



ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

Katedra biotechnických úprav krajiny

Obor: Krajinné a pozemkové úpravy

Vliv vybraný půdních a stanovištních podmínek na stabilitu půdní struktury

Effect of selected soil and site conditions on the stability of soil structure

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Miloslav Janeček, DrSc.

Vypracovala:

Petra Huislová

2013

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra biotechnických úprav krajiny

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Huislová Petra

Krajinné a pozemkové úpravy

Název práce

Vliv vybraných půdní a stanovištních podmínek na stabilitu půdní struktury

Anglický název

Effect of selected soil and site conditions on the stability of soil structure

Cíle práce

Cílem této práce je zhodnotit důsledky procesu smáčení půdních agregátů a jejich rozpadu. V závislosti na vybraných stanovištních a půdních podmínkách bude určena stabilita půdní struktury, která je závislá na chování agregátů ve vodním prostředí. Určení bude probíhat za pomoci dvou metod: Středním váženým průměrem (MWD) a ve vodě stabilními agregáty (WSA).

Metodika

Terénní práce budou zahrnovat odběry půdních vzorků. Laboratorní práce budou probíhat v laboratoři VUMOPu a bude při nich stanovena hodnota MWD popisující stabilitu půdní struktury, dále pak index WSA, Cox, zrnitost a pH. Statistické vyhodnocení stanoví závislosti stability půdní struktury na vybraných půdních a stanovištních podmínkách, popř. vnitřních a vnějších faktorech.

Harmonogram zpracování

květen - září 2012 - Odběr vzorků a analýzy MWD,
říjen - prosinec 2012 - laboratorní analýzy MWD,
leden - únor 2013 - vyhodnocení výsledků,
březen 2013 - hodnocení, závěry.

Rozsah textové části

70 - 90

Klíčová slova

Struktura, stabilita, agregát, MWD, WSA

Doporučené zdroje informací

Literatura:

- LE BISSONNAIS Y., 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 47, 425-437.
- LE BISSONNAIS, Y., BRUAND, A., JAMAGNE, M. 1989. Laboratory experimental study of soil crusting: relation between aggregate breakdown mechanisms and crust structure. *Catena Verlag*, 16, 377-392.
- LEGOUT, C., LEGUÉDOIS, S., Le BISSONNAIS. 2005. Aggregate breakdown dynamics under rainfall compared with aggregate stability measurement. *European Journal of Soil Science*, 56, 225-237.
- DARBOUX, F., Le BISSONNAIS, Y. 2007. Changes in structural stability with soil surface crusting: consequences for erodibility estimation. *European Journal of Soil Science*, 58, 1107-1114.
- FRANZLUEBBERS, A., J. 2002. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil & Tillage Research*, 66, 197-205.
- BARTHES, B., ROOSE, E., 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion: Validation at several levels. *Catena Verlag*, 47 (2), 133-149.
- BRONICK, C.J., LAL, R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124, 3-22.

Vedoucí práce

Janeček Miloslav, prof. Ing., DrSc.

Konzultant práce

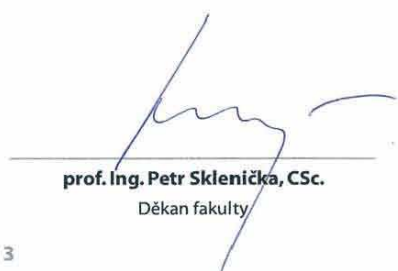
Ing Tomáš Khel


prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry



V Praze dne 22.4.2013


prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů, které jsou uvedené v seznamu použité literatury.

Nemám námitek proti užití tohoto školního díla ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), pokud bude řádně citována.

V Praze dne:

.....

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Miloslavu Janečkovi, DrSc. za odborné vedení při zpracování. Dále bych ráda poděkovala zaměstnancům VÚMOP Praha, především Oddělení pedologie a ochrany půdy, jmenovitě Ing. Tomáši Khelovi, Ondřeji Holubíkovi, Ing. Marku Batystovi, Ph.D., Ing. Janu Srbkovi, Ing. Darině Vaššové, Ph.D. a Bc. Davidu Řeháčkovi za pomoc při vlastních laboratorních experimentech, poskytnutí potřebných informací a odborných konzultací.

V Praze dne:

.....

Abstrakt

Kvalitní struktura půdy je velmi důležitou vlastností každého pozemku. Stabilita struktury půdy je nevíce ovlivňována všemi druhy degradace, proto jsem se v práci zaměřila právě na ni. Struktura je složena z půdních agregátů, jejichž soudržnost a odolnost vůči okolním vlivům, je závislá na půdních a stanovištních podmínkách. Zejména je struktura půdy ohrožována rozplavováním a následným odnosem částic narušených agregátů – jedna z fází vodní eroze. Jsou zde představeny dvě metody testování půdní stability ve vodním prostředí, a to střední vážený průměr (MWD) a ve vodě stabilní agregáty (WSA). Díky informacím o testovaných půdách z terénních záznamů, výsledků z laboratoře a hodnocení stability pomocí těchto dvou metod je možné interpretovat závěry o stabilitě půdní struktury vyplývající z vlivu využití půd, vegetačního období, obsahu organické hmoty, vertikálního rozložení půdního profilu.

Klíčová slova: Struktura, stabilita, agregát, MWD, WSA

Abstract

The quality of soil structure is a very important feature of each plot. The stability of soil structure is influenced especially by all kinds of degradation. That is why degradation is the main focus of this thesis. Soil structure is composed of soil aggregates, whose consistency and resistance to environmental influences is dependent on soil and site conditions. In particular, soil structure is threatened by slacking and subsequent ablation of disturbed aggregate particles - one of the phases of water erosion. This thesis presents two methods for testing soil stability in the aquatic environment: mean weighted diameter (MWD) and water-stable aggregates (WSA). Information about the tested soils comes from field recordings and from the results of laboratory and stability assessments. By applying these two methods to information about the tested soils conclusions can be made about the stability of soil structure resulting from the impact of land use, vegetation period, organic matter content and - the vertical distribution of soil profile.

Keywords: structure, stability, aggregate, MWD, WSA

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíl	9
3	Metodika	9
3.1	Stanovení agregátové stability (MWD)	9
3.1.1	Rozsah měření	10
3.1.2	Termíny a definice	10
3.1.3	Reagence a vybavení potřebné pro stanovení stability půdní struktury ...	10
3.1.4	Pracovní postup	12
3.1.5	Forma prezentace výsledků	16
3.1.6	Interpretace výsledků	18
3.2	Stanovení agregátové stability (WSA – water stable aggregate)	20
3.2.1	Rozsah měření	20
3.2.2	Termíny a definice	21
3.2.3	Reagence a vybavení potřebné pro stanovení stability půdní struktury ...	21
3.2.4	Pracovní postup	22
3.2.5	Výpočet WSA	24
3.2.6	Forma prezentace výsledků	25
3.2.7	Interpretace výsledků	26
4	Rešerše	27
4.1	Význam půdy	27
4.1.1	Produkční a mimoprodukční funkce půdy	27
4.2	Indikátory kvality půdy	30
4.2.1	Struktura	31
4.2.2	Vliv struktury na rovnici USLE	35
4.3	Degradace půdy a její struktury	39
4.3.1	Eroze	39
4.3.2	Utužení	41
4.3.3	Dehumifikace	41
4.3.4	Acidifikace	42
5	Testování vlivu stanovištních podmínek	43
5.1	Vliv využití půd	43
5.1.1	Hodnocení vlastních dat na souboru lokalit	43
5.2	Vliv vegetačního období	49

5.2.1	Hodnocení vlastních dat na lokalitě Čejkovice.....	49
6	Testování vliv půdních podmínek	52
6.1	Obsah organické hmoty v půdě.....	52
6.1.1	Hodnocení dat	53
6.2	Agregátová stabilita horizontů	55
6.2.1	Hodnocení dat na lokalitě Krymlov	55
7	Diskuse	61
8	Závěr.....	64
9	Literatura	65

1 Úvod

Struktura a celková stabilita jsou důležité, vzájemně propojené a ovlivňované vlastnosti půdy. Obdělávání, podnebí (Guérifat al, 2001) a rozložení srážek (Jirků et al. 2010) mají samozřejmě vliv na tyto vlastnosti, ale především stanovištní (druh využití půdy, vegetační období) a půdní (obsah organické hmoty, horizont, typ, zrnitost) podmínky nejvíce ovlivňují agregaci půdy a stabilitu agregátů (Cerda, 2000), proto jsem se v práci zaměřila právě na ně.

Hodnocené podmínky vychází z dostupných dat o půdách na různých územích ČR. Poznatky je tedy možné využít na území střední Evropy, a to nejen pro pedologické účely, ale i pro půdoochranné a návrhy protierozních opatření. Intenzivně využívaným půdám a jejich podmínkám je nutné věnovat pozornost z důvodu ubývání kvalitní produkční půdy. Čím více poznatků v této problematice získáme, tím více budeme schopni půdu chránit před negativními vlivy, lépe a citlivěji na ní hospodařit a v neposlední řadě dosahovat i větších produkčních výsledků.

Téma své práce jsem si vybrala na základě laboratorních zkušeností z pedologické laboratoře ve Výzkumném ústavu meliorací a ochrany půdy (dále jen VÚMOP), kde jsem si pod vedením Ing. Tomáše Khela a Ondřeje Holubíka mohla vyzkoušet postupy pro určení půdní stability. Stabilitu půdních agregátů jsem určovala středním váženým průměrem (MWD) a ve vodě stabilními agregáty (WSA) (viz Metodika). Údaje o hodnotě Cox jsem převzala z Půdní databáze VÚMOP (vyhotovila je Centrální laboratoř VÚMOP).

Z výsledků byla vytvořena databáze v programu MS Excel, kam byly zapsány i bližší informace o vzorcích půdy – datum a místo odběru, hloubka, ze které byly odebrány, stanovištní a půdní podmínky. Díky tomu se dají dávat do souvislosti a porovnávat různé vlastnosti vzorků s hodnotami jejich indexů stability MWD a WSA.

Tato data a výsledky byly též součástí výzkumného projektu NAZV: QH 82090.

2 Cíl

Celková kvalita a stabilita půdy jsou úzce spjaty s erodovatelností, která může být definována jako náchylnost půdy k fragmentaci agregátů vlivem dešťových srážek a její odnos povrchovým odtokem. Cílem této práce je zhodnotit důsledky procesu smáčení půdních agregátů a jejich rozpadu. V závislosti na různých stanovištních a půdních podmínkách bude určena stabilita půdní struktury, která je závislá na chování agregátů ve vodním prostředí. Určení bude probíhat za pomoci dvou metod: Středním váženým průměrem (MWD) a ve vodě stabilními agregáty (WSA). Pozorování a kvantifikace procesu rozplavování agregátů poskytuje důležité informace o stabilitě testovaných půd, ale také o spolehlivosti těchto dvou metod.

3 Metodika

3.1 Stanovení agregátové stability (MWD)

Hodnocení půdní kvality, povrchové crustability a vodní eroze.

(MWD-mean weighted diameter)

Účelem metody prezentované v tomto dokumentu je popis reálné analytické metody sloužící k popisu změny fyzikálních vlastností půdy při disruptivním procesu deště. Výsledkem je relativní zastoupení různých zrnitostních frakcí (size distribution) jemnozeme reprezentovaných jejich střední hodnotou MWD [mm]. Takto lze velmi podrobně charakterizovat kvalitativní rozpad půdních makroagregátů. Tato metoda nám umožňuje relativně klasifikovat půdy, jejich chování, složení a zároveň kvantifikovat vliv kultivace a zemědělské praxe na stabilitu a kvalitu půdní struktury. Informace o agregátové stabilitě a kvalitě jsou úzce spjaty s erodibilitou. Erodibilita může být definována jako náchylnost půdy k fragmentaci agregátů působením deště s jejich následným transportem povrchovým odtokem. Pro většinu kultivovaných půd je eroze důsledek snížení schopnosti infiltrace srážkové vody a následek tvorby krusty na povrchu půdy díky nízké stabilitě půdní struktury.

3.1.1 Rozsah měření

Tato metoda může být aplikována na široké spektrum půdních vzorků. Není závislá na původu, druhu, či mocnosti jednotlivých půd. Její využití spočívá zejména při hodnocení kvality svrchních horizontů zemědělských půd (srovnání procesů kultivace), ale je možné určit kvalitu půdní struktury pro jakýkoliv půdní horizont při různém využití půdy. Rozsah zkoumaných půdních makroagregátů je 3-5 mm.

Procentuální obsah šterku může zkreslovat měření, při obsahu šterku > 40 % není tato metoda dostatečně přesná. Obsah šterku je možné zahrnout do kalkulace částic < 2 mm (viz kap. 5.5). Tuto metodu nelze využít pro stanovení stability nestrukturních půd, kde částice netvoří milimetrové půdní agregáty.

3.1.2 Termíny a definice

Agregát – za daných podmínek stálá strukturní částice půdy obsahující menší částice hmoty vázané v celek (agregát).

MWD- (mean weighted diameter / prostý vážený průměr) – střední hodnota velikosti rozrušeného agregátu => suma dělená 100 z produktu procentuálního hmotnostního rozdělení částic sedmi zkoumaných velikostních frakcí [mm]

3.1.3 Reagence a vybavení potřebné pro stanovení stability půdní struktury

Chemikálie

Destilovaná voda

Ethyl alkohol (95 %)

Aparatura

Přístroj (dle Henin-Féodoroff) vytvářející heliakální pohyb, viz. Obr. 1

Parametry:

- (rotace 0-180° a zdvih 45mm za 1 cyklus)
- síto: d = 100 mm, h = 60 mm, ϕ (ok) = 0,05 mm
- válcová nádoba cca.3L na EtOH

Analytické váhy s přesností minimálně
0,01g +/- 0,005g

Pec (sušárna) pro udržení konst. teploty
40 °C +/- 5 °C

Soustava nerezových sít d = 100 mm, h
= 45 mm, 8 velikostí s ϕ (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 500ml (plastová)

Plochá nádoba h = 8 cm k umístění syntetické pěny (8L)

Syntetická pěna, h = 3 cm, hustota 30 kg/m³ (Bultex ®)

Filtrační papír, retenční kapacita 2 μ m (Whatman ®)

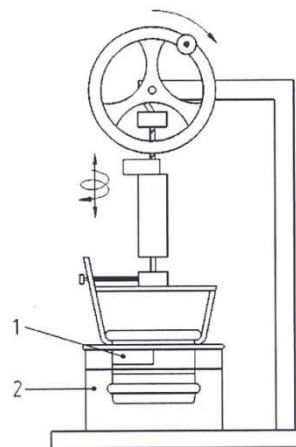
Erlenmeyerova baňka 250 ml s těsnícím uzávěrem



Obrázek 1 Aparatura metody MWD (Huislová, 2013)



Obrázek 2 Aparatura dle Henin-Féodoroff pro simulaci heliakálního pohybu v ethyl-alkoholu (Huislová, 2013)



Obrázek 3 Schéma aparatury a jeho pohybů (PUV23441, reg. PV 2011-673)

3.1.4 Pracovní postup

Odběr půdních vzorků

Odběr přibližně 1 kg půdního vzorku z příslušného horizontu umístíme do plastové uzavíratelné nádoby k udržení vlhkostních podmínek a na zabránění fragmentace vzorku během transportu do laboratoře (při odběru zemědělské půdy je nutné odebrat vzorky ve vlhkostním rozmezí mezi max. vodní kapacitou a bodem vadnutí).

Příprava půdního vzorku

Vzorky zeminy jsou umístěny v dobře větrané, temperované místnosti a sušeny při laboratorní teplotě 3-5 dní. Během sušení je vhodné rukou jemně rozdrtit velké agregáty a odebrat kameny > 5 mm (lze stanovit obsah). Po dokonalém vysušení vzorku zeminy se zemina prosívá na sítu o velikosti ok 5 mm a 3 mm. Tato frakce je dále podrobena testu. Těsně před zahájením testů je vhodné stanovovanou frakci zeminy sušit v peci při teplotě 40 °C po dobu 24 hodin.

Pracovní postup stanovení MWD

Test A – („Fast wetting”) rychlé namočení vzorku do vody

Tento postup je navržen k testu suchého vzorku zeminy při náhlém (prudkém) ovlhčení, což simuluje zavlažování, nebo účinek silného deště (jarní, letní bouřky). Agregát je v tomto případě roztržen stlačeným vzduchem uvnitř suchého agregátu („slacking“).

- 1) navážíme 5-10 g standardizovaných agregátů 3-5 mm (navážku volíme dle obsahu štěrku)
- 2) ponoříme je opatrně do 250ml kádinky naplněné 50 ml destilované vody
- 3) čekáme 10 minut (vizuální kontrola rozpadu)
- 4) poté je voda odsáta pipetou
- 5) půdní materiál poté za pomoci stříčky naplněné ethanolem přeneseme na síto s průměry ok < 0,05 mm ponořené v ethanolu
- 6) dále je měřeno zastoupení a velikost jednotlivých frakcí

Test B-(„Slow wetting“) pomalé ovlhčení

Tato úprava je použita pro testování chování suché půdy vystavené dešti o střední intenzitě (méně destruktivní než předchozí postup, proto vhodný pro popis rozdílů mezi nestabilními půdami)

- 1) navážíme 5-10 g standardizovaných agregátů 3-5 mm (navážku volíme dle obsahu štěrku)
- 2) na pěnu (syntetická pěna tloušťky 3 cm s hustotou 30 kg/m^3) ponořenou 2,5 cm ve vodě v misce, položíme filtrační papír (2 μm) a počkáme, až se papír navlhčí
- 3) rozložíme agregáty na filtrační papír
- 4) počkáme, až dojde ke kapilárnímu nasycení agregátů (cca 60 minut)
- 5) půdní materiál poté za pomoci stříčky naplněné ethanolem přeneseme na síto < 0,05 mm ponořené v ethanolu
- 6) dále je měřeno zastoupení a velikost jednotlivých frakcí



Obrázek 4 Test B - pomalé ovlhčení agregátů (Huislová, 2013)

Test C- („Mechanicaldisaggregation”) mechanický rozpad agregátů po jejich ovlhčení v ethanolu

Agregáty obsahují vzduch, který je v lihovém solvenu z agregátu nedestruktivně odstraněn (nedojde k rozpadu agregátu – „slacking”). Takto jsou agregáty stabilizovány pro test mechanické koheze (soudržnosti).

