

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Katedra biotechnických úprav krajiny

Obor Regionální environmentální správa



**Stanovení půdní struktury a její analýza pro různé
kategorie využití půdy na modelové lokalitě Krymlov**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Miloslav Janeček, DrSc.

Vypracovala: Bc. Lenka Kolísková

2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Lenka Kolísková

Regionální environmentální správa

Název práce

Stanovení půdní struktury a její analýza pro různé kategorie využití půdy na modelové lokalitě Krymlov

Název anglicky

Determination of soil structure and its analysis for different categories of land use on the model locality Krymlov

Cíle práce

- 1) vybranými statistickými metodami vyhodnotit naměřené hodnoty MWD:
 - pro A horizont v rámci kategorií Land Use : orná půda, TTP a les,
 - A horizont jednotlivých lesních typů s kategoriemi Land Use, TTP a orná půda.
 - A horizont v rámci jednotlivých lesních typů
- 2) popsat vývoj půdní struktury (hodnot MWD) v průběhu sond.

Metodika

1. Literární rešerše odborné literatury se bude zabývat popisem půdní struktury, jejím významem, vlivem na ztrátu půdy a faktory ovlivňujících půdní strukturu. Dále budou vypsány a stručně zhodnoceny možné metody ke stanovení půdní struktury.
2. Samostatnou kapitolu práce bude tvořit popis zájmového území – Krymlov , který bude zahrnovat i popis kopaných sond a odběr vzorků půdy pro stanovení půdní struktury vybranou metodou.
3. Metodika práce bude obsahovat podrobný popis laboratorního stanovení půdní struktury metodou MWD (Mean weighted diameter). Tato metoda slouží k popisu změny fyzikálních vlastností půdy při disruptivním procesu deště, kdy pracovní postup disagregace bude určen za pomoci tří testů A, B, C.
4. Datový soubor, získaný metodou MWD (příp. soubor bude doplněn údaji z databáze), bude analyzován standardními statistickými metodami, tj. aplikací základní popisné statistiky (rozdělení dat v souboru, četnosti, průměr, rozptyl...), t-testu a korelace.
5. Poslední část práce bude tvořena výsledky a diskuzí k nim.

Doporučený rozsah práce

cca 100 stran včetně tabulek, grafů a obrázků

Klíčová slova

půdní struktura, metody vyhodnocení půdní struktury, metoda MWD, korelace, statistické vyhodnocení

Doporučené zdroje informací

- Kay, B. D., 1998: Soil structure and organic carbon: a review: In Lal, R., Kimble, J. M., Follett, R. F., Stewart, B. A. (eds.): Soil processes and the carbon cycle, p.169-297
- Kodešová, R., Rohošková, M., Žigová, A., 2009: Comparison of aggregate stability within six soil profiles under conventional tillage using various laboratory test. *Biologia*, 64: 550-554
- Lado, M., Ben-Hur, M, Shainberg, I., 2004: Soil Wetting and Texture Effects on Aggregate Stability, Seal Formation, and Erosion. *Soil Sci. Soc. Am.* 68:1992-1999
- Le Bissonais, Y., 1996: Aggregate stability and assessment of crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *Eur J. Soil Sci.*, 47:425-37
- Loch, R.J., Foley, J.L., 1994: Measurement of aggregate breakdown under rain: comparison with tests of water stability and relationships with field measurements of infiltration. *Aust. J. Soil Res.*, 32:701 -720
- Nelson, D. W., Sommers, L. E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A. L. (eds.): *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, second ed. Agronomy Monographs, 9. ASA-SSA, Madison, WI, p. 539 579

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FŽP

Vedoucí práce

prof. Ing. Miloslav Janeček, DrSc.

Garantující pracoviště

Katedra biotechnických úprav krajiny

Elektronicky schváleno dne 27. 11. 2015

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 11. 2015

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 18. 04. 2016

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Stanovení půdní struktury a její analýza pro různé kategorie využití půdy na modelové lokalitě Krymlov“ vypracovala samostatně s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Tato diplomová práce je součástí projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum QH82090 - Změny půdních vlastností po zatravnění, zalesnění nebo dlouhodobém nevyužívání orné půdy, s dopady na ochranu půdy, vody a krajiny České republiky (2008-2012, MZE/QH), v Program výzkumu v agrárním sektoru (2007-2012).

V Praze dne 16.4.2016

.....
Lenka Kolísková

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Miloslavu Janečkovi, DrSc. za odborné vedení při zpracování diplomové práce.

Velice děkuji zaměstnancům VÚMOP v Praze, zejména Ing. Michaele Hrabalíkové, Ph.D. za trpělivost a ochotu při poskytování odborných konzultací, které mi byly značným přínosem při tvorbě diplomové práce. Též děkuji Ing. Petře Huislové za cenné rady a pomoc při práci v laboratoři, taktéž děkuji za odborné rady Ing. Ondřeji Holubíkovi.

ABSTRAKT

Hodnocená stanoviště lesních monokultur, TTP a orné půdy se nacházejí v lokalitě Krymlov (okres Praha-východ). Z důvodu studia mobility a vertikálního posunu mikro a makro elementů zde bylo v letech 2011 a 2012 vykopáno sedm sond. V rámci projektu QH82090 „Změny půdních vlastností po zatravnění, zalesnění nebo dlouhodobém nevyužívání orné půdy, s dopady na ochranu půdy, vody a krajiny České republiky“ (2008-2012, MZE/QH) bylo provedeno hodnocení stability půdní struktury spolu s hodnotami příslušných forem Fe.

Pro účely této diplomové práce byly laboratorně stanoveny hodnoty MWD pro Ap horizont z již zmíněných sedmi sond. Vzorky byly odebrány v rámci třech Land Use (lesní porost, orná půda a TTP).

Cílem práce je popsat vývoj půdní struktury (hodnot MWD) v profilu sond a dále vyhodnotit vybranými statistickými metodami naměřené hodnoty MWD pro A horizont v rámci jednotlivých kategorií Land Use.

Klíčová slova

Půdní struktura, půdní agregát, metoda MWD, Wilcoxonův párový test

ABSTRACT

Addressed habitat of forest monocultures, grassland and arable land are located in Krymlov (Prague-East District). To find out about mobility of micro and macro elements in the specific habitats, in the years 2011 and 2012 seven sonds were dugged up and tested. Evaluation of soil structure stability along with the values of molds Fe was conducted within the project QH82090 – Changes of the soil properties due-to grassing, afforestation or in the long-term abandoned land regarding to soil quality, landscape and water conservation in the Czech Republic. (2008-2012, MZE/QH).

For the purposes of this thesis were determined values of MWD (mean weight diameter) for Ap horizon of the aforementioned seven sonds collected under three land use categories (forests, arable land and permanent grassland).

The aim is to describe the development of soil structure and evaluate MWD results for A horizon within each land use category by statistical methods.

Keywords

Soil structure, soil aggregates, MWD method, Wilcoxon matched pairs test

OBSAH

1 ÚVOD.....	10
2 CÍL.....	11
2.1 VÝZKUMNÉ OTÁZKY	11
3 LITERÁRNÍ REŠERŠE.....	12
3.1 VZNIK PŮDNÍ STRUKTURY	12
3.1.1 Půdotvorný substrát	12
3.1.2 Zrnitost půdy.....	13
3.1.3 Vliv vody na vývoj půdní struktury	13
3.1.4 Vliv klimatu na vývoj půdní struktury	13
3.2 PŮDNÍ ORGANICKÁ HMOTA JAKO FAKTOR OVLIVŇUJÍCÍ TVORBU PŮDNÍ STRUKTURY	13
3.2.1 Definice půdní organické hmoty	14
3.2.2 Význam půdní organické hmoty	14
3.2.3 Půdní organický uhlík.....	15
3.3 PŮDNÍ STRUKTURA	16
3.3.1 Definice struktury půdy.....	17
3.3.2 Tvorba půdní struktury	17
3.3.3 Posuzování struktury půdy	18
3.3.4 Typy půdní struktury	18
3.4 PŮDNÍ AGREGÁT	21
3.4.1 Rozdělení agregátů dle velikosti.....	21
3.4.2 Stabilita půdních agregátů	22
3.4.3 Příčiny rozpadu půdních agregátů.....	23
3.4.4 Důsledky rozpadu půdních agregátů	24
3.5 VLIV HOSPODAŘENÍ NA STABILITU PŮDNÍ STRUKTURY.....	25
3.6 METODY VYUŽÍVANÉ KE STANOVENÍ PŮDNÍ STRUKTURY	28
3.6.1 Metoda mokrá.....	28
3.6.2 Metoda suchá.....	29
3.6.3 Metoda mikromorfologických snímků	30
3.6.4 „Woods metal“ porozimetrie.....	30
3.6.5 Počítačová tomografie a magnetická rezonance	31
3.1.4 Celkový index stability (WSSI).....	31
4 POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ KRYMLOV.....	33
4.1 POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ.....	33
4.2 LOKALIZACE KOPANÝCH SOND.....	34

4.2.1	Popis půdních sond	35
5	METODIKA	39
5.1	METODA MWD.....	39
5.1.1	Stanovení agregátové stability metodou MWD	39
5.1.2	Využití metody.....	40
5.1.3	Vybavení potřebné pro stanovení stability půdní struktury.....	40
5.1.4	Pracovní postup	42
5.1.5	Testy pro stanovení MWD	42
5.1.6	Výpočet MWD.....	44
5.1.7	Zpracování výsledků	45
5.1.8	Presentace výsledků	45
5.2	POPIS POUŽITÝCH STATISTICKÝCH METOD	46
5.2.1	Směrodatná odchylka - σ	46
5.2.2	Variační koeficient	46
5.2.3	Wilcoxonův párový test	46
6	VÝSLEDKY	47
6.1	POPIS PŮDNÍ STRUKTURY V PROFILU SOND	47
6.1.1	Popis půdní struktury v závislosti na hloubce půdního profilu u lesních porostů.....	48
6.1.2	Popis půdní struktury v závislosti na hloubce půdního profilu u typů land use	51
6.2	STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ.....	52
6.2.1	Porovnání hodnot MWD pro A horizont lesních porostů a orné půdy.....	52
6.2.2	Porovnání hodnot MWD pro A horizont lesních porostů a TTP	52
6.2.3	Porovnání rozdílnosti jednotlivých metod	53
7	DISKUSE	55
8	ZÁVĚR.....	57
	PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	58
	SEZNAM OBRÁZKŮ	63
	SEZNAM TABULEK	64
	SEZNAM ZKRATEK	65

1 ÚVOD

Půda je v zásadě neobnovitelný zdroj a velmi dynamický systém, který zajišťuje řadu funkcí a poskytuje služby nezbytné pro lidské činnosti a pro přežití ekosystémů. Na základě dostupných informací lze usuzovat, že v průběhu několika posledních desetiletí se značně zvýšila intenzita procesů degradace půdy. Existují důkazy, že pokud se neuskuteční žádná opatření, tato intenzita se ještě zvýší (Směrnice na ochranu půdy 2006/0086 (COD)).

Půdní struktura patří k nejvýznamnějším fyzikálním vlastnostem půdy. Jedná se o prostorové uspořádání agregátů v půdě, přičemž stabilita těchto agregátů vypovídá o schopnosti půdy odolávat destruktivním účinkům vodních srážek. Závisí na půdním typu a druhu, obsahu humusu, biologické aktivitě, ale také na způsobu zpracování půdy. Stabilita půdních agregátů je tedy jedním z rozhodujících faktorů ovlivňujících odolnost půdy proti vodní erozi. Poškozením struktury půdy dochází k degradaci půdy, přičemž její postup je mnohonásobně rychlejší než její obnova. Vzhledem k rychlosti tvorby půdy v našich podmínkách (10 mm za 80-150 let) dochází v současné době na značné části polí k dlouhodobému úbytku půdy a ke zhoršování jejích vlastností z hlediska úrodnosti, ale i s ohledem na její retenční funkci.

Právě z tohoto důvodu byla zvolena metoda MWD, díky které je možné popsat změny fyzikálních vlastností půdy při disruptivním procesu deště. Metoda je obvykle aplikována na hodnocení kvality svrchních horizontů zemědělských půd. Dále je možné pomocí metody MWD určit kvalitu půdní struktury pro různé půdní horizonty při jakémkoliv využití půdy, což umožňuje klasifikovat chování a složení půdy pro modelovou lokalitu Krymlov. Avšak hlavním důvodem vzájemného porovnání hodnocených stanovišť v oblasti Krymlova je jejich těsná blízkost a srovnatelný půdní typ.

Poznatky vyplývající z této diplomové práce mohou být přínosem pro návrhy půdoochranných a protierozních opatření na území střední Evropy.

2 CÍL

Cílem této diplomové práce je vyhodnotit vybranými statistickými metodami naměřené hodnoty MWD :

- Pro A horizont v rámci kategorií Land Use: orná půda, TTP a les,
- A horizont jednotlivých lesních typů s kategoriemi Land Use, TTP a orná půda.
- A horizont v rámci jednotlivých lesních typů.

Dále je cílem práce popsat vývoj půdní struktury (hodnot MWD) v profilu sond.

2.1 Výzkumné otázky

Hypotézy práce pro porovnání lesních porostů a orné půdy

Dle nulové hypotézy (H_0) je předpokládáno, že rozpadavost půdních agregátů je u lesních porostů a orné půdy stejná.

V rámci alternativní hypotézy (H_1) je předpokládáno, že rozpadavost půdních agregátů je v případě lesních porostů větší než v případě orné půdy.

Hypotézy práce pro porovnání lesních porostů a TTP

Dle nulové hypotézy (H_0) je předpokládáno, že rozpadavost půdních agregátů je pro kategorii lesních porostů a TTP stejná.

V rámci alternativní hypotézy (H_1) je předpokládáno, že rozpadavost půdních agregátů je v případě lesních porostů větší než u TTP.

3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1 Vznik půdní struktury

Vznik půdní struktury je výsledkem působení mnoha faktorů, které lze členit na činitele primární a sekundární. Badalíková et Kňákal (2001) považují jako primární činitele půdotvorný substrát, zrnitost, vodu a klima. Mezi sekundární faktory pak řadí aktivity člověka, ať už se jedná o kultivace nebo naopak devastace.

3.1.1 Půdotvorný substrát

Jak uvádí Vopravil et al. (2009) a Tomášek (2007) půdotvorný substrát, nebo také matečná hornina je základním materiálem pro vývoj půd a zároveň patří k těm nejpodstatnějším činitelům ovlivňujícím jednotlivé vlastnosti půdy. Primární substrát mohou představovat pevné horniny nebo zvětraliny těchto hornin, dále sedimenty mořských nebo říčních vod, antropogenní uloženiny, ale i starší půdy.

Matečné horniny se nejčastěji člení podle jejich geologického stáří, ovšem samotný proces vývoje půdy probíhá postupně. Nejprve dochází ke vzniku samotného půdotvorného substrátu a následně se půdotvornými pochody vytvoří biologicky aktivní půda.

Skladba a zrnitostní složení matečné horniny má rozhodující vliv na výsledné vlastnosti půdy. Zrnitost půdotvorného substrátu totiž zásadně ovlivňuje zrnitostní složení půdy, tedy vlastnost, která má značný vliv např. na sorpci, infiltraci a retenci vody v půdě. Další neméně důležitý vliv ve vývoji půd představuje chemické složení substrátu, a to zejména obsah bazických iontů (Mg, K, Ca, Na). Přičemž kyselost půdy ovlivňuje právě obsah Ca a Mg v substrátu.

Půdotvorný substrát dále výrazně působí na vznik půdního typu. Např. kambizem, nejrozšířenější půdní typ v ČR, se může vyvíjet na rozdílných půdotvorných substrátech. Avšak půdní typ rendzina se vyvíjí pouze na vápenatém podkladu. Zajímavý případ představují poměrně časté tzv. smíšené substráty. Jedná se o směs materiálů velice se lišící svým původem, klasickým příkladem je směs písku s jílem.

