou obvykle stanoveny jako formy přijatelné pro rostliny a vyjadřují se v $mg.kg^{-1}$ půdy nebo v procentech (Sáňka a Materna, 2004).

Mnoho živin, které jsou důležité pro rostliny, živočichy a mikroorganismy, je aktivně zapojeno do oběhu mezi organickou hmotou v půdě a anorganickými formami (Šimek et al., 2019).

Organická hmota půdy

Obsah organické hmoty je hlavním faktorem ovlivňujícím stabilitu agregátů, jelikož její množství a vlastnosti mohou být modifikovány zemědělskými postupy (Abiven et al., 2009).

Šantrůčková et al. (2018) chápou organickou hmotu půdy jako základní složku půdního prostředí. Součástí organické hmoty jsou živé organismy, včetně kořenů rostlin, a i rozkládající se rostlinné a živočišné zbytky. Tato hmota je výsledkem rozkladu organických materiálů působením mikroorganismů, jako jsou živočichové, houby, bakterie, řasy a sinice.

Organismy žijící v půdě a jejich produkované enzymy rozkládají organickou hmotu, transformují ji a ukládají ve formě humusu. Tento proces transformace je označován jako humifikace (Šimek et al., 2021).

Šarapatka (2014) zmínil, že hlavním zdrojem organické hmoty je uhlík hromaděný prostřednictvím fotosyntézy z půdních organismů. Z celosvětové perspektivy jsou do uhlíkového cyklu zapojeny čtyři zdroje: atmosféra, suchozemská biota, půda a oceán. Množství uhlíku obsaženého půdě převyšuje množství v atmosféře více než dvakrát. Největší podíl uhlíku je uložen v oceánech (39 000Pg). Zdroje uhlíku nejsou konstantní, dochází k jeho příjmu i ztrátám.

Základem půdní organické hmoty je tedy organický uhlík. Předpokládá se, že půda každoročně zachytí 2 miliardy tun uhlíku ve formě organické hmoty (Sáňka a Materna, 2004).

Obecně lze konstatovat, že stabilita půdních agregátů koreluje pozitivně s obsahem organického uhlíku, který často klesá při obdělávání půdy, a tedy obecně vede k degradaci půdy, jako je tvorba krust, odtok a eroze. Avšak pokles stability agregátů není vždy přímo úměrný změně obsahu organického uhlíku (Le Bissonnais et al., 2007).

Šantrůčková et al. (2018) rozdělili z pohledu míry transformace organickou hmotu v půdě na:

1. Nerozložený nebo jen částečně rozložený materiál, který buď nově vstupuje do půdy, nebo je vytvořen složkami starších, obtížněji rozkládajících se rostlinných zbytků.
2. Přeměněnou organickou hmotu, která zahrnuje živé nebo mrtvé mikroorganismy, pozůstatky zemřelých půdních živočichů, produkty metabolismu půdních organismů a biochemické a chemické transformace v půdě.

Šarapatka (2014) popsal jednotlivé složky organické hmoty. Jednoduché cukry a organické kyseliny, které jsou rozpustné ve vodě a snadno podléhají rozkladu prostřednictvím mikrobiálních ale i chemických a fyzikálně-chemických procesů. Další složkou jsou pryskyřice, tuky, vosky a třísloviny, které lze rozpustit v organických rozpouštědlech, představují látky obtížně podléhající chemickému rozkladu ve srovnání s cukry a aminokyselinami. Celulóza a hemicelulóza – Pro chemický rozklad celulózy jsou zapotřebí koncentrované kyseliny a louhy. Na druhé straně, mikrobiální rozklad celulózy se uskutečňuje

poměrně snadno díky účasti enzymů jako jsou celulázy a beta-glukosidázy. Součástí organické hmoty je i lignin, který je zásadní složkou dřevní hmoty a je považován za látku odolnou vůči rozkladu mikroorganismy. V přírodním materiálu se nevyskytuje samostatně, ale vytváří komplexní struktury, zejména s celulózou. Popeloviny jsou také začleněny mezi složky organické hmoty. Představují minerální látky, které se vyskytují v jednotlivých rostlinách v různém množství a poměrném zastoupení. Poslední zmíněnou složkou jsou organické dusíkaté látky, kterých je v organické hmotě přicházející do půdy zhruba jedna třetina až polovina utvářena bílkovinami.

Šimek et al. (2021) shrnuli některé důvody, proč je organická hmota v půdě tak důležitá:

1. Zlepšuje půdní strukturu – organická hmota má schopnost vázat vodu a napomáhá vzniku agregátů půdních částic, což zlepšuje půdní strukturu.
2. Zvyšuje infiltraci vody do půdy a její retenci v půdě – díky své schopnosti vázat vodu, organická hmota půdě umožňuje lépe zadržovat vláhu. To je velmi důležité v suchých oblastech.
3. Slouží jako zásobárna živin – pozitivně působí na dostupnost a zásobu živin, které jsou nezbytné pro růst a vývoj rostlin.
4. Podporuje půdní mikroorganismy – organická hmota poskytuje potravu a vhodné prostředí pro mikroorganismy, které jsou klíčové pro rozklad organických látek.

Kromě množství organické hmoty je také významná její kvalita (složení, podíl jednotlivých složek, stáří) (Šimek et al., 2021).

3.3.3 Biologické vlastnosti

V půdě se nachází rozsáhlá populace mikroorganismů a makroorganismů, které společně tvoří půdní edafon. Na ploše 1 m^2 může být přítomno 1 až 200 tisíc jedinců makrofauny a miliardy jedinců mikrofauny. Na 1 ha lze nalézt 2 až 10 tun živé půdní hmoty, což představuje přibližně 0,05 až 0,5 % celkové hmotnosti půdy (Sáňka a Materna, 2004).

Půdní organismy, včetně hmyzu, dalších členovců, žížal, hlístic a i větších makroorganismů, mají významný vliv na strukturu půdy. Požírají a vyvrhují půdní materiál, přemisťují rostlinný materiál a vytvářejí nory (Bronick a Lal, 2005).

Makroorganismy přispívají k lepšímu provzdušňování, zvyšování pórovitosti, zlepšení infiltrace, posilování stability půdních agregátů, podporují také stabilizaci dusíku a

uhlíku, urychlují rozklad organické hmoty, snižují obsah karbonátů a mineralizaci dusíku. Zároveň ovlivňují dostupnost živin a zlepšují mobilitu kovů (Bronick a Lal, 2005).

Organické látky uvolňované z kořenů rostlin představují pro mikroorganismy důležitý zdroj uhlíku a energie. Tyto látky stimulují růst mikroorganismů a podporují produkci extracelulárních enzymů, což vede k rozkladu organických látek s nižší rozložitelností v okolní půdě (Šantrůčková et al., 2018).

Kořeny rostlin a jejich rhizosféra mají mnoho vlivů na agregaci půdy. Kořeny zpřádají a přeskupují půdní částice a uvolňují exudáty, což vede k fyzikálním, chemickým a biologickým změnám, které ovlivňují agregaci (Rillig et al., 2002).

Kořeny, houby a bakterie posilují agregaci tím, že se zaplétají do půdních částic a poskytují mimobuněčné sloučeniny, které částice spojují (Bronick a Lal, 2005).

Ovlivňují také koloběh vlhkosti a sucha v okolní půdě. Tento vliv může v některých případech zvyšovat stabilitu půdních agregátů, zatímco v jiných snižovat (Angers a Caron, 1998).

3.4 Voda v půdě

Voda v půdě je důležitým prvkem pro život rostlin a mnoho ekosystémů. Ovlivňuje fyzikální, fyzikálně-chemické, chemické a biologické procesy a podílí se na změnách a vzniku půdy. Pro mikroorganismy a mikrofaunu představuje voda životní prostředí, i když mycelium hub a aktinobakterie jsou schopny přerůstat póry naplněné vzduchem (Šantrůčková et al., 2018).

Jednou z klíčových rolí vody spočívá v zásobování rostlin a umožňuje jejich růst a vývoj. Dále voda ve spojení s půdou transportuje živiny z půdy ke kořenům rostlin, do listů a jiných orgánů rostlin. Voda je nezbytná i pro mikroorganismy žijící v půdě, které se podílejí na rozkladu organické hmoty a na jiných ekologických procesech (Šimek et al., 2021).

Kořeny rostlin a mikroorganismy jsou osmotrofové. To znamená, že přijímají potřebné látky, které jsou rozpuštěny ve vodě, pomocí transportu pře membrány. Příjem živin a potravy závisí na množství a dostupnosti vody v půdě. Množství vody v půdě řídí difuzi plynů, pH, zředění půdního roztoku a teplotu (Šantrůčková et al., 2018).

Základním kvantitativním parametrem vztahu mezi půdou a vodou je vlhkost půdy, která má vliv na růst rostlin a životní podmínky edafonu (Šarapatka, 2014).

Šarapatka (2014) rozlišil vlhkost půdy následovně:

1. Hmotnostní – Jedná se o poměr hmotnosti vody obsažené v půdním vzorku k hmotnosti pevné fáze půdy.
2. Objemová – Jedná se o objem vody k objemu neporušeného půdního vzorku. Tuto vlhkost preferujeme při vyhodnocování zásob půdní vody.
3. Relativní – Tato vlhkost je poměrem objemové vlhkosti k pórovitosti.

3.4.1 Retence vody

Jednou z nejpodstatnějších hydrofyzikálních parametrů půdy je vlhkostní retenční čára, která nám umožňuje stanovit energetické vlastnosti půdní vody, parametry pórů a hydrolimity. Slouží jako vstupní hodnota pro výpočet dalších hydrofyzikálních charakteristik půdy (regulace závlahy, návrh na odvodnění půdy aj.) (Šarapatka, 2014).

Kvalitativní a kvantitativní proměny ve vztazích mezi půdou a vodou jsou charakterizovány půdními hydrolimity (Prax et al., 1995).