- 1) navážíme 5-10 g standardizovaných agregátů 3-5 mm (navážku volíme dle obsahu šterku)
- 2) kádinku 250 ml naplníme 50 ml čistého ethanolu
- 3) ponoříme agregáty do ethanolu na dobu 30 minut
- 4) za pomoci pipety odsajeme ethanol
- 5) půdní materiál poté za pomoci stříčky s destilovanou vodou přeneseme do 250ml Erlenmeyerovy baňky naplněné 50 ml destilované vody,
- 6) objem vody je poté doplněn na objem 200 cm³
- 7) Erlenmeyerova baňka je poté zazátkována a 10x důrazně protřepána otočením baňky vzhůru nohama a zpátky
- 8) baňka je poté po dobu 30 minut ponechána stát z důvodů sedimentace částic
- 9) nadbytek vody je poté odsán pipetou
- 10) zbývající směs půdy je přenesena za pomoci stříčky s ethanolem na < 0,05 mm síto předtím ponořené v ethanolu a dále je měřeno zastoupení a velikost jednotlivých frakcí



Obrázek 5 Test C - Mechanické rozrušení agregátů v Erlenmeyerových baňkách

Měření zastoupení jednotlivých velikostních frakcí

Tato část metody je shodná pro všechny 3 výše uvedené postupy (pracuje se s agregáty na sítu o průměru ok < 0,05 mm):

- 1) na sítu s oky < 0,05 mm (předem ovlhčené v ethanolu) se pomocí stříčky (s ethanolu) kvantitativně přenesou vzorek půdy po daném disruptivním testu, síto + vzorek vloženo do přístroje vytvářejícího heliaktický pohyb, sítem je v pěti cyklech pohybováno v nádobce s ethanolu (zdvih 4-5 mm, rotace 180 °/cyklus), důvod - provedení granulometrické separace a zabránění dalšímu rozpadu půdních agregátů



Obrázek 6 Přenášení agregátů ze síta do vysoušecí misky (Batysta, 2013)

- 2) poté přeneseme agregáty ze síta do vysoušecí misky za pomoci stříčky s ethanolu
- 3) sušíme v peci po dobu 48 hodin při teplotě 40 °C
- 4) vysušené agregáty jsou poté přeneseny na sestavu 6 sít o velikosti ok 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,2 mm, 0,1 mm a 0,05 mm.
- 5) sestavou je poté jemně třepáno tak, aby se agregáty rozprostřely po sítu => kvantitativní separace velikostních frakcí
- 6) jednotlivé hmotnosti dané velikostní frakce vzorku jsou přesně zváženy na analytických vahách
- 7) množství frakce < 0,05 mm je získáno odečtem hmotnosti všech frakcí > 0,05 mm od původní hmotnosti vzorku

Výpočet MWD

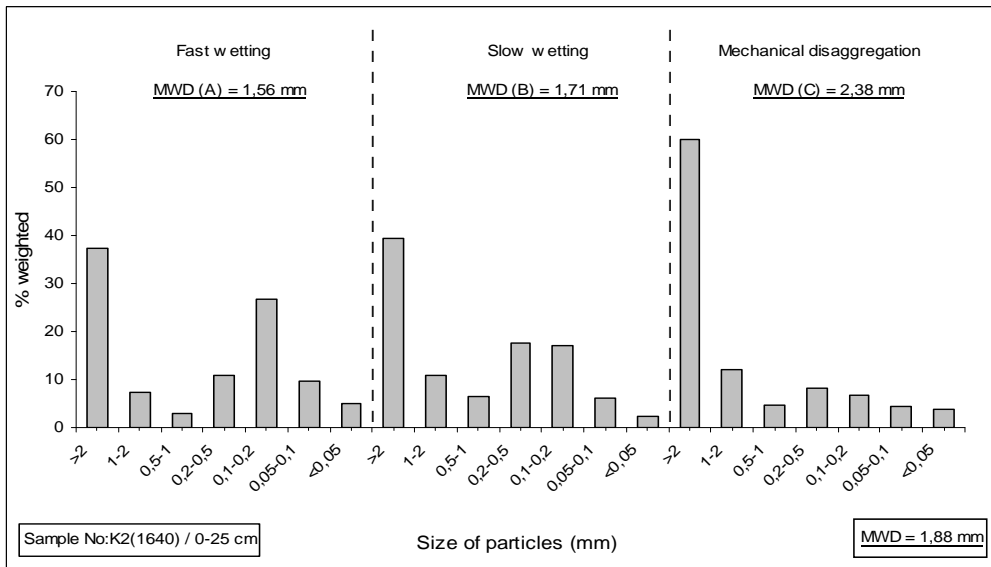
Po disagregaci je spočtena hodnota MWD (Mean weighted diameter / prostý vážený průměr) podle následující rovnice:

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

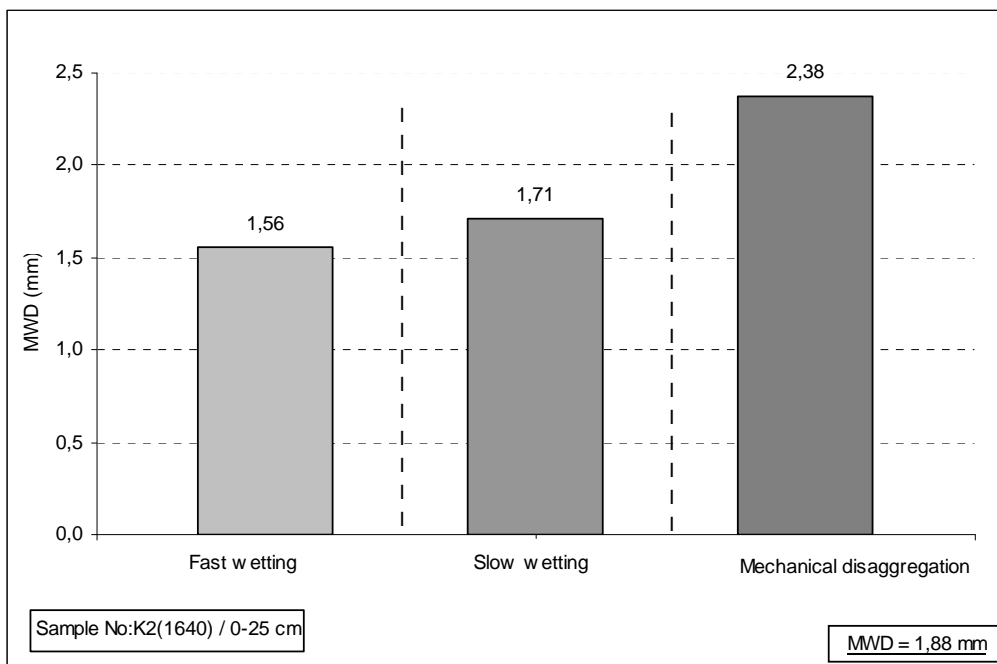
$$MWD = (3,5 * (\% > 2 \text{ mm})) + (1,5 * (\% 1 - 2 \text{ mm})) + (0,75 * (\% 0,5 - 1 \text{ mm})) + (0,35 * (\% 0,2 - 0,5 \text{ mm})) + (0,15 * (\% 0,1 - 0,2 \text{ mm})) + (0,075 * (\% 0,05 - 0,1 \text{ mm})) + (0,025 * (\% < 0,05 \text{ mm})) / 100$$

3.1.5 Forma prezentace výsledků

Výsledek je možné prezentovat ve formě histogramu reprezentující rozložení jednotlivých frakcí při jednotlivém testu viz. Graf. 1 nebo přímo z porovnání středních hodnot pro jednotlivé velikostní frakce (porovnání MWD testu: A, B, C viz Graf. 2). Dalším ukazatelem určujícím kvalitu jednotlivých půdních vzorků je prezentace průměrné hodnoty MWD ze všech tří testů (uvedeno vždy v pravém dolním rohu Grafu 1 i 2).



Graf č. 1 Detailní výsledek testů (procentuální zastoupení jednotlivých velikostních frakcí po rozpadu vzorku daným disrupčním testem.



Graf č. 2 Porovnání hodnot MWD pro jednotlivé testy

Poznámka k výpočtu MWD

Pro půdy, které vykazují pro všechny tři testy dominantní rozložení rozpadlých částic < 0,05 mm (jsou tedy náchylné k chemicko-fyzikální disperzi) je vhodnější volit jiný typ stanovení, tedy takový, který lépe klasifikuje skladbu rozpadnuvší se frakce: disperzní analýzu pipetovací metodou či turbidimetrií (Pojazok et Kay, 1990; Haynes, 1993), nebo analýzou laserové difrakce.

3.1.6 Interpretace výsledků

Každý ze tří provedených testů stejně jako kombinace všech výsledků testů reprezentují proces rozpadu půdních agregátů za daných vlhkostních či mechanických podmínek. Proto lze specificky hodnotit jednotlivé půdní vzorky v kontextu s jejich disruptivními histogramy.

Zároveň hodnota MWD může být interpretována podle tabulky č. 1., která hodnotí třídy stability půdní struktury, náchylnosti půd k vodní erozi, či tvorbě krusty na půdách. Dobrá korelace byla objevena též mezi výsledky této metody pro různé simulace dešťových srážek a měřením faktoru vodní eroze (Le Bissonais et al. 2006, Amezketta et al. 1996).

Tabulka 1 Třídy stability půdní struktury, frekvence tvorby povrchové krusty a rizika vodní eroze v závislosti na hodnotě MWD stanovené po disagregaci 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	proměnné riziko závisující na klimatických a topografických parametrech
1,3 - 2,0 mm	stabilní	občasná	omezené riziko
> 2 mm	vysoce stabilní	velmi vzácná	velmi nízké riziko

Poznámka k prezentaci výsledků

Stabilitu agregátů či jejich zranitelnost lze ale posuzovat podle rozličných kritérií (Kozák, 2005) Nejen středním váženým průměrem po desagregaci ale i, jak dále uvádí Kozák, zavedením koeficientu vulnerability (K_v). Jeho výpočet vychází z vážených průměrů a udává, kolikrát se zmenší velikost agregátů ve srovnání s agregáty zcela stabilními.

$$K_v = x / MWD$$

x = vážený průměr velikosti agregátů výchozího vzorku před testem (4 mm)

MWD = vážený průměr velikosti agregátů po testu

Optimální hodnota je 1,0, s jejím zvyšováním se zvyšuje zranitelnost destruktivními mechanismy. Z MWD je tedy možné vypočítat K_v . Hodnotou, která se koeficientu vulnerability podobá, je index nestability označován β (Saidi et al. 1999). Index nestability β se určuje podobným principem jako index WSA (viz níže). Suché agregáty jsou v pravidelných intervalech máčeny na dvou sítích (průměr ok 0,25 mm) ve vodě na základě metodiky Valmisse et al. z roku 1988. Výsledky jsou vyhodnoceny pomocí vzorce:

$$\beta = \frac{1}{2}[\log(W_a - W_s) - \log(W_a - W_k - W_s)]$$

W_a ...počáteční hmotnost suchého vzorku

W_s ...hmotnost částic větších než 0,25 mm

W_k ...hmotnost vysušených částic které prošly sítí (průměr ok 0,25 mm)

(Valmis et al. 2005)

Tento index je využíván v některých studiích při predikci erodovatelnosti půdy, stability půdních agregátů a důsledků vodní eroze (Flouri et al. 1990, Dimoyiannis et al. 1998).

3.2 Stanovení agregátové stability (WSA – water stable aggregate)

Účelem metody je popis reálné analytické metody sloužící k popisu fyzikálních vlastností půdy v kontextu s rozpadem agregátové půdní struktury při řízeném procesu namáčení. Výsledkem je index (WSA) charakterizující stabilitu půdní struktury po přesně definovaném disruptčním procesu. Dle tohoto indexu lze relativně klasifikovat půdy jejich náchylnost k vodní erozi, k povrchovému odnosu půdy, stejně jako lze tohoto indexu využít v kontextu s retenčními a infiltračními vlastnosti půdy.

Tato metodika je založena na principu konstrukce dispergačního přístroje dle Kemper et Rossenau (1986), s modifikací gravimetrického stanovení dle publikace Bartoliet.al (1991).

3.2.1 Rozsah měření

Tato metoda může být aplikována na široké spektrum půdních vzorků. Je nezávislá na původu, druhu, či mocnosti jednotlivých půd. Její využití spočívá zejména při hodnocení kvality svrchních horizontů zemědělských půd (srovnání procesů kultivace), ale je možné určit kvalitu půdní struktury pro jakýkoliv půdní horizont při různém využití půdy. Rozsah zkoumaných půdních makroagregátů je 1-2 mm.

Procentuální obsah šterku (částic > 0.25 mm) je zahrnut ve výpočtu jako % obsah “skeletu”. Tuto metodu nelze využít pro stanovení stability nestrukturních půd, kde částice tvoří milimetrové půdní agregáty.

3.2.2 Termíny a definice

Agregát – za daných podmínek stálá strukturní částice půdy, obsahující menší částice hmoty vázané v celek (agregát).

WSA (water stable aggregate) – bezrozměrné číslo (index) vyjadřující poměr ve vodě stabilních půdních makroagregátů, ku celkovému obsahu těchto částic ve vzorku.

3.2.3 Reagence a vybavení potřebné pro stanovení stability půdní struktury

Chemikálie

Destilovaná voda

Hexametafosforečnanu sodný

V případě bazických půd NaOH

Aparatura

Zařízení (dle Kemper et Rossenau (1986) viz. Obr.1

Parametry:

- zdvih 1,3 cm
- síto: $d = 50 \text{ mm}$, $h = 65 \text{ mm}$, $\phi (\text{ok}) = 0,25 \text{ mm}$
- nádoba (nerezová): $d = 75 \text{ mm}$, $h = 40 \text{ mm}$

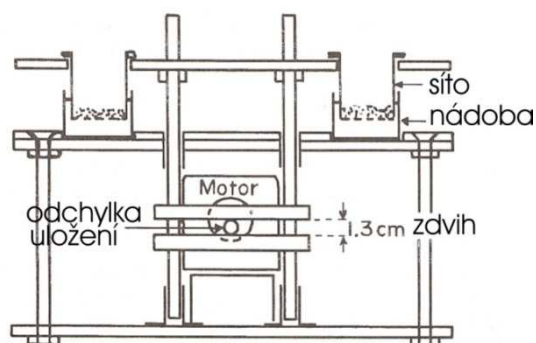
Zásobní láhev 2l

Analytické váhy s přesností minimálně 0,01 g +/- 0,005 g

Pec (sušárna) pro udržení konst. teploty 105 °C +/- 5 °C



Obrázek 7 Aparatura dle Kemper et Rossenau (1986) (Huislová, 2013)



Obrázek 8 Schéma aparatury a jeho pohybu (PUV 23817, reg. PV 2012-92)

3.2.4 Pracovní postup

Odběr půdních vzorků

Odběr přibližně 1 kg půdního vzorku z příslušného horizontu umístíme do plastové uzavíratelné nádoby k udržení vlhkostních podmínek a na zabránění fragmentace vzorku během transportu do laboratoře (při odběru zemědělské půdy je nutné odebrat vzorky ve vlhkostním rozmezí mezi max. vodní kapacitou a bodem vadnutí) snaha o co nejrychlejší přepravu vzorku do laboratoře, snaha o minimální poškození půdní struktury.

Příprava půdního vzorku

Vzorky zeminy jsou umístěny v dobře větrané, temperované místnosti a sušeny při laboratorní teplotě 3-5 dní. Během sušení je vhodné rukou jemně rozdrtit velké agregáty a odebrat skelet > 5 mm (lze stanovit obsah). Po dokonalém vysušení vzorku zeminy se zemina prosívá na sítu o velikosti ok 2 mm a 1 mm tato frakce je dále podrobena testu, zbylá zemina je zvážena (gravimetrické stanovení % obsahu frakce > 2 mm a < 1 mm).

Pracovní postup stanovení WSA

- 1) navážíme přesně 4 g 1-2 mm velkých, na vzduchu vysušených agregátů do očíslovaných sít s oky 0,25 mm
- 2) ovlhčíme vzorek – vzorek na sítku zalijeme destilovanou vodou
- 3) zvážené a očíslované (nerez) nádobky naplníme destilovanou vodou tak, aby voda pokryla půdu v sítkách, když je zdvih přístroje ve své nejspodnější poloze; umístíme nádobky do držáků přístroje
- 4) umístíme očíslované sítko obsahující agregáty do držáků nad odpovídající očíslované nádobky
- 5) spustíme motor a zvedáme a snižujeme sítko o 1,3 cm s frekvencí 35x za minutu po dobu 3 minut (+/- 5 s)
- 6) vyzvedneme sítko z vody a umístíme očíslované nádobky na podnos

- 7) nahradíme nádoby druhou sadou očíslovaných (nerez) nádobek obsahujících 100 ml disperzního roztoku (3 mM hexametafosfátu sodného (2 g/l) pro půdy s pH >7, nebo 2 g/l NaOH pro půdy s pH <7); materiál může být také dispergován pomocí ultrazvuku
- 8) pokračujeme v prosévání, dokud nezbude na sítku pouze písek; jestliže agregáty zůstávají na sítku po 5 minutách prosévání, zastavíme přístroj a agregáty rozdrtíme tyčinkou
- 9) pokračujeme v přesívání, dokud všechen materiál menší než je průměr oka neprojde skrz
- 10) zdvihneme sítko a položíme očíslované nádoby na táč
- 11) v peci vysušíme oba sety nádobek při 105 °C do konstantní hmotnosti
- 12) určíme váhu materiálu v každé nádobce, na analytických vahách pro nádoby



Obrázek 9 Drcení stabilních agregátů skleněnou tyčinkou (Batysta, 2013)



Obrázek 10 Vysoušení vzorků v horkovzdušné peci (Batysta, 2013)

- s disperzním roztokem odečteme 0,2 g od celkové váhy (váha dispergačního činidla); tato korekce není nutná, pakliže jsme použili k rozdrčení agregátů ultrazvuk namísto dispergačního činidla
- 13) stabilní frakce odpovídá hmotnosti půdy, kterou obsahuje nádobka s dispergačním činidlem dělená sumou hmotností v obou nádobkách
- 14) stanovení se provádí 3x pro každý vzorek ke statistickému vyloučení odchylné hodnoty dané heterogenitou vzorku

3.2.5 Výpočet WSA

Výpočet indexu WSA ve vodě stabilních půdních agregátů zkoumané frakce 1-2 mm při použití dispergačního činidla.

$$WSA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n WSA_i$$

WSA...statistický průměr z jednotlivých dílčích měření WSA_i

$$WSA_i = M_{s_i} / (M_{s_i} + M_{n_i})$$

M_{s_i}...hmotnost ve vodě stabilní fáze pro dané měření

M_{n_i}...hmotnost ve vodě nestabilní fáze pro dané měření

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M_{c_i} - M_{s_i} - M_{n_i}) * 100$$

R...celkový obsah "skeletu" = obsah částic > 0,25 mm [%]

M_{c_i}...4 g (hmotnost vzorku)

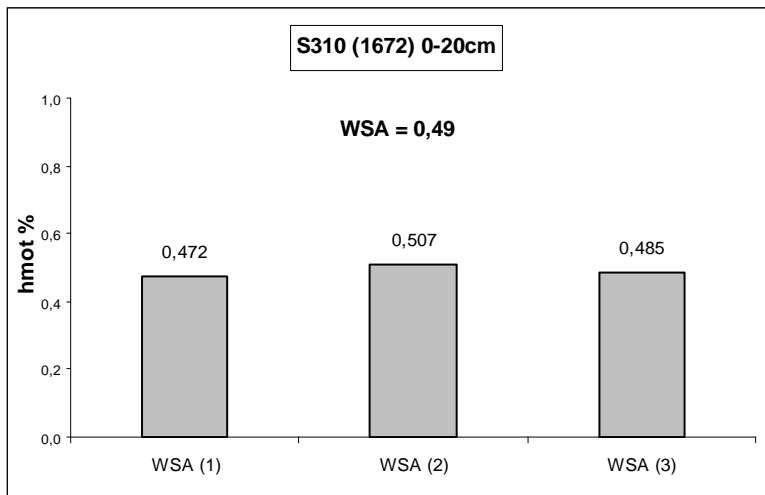


Obrázek 11 "Skelet" zbylý po rozbití stabilních agregátů, na sítu zůstává i organická hmota (Huislová, 2013)

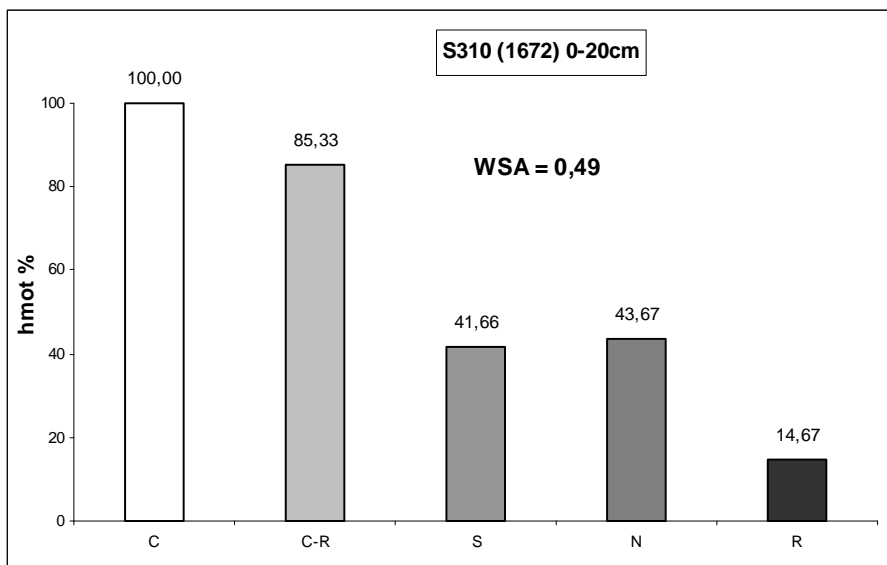
3.2.6 Forma prezentace výsledků

Výsledky měření jsou zpracované ve formě standardního protokolu, který obsahuje veškerá naměřená data v tabulkové formě.

