

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA
V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ



Česká
zemědělská
univerzita
v Praze

DIPLOMOVÁ PRÁCE

POROVNÁNÍ METOD A PŘÍSTROJŮ PRO
STANOVENÍ VODO-STABILNÍCH PŮDNÍCH
AGREGÁTŮ

BC. JAN ŠMOLKA

2024

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jan Šmolka

Voda v krajině

Název práce

Porovnání metod a přístrojů pro stanovení vodo-stabilních půdních agregátů.

Název anglicky

Comparison of methods and devices for the determination of water-stable soil aggregates.

Cíle práce

Porovnání laboratorních metod a přístrojů pro stanovení vodo-stabilních půdních agregátů. Zjištění výhod a nevýhod pro praktické využití.

Metodika

Zpracujte přehled používaných metod. U dostupných typů přístrojů popište detailně jejich konstrukci. Otestujte funkci přístrojů na vzorku 2 půd (stejně pro všechny přístroje), porovnejte a vyhodnoťte výstupy.

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

Půda, půdní agregáty, fyzika půdy

Doporučené zdroje informací

- Amézqueta E. 1999. Soil aggregate stability: a review. *Journal of Sustainable Agriculture*, 14: 83–151. DOI: http://dx.doi.org/10.1300/J064v14n02_08
- Holátko J., Holubík O., Hammerschmidt T., Vopravil J., Kintl A., Brtnický M. 2022. Afforestation of agricultural land affects soil structural stability and related preconditions to resist drought. *Journal of Forest Science*, 68 (12): 496–508. DOI: 10.17221/156/2022-JFS
- Kemper W.D., Rosenau R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (ed.): *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. Madison, American Society of Agronomy: 425–442. *Agronomy monographs*, 9 (1).
- Le Bissonnais Y. 1996. Aggregate stability and assessment of crustability and erodibility: 1. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 47: 425–437.
-

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FŽP

Vedoucí práce

Dr. Ing. et Ing. Miroslav Kravka

Garantující pracoviště

Katedra plánování krajiny a sídel

Konzultant

Ing. Radek Klíč

Elektronicky schváleno dne 25. 10. 2023

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 11. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 02. 03. 2024

Prohlášení autora DP

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením Dr. Ing. et Ing. Miroslava Kravky a konzultacemi Ing. Radka Klíče. Uvedl jsem všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze, dne:

Podpis:

Poděkování

Nejdříve chci poděkovat Ing. Radku Klíčovi za velmi cenné a klíčové konzultace, za jeho pomoc při praktických částech, za jeho odbornost, zkušenosti ale i humor a nadhled.

Dále děkuji své rodině za všechnu materiální i duševní podporu, kterou pro mě obětovala – bez ní by tato práce nebyla možná.

Na závěr děkuji Dr. Ing. et Ing. Miroslavu Kravkovi za jeho odborné vedení a celkové koncipování této práce.

Abstrakt

Diplomová práce se primárně zabývá problematikou vodo-stabilních půdních agregátů (WSA) a jejich stanovení. Obecně řečeno je stabilita půdních agregátů žádoucí vlastnost dané půdy a informace o stabilitě půdních agregátů může sloužit jako důležitý podklad. Přívalové deště jsou hlavní důvod vodní eroze a související ztráty zemědělské půdy v důsledku smyvu hlavně při nevhodném způsobu hospodaření. Zpravidla bývá právě intenzivně zemědělsky využívaná půda méně stabilní, než například půda lesní a tím pádem je taky zemědělská půda náchylnější například k vodní erozi. Výsledky tuto teorii opět potvrzují. Práce dále přibližuje problematiku půdních agregátů obecně a ilustruje možnosti jejich stanovení za působení vody prostřednictvím různých přístrojů a metod. Mnoho přístrojů a metod vychází ze starších, osvědčených; některé přichází s inovací, zjednodušením a poskytují mnoho možností pro stanovování. Metody zahrnují mokrý prosev a rozrušování půdních vzorků za působení vody. Přístroje jak v České republice, tak zahraničí vyjadřují frakční zastoupení WSA, existují i přístroje na stanovení WSA jako poměr k nestabilním agregátům. Kde to bylo možné, práce srovnává rozdíly výsledků přístrojů na vzorku dvou půd.

Klíčová slova: půda, vodo-stabilní agregáty, WSA, metoda, laboratorní přístroj

Abstract

The master's thesis primarily deals with the issue of water-stable aggregates (WSA) and their determination. Generally, the stability of soil aggregates is a desirable property of a certain soil and information of soil aggregate stability can serve as an important basis. Heavy rainfall is the main cause of water erosion and is associated with loss of agricultural soil due to run-off and especially with improper farming practices. Typically, intensively used agricultural soil is less stable than, for example, forest soil, thus agricultural soil is more susceptible to, for example, water erosion. The results confirm this theory again. The thesis also presents the issue of soil aggregates in general and illustrates the possibilities of their determination under the effects of water by means of various devices and methods. Many of the devices and methods are based on older, well-established ones; some have been innovated, simplified, and provide many possibilities for determination. Methods include wet sieving and water agitation of soil samples. Devices both in Czech Republic and abroad measure the fractional representation of WSA, there are also devices for measuring WSA as a proportion with unstable aggregates. Where it was possible, the thesis compares the differences in the results of the devices on a sample of two soils.

Key words: soil, water-stable aggregates, WSA, method, laboratory device

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíl práce.....	2
3. Literární rešerše	3
3.1 Půda	3
3.2 Půdní složky	5
3.2.1 Pevná fáze.....	5
3.2.2 Kapalná fáze	6
3.2.3 Plynná fáze	7
3.3 Půdní struktura.....	8
3.4 Půdní zrnitost.....	9
3.5 Bonitně půdně ekologické jednotky (BPEJ), charakteristika	10
3.6 Půdní agregáty	11
3.6.1 Stabilita půdních agregátů	12
3.6.2 Meliorace, eroze a protierozní ochrana	13
3.7 Langův dešťový faktor	14
3.8 Metody pro stanovení vodo-stabilních agregátů.....	15
3.8.1 Metoda dle Yoder (1936).....	16
3.8.2 Metoda dle Kemper a Rosenau (1986)	16
3.8.3 Metoda dle Kandeler (1996).....	17
3.8.4 Metoda dle Le Bissonnais (1996).....	17
3.8.5 Metoda pro Bakšajevův laboratorní přístroj (citováno ve Vajdunina a Korchagina, 1986).....	19
3.8.6 Ultrazvuková metoda.....	19
3.8.7 Modifikovaná metoda dle Bakšajev (citováno ve Vajdunina a Korchagina, 1986).....	20
4. Metodika.....	21
4.1 Popis zájmového území.....	21
4.1.1 Popis lokality „Housle Agro“	22
4.1.2 Popis lokality „Housle Les“	23
4.2 Odběr a příprava vzorků.....	23
4.3 Postup při popisu přístrojů.....	23
4.4 Postup při porovnávání a hodnocení metod a přístrojů	25

5. Výsledky.....	26
5.1 Výsledky pro půdní vzorky	26
5.2 Výsledky pro jednotlivé přístroje pro stanovení vodo-stabilních agregátů ..	29
5.2.1 Manuální promývání sít.....	30
5.2.2 Přístroj s manuálním nakláněním	32
5.2.3 Bakšajevův laboratorní přístroj.....	34
5.2.4 Inovovaný laboratorní přístroj	36
5.2.5 Přístroj Eijkelkamp Wet Sieving Apparatus.....	38
5.2.6 Přístroj s využitím ultrazvuku.....	40
5.2.7 Přístroj dle Ekwue (2018).....	41
5.3 Výsledné zhodnocení přístrojů	42
6. Diskuse	44
7. Závěr.....	46
8. Zdroje	47
8.1 Knižní zdroje	47
8.2 Internetové zdroje.....	51
8.3 Legislativní zdroje	52
8.4 Seznam obrázků.....	53
8.5 Seznam tabulek.....	54

1. Úvod

Půdní agregáty jsou žádoucím ukazatelem kvality dané půdy. Existují poznatky o procesech, které k tvorbě a udržování půdních agregátů napomáhají. Tvorbu agregátů v půdě a její stabilitu ovlivňuje například množství srážek a teplota, dále pak i využití půdy. Zemědělsky využívaná půda vykazuje zpravidla nižší stabilitu, než půda lesní a tato stabilita u zemědělské půdy klesá s rostoucí intenzitou využívání.

Metody pro stanovení vodo-stabilních půdních agregátů (WSA) se různí, ale zpravidla zahrnují mokrý prosev či jiné rozrušování půdních vzorků za působení vody. Vodo-stabilní agregáty mohou být stanoveny jako frakční zastoupení, nebo celkový obsah ve vodě stabilních agregátů.

Tyto způsoby stanovení WSA jsou jedním z hlavních způsobů hodnocení stavu půdy (Scott, 2000) využitelných například v péči o půdu. Stabilita WSA také přímo nebo nepřímo ovlivňuje další vlastnosti půdy a tato informace může být například použita pro hodnocení eroze.

2. Cíl práce

Cíl této diplomové práce je zpracovat přehled používaných metod a přístrojů pro stanovení vodo-stabilních půdních agregátů a také popsat konstrukci, funkci, výsledná data a parametry souvisejících přístrojů. Součástí cíle je na vzorku dvou půd s odlišným využitím srovnat výstupy těchto přístrojů, vyhodnotit případné rozdíly a uvést výhody a nevýhody.

3. Literární rešerše

Literární rešerše této diplomové práce se věnuje nejdříve půdě, složkám půdy a půdním charakteristikám, zmiňuje nástroje pro jednoduché určení základních půdních vlastností a přechází na problematiku půdních agregátů.

3.1 Půda

Půdu lze definovat jako nejsvrchnější vrstvu pevné zemské kůry složenou převážně z minerálních částic různých velikostí. Současně tato vrstva obsahuje póry, které mohou být vyplněny vzduchem anebo vodou. Další nedílnou složkou je organická hmota, což jsou živé organismy a odumřelá organická hmota v různém stádiu rozkladu a přeměn. Půda je přírodní útvar a složitý dynamický systém s vlastní transformační a transportní schopností, který je utvářen vnitřními procesy jako je podzemní voda a živé organismy, a procesů vnějších jako je klima a antropogenní činnost (Ledvina a kol., 2000).

Půda přímo vychází ze svého horninového podloží, ze kterého vznikla zvětráváním a je jím ovlivněna a je možno ji od této matečné horniny, ze které vznikla, odlišit tak, že prošla fyzikálním i chemickým zvětráváním primárních i sekundárních minerálů (Birkeland, 1999). Půda může být velmi proměnlivá a variabilní a její vlastnosti jsou ovlivňovány v závislosti na geografické lokalitě (Vlček, 2015).

Důležitým znakem půd je jejich úrodnost, což je schopnost půd poskytnout plodinám na nich pěstovaným vhodné prostředí, dostatek vody a dostatek živin potřebných k optimálnímu vývinu a růstu rostlin (Richter, 1999), především k pěstování kulturních rostlin (Franzluebbers, 2002).

Nutno připomenout i mimoprodukční funkce půdy, jako je funkce stabilizační, krajinytvorná a hygienická. Přežití všech na zemi žijících suchozemských společenstev závisí právě na půdě. Půda je také přirozenou součástí národního a kulturního bohatství každého státu, a proto je nutné ji chránit a myslet na ochranu půdy i do budoucnosti (Němec a kol., 2009).

Pedolog a vědec Hans Jenny (1941) poskytl základní rovnici tvorby půd a definoval tak základní složky ovlivňující tvorbu půd:

$$s = f(cl, o, r, p, t)$$

Kde:

s – půdotvorné procesy

cl – klima,

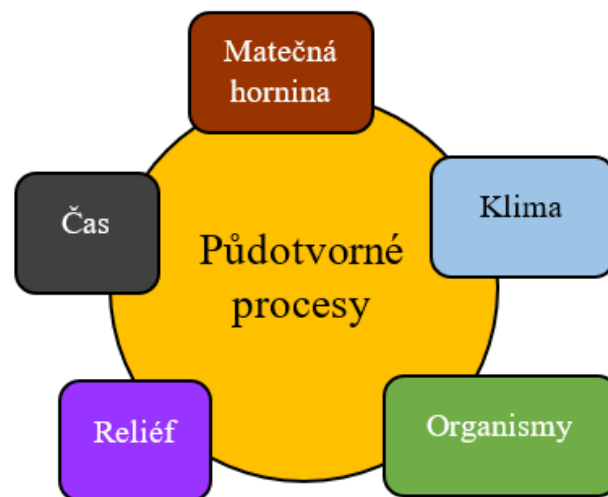
o – organismy,

r – reliéf (terénu),

p – matečná hornina, a

t – čas

Těchto pět faktorů vzájemně interaguje a tvoří tím půdu. Půda může vyžadovat stovky až tisíce let k vývoji a během této doby se její vlastnosti mění například v důsledku zvětrávání mateřského materiálu a hromadění organické hmoty. Naopak může i degradovat a docházet u ní ke ztrátám, a to v mnohem kratším časovém měřítku (Osterkamp a Romanovsky, 1999).



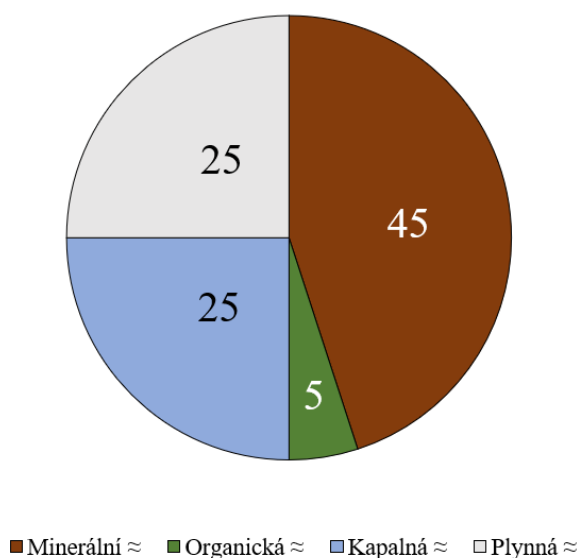
Obrázek 1: Složky půdotvorných procesů. Vytvořeno autorem.

3.2 Půdní složky

Půda je třífázový systém pevné, plynné a kapalné složky a působením biologických vlivů se v půdotvorném systému vytváří organická hmota (Laník a Halada, 1960). Pevná fáze se skládá z organického, a hlavně minerálního podílu. Tyto zmíněné půdní složky výrazně ovlivňují její produkční, fyzikální a chemické vlastnosti (Richter a Hlušek, 2003).

Hlavní fyzikální vlastnosti, které ovlivňují kvalitu půdy jsou mimo jiné půdní struktura a půdní zrnitost (textura). Mezi vlastnosti ovlivňující kapalnou fázi jsou například vlhkost a propustnost půdy. Plynná fáze je ovlivněna například minimální vzdušností půdy (Rehák a Janský, 2000).

Zastoupení půdních složek [%]



Obrázek 2: Půdní složky. Vytvořeno autorem.

3.2.1 Pevná fáze

Pevnou fází v půdě rozumíme půdotvorný substrát. Ten je složen z dominantní části minerální a části organické. Minerální část je tvořena erodovanými zbytky hornin z matečné horniny. Organická složka je buď živá anebo mrtvá (též neživá). Živá složka neboli edafon, je tvořena rostlinnými a živočišnými organismy. Mrtvá (též neživá) složka neboli humus má původ v samotné půdě, ale také se na ní podílejí látky cizího původu (Laník a Halada, 2006).

Amézketa (1999) uvádí pozitivní vztah mezi organickou hmotou a stabilitu půdních agregátů ve vodě. Například huminové kyseliny a jíly vytváří velmi stabilní organominerální komplexy, které hlavně u mikroagregátů mají významnou stabilizační funkci (Tisdall a Oades, 1982).

Hlavní organické tmely, které se podílejí na stabilizaci půdních agregátů jsou dle Cambardella (2002) hlavně humusové látky, které tvoří silné vazby s půdními minerálními složky a tvoří tak základ pro tvorbu nejmenších agregátů. Dále polysacharidy, které slouží jako tmel mezi organickými a minerálními složkami, kořeny rostlin a hyfy hub, které zaplétají agregáty a současně vylučují polysacharidy. Důležitou roli hrají i známé žížaly (*Lumbricus terrestris*), které mícháním organické hmoty a jílu s rozkládajícími se zbytky tvoří větší agregáty. Mnoho let se již organická hmota pro tvorbu a udržování vodo-stabilních agregátů v půdě považuje za velmi důležitou (Chaney a Swift, 1984; Oades, 1993).