Základními hydrolimity jsou adsorpční vodní kapacita – Popisující největší objem vody, který je v půdě zachycen pomocí adsorpčních sil. Retenční vodní kapacita – Popisuje nejvyšší objem vody, který půda může zadržet vlastními silami po delší dobu. Polní vodní kapacita – Jedná se o kapacitu zadržování stanovenou v polních podmínkách. Maximální (absolutní) vodní kapacita – Základním smyslem je určení polní vodní kapacity v laboratorním prostředí. Plná vodní kapacita – Definuje úplné nasycení půdy vodou, což znamená kompletní zaplnění všech pórů a dutin vodou (Šarapatka, 2014).

Optimální vlhkost pro růst aerobních mikroorganismů a pro většinu jejich aktivit obvykle spadá do rozmezí vodního potenciálu mezi -0,03 MPa a -0,3 MPa (mezi 50-70 % maximální vodní kapacity) (Šantrůčková et al., 2018).

3.4.2 Pórovitost

Přítomnost, množství, rozměr a stabilita půdních agregátů ovlivňují množství půdních charakteristik a zajišťují většinu půdních funkcí. Přítomnost pórů mezi agregáty především ovlivňuje pronikání dešťové vody do půdy, což má vliv na odolnost půdy vůči vodní

erozi. Navíc, v některých půdách s hlinitopísčitým charakterem může být stabilita agregátů přímo spojena s hydraulickou vodivostí půdy. Existence pórů uvnitř agregátů ovlivňuje dlouhodobou retenci vody v půdě, což má vliv na hydrologickou funkci půdy, její povahu a podmínky pro život v půdě (Pavlů et al., 2022).

V přeoraných půdách stabilní povrchové agregáty poskytují vyšší počet spojených a propojených pórů a mají potenciál urychlit tok vody, tj. preferenční tok. Tato struktura agregátů může ovlivňovat vodivost a difuzivitu nasycené vody (Lipiec et al., 2007).

Existují různé metody měření struktury půdy, ale nejspolehlivější hodnocení pravděpodobně vychází z informací o množství, velikosti, konfiguraci a distribuci pórů v půdě.

Pórovitost půdy je důležitým aspektem, který hraje klíčovou úlohu v prostorovém uspořádání půdního prostředí. Materiál samotné půdy je permeabilní, a mezi pevnými částicemi (agregáty) se nacházejí volné prostory, známé jako půdní póry, které mohou být vyplněny vzduchem či vodou (Šimek et al., 2019).

Charakteristiky pórovitosti půdy zahrnují několik parametrů. Kromě celkové pórovitosti (objemu pórů) patří mezi ně také velikost, tvar a distribuce pórů. Existují hlavní druhy pórů v půdě. Jedním z nich jsou makropóry tj. větší póry (nekapilární), jejichž průměr je větší než 30 - 50 μm a umožňují rychlý a dostatečná přísun vzduchu a vody. Dále jsou důležité pro pronikání kořenů rostlin do půdy a zajišťují pohyb edafonu. Dále mikropóry neboli menší póry (kapilární) (< 30 - 50 μm), které obvykle zadržují vodu (Šimek et al., 2019).

3.5 Degradace půdy

Degradace půdní struktury způsobená intenzivními zemědělskými činnostmi, zhutňováním půdy, ztrátou strukturální stability a tvorbou povrchových krust může vést k ztrátě kontinuity dlouhých přenosových pórů. To má za následek snížený přenos vody, což v konečném důsledku zvyšuje odtok a erozi půdy (Pagliai et al., 2004).

Rozsah degradace půdy je významný, přičemž odhady naznačují, že některá forma degradace postihuje kolem dvou miliard hektarů půdy. Toto číslo představuje přibližně 15 % celkového povrchu souše nebo 24 % z celkové výměry osídlených oblastí (Šimek et al., 2019).

Pochopení stability půdních agregátů má klíčový význam při posuzování, jak je půda náchylná k degradaci (Jakšík et al., 2015).
V České republice je z celé škály mechanismů degradace nejméně zastoupené znečištění půd chemickými látkami. Naopak, jako nejzávažnější degradace půd, stejně jako ve světovém měřítku, se ukazuje eroze půdy (Šimek et al., 2019).

3.5.1 Zhutnění půd

V případě zhutnění půda vykazuje sníženou pórovitost a schopnost infiltrace, což vede ke ztíženému růstu rostlin a omezené biologické aktivitě. Pedokompakce též zvyšuje rizika vodní eroze a záplav. Proces pedokompace v hlubších vrstvách půdy je obtížně reversibilní (Sáňka a Materna, 2004).

Zhutnění významně zvyšuje erozi půdy a narušuje strukturu pórovitosti půdy, hydraulické vodivosti aj. Výrazně podstatné je, že zhutnění omezuje hydrologické procesy, jako jsou preferenční tok, vsakování vody a zadržování vody, což modifikuje výměnu a distribuci vody v půdě (Liu et al., 2023).

3.5.2 Eroze půdy

Eroze je ovlivňována kombinací faktorů, jako je sklon a délka svahu, klimatické podmínky, využití půdy, vegetační kryt a půdní vlastnosti (textura, struktura, mocnost organických horizontů, obsah organické hmoty). Její dopady zahrnují snížení mocnosti ornice a v extrémních případech úplné zničení orniční vrstvy i podorniční. Tím dochází k omezení ekologických funkcí půdy a zrychlení poškozování povrchových a podzemních vod. Eroze dále snižuje zadržování vody a regulaci vodního režimu půdy. Tyto procesy nakonec omezují produkční schopnost půdy, tj. její schopnost produkovat biomasu (Sáňka a Materna, 2004).

Barthes a Roose (2002) napsali, že půdní eroze způsobená vodou je především výsledkem odtržení a transportu částic během deště a odtoku. Tento typ eroze se nazývá plošná eroze, kdy odtržení a transport jsou způsobeny dešťovými kapkami a plytkým povrchovým odtokem, a výmolná eroze, která je způsobena odtokem soustředěným do rozeznatelných kanálů. Součástí plošné eroze je selektivní, vrstevná a rýžková eroze. Výmolná eroze zahrnuje brázdovou, rýhovou, výmolovou a stržovou erozi (Jakšík et al., 2015).

Šarapatka (2014) konstatoval, že vodní eroze je ovlivněna synergickým působením několika faktorů, mezi něž patří podmínky:

1. Klimatické a hydrologické
2. Geologické a půdní
3. Morfologické
4. Vegetační
5. Způsob obhospodařování půdy

Tato kritéria jsou využívána při výpočtu ztrát půdy.

Struktura půdy a stabilita půdních agregátů souvisí s procesy povrchového odtoku a eroze půdy. Stabilita agregátů může být využita jako ukazatel náchylnosti půdy k odtoku a erozi (Barthes a Roose, 2002; Cantón et al., 2009). Proces eroze má vliv na vlastnosti půdy, včetně stability půdních agregátů. S rostoucí erozí klesá stabilita půdních agregátů (Jakšík et al., 2015).

3.5.3 Salinizace

Proces salinizace je často spojován se závlahami, kdy jsou do půdy dodávány rozpustné soli závlahovými vodami. Dochází k nahromadění solí sodíku, hořčíku a vápníku v půdě v takovém množství, že výrazně klesá úrodnost půdy. Tento jev je typický pro oblasti s vysokou evapotranspirací, kde dochází k přirozenému vysychání půdy. Výskyt salinizace je přirozený v oblastech s vyšší hladinou podzemní vody a suchým vodní režimem (Sáňka a Materna, 2004).

Dlouhodobé a intenzivní zavlažování zemědělské půdy buď podzemní vodou nebo slanou povrchovou vodou má za následek postupné zasolení půdy, což následně vede k zasolení podložních vodních vrstev. Oproti dešťové vodě tato voda obsahuje rozpuštěné pevné látky, které zůstávají na povrchu půdy a postupně pronikají do hladiny podzemní vody, čímž se zvyšuje její zasolení (Kotzer, 2005).

Vyšší koncentrace solí v půdě může narušit půdní agregáty. Může rozpouštět organické vazební látky a způsobovat rozpad agregátů tím snížit stabilitu struktury. Půdy s vysokým obsahem soli mají tendenci být kompaktnější a dochází i ke zvýšení pH. To může ovlivnit půdní strukturu tím, že naruší vazbu mezi půdními částicemi a organickým materiálem, což může vést k tvorbě sodných iontů a jejich akumulování v půdě, což dále ovlivňuje

stabilitu struktury (Šimek et al., 2019). Akumulace solí postihuje v Evropě zhruba 3,8 mil. ha (Šarapatka, 2014).

3.6 Půdoochranné opatření na zemědělské půdě

Půdoochranná opatření na zemědělské půdě jsou klíčová pro udržitelné zemědělství a ochranu půdního prostředí. Tato opatření mají za cíl minimalizovat negativní dopady zemědělských činností na půdní strukturu, erozi a ztrátu živin (Šarapatka, 2014).

Existuje několik důležitých kroků, jak vhodně pečovat o půdu:

Hlavní formou degradace půdy je eroze. Je podstatné pečovat o optimální obsah kvalitní organické hmoty v půdě, podporovat vytváření a udržování půdní struktury a dodržovat správnou rotaci plodin v osevních postupech. Tímto způsobem lze posílit i vodní režim půdy (Šimek et al., 2021).

Ochranná a nápravná opatření pro prevenci půdní degradace způsobené zhutněním zahrnují následující kroky (Sáňka a Materna, 2004):

1. Zpracování půdy při vhodném vlhkostním stavu,
2. Omezení frekvence a typů mechanických průjezdů,
3. Implementace vhodných protierozních opatření pro ochranu půdy,
4. Dostatečné organické hnojení a vápnění s cílem podporovat biologické procesy v půdě,
5. Řízení vodního režimu, zahrnující podporu infiltrace a akumulace vody v půdě s důrazem na spojitost s protierozními opatřeními,
6. Přijímání vyvážených postupů osévání.

3.6.1 Biopásy

V České republice se agroenviromentální opatření podporují prostřednictvím Programu rozvoje venkova ČR. Mezi opatření podporovaná finančně patří i biopásy. Ty slouží především k podpoře rozvoje ptačích společenstev, ale také dalších živočichů vázaných na polní prostředí (Hanusová et al., 2017).

