

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra zemědělských strojů



Bakalářská práce

Fyzikální vlastnosti půdy a jejich stanovení

Autor práce: Dominik Přerost

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Chyba, Ph.D.

© 2021 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Dominik Přerost

Zemědělská specializace
Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Fyzikální vlastnosti půdy a jejich stanovení

Název anglicky

Physical properties of soils and methods of their determination

Cíle práce

Popsat a navrhnout metody pro stanovení vybraných fyzikálních vlastností půd.

Metodika

Student věnuje rešeršní část práce popisu vybraných fyzikálních vlastností půd a následně navrhne a popíše metody pro stanovení těchto vlastností.

Doporučený rozsah práce

30

Klíčová slova

fyzikální vlastnosti, půda, zemina

Doporučené zdroje informací

- ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČDN CEN ISOTS 17892-10 : Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemín – Část 10: Krabicová smyková zkouška. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN CEN ISOTS 17892-4 : Geotechnický průzkum a zkoušení – laboratorní zkoušky zemín – Část 4: Stanovení zrnitosti zemín. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- HUANG, P M. – LI, Y. – SAMNER, M E. *Handbook of soil sciences : Properties and processes*. Boca Raton: CRC Press, 2012. ISBN 978-1-4398-0305-9.
- REYNOLDS, D W. – TOPP, G C. – GREEN, R E. – SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. DIVISION S-1. *Advances in measurement of soil physical properties : bringing theory into practice : proceedings of a symposium sponsored by Division S-1 of the Soil Science Society of America in San Antonio, Texas, 21-26 Oct. 1990*. Madison, Wis., USA: The Society, 1992. ISBN 0891188010.
- VALLA, M. *Pedologické praktikum*. Praha: Česká zemědělská univerzita, Agronomická fakulta, 2002. ISBN 80-213-0914-8.

Předběžný termín obhajoby

2020/2021 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Jan Chyba, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 1. 2. 2021

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 22. 03. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Fyzikální vlastnosti půdy a jejich stanovení“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 14.5.2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Janu Chybovi, Ph.D. za ochotu, vstřícnost a poskytnutí užitečných rad při zpracování bakalářské práce.

Fyzikální vlastnosti půdy a jejich stanovení

Abstrakt

Půda má pro lidstvo dvě hlavní funkce, a to produkční a mimoprodukční. Pro udržitelný rozvoj zemědělství, ale i pro lepší chápání života v půdě, je vhodné zkoumat nejen procesy probíhající v půdě, ale také měřitelné vlastnosti, které půda má. Tato bakalářská práce pojednává o významu fyzikálních vlastností půdy a metody jejich stanovení. Cílem této práce je v teoretické části popsat fyzikální vlastnosti půdy na základě načerpaných informací z odborné literatury. V praktické části se práce zabývá vybranými metodami pro stanovení fyzikálních vlastností půdy. Závěrem práce je porovnání těchto metod.

Klíčová slova: fyzikální vlastnosti, zemina, půda

Physical properties of soil and their determination

Abstract

Soil has two main functions for humanity, namely productive and non-productive. For the sustainable development of agriculture but also for a better understanding of life in the soil, it is appropriate to examine not only the processes taking place in the soil but also the measurable properties that the soil has. This bachelor thesis deals with the importance of physical properties of soil and methods of their determination. The aim of this work is to describe the physical properties of soil in the theoretical part based on drawn information from the literature. The practical part deals with selected methods for determining the physical properties of soil. The conclusion of the work is a comparison of these methods.

Keywords: physical properties, soil, earth

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Cíl práce a metodika	2
2.1 Cíl práce	2
2.2 Metodika	2
3 Popis vybraných fyzikálních vlastností půd	3
3.1 Vzduch a voda v půdě	3
3.2 Pórovitost.....	4
3.3 Sorpční vlastnosti	4
3.3.1 Mechanická sorpce	4
3.3.2 Fyzikální sorpce (adsorpce).....	5
3.3.3 Chemická sorpce.....	5
3.3.4 Biologická sorpce	5
3.3.5 Fyzikálně-chemická sorpce.....	6
3.4 Distribuce částic	7
3.5 Zrnitost	7
3.6 Objemová hmotnost	8
3.7 Momentální vlhkost půdy	8
4 Základní metody vybraných fyzikálních vlastností	9
4.1 Porušené půdní vzorky	9
4.2 Neporušené půdní vzorky	10
4.3 Zrnitostní rozbor-sedimentační metody	11
4.4 Příprava půdních vzorků	11
4.4.1 Jemnozemi I.....	11
4.4.2 Jemnozemi II.....	11
4.4.3 Pipetovací metoda.....	12
4.4.4 Sítová metoda	15
4.4.5 Aerometrická metoda (hustoměrná metoda podle A.Casagrande)	16
4.4.6 Vyplavovací metoda	19
4.4.7 Metoda laserové difrakce.....	20
4.5 Penetrační odpor.....	23
5 Ekonomické zhodnocení	25
6 Závěr.....	27
7 Seznam použitých zdrojů	29

Seznam obrázků

Obr. 1 Fyzikální sorpce.....	5
Obr. 2 Kopeckého válečky a jejich ošetření.....	10
Obr. 3 Trojúhelníkový diagram pro stanovení druhu půdy podle obsahu jílu, prachu a písku v % hmotnostních.....	12
Obr. 4 Pipetovací soustava.....	13
Obr. 5 Prosévací přístroj.....	16
Obr. 6 Popis plovacího hustoměru.....	17
Obr. 7 Kopeckého plavící přístroj.....	19
Obr. 8 Laserový analyzátor.....	21
Obr. 9 Princip měření částic pomocí laserového paprsku.....	22
Obr. 10 Srovnání penetračního odporu přejeté a nepřejeté půdy.....	23
Obr. 11 Popis penetrometru.....	24
Obr. 12 Pipetovací soustava II.....	25

Seznam tabulek

Tab. 1 Hodnoty C:N u některých materiálů používaných pro kompostování.....	6
Tab. 2 Členění zrnitostních frakcí.....	7
Tab. 3 Časové intervaly pipetování v závislosti na velikosti frakce.....	14

Seznam grafů

Graf 1 Křivka zrnitosti.....	19
Graf 2 Grafické znázornění výsledků měření laserovou difrakcí.....	22

1 Úvod

Půda, jakožto životně důležitý, těžko obnovitelný přírodní zdroj, má pro lidstvo obrovský význam. Je jednou ze základních složek životního prostředí, jejíž produkční a mimoprodukční funkce jsou nezastupitelné. Půda je vystavena rostoucímu antropogennímu zatížení, a proto je nutné dále prohlubovat systém její ochrany. Jako hlavní rizika pro půdu a její kvalitu jsou považovány: zasolování půdy, eroze, omezení biologické aktivity půdy, úbytek organické hmoty, zhutňování. Nežádoucí zhutnění půdy je charakteristickým projevem změn fyzikálních vlastností půdy. Zhoršování těchto půdních vlastností a zapříčiněné zhutnění půdy je v současné době poměrně významným problémem. Tento jednoznačně nepříznivý jev je na mnohých stanovištích příčinou významného zhoršení produkčních schopností půd, omezuje plné využití genetického potenciálu výkonných odrůd plodin a také snižuje efektivitu dalších vstupů do výrobního a produkčního procesu pěstovaných plodin. Nežádoucí zhutnění půdy se projevuje řadou příznaků se závažnými důsledky, a proto řešení této závažné problematiky z dlouhodobého hlediska je velice důležité. Této skutečnosti by měly zemědělské podniky věnovat zvýšenou pozornost a usilovat o důsledné uplatňování všech dostupných opatření k jeho eliminaci a odstraňování (Hůla 2010).

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem této práce je blíže popsat fyzikální vlastnosti půdy a metody určování vybraných fyzikálních vlastností. Mé návrhy vycházejí z odborné literatury. Získal jsem několik variant a na základě jejich popisu určuji vhodnost použití. Bylo vybráno několik postupů jako např. pipetovací metoda, nebo metoda laserové difrakce.

2.2 Metodika

Po prostudování odborné literatury se v rešeršní části práce věnuje popisu vybraných fyzikálních vlastností půd a následně popisuje metody pro stanovení některých těchto vlastností. Pro každou vybranou metodu jsou uvedeny možné výstupní hodnoty těchto metod a jejich interpretaci. V závěru se práce věnuje porovnání těchto metod s určením vhodnosti použití v určitých případech s jejich ekonomickým zhodnocením.