Výsledky stanovení WSA je možné prezentovat ve formě histogramu jednotlivých stanovení WSA pro daný vzorek viz graf č. 3 nebo jako graf č. 4 znázorňující průměrnou hodnotu WSA pro daný vzorek a procentuální zastoupení S- stabilní, N- nestabilní fáze a R-“skeletu“. Vyjádřenou v hmot. %, kde C je celkový obsah vzorku => 100 % = 4 g.



Graf č. 3 Stanovení WSA



Graf č. 4 Stanovení WSA (% hmot.) - procentuální vyjádření zastoupení S-stabilních, N-nestabilních makroagregátů ve vzorku C, s obsahem “skeletu“ R.

Poznámka

Ze sledování se ukázalo, že u některých vzorků (především u černozemě modální), se vliv délky skladování vzorku projevil na stabilitě agregátů, která se v průběhu skladování zvyšovala. Naopak u některých vzorků se vliv délky jejich skladování na stabilitě agregátů příliš neprojevil. Lze tedy konstatovat, že pro porovnávání stability agregátů různých vzorků je vhodné provést její stanovení co nejdříve, maximálně do tří týdnů po odběru, tak jak doporučuje norma DIN 19683-16 (1998) (Kozák, 2005).

3.2.7 Interpretace výsledků

Ze stanovení hodnoty WSA je možné přímo určit kvalitu půdních makroagregátů. Takto určit celkovou stabilitu půdní struktury, její náchylnost k vodní erozi, či přímo určit vliv konkrétních agrotechnických postupů. Faktor R zároveň reprodukuje kvalitativní (zrnitostní) složení půdy pro dané odběrové místo.



Obrázek 12 Smáčení agregátů (Huislová, 2013)

4 Rešerše

4.1 Význam půdy

Význam půdy můžeme pojmut z dvou hledisek, a to z hlediska kvantitativního - ekonomická dimenze a kvalitativního – ekologická dimenze. Podle hlediska ekologického je půda nejsvrchnější část zemské kůry tvořená směsí minerálních součástí, odumřelé organické hmoty a živých organismů, která je propojená se svým podložím a vzniká ze zvětralin nebo nezpevněných minerálních a organických sedimentů (Hauptman et al. 2009).

Ekonomická dimenze se dá prezentovat podle Ruha et al. (1990) tak, že půda je absolutně vzácný statek, který musí postačit ke splnění potřeb a nároků lidí jakož i všech živých bytostí. Půda je předmětem vlastnictví a tudíž i zbožím (Hauptman et al. 2009). Tento aspekt věci vyplývá ze snahy, aby každý ekonomický proces poskytoval lidem statky a životní postavení. Člověk na půdu klade nároky, ať už přímo nebo nepřímo, a tím ji vystavuje nebezpečí degradace. Je důležité si uvědomit, že člověk půdu neumí ani vytvořit ani zcela regenerovat (Vopravil a kol. 2010).

4.1.1 **Produkční a mimoprodukční funkce půdy**

Půda jako důležitý prostředek pro plnění řady lidských potřeb byla ceněna již v historii. Dříve však nebyly zřejmé všechny role půdy a jejich provázanost. V současnosti se funkce půdy dají rozdělit na funkci užitkovou, funkci půdy v životním prostředí a v historii přírody a lidstva (Vopravil, 2010). Všeobecněji se dá říci, že se jedná o produkční a mimoprodukční funkce půdy.

Produkční funkce

Za produkční funkci půdy se považuje její využití v zemědělství a lesnictví, jako zdroj surovin a prostor pro lidské aktivity (Vopravil, 2009). Tato funkce stojí stále v popředí zájmu, avšak ekologické funkce se při hodnocení těchto půd stále více uplatňují. Při jejich výběru a ochraně je důležité dbát na základní charakteristiky, které se používají k vyhodnocení kvality půdy (např. struktura, textura, pórovitost, obsah živin, půdní reakce atd.) (Sáňka, Materna, 2004).

Pokud jde o rozlohu orné půdy v ČR, vykazuje dlouhodobý trend poklesu. Změny tvoří především přechody orné půdy na TTP (především v horských oblastech) a převody zemědělské půdy do ostatních ploch (především zastavěných ploch). Velkým problémem zůstává nevratný úbytek nejkvalitnějších půd pro výstavbu infrastruktury zvláště v okolí velkých měst. Přijímané zákony o ochraně půdy a dotační fondy se na území EU snaží především o zvýšení znalostí a uvědomění o mimoprodukčních funkcích půdy. Procento zornění z celkové výměry zemědělské půdy je však stále vysoké. Tento fakt ukazuje na stabilizovanou strukturu zemědělství a problémy s dotacemi související např. s údržbou (zatravnění) krajiny (Kolektiv autorů 1999).

Plochy lesní půdy vykazují trvalý nárůst. Ve většině případů se nejedná o zalesňování málo produkčních půd. Velké procento přírůstku tvoří samovolně (náletově) vznikající lesní plochy v horských oblastech.

Příznivé ubývání „ostatní půdy“ je jednak výsledkem zpřesněné evidence a jednak výsledkem rekultivací nevyužívaných ploch.



Obrázek 13 Typické území s produkční funkcí (Příbyl, 2007)

Mimoprodukční funkce

Do funkce mimoprodukční spadá kulturní funkce a funkce ekologická (environmentální) (Vopravil, 2009). Tyto funkce jsou velmi náchylné k degradaci, a proto jsou i nejčastějším předmětem ochrany půdy (Novák et al. 1999).

Kulturní funkce znamená, že v půdě je uložena historie přírody a lidské činnosti. Ve svých znacích archivuje změny vegetace a klimatu, paleontologické a archeologické nálezy.

Ekologická nebo také environmentální funkce je souhrnný název pro funkci filtrační, retenční (akumulační), pufrací, transformační, asanační, transportní (Vopravil, 2009). Tyto funkce výrazně ovlivňují funkce produkční. Především způsoby hospodaření negativně ovlivňují ekologickou funkci půdy, ale hleděno je především na zvyšování funkce produkční. Je proto důležité v tomto hledisku nalézt kompromis aby byla zachována hodnota půdy do budoucnosti.



Obrázek 14 Území plnící mimoprodukční funkci (Anonym)

4.2 Indikátory kvality půdy

V předchozí kapitole se mluvilo o kvalitě půdy, využití, ochraně a degradaci. Jak se ale kvalita půdy měří? Je velmi složité určit standart pro hodnocení půdy a to především z důvodu její značné heterogenity, variability a procesů, které v ní probíhají. Podle vědců Dorana a Parkina (1996) je nutné zvolit vhodné indikátory kvality mezi, které můžeme zařadit:

- **fyzikální** – textura, hloubka půdy, hydraulická vodivost, maximální a retenční vodní kapacita, objemová hmotnost, pórovitost, struktura,
- **chemické nebo fyzikálně-chemické** – obsah a kvalita humusu, obsah celkového dusíku, kationtová výměnná kapacita, pH, vodivost, obsah živin, nasycenost sorpčního komplexu a hygienické parametry s ohledem na rizikové prvky a organické kontaminanty,
- **biologické** – C, N biomasy mikroorganismů, potenciálně mineralizovatelný N, respirace, aktivita půdních enzymů atd.

Indikátory by měly korelovat s procesy v ekosystémech, ukazovat na změny v hospodaření nebo klimatu a sloužit k odhadu vlastností nebo funkcí, které je těžké přímo měřit. Existuje mnoho výzkumů, které se snaží vytvořit index kvality půdy. Výsledkem jsou však pouze značně složité metodiky, které nejsou zvládnutelné v praxi (Hejátková, Pokorný, Šarapatka, 2008). Proto se uplatňuje přístup, kdy je hodnocená celková kvalita systému nebo se detailně hodnotí dílčí procesy.

Tato práce se zaměřuje právě na jeden dílčí faktor určující kvalitu půdy a to na strukturu. Tento indikátor kvality totiž spojuje a ovlivňuje jak fyzikální, chemické, tak biologické vlastnosti půdního prostředí (Vopravil, 2009). Na struktuře se mohou dokázovat vlastnosti, jako jsou erodibilita (náchyllost půdy k erozi), odolnost vůči rozplavení, pórovitost, dále vodní režim půdy, obsah organické hmoty atd.

4.2.1 Struktura

Struktura půdy je vyjádřena stabilitou půdních agregátů a je důležitým ukazatelem fyzikální kvality půdy (Filho et al. 2002). Navíc přímo nebo nepřímo ovlivňuje další fyzikální a chemické vlastnosti půdy a může být použita jako indikátor degradace půdy (Cerda, 2000). Zachování vysoké stability půdních agregátů je zásadní pro zachování agronomické produktivity půdy, minimalizaci eroze půdy, její degradace (An et al. 2010) a zvýšení pórovitosti (Bronick et al 2005).

Půdní agregáty

Agregáty jsou sekundární částice tvořené pomocí kombinace minerálních částic s organickými a anorganickými látkami. Komplexní dynamika agregace je výsledkem mnoha faktorů, včetně stanovištních podmínek, způsobu hospodaření, rostlinného pokryvu a půdních vlastností, jako je minerální složení, textura, půdotvorné procesy, mikrobiální aktivita, výměnné ionty, rezervy živin a dostupnost vlhkosti (Kay et al. 1997).

Uspořádání půdních částic v agregátech se řídí různými mechanismy v různých typech půdy a horizontech (Kodešová et al. 2009). Toto uspořádání má významný vliv na systém pórů a následně na hydraulické vlastnosti půdy (Kodešová et al. 2006). Stupeň stability půdy, rozrušování agregátové stability a následné změny porézního systému ovlivňuje proudění vody a rozpuštěných látek v půdním profilu (Kodešová et al. 2009).

Pojiva

Jak již bylo řečeno, agregáty jsou slepeny organickými pojivy. Ta můžeme rozdělit podle Tisdalla a Oadese (1982) do tří skupin: přechodné, dočasné a trvalé. Trvalá pojiva, kterými se tmelí mikroagregáty, se skládají z degradovaných aromatických huminových látek, polyvalentních kovů silně sorbovaných jílů. Oproti tomu přechodná a dočasná pojiva se skládají z kořenových polysacharidů a hyf. Tato pojiva jsou zodpovědná za tmelení mikroagregátů do formy makroagregátů.

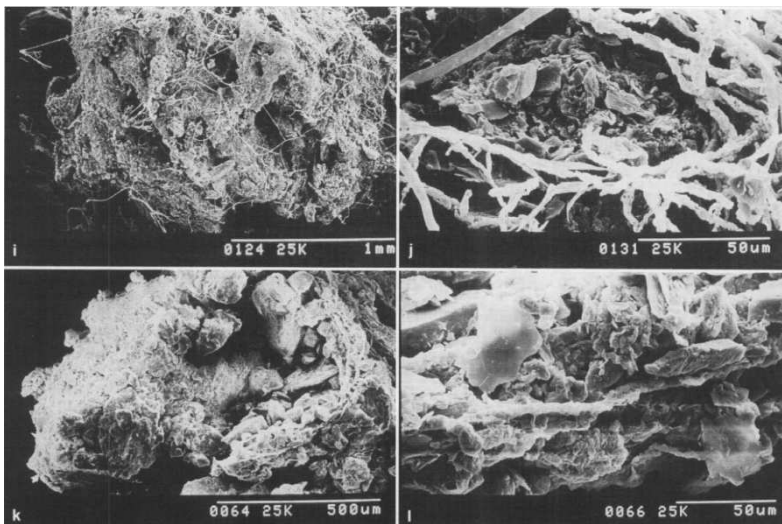
Vzhledem k relativně labilní povaze dočasných a přechodových pojiv má zpracování půdy větší vliv na makroagregáty a organickou hmotu, než na mikroagregáty. Ty jsou stabilnější díky huminovým látkám.

Agregace

Agregáty mají různé vlastnosti a velikosti. Jsou často seskupeny do velikostí makroagregátů (> 250 μm) a mikroagregátů (< 250 μm) (Tisdall a Oades, 1982).

Existuje několik teorií půdní agregace, z nichž je všeobecně přijímaný model hierarchický. Hierarchický model je založen na předpokladu, že makroagregáty vznikají z mikroagregátů a drží pohromadě za pomoci organických pojiv. Ty se skládají z kořenů rostlin, houbových hyf, mikrobiálních a rostlinných exudátů a huminových materiálů (Tisdall&Oades, 1982; Christensen, 2001). Model zastává názor, že vazby mezi mikroagregáty jsou pevnější než mezi makroagregáty. Mikroagregáty jsou tvořeny z organických molekul (OM), připojených jíílů (Cl) a polyvalentních kationtů (P), čímž vzniknou složené částice (Cl-P-OM), které jsou spojené s jinými částicemi (Cl-P-OM) a tvoří makroagregáty ((Cl-P-MP) x) y (Edwards et Bremmer, 1967).

Filho (2001) uvádí, že půdní agregace je ovlivněna mírou flokulace částic a druhem kationtů jako jsou hliníkové, které ovlivňují pH. Dále má vliv na agregaci mineralogické složení, typy organických kyselin interakce a uspořádání jílových částic, polyvalentní kationty, organická hmota, její mikrobiální aktivita a zastoupení druhů mikroorganismů (např. houbové hyfy sloužící ke shromažďování zdrojů k vytváření agregátů, žížaly, vylučují tmelivé materiály atd.) Ostatní půdní biota pomáhá vytvářet strukturu a zároveň půdu využívá jako své stanoviště nebo úkryt před predátory (USDA, 2008).



Obrázek 15

*i) jemné agregáty uspořádané v menších konstrukčních celcích spojené houbovými hyfami
j) strukturní detail předchozího agregátu, mycelium zahrnující skupinu prachových a jílovitých částic s obalem semena tisu
k) agregát pevně stmelený z mikroagregátů s pórem pro přenos vody o velikosti 30 μ
l) detail předchozího agregátu, pletivo s navázanými prachovými a jílovitými částicemi spojeny edafickými tmely, tvořící vrstvy a oddíly.
(Sanchez-Maranon et al, 2002)*

Stabilita půdy

Celková stabilita je schopnost půdních agregátů odolávat procesům, které vedou k jejímu rozpadu (např. orba, povrchový odtok, působení kinetické energie dešťových kapek, atd.) (Rohošková et Valla, 2004). Půdní agregace je ovlivněna různými půdními vlastnostmi – půdní typ, půdní horizont (Kodešová et al. 2009). Stabilita je velmi složitý parametr ovlivňující širokou škálu půdních vlastností včetně pórovitosti půdy, infiltrace vody, provzdušňování, kompatibilita, zadržování vody, hydraulická vodivost a odolnost vůči erozi (větrné i vodní). Zachovává vysokou stabilitu půdních agregátů a proto je velmi zásadní pro zachování zemědělské produktivity půdy, minimalizace eroze a degradace (An et al. 2010).

Stabilita agregátů má podstatný vliv na úrodnost půd, její kvalitu a udržitelnost. Kvalita půdy není závislá pouze na stabilitě agregátů ale i na jejich celkových rozměrech. Při změně využívání půdy se tvoří díky působení dočasných a přechodných poživ z mikro-agregátů makro-agregáty (Elliot, 1986).

Velikost agregátů a agregátová stabilita jsou hlavními ukazateli půdní struktury. Dobrá struktura pro růst plodiny závisí na přítomnosti půdních agregátů o průměrné velikosti 1-10 mm (Edwards, 1991). Tyto agregáty jsou ideální pro výměnu půdního vzduchu, vody, uchování a uvolňování živin. C, N a P se vyskytují v různých půdních komponentech s různými stabilitními charakteristikami (Guggenberger et al. 1995).



Obrázek 16 Zlepšení stability půdy a množství organické hmoty díky dlouhodobému půdoochrannému zpracování půdy - No-Tillage (systém bez zpracování půdy) a používání krycích plodin. (Foto James E. Dean, USDA NRCS (ve výslužbě))

Organická hmota

Přítomnost organické hmoty je jedním z nejdůležitějších faktorů celkové stability. Celková stabilita výrazně koreluje s množstvím organické hmoty, a to především kvůli přítomnosti huminových látek a vedlejších mikrobiálních produktů (Haynes et al. 1997). Na mnoha půdách intenzivní pěstování degraduje půdní strukturu, což se projevuje snížením stability i u půdních agregátů. Menší stabilita je obvykle spojena s poklesem organické hmoty a významně ovlivňuje vývoj rostlin. Půdní organická hmota má přímý vztah k erodovatelnosti. Obecně platí, že půdy s větším obsahem organických látek a zvýšenou stabilitou lépe odolávají vodní i větrné erozi. Stabilita je vyšší v půdách, kde je přítomen organický materiál v příznivé kombinaci s jílovitými částicemi (Morgan, 1986).

4.2.2 Vliv struktury na rovnici USLE

Rovnice USLE (Universal Soil Loss Equation)

Rovnice USLE zatím nejdokonaleji vyjadřuje kvantitativní účinek hlavních faktorů ovlivňujících vodní erozi. Do češtiny se překládá jako výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy z pozemků (Janeček et al, 2002). Dle Wischmeiera a Smitha (1978) má rovnice podobu:

$$\mathbf{G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P}$$

Kde: G – průměrná dlouhodobá ztráta půdy (t . ha⁻¹/rok)

R – faktor erozní účinnosti deště – závisí na četnosti výskytu, úhrnu, intenzitě a kinetické energii deště

K – faktor erodovatelnosti půdy – závisí na struktuře, textuře, zrnitosti půdy a obsahu organické hmoty

L – faktor délky svahu – vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy

S – faktor sklonu svahu – vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy

C – faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu – vliv vývoje vegetace a použité agrotechniky

P – faktor účinnosti protierozního opatření

Tato rovnice slouží k určení dlouhodobé průměrné roční ztráty půdy z pozemku vodní erozí, avšak nelze ji použít pro zjištění ztráty způsobené jednotlivými dešti, za kratší období než je jeden rok či odtokem z tajícího sněhu (Janeček et al, 2002).

K-faktor

Jako K-faktor neboli faktor erodovatelnosti, se označuje odolnost vůči působení vody a větru (Morgan, 1979) nebo také odolnost půdních agregátů vrchního horizontu proti rozrušujícímu účinku deště a odnosu jejich částí povrchovým odtokem (Janeček et al, 2002). Jeho určení vychází ze znalosti půdního druhu, struktury, propustnosti půdního profilu, objemu pórů, stability agregátů, vrstvení půdy a drsnosti půdního povrchu.