Biopásy vytvářejí úkryty, poskytují zdroje potravy, a slouží jako místa pro rozmnožování hmyzu a vyšších živočichů, podporují včely a další užitečný hmyz. Tím, že se s půdou

nějakou dobu nepracuje, dochází k nárůstu biodiverzity edafonu a vytváří se tak zásobárna půdních mikroorganismů, které jsou nezbytné pro spoluvytváření struktury půdy v sousedících obhospodařovaných oblastech (biopásy, eagri.cz, 26. února 2024). Biopásy také představují významný přínos k podpoře rostlinné diverzity. Jsou charakterizovány pestrým druhovým složením ve srovnání s okraji polí a konvekčními plochami pastvin (Hanusová et al., 2017). Nektarodárné biopásy jsou složením směsi orientovány především na opylovače (biopásy, eagri.cz, 26. února 2024).

3.6.2 Rotace plodin

Vliv různých plodin obvykle odráží chemické složení plodin, strukturu kořenů a schopnost měnit chemické a biologické vlastnosti půdy (Bronick et Lal, 2005).

Jedním z příkladů klasického zemědělského osevního postupu je norfolkský osevní postup: jetel (nebo jetelotráva), následovaná ozimou plodinou (často ozimou pšenicí nebo žitem), pak okopanina (řepa, brambor, aj.) a jarní obilnina (ječmen či oves, s podsevem jeteloviny). Do každého osevního postupu by měly být zahrnuty jeteloviny, luskoviny, luskovino-obilní a jetelovino-travní směsi (Šimek et al., 2021).

Na svazích zemědělské půdy s větším sklonem by osevní postup měl zahrnovat co nejmenší podíl okopanin. Pokud je to možné, měly by se do osevního postupu zařazovat meziplodiny. Vhodné jsou také podsevy, zejména v řádkových plodinách. V oblastech s vysokým rizikem eroze by měl být hlavním záměrem osevní postup s důrazem na ochranu proti erozi (Šarapatka, 2014).

Osevní postupy rovněž mohou přispět k vylepšení a udržení hydraulických a fyzikálních vlastností půdy. Zvýšení rozmanitosti rostlinných druhů s různými biochemickými vlastnostmi může dále posílit pozitivní dopady osevního střídání plodin na hydraulickou a fyzikální kvalitu půdy. Toto se projevuje například zvýšenou biologickou aktivitou a rozmanitostí, což následně přispívá ke zlepšení stability půdních agregátů a retenci vody v půdě (Iheshiulo et al., 2023). Tyto účinky bývají při konvenčních režimech obdělávání půdy krátkodobé. V některých případech nemusí mít rotace vliv na stabilitu půdy (Bronick a Lal, 2005).

3.6.3 Minimální orba

Obdělávání půdy narušuje půdní agregáty, způsobuje zhutňování půdy a narušuje rostlinná a živočišná společenstva, která jsou klíčová pro tvorbu agregátů. Dochází také ke snížení obsahu organické hmoty v půdě, schopnosti výměny kationtů, obsahu živin, mikrobiální aktivity a aktivity fauny (Bronick a Lal, 2005).

Ve srovnání s orbou vykazují systémy hospodaření bez orby stabilnější agregáty a obsah organického uhlíku (Bronick a Lal, 2005). Po opakovaném mechanickém rozrušení struktury půda ztrácí schopnost regenerace a stává se trvale nestrukturální (Šarapatka, 2014).

3.6.4 Mulčování

Přidání mulče na povrch půdy snižuje erozi, snižuje výpar, chrání před dopadem dešťových kapek a zvyšuje stabilitu agregátů (Bronick a Lal, 2005).

Mulčování představuje osvědčenou technologii v zemědělství a zahradních systémech, která se využívá již po mnoho století. Aplikace mulče má hlavně za cíl omezit růst plevelů a zlepšit vodní nebo termický režim půdy. Kromě toho se mulče využívají k ochraně půdy před erozí. Přispívají též k zlepšení obsahu organické hmoty a zvyšují dostupnost živin pro rostliny v půdě, zejména v povrchové vrstvě (Thai et al., 2022). V dnešní době je k dispozici škála materiálů pro mulčování, zahrnující polyethylenové fólie, netkané polypropylenové tkaniny, biologicky odbouratelné plastové fólie, papírové filmy, organické mulče jako jsou sláma nebo dřevěné hobliny, a také štěrky (Pavlů et al., 2021).

Přírodní mulčovací materiály podporují udržování organické hmoty v půdě a zajišťují prostředí pro půdní biotu. Mezi nejběžnější organické mulčovací materiály patří obilná sláma (Pavlů et al., 2021), kůra nebo dřevěná štěpka, listí či tráva (Thai et al., 2022). Je však třeba poznamenat, že přírodní mulče nemusí vždy účinně kontrolovat růst plevelů. Mohou obsahovat semena plevelů a také často zpomalují ohřev půdy na jaře. Použití přírodního mulče účinně redukuje erozi půdy vodou. Jeho efektivita je navíc ovlivňována sklonem terénu, texturou půdy a typem použitého mulče (Pavlů et al., 2021).

3.6.5 Hnojení půdy

Hnojení některými minerálními hnojivy zlepšuje strukturu půdy, zvyšuje makroagregaci a odolnost proti rozpadu, ale může snížit stabilitu půdních agregátů proti rozpouštění a

disperznímu působení. V hnojených půdách je také vysoká biomasa žížal. Nehnojené půdy obvykle obsahují nižší množství organického uhlíku a biomasy žížal, jsou hutnější než hnojené půdy. Za určitých podmínek však mohou hnojiva také snižovat koncentraci organického uhlíku, snižovat agregaci a redukovat mikrobiální společenstva. Přesto používání chemických hnojiv často zlepšuje strukturu půdy ve srovnání s nehnojenými půdami. Příznivé účinky aplikace hnojiv obvykle převažují případné negativní vlivy hnojení (Bronick a Lal, 2005).

Organická hnojiva představují významný zdroj živin. Vedle hlavních živin (dusík, fosfor, draslík) obsahují také množství mikroprvků a dalších prospěšných látek. Pro zvýšení kvality půdy lze také využít minerální (průmyslová) hnojiva, avšak je důležité dodržovat předepsané množství, neboť některá hnojiva mohou působit na rostliny rychlým způsobem (Šimek et al., 2021).

Kromě používání chemických hnojiv existuje i zelené hnojení, které je často využíváno jako účinný a udržitelný zemědělský postup, která přináší půdě řadu výhod po svém zapracování do půdy před následným vysazením plodin. Použití zeleného hnojení může zvýšit dostupnost dusíku a fosforu v půdě a zlepšit obsah dalších živin. Navíc přidávání zeleného hnojení do půdy posiluje půdní strukturu a podporuje biologickou aktivitu. Zelené hnojení, které se skládá z čerstvých rostlinných zbytků s nízkým poměrem C:N, může být po zapravení do půdy rychle rozloženo půdními mikroorganismy. Tím dochází k návratu rostlinných živin zpět do zemědělské půdy (Li et al., 2023).

4. Praktická část

4.1 Charakteristika studovaného území

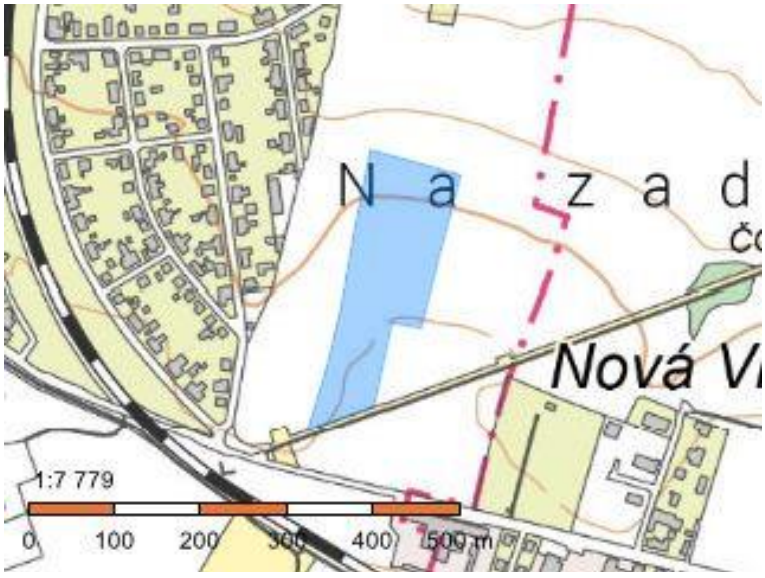
Systém biopásů realizovaný Fakultou životního prostředí České zemědělské univerzity byl založen 9. dubna 2021 s finanční podporou z Magistrátu hl. m. Prahy na pozemcích obhospodařovaných firmou VIN AGRO s.r.o. Dotace na tento projekt jsou i od Technologické agentury ČR. Fotodokumentace je uvedena v přílohách 2-5.

Tento projekt (systém biopásů) nese název „Monitoring a optimalizace nektarodárných biopásů na orné půdě v katastru hl. m. Prahy (Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita, 28. prosince 2023).

Klade si za hlavní cíle monitorování biodiverzity členovců a ekosystémových služeb v rámci vybraných polí, sledování dopadu založení biopásů na členovce a poskytování ekosystémových služeb, zhodnocení dopadu způsobu založení biopásu na společenstva opylovačů.