3 Popis vybraných fyzikálních vlastností půd

3.1 Vzduch a voda v půdě

Vzduch, jakožto plynná složka půdy, je klíčový pro průběh biologických a biochemických přeměn, reakcí a v neposlední řadě pro dýchání půdních organismů a kořenů rostlin. Jeho složení je stejně jako u půdního roztoku značně proměnlivé a není totožné se složením vzduchu ve volné atmosféře. Půdní vzduch oproti atmosférickému obsahuje méně O_2 (10-20% objemu, ale i výrazně méně), více CO_2 (0,1-10% a to v blízkosti kořenů, což je o několiknásobně více, než v atmosférickém vzduchu). Inertní plyny jako např. Ar jsou zastoupeny v desetinách procenta. Obsah N_2 je proměnlivý a to v závislosti na obsahu O_2 a CO_2 . Další složkou půdního vzduchu jsou vodní páry. Jejich obsah závisí na vlhkosti půdy, její teplotě a aktivitě organismů. Vysoká koncentrace CO_2 a CH_4 a nízká koncentrace N_2 jsou charakteristické při anoxických podmínkách (není přítomen kyslík).

Pro život v půdě jsou nejvýznamnější plyny kyslík a oxid uhličitý. Autotrofních organismů je v půdě relativně málo, a proto je hlavním zdrojem kyslíku atmosféra. Obsah kyslíku je závislý na celkovém provzdušnění půdy, které s hloubkou obvykle klesá. Kyslík je také rozpuštěný ve vodě a má značný význam pro jeho koloběh v půdě a pro život v půdě. Při dýchání organismů vzniká v půdě oxid uhličitý, což je hlavním zdrojem tohoto plynu v půdě. Největší obsah oxidu uhličitého je zaznamenáván v málo provzdušněné půdě, při vyšší vlhkosti a vyšší teplotě. S častým zavlažováním a hnojením obsah oxidu uhličitého v půdě roste. Je snadno rozpustný ve vodě (kyselina uhličitá) a ovlivňuje pH půdy. Jeho maximální koncentrace se v půdním profilu s nízkou hladinou podzemní vody pohybuje v 1/2 profilu a při vysoké hladině podzemní vody u této hladiny.

Pavlu (2018) také uvádí, že vzduch je v půdě vázaný na pevnou fázi (prostřednictvím fyzikálních vazeb na povrchu této fáze), či kapalnou fázi (rozpuštěním plynů v kapalinách), nebo volně pohyblivý (bublinky v kapilárních pórech). Vzduch se v půdě pohybuje dvěma způsoby. Přibližně 10% vzduchu se v půdě pohybuje prouděním podle tlakového gradientu (vyvoláno změnou atmosférického tlaku nebo teploty, nestálou hladinou podzemní vody, srážky a povětrností podmínky na povrchu půdy a v neposlední řadě obdělávání půdy a příjem vzduchu půdními organismy). 90% tohoto vzduchu se v půdě pohybuje díky difúzi (pohybem podle koncentrace prvků v atmosféře). Pro jednotlivé plyny je tento gradient odlišný. Při vysoké koncentraci kyslíku v atmosféře vniká tento plyn do půdy samovolně a naopak při vysoké koncentraci oxidu uhličitého v půdě se kyslík do atmosféry uvolňuje.

Vegetace, a tedy i její rozvoj vyžaduje určitou úroveň provzdušnění půdy. Každá plodina vyžaduje pro svůj kvalitní růst jinou úroveň provzdušnění. Současný stav vzduchu v půdě popisujeme vlastností zvanou provzdušněnost (jedná se o množství vzduch obsažené v pórech v čase odběru vzorku a je doplňkovou hodnotou k momentální vlhkosti). Procentuální obsah pórů vyplněných vzduchem v půdě charakterizuje vlastnost zvaná vzdušná kapacita. Při poklesu vzdušné kapacity u orné půdy pod 10% a při poklesu vzdušné kapacity u lučních půd pod 5% označujeme tyto půdy jako náchylné k zamoření.

Důležitá vlastnost udávající celkový objem pórů v neporušené půdě se nazývá pórovitost. Půda jakožto pórovitá hmota obsahuje pevné částice a jejich shluky mezi, kterými vznikají volné prostory rozdílných tvarů a velikostí, jenž jsou různým způsobem propojeny. Nazýváme je půdní póry.

Mají vliv na vlastnosti vody a její pohyb v půdě, také na pohyb, výměnu a složení vzduchu a s tím spojený vývoj a růst rostlin a mikroorganismů.

3.2 Pórovitost

Důležitá vlastnost udávající celkový objem pórů v neporušené půdě se nazývá pórovitost. Půda jakožto pórovitá hmota obsahuje pevné částice a jejich shluky mezi, kterými vznikají volné prostory rozdílných tvarů a velikostí, jenž jsou různými způsoby propojeny. Nazýváme je půdní póry, jak ve své práci uvádí (Seková 2012).

3.3 Sorpční vlastnosti

Jedná se o schopnost půdy poutat nejen ionty, ale i celé molekuly různých sloučenin do pevné fáze půdy z půdního roztoku. Tyto látky jsou chráněny proti vyplavování podle druhu a intenzity sorpce a díky rezervoáru, který vytváří. Poskytují lehce přijatelné živiny pro rostliny a to postupně během celé vegetace. Dále podstatně omezují zvýšení koncentrace solí v půdě. Dle Richtera (2004) vykazuje každá půda jiné druhy sorpce a jejich kombinace. Obecně je lze rozdělit do 5-ti skupin.

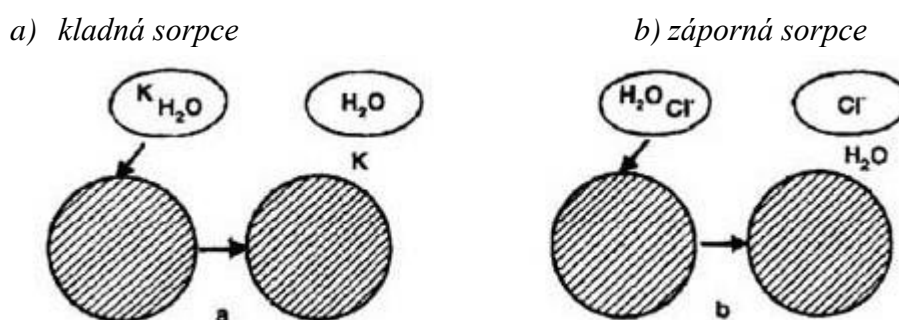
3.3.1 Mechanická sorpce

Pavlů (2018) uvádí, že se jedná se o mechanicky zadržené částice nebo velké agregáty koloidních částic v povrchových, zúžených či slepě končících pórech. Dle Richtera (2004) má takováto sorpce pro výživu rostlin omezený význam, jelikož množství poutaných látek není tak velké v porovnání s ostatními druhy sorpce.

3.3.2 Fyzikální sorpce (adsorpce)

Jedná se o sorpci, jenž souvisí s povrchovými jevy na fázovém rozhraní, zmiňuje Pavlů (2018). Při ní dochází k vázání iontů i celých molekul vlivem fyzikálních sil. V případě, že jsou molekuly určité látky půdního roztoku přitahovány k pevným částicím půdy většími fyzikálními silami, než molekuly vody. Jedná se o kladnou fyzikální sorpci (viz Obr. 1). Jsou-li molekuly vody přitahovány většími fyzikálními silami než molekuly určité látky, jedná se o zápornou fyzikální sorpci (adsorpce), která vede k vyplavování živin do spodních vrstev půdy a ke kontaminaci podzemních vod (Richter 2004).

Obr. 1 Fyzikální sorpce



Zdroj: Richter (2004)

3.3.3 Chemická sorpce

Je taková schopnost půdy, při které v důsledku chemických reakcí dochází ke vzniku sloučenin (rozpuštěním iontů ve vodě) a ve vodě málo rozpustných nebo nerozpustných sloučenin (sraženin) uvádí Richter (2004). Chemická sorpce zapříčiňuje snížení přístupnosti živin pro rostliny (zejména díky mikroelementům B, Fe, Zn, Cu, Mn, Mo) a to v souvislosti se změnou půdních vlastností jako je vlhkost, pH, obsah organických látek aj. Vznikají při ní těžce rozpustné sloučeniny, ze kterých rostliny nemohou přijmout živiny vůbec, nebo jen v omezeném množství.

3.3.4 Biologická sorpce

Podle Pavlů (2018) se jedná o živiny poutané v živých i odumřelých tělech půdních organismů a mikroorganismů. Richter (2004) dodává, že jejich hmotnost běžně dosahuje až 5 t/ha. Půdní organismy během svého životního cyklu spotřebovávají značnou část rostlinných živin obsažených v půdě v přijatelném stavu.