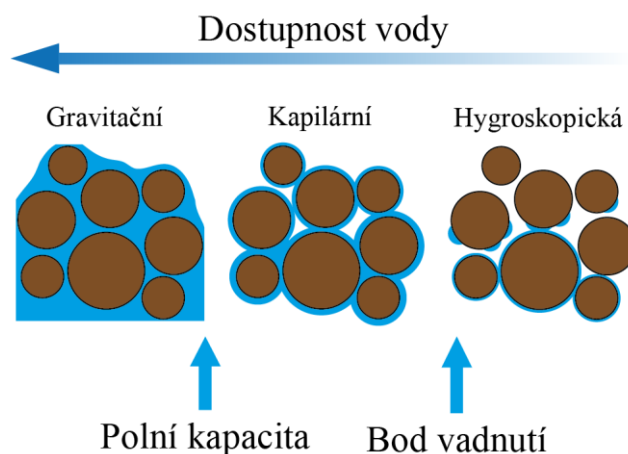
3.2.2 Kapalná fáze

Kapalnou fází půdy rozumíme vodu v půdě. Tato voda se vyznačuje svými dispergačními (též rozptylovými), rozpouštěcími, transportními a hydrolytickými účinky. Umožňuje a dává vzniknout koloběhu látek jako nenahraditelného faktoru pro společenstva žijící v půdě a vegetaci. Voda v půdě není nikdy chemicky čistá, protože jsou v ní obsaženy rozpuštěné organické i minerální sloučeniny. Půdní voda je nositelem půdních reakcí a důležitým faktorem pro úrodnost půdy (Laník a Halada, 1960).

Množství půdní vody je silně variabilní, pohybuje se v rozmezí od úplného minima, kdy je půda suchá, až po úplné zaplnění půdních pórů vodou, kdy je půda přemokřená a voda může volně proudit mezi prostory půdních částic. Složení a koncentrace půdního roztoku je taktéž silně variabilní a závisí na mnoha faktorech, jsou výsledkem působení mnoha fyzikálních, chemických, ale i biologických procesů probíhajících v půdě v úzké souvislosti s teplotou, vlhkostí a složením pevné fáze půdy. Množství půdní vody, tedy vody samotné v půdě lze vyjádřit hmotnostním obsahem vody, je to hmotnost vody na jednotku hmotnosti půdy. Množství půdní vody lze udávat i jako objemový obsah vody, což je objem vody na jednotku objemu půdy (Šimek, 2005).

Rozlišovat můžeme, například z hlediska produkčního, tři druhy půdní vody, které mezi sebou vytváří jisté kontinuum:

- 1) Gravitační. Gravitační vodou rozumíme vodu, která mezi prostory mezi půdními částicemi volně proudí. Je pro rostliny využitelná. Dá se vyjádřit i jako zaplněnost půdních pórů.
- 2) Kapilární. Kapilární vodou rozumíme vodu, kterou jsou obklopeny půdní částice, a to na jejich povrchu formou vodní vrstvy, která je dána povrchovým napětím vody, adsorpčními a kapilárními silami. Vrstvy se volně prolínají a přerušují. Je pro rostliny stále využitelná.
- 3) Hygroskopická. Hygroskopickou vodou rozumíme vodu, která je vázaná na povrchu půdních částic. Hygroskopická voda již prostředím volně neproudí, není tak pro rostliny využitelná.



Obrázek 3: Druhy půdní vody s naznačením hydrolimitů. Vytvořeno autorem.

Mezi kontinuem těchto druhů půdních vod se nachází dva hydrolimity. Jsou jimi polní kapacita, a hlavně bod vadnutí. Polní kapacitou, přesněji polní vodní kapacitou se označuje množství vody, které je půda schopna zadržet po delší dobu po úplném nasycení pórů vodou. Je velmi podobná k retenční vodní kapacitě, liší se od sebe způsobem stanovení. Bodem vadnutí se označuje stav, kdy je příliš málo dostupné vody v půdě pro rostliny a tyto rostliny tak začínají vadnout (Jandák a kol., 2003).

3.2.3 Plynná fáze

Plynnou fází je půdní vzduch, který v půdě vyplňuje místa nevyplněná vodou. Dusík je v elementární formě vázán mikroorganismy, kteří v půdě žijí. Kyslík je v půdě obsažen z 10 až 20 %, a je pro dýchání půdních mikroorganismů a oxidaci látek nezbytný. Prostřednictvím rozkladu částí rostlin a dýcháním mikroorganismů v aerobních podmínkách v půdě vzniká oxid uhličitý, kterého spodní vrstva půdy obsahuje 0,3 až 5 % a ornice 0,1 až 1 % (Laník a Halada, 1960).

3.3 Půdní struktura

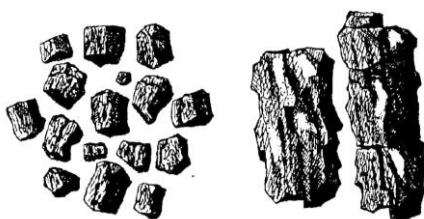
Na základě viditelného stupně vývoje půdní struktury se mohou půdy rozdělit na tři skupiny dle Kutílka (1978):

- 1) Půdy nestruturní – nejsou patrné agregáty, půda může být rozdrobena do náhodných tvarů (pseudoagregátů). Jsou ve vodě nestabilní a rozplavují se. Po deštích na nestruturní půdě vzniká půdní škraloup a po orbě tvoří velké hroudy
- 2) Půdy se slabě vyvinutou strukturou – převládá podíl nestruturního materiálu
- 3) Půdy struturní – s vyvinutou strukturou. Agregáty se od sebe velmi snadno oddělují, jsou pevné a ve vodě stabilní

Dle tvaru a velikosti agregátů lze půdní struktury rozlišit jako hrudovitá, hrudkovitá, drobovitá (zrnitá), jemně drobovitá (jemně zrnitá), práškovitá, hrubě polyedrická, polyedrická, drobně polyedrická (krupnatá), kostková, kostěčková, hrubě prizmatická, prizmatická, drobně prizmatická, sloupcovitá, deskovitá, destičkovitá a lístková (Tomášek, 2000). Půdní strukturu definuje mimo jiné to, jak jsou v půdě uspořádány pevné částice anebo póry vyplněny vzduchem či vodou a taky jak jsou vzájemně tyto póry provázány (Bronick a Lal, 2005).



Obrázek 4: Půdní struktura zleva: hrudkovitá a polyedrická (Tomášek, 2000).



Obrázek 5: Půdní struktura zleva: kostěčková a prizmatická (Tomášek, 2000).



Obrázek 6: Půdní struktura destičkovitá (Tomášek, 2000).

3.4 Půdní zrnitost

Půdní zrnitost je ukazatelem zrnitostního rozboru půdy, je to procentuální zastoupení jednotlivých frakcí pevné fáze půdy v celém objemu. Je základem pro klasifikaci dle půdního druhu. Při rozboru dojde ke zjednodušenému kulovitému tvaru jednotlivých částic. Zrnitost se určuje například pomocí sedimentace, nebo prostřednictvím sít.

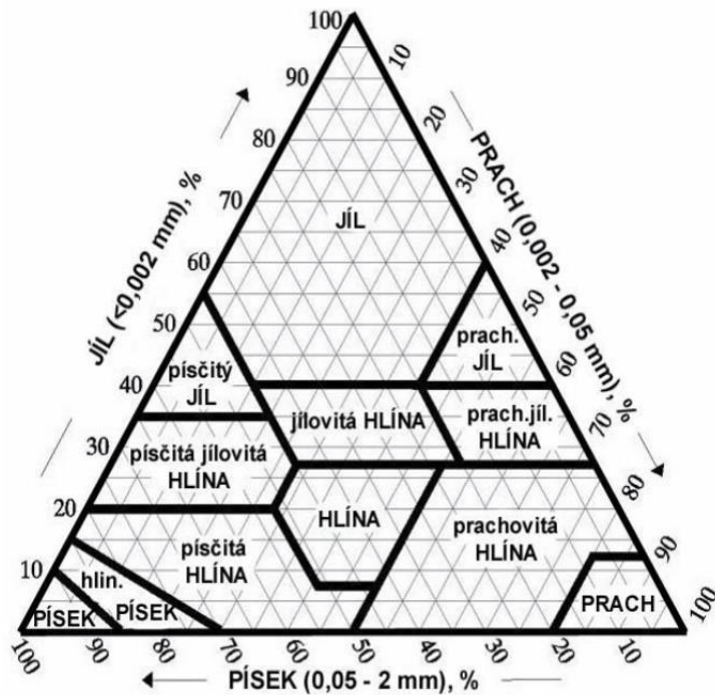
Půdní částice o velikosti větší, než 2 mm se označují za skelet. Půda nebo zemina bez skeletu se označuje za jemnozem. V případě, že vzorek obsahuje více, než 10 % částic skeletu, je potřeba provést stanovení skeletu.

Následující tabulka uvádí názvy jednotlivých druhů půd na základě jejich procentuálního obsahu částic menších, než 0,01 mm.

Tabulka 1: Zrnitostní frakce půdy dle Nováka (upraveno dle Tomášek, 2000)

Obsah částic < 0,01 mm [%]	Označení druhu půdy	Zkratka	Klasifikace půdy
0-10	Písčítá	P	Lehká
10-20	Hlinitopísčítá	HP	
20-30	Písčitohlinitá	PH	Středně lehká
30-45	Hlinitá	H	
45-60	Jílovitohlinitá	JH	Těžká
60-75	Jílovitá	JV	
> 75	Jíl	J	

Pro určení půdního druhu slouží trojúhelníkový klasifikátor, na svých osách obsahuje procentuální zastoupení půdních částic dle jejich názvu a velikostí. Protnutí vynesných pomocných čar určuje název půdního druhu.



Obrázek 7: Klasifikační trojúhelník (Kutílek, 1978)

Důležitou vlastností diskrétních částic je půdní zrnitost. Čára zrnitosti je součtová čára vynesena v grafu, kde na vodorovné ose jsou procenta hmotnosti menší nebo rovny než průměr zrna, který je vyneseny v logaritmickém měřítku na ose vodorovné. Udává zastoupení částic dle velikosti v procentech hmotnosti. Používá se pro stanovení půdního druhu, odhady půdních parametrů a pro návrh závlah, odvodnění a dalších inženýrských prací.

3.5 Bonitně půdně ekologické jednotky (BPEJ), charakteristika

Z kódu BPEJ můžeme získat důležité informace o zemědělské půdě ještě před zahájením terénních prací. Můžeme tak volit správný postup odběru vzorků, odstranění skeletu z půdy (je-li to nutné) a další přípravu a postup. Výhodou je jejich volná dostupnost online. BPEJ dává podrobné informace o produkční, genetické, ekologické, retenční, geologické, morfologické, klimatické a hydrologické charakteristice daného stanoviště území (SPÚ, 2024).



Obrázek 8: Kód BPEJ, popis jednotlivých číslic.
Vytvořeno autorem.

Pětimístný kód BPEJ je dostupný v katastru nemovitostí a je dle § 2 vyhlášky č. 227/2018 Sb. charakterizován klimatickým regionem, hlavní půdní jednotkou, sklonitostí a expozicí ke světovým stranám, skeletovostí a hloubkou půdy, jež specifikují hlavní půdní a klimatické podmínky hodnoceného pozemku, přičemž

- a) klimatický region zahrnuje území s přibližně shodnými klimatickými podmínkami pro růst a vývoj zemědělských plodin podle přílohy č. 1 k této vyhlášce; je vyjádřen první číslicí pětimístného číselného kódu,
- b) hlavní půdní jednotka je účelovým seskupením půdních forem příbuzných vlastností podle přílohy č. 2 k této vyhlášce; je vyjádřena druhou a třetí číslicí pětimístného kódu,
- c) sklonitost a expozice ke světovým stranám vystihuje utváření povrchu zemědělského pozemku podle přílohy č. 3 k této vyhlášce; jsou vyjádřeny čtvrtou číslicí pětimístného číselného kódu, která je výsledkem jejich kombinace, a
- d) skeletovitost, již se rozumí kombinace obsahu šterku a kamene v ornici a obsahu šterku a kamene v spodině do 0,6 m, a hloubka půdy podle přílohy č. 4 k této vyhlášce jsou vyjádřeny pátou číslicí pětimístného číselného kódu, která je výsledkem jejich kombinace.

3.6 Půdní agregáty

Půdní agregát je dle Soils Science Society of America (1997) skupina shluků primárních půdních částic, které k sobě přiléhají silněji než k ostatním okolním částicím. Jsou to tedy shluky základních půdních složek, jimiž jsou hlavně jíl, prach, písek a půdní skelet, dále pak organická hmota, živé organismy, voda a vzduch v půdě. Půdní agregáty je možné dělit na mikroagregáty (menší než 0,25 mm) a na makroagregáty (větší než 0,25 mm) (Bronick a Lal, 2005).

Mohou být stabilní, tedy takové, které se ve vodě nerozpadají (vodo-stabilní), nebo nestabilní (též pseudoagregáty), které se ve vodě rozpadají. Půdní agregáty jsou formovány kombinací procesů shlukování a fragmentace (Six a kol., 2004; Yudina a Kuzyakov, 2019).

Shlukování částic do agregátů (agregace) neboli tvorba půdních agregátů je přirozená vlastnost půdy. Půdní struktura ovlivňuje možnosti retence srážkové vody, rozpouštění půdních látek, transport a usazování těchto látek, především u kořenového systému. Významnou složkou, která se podílí na půdní struktuře jsou živé organismy jako kořeny rostlin, půdní rostliny a půdní mikroby (Carter, 2004).

Stále více se vlastnosti půdních agregátů využívají i v modelech pro určování hydraulických vlastností půd. (Rieu a Sposito, 1991a, 1991b; Nimmo, 1997; Kosugi a Hopmans, 1998).

3.6.1 Stabilita půdních agregátů

Agregáty nestabilní se rozpadají na menší části, a to až i na základní půdní složky, jako jsou jíl, prach a písek. Odolné tedy stabilní půdní agregáty naopak nepodléhají destrukci, a tedy vodo-stabilní agregáty nepodléhají destrukci při kontaktu s vodou ať už dopadající ze srážek, nebo s vodou stojatou. S větší intenzitou deště a rostoucí energií vodních kapek se půdní agregáty rozpadají intenzivněji a na úměrně menší, dílčí agregáty (Vaezi a kol., 2017).

Důležitým parametrem kvality půdy je právě stabilita půdních agregátů proti rozpadu na agregáty menší. Prokazuje se, že intenzivní obdělávání půdy její strukturu zhoršuje a tím zvyšuje riziko půdní eroze (Kladivko, 2001). Rozpadem uvolněný materiál z půdních agregátů je například u přívalových dešťů transportován do půdních pórů a v půdních pórech se i usazuje. Snižuje se tak průchodnost daných pórů pro vodu, která by jinak mohla vsakovat do půdy. Tím se zvyšuje povrchový odtok a tím roste efektivita vodní eroze (Barthés a Roose, 2002).

Stabilita a tvorba agregátů je závislá na faktorech vnitřních, jako jsou samotné vlastnosti půdy a na faktorech vnějších, jako je klima, topografie a způsob hospodaření na pozemku (Zeraatpisheh a kol., 2019).

Stabilita agregátů je proměnlivá u různých velikostí agregátů. Zpravidla menší agregáty mají větší stabilitu nežli agregáty větší, které vznikají jako shluk právě menších agregátů. Dle Kodešové a kol. (2006) stabilní půdní struktura a uspořádání půdního systému pórů ovlivňuje půdní hydraulické vlastnosti. Taková půdní struktura obsahuje dobře vyvinuté menší i větší půdní agregáty, které jsou odolné proti působení vody a dalších vnějších mechanických vlivů (Dexter, 1988).

Pro určování celkové stability agregátů jsou široce používány právě metody určování vodo-stabilních půdních agregátů (Zhang a kol., 2021).

3.6.2 Meliorace, eroze a protierozní ochrana

Agregace půdy zvyšuje její stabilitu a tím mírní negativní dopady eroze. Naopak půdy s nízkou stabilitou jsou náchylnější. Obsah agregátů je tedy z hlediska eroze, hlavně vodní eroze, důležitá vlastnost půdy.

Meliorační opatření se zpravidla týkají zemědělsky využívaných ploch. Tato opatření lze rozdělit dle účelu, ke kterému mají sloužit. Jsou to: závlahy, odvodnění a protierozní ochrana půdy (Svoboda, 1961), dále můžeme meliorace chápat v kontextu zakládání a obnovy rybníků a kultivace zemědělsky méně výhodných půd.

Závlahy jsou v České republice vybudovány zhruba na 4 % zemědělsky využívaných ploch. V České republice je odvodněna zhruba jedna čtvrtina, tedy 25 % zemědělsky využívaných ploch (Soukup a kol., 2007) a v rámci České republiky plní odvodňovací stavby a historicky plnily důležitou roli v tvorbě kulturní zemědělské krajiny (Štibinger a Kulhavý, 2010).