3.1.2 Zrnitost půdy

Zrnitost půd (textura) je jedna ze základních fyzikálních vlastností půd. Třídění zemin a půd podle zrnitosti patří mezi nejstarší klasifikační systémy na světě. Zrnitost půd je určena zastoupením jednotlivých minerálních částic o různých velikostech, přičemž pro půdy má největší význam obsah v jemnozemi (částice menší než 2 mm). Podle výsledného počtu frakcí lze zeminu klasifikovat, tzn. určit půdní druh.

Pro hodnocení zrnitosti se u nás nejčastěji používá třídění frakcí podle Nováka. Rozhodujícím faktorem je zde procento obsahu jílu v jemnozemi (Vráblíková et Vráblík, 2006).

3.1.3 Vliv vody na vývoj půdní struktury

Povrchová voda spolu s podzemní vodou významně ovlivňuje vláhové poměry v půdě. Na periodicky zamokřovaných půdách dochází k procesu oglejení, tedy snižuje se intenzita oxidačních procesů a dochází k hromadění organických látek v půdě. Jindy spodní voda bohatá na rozpuštěné látky může způsobovat zasolení (Tomášek, 2007). Salinizace půd je jedním z půdotvorných procesů úzce související s proces eroze a také desertifikace. Z pohledu životního prostředí a zemědělského využití půd se proto jedná o značné zhoršování půdních vlastností (Nováček et Huba, 1994).

3.1.4 Vliv klimatu na vývoj půdní struktury

Klima je důležitým faktorem, který výrazně ovlivňuje charakter procesů v půdě. Tomášek (2006) uvádí, že teplota, ale také intenzita a distribuce srážek určuje, jestli dochází k vynášení nebo vyluhování látek. V ČR je určujícím faktorem klimatu zejména nadmořská výška a expozice území k převládajícímu směru větru.

3.2 Půdní organická hmota jako faktor ovlivňující tvorbu půdní struktury

Ačkoliv půdní organická hmota (SOM) tvoří pouze malou část půdy, významně ovlivňuje vznik půdní struktury, koloběh prvků v půdě a nepřímo i fyzikální stav půdy (VÚMOP, 2015). Obecně platí, že půdy obsahující organickou hmotu mají

lepší půdní strukturu, která zvyšuje infiltraci vody a snižuje náchylnost půdy k zhutnění, erozi, i sesuvům.

3.1.1 Definice půdní organické hmoty

Půdní organická hmota (SOM) představuje soubor všech organických látek vyskytujících se v půdě nebo na jejím povrchu. Dělí se na část živou a neživou, přičemž do SOM se obvykle nezahrnují živé organismy (mikro, makro a mezo-edafon). Živá a neživá složka se vzájemně podmiňují, jsou na sobě závislé a působí na celkovou biologii půdy, mineralizační i imobilizační procesy.

SOM tvoří 2-5 % celkové hmotnosti půdy. I přes tento fakt významně ovlivňuje řadu půdních vlastností. Potvrzuje to právě obsah uhlíku, který odlišuje půdu od původního geologického substrátu (Vaněk et al., 2010).

3.1.2 Význam půdní organické hmoty

Půdní organická hmota je klíčovým ukazatelem kvality půdy (Reeves, 1997). Není pochyb o tom, že půdní organická hmota příznivě ovlivňuje fyzikální a chemické vlastnosti půdy a z valné většiny je podmínkou existence bohaté půdní bioty. V odborné literatuře lze najít mnoho dokladů o příznivém účinku SOM na produktivitu půdy, přičemž účinnost tohoto působení závisí na půdních a klimatických podmínkách, na osevním postupu, na systému zpracování půdy a také hnojení (Kubát et al., 2008).

S obsahem půdní organické hmoty je úzce spjata úrodnost půdy, která závisí na množství vstupů biomasy, hospodaření, intenzitě mineralizace, ale také na míře eroze (Roose et Bartthes, 2001).

Humus

Značný význam má půdní organická hmota na tvorbu humusu a humus naopak odráží kvalitu organické hmoty. Humus tedy vzniká právě z půdní organické hmoty procesem humifikace a má v půdě nezastupitelnou roli. Vytváří totiž s anorganickou složkou organominerální komplexy a ovlivňuje mnoho půdních procesů (Vopravil et al., 2009; VÚMOP, 2015).

Humifikace

Množství organické hmoty v půdě je výsledkem rovnováhy mezi procesem humifikace a mineralizace. Při humifikaci dochází k rozkladu a následné syntéze organického materiálu za vzniku humusu. Kvalita i množství humusových látek je ovlivněna podmínkami humifikace. Faktorem působícím během tohoto procesu může být aktivita mikroflóry a mikrofauny, charakter výchozích organických látek, provzdušnění, zamokření, teplota atd. (Vopravil et al, 2009; VÚMOP, 2015).

Vliv humifikace a mineralizace na půdní organickou strukturu a půdní organický uhlík

Tobiašová et Šimanský (2009) uvádějí, že velké množství organické hmoty je výsledkem rovnováhy mezi procesem humifikace a mineralizace. Proces mineralizace je velice citlivý na změny v hospodaření. Dlouhodobé studie dokazují, že nepřetržité pěstování plodin vede k snížení půdního organického uhlíku. Naopak správným hospodařením, např. primárním hnojením, používáním organických hnojiv, redukcí orby či střídáním plodin lze navýšit obsah tohoto uhlíku. Ztráty organické hmoty také úzce souvisejí s pórovitostí půdy a za mokra i se stabilitou půdních agregátů.

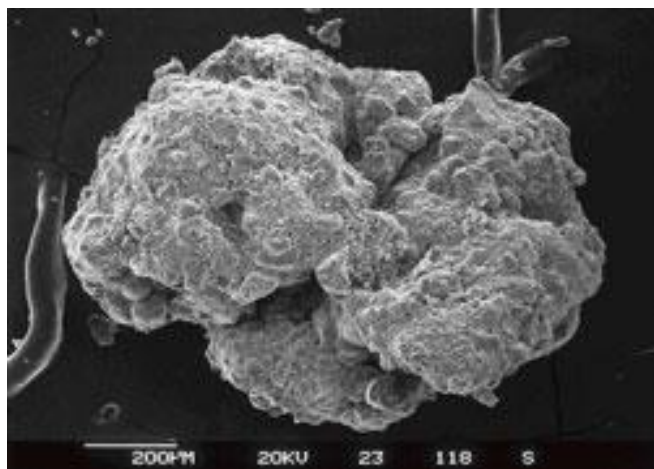
3.1.3 Půdní organický uhlík

Mnoho pozornosti je věnováno obsahu půdního organického uhlíku jako indikátoru kvality půdy a v současné době i pro jeho vliv na globální rovnováhu CO₂.

Význam půdního organického uhlíku pro půdní strukturu

Půdní organický uhlík je důležitou oporou pro strukturu půdy. Tato skutečnost je také důvodem, proč se výzkum organické hmoty převážně zaměřuje právě na obsah organického uhlíku (Kubát et al., 2008).

Obr. 1: Elektronický mikrosnímek půdního agregátu drženého pohromadě uhlíkem (McBratney, 2007)



Addiscott (1995) ve svém výzkumu zjistil vzájemnou interakci mezi půdní strukturou a půdním organickým uhlíkem. Tisdal et Oades (1982) se domnívají, že stabilizací humifikované organické hmoty se stabilizují i makroagregáty organické hmoty. Tyto strukturální jednotky přispívají k akumulaci organické hmoty tím, že přispívají k její ochraně před působením mikroagregátů. Organická hmota zvyšuje odolnost půdy vůči erozi a zvyšuje dostupnost živin pro rostliny. Dlouhodobé dodávání organických látek tedy zlepšuje i tvorbu voděodolných agregátů.

Vliv hospodaření ovlivňuje fyzikální vlastnosti půdy

Udržení optimálních fyzikálních podmínek je významnou složkou produkčního hospodaření. Zhoršení fyzikálních vlastností půdy ovlivňuje snížení obsahu organické hmoty. Přesto není doposud vztah mezi organickou hmotou půdy a fyzikálními vlastnostmi půdy jasně definovaný (Darwish et al., 1995).

3.3 Půdní struktura

Půdní struktura patří k nejvýznamnějším fyzikálním vlastnostem půdy. Půdní struktura a její stabilita jsou velmi důležité půdní charakteristiky ovlivňující chemické, fyzikální a biologické procesy v půdě.

3.3.1 Definice struktury půdy

Půdní strukturou se rozumí vzájemné prostorové uspořádání agregátů v půdě. Jedná se o schopnost vytváření větších agregátů stmelěním zrn různého průměru (od jílových po písečnaté), což je příčinou vzniku zvláštního složení půdy.

Struktura je podmíněna schopností spojovat (agregovat) částice tuhé fáze, desagregovat větší celky půdy a tím vytvářet strukturální agregáty. Kutílek et al. (1994) uvádí tři skupiny půd dle stupně vývoje struktury:

- **Půda strukturální**, vyznačuje se vyvinutou strukturou, agregáty se velmi snadno od sebe oddělují, jsou pevné a ve vodě plně stabilní,
- **Půda se slabě vyvinutou strukturou**, charakteristická větším podílem nestrukturního materiálu, struktura se dá identifikovat až po disagregaci vzorku,
- **Půda nestrukturní**, má nevyvinutou strukturu, nejsou u nich znatelné agregáty, vznikají náhodné větší či menší útvary (pseudoagregáty) při drobení. Pseudoagregáty jsou typické svou vodní nestabilitou, při rozplavení a následným vyschnutím vzniká celistvá vrstva.

Dobrá půdní struktura je schopna omezit působení negativních jevů působících na půdu a přímo či nepřímo ovlivňuje např. teplotu půdy, hloubku prokořenění, aeraci, erozi, vsakování, pohyb a zadržování vody, obsah živin atd. (Pospíšilová et Vlček, 2015)

3.3.2 Tvorba půdní struktury

Na tvorbě struktury půdy se podílejí síly molekulární, adhezní a meniskové, tmelivé účinky sesquioxidů a jílových minerálů, organických koloidů a organominerálních gelů (Jandák et al., 2010).

Vráblíková et Vráblík (2006) popisují tvorbu struktury ve dvou hlavních bodech:

- **Rozdělením půdy na agregáty** pomocí vysušení, působením mrazu a kořenového systému, dále kypřením živočichy a použitím agrotechniky,
- **Zpevněním agregátů** tmelícími látkami, např. humusem, sesquioxidy.

3.3.3 Posuzování struktury půdy

Základním znakem půdní struktury je, že se půda v přirozených podmínkách rozpadá do agregátů, které mají určité zákonité tvary (Vráblíková et Vráblík, 2006).

Šimek (2003) uvádí, že při posuzování struktury půdy se hodnotí velikost a tvar strukturních agregátů a jejich stabilita. Při popisu struktury se uvádí její typ, třída a stupeň. Strukturní typ je určen tvarem a uspořádáním půdních agregátů. U každého strukturního typu se v závislosti na velikosti agregátů rozeznává strukturní třída. Stupeň struktury udává míru rozlišení agregátů.



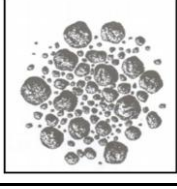
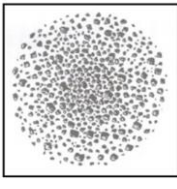
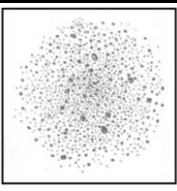
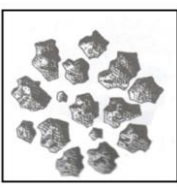
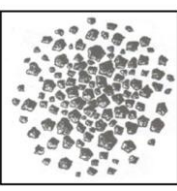
Podle velikosti půdních agregátů Jandák et al. (2010) rozlišuje tři typy půdní struktury:

- mikrostruktura - agregáty menší než 0,25 mm,
- makrostruktura – agregáty o velikosti 0,25 až 50 mm,
- metastruktura – hroudy větší než 50 mm.

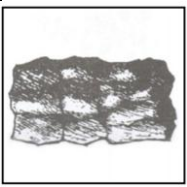
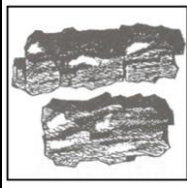
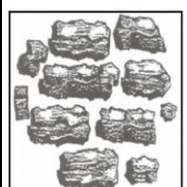


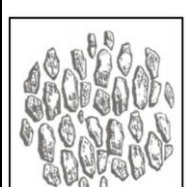
3.3.4 Typy půdní struktury

Popis půdní struktury vychází z tvaru půdních agregátů (viz tab. 1 a 2). Rozlišují se agregáty, které mají všechny tři rozměry přibližně stejné a agregáty s jedním nebo dvěma rozměry odlišnými. Stabilitu půdních agregátů lze v terénu orientačně stanovit odporem agregátů proti mechanickému tlaku, přesně je stabilita stanovena laboratorními postupy pomocí specializovaných přístrojů (Vopravil et al., 2010).

Tab. 1: *Izometrické typy půdní struktury (Tomášek, 2000)*

A - Izometrické (všechny tři rozměry přibližně stejné) strukturní elementy			
A1 - Kulovitá struktura			
Hrudovitá	>50	Plochy a hrany jsou rozpoznatelné ale špatně vyvinuté. Každý agregát má jiný tvar.	
Hrudkovitá	50-10	Plochy a hrany jsou rozpoznatelné ale špatně vyvinuté. Každý agregát má jiný tvar.	
Drobtovitá	10-5	Nejčastěji se vyskytuje v ornici a humusovém horizontu spolu s hrudovitou strukturou. Kypřé agregáty připomínají drobky pečiva.	
Jemně drobtovitá	5-1		
Práškovitá	>1		
A2 - Zrnitá struktura			
Zrnitá	10-5	Nejčastěji se vyskytuje v humusových horizontech s vyšší koncentrací organických a minerálních koloidů. Plochy a hrany jsou už lépe rozlišitelné.	
Jemně zrnitá	5-1	Nejčastěji se vyskytuje v humusových horizontech. Vlivem malé velikosti je obtížné rozlišit charakter ploch a hran.	
A3 - Polyedrická struktura			
Polyedrická struktura	>10	Nejčastěji se vyskytuje v iluviálních horizontech. Agregáty mají tvar mnohohranu má velmi dobře rozpoznatelné plochy a hrany.	
Drobně polyedrická	<10	Nejčastěji se vyskytuje v iluviálních horizontech. Agregáty mají tvar mnohohranu má velmi dobře rozpoznatelné plochy a hrany.	

Tab. 2: Anisometrické typy půdní struktury (Tomášek, 2000)

B - Anisometrické (jeden nebo dva rozměry se liší) strukturní elementy			
B1 - Vertikálně protažené elementy			
Hrubě prismatická (sloupkovitá)	>50	Nejčastěji se vyskytuje v nezpevněných sedimentech matečných hornin ve sprašových horizontech. Agregáty mají hranolovitý tvar navzájem na sebe navazující svými rovnými plochami.	
Prismatická (sloupkovitá)	50-20	Nejčastěji se vyskytuje v nezpevněných sedimentech matečných hornin ve sprašových horizontech. Agregáty mají hranolovitý tvar navzájem na sebe navazující svými rovnými plochami.	
Drobně prismatická (sloupkovitá)	<20	Nejčastěji se vyskytuje v nezpevněných sedimentech matečných hornin ve sprašových horizontech. Agregáty mají hranolovitý tvar navzájem na sebe navazující svými rovnými plochami.	
B2 - Horizontálně protažené elementy			
Deskovitá	>5	Nejčastěji se vyskytuje v eluviálních horizontech. Agregáty mají plátkovitý tvar s nepravidelnými kolnými lomy.	
Destičkovitá	5-2	Nejčastěji se vyskytuje v eluviálních horizontech. Agregáty mají plátkovitý tvar s nepravidelnými kolnými lomy.	
Lístkovitá	<2	Nejčastěji se vyskytuje v eluviálních horizontech. Agregáty mají plátkovitý tvar s nepravidelnými kolnými lomy.	

3.4 Půdní agregát

Půdní agregát je jednotka půdního uspořádání, která vzniká shlukováním elementárních půdních zrn. Jednotlivé částice jsou k sobě přirozeně poutány a vytvářejí prostorové shluky – agregáty (Vopravil et al., 2010).

Každý strukturní agregát tedy představuje shluk komponentů organického, ale hlavně minerálního původu, které jsou spojeny tmelícími prvky, např. sloučeninami železa, hliníku, vápníku a humusových látek (Vráblíková et Vráblík, 2006).