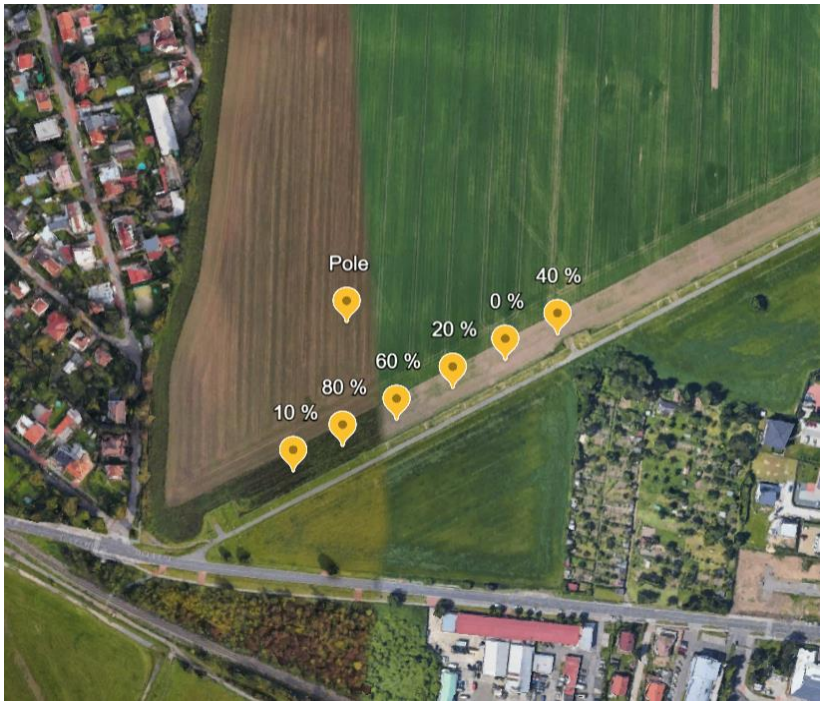
Pro účely bakalářské práce byl vybrán jeden biopás v Praze 19 – Kbely, přesněji u Letiště Praha-Kbely.

Obrázek č. 2 prezentuje specifický detail studijního území. Tento konkrétní pozemek je evidován v katastru nemovitostí pod identifikačním číslem 1988/21 a jedná se o pozemek určený pro zemědělské využití – konkrétně ornou půdu (*Nahlížení do katastru nemovitostí*, 20. prosince 2023).



Obrázek 2: Detail studijního pozemku. (Nahlížení do katastru nemovitostí online)

Jednotlivé úseky v rámci biopásu (obrázek č. 3) jsou rozděleny podle podílu vylepšené směsi, a to celkem do šesti ploch s 0 %, 10 %, 20 %, 40 %, 60 % a 80 % podílu vylepšené směsi. Plocha s 0 % je oficiální směs pro dotační titul „Nektarodárný biopás“.



Obrázek 3: Pokusná plocha - včetně všech částí biopásu. (Google Earth, 2023)

Tento výzkum se zabývá plochou biopásu Jetelovin (10 %) a plochou biopásu Travin (80 %) v porovnání s ornou půdou (Pole) (obrázek č. 4). Celkový výsevek experimentální směsi v rámci jednotlivých úseků biopásu byl 25 kg/ha.

Obrázek 4: Pokusná plocha – vybrané části biopásu pro výzkum. (Google Earth, 2023)

Biopás Jetelovin (vyskytují se zde převážně jeteloviny) obsahuje směs s podílem vylepšené směsi ve výši 10 %. Nejvyšší obsah zastoupení je u vikve seté a vičince ligrusu *(Onobrychis viciifolia)*, které dosahují 4,77 kg/ha, následované jetelem lučním *(Trifolium pratense)* 3,82 kg/ha dále obsahuje komonici bílou *(Melilotus albus)*, svazenku vratičolistou *(Phacelia tanacetifolia)*, jetel plazivý *(Trifolium repens)* aj. Kromě jetelovin se v tomto úseku vyskytuje pohanka obecná *(Fagopyrum esculentum)* a kmín kořenný *(Carum carvi)* 2,39 kg/ha a kostřava drsná/ovčí *(Festuca ovina)* 1,35 kg/ha.

Biopás Travin má podíl vylepšené směsi ve výši 80 %. Nejvíce jsou zastoupeny v tomto úseku traviny, jako je kostřava drsná/ovčí se směsí 10,82 kg/ha, lipnice luční *(Poa pratensis)* v množství 3,38 kg/ha kostřava červená *(Festuca rubra)* obsahuje 2,71 kg/ha, dále pak bylinu kmín kořenný s 1,35 kg/ha aj.

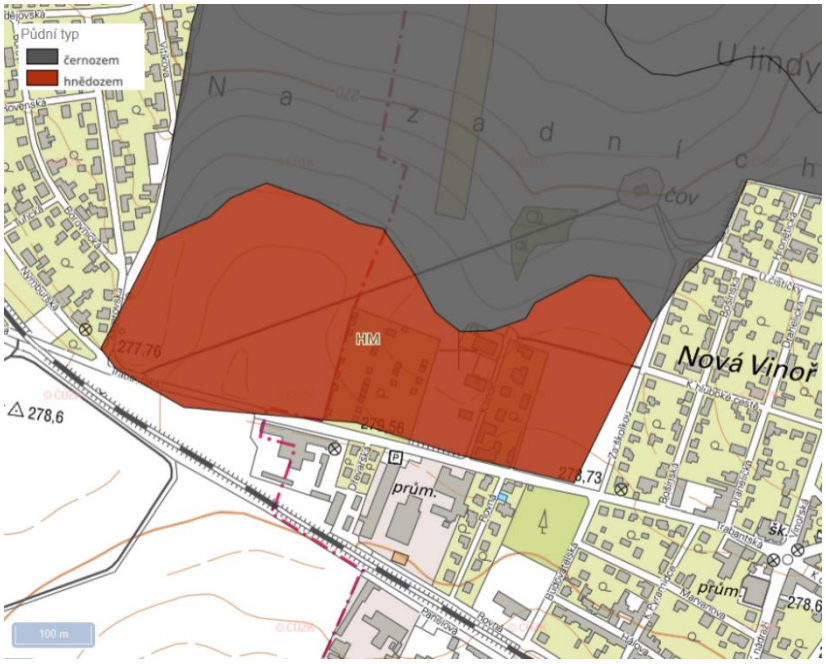
V roce 2023, v době odběrů vzorků na orné půdě bylo po sklizni řepky olejky.

4.1.1 Půdní pokryv

Studijní oblast se převážně nachází v rovinatém terénu, má všesměrnou expozici a obsahuje celkový podíl skeletu do 10 %. Tyto půdy jsou hluboké, což přispívá k jejich vysoké produktivitě.

Legislativně je půda zařazena do první třídy ochrany podle Vyhlášky o stanovení tříd ochrany č. 48/2001 Sb. Tato kategorie představuje nejcennější půdy v daném klimatickém regionu, které mohou být ze Zemědělského půdního fondu odebrány jen výjimečně (eKatalog BPEJ, VUMOP, 9. února 2024).

Na daném území, zejména v oblasti s biopásy se vyskytují hnědozemě (obrázek č. 5). Tyto půdy jsou v této oblasti charakterizovány jako hlinité (*Komplexní průzkum půd,* VUMOP, 3. února 2024*)*.



Obrázek 5: Výskyt půdních typů na studovaném území. (Komplexní průzkum půd, VUMOP)

V širším okolí tedy převažují především půdní typy hnědozem modální (HNm) a hnědozem modální slabě oglejená (HNmg). V některých částech lze nalézt i černozem modální (CEm), černozem modální karbonátovou (CEmc) a černozem luvickou (CEl) (*Komplexní průzkum půd,* VUMOP, 3. února 2024*)*.

Půdní typ Hnědozem

Hnědozemě jsou půdy s diferencovaným profilem, kde je mírně vysvětlený eluviální horizont Ev, nevykazující výraznou deskovitou–lístkovitou strukturu. Tento horizont přechází bez jazykovitých (prstovitých či klínovitých) záteků do homogenně hnědého luvického horizontu s výraznými hnědými povlaky pedů (polyedrů–prismat). Mikromorfologicky lze tyto povlaky pedů a pórů identifikovat jako silně orientované, vyvolávající dvojlom argilanů. Texturní diferenciace u modálního subtypu dosahuje na homogenních substrátech alespoň hodnoty 1,3.

Jedná se o sorpčně nasycené půdy v horizontu Bt (Vm – minerální složení nad 60 %) v případě zemědělsky využívaných půd po celém profilu. Průměrný obsah humusu v ornicích zemědělských půd dosahuje nízkých hodnot kolem 1,8 %.

Půdní typ hnědozem vnikl převážně v rovinatém nebo mírně zvlněném terénu ze spraší prachovic a polygenetických hlín pod původními doubravami a habrovými doubravami.

Hnědozemě se vyskytují v rámci klimatických regionů B3–5(6), Ko2–3 a Ku 3–4.2–3 (4) a jsou charakteristické pro vegetační stupeň 1–2 (3). Rozšíření těchto půd se nachází na pomezí ustického a udického hydrického režimu. Stratigrafie půdního profilu může být vyjádřena jako O–Ah nebo Ap–(Ev)–Bt–B/C–C nebo Ck (Němeček et al., 2011).

Půdní typ Černozem

Tento specifický typ půdy patří do skupiny Černosolů. Jde o půdy hlubokohumózního charakteru s výrazným černickým horizontem Ac sahajícím do hloubky 0,4-0,6 metru. Vznikly na karbonátových sedimentech.

Jedná se o sorpčně nasycené půdy, s obsahem humusu v rozmezí 2,0–4,5% (od lehčích přes typické středně těžké až po těžké) v horizontu Ac. Charakteristickým rysem tohoto typu půdy je výrazná, velmi dobrá struktura, která se projevuje drobtovitým až zrnitým uspořádáním.

Vznikly v sušších a teplejších oblastech v podmínkách ustického vodního režimu. Tyto půdy se nachází ve vegetačním stupni 1–2 a vznikly v oblastech s predominancí spraší, písčitých spraší a slínů. Stratigrafie modálního profilu zahrnuje vrstvy Ac–A/Ck–K–Ck, zatímco černozemě luvické vykazují vrstvy Ac–Bth–BCk–Ck (Němeček et al., 2011).