Vodní erozi lze definovat jako složitý proces, zahrnující rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic působením vody. Rozlišujeme na erozi normální, ta neustále přetváří reliéf území, je přirozená, probíhá postupně a z hlediska lidské generace je prakticky nepozorovatelná, je v rovnováze nebo souladu s půdotvorným procesem. Rozlišujeme navíc ještě erozi zrychlenou, ta smývá půdní částice v takovém rozsahu, že nemohou být nahrazeny dostatečně rychle půdotvorným procesem. Je silně ovlivněna lidskou činností, způsobem hospodaření a pěstovanou plodinou na půdních blocích. Je nutné půdní bloky před touto erozí účinně chránit. Vodní eroze ohrožuje více než 50 % výměry orné půdy v rámci České republiky (Novotný, 2014).

Mimo to, že půdní částice vlivem vodní eroze fyzicky chybí na zemědělských plochách, tyto půdní částice způsobují další škody. Velkou část splavenin tvoří jemné částice půdy, ty mohou zanášet vodní nádrže a jiné stavby na vodních tocích a snižují tak jejich kapacitu a životnost. Čištění od splavenin je mnohdy velmi nákladné (Holý, 1994).

Opatření proti vodní erozi mohou být:

- a) Organizační (delimitace kultur, zatravnění, zalesnění, úprava tvaru a velikosti pozemku, protierozní osevní postup, směr výsadby plodin)
- b) Agrotechnická (výsev do strniště, hrázkování, důlkování, zatravnění v meziřadí)

- c) Technická
 - a. průlehy
 - b. zatravněné údolnice
 - c. příkopy
 - d. nádrže

V České republice je méně častá i větrná eroze a obdobně jako u vodní se jedná o přírodní jev, při kterém vítr působí na půdu svou mechanickou silou, rozrušuje půdní agregáty a uvolňuje půdní částice, které uvádí do pohybu a přenáší na různou vzdálenost. Po snížení rychlosti větru se částice ukládají zpět na zemský povrch (Novotný, 2014). Jako ochrana před větrnou erozí se používají umělé zábrany, nebo větrolamy (Janeček, 2012).

3.7 Langův dešťový faktor

Nástrojem pro určení klimatických podmínek je mimo jiných Langův dešťový faktor. Lang, narozený roku 1915 uvedl jako první rovnici níže uvedenou, a to jako poměr průměrných ročních srážek a průměrných ročních teplot (Moreau, 1938).

Langův dešťový faktor poskytuje jednoduchou charakteristiku klimatu dané lokality a dle Zeraatpisheh a kol. (2019) je klima důležitý faktor v tvorbě půdních agregátů. Faktor tak poskytuje možnost rychlého porovnání lokalit mezi sebou na základě teplot a srážek.

Tento nástroj je výhodný hlavně díky dostupnosti dat a rychlosti výpočtu. Koncept Langova dešťového faktoru je založený na vzájemném vztahu teplot a srážek, což ovlivňuje množství vody v krajině a zásobení půdy vodou (Quan a kol., 2013).

Výpočet dle rovnice:

$$L_{DF} = \frac{\bar{P}}{\bar{T}}$$

Kde:

L_{DF} – Langův dešťový faktor

\bar{P} – průměrné roční srážky [mm]

\bar{T} – průměrná roční teplota [°C]

Součástí definice Langova dešťového faktoru je i tabulka klasifikace klimatu na základě výsledné hodnoty L_{DF} , kdy v aridních až semiaridních oblastech je pro rostlinnou produkci nutná závlaha, naopak v perhumidních oblastech je nezbytné odvodnění.

3.8 Metody pro stanovení vodo-stabilních agregátů

Tabulka 2: Přehled metod pro stanovení vodo-stabilních agregátů a jejich rozdílů.

Metoda	Navážka frakce; hmotnost	Čas namáčení	Čas prosevu	Poznámka
Yoder (1936)	N/A; 50 g	N/A	30 min	-
Kemper a Rosenau (1986)	2 – 1 mm; 4g	N/A	3 min dest. voda; 5 min v disp. činidle	Použití disp. činidla anebo UZ
Le Bissonnais (1996)	5 – 2 mm; 4 g	10 min	6 min v ethanolu	3 destruktivní vlivy ^[1]
Kandeler (1996)	2 – 1 mm; 4 g	N/A; 2 h v disp. činidle	5 min; 5 min v disp. činidle	Použití disp. činidla
Bakšajev (Vadjunina a Korchagina, 1986)	7, 5, 3, 2, 1, 0,50 a 0,25 mm; 30 g	2 h v dest. vodě	10 min suchý; 12 min mokrý	Specifická síta; Výpočet procentuálního zastoupení
Modifikovaná metoda Bakšajev (Vadjunina a Korchagina, 1986)	2, 1, 0,5, 0,25 a 0,1 mm; 20 g	2 h	Dle potřeb daného přístroje	Výpočet procentuálního zastoupení
Ultrazvuková BOKU (Svobodová, 2011)	< 2 mm; 20 g	1 min za působení UZ	2 min za působení UZ	Specifická síta

Kde:

dest. – destilovaná

disp. – dispergační

N/A – nedostupné, nestanovené, bez odpovědi, aj.

UZ – ultrazvuk

[1] – blíže vysvětleno v 3.8.4 Metoda dle Le Bissonnais (1996)

3.8.1 Metoda dle Yoder (1936)

Metoda dle Yoder (1936) je jedna z nejstarších metod mokrého prosevu. Původně byla konstruována jako sada šesti sít zavěšených v nádrži s vodou. Pro prosev sloužil pohyb směrem nahoru a dolů a zajišťovaly jej mechanické součásti. Vzorek půdy o hmotnosti 50 g byl umístěn na horní síto a sada byla plně ponořena do vody tak, aby vzorek půdních agregátů byl celý ponořen ve vodě při největší úrovni vynoření. Motor a mechanické součásti ponořovaly a vynořovaly sadu sít 30krát za minutu po dobu 30 minut.

3.8.2 Metoda dle Kemper a Rosenau (1986)

Nejdříve proběhne příprava vysušeného půdního vzorku o velikosti 2 až 1 mm. Z takové frakce vzorku se připraví 4 g. Namočení tohoto vzorku není jasně stanoveno. Následně se vzorky přesunou na síta přístroje a ponoří do destilované vody tak, aby byly vzorky pod vodou při maximálním ponoru přístroje. Po dobu 3 minut se následně tyto vzorky ponořují a vynořují (po dráze o vzdálenosti 1,3 cm) s frekvencí 35krát za minutu.

Následně se nádoby s destilovanou vodou vymění za nádoby s 100 ml dispergačního činidla (hexametafosforečnanu sodného anebo hydroxidu sodného pro půdy s $\text{pH} < 7$. Obojí o koncentraci 2 g/l), alternativně možno použití ultrazvuku. Prosev v činidle probíhá dle potřeby, až na sítěch zůstanou pouze částice písku. V případě, že i po 5 minutách prosevu v činidle na sítěch zůstávají agregáty, se tyto agregáty rozruší tyčinkou a nechají prosít skrz. Následně se vysuší obě sady nádob se vzorky v peci a v případě použití dispergačního činidla se odečítá 0,2 g od výsledné hmotnosti (netřeba při použití ultrazvuku). Tato metoda vyjadřuje stabilitu půdních agregátů a stabilita je vyjádřena jako hmotnost vzorku v nádobkách s dispergačním činidlem dělena součtem hmotnosti vzorku v nádobách s destilovanou vodou i dispergačním činidlem (Nimmo a Perkins, 2002).

Výpočet dle rovnice:

$$S \% = \frac{(M1)}{(M1 + M2)} \times 100$$

Kde:

$S\%$ – procento vodo-stabilních agregátů

$M1$ – hmotnost nádob s dispergačním činidlem [g]

$M2$ – hmotnost nádob s destilovanou vodou [g]

3.8.3 Metoda dle Kandeler (1996)

Postup vyžaduje přípravu vysušeného půdního vzorku o velikosti 2 až 1 mm. Z takto připraveného vzorku se připraví další 4 g vzorky a rozplavují se ponorem a výnorem ve vodě po dobu 5 minut. Vzorky se pomocí destilované vody vymyjí do nádob, ve kterých se budou vysoušet po dobu 24 h při 105 °C. Po zvážení takto vysušených vzorků se do nich přidá dispergační činidlo a po 2 h se pomocí (ideálně skleněné) tyčinky rozruší. Poté se přemístí zpět do přístroje pro rozplavování, kde se opět ponorem a výnorem po dobu 5 minut rozplavují. Následně se síta s rozpuštěnými agregáty a pískem proplachují, než se vyplaví jílové částice. Zbylé pískové částice se pomocí destilované vody vymyjí opět do nádob, ve kterých jsou stejným způsobem po dobu 24 h při 105 °C sušeny. Na závěr se tyto pískové částice zvaží.

Tato metoda vyjadřuje stabilitu půdních agregátů jako procentuální poměr mezi hmotnostmi vodo-stabilních agregátů a hmotnostmi celkových agregátů po odečtení hmotnosti obsaženého písku.

Výpočet dle rovnice:

$$SAS\% = \frac{(M2 - M3)}{w - M3 - M1} \times 100$$

Kde:

SAS% – procento vodo-stabilních agregátů

w – půdní vzorek [g]

M1 – hmotnost nádoby [g]

M2 – hmotnost nádoby se stabilními agregáty a pískem [g]

M3 – hmotnost nádoby s pískem [g]

3.8.4 Metoda dle Le Bissonnais (1996)

Postup metody dle Le Bissonnais (1996) vyžaduje přípravu vysušeného vzorku o velikosti 5 až 2 mm. Takto připravené vzorky podléhají třem testům, které umožňuje oddělit působení jednotlivých mechanismů způsobující destrukci agregátů a každý test simuluje účinky odlišného mechanismu.

První test posuzuje odolnost agregátů proti náhlé zátopě. Postupuje se tak, že do 250 ml kádinek s 50 ml destilované vody se ponoří 4 g agregátů a ponechají se ve vodě 10 minut. Přebytná voda se odpipetuje a agregáty se přemístí na síta speciálního přístroje o velikosti 0,25 mm.

Po přemístění se agregáty ponorem a výnorem v ethanolu promývají po dobu 6 minut, po usazení se přebytečný ethanol opět odpipetuje a následuje sušení po dobu 24 h při 105 °C. Vysušený vzorek se prosévá přes sadu sít o velikostech 2, 1, 0,5 a 0,25 mm a následně se určí jejich hmotnost.

Druhý test posuzuje stabilitu při postupném odvlhčování. 4 g agregátů se ponechají pomalu nasytit vodou. Při vyšším obsahu jílových částic je nutno nechat nasáknout vzorky déle. Následuje obdobně jako u prvního testu přemístění na 0,25 mm síta a promývání v ethanolu. Vzorek se následně opět vysuší a posuzuje se jeho hmotnost ve frakcích 2, 1, 0,5 a 0,25 mm.

Třetí test posuzuje stabilitu při mechanické destrukci. Do 250 ml kádinek s 50 ml ethanolu se ponoří 4 g agregátů a nechají se 10 minut odstát. Tímto se eliminuje působení mechanismů z prvního testu, protože nasycením agregátů ethanolem místo destilované vody se vytěsni vzduch, který by při dalším postupu mohl způsobit roztrhání vzorků. Po 10 minutách se ethanol odpipetuje a agregáty se přemístí do baněk s destilovanou vodou o objemu 250 ml. Baňky se uzavřené otáčejí dvacetkrát dnem vzhůru a poté se nechají v klidu, aby obsah mohl sedimentovat po dobu 30 minut. Voda se následovně odpipetuje a agregáty opět převedou na síta 0,25 mm a promývají se ponorem a výnorem po dobu 6 minut v ethanolu. Následuje obdobně jako u předešlých testů vysušení a prosev přes sadu sít 2, 1, 0,5 a 0,25 mm.

Tato metoda vyjadřuje stabilitu agregátů pomocí koeficientu vulnerability, který vyjadřuje zmenšení agregátů vlivem působení daného destrukčního mechanismu, určuje se rovnicí níže, kdy v případě že je její výsledek blíže jedné, znamená tím větší stabilitu agregátů

Výpočet dle rovnice:

$$Kv = \frac{x}{MWD}$$

Kde:

Kv – koeficient vulnerability

x – střední vážený průměr agregátu výchozího vzorku

MWD – střední vážený průměr agregátů

3.8.5 Metoda pro Bakšajevův laboratorní přístroj (citováno ve Vajdunina a Korchagina, 1986)

Metodika Bakšajevova laboratorního přístroje jako první vyžadovala stanovení půdní struktury a agregátů prosevem na sucho. Půdní vzorek byl proséván sítí po dobu 10 minut. Zemina určená k prosévání musí být vysušená a rozdrolena při odběru. Agregáty se při odběru ručně drolí s dodržením jejich přirozených linií. Pokud půda obsahuje skelet, množství zeminy k navážení by mělo být vyšší. Sada sítí byla použita s frakcemi shora 7, 5, 3, 1, 0,50 a 0,25 mm. Navážené množství zeminy se umístí na horní síto (s největšími otvory, tj. > 7 mm) a spustí se prosévání na vibračním přístroji. Doba prosévání je 10 minut.

Po ukončení cyklu se vyseparované agregáty ze sítí přemístí do vhodné nádoby a zváží. Poté se vypočítá procentuální zastoupení jednotlivých frakcí makroagregátů (> 0,25 mm) a provede se přepočítání na vzorek o 30 g. Frakce mikroagregátů (< 0,25 mm) se obvykle vypočítá z rozdílu celkové hmotnosti zeminy (100 %) a součtu jednotlivých frakcí makroagregátů.

Následuje stanovení vodo-stabilních agregátů. Odváží se 30 g zeminy a tento vzorek se přemístí na originální síta přístroje, následuje zalití vzorku destilovanou vodou tak, aby vzorek byl úplně ponořen v kapalině. Po 120 minutách se přístroj shora uzavře a zbývající prostor se vyplní zalitím destilovanou vodou. Po uzavření následuje prosev na mokro po dobu 12 minut. Po uplynutí 12 minut se uvolní zátka spodní trubky a vytékající kašovitá zemina se zachytí do nádoby pod vývodem. Následně se uvolní svrchní kryt a ze sítí se vymyjí zachycené frakce do připravených porcelánových misek (či takových, aby bylo možné v nich frakce sušit při teplotách do 60 °C). Misky by měly být popsány anebo označeny tak, aby nemohlo dojít k záměně frakcí.

3.8.6 Ultrazvuková metoda

V rámci této literární rešerše byla dohledána metoda a přístroj pro stanovení frakcí vodo-stabilních půdních agregátů využívaná na Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) – Institut für Bodenforschung.

Metoda byla založena na zařízení pro rozrušování půdních agregátů vlivem ultrazvuku. Zařízení bylo složeno z ultrazvukové sondy a zesilovače. Pro metodu byl nejdříve připraven půdní vzorek agregátů menších, než 2 mm o hmotnosti 20 g a následně k němu byla přilita destilovaná voda pro vytvoření roztoku. Ultrazvuková sonda byla zavedena do hloubky 1 cm tohoto půdního roztoku. Sonda následně vysílala ultrazvukové vlny, které na půdním roztoku svým působením rozrušovaly agregáty po dobu 1 minuty.

Druhá část metody zahrnovala prosev na sadě o třech sítích pro Českou republiku netypických frakcích 0,63, 0,25 a 0,06 mm po dobu 2 minut. Frakce menší, než 0,06 mm byly ponechány k odtečení. Hmotnosti zastoupených frakcí byly stanoveny po vysušení při 65 °C po dobu 24 h. Jedná se tedy o velmi rychlý proces frakčního stanovení WSA.

Výsledky bylo možno vyjádřit jako procentuální zastoupení daných frakcí 2 až 0,63, 0,63 až 0,25 a 0,25 až 0,06 mm, obvyklých například pro Rakouskou republiku (Svobodová, 2011). S výslednými vzorky je možná další analýza s ohledem na to, že metoda není destruktivní a nevyužívá chemických sloučenin.

3.8.7 Modifikovaná metoda dle Bakšajev (citováno ve Vajdunina a Korchagina, 1986)

Modifikovaná metoda využívá stanovení vzorku pro mokrý prosev jako procentuální reprezentativní vzorek celého půdního vzorku. Postup byl následující: Bylo odebráno 200 g předem vysušené půdy a ta byl podrobena suchému prosevu na sadě sít vibračního přístroje po dobu 10 min. Sada sít měla frakce 2, 1, 0,5, 0,25 a 0,1 mm a frakce menší než 0,1 mm byly zachytávány ve spodní nádobě.