Tyto živiny kumulují ve hmotě svých těl a tělesných schránek a tím snižují obsah živin přijatelných pro rostliny. Po ukončení životního cyklu organismů jsou přijatelné formy živin uvolňovány až po úplné mineralizaci organické hmoty. Intenzita biologické sorpce, množství biologicky sorbovaných živin a intenzita mineralizace je závislá na řadě podmínek např. vlhkost, teplota, obsah organických látek, poměr C:N (uhlík:dusík) a dalších. Při biologické sorpci může nastat jev tzv. dusíková deprese, která je nepříznivým projevem tohoto druhu sorpce. Při dusíkové depresi dochází při zaorávání organické hmoty se širokým poměrem C:N (viz Tab.1).

Tab.1 Hodnoty poměru C:N u některých materiálů používaných pro kompostování

Materiál	C:N	Materiál	C:N
Kůra	120:1	Močůvka	2:1
Piliny	500:1	Kejda skotu	10:1
Zahradní odpad	40:1	Chlévský hnůj skotu	25:1
Listí	50:1	Sláma (žito, oves)	60:1
Posečená tráva	20:1	Sláma (pšenice, ječmen)	100:1
Drůbeží trus	10:1	Sláma luskovin	25:1

Zdroj: Vlastní zpracování dle Richtera (2004)

3.3.5 Fyzikálně-chemická sorpce

Díky působícím elektrostatickým silám resp. díky vzájemné neutralizaci opačně nabitých částic se na jedné straně reakce vyskytují koloidní částice minerálního i organického podílu pevné fáze půdy a na druhé straně půdní roztok obsahující ionty živin. Na rozhraní těchto fází vznikají různé povrchové náboje a v důsledku toho i různé adsorpční jevy dle Pavlů (2018). Richter (2004) uvádí, že výměna iontů mezi pevnou a kapalnou fází půdy je reverzibilní proces. Soubor všech půdních koloidů se běžně označuje jako výměnný sorpční komplex, který je tvořen půdními koloidy (do 0,001 mm), vyznačujícími se některými vlastnostmi shodnými s koloidy. Půdní koloidy představují látky organické (humusové), minerální, jílové minerály, oxidy Al a Fe a organominerální.

3.4 Distribuce částic

O distribuci velikosti částic neboli PSD (Particle Size Distribution) pojednává ve své knize z roku 2012 Huang a spol., kde říká, že PSD je nejzákladnější fyzikální vlastnost půdy a půdní textury. V ní jsou přítomné různé velikosti částic, které mají určitý vliv na většinu fyzikálních vlastností. Základem je velikost půdních částic (nebo efektivní průměr) pro klasifikační systém. Může být uvedena řada průměrů a speciálních označení

(např. 2,0 - 1,0 mm je „velmi hrubý písek“). Hraniční poměr mezi horní a dolní mezí je přibližně 2 a částice v daném rozmezí velikostí se nazývá „frakce“. Hranice velikostí se liší podle země nebo disciplíny. Slovní spojení „ekvivalentní průměry“ definujeme techniku měření při určování velikosti částic. Pokud jsou identické částice měřeny různými technikami, může se zdát, že mají různé průměry. Je možné, že dva vzorky s identickými PSD (jak je stanoveno jedinou metodou) zobrazí rozdíly v dalších fyzikálních vlastnostech kvůli odlišným tvarům částic.

3.5 Zrnitost

Jednou ze základních fyzikálních vlastností půdy je zrnitost, neboli textura půdy. Jedná se o částice o různých velikostech, které tvoří tuhou fázi půdy. Šimečková (2014) uvádí, že dle definovaných rozsahů se částice řadí do skupin, které označujeme jako zrnitostní frakce. Základní dělení frakcí je na jemnozem u které jsou částice menší než 2 mm a skelet obsahující částice větší než 2 mm (viz Tab.2). Jemnozem, jakožto podstatná složka půdy ovlivňuje všechny vlastnosti půdy jako např. přilnavost (adhezi), soudržnost (kohezi), pórovitost, poměr vody a vzduchu, obsah a složení edafonu, sorpční vlastnosti půdy nebo velikost povrchové plochy půdy.

Tab. 2 Členění zrnitostních frakcí

Název frakce	Průměr částic [mm]	
jíl	< 0,001	JEMNOZEM
jílovité částice	< 0,01	
jemný prach	0,001 - 0,005	
střední prach	0,005 - 0,01	
hrubý prach	0,01 - 0,05	
jemný písek	0,05 - 0,25	
střední písek	0,25 - 2,0	
hrubý písek	2,0 - 4,0	SKELET
štěrk	4,0 - 30,0	
kámen	30,0 - 50,0	

Zdroj: Šimečková (2014)

3.6 Objemová hmotnost

Hmotnost objemové jednotky zeminy v přirozené struktuře se nazývá objemová hmotnost. Objemová hmotnost neredukovaná je určena jako podíl hmotnosti zeminy a jejího objemu zjištěných v čase odběru vzorku. Objemová hmotnost redukována je podíl hmotnosti vysušené zeminy a jejího původního objemu v rostlém stavu (Suchá 2017).

Redukovaná:

$$\rho_v = \frac{G_A}{V_S} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

Neredukovaná:

$$\rho_d = \frac{G_F}{V_S} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

Kde:

G_A = hmotnost zeminy s původní okamžitou vlhkostí [g],

G_F = hmotnost vysušené zeminy [g],

V_S = objem Kopeckého válečku [cm^3]

Objemová hmotnost výrazně ovlivňuje ostatní charakteristiky půdy. Je v průběhu času proměnlivá a to různými faktory jako jsou klimatické podmínky, nebo použitá agrotechnika. Hodnota objemové hmotnosti obvykle vzrůstá s hloubkou (Rejšek 1999).

3.7 Momentální vlhkost půdy

Momentální vlhkost (θ_{mom}) vyjadřuje okamžitý objem vody v půdě. Je závislá na objemu vzduchu v půdě a na objemové hmotnosti půdy. Hodnoty momentální vlhkosti se stanovují v objemových %. Hodnota momentální vlhkosti půdy se v čase mění v závislosti na srážkách, potřebě rostlin, výparu a hladiny podzemní vody. (Suchá 2017)

4 Základní metody vybraných fyzikálních vlastností

4.1 Porušené půdní vzorky

Půdní vzorek, jakožto část půdního horizontu, se odebírá za účelem laboratorního testování vlastností tohoto vzorku po popisu půdního profilu. Dle Zoubkové (2014) jsou dvě hlavní kritéria, která musí vzorek splňovat a to, že musí být homogenní a reprezentativní. To znamená, že vzorek nesmí být kontaminován maticí jiných vzorků (např. navážkou na místě výkopu půdní sondy). Odebírání vzorků probíhá vždy od spodní části profilu směrem vzhůru. Je to kvůli tomu, aby se předešlo teoretické kontaminaci padající matrice z výše položených vrstev horizontu. U horizontů, jenž mají mocnost menší než 5 cm se vzorky odebírají z celého horizontu. Při horizontech které mají mocnost větší než 30 cm, se odebírají vždy vzorky dva a to ze středů horní a dolní poloviny tohoto horizontu. Podle cílů pedologického šetření se množství odebíraných vzorků liší, avšak nikdy by hmotnost vzorků neměla klesnout pod hranici 1 kg. Pomocí lopatky a nože se zemina ukládá do předem připravených (popsaných) sáčků. Popis sáčku by měl vždy obsahovat: místo odběru vzorku, datum odběru, hloubku a číslo této sondy. Vzorek by v sáčku měl zůstat co nejméně možnou dobu. Skladování takovýchto vzorků se provádí na dobře větraném a suchém místě. Následuje vyjmutí vzorku ze sáčku a jeho rozprostření do tenké vrstvy (cca 1,5cm) přičemž dochází k jeho přirozenému vysoušení. Vzorek může obsahovat větší hrudky, které je nutno rozmělnit dříve, než dojde k jejich vyschnutí a ztvrdnutí. Vzorky se nesouší na přímém slunci nebo za použití umělých zdrojů tepla. Je třeba zajistit, aby vzorky během tohoto sušení nebyly nijak kontaminovány. Jestliže není naší prioritou zjišťovat fyzikální vlastnosti půdy a chceme stanovit pouze okamžitou vlhkost, odebírají se vzorky v porušeném stavu do tzv. vysoušeček. Jedná se o hliníkovou nádobu o objemu 50 až 100 cm³ uzavřenou víčkem. Jakožto každý odebraný vzorek by se měl co nejrychleji dopravit do laboratoře, avšak lze jej zpracovat až o 24 hodin po odběru. V jiném případě je možné takovéto vzorky skladovat na místě s teplotou nepřesahující 4°C.