Tvorba a stálost strukturních agregátů závisí na fyzikálních, fyzikálně-chemických, biologických i mechanických faktorech, které zabezpečují různé vazby a tmelení elementárních složek (Vráblíková et Vráblík, 2006).

Obr. 2: Půdní agregát rendziny (URL 2)



3.4.1 Rozdělení agregátů dle velikosti

Jak již bylo řečeno, důležitým znakem půdní struktury je, že se půda rozpadá do agregátů s určitými tvary. Agregáty lze proto dělit dle velikosti na mikroagregáty a makroagregáty.

Mikroagregáty (menší než 250 μm) jsou např. půdní koloidy. Koloidy neboli útvary vzniklé spojením elementárních jílových a prachových částic, často za působení gelů sesquioxidů a huminových kyselin. Předpokladem pro vytvoření mikrostruktury je koagulace půdních koloidů. Mikroagregáty stmelují také organické látky, které vznikají při biochemických procesech humifikace. Tmelící vlastnosti humusových

látek však nejsou trvalé. Vyžadují totiž opakované zásobení půdy čerstvými organickými látkami (Vráblíková et Vráblík, 2006).

Makroagregáty (větší než 250 μm) vznikají růstem mikroagregátů a jejich následným shlukováním do větších celků. K jejich vzniku dochází také při vysychání půdy nebo mrznutím. Strukturální agregáty jsou prostoupeny póry, což má příznivý účinek na pohyb půdní vody ve strukturálních půdách (Vráblíková et Vráblík, 2006).

Další možné rozdělení dle morfologických tříd nabízí Kutílek (1994):

- *I. třída* – tvar agregátů je oblený a všechny tři osy jsou stejně dlouhé,
- *II. třída* – tvar agregátů má všechny tři osy stejně dlouhé, plochy rovné a hrany ostré,
- *III. třída* – tvar agregátů má horizontální osu delší,
- *IV. třída* – vodorovné osy jsou protažené.

3.4.2 Stabilita půdních agregátů

Stabilitou půdních agregátů se rozumí odolnost proti rozplavování vodou. Neboli pevnost vazby agregátu určuje jejich stabilitu, tedy stabilitu půdní struktury. Stabilita je velmi důležitá, protože nestabilní půdní struktura snadno podléhá negativním vlivům a rozpadá se, půda se stává bezstrukturální (Vopravil et al. 2009). Z tohoto důvodu je stabilita agregátů významná zejména v agronomickém pojetí. Odolnost agregátů se zvyšuje při dostatku kvalitních organických látek, vápníku a vhodného zrnitostního složení (Jandák et al., 2010).

Vodostálost agregátů je tedy schopnost půdy odolávat destruktivnímu účinku vody. Vodostálost je základním ukazatelem stability struktury. Představuje odolnost agregátů vůči vodě a mechanickým tlakům. Agronomicky významné agregáty mají minerální částice spojeny tmelem, tvořeným jílovitými minerály a koloidními humusovými látkami neutrální až mírně alkalické reakce (Jandák et al., 2009).

Obr. 3: Vytlačení půdních částic po dopadu dešťové kapky (USDA NRCS)



3.4.3 Příčiny rozpadu půdních agregátů

Půdní hmota se rozpadá buď samovolně, nebo vnějšími silami působícími na agregáty o různé velikosti, tvaru a stability. Rozpad půdní struktury tedy vyvolávají mechanické síly, fyzikálně-chemické jevy a biologické procesy (Jandák et al., 2010; Zoltán, 2002).

Mechanické faktory rozpadu půdních agregátů

Mechanické síly jsou původem přírodního nebo antropogenního původu. Mráz, dešťové kapky a extrémní vysušování půdy drobí půdní agregáty a uvolňují z nich jednotlivá zrna. Avšak tento proces je reverzibilní, takže z jednotlivých půdních zrn se opět vytvářejí půdní agregáty. Jinak je to však při mechanickém působení. Mechanické působení agrotechniky a dlouhodobé zavlažování ničí půdní strukturu zásadním způsobem (Zoltán, 2002).

Nejvýznamnějším rušivým činitelem půdní struktury je dešťová voda a půdní roztok. Dešťové kapky mohou na povrchu půdy rozbít agregáty, při nadměrném zamokření půd může docházet k rozplavování agregátů, vyplavování koloidů a vyluhování iontů Ca^{2+} (Jandák et al., 2010).

Fyzikálně-chemické procesy rozpadu půdních agregátů

Fyzikálně-chemické jevy rozpadu půdních agregátů úzce souvisejí s půdní aciditou, účinkem nadměrného obsahu draslíku a sodíku v půdě. Jednomocné kationty (Na^+ , H^+ , K^+) působí peptizačně na minerály i organické koloidy. Shlukování koloidů do

agregátů neumožňuje vytváření pravých roztoků vodorozpustných solí a anorganických kyselin. V humidních oblastech souvisí rozpad půdní struktury s acidifikací (H^+), zatím co v aridních oblastech se slancováním (Na^+) půdy. Na nadměrnou aplikaci draselných hnojiv se váže rozpad půdních agregátů. Je zřejmé, že přehnojení půdy draselnými hnojivy zhoršuje půdní strukturu a tím snižuje i odolnost půdy proti hutnění a erozi.

Biologické procesy rozpadu půdních agregátů

Biologické procesy rozkladu půdních agregátů jsou spojené s urychlenou mineralizací humusu v půdě. Urychlená mineralizace humusu je často zaviněna antropologickým působením. Ztráta humusu znamená úbytek stmelujícího materiálu a nepřímo tedy podmiňuje peptizaci půdních koloidů.

Rozpad půdní struktury

Rozpad půdní struktury na jednotlivá písečná, prachovitá a jílovitá zrna snižuje v půdě prostor pro vodu a vzduch. Průměrná optimální hodnota pórovitosti je 40 – 50 %. Snížení hodnoty pro vzduch na 15 % je limitem pro růst kulturních plodin a na 5 % pro růst trav.

Rozpad půdní struktury má na kvalitu půdy a biotu následující negativní dopady: snižuje propustnost půdy, snižuje množství a proudění vzduchu, zmenšuje kořenovou soustavu rostlin a počet aerobních mikroorganismů, zvyšuje mazlavost půdy, stěžuje mechanické obrábění půdy, snižuje množství zoedafonu, redukuje respiraci půdy, zvyšuje povrchový odtok vody a tím i erozi (Zoltán, 2002).

3.4.4 Důsledky rozpadu půdních agregátů

Půdní agregáty mezi sebou vytvářejí póry lišící se svojí velikostí, uspořádáním a vzájemným propojením. Půdní struktura má vliv na pohyb půdní vody, erozi půdy, koloběh prvků v půdě, růst kořenů a výnosy plodin. Proto lze považovat rozpad půdní struktury za závažnou degradaci půdy. Mezi antropogenní negativní vlivy působící na strukturu půdy lze zařadit intenzivní kultivaci půdy, odvodnění půdy, nadměrný zavlažovací systém půd. Porušení půdní struktury má za následek zhoršení

všech půdních charakteristik, tvorbu nepropustného škraloupu na povrchu půdy a utužení půdy včetně negativních dopadů pro zemědělskou techniku a výnosů pěstovaných plodin (Vopravil et al, 2009).

Nejčastější příčinou vzniku půdních agregátů je koloidizace. Při koloidizaci je nutná přítomnost určitého množství karbonátů.

Zralost půdy

Zralost půdy se vyznačuje dobrou půdní strukturou se stabilními drobtovými agregáty (o průměru 1 – 10 mm). Zralost půdy představuje optimální stav fyzikálních a tím také biologických vlastností půdy. Strukturní ornice je kyprá, snadno obdělávatelná, s dobrým vsakem srážkové vody a s nízkým výparem. Strukturní ornice mají vyrovnanou biologickou aktivitu s vyrovnaným poměrem mezi humifikací a mineralizací, dále převažuje ornice, vyrovnaný vodní, vzdušný, tepelný a živinný režim. Naproti tomu ornice se slitým prostorovým uspořádáním jsou ulehle, těžko obdělávatelné, charakteristické je špatné zasakování srážkové vody a následný silný povrchový odtok. K obnově půdní struktury může přispět kypření a drobení půdy při vhodné vlhkosti, vápnění, správně zvolené osevnické postupy s využitím pícnin na orné půdě a hnojení kvalitními organickými hnojivy (Jandák et al., 2010).

3.5 Vliv hospodaření na stabilitu půdní struktury

Jak již bylo řečeno, půdní struktura je rozhodujícím aspektem kvality půdy a zároveň důležitým faktorem při vytváření příznivých fyzikálních podmínek pro pěstování kulturních rostlin. Zabezpečuje rostlinám dostatečné množství vláhy, provzdušnění a neustálé uvolňování živin ve vhodné formě (Tobiašová et Šimanský, 2009).

Dexter (2004) použil parametry vodních retenčních křivek jako charakteristiky strukturního stavu půd. Hodnota půdní struktury závisí na konkrétních půdních a klimatických procesech. Optimální struktura půdy je nezbytná pro vývoj kořenů rostlin, biologickou aktivitu a výměnu plynů, transport půdního roztoku vlivem různých hospodářských systémů.

Struktura půdy může být významně ovlivněna agrotechnickými zásahy a environmentálními změnami. Bronick et Lal (2005) uvádějí, že agregaci zlepšuje agrotechnika, která zvyšuje produktivitu a snižuje rozrušování půdy. Obhospodařování půd napomáhá agregaci a zároveň zvyšuje množství uhlíku vystupujícího do půdy, čímž narůstá hrubá rostlinná produkce.

Postupy při vytváření agronomicky vhodné půdní struktury

Na vytváření agronomicky vhodné půdní struktury působí mnoho různých faktorů, např. zrnitostní, chemické a mineralogické složení půdy, charakter a množství humusových látek, tlak kořenového systému, vlhkost půdy, dávkování průmyslových hnojiv apod. (Tobiašová et Šimanský, 2009).

Agregátová dynamika závisí na druhu plodin, osevních postupech a rostlinném krytu. Vliv různých plodin odráží jejich chemické složení, strukturu kořenů a schopnost měnit jejich chemické a biologické vlastnosti půd. Tyto vlivy mají při konvenčních způsobech krátkodobý charakter. Angers et Caron (1998) potvrdili, že rostlinstvo ovlivňuje v různém rozsahu půdní strukturu a její stabilitu. Dochází totiž k uvolňování iontů, které destruktivně působí na půdní částice a tvorbu agregátů. Tento jev je umocněný zvlhčovacími a vysušujícími cykly souvisejícími s růstem rostlin. Krycí plodiny snižují erozi, zvyšují kationovou výměnnou kapacitu, agregátovou stabilitu, recyklaci živin a infiltraci vody.

Ve svých výsledcích z různých experimentů uvádí Milne et Haynes (2004), že obsah organického uhlíku, mikrobiální biomasy a stabilita agregátů byla nižší ve variantách s jednorocními plodinami než ve variantách s plodinami trvalými. Půda v případě jednorocních plodin byla víc náchylná na rozrušování půdní struktury. Uplatňování každoročního orebního postupu a rotačního kypření mělo degrační vliv na půdní organickou hmotu. Nejvhodnějším způsobem, jak zlepšit stav organické hmoty při pěstování jednorocních plodin, je změna z konvenčního na minimalizační způsob orby.

Osevní a orební způsoby by měly být prováděné tak, aby se podíleli na vytváření optimální půdní struktury důležité pro trvale udržitelnou úrodu. Udržitelný orební postup zlepšuje hospodářskou produktivitu, biodiverzitu, napomáhá udržovat zdroje a zmenšovat vliv člověka na klimatické změny (Lal et al., 2007).

Podle některých autorů je však vliv orby na půdní strukturu rozporuplný. Příčinou rozdílných výsledků jsou různé lokality a přírodní podmínky atd. Orbou se rozbíjejí půdní agregáty, utlačuje se půda a rozrušují se rostlinná a živočišná společenstva, která se podílejí na agregaci. Půda obráběná bezorebným postupem má víc stabilnějších agregátů než půda obráběná konvenčním způsobem. Při konvenčním způsobu obráběná dochází k rychlejší tvorbě makroagregátů, což vede k nižší stabilitě nové organické hmoty. Stabilizace makroagregátů v bezorebném systému hospodaření se stane klíčovým faktorem v ochraně půdní organické hmoty (Filtho et al., 2002).

Vliv hnojení na půdní strukturu

Hnojení zlepšuje půdní strukturu a MWD (střední vážený průměr agregátů), dále zvyšuje rychlost tvorby agregátů a jejich odolnost vůči degradačním mechanismům. Na druhou stranu může snižovat jejich stabilitu vůči rozpouštění a disperzi. Agregáty nacházející se v hnojené půdě jsou odolné za mokra, naopak méně odolné jsou za sucha. Rozdíly mezi půdami za sucha jsou podmíněné obsahem jílových částic, kdežto za mokra jsou rozdíly v množství organických vazeb a tmelících prvků. V půdách hnojených organickými hnojivy mají mikro a makroagregáty vyšší obsah uhlohydrátů než v půdách hnojenými průmyslovými hnojivy. Zvýšením obsahu uhlíku z chlévského hnoje se zvýší mikrobiální aktivita, což se projeví v narůstající stabilitě agregátové stability. Nehnojené půdy disponují menším množstvím organické hmoty, agregáty jsou zde odolné vůči rozpadu především za sucha a méně pak za mokra. Hnojené půdy mají odolné agregáty hlavně za mokra a méně pak za sucha (Debosz et al., 2002). Aplikace hnojiv zvyšuje disperzitu hlavně velkých makroagregátů.

Podle mnoha vědeckých studií se vždy projevil pozitivní vliv zpracované organické hmoty na vytváření a stabilizaci půdních mikro a makroagregátů. Z hlediska chemického a fyzikálního působí průmyslový hnojivo na půdní strukturu rozdílně. Všeobecně však jejich použití zlepšuje půdní agregaci. Za určitých podmínek ale mohou snižovat obsah organické hmoty, což se projeví ve snižování agregace ve srovnání s organicky hnojenými půdami. Fyzikální a chemické vlivy hnojiv jsou spjaté s rozdílnými typy hnojiv a půd. Půdní agregaci podporuje kyselina trihydrogenfosforečná (Haynes a Naidu, 1998). Zaoráváním rostlinných zbytků se

zadržuje uhlík v půdě, zlepšuje se její kvalita, což se projevuje zlepšením půdní struktury. Zvýšení množství rostlinných zbytků ovlivňuje organickou hmotu, která se podílí na zvyšování stability agregátů. Ponechání rostlinných zbytků na povrchu půdy (mulčování) zlepšuje různými způsoby půdní strukturu. Napomáhá snížit vliv eroze a strukturní agregáty jsou chráněné před disruptčním účinkem deště, čím se zvyšuje jejich stabilita (Sow et al, 1997).

3.6 Metody využívané ke stanovení půdní struktury

Stabilita půdních agregátů je často používaným ukazatelem kvality půdy, avšak neexistuje pro ni žádná standardní metodika hodnocení. Současné metody měří pouze určitý díl půdy, nebo využívají metody suchého či mokrého prosévání (Nichols a Toro, 2011).

Pro určení struktury půdy se tedy používají metody tzv. přímé a nepřímé. Mezi přímé metody se řadí určení agregace a stability agregátů (metoda suchá a mokrá) a metoda mikromorfologických snímků. Mezi nepřímé metody pak patří „Woods metal“ porozimetrie, počítačová tomografie a magnetická rezonance.

3.6.1 Metoda mokrá

Mokrá metoda se obvykle provádí ponořením jednotlivých agregátů do misky s destilovanou vodou. Touto metodou lze rychle zjistit stabilitu agregátů. Stabilní agregáty po ponoření zůstávají nepoškozené. Oproti tomu pseudoagregáty po kontaktu s vodou tvoří kaši. Pokud nejsou agregáty zcela stabilní, rozpadají se postupně na menší části a některé kousky mohou tvořit kaši. Jiné metody jsou založené na podobném principu, pouze voda se přivádí na agregáty jiným způsobem např. nasakování přes filtrační papír nebo po kapkách v pravidelných časových intervalech. Jinou metodou je prosévání za mokra. Měří se zde procentuální propad přes soustavu sít, ponořenou ve vodním prostředí, seřazených od nejhrubších po nejjemnější (Čermák, 2012).