Následoval přepočet a vytvoření 20 g vzorků jako procentuální zastoupení hmotnosti jednotlivých zrnitostních frakcí (krom < 0,1 mm). Takovéto vzorky byly připraveny do plastových nádob a před začátkem případného mokrého prosevu byly vzorky zality a ponechány pro namočení po dobu 120 minut.

4. Metodika

Metodika této práce obsahuje popis metodických kroků a vysvětluje důvody jejich provedení. Popis je formulován tak, aby bylo možné na jeho základě tyto postupy opakovat. Součástí metodiky je popis zájmového území, popis metod a přístrojů včetně postupu jejich schematizace. Na závěr se metodika věnuje zhodnocení vybraných metod a přístrojů.

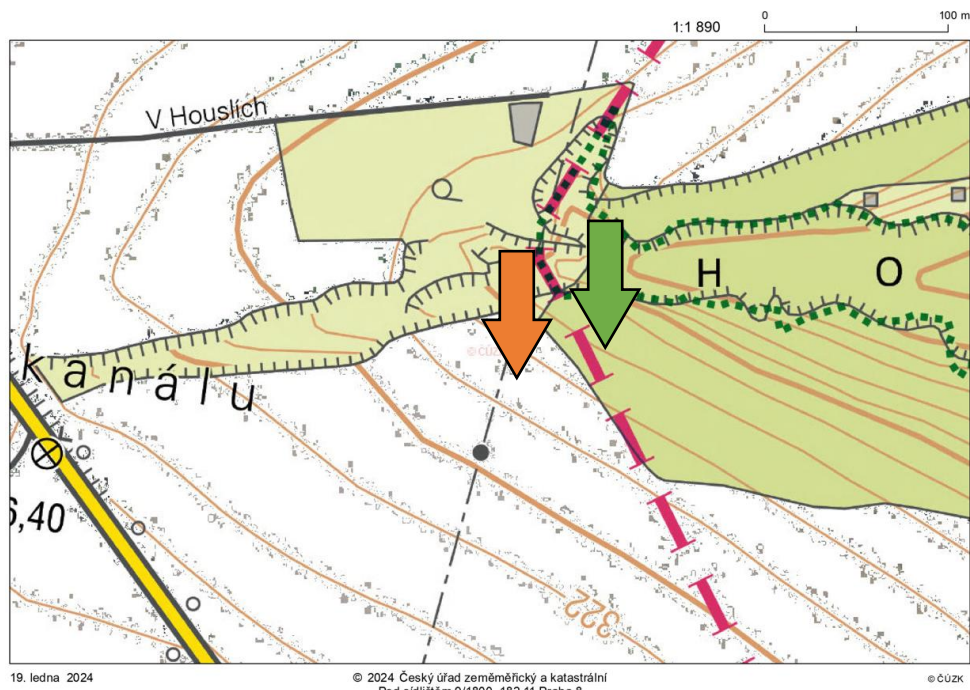
4.1 Popis zájmového území

Zájmovým územím je oblast odběru půdních vzorků. Vzorky byly odebrány na dvou lokalitách, rozděleny využitím a taky administrativně. Lokalita „Housle Les“ se nachází administrativně v obci Lysolaje v Hlavním městě Praha a nedaleká lokalita „Housle Agro“ se nachází už v kraji Středočeském, obci Horoměřice, okrese Praha – západ.

Na lokalitě „Housle Agro“ byla odebrána půda zemědělská a na lokalitě „Housle Les“ byla odebrána půda lesní. Tyto zájmové lokality byly vybrány také proto, že dle Li a kol. (2019) vykazují půdy s pravidelnou orbou nižší agregaci než půdy bez orby. Zpravidla nižší agregace znamená nižší stabilitu, a naopak vyšší agregace znamená stabilitu vyšší.

Tabulka 3: Lokality odběru vzorků půdy „Housle Les“ a „Housle Agro“.

Název lokality	Housle Les	Housle Agro
Stát	Česká republika	
Obec	Lysolaje	Horoměřice
Druhová skladba / Pěstovaná plodina	Smíšený les. 80 % borovice lesní (<i>Pinus sylvestris</i>), 15 % lípy malolisté (<i>Tilia cordata</i>) a 5 % dubu letního (<i>Quercus robur</i>) (ÚHÚL, 2024).	Ozimá pšenice s meziplojinou. Minimálně dvakrát ročně se půda orá.
Kód BPEJ	-	2.25.04
Průměrná nadmořská výška [m n. m.]	319	
Zeměpisné souřadnice lokality S-JTSK (ČÚZK, 2024)	Y: 746 865.38 X: 1 038 331.67	Y: 746 907.38 X: 1 038 338.39



Obrázek 9: Mapa s přibližnou polohou lokalit odběru vzorků "Housle Agro" (oranžová) a "Housle Les" (zelená) (ČÚZK, 2024).

4.1.1 Popis lokality „Housle Agro“

Zájmová lokalita „Housle Agro“ a související bonitovaná půdně ekologická jednotka s kódem 2.25.04 byla dle eKatalogu BPEJ popsána jako:

Kambizemě převážně na rovině nebo úplné rovině se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu 25 až 50 %. Půdy hluboké až středně hluboké v teplém, mírně suchém klimatickém regionu a velmi málo produkční.

Klimatický region půdy byl stanoven číslem 2, teplý, mírně suchý. Tento klimatický region je rozšířen ve středních, severozápadních Čechách i na částech Moravy. Charakteristické pro tuto půdu je průměrná roční teplota 8 až 9 °C a průměrný roční úhrn srážek 500 až 600 mm.

Hlavní půdní jednotka s kódem 25 byla převážně definovaná jako bazické kambizemě na sedimentech, středně skeletovité, středně těžké a s dobrou vodní kapacitou. Hydrologická skupina půdy byla určena jako B, to je půda se střední rychlostí infiltrace. Nebyla stanovena jako náchylná k zamokření ani vysychání, s nižší střední ohrožeností acidifikací a vyšší střední ohrožeností utužením. Byla stanovena bez náchylnosti k větrné erozi.

Sklonitost byla určena jako rovina až úplná rovina. Expozice byla určena jako všesměrná a hloubka půdy byla určena jako půda středně hluboká až hluboká s celkovým obsahem skeletu 20 až 50 %.

4.1.2 Popis lokality „Housle Les“

Zájmová lokalita „Housle Les“ byla stanovena jako smíšený les v přírodním parku Šárka – Lysolaje, se zastoupením 80 % borovice lesní (*Pinus sylvestris*), 15 % lípy malolisté (*Tilia cordata*) a 5 % dubu letního (*Quercus robur*) Vtroušeně: jasan, javor a osika. V podrostu keře: jasanů, habrů a lípy. Tento porost zde roste minimálně 40 let (ÚHÚL, 2024).

Průměrná nadmořská výška zájmového území je 319 m n. m. a nachází se ve vodním pořadí s číslem 1-12-02-0060-0-00, přes Lysolajský potok odtéká voda z povodí až do Vltavy, jenž přes Labe vytéká do Severního moře. Vltava je konečným recipientem.

4.2 Odběr a příprava vzorků

Odběr vzorků dle Dane a Topp (2002) proběhl v období ledna 2023. Pro určení polohy odběru vzorků byl zapsán obecný místopis a byl doplněn fotodokumentací zachycující místo odběru a související objekty, dle kterých by bylo možno dohledat. Zpětně byly také dohledány souřadnice (ČÚZK, 2024).

Do předem označených kbelíků bylo odebráno 5 kg lesní a 5 kg zemědělské půdy. Vzorky dále byly umístěny na papírovou podložku (kvůli zmírnění znečištění pracovní plochy) na kterou byly do rovnoměrné vrstvy rozprostřeny.

Vzorky byly následně ponechány schnout po dobu 14 dní při teplotě přibližně 19 °C. Po úplném vysušení byl odstraněn půdní skelet a příliš velké zbytky listí, kořenů a rostlin.

4.3 Postup při popisu přístrojů

Popis přístrojů byl prováděn slovně a graficky. Ke grafickému znázornění přístrojů byla použita schematizace. Nejdříve byly pořízeny fotografie anebo videa (dle potřeby) daných přístrojů a poté zhotoveny náčrty tužkou na papír. Náčrty zachycovaly hlavní součásti daných přístrojů a intuitivně znázorňovaly jejich funkci. V případě, že nebylo možné přístroj vidět osobně, bylo vycházeno z fotografií nebo obrázků v dohledané literatuře. Snaha byla kladena na to, aby byly přístroje zobrazeny z více úhlů, pokud to bylo vhodné nebo nutné. To vše bylo vypracováno a souběžně korigováno dle pořízené fotodokumentace.

Následně byly tyto náčrty zhotoveny v digitálním prostředí programu Adobe Illustrator 2019 a exportovány jako obrázek formátu jpg. nebo zkopírovány jako výstřižek pro pozdější vložení do textového editoru.

Bylo provedeno hodnocení nevýhod a výhod formou tabulky porovnávací konkrétní vlastnosti daného přístroje. Pro jednoduchou vizuální identifikaci byly na levé straně tabulky voleny nevýhody s červeným podbarvením, na pravé straně byly voleny výhody s podbarvením zeleným.

Za nevýhody byly považovány takové vlastnosti, nebo funkce, které ztěžují nebo prodlužují manipulaci (například množství testovaných vzorků najednou) anebo umožňují ovlivnění výsledků lidským faktorem. Za výhody byly považovány naopak vlastnosti, které manipulaci usnadňují a zkracují čas práce s přístrojem. Součástí hodnocení byl i odhad pořizovacích nákladů. Hodnocena byla možnost práce v terénu. Přesnost výsledků byla hodnocena pro svou výpovědní hodnotu vzhledem k metodě přístroje.

Tabulka 4: Vzor hodnocení nevýhod a výhod pro daný přístroj.

(Název přístroje)	
Nevýhody:	Výhody:
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-

4.4 Postup při porovnávání a hodnocení metod a přístrojů

Přístroje byly posouzeny na základě zvolených vlastností a vyhodnoceny formou čísel od 1 do 10, kdy 1 je nejméně bodů a 10 je nejvíce bodů, např.: Náročnost obsluhy s hodnotou 2 (nízká hodnota) znamená, že přístroj byl náročný na obsluhu. Naopak Náročnost obsluhy 8 (vysoká hodnota) znamená, že přístroj byl na obsluhu nenáročný.

Celkové skóre bylo navíc podbarveno barevnou škálou. Škála je volena tak, aby červená barva symbolizovala nejnižší hodnotu a postupně přes odstíny oranžové a žluté dospěla k nejlepšímu dosaženému hodnocení jako zelená. Začátek této škály byl definován jako 0 (na rozdíl od nejmenší dosažené hodnoty) a konec byl definován jako nejlepší dosažené skóre (na rozdíl od 10 bodů). Barevná škála byla zvolena pro lepší vizualizaci dosaženého skór.

Tabulka níže navazuje na hodnocení jednotlivých metod a přístrojů a jde o jejich souhrn. Shrnuje vybrané vlastnosti přístrojů, které jsou společné.

Možnost práce v terénu hodnotí skladnost, hmotnost a obsluhu přístroje. Časová náročnost hodnotí dobu přípravy a obsluhy. Náročnost obsluhy hodnotí fyzickou pracnost obsluhy. Přesnost výsledků hodnotí výpovědní hodnotu v závislosti na metodě přístroje. Možnost ovlivnění lidským faktorem hodnotí, do jaké míry může člověk dělat při měření chybu a odhad pořizovacích nákladů hodnotí přibližnou cenu přístroje.

Tabulka 5: Vybrané vlastnosti pro výsledné hodnocení přístrojů.

Hodnocené vlastnosti přístrojů	Manuální promývání sít	Přístroj s manuálním nakláněním	Bakšajevův laboratorní přístroj	Inovovaný laboratorní přístroj	Eijkelkamp Wet Sieving Apparatus
Možnost práce v terénu					
Časová náročnost					
Náročnost obsluhy					
Přesnost výsledků					
Možnost ovlivnění lidským faktorem					
Odhad pořizovacích nákladů					
Celkové skóre					

5. Výsledky

Následující kapitoly se věnují zájmové lokalitě a stanovení zrnitostní křivky pro obě půdy. Pro půdy je vyhodnocen půdní druh. Pro vzorky obou půd je vyhodnocena vodo-stabilita půdních agregátů a jejich souhrnné procentuální zastoupení jednotlivých frakcí. Následují podrobné výsledky a zhodnocení nevýhod a výhod pro jednotlivé přístroje.

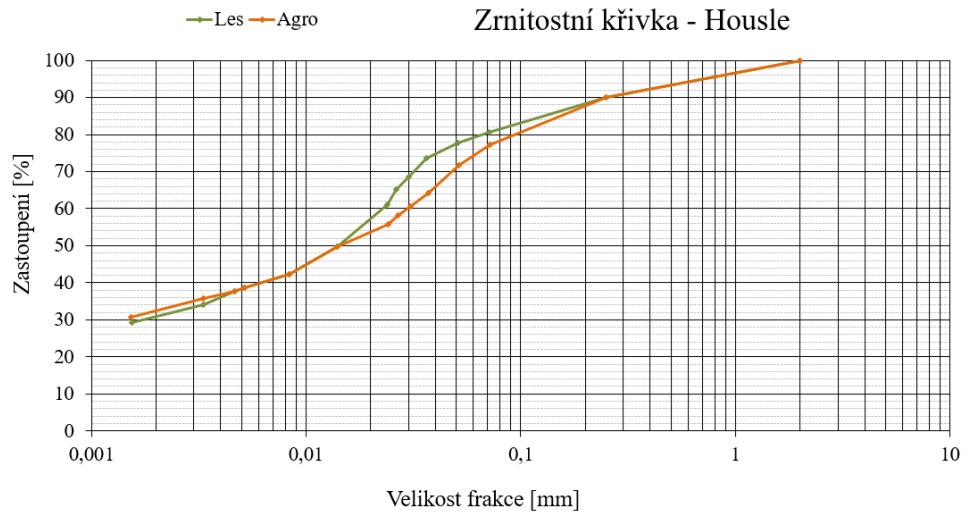
5.1 Výsledky pro půdní vzorky

Pro možnost srovnání více lokalit a půd byl pro zájmovou lokalitu vyhodnocen Langův dešťový faktor. Langův dešťový faktor zájmového území vychází z průměrných ročních srážek, tj. 583 mm a z průměrné roční teploty, tj. 9 °C (ČHMÚ, 2024). Pro tyto hodnoty vychází Langův dešťový faktor v hodnotě 64,78 a území tak spadá do kategorie Semihumidní.

$$L_{DF - Housle} = \frac{583}{9} = 64,78$$

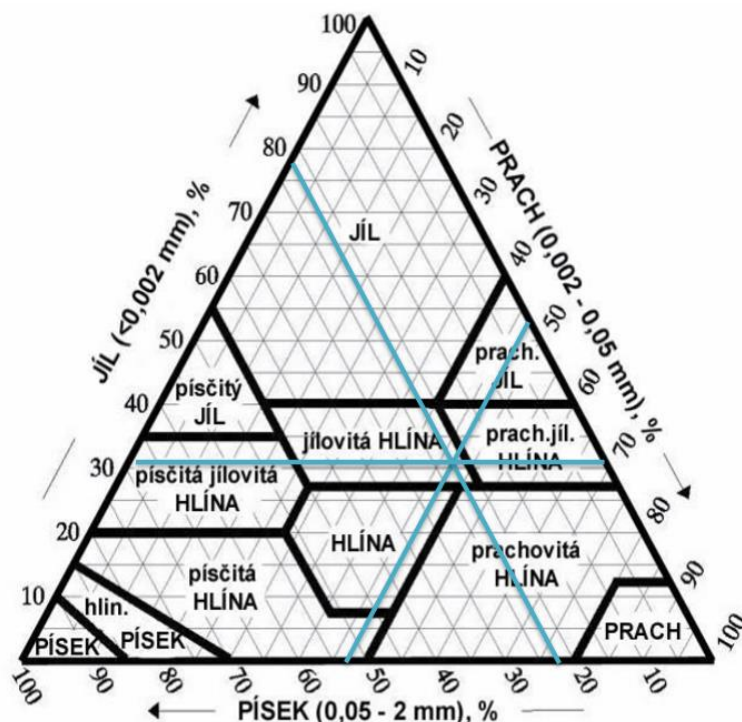
U obou půd byla vyhodnocena zrnitostní křivka s předpokladem, že se nebude příliš lišit svým průběhem. Bylo tak předpokládáno, protože jde svým vznikem o půdu stejnou, akorát se dvěma různými způsoby využití.