Podle metodiky USLE lze K-faktor určit z rovnice (Wischmeier a Smith 1978):

$$100K = 2,1 M^{1,4} \cdot 10^{-4} (12 - a) + 3,5 (b - 2) + 2,5 (c - 3)$$

Kde: $M = (\% \text{ prachu} + \% \text{ práškového písku}) \times (\% \text{ prachu} + \% \text{ písku})$

Pozn. (práškový písek = frakce 0,06 – 0,1 mm)

a - % organické hmoty

b – třída struktury ornice

c – třída propustnosti půdního profilu

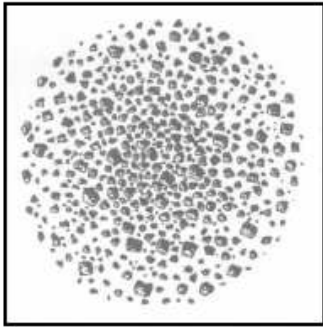
Podobnost třídy struktury ornice a indexu MWD

Zaměříme se na člen b, který určuje třídu struktury ornice. Hodnoty tohoto členu jsou řazeny do čtyř skupin (1 – zrnitá, 2 – drobtovitá, 3 – hrudkovitá, 4 – deskovitá, slitá) a určují se z horizontu A (0 – 10 cm) (Wischmeier a Smith 1978). Hodnoty metody MWD se blíží hodnotám pro třídu struktury ornice. Navíc vyjadřují rozplavnost půdních agregátů, což lépe ukazuje na odolnost půdy vůči vodní erozi a jejich stabilitu ve vodním prostředí, než informace o půdní struktuře v suchém stavu. Ke každé třídě struktury je možné přiřadit interval hodnot MWD.

Pokud by se člen b nahradil indexem MWD, musel by se změnit i tvar rovnice. Hodnoty MWD rostou se stabilitou půdních agregátů (oproti třídám struktury, kde je tomu naopak).

1 - Zrnitá struktura

Vyskytuje se v humusových horizontech, vyšší obsah organických a minerálních koloidů, plochy a hrany rozlišitelné, agregáty o velikosti od 0,5mm – 5mm (Tomášek, 2000).

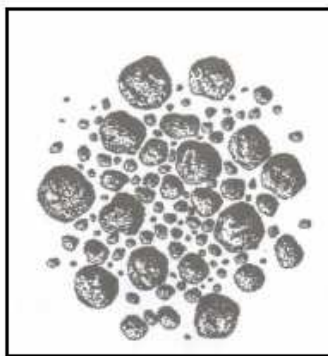


Obrázek 17 zrnitá struktura (Tomášek, 2000)

Tato struktura se vyskytuje především u černosolů. Stabilita této struktury a odolnost vůči rozplavování půdních agregátů je dána malou agregátovou pórovitostí, vyšším obsahem organické hmoty a meziagregátovou pórovitostí. Podle stability půdní struktury by se zrnitá struktura hodnotila jako vysoce stabilní a hodnotou MWD > 2 mm (viz Tabulka 2)

2 - Drobtovitá struktura

Vyskytuje se v ornici a humusovém a drnovém horizontu, kypré agregáty o velikosti 5 mm – 10 mm (Tomášek, 2000). Tato struktura se vyskytuje především u černosolů.

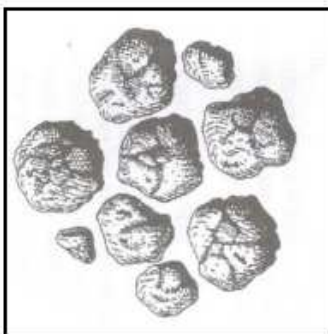


Obrázek 18 Drobtovitá struktura (Tomášek, 2000)

Vyznačuje se pórovitými agregáty, které jsou schopné do určité míry pojmout srážkovou vodu. Při přívalových srážkách však dochází k jejich rozpadu vlivem rychlého vytlačování vzduchu vodou. Značná meziagregátová pórovitost zajišťuje dobrou infiltraci a příznivě ovlivňuje pohyb vody s živinami v půdě. Struktura by se dala zhodnotit jako stabilní, při přívalových srážkách mírně nestabilní (MWD 0,8 – 2 mm), což odpovídá i průměrné hodnotě MWD drnového horizontu.

3 - Hrudkovitá struktura

Vyskytuje se v ornici a humusovém horizontu, plochy a hrany jsou rozpoznatelné, ale ne zcela vyvinuté. Každý agregát má odlišný tvar, velikost se pohybuje 10mm – 50mm (Tomášek, 2000).

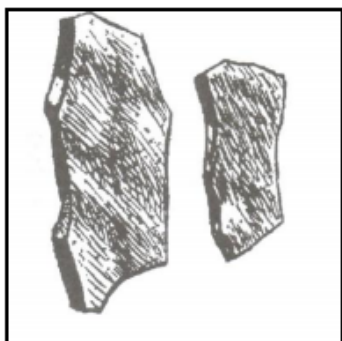


Obrázek 19 hrudkovitá struktura (Tomášek, 2000)

Jedná se o typickou strukturu vyskytující se v podorniči. Stejně jako drobtovitá struktura má hrudkovitá pórovité agregáty a velkou meziagregátovou pórovitost. Tyto hroudy většinou vznikají orbou půdy, čili mechanickým utužením a spojením do sekundárních agregátů. Stabilita těchto agregátů by se dala přirovnat průměrné hodnotě MWD orné půdy 1,29 mm, což znamená mírně nestabilní struktura.

4 - Deskovitá, slitá struktura

Vyskytuje se v eluviálních horizontech, agregáty mají deskovitý tvar s nepravidelnými pravoúhlými lomy, velikost se pohybuje 5 mm – 40 mm s tloušťkou 3 mm a více



Obrázek 20 Deskovitá, slitá struktura (Tomášek, 2000)

(Tomášek, 2000). Ornice se slitým deskovitým uspořádáním jsou ulehle a velmi obtížně obdělávatelné. Mají převahu kapilárních pórů se špatným zasakováním srážek. Tyto půdy se vyznačují velmi malou pórovitostí a silným povrchovým odtokem. Stabilita agregátů závisí pouze na fyzikální síle soudržnosti, která se při dešti velmi rychle ztrácí, agregáty se rozplavují a částičky jsou odnášeny povrchovým odtokem. Této struktuře by odpovídala hodnota MWD < 0.8 mm.

Tabulka 2 Rozdělení půd podle hodnoty MWD ve srovnání s třídou struktury

MWD	stabilita půdní struktury	Třída ornice struktury	odtok a mezirýhová eroze
< 0,4 mm	vysoce nestabilní	Deskovitá, slitá	trvalé vysoké riziko při všech topografických podmínkách
0,4 - 0,8 mm	nestabilní	4 - Deskovitá, slitá	časté riziko při všech situacích
0,8 - 1,3 mm	mírně nestabilní	3 - Hrudkovitá, drobtovitá	proměnné riziko závislé na klimatických a topografických parametrech
1,3 - 2,0 mm	stabilní	2 - Drobtovitá	omezené riziko
> 2 mm	vysoce stabilní	1 - Zrnitá	velmi nízké riziko

Možnost aproximace hodnot třídy struktury ornice a hodnot MWD je patrná i z grafu: Průměrné MWD pro různé typy využití půdy. Výhoda se dá vidět i v dosazování hodnot s přesností alespoň na jedno desetinné číslo. Je tak možné určit jemnější hranice stability a diversitu různých struktur.

4.3 Degradace půdy a její struktury

Půda je díky svému mnohostrannému použití ohrožena celou řadou procesů z části přírodních, z větší části však vyvolaných činností člověka, které vedou k omezení nebo úplnému zničení základních produkčních a mimoprodukčních funkcí (Vopravil, 2010). Škála pro půdu škodlivých jevů je skutečně dost široká – patří do ní především eroze, utužování půdy, úbytek organické hmoty (dehumifikace), kontaminace, acidifikace dále pokles její biologické rozmanitosti, její zakrytí, sesuvy, záplavy a dezertifikaci, zasolování. Evropské země se ve složení půd i jejich ohrožení značně liší (Stejskal, 2009). Ve střední Evropě (tedy i v ČR) jsou půdy nejvíce ohrožovány následujícími typy degradace.

4.3.1 Eroze

Vodní eroze

Vodní eroze spočívá v rozrušování zemského povrchu dešťovými kapkami a následným povrchovým odtokem (Janeček et al, 2002). Půdu ochuzuje o nejurodnější část, zhoršuje fyzikálně-chemické vlastnosti půdy, zmenšuje mocnost půdního profilu, zvyšuje šterkovitost, snižuje obsah živin a humusu, způsobuje poškození plodin, ztrátu osiv, sadby, hnojiv a přípravků na ochranu rostlin (Vopravil, 2010). V České republice vodní eroze ohrožuje více jak polovinu ploch zemědělského půdního fondu. Odhaduje se, že je ohroženo kolem 1,4 mil. ha (Hauptman et al. 2009).



Proces eroze a její vliv na půdní strukturu spočívá v podstatě v uvolnění a odnosu částic (Breburda, Richter, 1998). K tomuto procesu dochází při rychlém zvlhčení (často letní přívalové deště s vysokou intenzitou), kdy dojde k uzavření vzduchu v půdním agregátu. Dopadající vodou je stlačován a vytváří se v něm trhliny. Dochází k rozpadu makroagregátů na mikroagregáty a následnému transportu, při němž dochází k rozpadu na primární částice (písek, prach, jíl). Dopadající dešťové kapky svou kinetickou energií rozplavují narušené agregáty. Při každém dopadu dojde k rozstříknutí částic agregátu až do vzdálenosti 1,5 m (Ellison, 1994).

Obrázek 21 Hluboké erozní rýhy (Mortlock 2005)

Jemné částice jsou povrchovým odtokem odnášeny. Před tím ale než stoupne unášecí síla vody a začne docházet k povrchovému odtoku, dochází k ukládání těchto jemných částic do pórů na povrchu půdy. Když dojde k ucpání pórů, vytvoří se na povrchu tenká krusta jemného materiálu, která zamezí infiltraci vody a tím pádem i urychlí dobu, kdy začne k povrchovému odtoku docházet (Janeček et al, 2002).

Větrná eroze

Větrnou erozi ovlivňují klimatické (intenzita, směr, četnost a vlhkost větrů) a půdní (struktura, drsnost půdního povrchu a vlhkost půdy) faktory (Vopravil, 2010). Způsobuje odnos ornice, hnojiv, osiv, ničení plodin, zanášení komunikací, vodních toků, znečištění ovzduší (Janeček et al, 2002). V ČR vítr působí škody hlavně v Polabí a na jižní Moravě (nejsušší a nejteplejší místa ČR). Ohroženo je v Čechách celkem 23 % a na Moravě a ve Slezsku 41 % půd (Hauptman et al. 2009).



Obrázek 22 Větrná eroze. Fotografie z 19. 3. 1996 z Mead County v Kansasu pořizená agenturou USDA (United States Department of Agriculture)

Jedním ze základních půdních faktorů, které mají vliv na odnos půdních částic větrem, je zrnitostní a agregátová skladba půdy. Rozhoduje zde především velikost půdních částic, zatímco rozdíly ve tvaru částic mají jen malý vliv (Pasák, 1970). Struktura se mění postupně i následkem abraze podle mechanické stability strukturních jednotek. Odnosu větrem nejvíce podléhají částice půdy o velikosti 0,25–0,40 mm (Janeček a kol., 2008). Částice menší než 0,05 mm a větší než 1,00 mm jsou odnášeny větrem jen velmi málo (Dufková, 2008). Chepil (1958) na základě výzkumů v aerodynamickém tunelu stanovil horní hranici mezi erodovatelnými a neerodovatelnými půdními částicemi na 0,84 mm, tzv. kritické minimum. Zjistil také, že nejlépe odolávají odnosnému účinku větru agregáty velikosti od 0,84 do 6,40 mm.

4.3.2 Utužení

Hlavní příčinou utužení jsou pojezdy těžké zemědělské a lesní techniky za vyšších vlhkostních podmínek, pěstování monokultur se stejnou hloubkou orby, nízké zastoupení víceletých pícnin, vysoké dávky některých minerálních hnojiv. Může však vznikat i genetickými procesy v půdě (zajílení iluviálních nebo oglejených horizontů). V důsledku technogenní kompakce se snižuje infiltrace srážek do půdy, retence, zrychluje se odtok, zvyšuje riziko povodní, zrychluje se eroze, klesá transformační a asanační schopnost půdy. Zvyšuje se také mobilita rizikových látek v důsledku okyselování (acidifikace), které je s utužováním půdy spojeno (Anonym, 2011). Zhutněním je ohroženo cca 40 % orné půdy v ČR (Hauptman et al. 2009).



Obrázek 23 Vyjeté koleje, utužená půda (Hladík, 2013)

Zpracování půdy by mělo mít za cíl vytvořit optimální prostředí pro růst rostlin, a vytvářet vhodnou, drobtovitou (vzhledem k druhu půdy) strukturu půdy. Tato struktura má rovnovážný poměr kapilárních a velkých pórů, které jsou dostatečně vzdušné i propustné a mají dobrou vodní kapacitu. Při rozpadu struktury vlivem pojezdů mechanizace pórovitost snižuje, stejně jako retenční vodní kapacita a využitelná vodní kapacita (Vopravil, 2010).

4.3.3 Dehumifikace

Intenzivním zemědělským obhospodařováním obsah humusu výrazně klesá z důvodu zvýšené aerace a intenzivnější hydrotermické pochody v půdě zvyšují mineralizaci a tlumí humifikaci organických látek (Vopravil, 2010). Důsledky jsou ztráta stability půdních agregátů, náchylnost k acidifikaci, vodní a větrné erozi, snížení filtrační schopnosti, snížení asanační schopnosti, mobilita kontaminačních látek, snížení poutání živin, zvýšení obsahu dusičnanů a hydrologickém systému území (Budňáková, 2013).

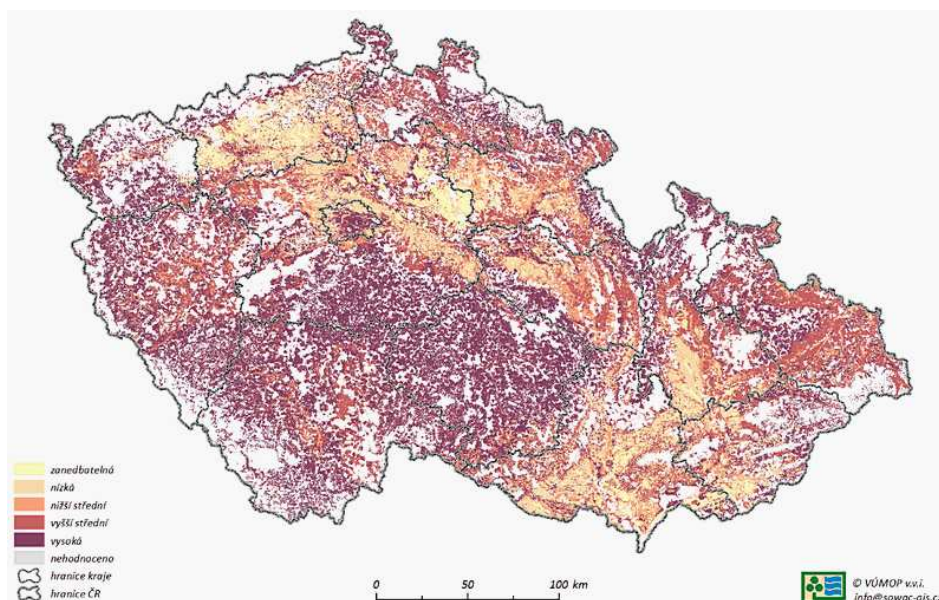


Obrázek 24 Při přeskupování půdy na skrývkách dochází k nadměrnému provzdušnění a tím i k dehumifikaci (ale i zrychlené erozi) (Vávra, Štelcl, 2008).

Tento typ degradace má za následek ztrátu stability půdních agregátů (Vopravil, 2010). V humusu jsou totiž obsažené látky, které slouží jako agregátová a meziagregátová pojiva, navíc humus zvyšuje pórovitost, vododržnost a sorpční komplex.

4.3.4 Acidifikace

Proces acidifikace (okyselování) půd je přirozeným, ke kterému dochází nejčastěji na lesních půdách díky rozkladu organických látek, při němž dochází k tvorbě organických kyselin. Tento přirozený proces je umocňován antropogenní činností. Atmosférická mokrá a suchá kyselá depozice, nevhodný způsob hospodaření v lese a na polích, nedostatečná aplikace vápenatých hnojiv, odběr Ca a Mg z půdy plodinami (vysokým podílem obilovin, bez víceletých píceňin) – to vše vede ke zrychlení a zintenzivnění procesu acidifikace (Anonym, 2011). Důsledkem zhoršení kvality humusu, zpomalení uvolňování minerálního dusíku z humusu, petrifikace fosforu, rozpad půdních agregátů, náchylnost k erozi a utužení (Vopravil, 2010). Místa postižená acidifikací jsou zobrazena na mapě.



Obrázek 25 Mapa postižených míst acidifikací v ČR (VÚMOP v.v.i., 2010)

5 Testování vlivu stanovištních podmínek

5.1 Vliv využití půd

Využívání půdy má výrazný vliv na půdní vlastnosti, zejména pokud jde o agregaci a obsah organického uhlíku (Shrestha et al. 2007). Změny ve využívání půdy a způsobu obdělávání ovlivňují nejen obsah organického uhlíku a dusíku (John et al. 2005), ale také chemické vlastnosti a kvalitu organické hmoty.

5.1.1 Hodnocení vlastních dat na souboru lokalit

Pro hodnocení vlivu na půdní strukturu byly vybrány tyto 3 druhy využití půdy – les, TTP (trvalý travní porost) a orná půda. Lokality byly vybrány z databáze výsledků MWD a WSA. Byly jimi např. tyto lokality: Černíčí a Zdebuzevy v okrese Benešov, Čejkovice v okrese České Budějovice, Krymlov a Nebřenice v okrese Praha–východ, Načeratice v okrese Znojmo, Milhostov v okrese Třebíšov (SK), Věž v okrese Havlíčkův Brod, Podůlší v okrese Jičín, Přišimasy a Dobré Pole v okrese Kolín. Pro oba dva laboratorní pokusy (WSA, MWD) byl použit materiál z vrchních horizontů o mocnosti 0-20 cm (horizonty Ap, Ad, Ah).

A-horizonty jsou nejsvrchnější minerální horizonty bohaté na humus. Je zde promísený humus a vázaný na minerální podíl půdy.

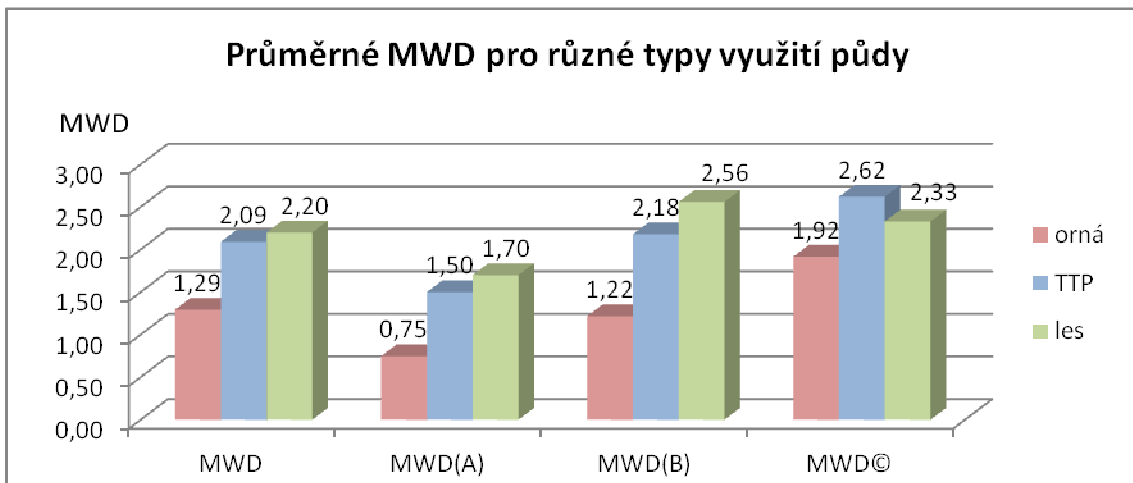
- Ap - ovlivnění půdy obděláváním
- Ah - akumulace organické hmoty v minerálních horizontech
- Ad - drnový, vyskytující se u primárních travinných společenstev

(Tomášek, M. (2000))

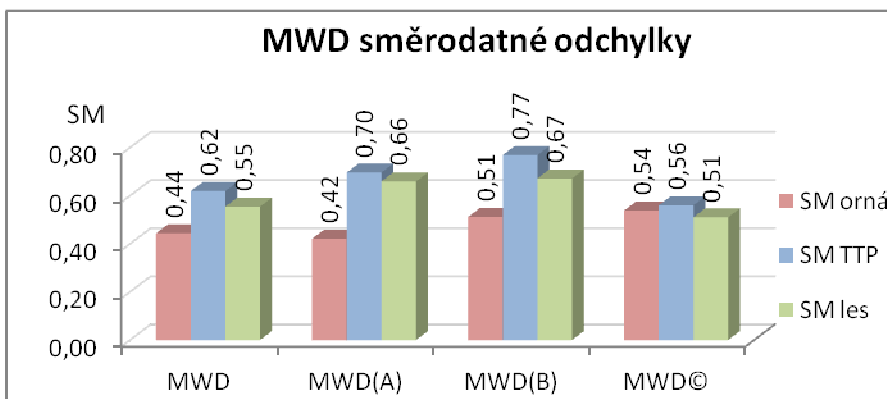
Hodnoty indexů WSA a MWD pro jednotlivé lokality byly vypočítány v programu MS Excel a dále rozřizeny podle využití. Jednotlivé výsledky byly zprůměrovány a byla vypočítána směrodatná odchylka.