4.1.2 Geologický pokryv

Studijní oblast se nachází na lokalitě, kde převládajícím geologickým typem horniny je spraš a sprašová hlína. Minerální složení této oblasti zahrnuje především křemen, vápenec v podobě $CaCO_3$, jílovou příměs a další příměsi. Geologický kontext studijního území je zařazen do období kvartéru, přičemž konkrétně spadá do období pleistocénu (Česká geologická služba, Geologická mapa (Geology.cz), 8. února 2024).

4.1.3 Charakteristika klimatu

Studijní oblast se nachází v klimatickém regionu s teplým a mírně suchým podnebím (T2) v nadmořské výšce přibližně 275 m n. m. . Průměrná suma teplot nad 10 °C se pohybuje v rozmezí 2600 až 2800, přičemž průměrná roční teplota dosahuje hodnot od 8 do 9 °C. Průměrný roční úhrn srážek se drží v rozmezí 500 až 600 milimetrů (eKatalog BPEJ, VUMOP, 9. února 2024).

Hydropedologické charakteristiky jsou uvedeny na obrázku č. 6.

Hydropedologické charakteristiky

Půdy se střední rychlostí infiltrace i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité.

Hydropedologická charakteristika	Rozsah hodnot	Kategorie
Hydrologická skupina	0.1 - 0.2 $mm.min^{-1}$	B - půdy se střední rychlostí infiltrace
Infiltrace a propustnost	0.10 - 0.15 $mm.min^{-1}$	střední
Retenční vodní kapacita	od 320 $l.m^{-2}$	vysoká
Využitelná vodní kapacita	od 200 $l.m^{-2}$	vysoká

Obrázek 6: Hydropedologická charakteristika studovaném území. (eKatalog BPEJ, VUMOP)

4.2 Metodika

Vzorky pro rozbor stability agregátů, celkovou pórovitost (P) a retenční vodní kapacitu (RVK) byly odebrány v roce 2023. Vzorky byly odebrány na plochách orné půdy (Pole) a na plochách biopásu (jetelovin a travin). Z orné půdy bylo odebráno 6 neporušených i porušených půdních vzorků, z jednotlivých typů biopásu bylo získáno vždy po pěti vzorcích.

4.2.1 Základní fyzikální parametry

Pro určení základních fyzikálních vlastností půdy se využívají neporušené vzorky půdy (foto – příloha 7). Vzorky jsou odebírány do Kopeckého ocelových válečků o objemu 100 cm^3. Před samotným odběrem je každý válec, který má specifické označení, zvážen (prázdný a bez uzávěrů). Tato hmotnost se následně zaznamená (Gv). Zároveň je i pro každý válec zváženo hodinové sklíčko (Gs).

Rozbor těchto vzorků proběhl ihned po jejich odběru z dané lokality.

Z neporušených vzorků půdy (podle Spasič et al., 2023) se stanoví skutečná vlhkost (přirozeně vlhké půdy), kapilární nasycení/nasáklivost, maximální kapilární kapacita, celková pórovitost, semikapilární pórovitost, nekapilární pórovitost a retenční vodní kapacita.

Rozbor neporušeného půdního vzorku probíhá následujícím způsobem (Spasič et al., 2023):

1. Každý válec obsahující čerstvý vzorek půdy se nasytí destilovanou vodou pomocí kapilárního vzlínání skrz filtrační papír, který je umístěn na perforovaném stojánku a jehož okraje jsou ponořeny do vody. Aby se zabránilo odpařování, je vrchní část válce přikryta hodinovým sklíčkem. Vzorek je nasycen po dobu 24 hodin, případně až do okamžiku, kdy je horní povrch vzorku vlhký a má lesklý vzhled.

2. Vzorek s filtračním papírem se přesune na stranu, aby přebytečná voda mohla z filtračního papíru odkapat. Položí se na hodinové sklo, které již bylo použito k vážení (Gs), a zaznamená se jeho hmotnost (Gb).

3. Následně je vzorek umístěn na čtyřikrát přeložený filtrační papír a jeho horní část je opět přikryta hodinovým sklíčkem. Tento okamžik je označen jako nultá hodina a od této chvíle se počítá doba desaturace.

4. Po uplynutí 30 minut je válec, který byl zakrytý hodinovým sklíčkem, znovu zvážen (Gc) na stejném hodinovém sklíčku.

5. Válec se znovu umístí na čtyřikrát přeložený kus suchého filtračního papíru a po 90 minutách (2 hodiny od nulté hodiny) (Gd) se zváží na hodinovém skle.

6. Vzorek, který je opět přikrytý hodinovým sklem, se umístí na čtyřikrát přeložený suchý papír. Po uplynutí 22 hodin (24 hodin od nulté hodiny) (Ge) se vzorek znovu zváží.

7. Následně se válec s kruhovým filtračním papírem a hodinovým sklem umístí do sušárny při teplotě 105 °C a ponechává se v ní až do dosažení konstantní hmotnosti. Poté je vzorek naposledy zvážen (Gf)

Výpočty základních fyzikálních parametrů uvádí tabulka č. 2.

Tabulka 2: Základní výpočty jednotlivých parametrů (Spasič et al., 2023)

Měření	**Označení**	**Výpočty**
Nasáklivost	ΘNS [%]	Gb - Gf
Třicetiminutová vlhkost	Θ30 [%]	Gc - Gf
Maximální kapilární kapacita	ΘMKK [%]	Gd - Gf
Retenční vodní kapacita	ΘRVK24 [%]	Ge - Gf
Specifická hmotnost částic	ρ_z	2,65
Čistá hmotnost vysušeného vzorku	Gh	Gf – Gv – Gs
Objemová hmotnost	ρ_d	Gh/V
Celková pórovitost	P [%]	$((\rho_z-\rho_d)/\rho_z)*100$
Semikapilární pórovitost	P_S [%]	$\Theta_{30} - \Theta_{RVK24}$
Nekapilární pórovitost	P_N [%]	$P - \Theta_{30}$

V - objem Kopeckého válečku (100 cm^3)

Gb - hmotnost plně nasyceného vzorku [g]

Gc - hmotnost vzorku po 30min odsávání [g]

Gd - hmotnost vzorku po 2h odsávání [g]

Ge - hmotnost vzorku po 24h odsávání [g]

Gf - hmotnost vzorku po vysušení [g]

Gh - čistá hmotnost vysušeného vzorku [g]

Gv - hmotnost Kopeckého válečku [g]

Gs - hmotnost hodinového skla [g]

ρz - specifická (měrná) hmotnost [$g.cm^{-3}$]

ρd - objemová hmotnost [$g.cm^{-3}$]

4.2.2 Stanovení WSA

Pro analýzu stability agregátů byly použity porušené půdní vzorky (foto – příloha 6), které byly umístěny do sáčku a převezeny do laboratoře. V laboratoři byly sáčky otevřeny, aby jednotlivé vzorky mohly vyschnout přirozeně na vzduchu. Po úplném vysušení byly vzorky přesívány přes síta, čímž byly získány agregáty o velikosti 2-5 mm. Zároveň byly ze vzorků odebrány případné rostlinné zbytky a hrubší nečistoty.

Pro stanovení ve vodě stabilních agregátů (WSA – foto – příloha 8) byla využita metoda popsaná v publikaci Nimno a Perkins (2002). Základní princip této metody je analogický s principem metody doporučené v normě DIN 19683-16 (1998) pro stanovení stability agregátů.

Postup pro stanovení WSA je následující: 4,0 g oddělených agregátů o rozměrech 2-5 mm se umístí na síta promývajícího přístroje Wet Sieving Apparatus a následně se promývají v miskách s destilovanou vodou po dobu 3 minut.

Následně jsou misky obsahující rozplavené nestabilní agregáty vyměněny za misky s dispergačním prostředkem, hexametafosforečnanem sodným (2g do 1 litru vody), a proces promývání a rozplavování agregátů pokračuje do té doby, než na sítech zůstanou pouze zrna písku a zbytky kořínků větší než 0,25 mm.

Obě sady misek jsou následně vysušeny v sušárně při teplotě 110 °C. Po dokončeném sušení se určí hmotnosti materiálů ze stabilních a nestabilních agregátů, které poslouží k vyhodnocení jejich stability.

Stabilita agregátů byla vyjádřena prostřednictvím indexu ve vodě stabilních agregátů (WSA), který udává poměr hmotnosti ve vodě stabilních agregátů k celkové hmotnosti vzorku analyzovaného, přičemž jsou vyřazeny částice písku větší než 0,25 mm.

Z naměřených výsledků lze vypočítat index WSA pomocí následujícího vzorce:

$$WSA = \frac{Wds}{(Wds + Wdw)}$$

Kde:

Wds = Představuje hmotnost agregátů, které byly dispergovány/rozplaveny v dispergačním činidle (v hexametafosforečnanu sodném).

Wdw = Hmotnost agregátů, jež se rozpadly nebo disociovaly ve vodě.

WSA = Index stability agregátů – Čím je hodnota indexu WSA blíže k jedné, tím více naznačuje, že se jedná o agregáty s vyšší stabilitou ve vodě.

4.2.3 Zpracování výsledků

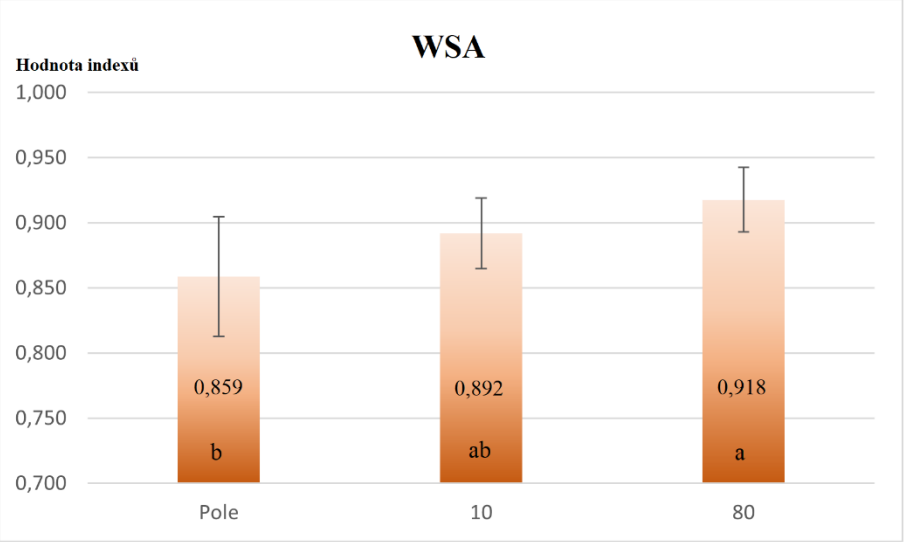
Veškeré výsledky byly zpracovány pomocí statistických metod. Pro základní výpočty statistických parametrů byl využit program Microsoft Office Excel 2016. Analýza rozptylu byla zpracována v programu STATISTIKA 12.