Jestliže budeme provádět mikrobiologickou analýzu, je vhodné použít těsnící sterilní nádoby pro uložení porušených vzorků.

4.2 Neporušené půdní vzorky

V neporušeném stavu se odebírají vzorky pro fyzikální analýzy, přičemž hovoříme o tzv. neporušených půdních vzorcích. Jejich odebírání probíhá za použití fyzikálních válečků (Kopeckého válečky viz Obr 2). Při takovémto odebírání postupujeme opačně, než tomu bylo u porušených vzorků a to od povrchových horizontů směrem dolů k horizontům substrátovým. Jak uvádí Valla a spol. (2002), tenkostěnné fyzikální válečky jsou ocelové a 5 cm vysoké. Jejich objem je roven 100 cm^3 (mohou mít i větší objem při odebírání vzorů pro speciální účely jako je např. propustnost). Válečky jsou do země vtlačovány pozvolně a to kvůli tomu, aby se odebíraný vzorek nesmačkával. Po úplném zatlačení jsou válečky vyjmuty z půdy (vykopány) a přesahující zemina je nožem odříznuta a to od středu válečku směrem ven do tvaru kužele (viz Obr. 2), jehož výška se postupně snižuje až ke hraně válečku. Takto upravený vzorek se poté na obou stranách uzavře (zavíčkují), zajistí gumičkami a vloží do sáčku. Sáček nese stejné parametry označení jako při odebírání porušených vzorků. Odběr je správný, když vzorek zůstane v celku a není v něm viditelná stopa po větším kamenu. Jestliže vzorek takovéto známky vykazuje, je třeba odebrat vzorek nový. Válečky s odebranými vzorky se musí co nejdříve přepřavit do laboratoře a zpracovat.

Obr. 2 Kopeckého válečky a jejich ošetření



Zdroj: Bátková, a spol. (2013)

4.3 Zrnitostní rozbor-sedimentační metody

Podle Vally a spol. (2004) je teoretickým podkladem pro všechny sedimentační metody Stokesův vzorec:

$$v = \frac{2}{9} g \frac{\rho_z - \rho_k}{\eta} r^2$$

Kde: v = sedimentační rychlost [m.s⁻¹]
 g = tíhové zrychlení [m.s⁻¹]
 ρ_z = měrná hmotnost částic [g.cm⁻³]
 ρ_k = měrná hmotnost kapaliny [g.cm⁻³]
 η = dynamická viskozita kapalin [dPa.s]
 r = poloměr částic [cm]

4.4 Příprava půdních vzorků

Porušený vzorek může být směšného charakteru. Dle Zoubkové (2014), proto používáme techniku homogenizace. Takovýto vzorek rozprostřeme na čtverec a rozdělíme na kvartály (dvě úhlopříčné line). Takto rozdělenou matici na čtvrtiny, přičemž dva protilehlé kvartály odstraníme a ze zbylých dvou připravíme směšné vzorky, které budeme analyzovat. Tyto homogenizované a přirozeně vysušené vzorky se analyzují v laboratoři ve dvou formách

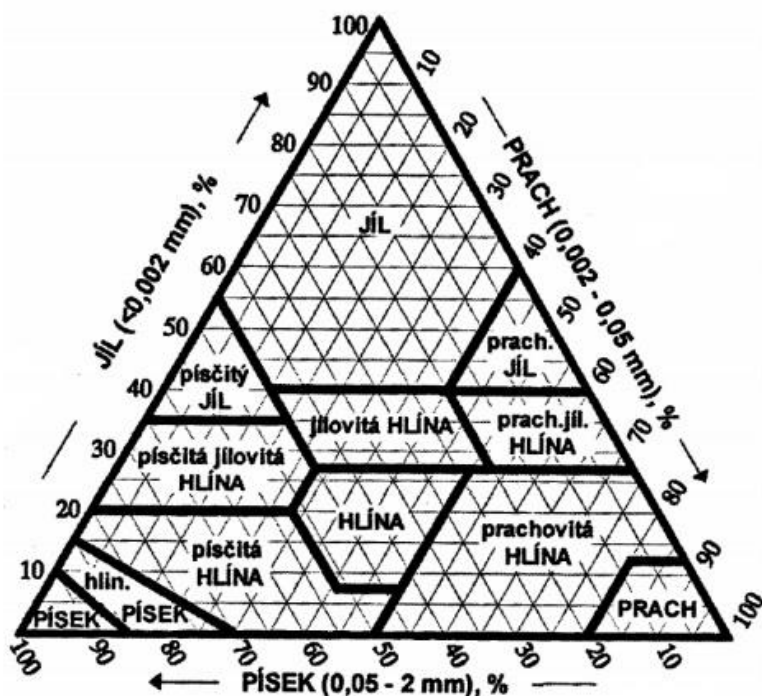
4.4.1 Jemnozemi I

Po odstranění živočišných a rostlinných zbytků a také větších částic skeletu se vzorek ručně proseje sítím o průměru otvorů 2 mm takovým způsobem, aby nebyly porušeny (rozdrceny) částice skeletu. Podle Pavlů (2018) je tato forma využívána např. pro stanovení měrné hmotnosti a podílu fyzikálního jílu (viz Obr. 3), zrnitostní analýzy, stanovení sorpčního komplexu, kationtové a aniontové půdní kapacity aj.

4.4.2 Jemnozemi II

U této skupiny vyžadujeme průměr částic menší než 0,25 mm. Pro získání jemnozeme II použijeme zeminu z jemnozeme I. Tu opět prosejeme pomocí síta s průměrem ok 0,25 mm. Takto upravený vzorek se používá pro stanovení celkového dusíku a pro stanovení procentického obsahu oxidovaného uhlíku (Seková 2012).

Obr.3 Trojúhelníkový diagram pro stanovení druhu půdy podle obsahu jílu, prachu a písku v % hmotnostních.



Zdroj: Kosíková (2012)

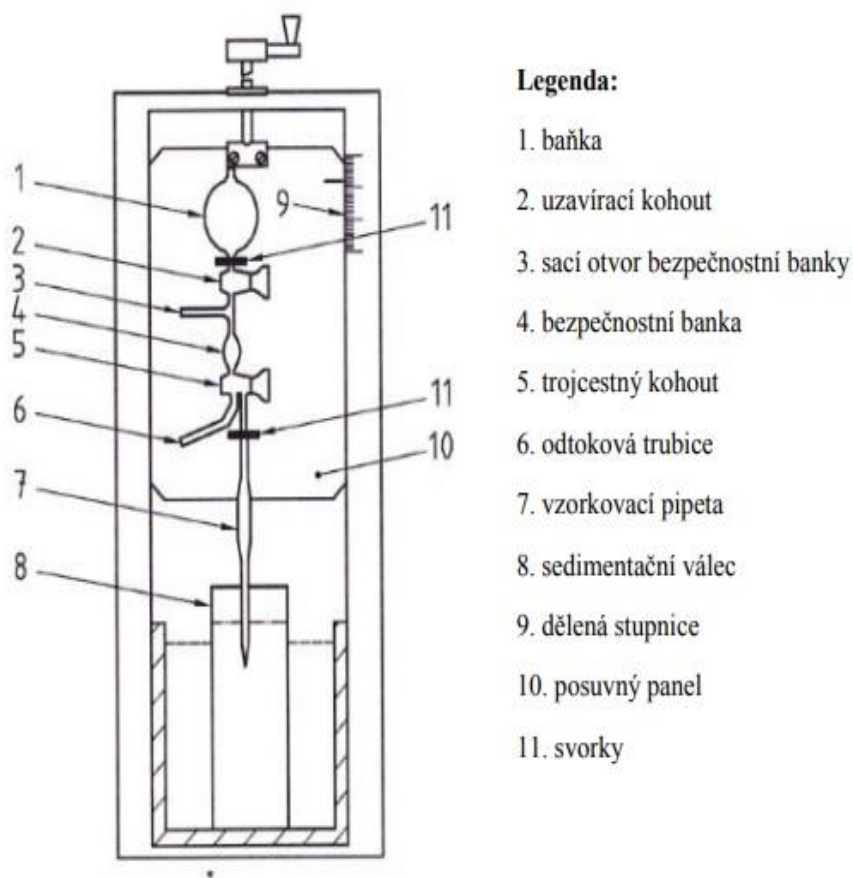
4.4.3 Pipetovací metoda

Pipetovací metoda je jedna ze sedimentačních metod zrnitostního rozboru půdy. Podle Zoubkové (2014), patří do skupiny tzv. neopakované (nepřerušované) sedimentace. Po nalití a zamíchání půdní suspenze v sedimentačním válci se odebírají vzorky pipetou o objemu 20 – 25 ml v předem stanovených hloubkách a v předem určených (vypočítaných) časových intervalech. Takto odebrané vzorky se poté vysuší a zváží. Následuje procentický výpočet zastoupení jednotlivých frakcí.