Hodnocení MWD

Na Grafu č. 4 je patrné, že nejstabilnější strukturu mají lesní kultury. Vliv má především velké procento organické hmoty, hluboko sahající kořeny lesního porostu a jejich exudáty, hyfy hub, dobré vláhové poměry příznivé pro půdní edafon. Test mechanického rozrušení odhalil menší odolnost agregátů lesních půd než TTP. Podle směrodatné odchylky ale tento rozdíl není průkazný. Orná půda vykazuje nejmenší hodnoty. To je způsobeno malým množstvím organické hmoty, která je do půdy navracena oproti té, kterou vyprodukuje. Dále se na malé stabilitě orné půdy podílí i utužení vrchního horizontu mechanizací. Dobré stabilní podmínky struktury vykazují agregáty TTP. Díky hustému prokořenění travinami vrchního profilu je půda přiměřeně zásobena vodou, živinami a organickou hmotou.



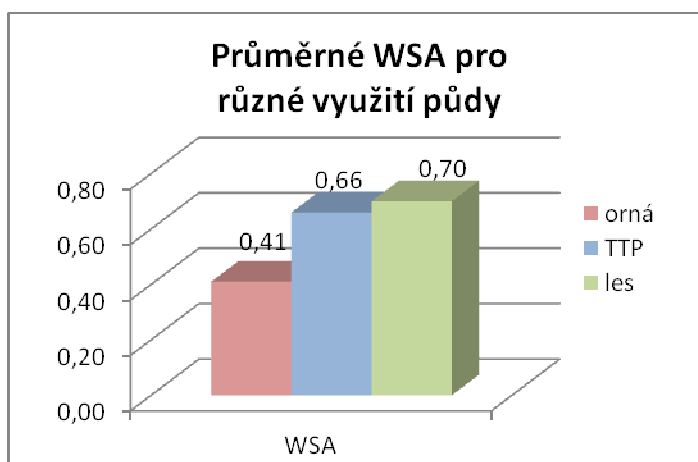
Graf č. 5 Průměrné MWD pro různé typy využití půdy



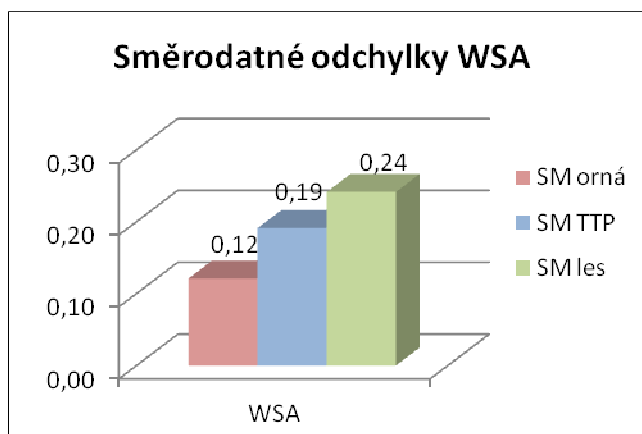
Graf č. 6 Směrodatné odchylky průměrných hodnot MWD

Hodnocení WSA

Hodnocení metodou WSA ukázalo velmi podobné výsledky jako MWD. Tato metoda se dá přirovnat k násobnému prvnímu testu MWD (rychlé omočení agregátů) za použití menších agregátů (1-2 mm). Výsledné grafy ukazují na korelaci těchto dvou testů. Lesní půdy a půdy s TTP se od sebe výrazně neliší (rozdíl nepřekročí směrodatnou odchylku). U orné půdy je stabilita agregátů podle směrodatné odchylky prokazatelně menší. Také se dá říci, že u orné půdy nedochází k velkým rozdílům mezi jednotlivými hodnotami. Naopak u půd lesních dochází díky velmi proměnlivému složení vrchních půdních horizontů k velkým rozdílům mezi jednotlivými výsledky.



Graf č. 7 Průměrné WSA pro různé využití půdy



Graf č. 8 Směrodatné odchylky průměrných hodnot WSA

Korelace metod MWD a WSA

Lineární regrese představuje aproximaci daných hodnot přímkou (metodou nejmenších čtverců). Jedná se o proložení bodů v grafu takovou přímkou, aby součet druhých mocnin odchylek jednotlivých bodů od přímky byl minimální (Šimerka, 2013). Touto metodou lze odhalit závislost dvou veličin a intenzita vztahu.

Koeficient korelace:

$|r| = 1$ naprostá závislost (funkční závislost)

$1,00 > |r| \geq 0,90$ velmi vysoká závislost

$0,90 > |r| \geq 0,70$ vysoká závislost

$0,70 > |r| \geq 0,40$ střední závislost

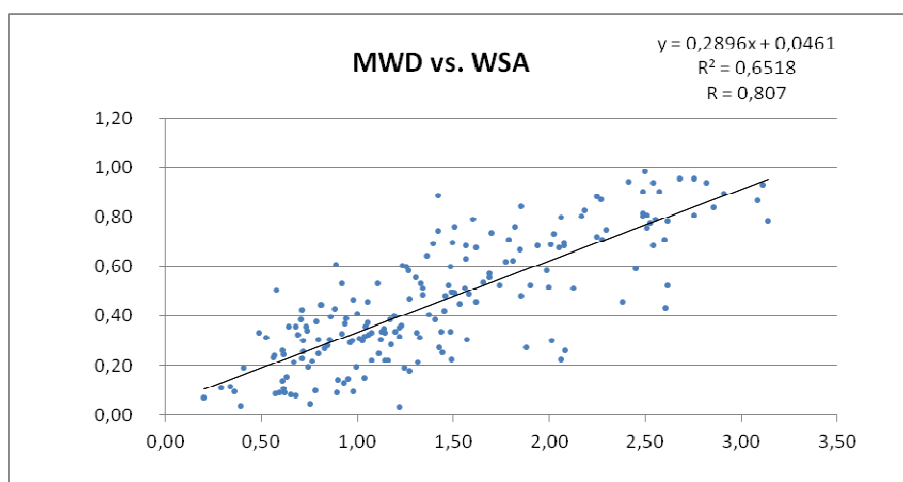
$0,40 > |r| \geq 0,20$ nízká závislost

$0,20 > |r| \geq 0,00$ slabá (nepoužitelná) závislost

$|r| = 0$ naprostá nezávislost

Interpretace dle Chrástka (2002)

Na Grafu č. 8 vidíme závislost metod MWD a WSA. Koeficient korelace $R = 0,807$ ukazuje na vysokou těsnost dat – tedy na silnou závislost mezi výsledky obou metod. Jedna metoda tedy může sloužit pro druhou jako kontrola výsledků. Korelace metod lze interpretovat i tak, že spolu souvisí stabilita půdních agregátů o velikosti 3-5 mm (MWD) a 1-2 mm (WSA).



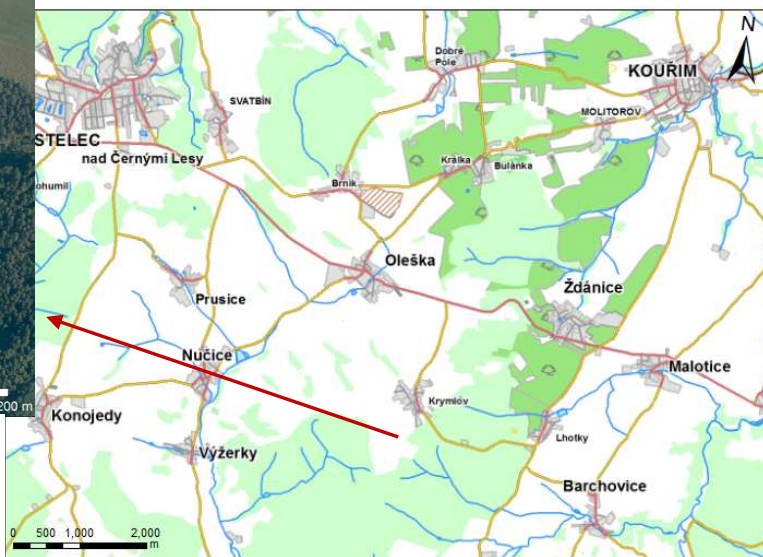
Graf č. 9 Korelace metod MWD a WSA

Hodnocení rozpadových řad MWD

Provedeno bylo ještě jedno hodnocení a to detailní hodnocení rozpadových řad tentokrát na jednom území se stejným půdním typem, ale se třemi druhy využití půdy (les, pole, TTP). Pro tento účel bylo vybráno území Krymlova u Kostelce nad Černými lesy.



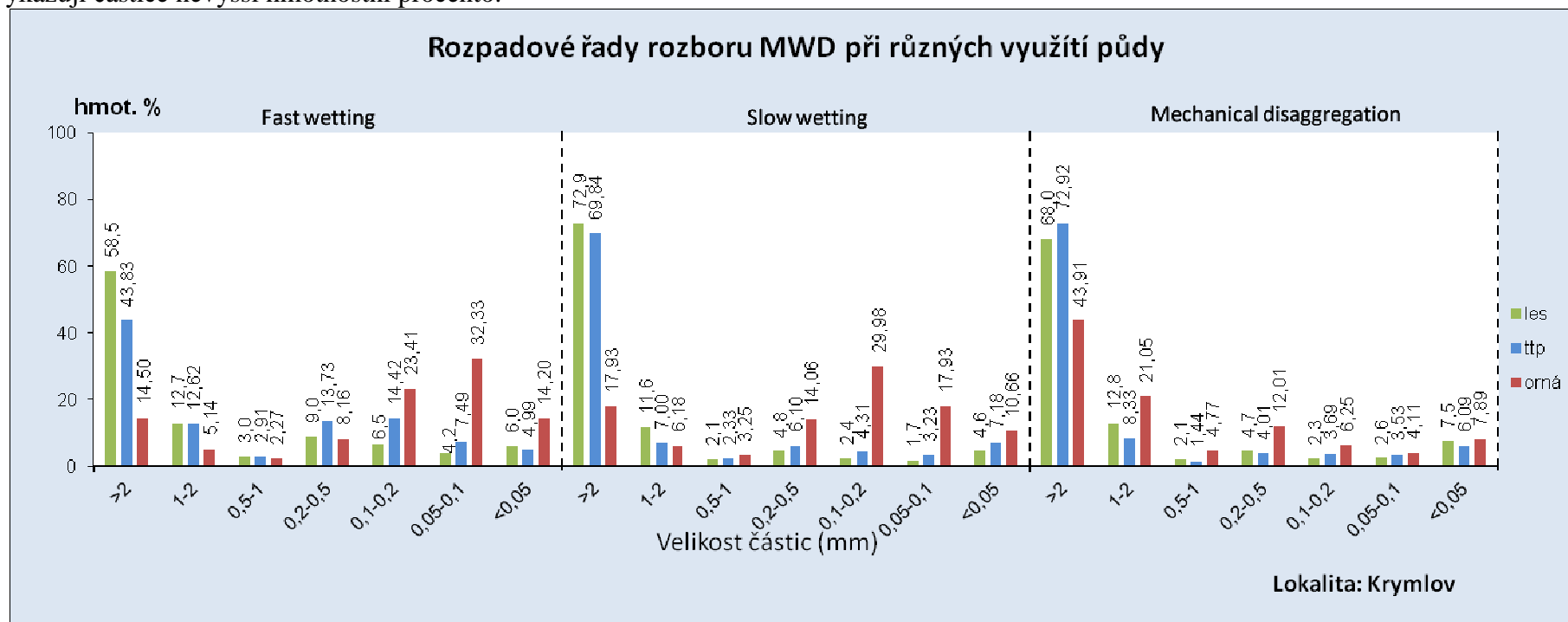
Obrázek 27 Mapa výzkumné lokality Krymlov s umístěním sond (Podkladová mapa – ČUZK, 2012), (lokalizaci sond v programu ArcMap vyhotovila - Darina Vaššová, 2012)



Obrázek 26 Mapa polohy lokality Krymlov

Hodnoceným půdním typem je pseudoglej modální. Pseudogleje řadíme mezi půdy semihydromorfní, pro které je typické periodické provlhčení půdního profilu. Častá změna vodního režimu je příčinou rychlého vyluhování (snadné a velmi rychlé látkové výměny) mikročástic směrem dolů v půdním profilu.

Graf zobrazuje na ose x velikost a na ose y hmotnostní procento agregátů po jednotlivých testech MWD. Tato metoda pracuje s agregáty o primární velikosti 3 – 5 mm, což znamená, že agregáty, které po testu vykazují velikost větší než 2 mm, jsou téměř neporušené působením vody čili velmi stabilní. Vysoké procento těchto agregátů vykazují lesní půdy a také půdy s travním porostem. Velký rozdíl je patrný ale u prvního testu, kde jsou agregáty TTP rozplavovány prudkým ovlhčením výrazně více než je tomu u agregátů lesních půd. Stabilita agregátů TTP je totiž v přírodních podmínkách podporována hustým kořenovým vlášením travin, které při přívalových deštích agregáty chrání před rychlým rozplavováním a urychlují infiltraci povrchové vody. Při přípravě vzorků pro MWD půda tuto důležitou část ztrácí a stává se tak méně stabilní. U orné půdy je rozpad takto velkých agregátů velmi prudký. Rozpad pokračuje až ke stabilním jádrům (velikosti agregátů 0,2 – 0,1 mm) kde vykazují částice nevyšší hmotnostní procento.

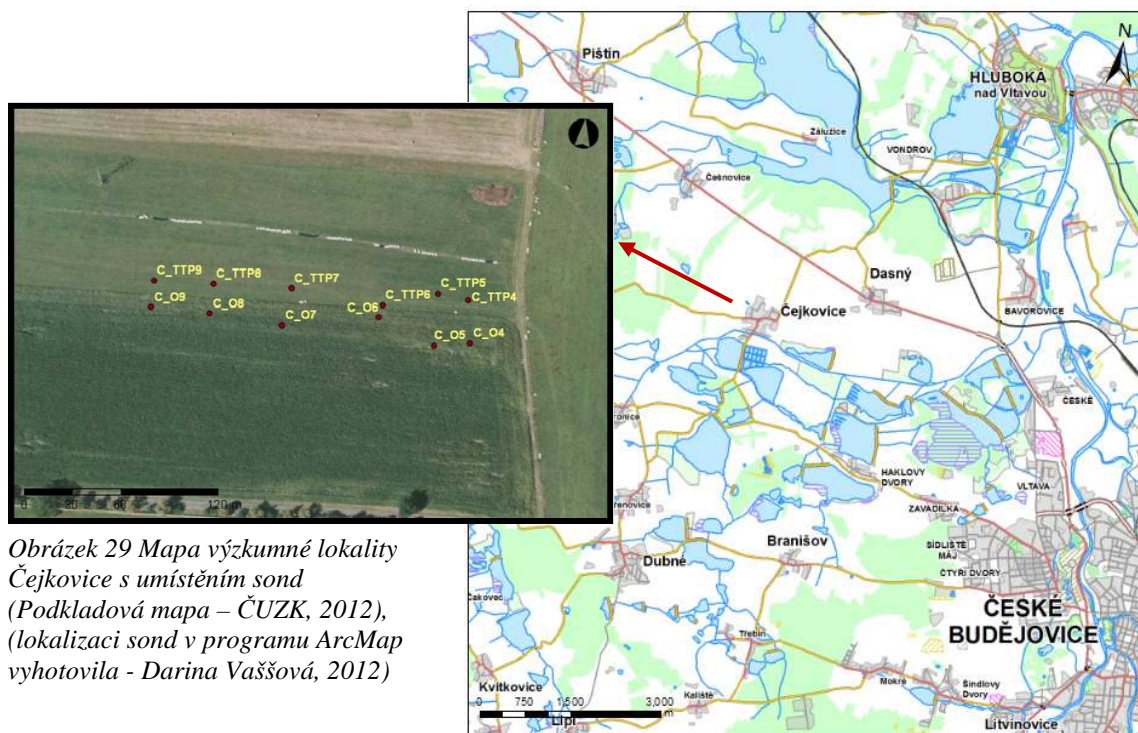


Graf č. 10 Rozpadová řada rozboru MWD při různých využití půdy

5.2 Vliv vegetačního období

5.2.1 Hodnocení vlastních dat na lokalitě Čejkovice

V rámci výzkumného projektu NAZV: QH 82090 došlo k detailnímu hodnocení lokality Čejkovice (okres České Budějovice). Hodnoceným půdním typem byl stejně jako u lokality Krymlův pseudoglej modální. Odběry na modelovém území Čejkovice hodnotily strukturní charakteristiky plochy 10 let po zatravnění v porovnání s plochou doposud intenzivně kultivovanou. Odběry probíhaly na modelovém území párově, tedy po jedné sondě na TTP a orné půdě. Odebrané párové sondy a zobrazuje Obrázek 29.



Obrázek 29 Mapa výzkumné lokality Čejkovice s umístěním sond (Podkladová mapa – ČUZK, 2012), (lokalizaci sond v programu ArcMap vyhotovila - Darina Vaššová, 2012)

Obrázek 28 Mapa polohy lokality Čejkovice (ČUZK, 2013)

Na fotografiích je zdokumentovaný a popsán průběh vegetačního období na lokalitě Čejkovice (okres České Budějovice), včetně agrotechnických a pratotechnických postupů. Všechny fotografie (kromě fotografie z měsíce září) jsou pořízeny ve směru od vesnice Ing. Markem Batystou Ph.D.