4.3 Výsledky

Tabulka 3: Popisná statistika výsledků stability půdních agregátů studovaného území

	WSA		
	Pole	**10**	**80**
Minimum	0,769	0,845	0,881
Maximum	0,911	0,920	0,956
Průměr	0,859	0,892	0,918
Směr. odchylka	0,046	0,027	0,025
Koeficient var.	5,37	3,04	2,709

Tabulka č. 3 popisuje základní statistické parametry stability půdních agregátů v jednotlivých variantách experimentu na studovaném území, tedy jak pole, tak oba typy biopásu. Z tabulky lze vyčíst, že vyšší variabilitu má pole na rozdíl od úseků biopásu.



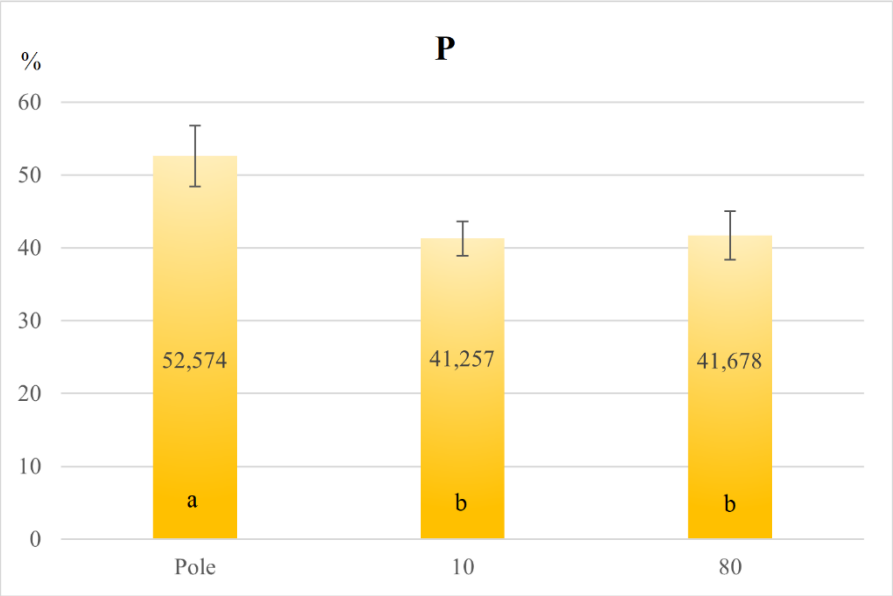
Obrázek 7: Srovnání výsledků stability půdních agregátů. Chybové úsečky odpovídají směrodatné odchylce a odlišná písmena označují průkazný rozdíl na hladině významnosti α= 0,05.

Z obrázku č. 7 je zřejmé, že největší stabilita půdních agregátů je u biopásu s 80% experimentální směsí (biopás travin). Naopak na poli je stabilita půdních agregátů výrazně nižší. Zároveň lze z obrázku vyčíst, že biopás jetelovin (10) je ohledně stability půdních agregátů podobný jak s polem tak s biopásem travin. Provedením statistické analýzy bylo zjištěno v případě WSA, že u biopásu jetelovin neexistuje statistiky významný rozdíl v porovnání s polem a biopásem travin.

Tabulka 4: Popisná statistika celkové pórovitosti studovaného území

P (%)			
	Pole	**10**	**80**
Minimum	46,917	37,361	37,579
Maximum	58,046	44,309	46,102
Průměr	52,574	41,257	41,678
Směr. odchylka	4,176	2,357	3,333
Koeficient var.	0,079	0,057	0,08

Tabulka č. 4 ukazuje popisnou statistiku celkové pórovitosti (P) orné půdy a dvou typů biopásu na studovaném území. Z tabulky je zřejmé, že variabilita pole je velmi podobná s biopásem travin (80). Naopak variabilita biopásu jetelovin (10) je nižší.



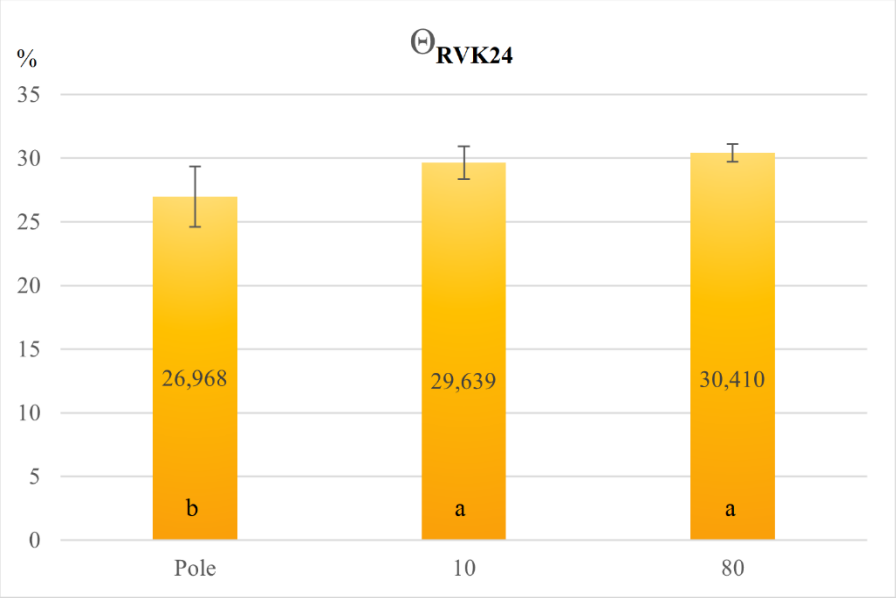
Obrázek 8: Srovnání celkové pórovitosti pole a dvou typů biopásu. Chybové úsečky odpovídají směrodatné odchylce a odlišná písmena označují průkazný rozdíl na hladině významnosti α= 0,05.

Z obrázku č. 8 lze vyčíst, že celková pórovitost pole je velmi vysoká. Oba typy biopásu se značně v celkové pórovitosti od pole liší. Jejich celková pórovitost je nižší. Provedením statistické analýzy bylo odhaleno v případě P, že existuje statistický rozdíl mezi polem a oběma typy biopásu.

Tabulka 5: Popisná statistika retenční vodní kapacity studovaného území

Θ_{RVK24} (%)			
	Pole	**10**	**80**
Minimum	24,235	27,557	29,354
Maximum	29,4	30,99	31,211
Průměr	26,968	29,639	30,41
Směr. odchylka	2,36	1,289	0,686
Koeficient var.	0,088	0,044	0,023

Tabulka č. 5 prezentuje popisnou statistiku retenční vodní kapacity (Θ_{RVK24}) pro jednotlivé varianty experimentu na studovaném území, zahrnující jak pole, tak oba typy biopásu. Z tabulky je patrné, že nejvyšší variabilitu retenční vodní kapacity má pole a nejmenší variabilita se vyskytuje u biopásu travin, tedy biopásu s 80% experimentální směsí.



Obrázek 9: Porovnání retenční vodní kapacity pro plochu pole a dvou typů biopásu. Chybové úsečky odpovídají směrodatné odchylce a odlišná písmena označují průkazný rozdíl na hladině významnosti α= 0,05.

Obrázek č. 9 popisuje rozdíl retenční vodní kapacity mezi dvěma typy biopásu a polem. Retenční vodní kapacita je vyšší u obou biopásů. Pole má Retenční vodní kapacitu nižší. Provedením statistické analýzy v případě Θ_{RVK24} byl zjištěný statisticky významný rozdíl mezi polem a oběma typy biopásu.

Další výsledky jsou uvedeny v příloze 1.

4.4 Diskuse

Existující výzkumy provedené v různých částech Evropy a Severní Ameriky naznačují, že dobře navržené biopásy postupem času zlepšují svou kvalitu. I když množství poskytovaného pylu a nektaru pro opylovače často vzroste již v prvním roce po založení, ostatní druhy organismů, které jsou často méně pohyblivé než opylovači, mohou z biopásu těžit až po dvou nebo více letech.

Je známo, že biopás také ovlivňuje půdní prostředí. Na biopásu rostou různé druhy rostlin, jejichž kořeny a rhizosféra mají mnoho vlivů na agregaci půdy. Kořeny manipulují s půdními částicemi a uvolňují exudáty, což má za následek fyzikální, chemické a biologické změny, které ovlivňují agregaci (Rillig et al., 2002). Agregaci také posilují houby a bakterie, které se zaplétají do půdních částic a poskytují mimobuněčné sloučeniny, které částice spojují (Bronick a Lal, 2005). Ovlivňují také koloběh vlhkosti a sucha v okolní půdě. Tento vliv může v některých případech zvyšovat stabilitu půdních agregátů (Angers a Caron, 1998).

Tím, že rostliny takto ovlivňují půdu biopásu, dochází v půdě k výskytu mnoho půdních organismů, včetně členovců, žížal, hlístic, a i větších makroorganismů, které též mají významný vliv na strukturu půdy. Požírají a vyvrhují půdní materiál, přemisťují rostlinný materiál. Zároveň makroorganismy provzdušňují půdu a zvyšují pórovitost a celkově posilují stabilitu půdních agregátů, stabilizaci dusíku a uhlíku a také ovlivňují dostupnost živin (Bronick a Lal, 2005).