Pipetovací metoda pomůcky

Pipetovací zařízení (viz Obr. 4), analytické váhy, kádinka (200 ml), hodinové sklo, sušárna, exsikator se silikagelovou náplní, vysoušečky, síto s průměrem prostupů 0,25 mm, odměrný válec (1 000 ml), sedimentační válec (1 000 ml), skleněná tyčinka, stopky, destilovaná voda, dispergační činidlo (hexametafosforečnan sodný).

Obr. 4 Pipetovací soustava



Zdroj: (ČSN CEN ISO/TS 17892-4)

Pipetovací metoda metodika

Dle ČSN CEN ISO/TS 17892-4 se vzorek jemnozeme o hmotnosti 10 - 30g, podle půdního typu vloží do 200 ml kádinky, kam se zároveň přidá dispergační činidlo (stejný počet mililitrů jako gramů přidaného vzorku) a destilovaná voda. Poté se kádinka překryje sklem a nechá 24 hodin odstát. Po 24 hodinách se uvede suspenze do varu a vaří po dobu jedné hodiny. Vypařená voda se v průběhu varu doplňuje horkou vodou. Po jedné hodině se nechá suspenze vychladnout a přelije přes síto (průměr ok 0,25 mm) do sedimentačního válce o objemu 1000 ml. Kádinku o objemu 200 ml promyje a obsah vylije do sedimentačního válce, který se následně doplní vodou po rysku. Zachycená frakce v sítu se umístí do vysoušečky a při teplotě 105°C se v elektrické sušárně suší 1 hodinu. Následuje umístění do exsikátoru se silikagelovou náplní. Po vychladnutí se tento vzorek zváží (hodnota D). Současně se stanovuje sušina a to tak, že se odváží stejné množství jemnozeme jako pro vlastní rozbor (tedy 10 - 30g) a suší se při teplotě 105°C a to po dobu 3 hodin. V exsikátoru

vzorek vychladne a poté se zváží. Dalším krokem je výpočet množství sušiny. Následuje míchání po dobu 1 minuty vytemperované suspenze v sedimentačním válci. Poté se začne měřit čas a započte pipetování a to postupně ze tří hloubek 25,10 a 7 cm pod hladinou v určených časových intervalech. (Tab.3) Po uplynutí doby sedimentace pro danou frakci se pipetuje vždy 25 ml suspenze. Čas, při kterém se začne nasávat suspenze do pipety se liší, v závislosti na hloubce. V hloubce 25 cm se začne nasávat 10s před uplynutím doby sedimentace. V hloubce 10 cm se začne pipetovat 12s před uplynutím doby sedimentace a v hloubce 7cm, 15s před uplynutím doby sedimentace. Nasávání resp. jeho rychlost se reguluje tak aby v čase sedimentace byla naplněna polovina objemu pipety.

Dalším krokem je vypuštění suspenze z pipety do předem zvážené vysoušečky. Opět se malým množstvím destilované vody pipeta vypláchne a vypláchnutý obsah se vloží společně se suspenzí do vysoušečky.

Po odpaření vody se vzorek vysuší v sušárně po dobu 1 hodiny při 105°C. Následuje vychladnutí vzorku v exsikátoru po kterém se obsah zváží (hodnoty A1, A2, A3).

Pro stanovení odparku (hodnota C) je nutno provést slepý pokus. Ten se provádí současně a to tak, že se do sedimentačního válce odměří stejné množství dispergačního činidla, jako se přidávalo ke vzorku a doplní se na požadovaný objem (po rysku – 1000 ml) destilovanou vodou. Poté se odebere objem odpovídající použitému pipetovacímu zařízení (hodnota V).

V závěru se provedou výpočty pro dané zrnitosti a jejich kategorie (viz rovnice 2,3,4,5)

Tab. 3 Časové intervaly pipetování v závislosti na velikosti půdní frakce

Frakce (mm)	< 0,05	< 0,01	< 0,001
Ponor (cm)	25	10	7
Sání (s)	20	25	30

$$\text{IV. kategorie (\%)} = \frac{D}{\text{sušina}} * 100 \quad (2)$$

$$\text{III. kategorie (\%)} = \frac{(A_1 - C)(1\ 000/V)}{\text{sušina}} * 100 \quad (3)$$

$$\text{II. kategorie (\%)} = \frac{(A_2 - C)(1\ 000/V)}{\text{sušina}} * 100 \quad (4)$$

$$\text{I. kategorie (\%)} = \frac{(A_3 - C)(1\ 000/V)}{\text{sušina}} * 100 \quad (5)$$

Zdroj: Vlastní zpracování dle Zoubkové (2014)

4.4.4 Sítová metoda

Proces prosévání spočívá v umístění částic skrze síta s různou velikostí děr. Malé částice mohou propadnout, zatímco větší částice zůstanou zachyceny v sítu při jeho pohybování. Prosévání můžeme dělat na „sucho“ bez přidání vody, nebo s přidáním vody. Suché prosévání má spodní praktickou hranici asi 50 μm , zatímco prosévání za mokra může oddělit ještě menší velikosti částic. S přidáním kapaliny se očekává změna pozorovaných frekvencí. Sítové otvory mohou být čtvercové (pomocí pletiva z drátěného pletiva), nebo kulaté (nejsou běžně používané). Použití síta se čtvercovými otvory nebude mít za výsledek stejné hodnoty měření jako hodnoty naměřené při použití síta s kulatými otvory. Používáme slova jako efektivní nebo jmenovitý průměr síta, který je uznáním nedokonalé separace, jenž může nastat. Umístění vzorku půdy na síto nevede k okamžitému oddělení vzorku. Čas prosévání ovlivňuje úroveň oddělení a další faktory. Mezi tyto faktory patří velikost, intenzita vibrací, tvar částic, velikost částic a otvor geometrie. Protože vzorky se liší svými vlastnostmi prosévání, tak nejlepší je spustit zkušební vzorek. Chyby na jedné sadě sít jsou obvykle menší než 1%, zatímco srovnání mezi síty ukazují náhodné chyby kolem 4%. Mnoho standardních velikostí sít odpovídá limitům skupin třídění. Překvapivě není k dispozici žádná standardní síta pro 50 μm pro oddělení písku a jílu. Díky tomu prosévání nedokáže rozlišit tuto hranici třídy pomocí standardních sít Zoubková (2014).

Sítová metoda pomůcky

Analytické váhy, soustava sít (viz Obr. 5), ostrý štětec, kádinka.

Sítová metoda metodika

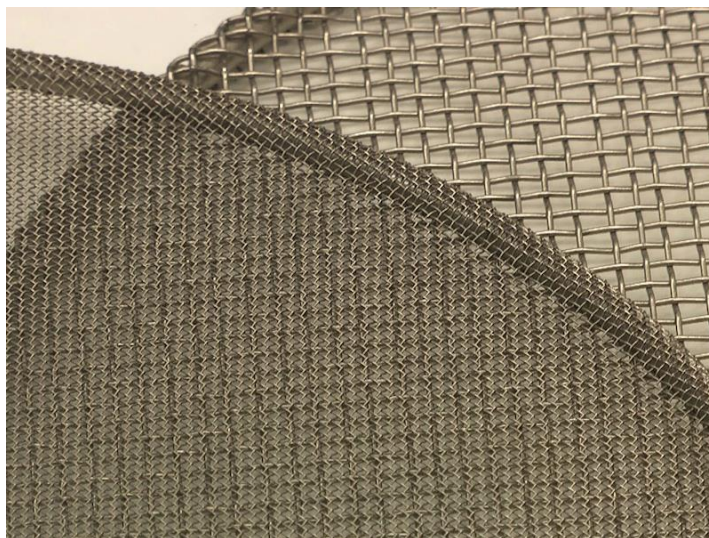
Cca 1 kg přirozeně vyschlého (samovolně za přístupu vzduchu) vzorku zeminy se nasype na soustavu sít s postupně se zmenšujícím průměrem ok (10 – 0,1 mm) a za pomoci ostrého štětce se prosévá. Frakce, jenž zůstala na konkrétní sítu (s konkrétní velikostí ok) se přesype do předem zvážené kádinky a zjistí se její hmotnost. Z celkové hmotnosti se poté vypočítá procentní zastoupení každé jednotlivé frakce (ČSN CEN ISO/TS 17892-4).