Pro stanovení zrnitostní křivky byla využita hustoměrná zkouška. Tato zkouška probíhala 24,5 h. Kalibrovaným hustoměrem byl určován pokles hustoty suspenze, ve které se hustoměr nacházel v předem určených časových intervalech. Půdní vzorky byly před měřením rozrušeny třením v třecí misce a prosety přes síto o velikosti 2 mm. Tím byla vyseparovaná jemnozem, u které se zkouška provádí. Agregáty byly rozrušeny tak, že byly vařeny v dispergačním činidle po dobu 10 minut. Tato suspenze byla vymyta do odměrného válce a dolita do objemu 1000 ml. Ihned bylo zahájeno měření hustoměrem. Měření bylo úbytek hustoty v čase. Časové intervaly byly 30 s, 1 min, 2 min, 5 min, 10 min, 25 min, 50 min, 75 min, 2,5 h, 24,5 h a 48 h. Výsledky byly vyneseny do grafu s vodorovnou osou o zrnitostních frakcích 0,001 až 2 mm v logaritmickém měřítku a na ose svislé s procentuálním zastoupením.



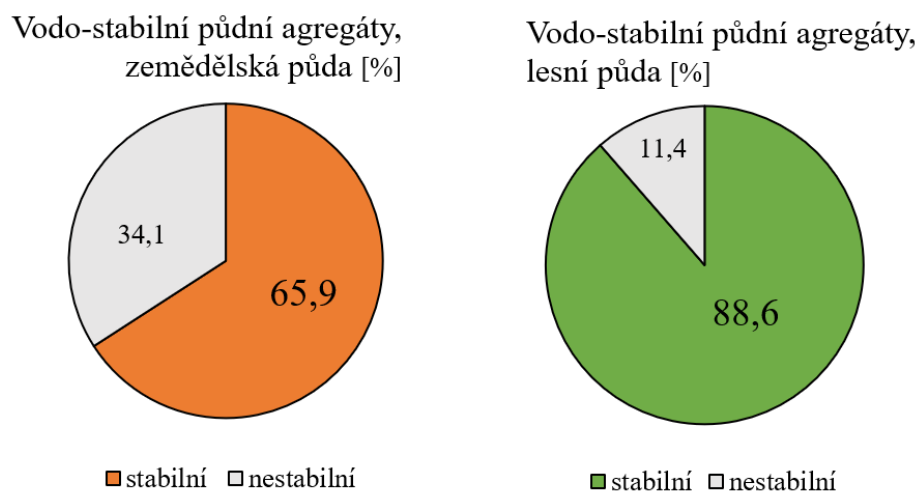
Obrázek 10: Zrnitostní křivka lokalit.

Výsledek hustoměrné zkoušky byl pro obě půdy velmi podobný s největší odchylkou mezi frakcemi 0,02 až 0,08 mm. Jíl byl zastoupen přibližně 31 %, prach 47 % a písek 22 %. Vynesemím tohoto zrnitostního zastoupení částic na klasifikační trojúhelník vyšla klasifikace půdního druhu obou vzorků půd jako jílovitá hlína. Jde tedy o stejnou klasifikaci půdy pro oba vzorky.



Obrázek 11: Půdní druh zkoumané půdy

Vyhodnocení stability obou půd potvrzuje teorii, že zemědělsky využívaná půda je méně stabilní než půda lesní, která zároveň disponuje větší agregací. Zemědělská půda vykazovala cca 66 % vodo-stabilních půdních agregátů a lesní půda vykazovala více, než 88 % vodo-stabilních půdních agregátů (určeno přístrojem Eijkelkamp Wet Sieving Apparatus).

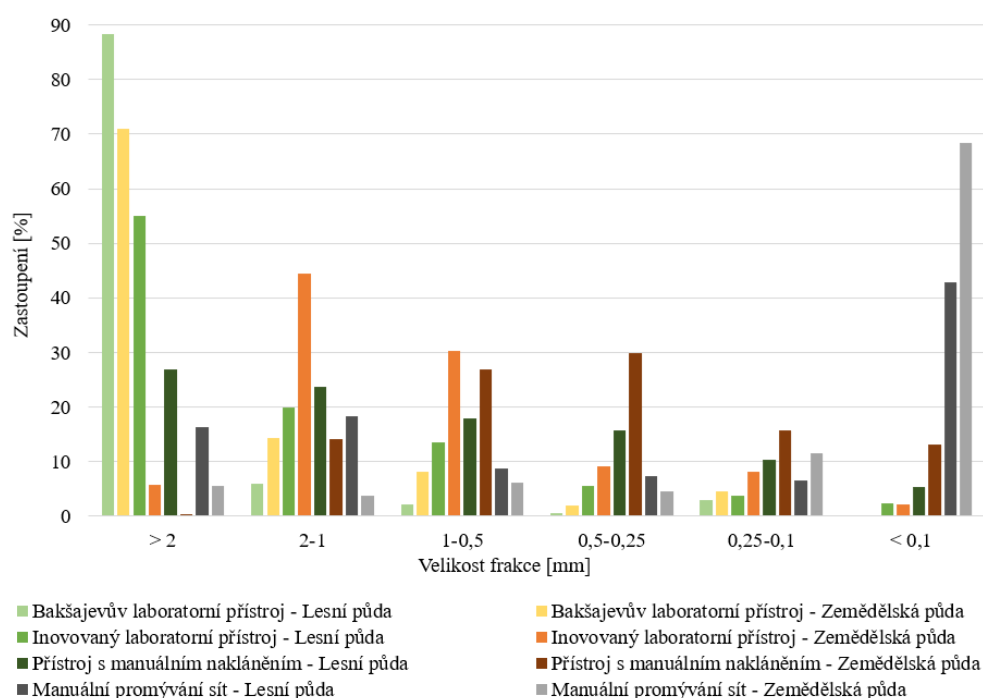


Obrázek 12: Poměr WSA.

Koláčové grafy výše znázorňují poměr ve vodě stabilních a nestabilních půdních agregátů. Hodnoty stabilních či nestabilních půdních agregátů jsou v procentech a jejich součet je pro danou půdu vždy 100.

Neobvykle vysoké zastoupení ve výsledném grafu níže má Bakšajevův laboratorní přístroj pro frakce > 2 mm a to u obou půd, protože tento přístroj využívá navíc síta vyšších frakcí a ty jsou zahrnuty právě v kategorii > 2 mm. Jde tedy o součet frakcí větších, než 2 mm. Blíže je tento přístroj a graf vysvětlen v 5.2.3 Bakšajevův laboratorní přístroj.

Dále je potom neobvykle vysoké zastoupení frakce < 0,1 mm u Manuálního promývání sít. Je to způsobeno nevhodným, až příliš silným a destruktivním způsobem promývání, kdy docházelo k příliš velkému rozrušování agregátů během prosevu. Tyto výsledky jsou blíže vysvětleny v 5.2.1 Manuální promývání sít.



Obrázek 13: Přístroje pro stanovení frakčního zastoupení WSA, výsledky.

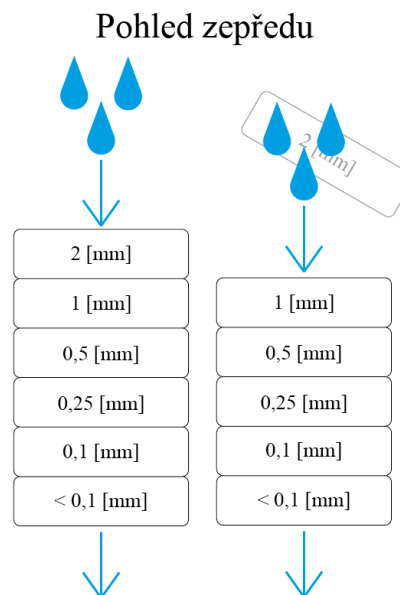
5.2 Výsledky pro jednotlivé přístroje pro stanovení vodostabilních agregátů

Následující kapitoly se věnují přístrojům pro stanovení vodostabilních agregátů. Řazeny jsou od jednodušších po složitější. Až na jeden přístroj se všechny věnují primárně frakčnímu zastoupení těchto agregátů. Jeden přístroj se věnuje celkové stabilitě jako poměru mezi ve vodě stabilními a nestabilními agregáty.

5.2.1 Manuální promývání sít

Manuální promývání sít spočívá v prolévání vodou skrze sadu sít (buď z vodovodní armatury v laboratorních, nebo z pomocné nádoby v terénních podmínkách). Síta jsou vždy po 5 minutách prolévání nebo též promývání manuálně odstraňována postupně shora. Je nutno opatrnosti při manipulaci s odstraňovanými síty a při umisťování. Nutno síta umístit tak, aby byla mimo nebezpečí převržení aj. nehody a aby byla možná zpětně identifikovat (buď označením fixem, štítkem s popisem). Celková doba promývání, se zahrnutím odstraňování sít a jejich umisťování bokem, zabere přibližně 30 minut.

Nestabilní agregáty se vlivem vody a pohybu rozrušují a odtékají s vodou. Je možné tyto nestabilní agregáty zachytávat na konci soustavy pomocnou nádobou.



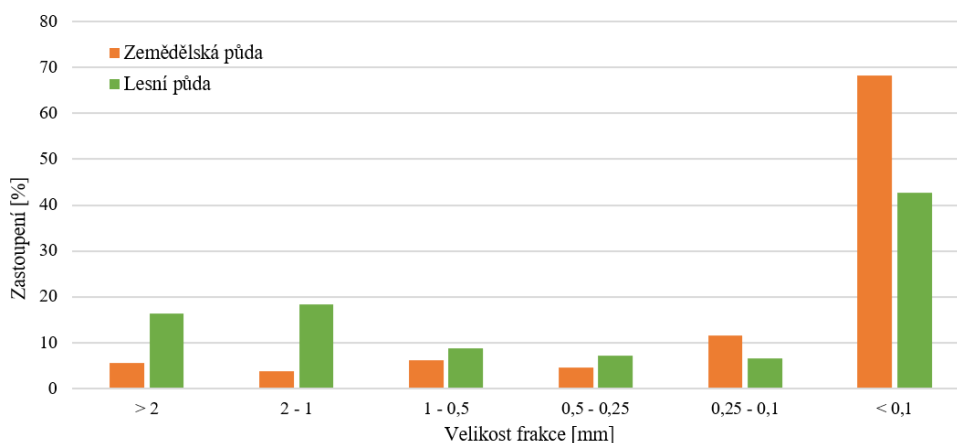
Obrázek 14: Schéma manuálního promývání sít se znázorněním oddělování sít a protékání vody. Vytvořeno autorem.

Tabulka 6: Nevýhody a výhody: Manuální promývání sít.

Manuální promývání sít	
Nevýhody:	Výhody:
Časová náročnost	Jednoduchost konstrukce
Fyzická pracnost	Možnost využití v terénních podmínkách
Nutnost obsluhy po celou dobu prosevu	Možnost použití různých průměrů sít dle nádoby pro ponoření
Možný prosev pouze 1 vzorku	Nízké pořizovací náklady
Výsledky snadno ovlivnitelné lidským faktorem	-

Metoda manuálního prosévání sít sice poskytuje nízkou pořizovací cenu, je ale pracná a časově náročná obsluha sít. Sada sít a součásti lze velmi jednoduše přemísťovat a používat v terénních podmínkách. Vyžaduje ale manuální práci po celou dobu prosevu a s tím souvisí pracnost a časová náročnost.

Hodí se převážně pro malý počet vzorků a malý počet opakování (hlavně kvůli skutečnosti, že lze prosévat pouze jeden vzorek), ideálně by měla sloužit jako metoda s dobrou výpovědní hodnotou výsledků (za předpokladu správné manipulace), ale dlouhodobě neefektivní pro vyhodnocování většího množství vzorků.



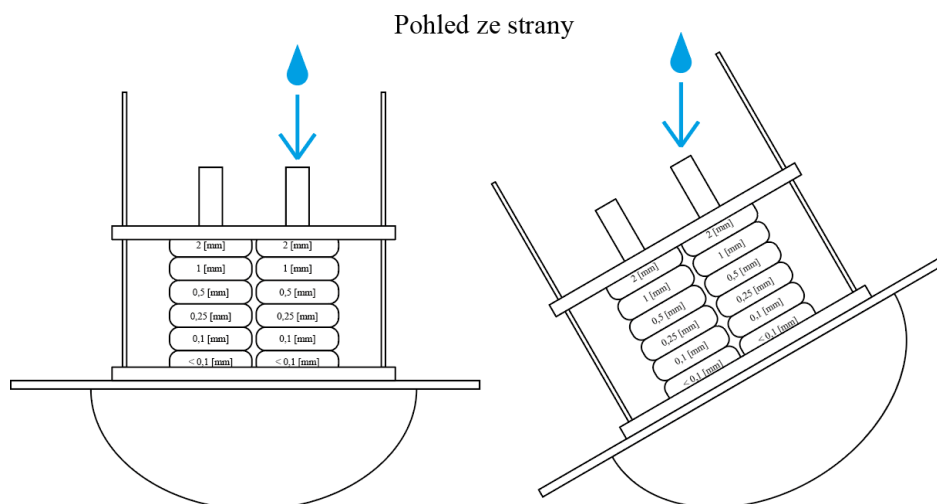
Obrázek 15: Výsledky manuálního promývání sít.

5.2.2 Přístroj s manuálním nakláněním

Přístroj sestává z plastových částí s možností rozložení pro snadný transport a využívá modifikovanou metodu dle Bakšajev (citováno ve Vajdunina a Korchagina, 1986). Spodní část přístroje je oblá a umožňuje náklon 90° . 10 g vzorek byl namočen po dobu 2 h a následně se vkládá na horní síto do sady sít o frakcích 2, 1, 0,5, 0,25 a 0,1 mm. Na konci sady byla umístěna záchytná nádoba, která mimo zachytávání menších frakcí také udržovala vodu v sadě sít.

Do sít byla nalita voda do asi jedné poloviny objemu celé sady. Následně byla sada sít přemístěna do přístroje a upevněna pomocí matek. Potom byla voda dolita po horní okraj sady sít.

Takto může začít samotný mokrý prosev. Při prosevu dochází manuálním nakláněním přístroje v úhlu 45° na obě strany. Rychlost náklonu je nutno udržovat manuálně. Prosev trvá 10 minut a náklon z jedné strany na druhou by měl trvat 6 vteřin. Výsledně by tedy mělo dojít během 10 minut ke 100 náklonům. Poté jsou síta vyjmuta a získané frakce opatrně přemístěny vymytím na misky. Misky jsou následně vysušeny při přibližně 55°C po dobu 24 h. Nakonec byly frakce zváženy a bylo stanoveno procentuální zastoupení frakcí vodo-stabilních agregátů.

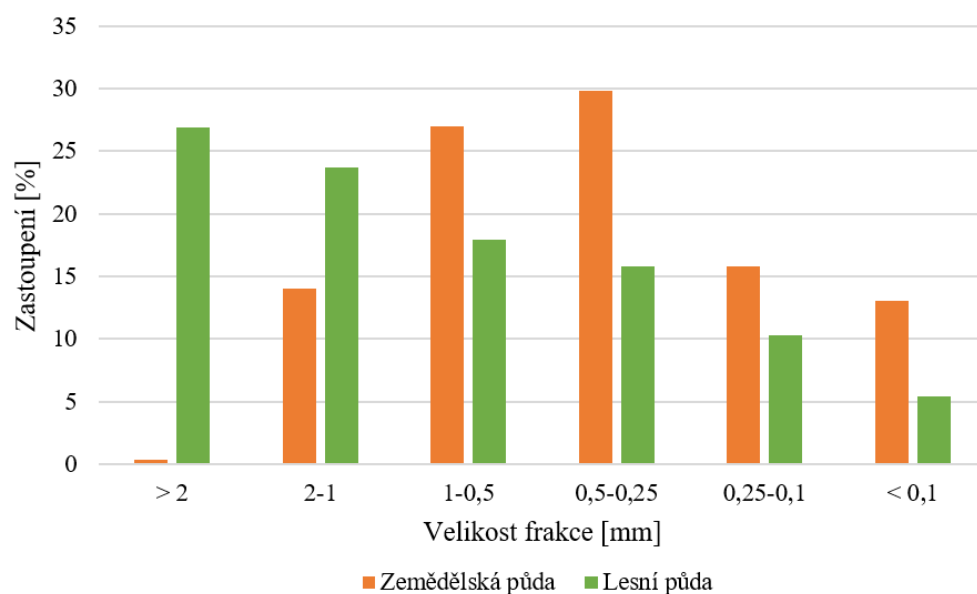


Obrázek 16: Schéma přístroje s manuálním nakláněním se znázorněním náklonu.
Vytvořeno autorem.

Tabulka 7: Nevýhody a výhody: Přístroj s manuálním nakláněním.