Rohošková et Valla (2004) porovnali metodu navrženou Le Bissonnaistem, která dokáže přesně oddělit působení jednotlivých dezagregačních organismů (koeficient vulnerability K_v) s metodou, která stanovuje množství ve vodě rozpadlých agregátů

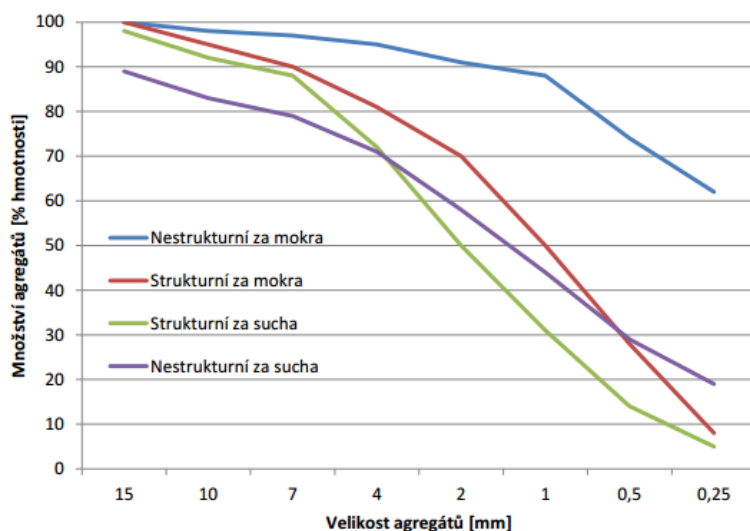
(WSA). Autoři došli k závěru, že výsledky obou metod jsou si velice podobné. Také Kodešová et al. (2009) srovnávali metody stanovení Kv s metodou WSA. Avšak z důvodu značného rozdílu v matečném materiálu testovaných půd nenašli žádné významné korelace mezi Kv a WSA.

Porovnáním metody dešťových kapek a metody mokrého prosívání se zabýval Gronsten et Borresen (2009). Dle jejich názoru je metoda mokrého prosívání pracovním postupem sice jednodušší a v praxi více využívaná, avšak u hlinitých půd má nižší rozkladný účinek, než metoda dešťových kapek. Pro testování vodní stability půdních agregátů je tedy metoda mokrého prosévání vhodným a obvykle využívaným postupem.

3.6.2 Metoda suchá

Suchá metoda měří procentuální podíl agregátů na jednotlivých sítích od nejhrubší po nejjemnější. Všechny suché metody jsou založeny na principu oddělování jednotlivých frakcí. Nejpoužívanější a pravděpodobně nejpřesnější je spojení obou metod, tedy prosévání za sucha a za mokra. Výsledky z obou metod se postupně vnášejí do grafu jako křivky agregace. Rozdílovou metodou z grafu je možné stanovit stabilitu agregátů. S narůstajícím rozdílem křivek agregace klesá stabilita agregátů. Podle průběhu křivek agregace určíme střední vážený průměr agregátů (Čermák, 2012).

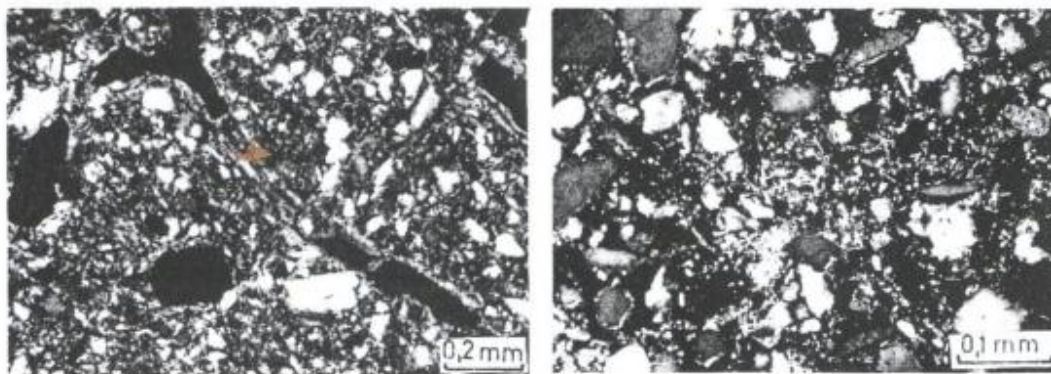
Obr. 4: Čáry agregace stanovené přesíváním za sucha a za mokra (Kutílek, 1978)



3.6.3 Metoda mikromorfologických snímků

Metoda mikromorfologických snímků slouží k určení ekvivalentního poměru pórů v_e , přičemž ekvivalentní poměr odpovídá velikosti kružnice vepsané do řezu pórem. Vysušený neporušený vzorek se napustí látkou na bázi syntetické pryskyřice, např. Vestopalem 130, napuštění vzorku potom probíhá ve vakuových sušárnách po dobu 8 – 14 dnů. Po vyndání ze sušáren se ze vzorku odvětrává následujících 6 až 8 týdnů styren. Po odvětrání se vzorek nařeže diamantovým kotoučem na tenké plátky. Jednotlivé plátky se přilepí na pevnou podložku a zaleští se. Pod elektronovým mikroskopem se následně zjišťuje velikost, tvar a propojenost jednotlivých pórů (Čermák, 2012).

Obr. 5: Mikro-morfologické snímky půdní struktury (Němeček, 1981)



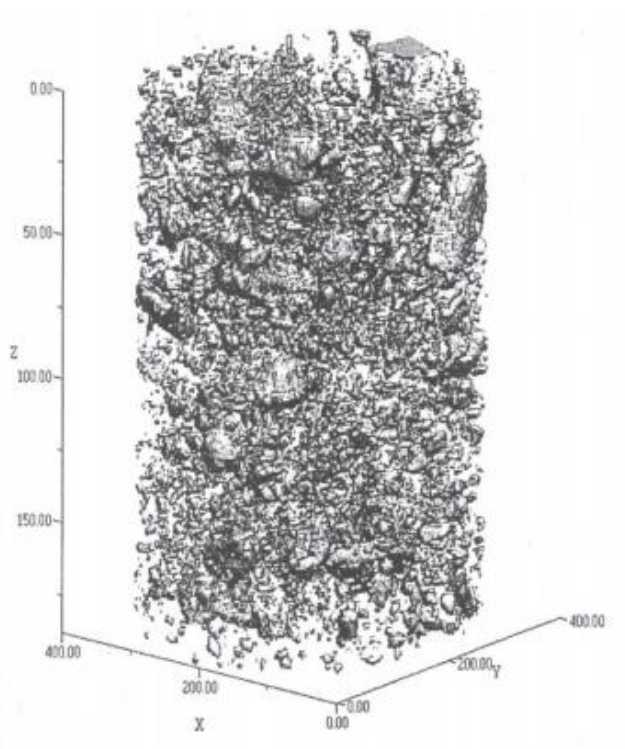
3.6.4 „Woods metal“ porozimetrie

„Woods metal“ porozimetrie je založena na podobném principu jako přímá metoda mikromorfologických snímků. Za daného tlaku se do vzorku půdy vstříkne slitina olova, kadmia, cínu a byzmutu, která taje při 70°C. Po ztuhnutí slitiny se vzorek rozřeže na tenké plátky. Mezi nepřímé metody je řazena kvůli odstranění horniny z jednotlivých plátek za působení kyseliny fluorovodíkové. Tímto způsobem vznikne ze vzorku odlitek pórů. Následně se vzorek přitmelí na pevnou podložku a přebrousí. Odlitek pórů se zkoumá nejlépe pod elektronovým mikroskopem (Čermák, 2012).

3.6.5 Počítačová tomografie a magnetická rezonance

Počítačová tomografie a magnetická rezonance slouží k odhadu půdní struktury. Z vytvořených dvojrozměrných nebo trojrozměrných snímků je možné vytvořit model určený pro zkoumání půdního složení nebo obsahu vody a vzduchu (Čermák, 2012).

Obr. 6: Model půdní struktury získaný pomocí počítačové tomografie (Kodešová, 2005)



3.1.4 Celkový index stability (WSSI)

Nichols et Toro (2011) zavedli pro hodnocení půdní agregace tzv. celkový index stability (WSSI). V metodě dochází ke kombinaci dat z rozdělení velikosti půdních agregátů a z vodostálosti agregátů spolu s konstantou kvality, kdy konstanta je určena pro každou velikostní třídu agregátů.

Konstanta kvality je založena na vlivu velikosti agregátu na indikátory půdní kvality. Lze ji popsat jako půdní vlastnosti a procesy, které mají největší citlivost na změny ve funkčnosti půdy.

Metoda má lepší vztah k vlivu povrchového obrábění než ostatní indexy půdní agregace, jako je střední vážený průměr agregátů prosévaných za sucha, geometrický průměr a normalizované stability indexu. WSSI je mnoha autory doporučováno jako standardní měření půdní agregace, protože měla největší souvislost s managementem půdy.

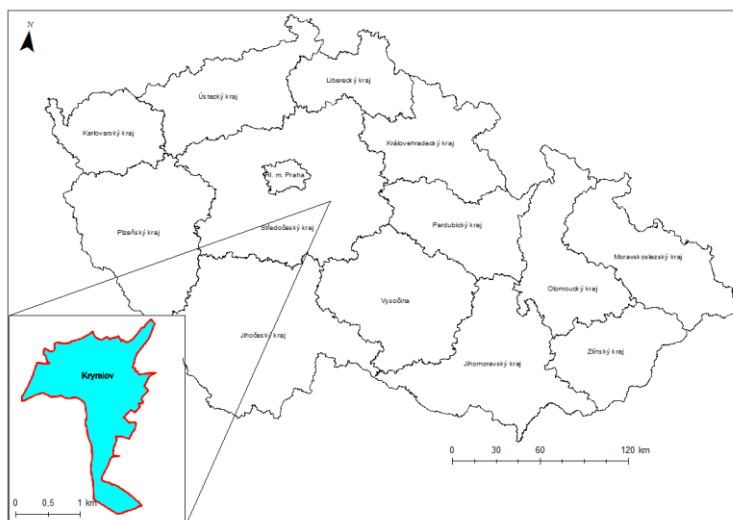
4 POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ KRYMLOV

Hodnocená stanoviště lesních monokultur, TTP a orné půdy se nacházejí v lokalitě Krymlov (okres Praha-východ). Z důvodu studia mobility a vertikálního posunu mikro a makro elementů zde bylo v letech 2011 a 2012 vykopáno sedm sond. V rámci projektu QH82090 „Změny půdních vlastností po zatravnění, zalesnění nebo dlouhodobém nevyužívání orné půdy, s dopady na ochranu půdy, vody a krajiny České republiky“ (2008-2012, MZE/QH) bylo provedeno hodnocení stability půdní struktury (WSA a MWD) spolu s hodnotami příslušných forem Fe.

4.1 Popis zájmového území

Modelové území se nachází ve středočeském kraji, okrese Praha-východ, v katastrálním území obce Krymlov. Zájmové území spadá pod Lesnickou fakultu České zemědělské univerzity v Praze a slouží převážně k pedologickým účelům.

Obr. 7: Lokalita Krymlov (Kolísková, 2016)



Reliéf terénu

Zájmové území se rozkládá v Černokostelecké pahorkatině. Průměrná nadmořská výška zde dosahuje 380 m. Pahorkatina na jihu území se postupně snižuje do kotliny, ve které leží obec Oleška. Tato jižní polovina území je značně zvrásněná.

Přírodní podmínky

Lokalita se nachází v klimatické oblasti mírně teplé, okrsku mírně suchého, převážně s mírnou zimou. Výsledná průměrná roční teplota dosahuje 8,4°C, roční průměr srážek činí kolem 591mm.

Geologicko-litologické poměry

Zkoumané území je tvořeno sprašovými hlínami, nivními uloženinami, permokarbonem a kvádrovými pískovci.

Jižní části lokality tvoří permokarbonské pískovce, zbylé území je pokryto sedimenty kvartérního stáří, tj. sprašovými hlínami. Půdní substrát zde vznikl odvápněním spraší. Jedná se o středně těžké substráty s nedostatkem CaCO₃.

Hydrologické podmínky

Hydrologická síť je sporá a omezuje se na potok protékající Oleškou na jihozápad. Tento potok je spolu se severním přítokem potoka sběrným potokem drenážních vyústění. Na jih od Krymlova jsou svodné strouhy, odvodňující místy zamokřené pozemky.

Kromě úpravy drenážního potoka se zde nenachází umělá hydrologická síť. Půdy, které v katastru převládají, jsou dobře propustné a dochází zde jen k nízkým atmosférickým srážkám.

Větší zamokření se vyskytuje hlavně na jihu území okolí Krymlova.

4.2 Lokalizace kopaných sond

Lokalizace jednotlivých sond vyhloubených v letech 2011 a 2012 jsou zobrazeny na obrázku č. 8. Vzorby byly odebrány na těchto stanovištích – Smrková monokultura (Sm), monokultura borovice (Bo), břízy (Br), Douglasky (Dg), na půdě se smíšeným lesem stáří cca. 100 let (St), orné půdě (orná) a trvalém travním porostu (TTP).

Obr. 8: Lokalizace sond vyhloubených v letech 2011 a 2012 (Kolísková, 2016)






4.2.1 Popis půdních sond

Hodnocená stanoviště v oblasti Krymlova se nacházejí v těsné blízkosti a disponují tedy srovnatelným půdním typem, což je hlavním důvodem jejich vzájemného porovnání. Hodnoceným půdním typem je modální pseudoglej. Pseudogleje se řadí mezi půdy semihodromorfní, pro které je typické periodické provlhčení půdního profilu. Častá změna vodního režimu je důvodem rychlého vyluhování mikročastic směrem dolu v půdním profilu. Jednotlivé půdní mikroelementy jsou při zvlhčení převedeny do příslušných mobilních forem a následně rozděleny dle příslušných





atomových poloměrů a vazebných možností do půdních mikropórů, kde často při změně vodního režimu oxidují do stabilních minerálních forem (oxidů). Typickými znaky těchto půd jsou rezivé (Fe^{III}) a šedé (Fe^{II}) skvrny, doprovázené vznikem Fe, Mn konkrací a bročeků (Fe_2O_3 , MnO_2).

V rámci terénního průzkumu je u všech sedmi vykopaných sond (viz tab. 3,4) patrný přechod zrnitostního složení mezi horizontem A a B. Zrnitostně lehčí A horizont složený převážně z hliníku a obsahem částic $<0,01$ mm pokrývajících cca 30 % do zrnitostně výrazně těžšího B horizontu typického podorničím, obsahem částic $<0,01$ mm představujících cca 45 %. Tento výrazný přechod je dán využitím zejména lesních ploch, kdy typicky orniční horizont přetrvává i po delší době od jejího zalesnění. Směrem k nižším horizontům jsou obsahy této hodnotící kategorie pro ornou půdu (O), SM, BO nižší. Důvodem je příměs skeletu z rozpadu substrátu, nebo-li permokarbonu. Pro ostatní stanoviště je tento obsah naopak vyšší, jedná se zde o důsledek podloží tvořeného sprašovými hlínami.