Obr. 5 Prosévací přístroj

a) soustava sít



b) detail síta



Zdroj: SŠZ a VŠOZ Hradec Králové

4.4.5 Aerometrická metoda (hustoměrná metoda podle A.Casagrande)

Aerometrická metoda, jakožto další sedimentační metoda používaná od roku 1934, se řadí mezi metody s neopakovanou sedimentací. Sedimentací částic dochází ke snižování hustoty suspenze, což se projevuje poklesem speciálního hustoměru (Suchá 2017).

Aerometrická metoda pomůcky

hustoměr o rozsahu 0,995 – 1,030 cejchovaný při 20°C s přesností $\pm 0,0002$, analytické váhy, kádinka (200 ml), hodinové sklo, sušárna, exsikátor se silikagelovou náplní, vysoušečky, síto s průměrem prostupů 0,25 mm, odměrný válec (1 000 ml), sedimentační válec (1 000 ml), skleněná tyčinka, stopky, destilovaná voda, dispergační činidlo (hexametafosforečnan sodný)

Příprava vzorku půdy

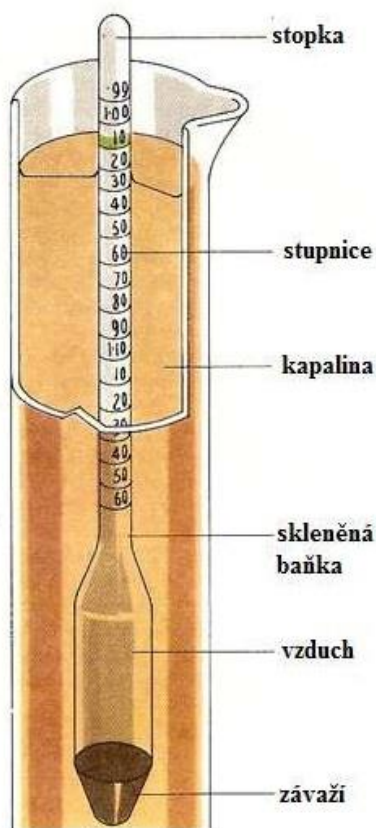
Pro aerometrickou metodu je třeba oddělit půdní agregáty na jednotlivá zrna a zamezit tvorbě koagulačních vloček v průběhu rozboru zrzovitosti a to pomocí koagulačních látek.

Přípravu lze provádět chemicky, mechanicky nebo kombinací chemické a mechanické metody Suchá (2017).

Mechanická příprava vzorku pro aerometrickou metodu – třepání

Pomůcky: Plovací hustoměr (viz Obr. 6), láhev o objemu 500 ml, nálevka, horizontální třepačka, porcelánové misky s plochým dnem, stříčka s destilovanou vodou, olovené kuličky potažené gumou, váhy s přesností 0,05g, hodinové sklo

Obr. 6 Popis plovacího hustoměru



Zdroj : Silvestr (2014)

Aerometrická metoda metodika

Podle ČSN CEN ISO/TS 17892-4 se jemnozsem I o hmotnosti 50g smáčí po dobu 24 hodin v destilované vodě. Následuje přemístění celé suspenze do láhve se širokým hrdlem společně s 5-ti olovenými kuličkami. Uzavřená láhev je vložena do horizontální třepačky, kde se protřepává po dobu jedné hodiny a to třepací frekvencí 440 rázů za minutu.

Pomocí nálevky a skleněné tyčinky se přelije do misky, kde se ponechá 24 hodin. Následuje přelití suspenze do sedimentačního válce (1000 cm³) a doplnění destilovanou vodou společně s činidlem (1 ml činidla/1 g jemnozeme I) po risku sedimentačního válce. Suspenze se poté míchá pomocí skleněné tyčinky. Po zamíchání suspenze pomocí skleněné tyčky se tyčka vytáhne, čímž započalo měření. Ihned se pomalu vloží hustoměr. Hustota suspenze se odečítá po ustálení hustoměru (nehoupe se ani neotáčí) a to na horním menisku. Do formuláře se odečítané hodnoty zapisují jako celky, kde 4,5 znamená 1,0045 (jedná se tedy o tisícinu). Dalším krokem je oprava nulového čtení a úprava meniskové korekce. Hustota suspenze se pak odečítá v určených časových intervalech a to 30'', 1', 2', 5', 15', 45', 2, 5 a 24 hodin od začátku prvního měření. Po každém měření (jedno měření=hustoměr ponořen po dobu 5-ti minut v sedimentačním válci) se hustoměr vyjme, opláchne a znovu vloží do válce vždy 1 minutu před dalším měřením. Měření teploty suspenze probíhá nejprve 15-ti minutách od prvního ponoření hustoměru a posléze při každém dalším měření a to s přesností ± 0,2°C. Podle naměřených teplot se určuje teplotní korekce. Pro vyhodnocování měření slouží Stokesův vztah.

$$D = \sqrt{\frac{18 \cdot \eta \cdot H}{g \cdot t \cdot (\rho_z - \rho_0)}}$$

Kde:

D... průměr zrna [mm]

η ... dynamická viskozita tekutiny [g.cm⁻¹.s⁻¹]

ρ_z ... hustota částic [g.cm⁻³]

ρ_0 ... hustota disperzního prostředí [g.cm⁻³]

g... tíhové zrychlení [981 cm.s⁻¹]

H... hloubka ponořeného hustoměru v suspenzi [cm]

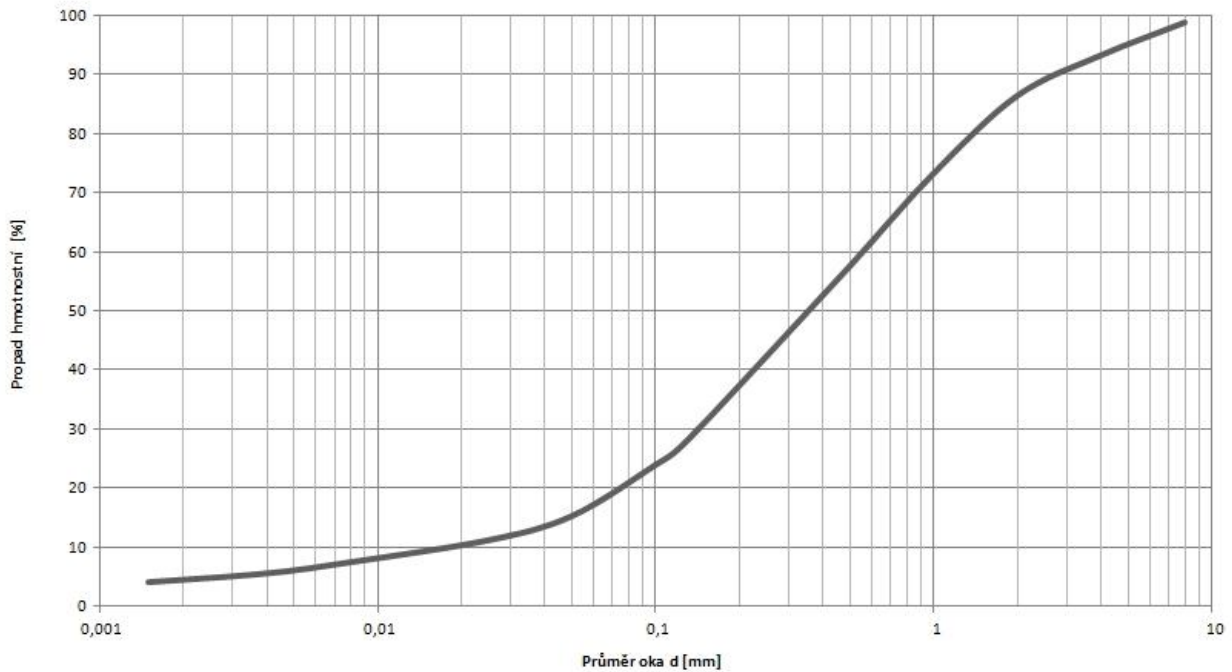
t... čas měření [s]

Aerometrická metoda výsledek měření

Jako výsledek aerometrické metody se sestrojuje křivka zrnitosti (viz Graf 1). Na ose x je vynášen průměr zrn v logaritmickém měřítku a na ose y jsou vynášeny procentuální podíly jednotlivých frakcí.