Metody pro ohodnocení půdní struktury obvykle nerozlišují mezi biotickými a abiotickými faktory, které jsou zodpovědné za vytváření struktury. Existuje rozmanitá škála metod s zajímavou kombinací přístupů od pedologických a fyzikálních, s později hodnocenými vlivy biologickými. Stručný přehled metod s fyzikálním zaměřením poskytuje recenze od Dextera (1988).

Z mého výzkumu je patrné, že po dvou letech existence biopásu je opravdu viditelný rozdíl ve stabilitě půdních agregátů. Retenční vodní kapacita vyšla menší na poli než v obou typech biopásu. A zároveň, že na poli vyšla pórovitost veliká a stabilita půdních agregátů horší. Je pravděpodobné, že to souvisí s tím, že půda na poli je často kypřena a orána, což vede k vytvoření makropórů, které nejsou schopny účinně zadržovat vodu.

Bylo také zjištěno, že v přeoraných půdách stabilní povrchové agregáty poskytují vyšší počet spojených a propojených pórů a mají potenciál urychlit tok vody, tj. preferenční tok. Tato struktura agregátů může ovlivňovat vodivost a difuzivitu nasycené vody (Lipiec et al., 2007).

Pagliai et al. (2004) konstatují, že v případě polí často dochází k degradaci půdní struktury vlivem intenzivního zemědělství, jako jsou monokultury, chemická hnojiva a pesticidy. Intenzivní zemědělství může také způsobit snížení obsahu organické hmoty a ztrátu strukturální stability což může vést k ztrátě kontinuity dlouhých přenosových pórů a také negativně ovlivňuje schopnost půdy zadržet vodu.

Naopak jiné studie ukazují, že v biopásech, kde se často nachází různorodá vegetace a více organické hmoty, se půda stává více strukturovanou. Kořeny rostlin půdu prolamují, vytvářejí kanálky a zvyšují propustnost půdy, což umožňuje lepší absorpci a udržení vody (Hanusová et al., 2017). Je to významné zejména při prevenci proti erozi, která má vliv na vlastnosti půdy, včetně stability půdních agregátů (Jakšík et al., 2015).

Obecně platí, že s rostoucí erozí klesá stabilita půdních agregátů a tím dochází k menší schopnosti půdy zadržet vodu (Jakšík et al., 2015).

Další výzkumy též ukazují, že kvalita stability půdních agregátů v dané půdě přímo ovlivňuje schopnost půdy zadržovat vodu. Tato vlastnost je dána množstvím organické hmoty, biologickou aktivitou půdy a celkově fyzikálním stavem půdy.

Obecně lze říct, že stabilita půdních agregátů koreluje pozitivně s obsahem organického uhlíku, který často klesá při obdělávání půdy, a tedy obecně vede k degradaci půdy, jako je tvorba krust, odtok a také eroze (Le Bissonnais et al., 2007).

Kodešová et al. (2009) také identifikovali vztah mezi stabilitou půdních agregátů a dalšími charakteristikami půdy, včetně obsahu organické hmoty a fyzikálních parametrů, jako je pórovitost a retenční vodní kapacita.

Lze tedy konstatovat, že biopásy dokážou půdní podmínky ovlivňovat velmi výrazně.

Je však ale důležité si uvědomit, že druhové složení rostlin v biopásu nebude stabilní. Některé druhy rostlin, které jsou obsaženy v půdě, vyklíčí brzy po založení biopásu, ale jejich výskyt v dalších letech může významně poklesnout. Naopak jiné druhy rostlin se

mohou postupně kolonizovat z okolních oblastí a mohou se v biopásu objevit až po několika letech. V mé bakalářské práci byly testovány dva typy biopásu, avšak jejich rozdílnost po dvou letech nebyla statisticky významná.

Postupné změny v druhovém složení jsou často nevyhnutelné, a zkušenost z jiných částí světa naznačuje, že po 5-7 letech ve vysetých oblastech často převažují druhy, které nebyly vysázeny, nad těmi, které vysázeny byly. Tato situace však nemusí být pro dlouhodobou udržitelnost biopásů problémem, pokud se nejedná o agresivní plevele či invazivní druhy rostlin.

Problémem je, že plochy vyčleněné jako biopásy musí být během pětiletého cyklu jednou rozorány a znovu osety. To bohužel zvyšuje realizační náklady a současně i snižuje možné benefity pro biodiverzitu. Lepším řešením by bylo zakládat biopásy dlouhověké, které by vydržely po celých pět let, ale optimálně ještě déle.

5. Závěr

Daná práce se zabývala vlivem biopásu na stabilitu půdní struktury a retenci vody v půdě. Pro tyto účely byla stanovena stabilita půdních agregátů pomocí metody WSA (mokrého promývání agregátů) a základní fyzikální parametry. Pozorován byl hlavně vliv biopásu na stabilitu půdních agregátů a zároveň retenční vodní kapacitu půdy a celkovou pórovitost půdy.

Dané vzorky byly odebrány na dvou typech biopásu a na sousedící orné půdě (pole). Z výsledků bylo patrné, že retenční vodní kapacita byla vyšší u obou typů biopásu na rozdíl od pole. Ohledně celkové pórovitosti byly nejvyšší hodnoty u pole, hodnoty u obou typů biopásu byly výrazně nižší. Stabilita půdních agregátů (WSA) byla u obou typů biopásu vyšší v porovnání s polem. Pomocí statistické analýzy bylo ale zjištěno, že toto zvýšení v případě stability půdních agregátu u biopásu Jetelovin (10) není statisticky významné, ale u ostatních statisticky významné je. Dá se tedy říci, že půda biopásu lépe zadržuje vodu než sousedící orná půda.

Obecně lze konstatovat, že biopás má na stabilitu půdní struktury a retenci vody v půdě významný vliv. Ačkoliv půdu velmi ovlivňuje i hospodaření s ní. Čím více dochází k mechanickému narušení půdy, tím méně se v půdě udrží voda a narušuje se tím i stabilita půdních agregátů (půdní struktura). Je tedy důležité o půdu pečovat, na orné půdě by mělo docházet k mulčování, rotaci plodin, omezení chemických hnojiv a pesticidů a hlavně by se měly v okolí orné půdy zakládat biopásy, které přispívají k lepší struktuře půdy.

Na závěr lze říct, že rozdíly ve struktuře půdy mezi poli a biopásy jsou klíčovými faktory ovlivňující retenční vodní kapacitu. Biopásy pozitivně ovlivňují stabilitu půdních agregátů, zadržování vody v půdě a celkovou pórovitost, tyto informace byly potvrzeny výsledky bakalářské práce. Tímto byly potvrzeny i hypotézy, tedy že v půdě víceletého biopásu je půdní struktura stabilnější než na sousedící orné půdě a zároveň retenční schopnost půd je u orné půdy horší než u půdy biopásu.

6. Zdroje

6.1 Seznam knižní literatury

Bedrna Z. 2002. Environmentálne pôdoznalectvo. Bratislava: Veda. ISBN 80- 224-0660-0.

Němeček J., Mühlhanselová M., Macků J., Vokoun J., Vavříček D., Novák P. 2011. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. 2. uprav. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita. ISBN 978-80-213-2155-7.

Nimmo, J. R., Perkins, K. S., 2002. Aggregate stability and size distribution. In: Dane, J.H., Topp, G.C. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 4 – Physical Methods. SSSA, Madison, pp. 317–328.

Prax A., Jandák J., Pokorný E. 1997. Půdoznalství. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. ISBN 80-7157-145-8

Šantrůčková H., Kaštovská E., Bárta J., Miko L., Tajovský K. 2018. Ekologie půdy. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. ISBN 978-80-7394-695-1

Šarapatka B. 2014. Pedologie a ochrana půdy. Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-3736-1.

Šimek a kolektiv 2019. Živá půda. Praha: Academia. ISBN 978-80-200-2976-8.

Šimek M., Elhottová D., Fuksa P., Hynšt J., Kobes M., Kvítek T., Malý S., Moudrý J., Rozsypal R., Tajovský K. 2021. Živá půda – praktický manuál. Praha: Academia. ISBN 978-80-200-3199-0.

6.2 Seznam odborných článků

Abiven S., Menasseri S., Chenu C. 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability — a literature analysis. Soil Biology and Biochemistry 41, 1–12.

Angers D.A.; Caron J. 1998. Plant-induced Changes in Soil Structure: Processes and Feedbacks 42(1-2), 55–72.

Barthés B. a Roose E. 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels, Catena 47(2), 133-149.

Bronick C.J, Lal R. 2005. Soil structure and management: a review. Geoderma 124(1-2), 3-22.

Cantón, Y., Solé-Benet, A., Asensio, C., Chamizo, S., & Puigdefábregas, J. 2009. Aggregate stability in range sandy loam soils Relationships with runoff and erosion. Catena 77(3), 192–199.

Clerque T. C., Saby N. P. A., Wadoux A. M .J.-C., Barthés B. G., Lacoste M. 2023. Estimating soil aggregate stability with infrared spectroscopy and pedotransfer functions. Soil Security 11, 100088.

Ding H., Zhu H., Sun R., Wen W., Bi R. 2023. Variation in the physical properties of soil in relation to natural and anthropogenic factors in the hilly loess region of China. Catena 236, 107751.

Edwards A. P., Bremner J. M. 1967. Microaggregates in soils. Journal of Soil Science 18(1), 64-73.

Gao X., Li F. Y. 2023. The inverse texture effect of soil on vegetation in temperate grasslands of China: Benchmarking soil texture effect. Geoderma 438, 116641.

Hanusová H., Jirout M., Winkler J. 2017. Vyhodnocení botanického monitoringu vegetace vybraných agroenvironmentálních opatření. Úroda 12/2017, 65-72.

Iheshiulo E. M.-A., Larney F. J., Hernandez-Ramirez G., St. Luce M., Chau H. W., Liu K. 2023. Crop rotations influence soil hydraulic and physical quality under no-till on the Canadian prairies. Agriculture, Ecosystems & Enviroment 361, 108820.