Tab. 3: Popis půdního profilu jednotlivých sond

Sonda	Horizonty	Hloubka odběru [cm]	Popis půdního profilu
	O	0-8	O: L 0-1 cm, F 1-4 cm, H 4-8 cm, barva (Munsellovy tabulky): 10YR3/4, bez struktury, hlinitá, vlahá, kyprá, silné prokořenění, přechod zřetelný zvlněný, 10YR5/4
	Ahg	8-21	barva: 10YR7/3, práškovitá struktura, hlinitá, vlahá, drobnivá, prokořeněná, lokálně Mn povlaky a zrzavé skvrny, přechod zřetelný zvlněný, 10YR8/2
	ABm ₁	21-33	barva: 10YR6/3, drobně polyedrická struktura, hlinitá, vlahá, soudržná, slabě prokořenění, černohnědé konkrerce, lokálně rezivé skvrny, přechod zřetelný zvlněný, 10YR7/2
	Bm ₁	33-94	barva: 10YR5/2 (50%)+7.5YR5/8 (50%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlahá, ulehlá, ojedinělé prokořenění, lokálně Mn povlaky, přechod pozvolný, 10YR6/2 (50%)+7.5YR6/8 (50%)
	Bm ₂	94-138	barva: 10YR6/1 (80%)+7.5YR5/6 (20%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlahá, ulehlá, ojedinělé prokořenění, lokálně Mn povlaky, přechod pozvolný, 10YR7/1 (80%)+7.5YR6/6 (20%)
	Cg	138-153	barva: 10YR6/1 (90%)+7.5YR6/8 (10%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlahá, ulehlá, ojedinělé prokořenění, lokálně Mn povlaky, 10YR7/1 (90%)+7.5YR7/8 (10%)
	O	0-8	barva: 10YR2/2, jemně drobtová struktura, hlinitá, vlahá, kyprá, silné prokořenění, přechod ostrý, 10YR3/2
	Ahg	8-24	barva: 10YR4/3, drobtová struktura, hlinitá, vlahá, drobnivá, prokořeněná, zrzavé skvrny, přechod zřetelný, 10YR7/3
	Bm ₁	24-64	barva: 10YR5/3 (50%)+7.5YR5/6 (50%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlahá, ulehlá, ojedinělé prokořenění, četné Mn skvrny, přechod zřetelný, 10YR6/3 (50%)+7.5YR6/8 (50%)
	Bm ₂	64-106	barva: 10YR6/2 (80%)+7.5YR6/6 (20%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlahá, ulehlá, ojedinělé prokořenění, lokálně Mn povlaky, přechod zřetelný, 10YR7/2 (80%)+7.5YR7/8 (20%)
	Cg	106-130	barva: 10YR6/1 (90%)+7.5YR5/6 (10%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlahá, tuhá, ojedinělé prokořenění, lokálně Mn povlaky, 10YR8/1 (90%)+7.5YR7/6 (10%)
	O	0-4	barva: 10YR3/3, jemně drobtová struktura, hlinitá, vlahá, drobnivá, silné prokořenění, přechod ostrý, 10YR6/3
	Ahg	4-15	barva: 10YR4/3, drobtová struktura, hlinitá, vlahá, soudržná, prokořeněná, lokálně zrzavé skvrny, přechod zřetelný, 10YR6/2
	ABm ₁	15-26	barva: 10YR5/3, polyedrická struktura, hlinitá, vlahá, soudržná, slabě prokořenění, lokálně rezivé skvrny, přechod zřetelný, 10YR7/2
	Bm ₁	26-54	barva: 10YR5/4 (50%)+7.5YR5/6 (50%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlahá, ulehlá, ojedinělé prokořenění, lokálně Mn skvrny, přechod zřetelný, 10YR7/4 (50%)+7.5YR6/6 (50%)
	Bm ₂	54-94	barva: 10YR6/2 (80%)+7.5YR5/6 (20%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlahá, soudržná, ojedinělé prokořenění, lokálně Mn povlaky, přechod pozvolný, 10YR7/2 (80%)+7.5YR7/8 (20%)
	Cg	94-118	barva: 10YR5/6 (90%)+7.5YR5/8 (10%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlahá, tuhá, ojedinělé prokořenění, lokálně Mn povlaky a bročky, výskyt skeletu, 10YR7/2 (90%)+7.5YR6/8 (10%)

Tab. 4: Popis půdního profilu jednotlivých sond

Sonda	Horizonty	Hloubka odběru [cm]	Popis půdního profilu
 DG	O	0-5	barva: 10YR2/2, jemně drobtová struktura, hlinitá, vlhá, drobná, silné prokořenění, přechod ostrý, 10YR3/3
	Ahg	5-23	barva: 10YR4/3, drobtová struktura, hlinitá, vlhá, drobná, prokořeněná, zrzavé skvrny, přechod ostrý, 10YR6/6
	Bm ₁	23-44	barva: 10YR5/6 (50%)+7.5YR5/8 (50%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlhá, ulehlá, ojedinělé prokořenění, lokálně Mn skvrny, přechod zřetelný, 10YR7/3
	Bm ₂	44-65	barva: 10YR5/2 (80%)+7.5YR6/8 (20%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlhá, ulehlá, ojedinělé prokořenění, lokálně Mn skvrny, přechod zřetelný, 10YR8/2 (80%)+7.5YR7/8 (20%)
	Cg	65-85	barva: 10YR5/2 (90%)+7.5YR5/8 (90%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlhá, tvrdá, ojedinělé prokořenění, lokálně Mn povlaky, 10YR7/2 (90%)+7.5YR6/8 (10%)
 ST	O	0-8	O: L 0-2 cm, F 2-6 cm, H 6-8 cm, barva: 10YR2/1, bez struktury, hlinitá, vlhá, kyprá, silné prokořenění, přechod zřetelný, 10YR3/2
	Ahg	8-22	barva: 10YR3/3, drobně polyedrická struktura, hlinitá, vlhá, drobná, prokořeněná, zrzavé skvrny, Mn povlaky, přechod zřetelný, 10YR7/3
	Bm ₁	22-73	barva: 10YR7/4 (50%)+7.5YR5/8 (50%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlhá, ulehlá, ojedinělé prokořenění, lokálně Mn povlaky, přechod zřetelný, 10YR8/1 (50%)+7.5YR6/8 (50%)
	Bm ₂	73-96	barva: 10YR7/1 (80%)+7.5YR5/6 (20%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlhá, ulehlá, ojedinělé prokořenění, lokálně Mn povlaky, přechod pozvolný, 10YR8/2 (80%)+7.5YR6/6 (20%)
	Cg	96-125	barva: 10YR7/1 (90%)+7.5YR6/8 (10%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlhá, tuhá, ojedinělé prokořenění, lokálně Mn povlaky, 10YR8/1 (90%)+7.5YR5/8 (10%)
 TIP	Adg	0-10	barva: 10YR3/3, drobtová struktura, hlinitá, vlhá, soudržná, středně prokořeněná, lokálně zrzavé skvrny a uhlíky, přechod zřetelný zvlněný, 10YR6/2
	ABm ₁	10-28	barva: 10YR2/2, polyedrická struktura, hlinitá, vlhá, soudržná, slabě prokořeněná, lokálně rezivé skvrny, černohnědé konkrce a uhlíky, přechod zřetelný, 10YR7/2
	Bm ₁	28-65	barva: 10YR6/2 (50%)+7.5YR5/6 (50%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlhá, soudržná, ojedinělé jemné kořínky a uhlíky, zrzavé skvrny, přechod zřetelný, 10YR7/2 (50%)+7.5YR5/8 (50%)
	Bm ₂	65-109	barva: 10YR6/1 (80%)+7.5YR5/8 (20%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlhá, soudržná, ojedinělé jemné kořínky a uhlíky, lokálně černohnědé FeMn skvrny, přechod zřetelný, 10YR7/8 (80%)+7.5YR6/8 (20%)
	Cg	109-125	barva: 10YR7/1 (90%)+7.5YR5/6 (10%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlhá, ulehlá, ojedinělé prokořenění, lokálně rezavé skvrny, 10YR8/1 (90%)+7.5YR6/6 (10%)
 O	Ap _g	0-18	barva: 10YR3/4, hrudkovitá struktura, hlinitá, vlhá, soudržná, středně prokořeněná, lokálně zrzavé skvrny a uhlíky, přechod zřetelný, 10YR6/2
	ABm ₁	18-31	barva: 10YR4/4, polyedrická struktura, hlinitá, vlhá, soudržná, prokořeněná, černohnědé konkrce, lokálně rezivé skvrny, přechod zřetelný, 10YR7/2
	Bm ₁	31-85	barva: 10YR7/1 (50%)+7.5YR6/6 (50%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlhá, soudržná, ojedinělé prokořenění, lokálně Mn povlaky, zrzavé skvrny a uhlíky, 5 % úlomků hornin, přechod zřetelný, 10YR8/1 (50%)+7.5YR6/8 (50%)
	Bm ₂	85-110	barva: 10YR6/1 (80%)+7.5YR5/6 (20%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlhá, soudržná, ojedinělé prokořenění, lokálně rezavé skvrny, přechod zřetelný, 10YR7/1 (80%)+7.5YR5/8 (20%)
	Cg	110-130	barva: 10YR6/1 (90%) +7.5YR6/8 (10%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlhá, ulehlá, ojedinělé prokořenění, lokálně rezavé skvrny, 10YR7/1 (90%) +7.5YR6/6 (10%)

5 METODIKA

Pro účely této diplomové práce byly laboratorně stanoveny hodnoty MWD pro Ap horizont z již zmíněných sedmi sond odebraných v rámci třech land use (lesní porost, orná půda a TTP).

5.1 METODA MWD

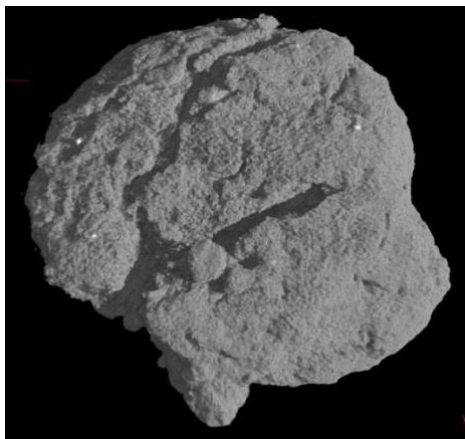
Mean weighted diameter, v překladu prostý vážený průměr je střední hodnotou velikosti rozrušeného agregátu. Jedná se tedy o sumu dělenou 100 z produktu procentuálního rozdělení částic sedmi zkoumaných velikostních frakcí (Hénin, 1958).

5.1.1 Stanovení agregátové stability metodou MWD

Cílem této reálné analytické metody je popsat změny fyzikálních vlastností půdy při disruptivním procesu deště. Výsledkem je potom relativní zastoupení různých zrnitostních frakcí jemnozeme, které jsou reprezentovány jejich střední hodnotou MWD (mm). Tímto způsobem lze velmi podrobně zaznamenat rozpad půdních makroagregátů. Metoda dále slouží ke klasifikaci půdy, jejímu chování, složení a určení podílu zemědělské činnosti na stabilitu a kvalitu půdní struktury. Charakteristika agregátové stability je úzce spjata s erodibilitou.

Erodibilita je definována jako náchylnost půdy k erozi, tedy k fragmentaci agregátů vlivem deště a jejich následným transportem povrchovým odtokem (Hénin et al, 1958). Hlavní negativní důsledek vodní eroze spočívá v odnosu organických a minerálních částic z kultivovaných ploch a jejich ukládání na jiných místech (Novotný et al, 2014).

Obr. 9: Půdní agregát z pole vykazujícího známky eroze (Prof Karl Ritz a Dr Naoise Nunan, 2008)



5.1.2 Využití metody

Metoda nachází využití v široké škále půdních vzorků nezávislých na původu, druhu, či mocnosti jednotlivých půd. Aplikuje se zejména při hodnocení kvality svrchních horizontů zemědělských půd, nabízí se ale možnost určit i kvalitu půdní struktury pro různé půdní horizonty při jakýmkoliv využití půdy. Rozměry půdních agregátů dosahují 3-5 mm.

Důležité je procentuální určení obsahu šterku, v případě obsahu šterku vyšším než 40% není metoda příliš přesná. Obsah šterku je možné přidat do kalkulace částic o rozměrech menších než 2 mm. Z tohoto vyplývá, že metoda není využitelná pro stanovení stability nestrukturních půd. Nestrukturní půdy nemají vyvinutou strukturu, nejsou u ní rozpoznatelné žádné půdní agregáty. Při drobení vznikají větší či menší útvary, nazývané pseudoagregáty. Pseudoagregáty jsou ve vodě nestabilní, rozplavují se a při vysychání vzniká celistvá vrstva.

5.1.3 Vybavení potřebné pro stanovení stability půdní struktury

- Destilovaná voda
- Etylalkohol (95%)
- Aparatura (dle Henin-Féodoroff)

Aparatura pracuje na principu spirálovitého pohybu.

Rotací dosahuje 0-180°C

Vvýška zdvihu 45 mm za 1 cyklus.

Síto: $d = 100$ mm, $h = 60$ mm, průměr ok = 0,05 mm

- Analytické váhy

Přesnost minimálně 0,01g +/- 0.005g

- Pec (sušárna)

Pro udržení stálé teploty 40°C +/- 5°C

- Soustava nerezových sít

$d = 100$ mm; $h = 45$ mm;

8 velikostí sít s průměrem ok 5 mm; 3 mm; 2 mm; 1 mm; 0,5 mm; 0,2 mm;

0,1 mm, 0,05 mm

- Kádinky 250 ml

- Sušící misky (nerez)

- Stříčka 500 ml (plastová)

- Plochá nádoba k umístění syntetické pěny

$h = 8$ cm

- Syntetická pěna

$h = 3$ cm

hustota 30 kg/m³

- Filtrační papír

Retenční kapacita 2 μ m

- Erlenmeyerova baňka 250 ml s těsnícím uzávěrem

5.1.4 Pracovní postup

Odběr půdního vzorku

Z příslušného horizontu se odebere přibližně 1 Kg půdního vzorku, který se následně umístí do uzavíratelné plastové nádoby k udržení přirozené vlhkosti. Při odběru zemědělské půdy se doporučuje odebrat vzorky ve vlhkostním rozmezí mezi max. vodní kapacitou a bodem vadnutí. Nutné je co možná nejrychlejší dopravení zeminy do laboratoře, čímž se minimalizuje poškození půdní struktury.

Uchování půdního vzorku

Doba skladování, tj. doba od odběru po analýzu vzorku probíhá v dobře větrané, temperované místnosti. Vzorky jsou zde sušeny při laboratorní teplotě 3-5 dní, kdy se během sušení doporučuje jemně rozdrtit velké agregáty a odstranit tím kameny o rozměrech větších než 5 mm. Po vysušení půdního vzorku se zemina proseje na sítu o průměru ok 5 mm a 3 mm. Takto prosetá zemina je připravena pro laboratorní analýzu, které předchází závěrečné prosušení zeminy v peci při teplotě 40°C po dobu 24 hodin.

5.1.5 Testy pro stanovení MWD

Test A- rychlé namočení vzorku do vody (fast wetting)

Postup spočívá v prudkém ovlhčení suchého vzorku zeminy, kdy se simulují následky např. přívalového deště nebo zavlažování.

- Naváží se 5-10 g agregátů o velikosti 3-5 mm (množství dle obsahu štěrku)
- Agregáty jsou ponořeny do kádinky o objemu 250 ml naplněné 50 ml destilované vody
- 10 minut probíhá máčení agregátů v kádince, vhodné je provedení vizuální kontroluy rozpadu
- Po uplynutí doby se pipetou odsaje voda
- Navážka se pomocí stříčky naplněné etanolem přemístí na sítu s průměry ok menších než 0,05 mm taktéž namočeném v etanolu
- Závěrem se vzorky nejlépe po přirozeném proschnutí prosévají pomocí sestavy nerezových sít, čímž se zjišťuje zastoupení jednotlivých frakcí.

Test B – pomalé ovlhčení (slow wetting)

- Naváží se 5-10 g agregátů o velikosti 3-5 mm
- Na pěnu ponořenou do hloubky 2,5 cm v misce s vodou se zlehka položí filtrační papír
- Agregáty jsou následně zlehka rozvrstveny na filtrační papír
- Zhruba 60 minut se ponechají agregáty rozložené na filtračním papíře, kde dochází ke kapilárnému nasycení agregátů
- Poté se pomocí stříčky naplněné etanolem přenesou půdní frakce na síto s průměrem ok menších než 0,05 mm taktéž ponořené v etanolu
- Vzorky se po přirozeném proschnutí prosévají pomocí sestavy nerezových sít, čímž se zjišťuje zastoupení jednotlivých frakcí.

TEST C – mechanický rozpad agregátů po jejich ovlhčení v etanolu (mechanical disaggregation)

Použitím etanolu se agregáty stabilizují pro test mechanické soudržnosti. Ovlhčením v etanolu je z agregátů odstraněn vzduch, aniž by došlo k jejich poničení nebo rozpadu.