Přístroj s manuálním nakláněním	
Nevýhody:	Výhody:
Nutnost obsluhy po celou dobu prosevu	Možné v jednom opakování prosévat až 4 vzorky
Fyzická pracnost	Složitelný a jednoduchý na transport
Možné ovlivnění výsledků subjektivním způsobem prosevu	Možnost využití v terénních podmínkách
Nutno namočit vzorek na 120 min před zahájením prosevu	Doba prosevu 12 minut
-	Nízké pořizovací náklady
-	Velmi podobné výsledky jako například u přístroje Inovovaný laboratorní přístroj

Přístroj s manuálním nakláněním sice poskytuje nízkou pořizovací cenu, je ale pracné a časově náročné jeho používání. Přístroj a jeho součásti lze přemísťovat a používat v terénních podmínkách, vyžaduje ale montáž (možno přemísťovat i kompletně smontované, avšak hrozí ohyb a jiné poškození částí přístroje). Vyžaduje ale manuální práci po celou dobu prosevu a s tím souvisí pracnost a časová náročnost metody, která zahrnuje namočení vzorků na 120 min před zahájením prosevu. Hodí se pro střední počet vzorků a nižší počet opakování (lze prosévat čtyři vzorky v jednom opakování), ideálně by měla sloužit jako rychlá metoda s dobrou výpovědní hodnotou výsledků (srovnatelnou se zdánlivě pokročilejšími přístroji), ale dlouhodobě málo efektivní pro svou časovou náročnost a pracnost.

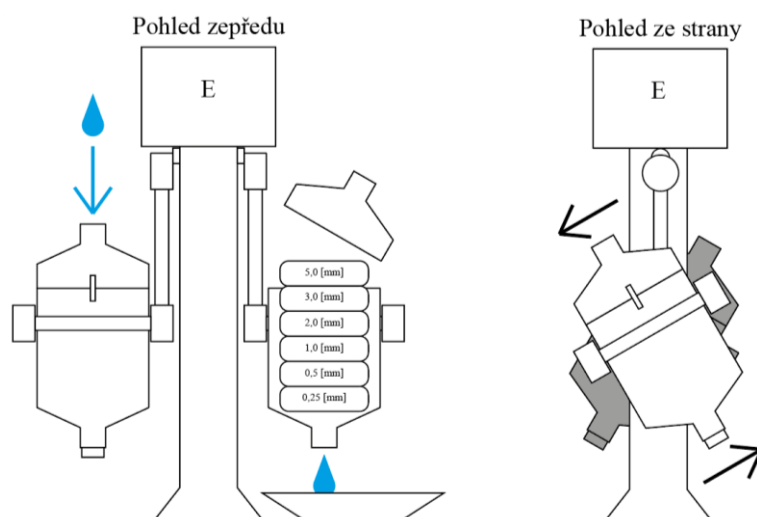


Obrázek 17: Výsledky přístroje s manuálním nakláněním

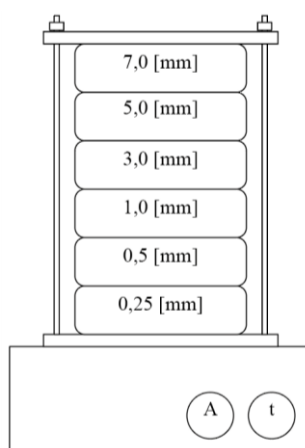
5.2.3 Bakšajevův laboratorní přístroj

Příprava vzorku pro mokrý prosev zahrnovala prosev suchý. Ten byl proveden na vibračním přístroji, na kterém byla upevněna sada sít. Sada sít byla použita s frakcemi shora 7, 5, 3, 1, 0,50 a 0,25 mm.

Bakšajevův laboratorní přístroj je konstruován tak, aby bylo možné souběžně analyzovat dva vzorky zeminy, i jiných půd. Počet opakování prosevu na vzorku určuje přesnost stanovení daných vodo-stabilních agregátů. Jeho součástí jsou dvě nádoby upevněné na pohyblivých ramenech. Tato ramena vytváří kývavý pohyb, kdy se jedno rameno naklání vždy opačným směrem k tomu druhému. Nádoby jsou konstruovány s vypouštěcím otvorem v nejnižším místě. Tento otvor je během mokrého prosevu opatřen zátkou. Přístroj využívá metodu dle Bakšajev (citováno ve Vajdunina a Korchagina, 1986).



Obrázek 18: Schéma Bakšajevova laboratorního přístroje se znázorněním kývavého pohybu v opačných směrech (E jako motor). Vytvořeno autorem.

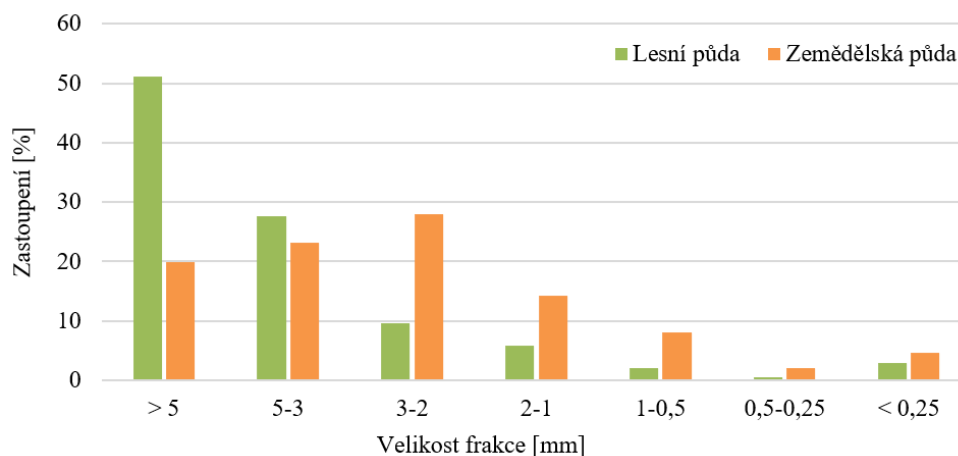


Obrázek 19: Schéma vibračního přístroje pro suchý prosev, pro tzv. navážku (A jako Amplituda a t jako čas). Vytvořeno autorem.

Tabulka 8: Nevýhody a výhody: Bakšajevův laboratorní přístroj.

Bakšajevův laboratorní přístroj	
Nevýhody:	Výhody:
Nelze efektivně využít v terénu	Přístroj po dokončení prosevu automaticky ukončí činnost pomocí časovače
Fyzická pracnost	Jedno opakování vyhodnotí 2 vzorky současně
Možné ovlivnění výsledků subjektivním způsobem prosevu	Sada originálních sít (mohou být ale obtížně dostupná)
Nutno namočit vzorek na 120 min před zahájením prosevu	Snadno pochopitelná metodika
Občasná nepravidelnost může způsobit drobnou chybu.	-

Bakšajevův laboratorní přístroj je opatřen časovačem, není tedy nutné věnovat se prosevu po celou dobu jeho průběhu. Zároveň je během jednoho opakování možno vyhodnocovat dva vzorky současně. Nutno zmínit, že přístroj využívá pouze sadu originálních sít (5, 3, 2, 1, 0,5 a 0,25 mm), což může být výhodou v jednotném postupu a měření, ale nevýhoda v případné obtížné dostupnosti náhradních sít. Přístroj vyžaduje 120 minut na namočení vzorků před zahájením prosevu.



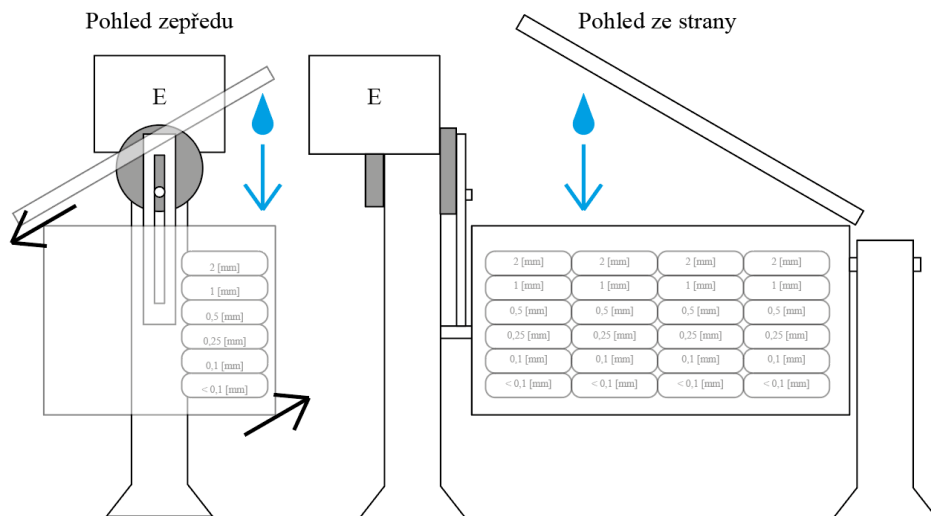
Obrázek 20: Výsledky Bakšajevova laboratorního přístroje.

5.2.4 Inovovaný laboratorní přístroj

Přístroj je konstruován jako nádoba uchycená na dvou ramenech. Nádoba je spojena s mechanismem, který vykonává naklání přístroje o 45° na každou stranu. Přístroj využívá, stejně jako Přístroj s manuálním nakláněním, modifikovanou metodu dle (Vadjunina, 1986). Stejně tak 10 g vzorek byl namočen po dobu 2 h a následně se vkládá na horní síto do sady sít o frakcích 2, 1, 0,5, 0,25 a 0,1 mm. Na konci sady byla umístěna záchytná nádoba, která mimo zachytávání menších frakcí také udržovala vodu v sadě sít.

Do sít byla obdobně nalita voda do asi jedné poloviny objemu celé sady. Následně byla sada sít přemístěna do inovovaného přístroje. Potom byla voda dolita po horní okraj sady sít.

Přístroj se může spustit a jeho prosev trvá přibližně 14 min a 30 sekund. Přístroj za tuto dobu vykoná 12 cyklů (náklon ze strany na stranu o 90°). Poté jsou síta vyjmuta a získané frakce opatrně přemístěny vymytím na misky. Misky jsou následně vysušeny při přibližně 55 °C po dobu 24 h. Nakonec byly frakce zváženy a bylo stanoveno procentuální zastoupení frakcí vodo-stabilních agregátů.

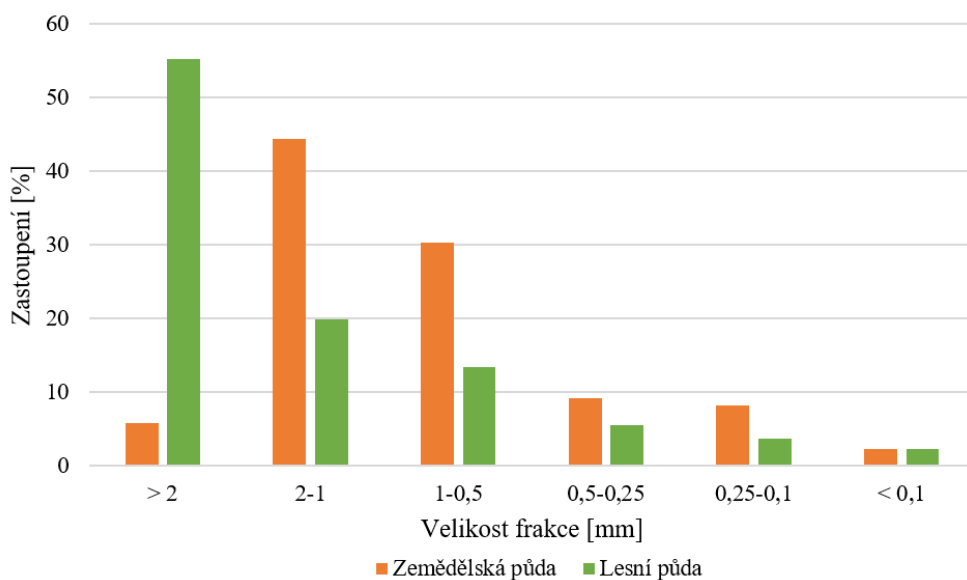


Obrázek 21: Schéma Inovovaného laboratorního přístroje se znázorněním náklonu (E jako motor). Vytvořeno autorem.

Tabulka 9: Nevýhody a výhody: Inovovaný laboratorní přístroj.

Inovovaný laboratorní přístroj	
Nevýhody:	Výhody:
Vysoká hmotnost	Jednoduchá obsluha, přístroj se pohybuje automaticky
Nelze efektivně využít v terénu	Spolehlivější výsledky, než Přístroj s manuálním nakláněním
Nutno namočit vzorek na 120 min před zahájením prosevu	Možno za jedno opakování prosévat až 8 vzorků

Přístroj s názvem Inovovaný laboratorní přístroj je jednoduchý na obsluhu, kdy přístroj není nutno obsluhovat během prosevu. Výsledky jsou spolehlivější, než například u Přístroje s manuálním nakláněním (absence možnosti ovlivnění prosevu lidským faktorem). Tento přístroj má ale velikou hmotnost a pro práci v terénu je téměř nepoužitelný. Přístroj vyžaduje 120 minut na namočení vzorků před zahájením prosevu, to je ale vyváženo jeho velkou kapacitou – až 8 vzorků. Hlavně velkým množstvím vzorků, sadou sít na mokry prosev a taky modifikovanou metodou k metodě Bakšajeva laboratorního přístroje se od něj liší i když funguje na podobném principu.



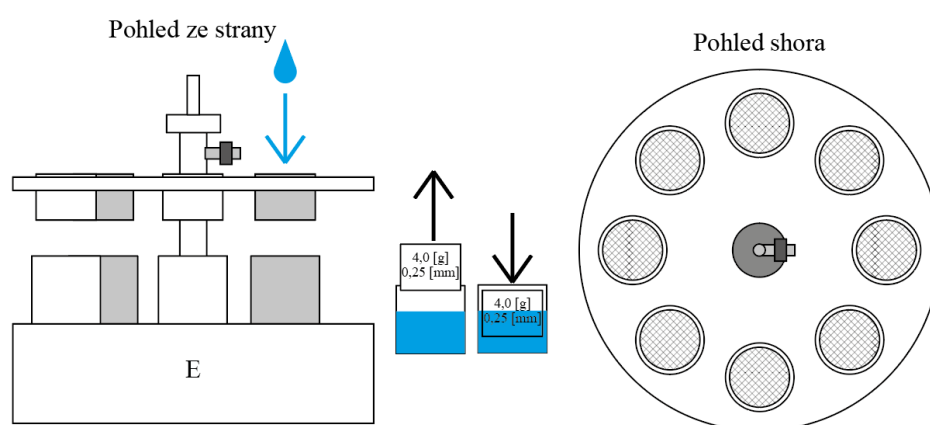
Obrázek 22: Výsledky Inovovaného laboratorního přístroje.

5.2.5 Přístroj Eijkelkamp Wet Sieving Apparatus

Přístroj se používá pro stanovení stability agregátů dané půdy před mechanickými a fyzikálně chemickými destruktivními vlivy. Metoda pracuje s principem, že nestabilní agregáty (pseudoagregáty) se rozpadnou snadněji než agregáty stabilní, a to při ponoření do vody. Přístroj využívá 8 vlastních sít a kovových nádobek.

Pro metodiku přístroje se pracuje s agregáty o velikosti 5 až 2 mm. Je nutno provést suchý prosev buď manuálně anebo mechanicky na odpovídajících sítích. 4 g připravených agregátů (5 až 2 mm) se umístí na síta promývacího přístroje Wet Sieving Apparatus. V nádobkách se promývají v destilované vodě po dobu 3 minut (destilovanou vodu možno aplikovat shora i přes půdní vzorek). Tato část postupu slouží k určení a odstranění agregátů ve vodě nestabilních (též pseudoagregátů).

Nádobky jsou potom nahrazeny druhou sadou nádobek s dispergačním činidlem (hexametafosforečnan sodný o koncentraci 2 g/1l vody) a pokračuje se jejich promýváním po dobu nutnou k tomu, aby v sítích zbyly pouze zrnka písku a zbytky kořínků (> 0,25 mm). Obě sady těchto nádobek se následně suší v sušárně při 110 °C. Po vysušení vody se zjistí hmotnost materiálů z nestabilních a stabilních agregátů. Metoda tohoto přístroje je podobná jako metoda navrhaná Kemper a Rosenau (1986) a jako metoda navrhaná normou DIN 19683:1998 – Soil Testing In Agricultural Hydrology – Physical Laboratory Tests – Determining The Aggregate Stability By Wet Sieving (Foreign Standard).



Obrázek 23: Schéma přístroje společnosti Eijkelkamp Wet Sieving Apparatus se znázorněním výnoru a ponoru (E jako motor). Vytvořeno autorem.