Obrázek 30 ČEJKOVICE DUBEN – Osetí pole kukuřicí / vláčení na TTP



Obrázek 33 ČEJKOVICE SRPEN – dozrávání kukuřice na poli, TTP před druhou sečí



Obrázek 31 ČEJKOVICE ČERVEN – hnojení pole / první sečení TTP



Obrázek 34 ČEJKOVICE ZÁŘÍ (foceno ze směru k vesnici) – Sklizení kukuřice + střední sečová orba (do 25 cm), TTP po druhé seči



Obrázek 32 ČEJKOVICE ČERVENEC – postřik pole proti houbovým plísním, TTP před první sečí

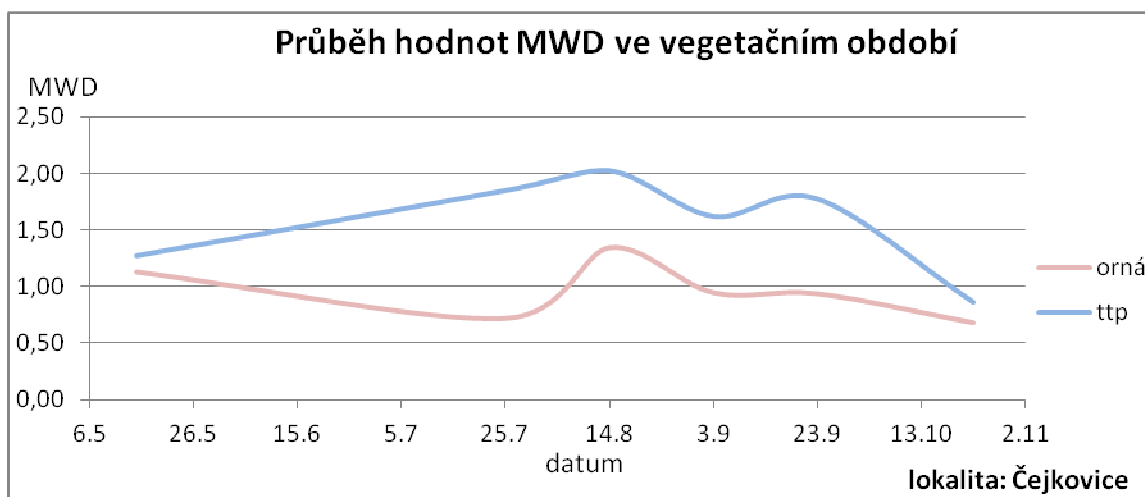


Obrázek 35 ČEJKOVICE ŘÍJEN – Osetí pole pšenicí ozimou, válení / poslední seč TTP (do 31. 10. podmínka dotací ZIF)

Cílem bylo zhodnotit vliv zatravnění a vliv vegetační periody při hodnocení půdních vlastností po zatravnění. Během roku 2009 a 2012 byly na této lokalitě postupně odebírány párové sondy určené k hodnocení změn vlastností půd po zatravnění. Tento detailní průzkum probíhal vždy v průběhu vegetačního období pěstovaných rostlin.

Na lokalitě Čejkovice lze dobře pozorovat změny stability půdních agregátů během vegetačního období, a to ještě na dvou typech využívání půdy. Velmi podobný trend pozorovaných hodnot jako MWD je zaznamenán i pro vývoj WSA.

Z průběhu linií grafu jsou patrné podobné hodnoty MWD na počátku vegetační periody. V první fázi vegetačního období však hodnoty stability u orné půdy poklesnou, kdežto u TTP vzrůstají. Důvodem této fluktuace může být stav mikrobiální biomasy, stejně jako vliv ochranné funkce vegetace vůči dešti. Vyšší stabilita půdní struktury pro TTP platí pro celou vegetační periodu. U obou stanovišť stabilita graduje v srpnu, kdy, jak je vidět z fotodokumentace, je vegetace nejbujnější. Na začátku září stabilita prudce klesá díky kosení trávy a sklizení kukuřice. Půda není kryta vegetací, tudíž dochází i k poklesu stability. S opětovným růstem vegetace (na poli zelené hnojení) dochází opět k nepatrnému nárůstu stability.



Graf 11 Průběh hodnot MWD během vegetačního období

6 Testování vliv půdních podmínek

6.1 Obsah organické hmoty v půdě

Organická část půdy významně ovlivňuje řadu půdních vlastností, ačkoliv v ní tvoří pouze malý podíl celkové hmotnosti (nejčastěji 2 – 5%). Obsažené organické složky odlišují půdu od původního geologického substrátu (Vaněk et al. 2006). Obsah organického uhlíku se nerovná obsahu humusu. Původní organická hmota je humusotvorný materiál, který podléhá přeměnám v humus (Gerndová, 2011). Účinné humusové složky ovlivňují zejména sorpční schopnost a tvorbu strukturních agregátů, dále pak vzdušný a tepelný režim, využitelnost živin, růst rostlin a edafonu.



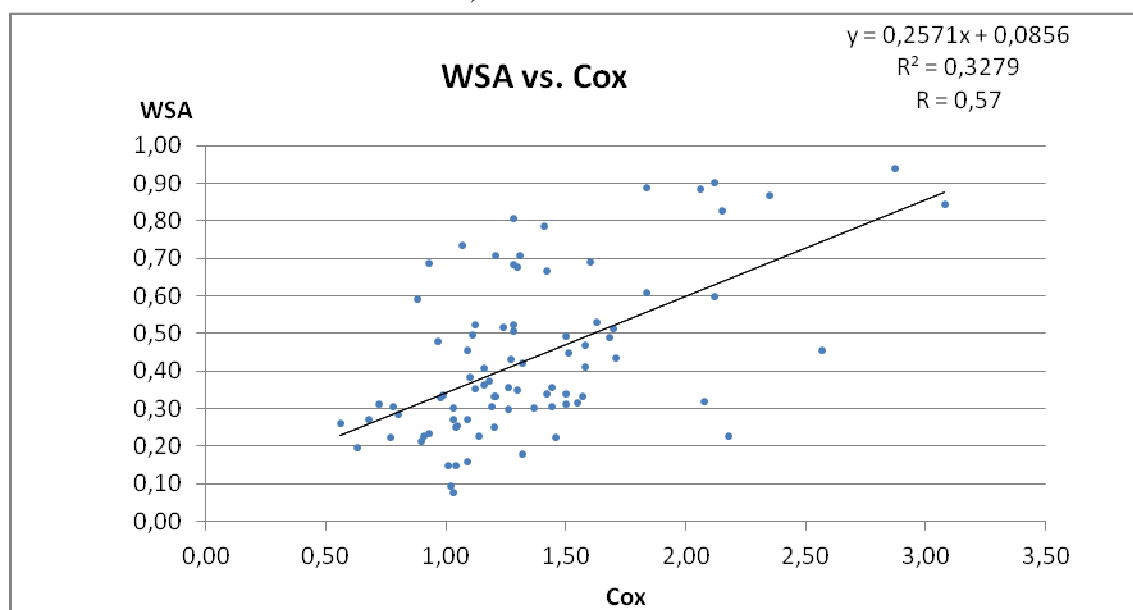
Obrázek 36 Obnova přítomnosti organické hmoty na písčitých půdách za pomoci ekologického zemědělství. Ponechání organických posklizňových zbytků na povrchu přispívá ke zvýšení procenta půdní organické hmoty, izoluje uhlík, snižuje odtok vody a možnost eroze (vodní i větrné).

(Novak, et al. 2007)

6.1.1 Hodnocení dat

Množství oxidovatelného uhlíku v půdě se měří metodou vycházející z ISO 14235. Oxidovatelný uhlík se oxiduje kyselinou chromovou za přítomnosti nadbytku H_2SO_4 při teplotě 125 °C. Nespoteřovaná kyselina se stanoví jodometrickou titrací. Hodnota Cox je základní parametr určující kvalitativní složení půd. Velmi důležitým faktorem k relevantnímu hodnocení složení půdní organické hmoty je totiž nejen kvantitativní vyjádření celkového obsahu, ale rovněž je vhodné detailně analyzovat jednotlivé dílčí složky organických makromolekul a jejich obsahy a poměry. Z organické hmoty, jež se dostane do půdy, je během jejího rozkladu v půdě akumulováno jen 10 – 30 % uhlíku ve formě humusu (zbytek 60 – 80 % se uvolní jako CO_2 do ovzduší) (Vopravil, 2010).

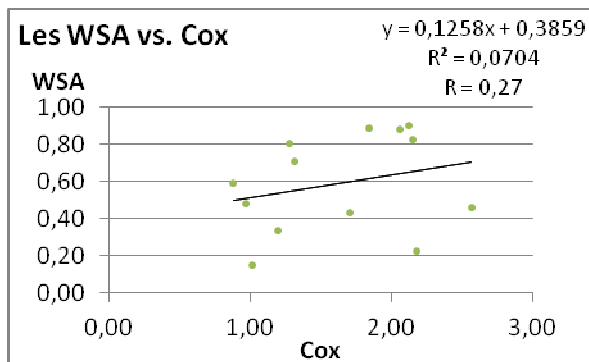
Na základě výsledků výše zmíněné metody se vyhodnotil vliv Cox, tedy obsah organické hmoty, na stabilitu půdy. Soubor dat byl prakticky stejný jako u hodnocení vlivu využití půdy, viz výše (využity byly z tohoto souboru data s dostupnými informacemi o hodnotě Cox a WSA).



Graf č. 12 Korelace WSA a Cox

Graf č. 10 ukazuje středně silnou korelaci hodnot WSA a organické hmoty. Tento fakt je způsoben nedostatky metody měření Cox. Tato metoda měří veškerou organickou hmotu, ale pro zlepšení půdní stability je za potřebí její kvalitní rozklad. Při rozkladu organické hmoty dochází k uvolnění humusotvorných látek, které jsou schopny tmelit částice půdních agregátů a tím zvyšovat půdní stabilitu.

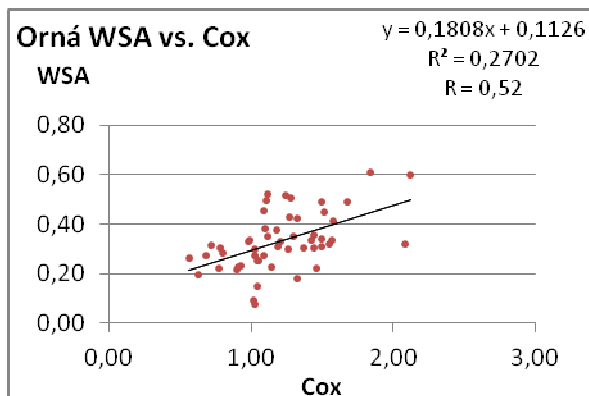
Pokud porovnááme korelační koeficienty jednotlivých druhů využití půdy, zjistíme, že nejméně se zastoupení organické hmoty projevuje na stabilitě lesních půd. U listnatých dřevin vzniká humusová vrstva nazývaná mul, která v příznivých podmínkách (vodní režim, poměr C:N) tvoří velmi rychle vrstvu humusu. Většina



Graf č. 13 Korelace WSA a Cox na lesních půdách

těchto dat ale pochází z lesů jehličnatých, kde se tvoří hrabanka. Ta se skládá z organických zbytků nepříznivých pro rozklad (zejména jehličí) (Huleš, Vrba, 2006). Ve vrchních horizontech vzniká surový humus, který nemá na stabilitu velký vliv, ale v půdě zvyšuje procento organické hmoty.

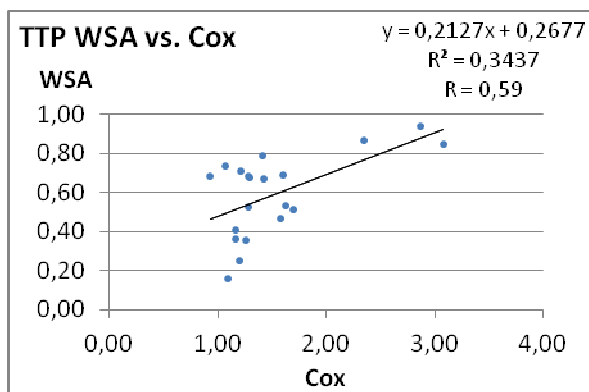
Korelační koeficient je vyšší u orné půdy, kde dochází k přeorávání vrchního horizontu a zaorávání posklizňových zbytků. To sice přispívá ke zvýšení organické hmoty v půdě, ale ne k její humifikaci.



Graf č. 14 Korelace WSA a Cox na orné půdě

Struktuře půdy na poli prospívá tento postup především díky zlepšení vlhkostních podmínek (zabraňuje vysychání) a zvýšením pórovitosti (Brandy, Weil, 2002). Tak si lze vysvětlit nepříliš citelné zvýšení korelace organické hmoty a stability.

U TTP se opět koeficient nepatrně zvýšil. TTP příznivě ovlivňují stabilitu půdy.



Graf č. 15 Korelace WSA a Cox na TTP

Je to díky velmi husté a kvalitní síti kořenového vlášení travin. V povrchové půdní vrstvě do 20 cm se nachází asi 65 – 90 % všech kořenů trav (Gerndtová, 2011). Jak vidíme na grafu, v porovnání s ostatními druhy využívání půdy, procento Cox nepadá pod 1% a u některých vzorků dosahuje přes 3%.

6.2 Agregátová stabilita horizontů

6.2.1 Hodnocení dat na lokalitě Krymlov

Pro hodnocení vlivu půdních podmínek na strukturu půdy, bylo opět vybráno území Krymlova u Kostelce nad Černými lesy.

Jak již bylo zmíněno, hodnoceným půdním typem je pseudoglej modální s typickým periodickým provlhčením půdního profilu, což je příčinou rychlého vyluhování (snadné a velmi rychlé látkové výměny) mikročástic směrem dolů v půdním profilu.

Popis sondy (viz obr) odhaluje šest horizontů. Ačkoli horizont O a Cg nejevily čitelnou strukturu, tzn. byly téměř bezstrukturní, u všech byl určen index MWD i WSA. Důvodem bylo především porovnání výsledků horizontů v celém půdním profilu. Pro každý horizonty je zpracován graf ukazující na rozplavnost agregátu o velikost 3-5 mm ve všech třech testech metody MWD.


V rámci studia a hodnocení rozpadu půdních agregátů je možné kvantifikovat náchylnost jednotlivých diagnostických horizontů k solvataci (rozplavení částic definované velikosti). Tento projev je výsledným zjištěním při řešení stability pomocí metody MWD. Rozpadové řady jednotlivých vzorků a jejich distribuce velikosti agregátů na sítu pro jednotlivé horizonty jsou uvedeny v následujících Grafech č. 16-21.



Obrázek 37 Agregáty před testováním



Obrázek 38 Vysušené agregáty po testu

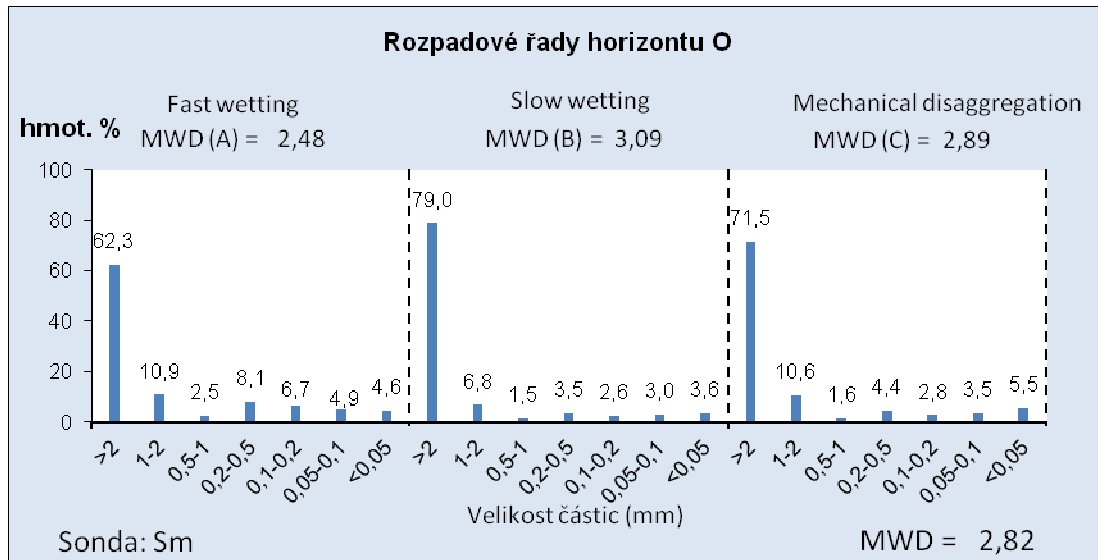
Sonda	horizonty	Hloubka odběru	Popis půdní sondy
	O	0-8	Barva: 10YR3/4, téměř bez struktury, hlinitá, vlháká, kyprá, silné prokořenění, přechod zřetelný zvlňžený, 10YR5/4
	Ahg	8-21	barva: 10YR7/3, práškovitá struktura, hlinitá, vlháká, drobnivá, prokořeněná, lokálně Mn povlaky a zrzavé skvrny, přechod zřetelný zvlňžený, 10YR8/2
	ABm1	21-33	barva: 10YR6/3, drobně polyedrická struktura, hlinitá, vlháká, soudržná, slabé prokořenění, černohnědé konkrce, lokálně rezivé skvrny, přechod zřetelný zvlňžený, 10YR7/2
	Bm1	33-94	barva: 10YR5/2 (50%)+7.5YR5/8 (50%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlháká, ulehlá, ojedinělé prokořenění, lokálně Mn povlaky, přechod pozvolný, 10YR6/2 (50%)+7.5YR6/8 (50%)
	Bm2	94-138	barva: 10YR6/1 (80%)+7.5YR5/6 (20%), polyedrická struktura, jílovitohlinitá, vlháká, 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, vlháká, ulehlá, ojedinělé prokořenění, lokálně Mn povlaky, 10YR7/1 (90%)+7.5YR7/8 (10%)

Obrázek 39 Půdní profil sondy SM (Batysta 2012)

Hodnocení MWD

Horizont O

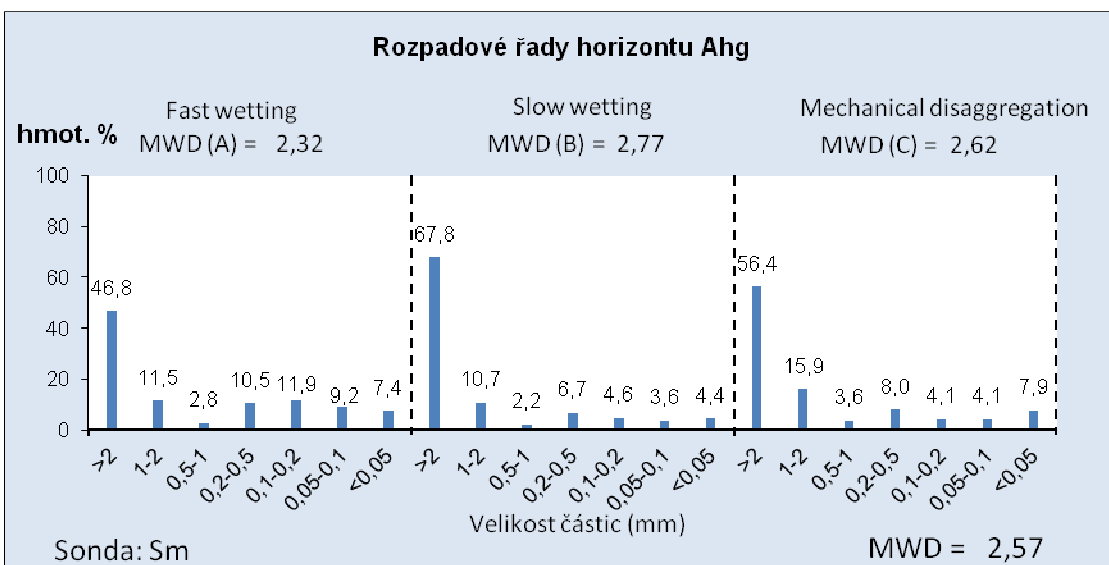
Horizont O, horizont nadložního humusu, obsahoval velký podíl opadanky (odumřelé jehličí, zbytky mechů, uschlé listy atd.) a půdní agregáty o velikosti cca 2 mm pevně stmelené organickými tmely (tvořeny hyfy hub, plísněmi atd.). Jak je patrné z grafu rozpadových řad, stabilita tohoto horizontu je velmi vysoká ale nevypovídá jednoznačně o stabilitě půdních agregátů, kterých se zde příliš nenacházelo.