Graf 1 grafické znázornění výsledů měření hustoměrem

Křivka zrnitosti



Zdroj: Šobor (2011)

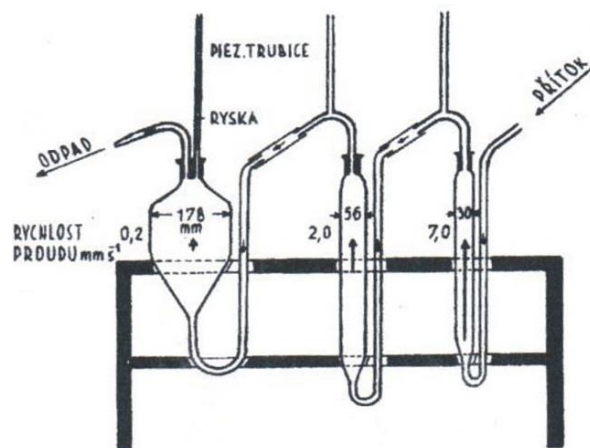
4.4.6 Vyplavovací metoda

Při vyplavovací metodě se používá přístroj nazývaný Kopeckého plavící přístroj, v němž vzestupným proudem vody dochází k roztřídění částic Valla a spol. (2002)

Vyplavovací metoda pomůcky

Kopeckého plavící přístroj (viz Obr. 7)

Obr. 7 Kopeckého plavící přístroj



Zdroj: Valla 2002

Vyplavovací metoda metodika

Kopeckého plavící přístroj „je konstruován tak, že rychlost proudu v jednotlivých trubcích zajišťuje rozdělení na jednotlivé zrnitostní kategorie: v nejužším válci (kam se vpraví na začátku rozboru navážka 50 g preparovaného vzorku) zůstává kategorie IV.

(0,1-2,0 mm), v prostředním kategorie III. (0,05-0,1 mm) a v nejširším kategorie II. (0,01-0,05 mm). Kategorie I. (<0,01 mm) odtéká do odpadu a dopočítá se rozdíl do 100%. Po skončení vyplavování se zemina z jednotlivých válců vypláchne, vysuší a zváží.“ Valla a spol. (2002, str. 20)

Je třeba brát v potaz, že přístroj vyžaduje přesnou regulaci přicházejícího množství vody a to přesně 1000 cm³ za dobu 202 s. Přístroj se seřizuje pomocí rysky piezometrické trubice.

4.4.7 Metoda laserové difrakce

Pan Šimek a spol. ve svém díle z roku 2014 uvádí, že metoda laserové difrakce je stále více vyhledávanou a preferovanou technikou měření velikosti částic. Jde o techniku, při které dochází ke hromadnému měření částic. Tato metoda vygeneruje výsledky pro celý testovaný vzorek. Při kontinuálním průtoku laserovým paprskem částicemi se tento paprsek difraktuje a informace o tvaru a velikosti částic jsou obsaženy v difrakčním obraze. Odtud jsou pomocí Fourierovi transformace převedeny na distribuční křivku. Jedná se o metodu velice rychlou v porovnání s ostatními metodami určování zrnitosti a také je tato metoda reprodukovatelná (je možno ji ihned opakovat na stejném vzorku). Před samotným měřením je třeba si stanovit hledané a fixní parametry měření (vyvinout a validovat metodu pro konkrétní vzorek).

Příprava vzorku půdy pro laserovou difrakci

Před samotnou analýzou je nutné vzorky zeminy vysušit při teplotě 105° C (sušení probíhá po dobu nutnou k získání konstantní hmotnosti vzorku) jemně rozdrolit a prosít skrz síto s velikostí ok 2 mm.

Přístroje pro laserovou difrakci

Laserový analyzátor – V současnosti se na trhu objevuje mnoho takovýchto přístrojů. Liší se především citlivostí na měření jednotlivých velikostí částic.

Hydro MU adaptér – Spolu s laserovým analyzátozem tvoří dvojici přístrojů (viz Obr. 8), bez kterých se při této metodě neobejdeme. Samotný adaptér slouží ke zpracování měřeného vzorku. Jeho součástí je ultrazvuková sonda a míchadlo sloužící k zabránění usazování částic na stěnách kádinky. Rychlost míchadla je volitelná od 0 ot/min až do tisícových hodnot ot/min.

Obr. 8 Laserový analyzátor



Zdroj: Anton Paar (2014)

Laserová difrakce metodika

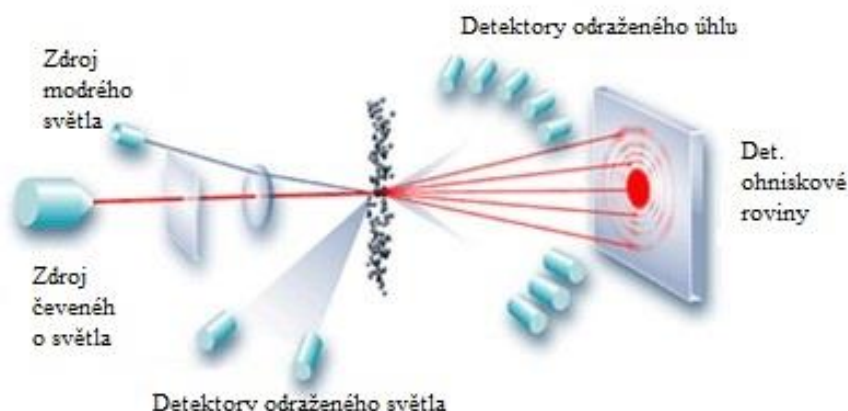
Mezi dvěma skleněnými destičkami nebo čočkami, laserový analyzátor neustále čerpá část suspenze skrz zkoumaný vzorek.

Na základě rozptylu laseru (viz Obr. 9) se měří velikost částic procházejících mezi destičkami, přičemž při každém nárazu laseru jednotlivou částicí je tento rozptyl ohýbán podle modelu Fraunhofer za použití MIE teorie. Kadlčák (2014).

MIE teorie:

Jedná se o matematicko-fyzikální teorii rozptylu elektromagnetického záření částicemi vyvinutou Gustavem Mie v roce 1908.

Obr. 9 Princip měření částic pomocí laserového paprsku

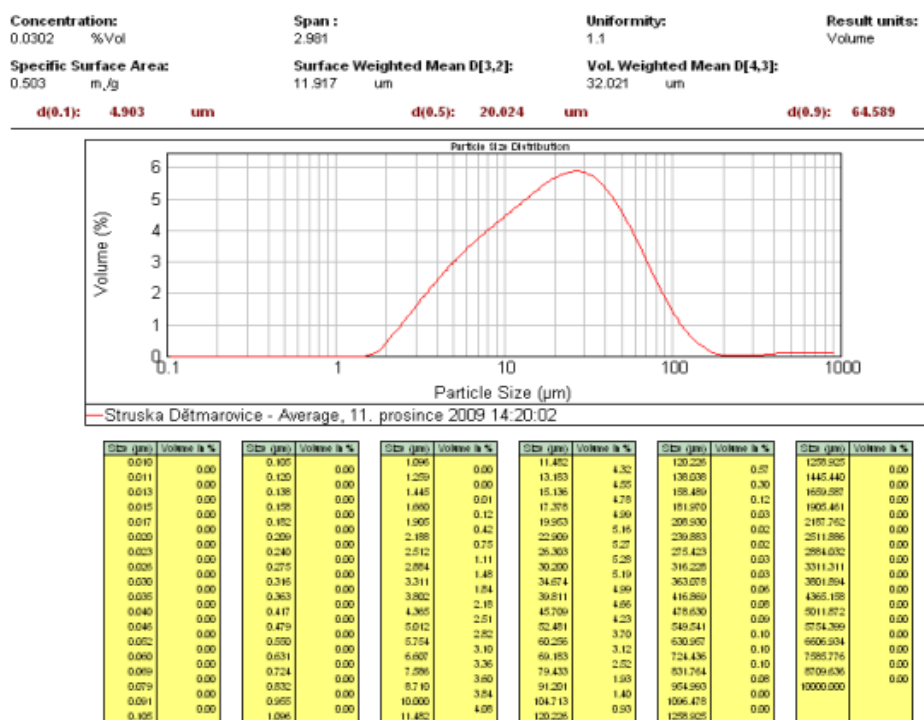


Zdroj: Vlastní zpracování dle Kosíkové (2012)

Výsledek měření při laserové difrakci

Výsledkem měření je grafické znázornění (viz Graf 2) distribuce velikosti částic (histogram, frekvenční či kumulativní křivka) doplněný o několik vypočtených parametrů, jenž charakterizují naměřené velikosti částic a o tabulkové hodnoty, jak uvádí Kosíková (2012).