Výpočet dle rovnice (Kemper a Rosenau, 1986):

$$WSA = \frac{W_{DS}}{(W_{DS} + W_{DW})}$$

Kde:

WSA – vodo-stabilní agregáty (možno vyjádřit v %) [g]

W_{DS} – agregáty, které se rozpadly ve vodě [g]

W_{DW} – agregáty rozplavené (dispergované) v dispergačním činidle [g]

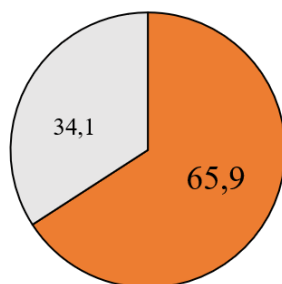
Tabulka 10: Nevýhody a výhody: Eijkelkamp Wet Sieving Apparatus.

Přístroj Eijkelkamp Wet Sieving Apparatus	
Nevýhody:	Výhody:
Vysoká cena	Jednoduché ovládání a manipulace s přístrojem
Vysoká hmotnost	Výrobce udává bezpečnost práce v mokřém prostředí
Nelze efektivně využít v terénu	Možnost připojení k elektrickým zásuvkám EU, UK, USA, Japonska a Austrálie
-	Robustnost přístroje

Přístroj Eijkelkamp Wet Sieving Apparatus je velmi kvalitní a robustní a je tím odolný proti poškození – to souvisí s jeho vysokou pořizovací cenou (pro ČR minimálně 130 000 Kč, dle dodavatele). Velmi dobré využití tohoto přístroje spočívá v určení poměru ve vodě nestabilních (těž pseudo) a stabilních agregátů.

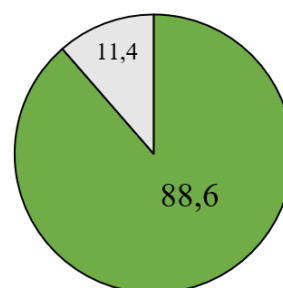
Při využití metody přístroje nelze dobře aplikovat stejným způsobem, jako metody, které udávají zastoupení jednotlivých frakcí (anebo by stanovení těchto frakcí bylo pomocí tohoto přístroje až příliš časově náročné i pracné a mohly by tak vznikat chyby). Možnosti využití přístroje je ale více. Současně se nehodí na práci v terénu, a to i díky své hmotnosti.

Vodo-stabilní půdní agregáty,
zemědělská půda [%]



■ stabilní □ nestabilní

Vodo-stabilní půdní agregáty,
lesní půda [%]

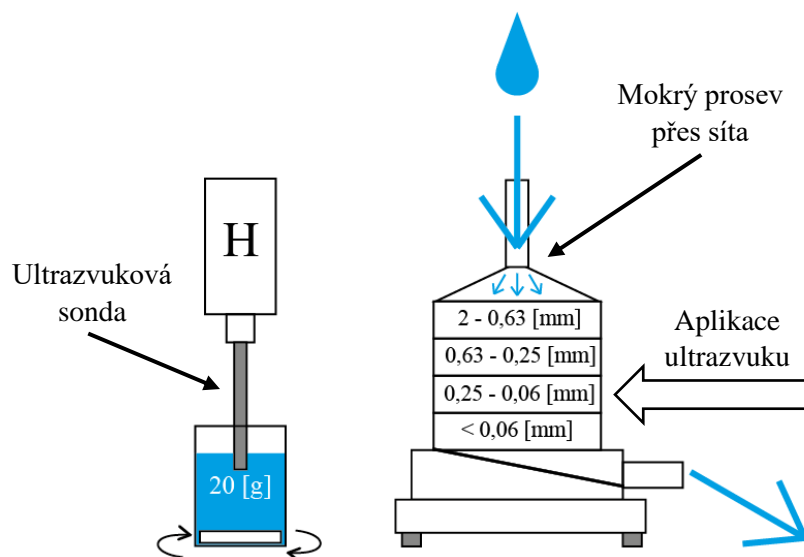


■ stabilní □ nestabilní

Obrázek 24: Výsledky přístroje Eijkelkamp Wet Sieving Apparatus.

5.2.6 Přístroj s využitím ultrazvuku

Přístroj s využitím ultrazvuku využívaný v Rakouské republice na Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) – Institut für Bodenforschung je složený z titanové ultrazvukové sondy a vln zesilovacího zařízení. Tato sonda působí na půdní vzorek v roztoku a vyvolává jeho rozrušování. Následuje prosev originální sadou sít taktéž za působení ultrazvuku. Velikost frakcí originální sady sít je 2 až 0,63, 0,63 až 0,25 a 0,25 až 0,06 mm.



Obrázek 25: Vlevo: Schéma ultrazvukové sondy a zesilovače (označeno jako H); Vpravo: Prosevací přístroj pro získání vodo-stabilních frakcí. Upraveno dle Svobodová (2011).

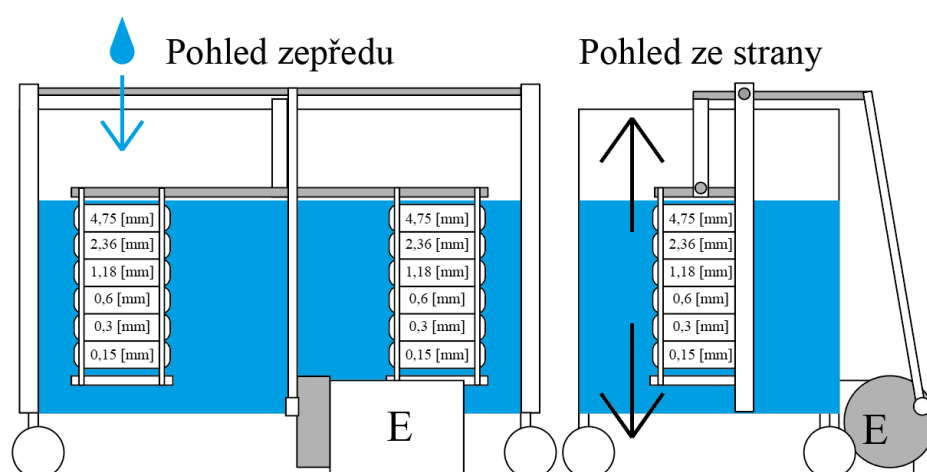
5.2.7 Přístroj dle Ekwue (2018)

Tento přístroj je modifikací přístroje dle Yoder (1936) a je možné jej využít pro posouzení stability dvou různých půd najednou. Jedná se o přístroj k ponořování a vymořování dvou sestav sít. Přístroj možno využít pro určení stability půdních agregátů a taky jejich frakčního zastoupení.

Přístroj je konstruován jako nádrž s konstrukcí umožňující držení dvou souprav sít a jejich ponor a následný výnor. Toho je konstrukčně dosaženo použitím posuvného ramena a rotujícího disku. Rameno a disk jsou spojeny přímo s motorem a je tak umožněno nastavení proměnlivé rychlosti pohybu. V závislosti na konstrukci disku a pozici posuvného ramena lze nastavit vzdálenost ponoru a výnoru sít. Nádrž je navržena s vypouštěcím otvorem na dně.

Původní přístrojová sada sít je složena z celkem sedmi sít o frakcích 4,75, 2,36, 1,18, 0,6, 0,3 a 0,15 mm, kdy největší frakce je umístěna po nejmenší shora dolů. Na svrchní síto se umísťuje vzorek půdy o hmotnosti 50 g. Nádrž přístroje se naplní vodou tak aby dosahovala úrovně nejvyššího možného výnoru. Vzorek je takto ponechán 10 minut pro namáčení.

Prosévání probíhá jako 30 ponorů a výnorů za minutu na základě metody Yoder (1936) a je navíc možno upravit tuto rychlost na 17 anebo na 40 výnorů a ponorů za minutu. Doba prosevu byla vždy 17 minut. Odlišné rychlosti ponorů a výnorů zajišťovaly, že v případě nedostatečné rychlosti nemusely rozpadající se agregáty propadnout skrze síta pro nedostatečně dynamický pohyb. Naopak při příliš vysoké rychlosti mohlo docházet k nadměrnému mechanickému rozrušování agregátů, což ovlivňovalo správnost výsledku.



Obrázek 26: Schéma přístroje dle Ekwue (2018). Vytvořeno autorem.

5.3 Výsledné zhodnocení přístrojů

Tabulka 11: Výsledné zhodnocení přístrojů

Hodnocené vlastnosti přístrojů	Manuální promývání sít	Přístroj s manuálním nakláněním	Bakšajevův laboratorní přístroj	Inovovaný laboratorní přístroj	Eijkelkamp Wet Sieving Apparatus
Možnost práce v terénu	8	7	1	2	1
Časová náročnost	6	6	4	4	6
Náročnost obsluhy	2	4	6	6	8
Přesnost výsledků	4	5	6	7	7
Možnost ovlivnění lidským faktorem	1	5	8	8	8
Odhad pořizovacích nákladů	9	8	7	7	2
Celkové skóre	5,0	5,8	5,3	5,7	5,3

Přístroje byly hodnoceny na základě vybraných vlastností. Nejvyššího celkového skóre takto dosahuje Přístroj s manuálním nakláněním. Poskytuje výbornou možnost práce v terénu, metoda není příliš časově náročná, je ale fyzicky náročnější na obsluhu. Při dodržení metodiky dosahuje dobrých výsledků. Existuje ale určitá možnost ovlivnění lidským faktorem. Pořizovací náklady nejsou vysoké, přístroj sestává z několika plastových součástí a kovových montážních prvků.

Nejnižšího celkového skóre dosahuje Manuální promývání sít. Poskytuje výbornou možnost práce v terénu a není příliš časově náročné, je ale fyzicky náročné samotné promývání. Kvůli velké možnosti ovlivnění lidským faktorem ale neposkytuje spolehlivé výsledky, kdy hrozí možnost nadměrného rozrušování agregátů. Pořizovací náklady se odvíjí od sady sít.

Bakšajevův laboratorní přístroj, Inovovaný laboratorní přístroj a přístroj Eijkelkamp nelze efektivně využít v terénu. Inovovaný laboratorní přístroj ale poskytuje možnost napájení z 12V zdroje (např. z automobilu), s možností vytvoření „polní laboratoře“. Přístroj Eijkelkamp je z nich nejméně náročný na obsluhu, disponuje zabudovaným časovačem. Přesnost výsledků přístrojů je dobrá, ale Bakšajevův laboratorní přístroj dostává nižší hodnocení za drobnou nerovnoměrnost v chodu vyzkoušeného přístroje, disponuje ale také časovačem. Stejně tak přístroj Eijkelkamp i přes svoji výbornou výpovědní hodnotu (a metodu) neposkytuje efektivní způsob vyjádření frakčního zastoupení vodo-stabilních agregátů.

Tabulka 12: Výsledné zhodnocení přístrojů, druhý úhel pohledu

Hodnocené vlastnosti přístrojů	Manuální promývání sít	Přístroj s manuálním nakláněním	Bakšajevův laboratorní přístroj	Inovovaný laboratorní přístroj	Eijkelkamp Wet Sieving Apparatus
Časová náročnost	6	6	4	4	6
Náročnost obsluhy	2	4	6	6	8
Přesnost výsledků	4	5	6	7	7
Možnost ovlivnění lidským faktorem	1	5	8	8	8
Odhad pořizovacích nákladů	9	8	7	7	2
Celkové skóre	4,4	5,6	6,2	6,4	6,2

Přístroje je ale možné hodnotit i pokud by byla vynechána možnost práce v terénu se zachováním původního hodnocení a principu aritmetického průměru. Taková možnost mění celkové skóre pro všechny přístroje. Tento pohled pracuje pouze s možností práce v laboratoři.

Nejvyššího celkového skóre dosahuje v tomto druhém úhlu pohledu Inovovaný laboratorní přístroj, kde jeho nízká možnost práce v terénu výrazně snižovala jeho celkové skóre. Stejně tak u Bakšajevova laboratorního přístroje a přístroje Eijkelkamp, které jsou takto na stejném celkovém skóre.

Nejnižšího celkového skóre dosahuje v tomto druhém úhlu pohledu Manuální promývání sít, kde jeho největší přednost možnosti práce v terénu chybí. Naopak celkové skóre je sníženo nízkým hodnocením pro možnost ovlivnění lidským faktorem.

6. Diskuse

Byly zpracovány metody a přístroje pro stanovení jednak celkové stability vzorku vodo-stabilních půdních agregátů a taky přístroje a metody pro stanovení jejich frakčního zastoupení. Rozdíl ve stanovení celkové stability oproti frakčnímu zastoupení vodo-stabilních agregátů je jeden z hlavních rozdílů v metodách a taky v samotném provedení přístrojů. Bylo taky zjištěno, že přístroje využívají často rozdílné velikosti ok sít anebo celé sady sít. To může komplikovat například srovnávání výsledků, kompatibilitu a dostupnost.

Některé z metod byly stanoveny detailněji než ostatní. Využívají taky různé kapaliny pro mokrý prosev, nebo jiné možnosti pohybu při prosevu. Jako inovativní způsob stanovení vodo-stabilních agregátů byla dohledaná například metoda a přístroj s použitím ultrazvuku. Výsledky tohoto přístroje nebyly dohledány a nebyl ani osobně vyzkoušen. Stejně tak se nepodařilo otestovat půdní vzorky na přístroji dle Ekwue (2018), který vychází z metody dle Yoder (1936). I novější přístroje tedy využívají již starší a osvědčené metody. Nabízí se otázka, jestli je žádoucí používat více přístrojů a metod anebo se držet jednotného postupu na jednotném laboratorním vybavení?

Je také rozdíl v metodikách, kdy mokrý prosev někde podléhá výnoru a ponoru směrem vzhůru a zpět svisle dolů a některé metody využívají naklání přístrojů. Zde je možné položit otázku, jestli nemá vliv rozdíl v úhlové rychlosti na úrovních sady sít, kde horní síta urazí větší vzdálenost a to rychleji, než spodní? Jakou roli hraje stáří přístroje anebo případné ucpání sít? I přes tyto otázky ale přístroje poskytují velmi podobné výsledky až na vysvětlitelné anomálie či extrémní hodnoty.

Bylo prokázáno, že příliš velká rychlost prosévání a příliš velká destrukční síla vody může znamenat velké ovlivnění výsledků viz Manuální promývání sít. Manuální promývání sít mělo za výsledek extrémní hodnoty frakcí $< 0,1$ mm. To znamená že většina agregátů byla rozrušena natolik, že agregáty byly vyplaveny ze sady sít. Naopak Bakšajevův laboratorní přístroj v souhrnném grafu poskytuje extrémní hodnoty ve frakci > 2 mm. To je ale způsobeno tím, že pro srovnání výsledků byly jeho větší frakce sít zahrnuty do této kategorie. Například přístroj dle Ekwue (2018) je pro možnost nedostatečné, nebo přílišné rychlosti prosevu opatřen více rychlostními režimy. Časovače pro chody přístrojů jsou výhodou, ale za nevysoké částky se dají pořídit časovače přímo do elektrické sítě a takto přístroj lehce modifikovat.

Hodnocenou vlastností pro přístroje je i možnost práce v terénu. Například z důvodů nejednotných postupů a aparatury je velkou výhodou rozložitelnost přístroje a možnost práce mimo laboratoř (např. v zahraničí). Výsledné hodnocení bylo provedeno ze dvou úhlů pohledu právě pro tuto vlastnost. Ne pro každý případ je ale možnost práce v terénu důležitá vlastnost.

Celkové skóre přístrojů se po této změně lišilo. Přístroje s možností práce v terénu obdržely vyšší hodnocení než bez ní. Hodnocení přístrojů je ale velmi subjektivní a záleží vždy na potřebách konkrétního testu vzorku. Na druhou stranu je ale možné vzorky po odebrání a přípravě uchovávat po delší dobu a podrobit testům až posléze v laboratoři. Potřeba možnosti práce v terénu (či mimo laboratoř) tak odpadá.

Mým názorem je to, že je důležité mít více možností stanovení vodo-stabilních agregátů a větší variability v přístrojích. V praxi každé pracoviště vždy preferuje určitou metodu a přístroj pro vlastní účely a výzkum, a disponují tak již určitým „know-how“ ve výsledcích a postupu. To je ale podle mě naprosto přirozené a správné.

Co by ale podle mě velmi prospělo v oblasti stanovení vodo-stabilních agregátů je jednotný systém sít. Ideálně by měla existovat i jednotná metoda pro přípravu vzorků anebo času a způsobu prosevu. Měly by být definovány i základní parametry přístroje, který již pak dle daných podmínek, pracovišť či států může mít malé odlišnosti dle možností a prostředků.

7. Závěr

Bylo prokázáno, že lesní půda má vyšší stabilitu než půda se zemědělským využitím. Potvrdil se i předpoklad, že zrnitost (a tedy i druh) těchto půd s rozdílným využitím bude velmi podobná kvůli svému společnému původu.