Koděšová R., Rohošková M., Žigová A. 2009. Comparison of aggregate stability within six soil profiles under conventional tillage using various laboratory tests. Biologia 64/3: 550—554, Section Botany.

Kotzer E. 2005. Artificial kidneys for the soil – solving the problem of salinization of the soil and underground water. Desalination 185, 71-77.

Le Bissonnais Y., Blavet D., De Noni G., Laurent J.-Y., Asseline J., Chenu C. 2007. Erodibility of Mediterranean vineyard soils: relevant aggregate stability methods and significant soil variables. European Journal of Soil Science 58, 188–195.

Lipiec J., Walczak R., Witkowska-Walczak B., Nosalewicz A., Słowińska-Jurkiewicz A., Sławiński C. 2007. The effect of aggregate size on water retention and pore structure of two silt loam soils of different genesis. Soil and Tillage Research 97, 239-246.

Li P., Jia L., Chen Q., Zhang H., Deng J.,- Lu J., Xu L., Li H., Hu F., Jiaguo J. 2023. Adaptive evaluation for agricultural sustainability of different fertilizer management options for a green manure-maize rotation system: Impacts on crop yield, soil biochemical properties and organic carbon fractions. Science of The Total Environment 908, 126170.

Liu B., Jing Z., Wang J., Feng Y. 2023. Effect of soil compaction on hydraulic properties and macropore structure: Evidence from opencast mines in the Loess Plateau of China. Ecological Engineering 192, 106988.

Martens D. A. 2000. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. Soil Biology and Biochemistry 32(3), 361 – 369.

Oades J. M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. Geoderma 56(1–4), 377-400.

Pagliai M., Vignozzi N., Pellegrini S. 2004. Soil structure and the effect of management practices 79(2), 131–143.

Pavlů L., Kodešová R., Vašát R., Fér M., Nikodem A., Kapička A. 2022. Estimation of the stability of topsoil aggregates in areas affected by water erosion using selected soil and terrain properties. Soil and Tillage Research 219, 105348.

Pavlů L., Kodešová R., Fér M., Nikodem A., Němec F., Prokeš R. 2021. The Impact of various mulch types on soil properties controlling water regime of the Haplic Fluvisol. Soil and tillage research 205, 104748.

Spasič M., Vacek O., Vejvodová K., Tejnecký V., Polák F., Borůvka L, Drábek O. 2023. Determination of physical properties of undisturbed soil samples according to V. Novák. MethodsX 10, 102133.

Thai, S., Davídek, T., Pavlů, L. 2022. Causes clarification of the soil aggregates stability on mulched soil. Soil and Water Research 17(2), 91–99.

Tisdall, J. M. a J. M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. Journal of Soil Science 33(2), 141-163.

6.3 Internetové zdroje

Biopásy. Eagri.cz [online], [cit. 2024-02-26]. Dostupné z: https://eagri.cz/public/portal/-q266653---AO_VR1qC/biopasy

Česká geologická služba. Geologická mapa 1 : 50 000 (Lite) [online], [cit. 2024-02-8]. Dostupné z: https://mapy.geology.cz/geo/

Nektarodárné biopásy. Praha: Fakulta životního prostředí ČZU 2021 [online], [cit. 2023-12-28]. Dostupné z: https://www.fzp.czu.cz/cs/r-6899-projekty-a-spoluprace-s-praxi/r-6923-projekty/r-13356-archiv-projektu/r-16311-nektarodarne-biopasy

Komplexní průzkum půd. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v. v. i. [online], [cit. 2024-02-3]. Dostupné z: https://kpp.vumop.cz/?core=app

eKatalog BPEJ. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v. v. i. [online], [cit. 2024-02-9]. Dostupné z: https://bpej.vumop.cz/

Zákony pro lidi. 2024. [online], [cit. 2023-11-23]. Dostupné z: https://www.zakonypro-lidi.cz/

7. Seznam obrázků

Obrázek 1: Trojúhelníkový diagram zrnitosti půd 16
Obrázek 2: Detail studijního pozemku 31
Obrázek 3: Pokusná plocha – včetně všech částí biopásu 32
Obrázek 4: Pokusná plocha – vybrané části biopásu pro výzkum 33
Obrázek 5: Výskyt půdních typů na studovaném území 34
Obrázek 6: Hydropedologická charakteristika studovaném území 36
Obrázek 7: Srovnání výsledků stability půdních agregátů 42
Obrázek 8: Srovnání celkové pórovitosti pole a dvou typů biopásu 43
Obrázek 9: Porovnání RVK pro plochu pole a dvou typů biopásu 44

8. Seznam tabulek

Tabulka 1: Vztah půdní reakce, půdní struktury a některých pedogenetických procesů 18
Tabulka 2: Základní výpočty jednotlivých parametrů 39
Tabulka 3: Popisná statistika výsledků stability půdních agregátů 42
Tabulka 4: Popisná statistika celkové pórovitosti 43
Tabulka 5: Popisná statistika retenční vodní kapacity 44

9. Seznam příloh

Příloha 1: Souhrnná tabulka výsledků 54
Příloha 2: Detail studovaného území – Sléz lesní 55
Příloha 3: Detail studovaného území – Šalvěj přeslenitá 56
Příloha 4: Odběr porušených půdních vzorků pole 57
Příloha 5: Pohled na studované území – pole a biopás 58
Příloha 6: Porušené půdní vzorky pole a dvou typů biopásu 59
Příloha 7: Vážení neporušených půdních vzorků 60
Příloha 8: Metoda WSA porušených půdních vzorků 61

Příloha 1: Souhrnná tabulka výsledků

Půda	Parametr	ΘNS (%)	Θ30 (%)	ΘMKK (%)	ΘRVK24 (%)	Gh (g)	ρ_d ($g.cm^{-3}$)	P (%)	P_S (%)	P_N (%)	WSA
Pole	Minimum	34,63	30,272	28,172	24,235	111,177	1,112	46,917	5,302	8,532	0,769
	Maximum	42,51	39,402	36,584	30,61	140,67	1,407	58,046	8,792	25,813	0,911
	Průměr	38,767	34,216	31,559	26,968	125,68	1,257	52,574	7,248	18,358	0,859
	Směr. odch.	2,776	3,267	3,159	2,36	11,067	0,111	4,176	1,154	6,488	0,046
	Koeficient var.	0,072	0,065	0,1	0,088	0,088	0,088	0,079	0,159	0,353	5,370
10	Minimum	36,51	32,708	30,959	27,557	147,582	1,476	37,361	4,979	3,629	0,845
	Maximum	42,83	38,84	35,694	30,99	165,994	1,66	44,309	8,56	10,179	0,920
	Průměr	39,517	36,06	33,857	29,639	155,669	1,557	41,257	6,421	5,669	0,892
	Směr. odch.	2,54	2,443	1,885	1,289	6,247	0,065	2,357	1,354	2,396	0,027
	Koeficient var.	0,064	0,068	0,056	0,044	0,04	0,04	0,057	0,211	0,423	3,04
80	Minimum	37,97	35,491	33,108	29,354	142,83	1,428	37,579	4,782	2,225	0,881
	Maximum	40,41	36,832	35,057	31,211	165,415	1,654	46,102	6,214	9,995	0,956
	Průměr	39,431	36,071	34,249	30,41	154,553	1,546	41,678	5,661	5,999	0,918
	Směr. odch.	0,799	0,456	0,643	0,686	8,833	0,088	3,333	0,644	2,819	0,025
	Koeficient var.	0,02	0,013	0,019	0,023	0,057	0,057	0,08	0,114	0,47	2,709

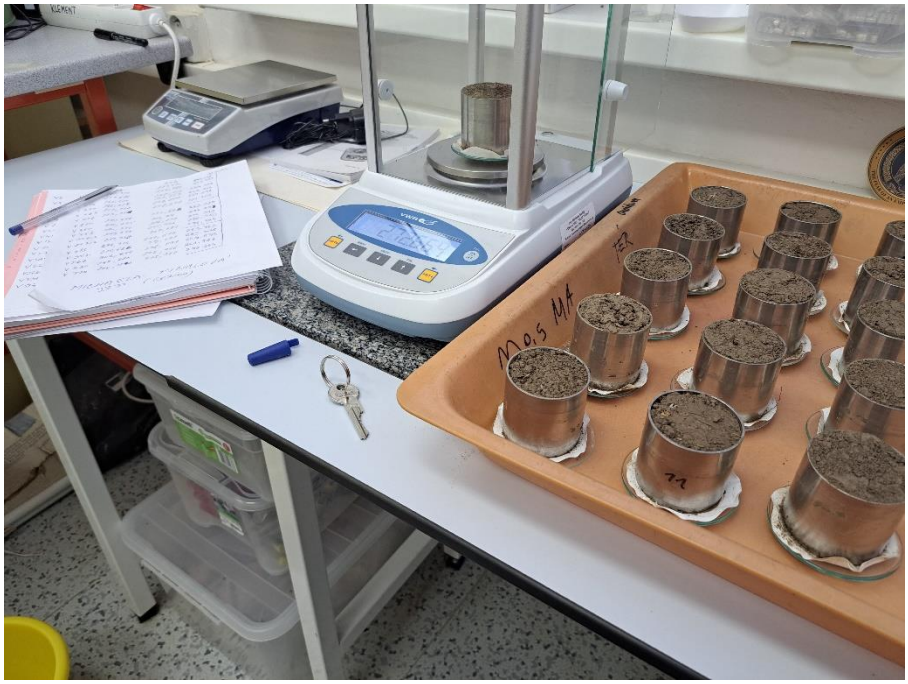
Příloha 2: Detail studovaného území – Sléz lesní

Příloha 3: Detail studovaného území – Šalvěj přeslenitá

Příloha 4: Odběr porušených půdních vzorků pole

Příloha 5: Pohled na studované území – pole a biopás

Příloha 6: Porušené půdní vzorky pole a dvou typů biopásu



Příloha 7: Vážení neporušených půdních vzorků

Příloha 8: Metoda WSA porušených půdních vzorků