- Naváží se 5-10 g agregátů o velikosti 3-5 mm
- Kádinka o objemu 250 ml se naplní 50 ml čistého etanolu
- Po dobu 30 minut jsou agregáty ponořeny do kádinky s etanolem
- Po uplynutí doby se pipetou odsaje etanol
- Agregáty se pomocí stříčky s destilovanou vodou přenesou do Erlenmeyerovy baňky naplněné 50 ml destilované vody
- Následně se objem doplní na 200 cm³ a nádoba se uzavře
- Baňka se 10x protřepe pohybem o 180° nahoru a dolů
- Poté se agregáty nechají sedimentovat, baňka se ponechá v klidu po dobu 30 minut
- Přebytečná voda je odsána pomocí pipety
- Navážka se přenesou za pomoci stříčky a etanolem na síto o velikosti ok menších než 0,05 mm, které bylo před použitím namočené v etanolu
- Vzorky se po přirozeném proschnutí prosévají pomocí sestavy nerezových sít, čímž se zjišťuje zastoupení jednotlivých frakcí.

Měření zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí

Jedná se o poslední bod, který je totožný u všech třech testů.

- Vzorek půdy se po disruptčním procesu (test A, B nebo C) pomocí stříčky s etanolem přenese na síto předem smočené v etanolu a s oky menšími než 0,05.
- Síto s vzorkem je vloženo do přístroje, kde je s ním v pěti cyklech spirálovitě (heliakticky) pohybováno v nádobě s etanolem.
- Po dokončení cyklu se agregáty přemístí za pomoci stříčky s etanolem do vysoušecích misek
- Sušení v peci při teplotě 40°C po dobu 48 hodin
- Vysušené agregáty se jemným třesením prosívají pomocí soustavy 6 nerezových sít (viz. 5.4), tím dochází k dělení různých velikostních frakcí
- Prosetý obsah vzorku zachycený na jednotlivých sítích se zváží na analytických vahách
- Výpočet množství frakce na sítu s nejjemnějšími oky, tj. s oky menšími než 0,05 mm se dosáhne odečtem hmotnosti všech zbylých frakcí od původní hmotnosti vzorku

5.1.6 Výpočet MWD

Po disagregaci se vypočítá hodnota prostého váženého průměru podle následující rovnice:

$$\text{MWD} = \sum (\text{prostý průměr mezi 2 sítí} * (\text{vážené \% částic zachycených na sítu}))/100$$

$$\text{MWD} = (3,5 * (\% > 2\text{mm})) + (1,5 * (\% 1-2\text{mm})) + (0,75 * (\% 0,5-1\text{mm})) + (0,35 * (\% 0,2-0,5\text{mm})) + (0,15 * (\% 0,1-0,2\text{mm})) + (0,075 * (\% 0,05-0,1\text{mm})) + (0,025 * (\% < 0,05\text{mm}))/100$$

Omezení využití metody MWD

Metoda MWD není vhodná v případě převažujícího rozložení rozpadlých částic <0,05mm. Zde je vhodnější využít typ stanovení, který lépe klasifikuje disperzní částice. Haynes (1993) uvádí např. využití analýzy laserové difrakce.

5.1.7 Zpracování výsledků

Výsledky jsou zaznamenané do klasického protokolu, ve kterém jsou obsaženy tabulky s veškerými naměřenými daty. Pro samotnou presentaci výsledků je možné víc možností.

Výsledek je možné zpracovat do podoby histogramu znázorňující data frakcí při jednotlivém testu. Další variantou je přímé porovnání hodnot MWD pro jednotlivé zrnitostní frakce testu A, B, i C. Dále je možné presentovat průměrné hodnoty MWD ze všech tří testů.

5.1.8 Presentace výsledků

Půdní vzorky lze jednotlivě hodnotit v závislosti s jejich disruptními histogramy. Každý ze všech třech testů totiž stejně jako výsledky těchto testů znázorňují proces rozpadu půdních agregátů za daných vlhkostních nebo mechanických podmínek.

Zajímavé je porovnání závislosti hodnot MWD s mírou krustability a rizikem vodní eroze. Tab. č. 5 znázorňuje jednotlivé třídy stability půdní struktury, náchylnost k tvorbě povrchové krusty a vodní eroze v souvislosti s hodnotou MWD (Le Bissonais et al., 2006, Amezketta et al., 1996).

Tab. 5: *Třídy stability půdní struktury, míra krustability a riziko vodní eroze v závislosti na hodnotě MWD stanovené po disagreaci půdního vzorku.*

MWD	stabilita půdní struktury	tvorba povrchové krusty	odtok a mezirýhová eroze
< 0,4 mm	vysoce nestabilní	Soustavná	trvalé vysoké riziko při všech topografických podmínkách
0,4–0,8 mm	Nestabilní	velmi častá	časté riziko při všech situacích
0,8–1,3 mm	mírně nestabilní	Častá	omezené riziko
1,3–2 mm	Stabilní	Občasná	Omezené riziko
> 2 mm	vysoce stabilní	Velmi vzácná	Velmi nízké riziko

5.2 Popis použitých statistických metod

5.2.1 Směrodatná odchylka - σ

Směrodatná odchylka určuje, jak moc jsou hodnoty rozptýleny či odchýleny od průměru hodnot. Směrodatná odchylka je rovna odmocnině z rozptylu. Rozptyl potom udává průměr druhých mocnin vzdáleností od průměru.

Směrodatná odchylka tedy udává míru odlišnosti v souboru řešených čísel. Pokud je nízká, prvky nejsou příliš odlišné, naopak velká odchylka vyjadřuje velkou diferenciaci.

5.2.2 Variační koeficient

Variační koeficient je definovaný jako podíl směrodatné odchylky a absolutní hodnoty ze střední hodnoty. Tato metoda je vhodná pro vzájemné srovnávání variability dvou nebo více souborů s podstatně odlišnou úrovní hodnot (např. různé hmotnostní jednotky). Variační koeficient tedy vyjadřuje z kolika procent je tvořen aritmetický průměr směrodatnou odchylkou.

5.2.3 Wilcoxonův párový test

Wilcoxonův párový test se používá pro hodnocení párových pokusů, kdy sledovaná veličina neodpovídá Gaussovu normálnímu rozdělení. Porovnává 2 měření provedená u jednoho výběrového souboru. Testuje hypotézu rovnosti distribučních funkcí na základě ověření symetrického rozložení sledované náhodné veličiny.

Wilcoxonův párový test se aplikuje na výpočet testu z párových hodnot dvoou měření na daném souboru.

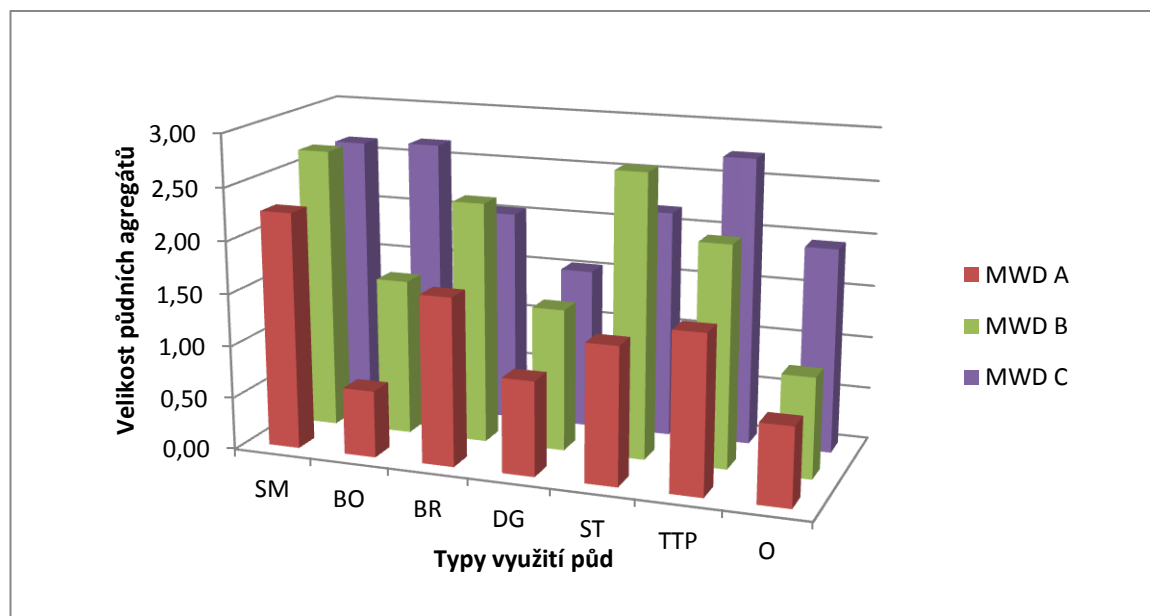
6 VÝSLEDKY

6.1 Popis půdní struktury v profilu sond

Tab. 6: Naměřené hodnoty MWD u jednotlivých typů půdy

Sonda	Označení půdního typu	Horizonty	Hloubka odběru [cm]	MWD průměr	MWD (A)	MWD (B)	MWD (C)
				mm	mm	mm	mm
SM	PGm	O	8	2,82	2,48	3,09	2,89
		Ahg	21	2,57	2,32	2,77	2,62
		ABm ₁	33	2,49	2,19	2,61	2,66
		Bm ₁	94	0,63	0,46	0,42	1,02
		Bm ₂	138	0,39	0,39	0,27	0,51
		Cg	153	0,75	0,45	0,55	1,26
BO	PGm	O	8	2,76	2,75	2,93	2,58
		Ahg	24	1,60	0,64	1,49	2,67
		Bm ₁	64	0,90	0,40	0,72	1,58
		Bm ₂	106	0,59	0,50	0,41	0,87
		Cg	130	0,72	0,45	0,54	1,16
BR	PGm	O	4	2,68	2,42	2,91	2,71
		Ahg	15	2,27	1,92	2,60	2,30
		ABm ₁	26	1,70	1,29	2,01	1,79
		Bm ₁	54	0,76	0,39	0,66	1,25
		Bm ₂	94	0,57	0,42	0,35	0,93
		Cg	118	0,89	0,55	0,95	1,17
DG	PGm	O	5	2,50	2,29	2,81	2,40
		Ahg	23	1,27	0,90	1,36	1,54
		Bm ₁	44	0,61	0,35	0,49	0,99
		Bm ₂	65	0,74	0,49	0,62	1,12
		Cg	85	0,62	0,56	0,54	0,77
ST	PGm	O	8	2,75	2,51	2,89	2,84
		Ahg	22	2,06	1,31	2,70	2,17
		Bm ₁	73	0,85	0,38	0,83	1,33
		Bm ₂	96	0,62	0,31	0,49	1,04
		Cg	125	0,78	0,60	0,47	1,27
TIP	PGm	Adg	10	2,41	1,85	2,67	2,72
		ABm ₁	28	1,82	1,16	1,55	2,75
		Bm ₁	65	1,04	0,84	0,67	1,60
		Bm ₂	109	0,96	0,46	0,61	1,81
		Cg	125	0,65	0,51	0,46	0,98
O	PGm	Apg	18	1,20	0,73	0,89	1,97
		ABm ₁	31	1,24	0,77	1,03	1,93
		Bm ₁	85	1,19	1,06	1,14	1,38
		Bm ₂	110	1,06	0,82	1,11	1,24
		Cg	130	1,16	1,08	1,29	1,11

Obr. 10: Velikost půdních agregátů A horizontu v závislosti na typu land use a metodě MWD (Kolísková, 2016)

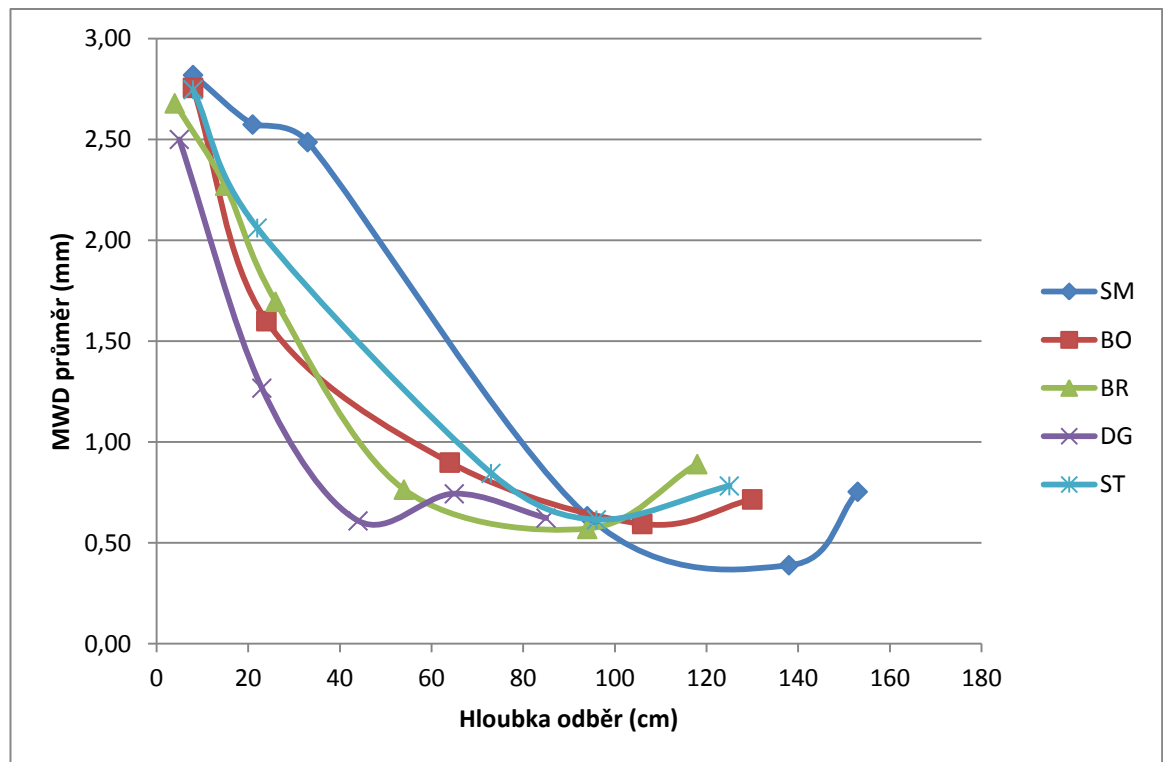


Z grafu lze vyčíst, že se velice liší hodnoty MWD v rámci jednotlivých sond i v rámci daných metodách A, B, C. Největší rozpadavost půdních agregátů se projevila u porostu borovice při stanovení hodnot MWD metodou A, tzn. při rychlém namočení vzorku. Naopak nejvíce stabilní půdní částice se překvapivě dle hodnot MWD nachází u TTP při stanovení metodou C, tedy mechanickým rozpadem agregátů po omočení vzorku půdy v etanolu.

6.1.1 Popis půdní struktury v závislosti na hloubce půdního profilu u lesních porostů

Kapitola 6.1.1 prezentuje grafické znázornění velikosti půdních agregátů na hloubce půdního profilu lesních porostů a následný popis půdní struktury vyplývající z obr. č.11.

Obr. 11: Velikost půdních agregátů v závislosti na hloubce půdního profilu u lesních porostů (Kolisková, 2016)



Popis stability půdní struktury řešených stromových porostů

Z obr. č. 11 je patrné, že řešené stromové porosty se vyznačují dosti podobnou půdní strukturou. Svrchní horizonty disponují vysokou stabilitou, u které je velmi nízké riziko odtoku a eroze. Současně tvorba povrchové krusty je zde velmi vzácná. Téměř u všech kategorií dochází v B horizontu ke zlomu ve stabilitě půdní struktury, která se jeví jako mírně nestabilní až nestabilní. U nejspodnějších horizontů potom dochází k mírnému zlepšení v závislosti na typu porostu. Z celkového hlediska se nejnížší stabilita půdních agregátů projevuje u porostu douglasky, naopak nevyšší odolnost vykazuje smrkový porost.