Celkové hodnocení přístrojů je hodnoceno na základě vlastností, kdy u každé má daný přístroj svou nevýhodu ale i výhodu. Je proto důležité určit pro jaké účely bude daný přístroj využíván. To je patrné u možnosti práce v terénu, kdy v případě že nebyla tato vlastnost hodnocena, dosahovaly přístroje jiných celkových skóre.

Přístroje a jejich metody se od sebe často liší, ale často neposkytují příliš odlišné výsledky. Přesto, že je důležité mít více možností pro stanovení vodo-stabilních agregátů, ať frakčně, nebo jako stabilitu celého vzorku, jednotný postup a předpis parametrů pro přístroje považují za žádoucí. Žádoucí je i případná vlastní konstrukce či modifikace přístrojů za dodržení metod při jeho používání, protože cena přístrojů někdy může být nepoměrně vysoká k jeho funkci.

Navrhoval bych pro frakční zastoupení vodo-stabilních agregátů vycházet z principu ponoru a výnoru z vody (na rozdíl od náklonu). Využívat suchý prosev na sítích stejných frakcí, jako na prosev mokrý po dobu 10 min pro vytvoření vzorků jako procentuální zastoupení hmotnosti jednotlivých zrnitostních frakcí. Využívat pro mokrý prosev sadu sítí o frakcích 2, 1, 0,5, 0,25 a 0,1 mm. Mokrý prosev provádět po dobu 10 minut. Vzorky před začátkem mokrého prosevu ponechat pro namočení po dobu 60 minut ve vodě (nikoliv destilované). Sušit při 55 °C po dobu alespoň 24 h.

Pro stanovení celkové vodo-stability půdních agregátů dané půdy se přikláním možnosti zachování metody například přístroje Eijkelkamp využívající destilovanou vodu a poté dispergační činidlo. Akorát by bylo žádoucí vytvářet levnější varianty využívající následující parametry. Suchým prosevem vytvořit 4 g vzorek o frakci 5 až 2 mm. Promývat v destilované vodě po dobu 3 minut. Nádobky posléze nahradit jinými s dispergačním činidlem a promývat dle potřeby, než se zbylé agregáty rozpadnou. Sušit při 55 °C po dobu alespoň 24 h.

Tyto návrhy by jednak zrychlily proces stanovení vodo-stabilních půdních agregátů a na základě provedení alternativní konstrukce nového přístroje, se zachováním původních funkcí, by došlo i ke zlevnění procesu.

8. Zdroje

8.1 Knižní zdroje

AMÉZKETA E., 1999: Soil Aggregate Stability. A Review. *Journal of Sustainable Agriculture*, 14: 83-151 s.

BARTHÉS B., ROOSE E. 2002: Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. *Catena*, 47:133-149 s.

BIRKELAND, P.W., 1999. The soil profile, horizon nomenclature, and soil characteristics. In: *Soils and geomorphology*, 3. vyd. Oxford University Press. New York. 1-28 s.

BRONICK, C. J., LAL, R., 2005: Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124: 3-22 s.

CAMBARDELLA C.A., 2002: Aggregation and Organic Matter. In: Lal, R.(ed.) *Encyclopedia of Soil Science*. Marcel Dekker, Inc., New York, 41-44 s., ISBN 0-8247-0634-X.

CARTER M. R., 2004: Researching structural complexity in agricultural soils. *Soil and Tillage Research*, 79.1:1-6 s.

DANE J.H., TOPP G.C. (eds.) 2002. *Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods*: Madison, Wisconsin, Science Society of America: 1692 s. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4>.

DEXTER A. R., 1988: Advances in characterization of soil structure. *Soil and Tillage Research*, 11:199-238 s.

EKWUE, Edwin I., 2018: A Wet Sieving Apparatus for Determining Aggregate Stability of Soils. *The Journal of the Association of Professional Engineers of Trinidad and Tobago*. roč. 46, č. 1, 35-40 s.

FRANZLUEBBERS, A. J., 2002: Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil Tillage*. 195 s.

HOLÝ, M., 1994: *Eroze a životní prostředí*. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 80-010-1078-3.

CHANEY, K., SWIFT, R.S., 1984: The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. *Eur. J. Soil Sci.* 35, 223-230 s. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1984.tb00278.x>.

JANDÁK, J., POKORNÝ, E., HYBLER, V., POSPÍŠILOVÁ, L., 2003: *Cvičení z půdoznalství 1*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. ISBN 80-7157-733-2.

- JANEČEK, M., 2012: Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika. Praha: Powerprint. ISBN 978-80-87415-42-9.
- JENNY, H. 1941: Factors of Soil Formation. A System of Quantitative Pedology. Dover Publication, Inc. New York.
- KANDELER E., 1996: Aggregate stability. In: Schiner F., Öhlinger R., Kandeler E., Margesin R. (eds.): Methods in Soil Biology. Berlin, Springer-Verlag, 426 s.
- KEMPER, W. D. and ROSENAU, R. C., 1986: Aggregate stability and size distribution. In: A. Krute. (ed.), Methods of Soil Analysis, Part. 1. 2. vyd., American Society of Agronomy Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI. 425-442 s.
- KLADIVKO, E. J., 2001: Tillage systems and soil ecology. Soil and Tillage Research. 61:61-76 s.
- KODEŠOVÁ R., KODEŠ. V., ŽIGOVÁ A., ŠIMŮNEK J., 2006: Impact of plant roots and soil organisms on soil micromorphology and hydraulic properties. Biologia, 61:339-343 s.
- KOSUGI, K. a J. W. HOPMANS, 1998: Scaling water retention curves for soils with lognormal pore-size distribution. SSSA. J. 62:1496-1505 s.
- KUTÍLEK, M., 1978: Vodohospodářská pedologie. 2. vyd. Praha: ALFA, vydavatelstvo technickej a ekonomickej literatúry, n. p., Bratislava.
- LANÍK, J., HALADA, J., 1960: Kniha o půdě 1. Půda a rostlina. 1. vyd. Praha. Státní zemědělské nakladatelství. 259 s.
- LE BISSONNAIS, Y., 1996: Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: Theory and methodology. European Journal of Soil Science, 47:425-437 s.
- LEDVINA, R., HORÁČEK, J., ŠINDELÁŘOVÁ, M., 2000: Geologie a půdoznalství. Interní studijní text pro I. ročníky VZ a PUPN. Jihočeská univerzita – Zemědělská fakulta, České Budějovice. 203 s.
- LI, Y., LI, Z., CUI, S., JAGADAMMA, S.H., ZHANG, Q.P., 2019. Residue retention and minimum tillage improve physical environment of the soil in croplands: a global meta-analysis. Soil Tillage Res. 194, 104292. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.06.009>.
- MOREAU, R.E., 1938: Climatic classification from the standpoint of east African biology. Journal of Ecology, 26 (2), 467–496 s.
- NĚMEC, J., a kol., 2009: Situační a výhledová zpráva půda. Ministerstvo zemědělství České republiky. 18 s.
- NIMMO, J. R., 1997: Modeling structural influences on soil water retention. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:712-719 s.

- NIMMO, J.R. a PERKINS, K. S., 2002: Aggregate stability and size distribution. In: DANE, J.H., a TOPP, G.C., (eds.), *Methods of soil analysis, Part 4. Physical methods*: Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America. 317-328 s.
- NOVOTNÝ, I., 2014: *Příručka ochrany proti vodní erozi: (aktualizované znění)*. 2. vyd. Praha: MZ, 73 s. ISBN 978-8087361-33-7
- OADES, J., 1993: The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56, 377–400 s.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-81490-6.50033-9>.
- OSTERKAMP, T.E., ROMANOVSKY V.E., 1999: Evidence for warming and thawing of discontinuous permafrost in Alaska. *Permafrost and Periglacial Processes* 10:17-37 s.
- QUAN, C., HAN, S., UTESCHER, T., ZHANG, C., LIU (Christopher), Y. S., 2013: Validation of temperature–precipitation based aridity index: Paleoclimatic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 386, 86–95 s.
- REHÁK, Š., a JANSKÝ, L., 2000: *Fyzika pôdy I: základné fyzikálne vlastnosti pôdy*. 1. vyd. Bratislava. Univerzita Komenského. ISBN 80-223-1544-3.
- RIEU, M, a SPOSITO G., 1991a: Fractal fragmentation, soil porosity, and soil water properties I. Theory. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:1233-1238 s.
- RIEU, M, a SPOSITO, G., 1991b: Fractal fragmentation, soil porosity, and soil water properties II. Applications. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:1239-1244 s.
- RICHTER, R. a HLUŠEK, J., 2003: *Půdní úrodnost*. 2. vyd. Praha. Ústav zemědělských a potravinářských informací. ISBN 80-7271-130-X.
- RICHTER, R., 1999: *Půdní úrodnost*. 2. vyd. Institut výchovy a vzdělání MZe ČR, Praha 1997. 36 s. ISBN 80-7105-145-4.
- SCOTT, H.D., 2000: *Soil Physics: Agriculture and Environmental Applications*. vyd. Ames, Iowa State University Press, 35–87 s.
- SIX, J., BOSSUYT, H., DEGRYZE, S., DENEFF, K., 2004: A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Res.* 79, 7–31 s.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008>.
- SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. 1997: Glossary of soil science terms. SSSA. Madison, WI. van Bavel, C.H.M. 1949. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. 14:20-23 s.
- SOUKUP, M., DOLEŽAL, F., ČMELÍK, M., 2007: *Zemědělské odvodnění drenáží: racionalizace využívání, údržby a oprav: uživatelský výstup projektu QF3095 Národního programu výzkumu TP3-DP6 priority 6*. 1. vyd. Praha: VÚMOP, 85 s.

- SVOBODA, F., 1961: Meliorační stavby. SNTL, Praha. 328 s.
- SVOBODOVÁ, O., 2011: Posouzení obsahu a kvality humusu u rozdílných technologií zpracování půdy. Disertační práce. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- ŠIMEK, M., 2005: Základy nauky o půdě. 2. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Biologická fakulta. ISBN 80-7040-747-6.
- ŠTIBINGER, J., KULHAVÝ, Z., 2010: Úpravy vodního režimu půd odvodněním: monografie: uživatelský výstup projektu 2B06022. 1. vyd. Praha: VÚMOP, 108 s.
- TISDALL J. M., OADES J. M., 1982: Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33: 141–163 s.
- TOMÁŠEK, M., 2000: 2. vydání. Český geologický ústav. ISBN 80-7075-403-6. 24-26 s.
- VADJUNINA A.F., KORCHAGINA Z.A. 1986: Methods of study of Soil Physical Properties. Moscow, Agropromizdat. (In Russian).
- VAEZI, A.R., AHMADI, M., CERDA, A., 2017: Contribution of raindrop impact to the change of soil physical properties and water erosion under semi-arid rainfalls. *Sci. Total Environ.* 583, 382–392 s.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.078>.
- VLČEK, V., 2015: Kvalita a zdraví půdy. Brno. Mendelova univerzita v Brně. 136 s.
- YODER, R.E., 1936: A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of soil erosion losses. *J. Am. Soc. Agron.*, 28:337-351 s.
- YUDINA, A., KUZYAKOV, Y., 2019: Saving the face of soil aggregates. *Glob. Chang. Biol.* 25, 3574-3577 s. <https://doi.org/10.1111/gcb.14779>.
- ZERAATPISHEH, M., AYOUBI, S., MIRBAGHERI, Z., MOSADDEGHI, M.R., XU, M., 2021: Spatial prediction of soil aggregate stability and soil organic carbon in aggregate fractions using machine learning algorithms and environmental variables. *Geoderma Reg.* 27.
- ZHANG, P., WANG, Y., XU, L., LI, R., SUN, H., ZHOU, J., 2021: Factors controlling spatial variation in soil aggregate stability in a semi-humid watershed. *Soil Tillage Res.* 214, 105187
<https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105187>.

8.2 Internetové zdroje

ČHMÚ. 2024: Online. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zakladni-informace>. [cit. 2024-03-04].

ČÚZK: Geoportál. 2024: Online. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/>. [cit. 2024-03-04].

Definice a význam BPEJ. Online. Státní Pozemkový Úřad. 2024: Dostupné z: <https://www.spucr.cz/bpej/definice-a-vyznam-bpej>. [cit. 2024-03-07].

ÚHÚL. 2024: Online. Dostupné z: www:https://geoportal.uhul.cz/mapy/mapylho.htm. [cit. 2024-02-11].

8.3 Legislativní zdroje

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG [DIN]. DIN 19683-16:1998, Soil Testing In Agricultural Hydrology – Physical Laboratory Tests – Determining The Aggregate Stability By Wet Sieving (Foreign Standard). 1.

Vyhláška č. 227/2018 Sb. o charakteristice bonitovaných půdně ekologických jednotek a postupu pro jejich vedení a aktualizaci – znění od 01.01.2019

8.4 Seznam obrázků

Obrázek 1: Složky půdotvorných procesů. Vytvořeno autorem.....	4
Obrázek 2: Půdní složky. Vytvořeno autorem.....	5
Obrázek 3: Druhy půdní vody s naznačením hydrolimitů. Vytvořeno autorem.....	7
Obrázek 4: Půdní struktura zleva: hrudkovitá a polyedrická (Tomášek, 2000).	8
Obrázek 5: Půdní struktura zleva: kostečková a prizmatická (Tomášek, 2000).....	8
Obrázek 6: Půdní struktura destičkovitá (Tomášek, 2000).....	8
Obrázek 7: Klasifikační trojúhelník (Kutílek, 1978).....	10
Obrázek 8: Kód BPEJ, popis jednotlivých číslic. Vytvořeno autorem.....	11
Obrázek 9: Mapa s přibližnou polohou lokalit odběru vzorků "Housle Agro" (oranžová) a "Housle Les" (zelená) (ČÚZK, 2024).	22
Obrázek 10: Zrnitostní křivka lokalit.	27
Obrázek 11: Půdní druh zkoumané půdy.....	27
Obrázek 12: Poměr WSA.	28
Obrázek 13: Přístroje pro stanovení frakčního zastoupení WSA, výsledky.....	29
Obrázek 14: Schéma manuálního promývání sít se znázorněním oddělování sít a protékání vody. Vytvořeno autorem.	30
Obrázek 15: Výsledky manuálního promývání sít.	31
Obrázek 16: Schéma přístroje s manuálním nakláněním se znázorněním náklonu. Vytvořeno autorem.	32
Obrázek 17: Výsledky přístroje s manuálním nakláněním.....	33
Obrázek 18: Schéma Bakšajevova laboratorního přístroje se znázorněním kývavého pohybu v opačných směrech (E jako motor). Vytvořeno autorem.....	34
Obrázek 19: Schéma vibračního přístroje pro suchý prosev, pro tzv. navážku (A jako Amplituda a t jako čas). Vytvořeno autorem.	34
Obrázek 20: Výsledky Bakšajevova laboratorního přístroje.	35
Obrázek 21: Schéma Inovovaného laboratorního přístroje se znázorněním náklonu (E jako motor). Vytvořeno autorem.	36
Obrázek 22: Výsledky Inovovaného laboratorního přístroje.....	37
Obrázek 23: Schéma přístroje společnosti Eijkelkamp Wet Sieving Apparatus se znázorněním výnoru a ponoru (E jako motor). Vytvořeno autorem.....	38
Obrázek 24: Výsledky přístroje Eijkelkamp Wet Sieving Apparatus.	40
Obrázek 25: Vlevo: Schéma ultrazvukové sondy a zesilovače (označeno jako H); Vpravo: Prosévací přístroj pro získání vodo-stabilních frakcí. Upraveno dle Svobodová (2011).	40
Obrázek 26: Schéma přístroje dle Ekwue (2018). Vytvořeno autorem.	41

8.5 Seznam tabulek

Tabulka 1: Zrnitostní frakce půdy dle Nováka (upraveno dle Tomášek, 2000)	9
Tabulka 2: Přehled metod pro stanovení vodo-stabilních agregátů... ..	15
Tabulka 3: Lokality odběru vzorků půdy „Housle Les“ a „Housle Agro“	21
Tabulka 4: Vzor hodnocení nevýhod a výhod pro daný přístroj.	24
Tabulka 5: Vybrané vlastnosti pro výsledné hodnocení přístrojů.	25
Tabulka 6: Nevýhody a výhody: Manuální promývání sít.	31
Tabulka 7: Nevýhody a výhody: Přístroj s manuálním nakláněním.....	33
Tabulka 8: Nevýhody a výhody: Bakšajevův laboratorní přístroj.....	35
Tabulka 9: Nevýhody a výhody: Inovovaný laboratorní přístroj.	37
Tabulka 10: Nevýhody a výhody: Eijkelkamp Wet Sieving Apparatus.....	39
Tabulka 11: Výsledné zhodnocení přístrojů.....	42
Tabulka 12: Výsledné zhodnocení přístrojů, druhý úhel pohledu	43