Graf č. 16 Rozpadové řady horizontu O

Horizont Ahg

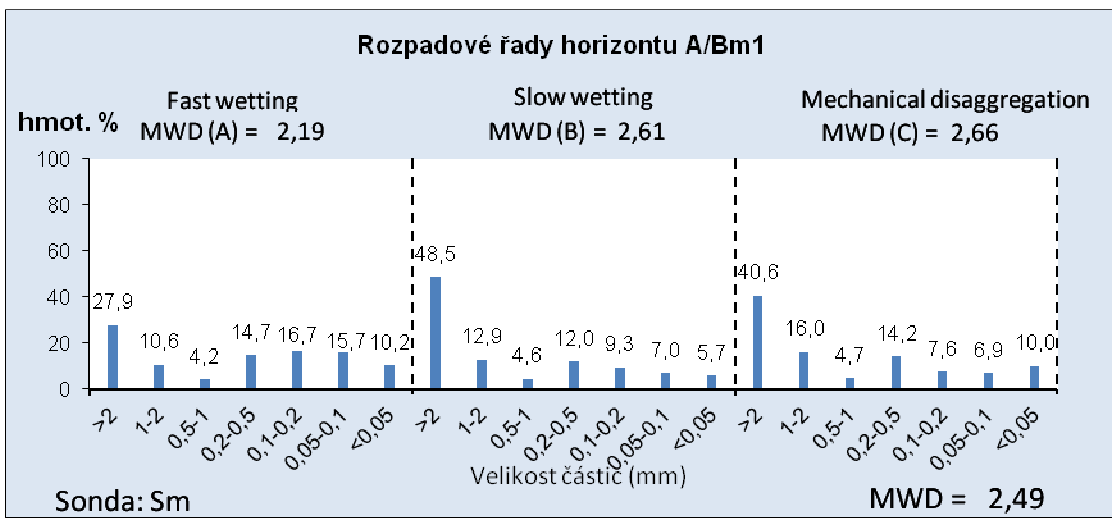
Tento horizont patří do hydrogenních humózních horizontů (Němeček (2001)). Zvýšené množství humusu dává dobré předpoklady ke vzniku stabilních agregátů. Výsledky odpovídají vysoce stabilní půdě, a to i v testu rychlého omočení.



Graf č. 17 Rozpadové řady horizontu Ahg

Horizont A/Bm1

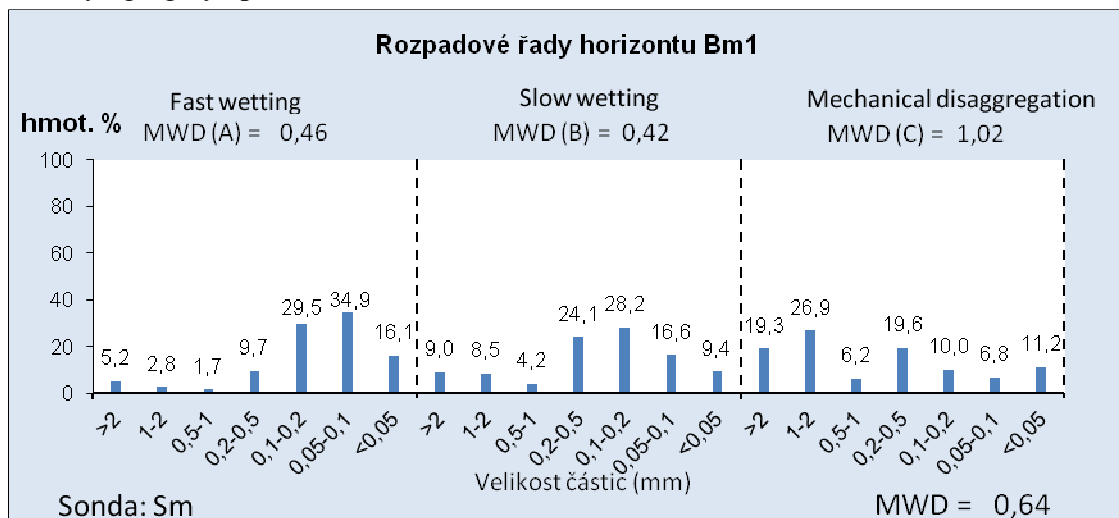
Jedná se o přechodový horizont mezi humusovým a mramorovaným kambickým horizontem. Míra agregace je dána stále ještě dostatkem humusu nebo alespoň jeho složek. Jak ale můžeme z grafu vyčíst, procenta největších velikostních frakcí výrazně poklesla, zatím co menší (1-2 mm) zůstávají na zhruba stejné hodnotě. To lze vysvětlit větší silou agregace u menších agregátů vlivem málo porézního uspořádání. Působení fyzikálních sil v kombinaci s humózními látkami dává možnost vzniku velmi stabilních jader větších agregátů (viz graf č. 20).



Graf č. 18 Rozpadové řady horizontu A/Bm1

Horizont Bm1

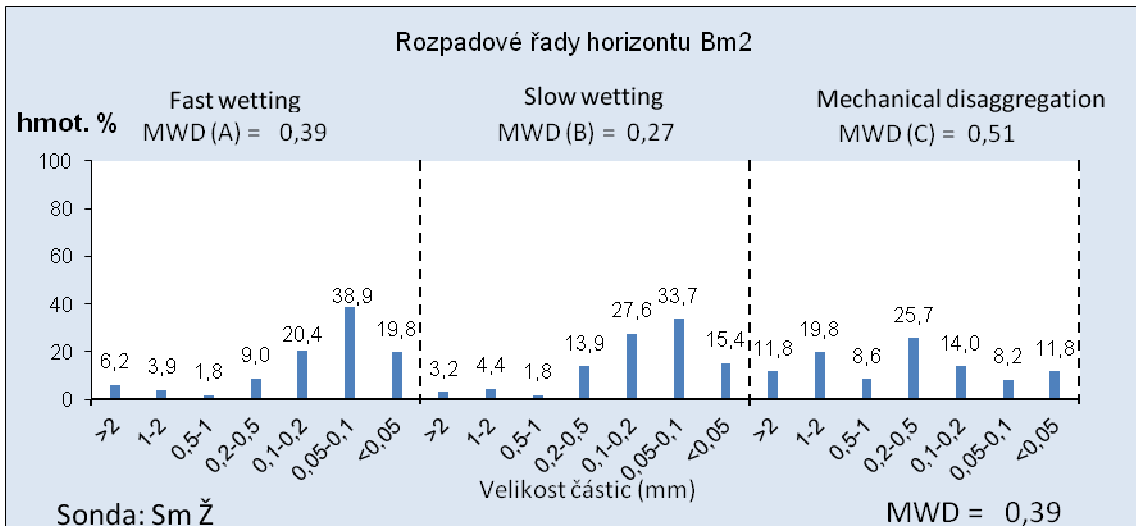
Výsledky tohoto horizontu souvisí se střídáním dešťových a suchých období. Především u hlinité až jílovito-hlinité textury totiž dochází k bobtnání a smršťování částic. Díky tomuto jevu se půdní agregáty více stmelují a mohou tak vytvořit slabě strukturně stabilní horizont. Na grafu jasně vidíme nedostatek podílu humusových látek, které by mohly agregáty zpevnit.



Graf č. 19 Rozpadové řady horizontu Bm1

Horizont Bm2

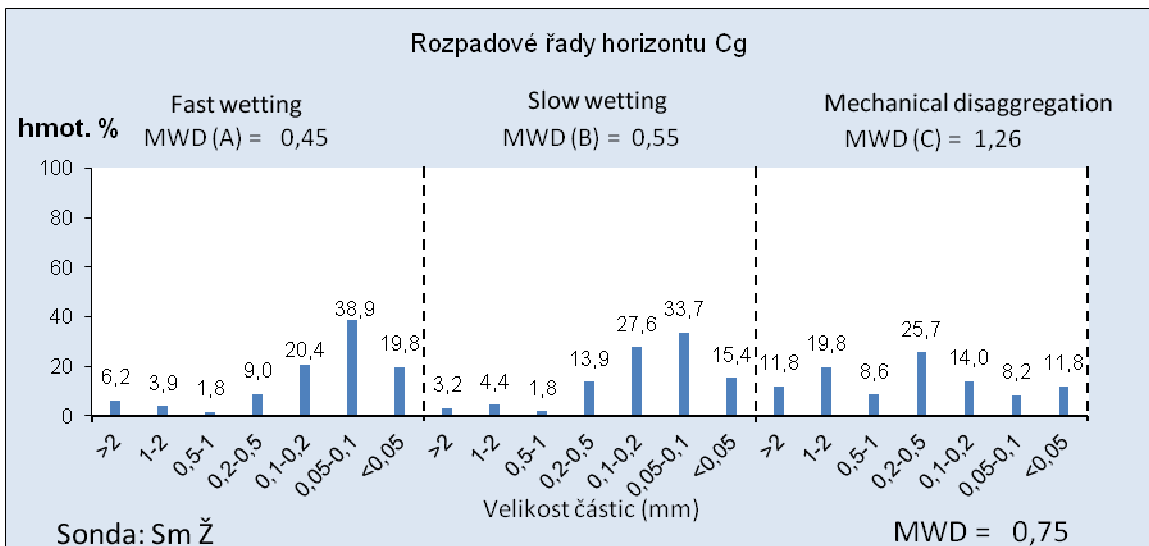
Ještě větší vliv funkce jílovitých částic je zaznamenán u výsledků stability horizontu Bm2. Ještě větší pokles hodnot oproti horizontu Bm1 byl zaznamenán hlavně u pomalého ovlhčování, kde se úplně minimalizovaly agregáty >2 mm. U třetího testu můžeme vidět ještě malou odolnost síly agregace proti mechanickému rozrušování.



Graf č. 20 Rozpadové řady horizontu Bm2

Horizont Cg

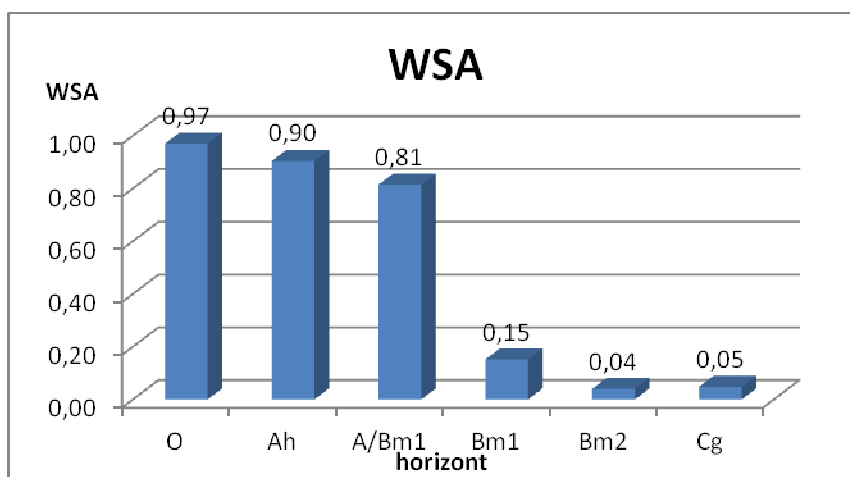
U horizontu Cg jsme zaznamenali mírné zvýšení hodnot MWD. Je to z důvodu přítomnosti většího skeletu než 2 mm. Agregáty potřebné pro laboratorní zkoušení vznikly díky obsahu jílovitých částic a agregačním schopnostem koloidních jílu.



Graf č. 21 Rozpadové řady horizontu Cg

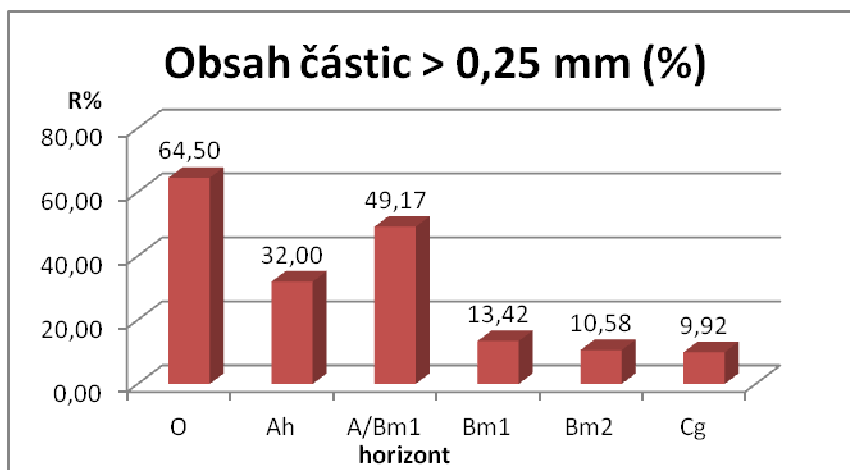
Hodnocení WSA

Test WSA ukázal opět (jako u MWD) na velkou stabilitu vrchního horizontu Ah, prudký pokles stability u horizontu Bm1 a nepatrně se zvyšující hodnotu soudržnosti agregátů u horizontu Cg. Dále prokázal větší stabilitu agregátů o velikosti 1-2 mm v porovnání s většími (3-5 mm) při testování metodou MWD. Tento fakt je nejvíce patrný u horizontu A/Bm1, kdy WSA ukazuje velkou stabilitu oproti testu MWD (viz výše).



Graf č. 22 Výsledné hodnoty WSA v průběhu horizontu sondy SM

Procentuální obsah šterku (částic > 0,25 mm) je zahrnut ve výpočtu jako R %. Slabá stránka této metody spočívá v zahrnutí do hodnoty R % i organickou složku, jako jsou např. kořeny rostlin, nerozložené jehličí a listy. Chyba se výrazně projevila u horizontu O, kde je zřejmé, že ze 64,5 % výsledného „skeletu“ tvoří velký podíl organická hmota (typické pro lesní půdy). Aby se chyba metody odstranila, je možné zbytky na sítu spálit (metoda LOI – určení spalitelných látek), tím odstranit organickou hmotu, a spočítat skutečné množství anorganických složek skeletu.



Graf č. 23 Obsah částic > 0,25 mm v procentech v průběhu horizontu sondy SM

7 Diskuse

V mé práci se zabývám stabilitou struktury půdy a jejím vyjádřením. Stabilita vzorků půd byla testována dvěma metodami. Je důležité poznamenat, že podle korelační analýzy se výsledky obou metod blíží - $R = 0,807$, což znamená vysokou závislost dat.

Metodika MWD je z větší části založena na testu standardní strukturní stability presentované v publikaci Hénin et al. (1958). Hénin et al (1958) popisuje využití ethanolu jako vhodného solventu pro ustálení procesu disagregace po jednotlivém testu a je zárukou zamezení zpětné agregace částic při sušení. Metodu lze porovnat s různými metodami v publikacích: Yoder, (1936), Emerson, (1954), Grieve, (1980), Kemper et Rosenau, (1986), Matkin et Smart, (1987), stejně tak jako s následnými rešeršemi: Le Bissonais, (1988), Le Bissonais et al. (1989), Le Bissonais et Le Souder,(1995). Standardní operační postup v popsany v mé práci vychází přímo z publikace Le Bissonais, (1996) a normy pro stanovení půdní kvality ISO/CD 10930, (2009).

U této metody je důležité zmínit její nepřesnost při měření více skeletovitých půd. Skelet větší než 2 mm je totiž považován za velmi stabilní agregát. V laboratoři jsem se setkala s degradovanými půdami z okolí staveb apod. Navzdory destrukce struktury u těchto půd koeficient MWD dosahoval hodnot v intervalu 1,5 – 2, a to především díky vysokému procentu velkých částic skeletu (kamení, stavební drť, úlomky cihel).

Pro metodu WSA zatím neexistuje normativní reference pro stanovení půdní struktury. Bylo objeveno mnoho modifikací a technik pro určení stability půdní struktury. Např.: Bourget et Kemp, (1957); Angers et al. (1993); Caron et al. (1992) a Chatigny et al. (1997), Kemper et Koch,(1966), Yoder, (1936). Většina metod se liší v metodě extrakce stabilních částic. Já jsem použila 0,3 M vodní roztok hexametfosforečnanu sodného, ale např. na universitě ve Vídni – Universität für Bodenkultur Wien jako rozpouštědlo používají 0,4 M vodní roztok natriumpyrofosfátu.

Ke zkreslení výsledků této metody může dojít při odečtu částic zbylých na sítu (> 0.25 mm). Zde totiž zůstávají nejen skeletovité částice, ale také částice organické. Tyto dvě složky by se měly ještě dále separovat.

Měla jsem možnost určovat stabilitu na půdách z CHKO Kokořínsko. Půdy pocházely ze zamokřených slatinných luk a obsahovali velké procento organické hmoty. Test WSA sice ukázal hodnotu agregátové stability 0,99, avšak 72 – 80 % skeletu. Proto jsem použila ještě metodu LOI (určí množství spalitelných částic), tím se oddělil skutečný skelet, organická hmota byla spálena a tím i odstraněna chyba měření.



Obrázek 40 Výsledek metody LOI. Částice se žíhají v peci za teploty až 550 °C (Huislová, 2013)

Ačkoli u obou metod byly zjištěny nedostatky, je možné říci, že se potvrdily předpokládané výsledky. Stabilita agregátů vrchního horizontu půdy je rozhodujícím faktorem při vodní erozi (Li et al. 2005). Větší stabilitu projevily menší agregáty o velikosti 1–2 mm oproti větším o velikosti 3–5 mm. Lafan et al. (1996) také zjistili, že nejméně stabilními komponenty ve sledovaném semigleji (přechod k pseudogleji) jsou agregáty o velikosti > 3 mm. Je to způsobeno velkým podílem vzduchu, který je při ovlhčení rychle vytlačen.

Oproti tomu v pokusu ,Barthense a Roose (2002) odnos půdy při povrchovém odtoku po dobu 30 minut negativně koreloval s obsahem makro-agregátů (> 2,5 mm) v ornici. Rozdíl výsledků se dá vysvětlit tím, že Lafan et al. (1996) prováděli výzkum v laboratorních podmínkách, ale Barthense a Roose (2002) přímo v terénu. Je tedy důležité upozornit na rozdíly mezi měřeními v terénu a v laboratoři. Celková hodnota stability závisí především na množství a poměru stabilních a nestabilních agregátů, které jsou kategorizované podle jejich velikosti a vodostálosti, a samozřejmě na stanovištních podmínkách resp. na druhu využití půdy.

Při průzkumu vlivu využití půdy jsem si ověřila předpokládané výsledky. Nejméně stabilní je půda orná a nejvíce lesní. Jiné studie, které se zabývaly změnou druhu využití, ukázaly, že např. přeměna lesa na pastvinu vede k poklesu makroagregátů (Conant et al. 2004). Naproti tomu Schwedenmann et Pendall (2006) neodhalil významné změny půdní struktury. Jejich výzkum, zabývající se změny lesa na travní porost, naznačuje, že pouhá změna vegetačního krytu se nemusí nutně projevit na

celkové struktury či zásobě uhlíku. Pokud se ale jedná o drastickou změnu, jako např. změna využití půdy spolu s intenzivní pastvou nebo intenzivním pěstováním některých plodin, pak dochází k výrazným změnám ve stabilitě půdní struktury.

Časové proměnlivosti stability půdy prokázal Chan et al.(1994), Yang et Wander (1998). Zatímco ale Chan et al. (1994) dokládá, že změna stability agregátů v čase ovlivňuje negativně délku a hustotu kořenů rostlin, Yang et Wander (1998) naznačuje, že stabilita se zvýšila díky kořenům rostlin a jejich exudátům. Sudardji a Eberbach (1998) se zabývali celkovou stabilitou a hydraulickou vodivostí. Dokázali, že v průběhu zimy půda vykazovala nejnižší stabilitu a naopak na jaře nejvyšší hodnoty. Hodnoty klesly v průběhu vegetačního období. Také výsledky Jirků et al. (2010) ukazují, že vlastnosti půdy se v čase mění. Odhalily, že struktura půdy, celková stabilita a půdní hydraulické vlastnosti jsou vzájemně provázány. Tyto vlastnosti jsou ovlivněny růstem rostlin, intenzitou deště a zpracováním půdy.