Popis stability půdní struktury smrkového porostu

V rámci smrkového porostu je dle obr. č. 11 struktura půdy vysoce stabilní ve svrchních horizontech. Tvorba povrchové krusty je v tomto případě velmi vzácná a je zde velmi nízké riziko odtoku a mezirýžkové eroze. Ve svrchních horizontech dosahují hodnoty MWD až 2,82 mm průměru částic. Od horizontu B dochází ke

zlomu, kdy vlivem zmenšujících se částic dochází k nižší vodostálosti agregátů. Půda se od tohoto typu horizontu stává nestabilní.

Popis půdní stability borového porostu

Borový porost se vyznačuje vysokou stabilitou půdních částic pouze u orniční vrstvy, nicméně i horizont A se vyznačuje také poměrně dobrou stabilitou. U obou výše zmíněných horizontů je nízké riziko eroze a nízká pravděpodobnost tvorby povrchové krusty. Níže pod B horizontem se půda stává mírně nestabilní až nestabilní.

Popis půdní stability březového porostu

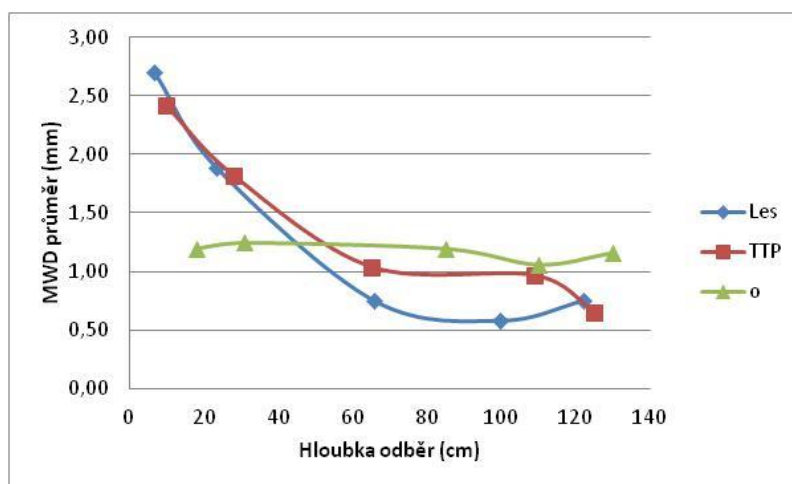
Březový porost disponuje vysoce stabilními půdními agregáty ve svých svrchních třech horizontech. Zatímco B horizont je svou půdní strukturou nestabilní, u C horizontu lze pozorovat již vyšší stabilitu půdy.

Popis půdní stability u douglasek a starého porostu

U porostu douglasek, stejně jako u starého porostu (složením modřín, borovice a smrk), je opět nejvíce stabilní svrchní část půdního profilu, přičemž veškeré spodní horizonty vykazují shodné půdní charakteristiky.

6.1.2 Popis půdní struktury v závislosti na hloubce půdního profilu u typů land use

Obr. 12: Velikost půdních agregátů v závislosti na hloubce půdního profilu u jednotlivých typů land use (Kolísková, 2016)



Veškerá data, která jsou zobrazena křivkou les, představují průměr sond SM, BO, BR, DG a ST.

Jak lze vypočítat z grafu, lesní porosty jsou náchylnější k erozi půdy a tvorbě povrchové krusty ve srovnání s TTP. Na rozdíl od orné půdy, která se vyznačuje mírnou nestabilitou v celém půdním profilu.

Popis půdní stability TTP

Ve svrchních horizontech se travní porosty vyznačují vysokou stabilitou, zatímco od B horizontu již hrozí omezené riziko mezirýhové eroze. Ve spodních horizontech je již půda nestabilní.

Popis půdní stability orné půdy

Orná půda se napříč horizonty vyznačuje mírnou nestabilitou, při které vzniká nízké riziko mezirýhové eroze, avšak míra krustability může být i v tomto případě velmi častá.

6.2 Statistické vyhodnocení

6.2.1 Porovnání hodnot MWD pro A horizont lesních porostů a orné půdy

Tab. 7: Wilcoxonův párový test pro lesní porosty a ornou půdu

Dvojice proměnných	Wilcoxonův párový test (Tabulka 14) Označené testy jsou významné na hladině $p < 0,05000$			
	Počet platných	T	Z	p-hodn.
stromy & orná	5	1,00000	1,75292	0,07961

$p\text{-hodn}/2 < 0,05$

$p = 0,04$

Na 5% hladině významnosti tedy test prokázal, že rozpadavost půdních agregátů je v případě lesních porostů větší než u orné půdy.

6.2.2 Porovnání hodnot MWD pro A horizont lesních porostů a TTP

Tab. 8: Wilcoxonův párový test pro lesní porosty a TTP

Dvojice proměnných	Wilcoxonův párový test (Tabulka 14) Označené testy jsou významné na hladině $p < 0,05000$			
	Počet platných	T	Z	p-hodn.
stromy & tráva	5	5,00000	0,67420	0,50018

$p\text{-hodn}/2 < 0,05$

$p = 0,25$

Na 5% hladině významnosti tedy test neprokázal, že by rozpadavost půdních agregátů byla rozdílná u jednotlivých typů půd.

6.2.3 Porovnání rozdílnosti jednotlivých metod

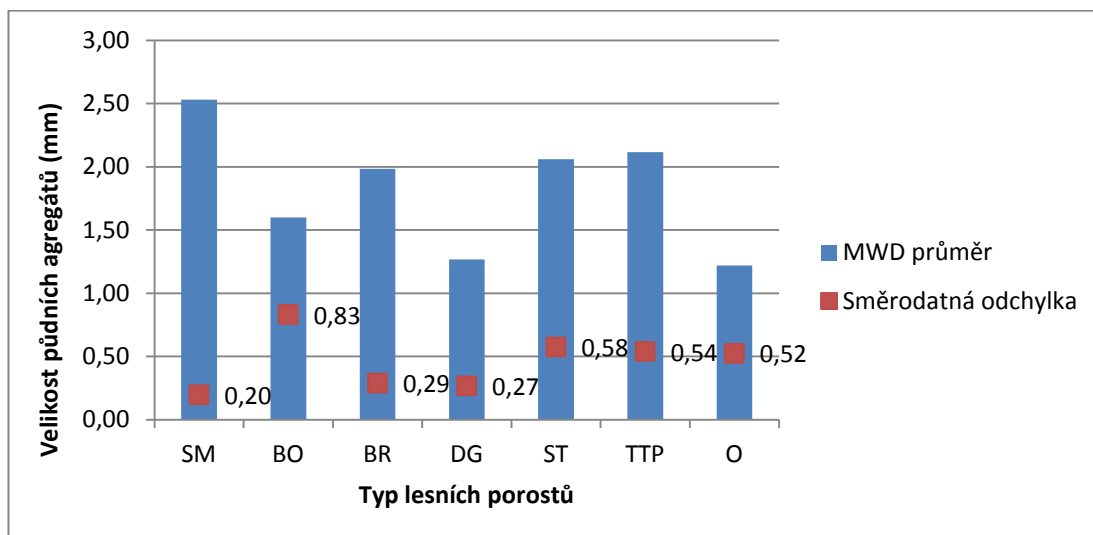
Tab. 9: Výpočet směrodatné odchylky a variačního koeficientu

Sonda	Horizonty	MWD (A) (mm)	MWD (B) (mm)	MWD (C) (mm)	Průměr MWD (mm)	Směrodatná odchylka	Variační koeficient
SM	O	2,48	3,09	2,89	2,82	0,25	8,94%
	Ahg	2,32	2,77	2,62	2,57	0,19	7,27%
	ABm ₁	2,19	2,61	2,66	2,49	0,21	8,37%
	Bm ₁	0,46	0,42	1,02	0,63	0,28	43,57%
	Bm ₂	0,39	0,27	0,51	0,39	0,10	25,16%
	Cg	0,45	0,55	1,26	0,75	0,36	47,74%
BO	O	2,75	2,93	2,58	2,76	0,14	5,18%
	Ahg	0,64	1,49	2,67	1,60	0,83	51,98%
	Bm ₁	0,40	0,72	1,58	0,90	0,50	55,55%
	Bm ₂	0,50	0,41	0,87	0,59	0,20	33,31%
	Cg	0,45	0,54	1,16	0,72	0,32	44,05%
BR	O	2,42	2,91	2,71	2,68	0,20	7,42%
	Ahg	1,92	2,60	2,30	2,27	0,28	12,26%
	ABm ₁	1,29	2,01	1,79	1,70	0,30	17,80%
	Bm ₁	0,39	0,66	1,25	0,76	0,36	47,29%
	Bm ₂	0,42	0,35	0,93	0,57	0,26	45,53%
	Cg	0,55	0,95	1,17	0,89	0,26	29,18%
DG	O	2,29	2,81	2,40	2,50	0,22	8,95%
	Ahg	0,90	1,36	1,54	1,27	0,27	21,17%
	Bm ₁	0,35	0,49	0,99	0,61	0,27	44,97%
	Bm ₂	0,49	0,62	1,12	0,74	0,27	36,42%
	Cg	0,56	0,54	0,77	0,62	0,10	16,49%
ST	O	2,51	2,89	2,84	2,75	0,17	6,14%
	Ahg	1,31	2,70	2,17	2,06	0,58	27,91%
	Bm ₁	0,38	0,83	1,33	0,85	0,39	45,80%
	Bm ₂	0,31	0,49	1,04	0,62	0,31	50,34%
	Cg	0,60	0,47	1,27	0,78	0,35	44,88%
TIP	Adg	1,85	2,67	2,72	2,41	0,40	16,57%
	ABm ₁	1,16	1,55	2,75	1,82	0,68	37,40%
	Bm ₁	0,84	0,67	1,60	1,04	0,40	38,86%
	Bm ₂	0,46	0,61	1,81	0,96	0,60	62,71%
	Cg	0,51	0,46	0,98	0,65	0,23	36,02%
O	Apg	0,73	0,89	1,97	1,20	0,55	46,03%
	ABm ₁	0,77	1,03	1,93	1,24	0,50	40,11%
	Bm ₁	1,06	1,14	1,38	1,19	0,14	11,60%
	Bm ₂	0,82	1,11	1,24	1,06	0,17	16,42%
	Cg	1,08	1,29	1,11	1,16	0,09	7,81%

Z tab. č. 9 vyplývá, že rozdíly mezi jednotlivými metodami MWD jsou na základě směrodatné odchylky poměrně vysoké. Podle velmi hrubého pravidla prozrazuje

variační koeficient vyšší než 50% dokonce tak silnou odlišnost jednotlivých metod, že použití aritmetického průměru je už prakticky nepoužitelné.

Obr. 13: *Vztah průměru a směrodatné odchylky pro A horizont u jednotlivých lesních porostů (Kolísková, 2016)*



Z grafu je zřejmé, že u porostu smrku, břízy a douglasky jsou směrodatné odchylky poměrně nízké a způsoby měření metodami MWD nevykazují velký rozdíl v rozpadavosti půdních agregátů. Naopak zejména u porostu borovice tvoří směrodatná odchylka více jak polovinu průměru naměřených hodnot, což vypovídá o velké rozdílnosti v závislosti na použití dané metody.

7 DISKUSE

Z hodnocení půdní struktury provedené v rámci diplomové práce vyplývá, že lesní porosty přispívají ke stabilizaci půdního prostředí. Jedná se zejména o svrchní horizont, který je typický svou obecně vyšší mikrobiální aktivitou. Pod lesním porostem a TTP proto dochází ke vzniku chalátů, tedy stabilnější formy organické hmoty. Smrkový porost a TTP také významně zlepšují fyzikální vlastnosti půdy, disponují totiž vyšším potenciálem k retenci a infiltraci vody.

Obsah stabilních makroagregátů se mění směrem k nižším horizontům. Zde již dochází k potlačení vlivu lesních porostů. Dále se u lesních porostů vyskytuje vyšší obsah prachových částic, což může předurčovat k nižším hodnotám půdní stability. Obsahy prachové složky jsou obecně pro lesní stanoviště vyšší než pro O a TTP. Buzek (1983) uvádí, že půdy s vysokým obsahem prachu a jílu více erodují než písčité půdy za stejných podmínek. Na základě rozborů, provedených v rámci diplomové práce, se lze domnívat, že v případě orné půdy je pro stabilitu půdní struktury zásadní právě vyšší obsah písku. V nižších horizontech potom může docházet k cementaci vlivem anorganicky vázaných částic.

V kapitole 6.2 jsou porovnávány hodnoty MWD pro A horizont lesních porostů, orné půdy a TTP Wilcoxonův párovým testem. Výsledky tohoto testu zde bohužel neodpovídají naměřeným datům MWD ani poznatkům odborné literatury (Janeček, 2008; Zachar, 1970). Jako jedna z možných příčin může být nevhodně zvolený statistický test. Wilcoxonův párový test, jak uvádí Mrkvička et al. (2006), porovnává 2 měření provedená u jednoho výběrového souboru. Tedy výpočet testu vychází z párových hodnot dvou měření pouze na jednom výběrovém souboru.

Z hlediska zrnitostního složení je zajímavý jednotný přechod mezi A a B horizontem v kategorii TTP a O. Na hranici těchto horizontů totiž přechází zrnitostně lehčí hlinitý A horizont do zrnitostně výrazně těžšího B horizontu (podorničí). Tento výrazný přechod může mít příčinu v předchozím využití především lesních ploch, kdy typicky orní horizont přetrvává i po delší době od jejího zalesnění.

Zajímavé je také srovnání s opačným případem, tedy změny využití orné půdy na lesní porost. Fattet et al. (2001) uvádí, že bývalé orné plochy mohou časem dosahovat lepších vlastností z hlediska půdní stability v závislosti na typech podrostu. Hodnoty metody MWD při pomalém ovlhčení dosahovaly hodnot 0,94 -

1,01 mm v případě, že byl na těchto plochách přítomen alespoň pelyněk. Naopak plochy bez přítomnosti podrostní vegetace dosahovaly poměrně nízkých hodnot 0,57 -0,59 mm. Toto tvrzení se shoduje s výsledky Burri et al. (2009). Na znovu osázených půdách byly výsledky stability půdy srovnatelné dokonce s úrovní klimaxového lesa. Oproti tomu půdy, které byly nechány ladem a na kterých se nacházela pouze náletová vegetace, vykazovaly značnou nestabilitu. Lze tak přijmout tvrzení, že vegetace na dříve těžce využívaných plochách, podporuje zvýšení stability půdních agregátů tím, že dochází k nahromadění organické hmoty a podpory mykorrhizních procesů.

V odborné literatuře lze najít mnoho dokladů o příznivém účinku půdní organické hmoty na stabilitu půdní struktury, přičemž účinnost tohoto působení závisí mimo jiné, na systému zpracování půdy (Kubát et al., 2008). To potvrzují i dlouhodobá sledování stability půdních agregátů na oddělení pěstitelských technologií ve VÚRV v Praze-Ruzyni. Ukazují totiž, že v půdním horizontu do 0,2 m ve variantě bez zpracování půdy bylo až dvojnásobné množství vodě odolných agregátů, než ve variantě konvenční. Rozdíl je statisticky vysoce průkazný. Z uvedených výsledků rovněž vyplývá, že kromě fyzikálních, chemických a biologických procesů v půdě, je tato charakteristika ovlivňována průběhem počasí v jednotlivých letech. Roky 2004 a 2006 a zejména rok 2007 byly příznivé pro relativně vysokou stabilitu půdních agregátů. Naopak v suchém roce 2003 s dlouhým obdobím beze srážek a dále v letech 2005 a 2008 byla stabilita půdních agregátů významně nižší.

Bartlová (2013) se ve svém výzkumu z let 2008 až 2011 zabývala vlivem různých agrotechnických opatření na makrostrukturální změny ornice a podorničí. Makrostruktura byla posuzována právě podle schopnosti půdních agregátů odolávat rozplavení (tzv. vodostálost). Ke stanovení vodostálosti půdních agregátů byla použita metoda, která je popsána Kandlerem v knize „Method in soil biology“. Z výsledků je zřejmé, že odběry provedené v jarním období dosahovaly vyšších hodnot vodostálosti oproti podzimním odběrům u všech variant jak v ornici, tak i v podorničí. Zvýšení stability agregátů bylo na jaře zřejmě způsobeno nárůstem biologické aktivity, přičemž u bezorebného zpracování půdy nedocházelo k tak značné mineralizaci, jak u orebné varianty.