Pokud jde o studii této problematiky v mé práci, týkala se především porovnání stability na TTP a orné půdě v průběhu vegetačního období. Bylo zjištěno, že vývoj stability úzce souvisí s hospodařením na obou pozemcích. Stabilita TTP sice kolísala, ale stále byla větší než u orné půdy. Můžeme tedy souhlasit s výsledky Yanga et Wandera (1998) a Jirků et al. (2010).

Mezi obsahem humusových látek a stabilitou půdních agregátů je podle většiny autorů (Čermák, Hora, 2001; Vrba, Huleš, 2006; Vopravil, 2010) předpokládaná silná korelace. To ovšem neplatí u obsahu organické hmoty. Při srovnání testu stability WSA a hodnoty Cox (množství oxidovatelného uhlíku – celkový obsah organické hmoty) se prokázal nepřilíživý vztah. Jak již bylo řečeno, musí se rozlišovat pojem organická hmota a humus. Humusové látky vznikají až při rozkladu organické hmoty a teprve tyto produkty humifikace mají vliv na tmelení částic agregátů, tedy i na jejich strukturu.

Testování celého půdního profilu po jednotlivých horizontech má demonstrovat změnu půdní stability ve vztahu k hloubce v jaké se půda nachází. Zároveň nám toto testování ukázalo odlišnosti chování dvou velikostních agregátových frakcí (1-2 mm, 3-5 mm). Bylo prokázáno, že stabilita je závislá na hloubce a horizontu. Agregáty horizontu B o velikosti 0,1 – 0,2 mm jsou nejodolnější vůči rozplavení. Tato frakce hraje největší roli ve stabilitě struktury spodních horizontů. Výsledky MWD se liší pouze v procentuálním obsahu těchto agregátů.

8 Závěr

Ohrožení půdy s produkční funkcí není jen případ minulého století. I dnes dochází k degračním procesům a je důležité tento fakt reflektovat. Velmi důležitým faktorem je v této problematice voda dopadající na povrch, tedy na vrchní horizont, úrodnou část půdního profilu. Půda tvoří zásobárnu vody pro vegetaci, proto její vodní režim je jedním z nejdůležitějších procesů. O tom jakým způsobem, za jak dlouho a jaké množství se voda do půdy infiltuje, rozhoduje půdní struktura.

Pokud není struktura dostatečně vyvinuta, dochází často k rozplavování půdních agregátů. Částice rozrušených agregátů ucpávají póry v půdě a zabraňují vsaku vody hlouběji do půdního profilu. Tento proces stojí na počátku většiny druhů degradací (eroze – vodní i větrná, utužení). Na vině jsou většinou špatné půdní a stanovištní podmínky. Je tedy patrná důležitost zkoumání stability strukturních složek a struktury jako celku v závislosti na vlastnostech půdy a na jejím využívání.

Má práce nastiňuje dvě metody, kterými se dá stabilita testovat a jak ji mohou půdní a stanovištní podmínky ovlivňovat. Výsledky ukazují velkou spolehlivost těchto metod. Stabilita struktury ve vybraných podmínkách dobře koresponduje s předpokládanými výsledky. V hodnocení dat je jasně vidět, že dochází k ovlivnění stability strukturních složek využívání půdy, vlivem průběhu vegetačního období i typem horizontu. Dá se tedy říct, že tyto metody jsou velmi vhodné pro určování kvality půdy.

Je potřeba dále přicházet na nové metody hodnocení půd, ty staré zdokonalovat a rozvíjet. Tato problematika se netýká pouze uživatelů půdy, ale nás všech. I když oproti minulosti máme větší snahu půdu chránit, stále se mezi námi najdou tací, kteří ještě nepochopili význam úrodné půdy pro další generace.

9 Literatura

Publikace a články:

- **An, S., Mentler, A., Mayer, H., Blum, W., E., H. 2010:** Soil aggregation, aggregate stability, organic carbon and nitrogen in different soil aggregate fractions under forest and shrub vegetation on the Loess Plateau, China. *Catena* 81: 226-233.
- **Angers, D. A., Samson, N., Légère, A., 1993:** Early changes in water-stable aggregation induced by rotation and tillage in a soil under barely production. *Journal of Soil Science* 73: 51-59.
- **Amezketta E., Winter M., LeBissonais Y., 1996:** Testing a procedure for measuring water-stable aggregation. *Soil Science Society of America Journal* 60: 888-894.
- **Barthes, B., Roose, E., 2002:** Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion: Validation at several levels. *Catena* 47: 133-149.
- **Bartoli, F., Burtin, G., Herbillon, A., 1991:** Disaggregation and clay dispersion of Oxisols: Na-resin, a recommended methodology. *Geoderma* 49: 301-317.
- **Bourget, S. J., Kemp, J. G., 1957:** Wet sieving apparatus for stability analysis of soil aggregate. *Journal of Soil Science* 37: 60.
- **Brady, N. C., Weil R., R., 2002:** *The Nature and Properties of Soils*. New Jersey, Simons & Schuster: 880.
- **Breburda, J., Richter, G., 1998:** Kurtze geschichte der Bodenerosion und ihrer Erforschung in Mitteleuropa. In *Bodenerosion – Analyse und Bilanz eines Umweltproblems*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft: 21-29
- **Bronick, C.J., Lal, R., 2005:** Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22.
- **Caron, J., Kay, B. D., Stone, J. A., 1992:** Improvement of structural stability of clayloam with destiny. *Soil Science Society of America Journal* 56: 1583-1590.
- **Cerda, A., 2000:** Aggregate stability against water forces under different climates on agriculture land and scrubland in southern Bolivia. *Soil Tillage Res.* 57: 159-166.

- **Conant, R. T., Six, J., Paustian, K., 2004.** Land use effects on soil carbon fractions in the south-eastern United States: II Change in soil carbon fractions along a forest pasture chronosequence. *Biol Fertil Soils* 40: 194-200.
- **Čermák, P., Hora, L., 2001:** Využívání organických substrátů a kompostů při rekultivaci výsypek v regionu Severočeské hnědouhelné pánve. Sborník přednášek konference „Sanace a rekultivace krajiny po těžbě uhlí“, Most.
- **Dane, J. H., and Topp, G. C., 2002:** Methods of Soil Analysis, Part 4- Physical Methods. SSSA Book Series: 5.
- **Dimoyiannis, D., Tsadilas, C. D., Valmis S., 1998:** Factors affecting aggregate instability of Greek agricultural soils *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 29: 1239–1251.
- **Doran, J. W., A. J. Jones 1996:** Methods for Assessing Soil Quality. Soil Science Society of America, Spec. Pub. 49.
- **Dufkova, J., 2008:** Anomálie výskytu větrné eroze na těžkých půdách. In: Rožnovsky, J., Litschmann, T. (eds.): Mezinárodní konference Biologické aspekty hodnocení procesů v krajině. ČBkS, SBkS, ENVI tech Bohemia, ČHMU, Mikulov 09. – 11. 09. 2008, 11 s.
- **Edwards, W.M., 1991:** Soil Structure: Processes and Management. *Soil Management for Sustainability*: 7-14.
- **Edwards, A. P., Bremner, J. M., 1967:** Microaggregates in soils. *J. Soil Sci.* 18: 64-73.
- **Elliot, E.T., 1986:** Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Science Society of America Journal* 50: 627-633.
- **Ellison, W. D., 1994:** Studies of raindrop erosion. *Agricultural Engineering* 25: 130 – 136, 180 – 182.
- **Emerson W. W., 1954:** The determination of the stability of soil crumbs. *Journal of Soil Science* 5: 233-250.
- **Filho, C.C., Lourenço, A., Guimarães, M. De F., Fonseca, I.C.B., 2002:** Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. *Soil & Tillage Research* 65: 45-51.

- **Flouri, F., Chajipavlidis, I., Balis, C., 1990:** Effect of olive oil mills liquid wastes on soil fertility. International congress in Tratamiento des alpechines. Cordoba, 3. May – 1. July.
- **Gerndová I., 2011:** Vliv obhospodařování trvalých travních porostů na obsah organické hmoty v půdě. QI101C246 Využití fytomasy z trvalých travních porostů a z údržby krajiny, Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. Praha.
- **Grieve I. C., 1980:** The magnitude and significance of soil structural stability decline sunder cereal cropping. *Catena* 7: 79-85.
- **Guérif, J., Richard, G., Durr, C., Machet, J., Recous, S., Roger-Estrade, J., 2001:** A review of tillage effects on crop residue management, seedbed conditions, and seedling establishment. *Soil Till. Res.* 61: 13-32.
- **Guggenberger, G., Zech, W., Thomas, R. J., 1995:** Lignin and carbohydrate alteration in particle-size separates of an oxisol under tropical pastures following native savanna. *Soil Biol. Biochem.* 27: 1629-1638.
- **Hejátková, K., Pokorný, E., Šarapatka, B., 2008:** Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku. ZERA–Zemědělská a ekologická regionální agentura, o. s., pro MZe, Náměšť nad Oslavou: 29.
- **Hauptman I., Kukul Z., Pošmourný K. [eds.], Němec J. [redakce] (2009):** Půda v České republice. 1. vydání. Pro MŽP a MZe, Consult, Praha: 256.
- **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.
- **Haynes, R.J., Beare, M.H., 1997:** Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. *Soil Biol Biochem.* 29: 1647-1653.
- **Hénin S., Monnier G., et Combeau A., 1958:** Metod for the analysis of the structural stability of soils. *Annales Agronomiques* 9(1): 71-90.
- **Chantigny, M. H., Angers, D. A., Prévost, D., Vézina, L. P., Chalifour, F. P., 1997:** Soilaggregation and fungal and bacterial biomass under annual and perennial cropping systems. *Soil Sci.Soc.Am.J.* 61: 262-267.
- **Chepil, W. S., 1958:** Soil conditions that influence wind erosion. *Tech. Bul.:* 1185, U.S. Dept. Agr., Washington: 40.

- **Chráska, M., 2000:** Základy výzkumu v pedagogice. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc: 201.
- **Christensen, B.B., 2001:** Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *European Journal of Soil Science* 52: 345-353.
- **Janeček, M., Bohuslávek, J., Dumbrovský, M., Gergel, J., Hrádek, F., Kovář, P., Kubátová, E., Pasák, V., Pivcová, J., Tippl, M., Toman, F., Tomanová, O., Váška, J., 2002:** Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV nakladatelství, Praha: 201.
- **Jirků, V., Kodešová, R., Mühlhanslová, Žigová, A., 2010:** Seasonal variability of soil structure and soil hydraulic properties. 19th World Congress of Soils Science, Soil Solutions for a Changing World, Brisbane. 1–6 August 2010, Australia, Published on DVD.
- **John, B., Yamashita, T., Ludwig, B., Flessa, H., 2005:** Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. *Geoderma* 128: 63-79.
- **Kay, B. D., da Silva, A. P., Baldock, J. A., 1997:** Sensitivity of soil structure to changes in organic carbon content: Predictions using pedotransfer functions. *Canadian Journal of Soil Science* 77: 655-667.
- **Kemper, W. D., Koch, E. J., 1966:** Aggregate stability of soils from western portions of United States and Canada. USDA Tech.Bull. 1355. U.S. Gov. Print. Office, Washington DC.
- **Kemper, W. D., Rosenau, R. C., 1986:** Aggregate stability and size distribution. In: A. Krute. (Editor), *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph, No. 9 (2nd edition), American Society of Agronomy-Soil Sci. Soc. Am., Madison.
- **Kodešová, R., Kodeš, V., Žigová, A., Šimůnek, J., 2006:** Impact of plant roots and soil organisms on soil micro morphology and hydraulic properties. *Biologia* 61: 339-343.

- **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.
- **Kozák, J., 2005:** Kvalita a funkce půd ve vztahu k udržitelnému vývoji a ochraně půdního pokryvu. Agronomická fakulta CZU, Praha: 32-36.
- **Laffan, M., Grant, J., Hill, R., 1996:** A method for assessing the erodibility of Tasmanian forest soils. *Aust. J. of Soil and Water Conservation* 9: 16-22.
- **Le Bissonais, Y., 1988:** Analysis of the mechanisms of disaggregation and the mobilisation of particles of soil under the action of rain. PhD thesis, University of Orléans: 225.
- **Le Bissonais, Y., 1996:** Aggregate stability and assessment of crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science* 47: 425-37.
- **Le Bissonais, Y., Bruand, A., Jamagne, M., 1989:** Laboratory experimental study of soil crusting: relation between aggregates breakdown and cruststructure. *Catena* 16: 377-392.
- **Le Bissonais, Y., De Noni, 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*.
- **Le Bissonais, Y., Le Souder, C., 1995:** Measurement of structural stability of soils for evaluation of susceptibility of surface crusting and erosion. *Etude et Gestion des Sols* 2(1): 43-56.
- **Li, Y. B., Xie, D. T., Hou, J. J., Wei, C. F., 2002:** A study on features of water-stable soil aggregate structure under different land use in Karst Mountains. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 11 (5): 451-456.
- **Materna, J., Sánka, M., 2004:** Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. MŽP, Praha, *Edice Planeta* 11/2004: 57.
- **Matkin, E. A., Smart P., 1987:** A comparison of tests of soil structural stability. *Journal of Soil Science* 38: 123-135.
- **Morgan, R. P. C., (1979):** Soil Erosion, *Topic in Applied Geographie*, Longman, London: 133.

- **Morgan, R. P. C., 1986:** Soil degradation and soil erosion in loamy belt of northern Europe. A. A. Balkema, Rotterdam: 165-172.
- **Němeček, J., Macků, J., Vokoun, J., Vavříček, D., Novák, P., 2001:** Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. ČZU, Praha: 78 s.
- **NF ISO 3310-1:2001:** Test sieves – Technical requirements and testing – Part 1: Test sieves of metal wirecloth.
- **Novak, J. M., Bauer, P. J., Hunt, P. G., 2007:** Carbon Dynamics under Long Term Conservation and Disk Tillage Management in a Norfolk Loamy Sand. Soil & Water Management & Conservation Note, 71: 453-456.
- **Novák, P., Lagová, J., Němec, J., Voltr, V., Vigner, J., Marek, V., 1999:** Situační a výhledová zpráva PŮDA Prosinec 1999. Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha: 63.
- **Pasák, V., 1970:** Wind erosion on soils. Scientific Monographs. VUMOP v.v.i.: 187.
- **Pojazok, T., Kay, B. D., 1990:** Assessment of combination of wet sieving and turbidimetry to characterize soil structural stability. Canadian Journal of Soil Science, 70: 33-42.
- **Rohošková, M., Valla, M., 2004:** Comparison of two methods for aggregate stability measurement – a review. Plant Soil Environ. 50: 379-382.
- **Ruh, H., Brugger, F., Schenk, Ch., 1990:** Etika a půda. Překlad Prokopová, J., Staňa, J., 1996, ÚKZÚZ Brno: 112.
- **Saidi, D., Douaoui, A., Le Bissonnais, Y., Walter, C., 1999:** Sensitivity of soil surface layers from Chelif plain (Algeria) to structural degradation. Etude et Gestion des Sols 6: 15–25.
- **Sanchez-Maranon, M., Soriano, M., Delgado, G., Delgado, R., 2002:** Soil quality in mediterranean mountain environments: Effects of land use change. Soil Science Society of America Journal, 66: 948-958.
- **Shrestha, B. M., Singh, B. R., Sitaula, B. K., Lal, R., Bajracharya, R. M., 2007:** Soil aggregate-and particle-associated organic carbon under different land uses in Nepal. Soil Science Society of America Journal 71 (4): 1194-1203.

- **Schwendenmann, L., Pendall, E., 2006:** Effects of forest conversion into grassland on soil aggregate structure and carbon storage in Panama: evidence from soil carbon fractionation and stable isotopes. *Plant and Soil* 288: 217–232.
- **Strahler, A., 1999:** *Introducing Physical Geography*. Wiley, New York: 236 - 263.
- **Valmis, S., Kerkides, P., Aggelides, S., 1988:** Soil aggregate instability index and statistical determination of oscillation time in water. *Soil Science Society of America Journal.*, 59: 1188–1191.
- **Vaněk, V., Kolář, L., Pavliková, D., 2006:** Úloha organické hmoty v půdě. *Racionální použití hnojiv - sborník z konference*, ISBN 978-80-213-2006-2.
- **Valmis, S., Dimoyiannis, D., Danalatos, N. G., 2005:** Assessing interrill erosion rate from soil aggregate instability index, rainfall intensity and slope angle on cultivated soils in central Greece. *Soil and Tillage Research*, 80: 139–147.
- **Vopravil, J., Khel, T., Vrabcová, T., Novák, P., Novotný, I., Hladík, J., Vašků, Z., Jacko, K., Rožnovský, V., Janeček, M., Vácha, R., Pivcová, J., Kvítek, T., Fučík, P., Čermák, P., Janků, J., Pírková, I., Papaj, I., Banýrová, J., 2010:** Půda a její hodnocení v ČR – 1.díl. VÚMOP v.v.i., Praha: 147.
- **Wischmeier, W. H., Smith, D. D., 1978:** Predicting rainfall erosionlosses: A guide to conservationsites. *Journalof Soil and Water Conservation* 26: 189-193.
- **Tisdall, J. M., Oades, J. M., 1982:** Organic-matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33 (2): 141-163.
- **Tomášek, M., 2000:** Půdy České republiky. ČGÚ, Praha: 67.
- **USDA (United States Department of Agriculture), 2008:** Soil Quality Indicators: Soil aggregation. USDA Natural Resources Conservation Service.
- **Yoder, R. E., 1936:** A direct method of aggregate analysis of soils and study of physical nature of errosion losses. *J.Am.Soc.Agron.* 28: 337-351.

Internet:

- **Anonym, 2011:** Jaké faktory ohrožují kvalitu zemědělských půd? Online: <http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1886>, cit. 3. 4. 2013.

- **Budňáková, M., 2013:** Koncepce Ministerstva zemědělství v období 2014 – 2017 - ochrana půdy. Praha, online: http://www.zeraagency.eu/dokumenty/008008001/2_budnakova.pdf, cit 3. 4. 2013.
- **Hladík, J., 2013:** Ochrana půdy a vody pro potřeby místní samosprávy, Praha, online: <http://denik.obce.cz/clanek.asp?id=6518687>, cit: 3. 4. 2013.
- **Mortlock, D. F., 2005:** Water erosion. Online: http://www.soilerosion.net/doc/water_erosion.html, cit 3. 4. 2013.
- **Soil Quality for Environmental Health, 2011:** Aggregate Stability. Online: http://soilquality.org/indicators/aggregate_stability.html, cit. 28. 3. 2013.
- **Stejskal, J., 2009:** Degradace půdy trvá - Češi proto chtějí oživit evropskou směrnici, která ji má chránit. Online: <http://www.ochranapudy.cz/?c=degradace-pudy-trva--cesi-proto-chteji-ozivit-evropskou-smernici-ktera-ji-ma-chranit>, cit. 3. 4. 2013.
- **Šimerka, I., 2013:** Language glossary. Online: http://www.proz.com/?sp=kog_glossary&sp_mode=viewTerm&term_id%5B%5D=15857, cit. 10. 4. 2013.
- **Vávra, V., Štelcl, J., 2008:** Geologická stavba České republiky a vztah geologických procesů k životnímu prostředí, online: http://kurz.geologie.sci.muni.cz/ucebnice_uvod.htm, Brno, cit. 3. 4. 2013.
- **Vrba, V., Huleš, L., 2006:** Humus - půda - rostlina. Online: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>. cit. 10. 9. 2013.