8 ZÁVĚR

Cíle této diplomové práce bylo stanovit půdní strukturu a následně provést její analýzu pro různé kategorie využití půdy na modelové lokalitě Krymlov. Výsledků práce bylo dosaženo metodou MWD, jejíž postup je v práci detailně popsán. Výsledkem je popis zastoupení různých zrnitostních frakcí, které jsou reprezentovány jejich střední hodnotou MWD (mm). Tímto způsobem byl popsán vývoj půdní struktury v profilech jednotlivých sond. Tato metoda se tak osvědčila jako vhodná metoda ke klasifikaci půdy, jejímu chování, složení a určení podílu zemědělské činnosti na stabilitu půdní struktury. Dále bylo provedeno porovnání A horizontu lesních porostů s O a TTP. Zde pravděpodobně z důvodu nevhodně zvoleného Wilcoxonova párového testu nejsou výsledky zcela směrodatné a nekorespondují s poznatky uváděnými v odborné literatuře.

Lze říci, že jako nejstabilnější se jeví půdy lesních porostů. Naopak k největší rozpadavosti půdních agregátů dochází u půd orných, tyto půdy jsou proto více ohroženy rizikem vodní eroze a tvorbě povrchové krusty. Z výsledků MWD dále vyplývá, že stabilita půdní struktury je závislá na hloubce půdy a typu horizontu. Za zmínku stojí i poměrně velké rozdíly směrodatných odchylek mezi jednotlivými metodami MWD, tedy velké rozdíly mezi pozvolným a rychlým zamokřením půdních agregátů.

Jak již bylo řečeno v úvodu této práce, struktura půdy úzce souvisí s erodibilitou. Ke zlepšení půdní struktury, zejména pak na zemědělských a orných půdách lze aplikovat řadu protierozních opatření, z těch agrotechnických např. ochranné obdělávání. Ochranným obděláváním půdy dochází mimo jiné ke zlepšení půdní struktury a zároveň se tvoří ochrana povrchu půdy rostlinnými zbytky. Protierozní technologie znamenají pro zemědělce určité vícenáklady, mohou ale způsobit i snížení zisku vlivem změny kultur. Významnou měrou však tyto technologie, zejména ponechání rostlinných zbytků na povrchu půdy přispívají k omezení zráta půdy erozí, tedy vedou ke zlepšení stability půdních agregátů a dalších půdních vlastností.

PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

Publikace a články:

Addiscott T., 1995: Entropy and sustainability. *European Journal of Soil Sciences* 46: 161-168, online: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2389.1995.tb01823.x/abstract>, cit. 17.11.2015.

Amezqueta E., Winter M., Le Bissonais Y., 1996: Testing a procedure for measuring water-stable aggregation. *Soil Society of America Journal*, 60: 888-894, online: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/60/3/SS0600030888>, cit. 12.11.2015.

Angers D.A, Caron J., 1998: Plant-induced changes in soil structure: Processes and feedbacks. *Biogeochemistry* 42: 55-72, online: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-2691-7_3#page-1, cit. 17.11.2015.

Anonym, 2010: Tvary a třídění strukturních půdních elementů. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, online: <http://ucebnice.remediace.cz/default.asp?oid=03010300000&fid=152>, cit. 15.11.2015.

Le Bissonais Y., De Nomi G., Blavet D., Laureát J.Y., Asseline J., Chenu C., 2006: Erodibility of Mediterranean calcareous soils: relevant aggregate stability methods and significant soil variables. *European Journal of Soil Science*.

Bartlová J., 2013: Makrostrukturální změny antropogenně zhutněných půd. Disertační práce. Mendelova univerzita v Brně.

Burri K., Graf F., Böll A., 2009: Revegetation measures improve soil aggregate stability: a case study of a landslide area in Central Switzerland. *For. Snow Landsc. Res.* 82, 1: 45-60, online: <http://www.wsl.ch/dienstleistungen/publikationen/pdf/9697.pdf>.

Čermák P., 2012: Vliv půdní struktury na hydraulické vlastnosti půdy. VUT. Brno.

Campbell C. A., Mayer R. J. K., Curtin D., 1995: Managing nitrogen for sustainable crop production. *Fertilizer Research* 42: 277-296, online: <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00750521#page-1>, cit. 17.11.2015.

- Bronick C.J., Lal R. 2005:** Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22, online:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706104000898>, cit. 17.11.2015.
- Daraghmeh O. A., Jensen J. R., Petersen C. T., 2009:** Soil structure stability under conventional and reduced tillage in a sandy loam. *Geoderma*, 150: 64-71.
- Darwish O. H., Persaud N., Martens D. C., 1995:** Effect of long-term application of animal manure on physical properties of free soils. *Plant soil* 176: 289-295, online: <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00011793#page-1>, cit. 12.11.2015.
- Debosz K., Vognsen L., Labouriau R., 2002:** Carbohydrates in hot water extracts of soil aggregates as influenced by long-term management. *Soil Science and Plant Analysis* 22: 623-634, online: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/CSS-120002768>, cit. 17.11.2015.
- Dexter A. R., Czyz E. A., Gare O.P., 2004:** Soil structure and the saturated hydraulic conductivity of subsouils. *Soil and Tillage Research* 79: 185-189, online:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198704001448>, cit. 17.11.2015.
- Fattet M., Fu Y., Ghestem M., Ma W., Foulonneau M., Nespoulous J., Le Bissonnais Y., Stokes A., 2011:** Effects of vegetation type on soil resistance to erosion: Relationship between aggregate stability and shear strength. *Catena* 87: 60-69, online: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816211000907>.
- Filtho C., Lourenco A., Guimaraes M.D.F., Fonseca I.C.B., 2002:** Aggregate stability under different soil management systems in a red Latosol in the state of Parana, Brazil. *Soil and Tillage Research* 65: 45-51, online: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198701002756>, cit. 17.11.2015.
- Gronsten H. A., Borresen T., 2009:** Comparison of two methods for assessment of aggregate stability of agricultural soils in southeast Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-soil and Plant Science* 59 (6): 567-

575,online:<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09064710802495356>,
cit. 10.1.202016.

Haynes R. J., 1993: Effect of sample pretreatment on aggregate stability measured by wet sieving or turbidimetry on soils of different cropping history. *Journal of Soil Science* 44: 261-270, online: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2389.1993.tb00450.x/abstract>, cit. 17.11.2015.

Hénin S., Monnier G., et Combeau A., 1958: Metod for the analysis of the structural stability of soils. *Annales Agronomiques*. France.

Jandák J. [ed.], 2009: Cvičení z půdoznalství. MENDELU. Brno.

Janeček M., 2008: Základy erodologie. ČZU . Praha.

Kodešová R., Rohošková M, Žigová A. 2009: Comparison of aggregate stability within six soil profiles under conventional tillage using various laboratory tests. *Biologia, Section Botany*, 64 (3): 550-554, online: <http://www.degruyter.com/view/j/biolog.2009.64.issue-3/s11756-009-0095-6/s11756-009-0095-6.xml>, cit. 10.1.2016

Kubát J., Cerhanová D., Mikanová O., Šimon T., 2008: Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách. VURV, v.v.i. Praha.

Kutílek M., Kuráž V., Císlarová M., 1994: *Hydropedologie*. ČVUT. Praha.

Lal R., Reicosky D.C., Hanson J.D., 2007: Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil and Tillage Research* 93: 1-12, online:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198706002522>, cit. 17.11.2015.

Milne R.M, Haynes R.J., 2004: Soil organic matter, microbial properties, and aggregate stability under annual and perennial pastures. *Original Paper* 39: 172-178, online: <http://link.springer.com/article/10.1007/s00374-003-0698-y>, cit. 17.11.2015.

Mrkvička T., Petrášková V., 2006: Úvod do statistiky. JU. České Budějovice.

- Nichols K. A., Toro M., 2011:** A whole soil stability index (WSSI) for evaluating soil aggregation. *Soil and Tillage Research* 111: 99-104, online: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198710001650>, cit. 10.1.2016.
- Novotný I. [ed.], 2014:** Příručka ochrany poroti vodní erozi. Mze. Praha.
- Pospíšilová L. et Vlček V., 2015:** Chemické, biologické a fyzikální ukazatele kvality/zdraví půdy. *Folia*, ročník VIII. MENDELU. Brno.
- Reeves D. W., 1997:** The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tillage Research* 43: 131-167, online: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016719879700038X>, cit. 17.11.2015.
- Rohošková M., Valla M., 2004:** Comparison of two methods for aggregate stability measurement – a review. *Plant Soil and Environment* 50 (8): 379-382, online <http://agriculturejournals.cz/publicFiles/52776.pdf>, cit. 10.1.2016.
- Roose E., Barthes B., 2001:** Organic matter management for soil conservation and produktivity restoration in Africa: a contribution from francophone research. *Nutrient cycling in Agroecosystems* 61: 159-170, online: <http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1013349731671#page-1>, cit. 17.11.2015.
- Sow A.A., Hossner L.R., Unger P.W., Stewart B.A., 1997:** Tillage and residue effects on root growth and yields of grain sorghum following wheat. *Soil and Tillage Research* 44: 121-129, online: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198797000421>, cit. 17.11.2015.
- Šimek M., 2003:** Základy nauky o půdě 3., Biologické procesy a cykly v půdě. JČU. České Budějovice.
- Tisdall J. M., Oades J. M., 1982:** Organic matter and water stable aggregates in soils. *Journal of soil sciences* 33: 141-163, online: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x/abstract>, cit. 12.11.2015.

Tobiašová E., Šimanský V., 2009: Kvantifikácia podnych vlastností a ich vzájemných vzťahov

Tomášek M., 2007: Půdy České republiky. Česká geologická služba. Praha.

Vaněk V., Kolář L., Pavlíková D., 2010: Úloha organické hmoty v půdě. BIOM, Praha, online: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/uloha-organicke-hmoty-v-pude>, cit. 10.1.2016.

Vopravil J., Khel T., Vrabcová T., Novák P., Novotný I., Hladík J., Vašků Z., Jacko K., Rožnovský J., Janeček M., Vácha R., Pivcová J., Kvítek T., Novák P., Fučík P., Čermák P., Janků J., Papaj V., Pírková I., Banýrová J., 2009: Půda a její hodnocení v ČR (díl 1..). VÚMOP, v.v.i. Praha.

Vráblíková J., Vráblík P., 2006: Základy pedologie. UJEP. Ústí nad Labem.

Zachar D., 1970: Erozia pody. SAV Bratislava.

Internetové zdroje:

Badalíková B., Kňákal Z., 2001: Vliv zpracování půdy na půdní strukturu. Výzkumný ústav pícninářský, s.r.o. Trobsko, online: <http://uroda.cz/vliv-zpracovani-pudy-na-pudni-strukturu/>, cit. 5.11.2015.

VÚMOP, v.v.i, 2015: Úvod, online: <http://www.organickahmota.cz/#/intro>, cit. 10.1.2016.

Normy, legislativní předpisy, ISO

Předpis pro stanovení půdní kvality ISO/CD 10930, (2009).

SEZNAM OBRÁZKŮ

- [1] **McBratney A., 2007 [online]:** The Carbon Farmers, použito 15.11.2015, dostupný z <http://www.abc.net.au/science/features/soilcarbon/>.
- [2] **Anonym [online]:** Scanning elektron microscopy in soil science, použito 15.11.2015, dostupný z http://www.microped.uni-bremen.de/SEM_index.htm.
- [3] **USDA Natural Resources Conservation Service [online]:** Integrated crop management, použito 17.11.2015, dostupný z <http://www.ipm.iastate.edu/ipm/icm/2005/5-2-2005/reducespringerosion.html>.
- [4] **Kutílek M., 1978:** Vodohospodářská pedologie, použito 18.11.2015, SNTL Bratislava.
- [5] **Němeček J., 1981:** Základní diagnostické znaky a klasifikace půd ČSR. 1. vyd. Academia, Praha.
- [6] **Kodešová R., 2005:** Modelování v pedologii. 1. vyd. Česká zemědělská univerzita, Katedra pedologie a geologie FAPPZ, Praha.
- [7] **Kolísková L., 2016:** Lokalita Krymlov.
- [8] **Kolísková L., 2016:** Lokalizace sond vyhloubených v letech 2011 a 2012.
- [9] **Prof Karl Ritz & Dr Naoise Nunan, 2008 [online]:** SIMBIOS Gallery, použito 15.11.2015, dostupný z http://simbios.abertay.ac.uk/gallery/image_gallery/index.php?level=picture&id=11.
- [10] **Kolísková L., 2016:** Velikost půdních agregátů A horizontu v závislosti na typu land use a metodě MWD.
- [11] **Kolísková L., 2016:** Velikost půdních agregátů v závislosti na hloubce půdního profilu u lesních porostů.
- [12] **Kolísková L., 2016:** Velikost půdních agregátů v závislosti na hloubce půdního profilu u jednotlivých typů land use.
- [13] **Kolísková L., 2016:** Vztah průměru a směrodatné odchylky pro A horizont u jednotlivých lesních porostů.

SEZNAM TABULEK

- [1] **Tomášek M., 2000:** Půdy České republiky. ČGÚ, Praha.
- [2] **Tomášek M., 2000:** Půdy České republiky. ČGÚ, Praha.
- [3] Popis půdního profilu jednotlivých sond.
- [4] Popis půdního profilu jednotlivých sond
- [5] **Le Bissonais, Y., 1996:** Aggregate stability and assessment of crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science* 47: 425-37.
- [6] Naměřené hodnoty MWD u jednotlivých typů půdy.
- [7] Wilcoxonův párový test pro lesní porosty a ornou půdu
- [8] Wilcoxonův párový test pro lesní porosty a TTP.
- [9] Výpočet směrodatné odchylky a variačního koeficientu.

SEZNAM ZKRATEK

BR	Bříza
BO	Monokultura borovice
DG	Douglaska
MWD	Mean weighted diameter / prostý vážený průměr
SM	Smrková monokultura
SOM	Půdní organická hmota
ST	Starý porost
O	Orná půda
TTP	Trvalý travní porost

PŘÍLOHY

Fotodokumentace hodnocených stanovišť na modelové lokalitě Krymlov.

Fotografie č. 1: *Trvalý travní porost (Kolísková, 2015)*



Fotografie č. 2: *Orná půda, v dále navazuje hodnocený lesní porost (Kolísková, 2015)*



Fotografie č. 3: *Březový porost* (Kolísková, 2015)



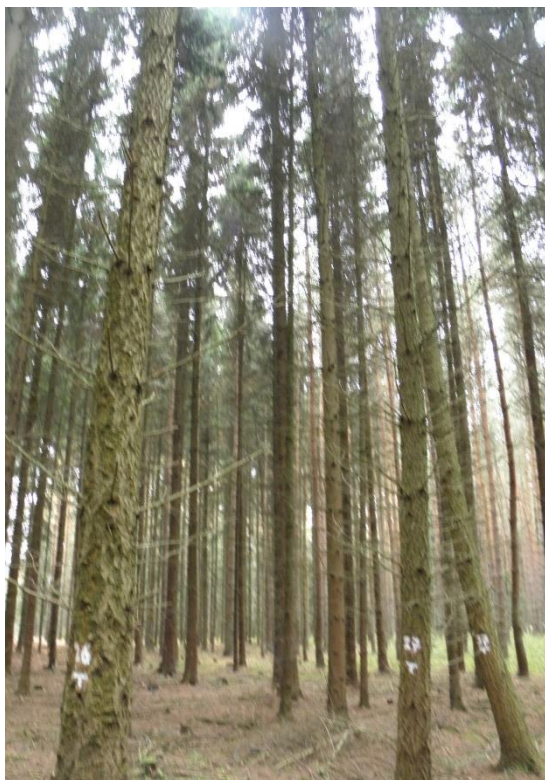
Fotografie č. 4: *Smrkový porost* (Kolísková, 2015)



Fotografie č. 5: *Borový porost* (Kolísková, 2015)



Fotografie č. 6: *Porost douglasky (Kolísková, 2015)*



Fotografie č. 7: Starý porost (ST) x nově založený porost