Graf 2 Grafické znázornění výsledků měření laserovou difrakcí



Zdroj: Kosíková 2012

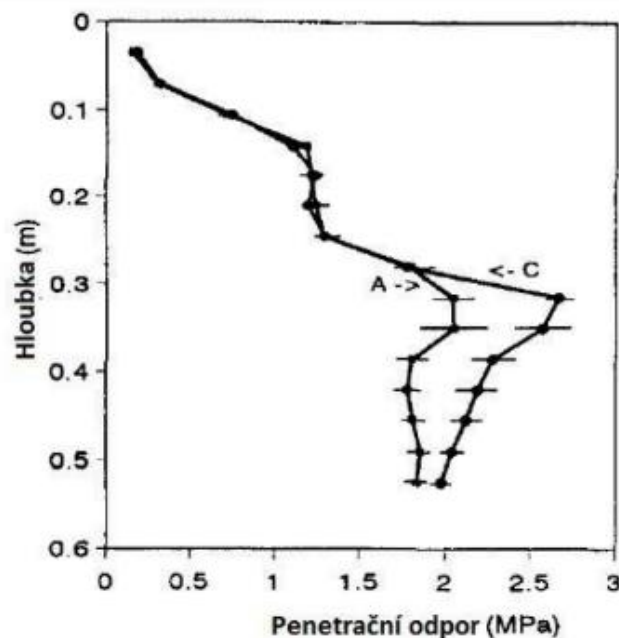
4.5 Penetrační odpor

Při vyhodnocování zhutnění půdy se obvykle využívá hodnota objemové hmotnosti a měření penetračního odporu půdy, jak uvádí Chyba (2013). Penetrační měření známé také jako index kužele je hodnota odporu půdy proti plochám o známé velikosti a úhlu skosení kuželu penetrometru.

Oproti měření objemové hmotnosti má měření penetračního odporu tu výhodu, že je jednodušší získat data z celého půdního horizontu (limitován hloubkou dosahu penetrometru).

Na Obrázku 10 je uveden vztah mezi penetračním odporem půdy a hloubkou měření na přejeté půdě – křivka C (4x přejeté traktorem o váze 19t) a nepřejeté půdě – křivka A.

Obr. 10 Srovnání penetračního odporu přejeté a nepřejeté půdy



Zdroj: Chyba (2013)

V tomto případě byla provedena orba do hloubky 25cm. Vzárostající charakteristika křivky penetračního odporu s hloubkou poukazuje na to, že zde nedochází k významným statistickým rozdílům mezi přejetou oblastí a nepřejetou oblastí do hloubky, ve které byla provedena orba. Avšak v hloubce od 30cm do 50cm (tam kde nebyla provedena orba) dochází k významným rozdílům (vyšší hodnoty pro přejetou oblast oproti nepřejeté oblasti). Tento rozdíl je až 22%. Ve větších hloubkách byly sledovány jen nepatrné rozdíly.

Rozhodující vliv na průjezdnost terénu má smyková pevnost zeminy. Jedná se o proměnlivou hodnotu ovlivněnou dalšími faktory jako je granulometrické složení půdy a vlhkost půdy. Pro zachycení a implementaci těchto faktorů slouží metodika FM 5-430-00-1.

Metodika FM 5-430- 00-1: Jak již bylo zmíněno, tato metodika zachycuje a implementuje faktor granulometrického složení půdy a vlhkost půdy do stanovení kuželového indexu zatížitelnosti [RCI] a to díky dalším parametrům jako je index přetvoření [RI].

$$RCI = CI * RI$$

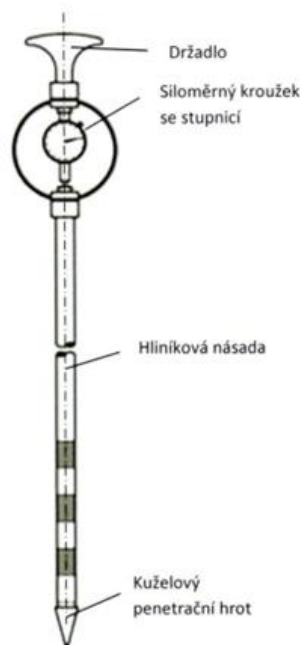
„Index přetvoření [RI] odráží vliv vlhkosti a jejich projevů na pevnost jemnozrnných zemin, (u hrubozrnných se nezjišťuje). Kritická vrstva je hloubkový interval, ve kterém je zjištění hodnoty kuželového indexu [CI] směrodatné. Její hloubka je různá v závislosti na typu zeminy, půdním profilu, typu a hmotnosti vozidla a počtu požadovaných pojezdů“
Kaplan a spol. (2012, str. 234).

Součinem hodnot penetrační pevnosti zeminy [CI] a indexu přetvoření zeminy pro příslušnou kritickou vrstvu [RI] je výsledný parametr pevnosti zeminy měřeného terénu neboli kuželový index terénu [RCI]. Kaplan a spol. (2012).

Pomůcky pro měření penetračního odporu

Penetrometr (viz Obr. 11).

Obr. 11 Popis penetrometru

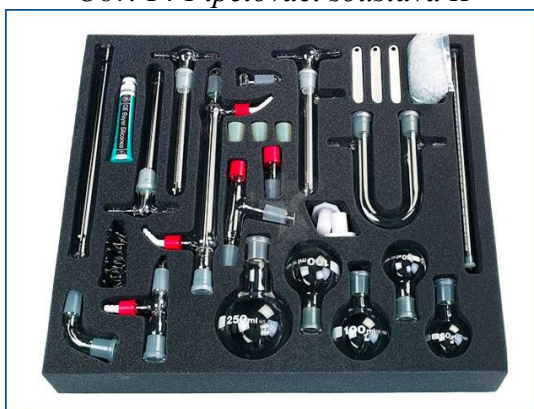


Zdroj: Kaplan a spol. (2012)

5 Ekonomické zhodnocení

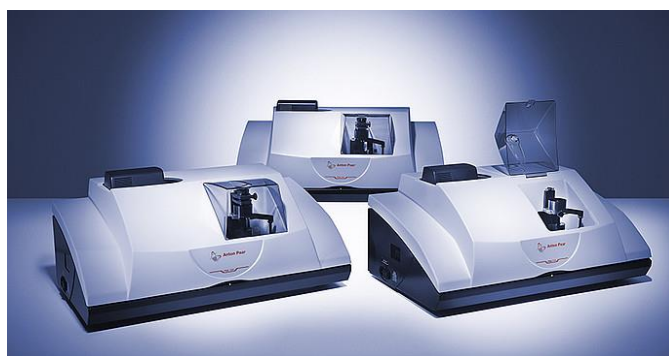
Pro ekonomické zhodnocení jsem zvolil 2 metody zrnitostní analýzy a to pipetovací metodu a laserovou difrakci. Ceny pomůcek a přístrojů jsou uvedeny k datu 14.5.2021. Uvažuji jen cenu základního vybavení (pipetovací soustavu a Analyzátor laserové difrakce) vzhledem k povaze přístrojů a samotného ekonomického zhodnocení je cena dalšího vybavení zanedbatelná.

Obr. 14 Pipetovací soustava II



Zdroj: Školamarket (2021)

Obr 8. Analyzátor laserové difrakce



Zdroj: Anton Paar (2014)

Cena pipetovací soustavy (viz Obr. 14) – 15 729 Kč

Cena laserového analyzátoru (viz Obr. 8) - statisíce až miliony Kč (pro výpočet budu uvažovat 1 000 000 Kč)

Pro porovnání těchto dvou metod uvažuji časový horizont jednoho měsíce.

Pipetovací soustava:

Jedno měření zabere 30 hodin, můžeme provést 24 měření za měsíc.

Cena jednoho měření v měsíčním horizontu by byla 655 Kč

Laserová difrakce:

Uvažujeme 6 vzorků za hodinu (metoda je rychlejší, ale počítáme s časem na manipulaci se vzorky)

Za měsíc touto metodou jsme schopni provést 4320 zkoušek. V měsíčním horizontu je cena za jedno měření 231 Kč.

Výsledný výkonnostní poměr je 24 : 4320 to znamená, že laserová difrakce je 180x výkonnější než měření pomocí pipetovací metodou.

Při zvážení poměru pořizovacích cen $15\,729 : 1\,000\,000 = 1 : 63,6$ můžeme říci, že měření metodou laserové difrakce je cca 64x dražší než měření pipetovací metodou.

Pro častá měření doporučuji zvolit metodu laserové difrakce, která je sice dražší ale výkonost je zhruba 3x větší než rozdíl v ceně.

Pro málo četná měření doporučuji měření pipetovací metodou kvůli jeho nižší ceně.

6 Závěr

Tato bakalářská práce byla věnována popisu a hodnocení vybraných fyzikálních vlastností půdy, přičemž bylo zjištěno následující:

- Sítová metoda je nejjednodušší způsob zrnitostního rozboru. Tato metoda není schopna zachytit jemné frakce a používá se pro stanovení frakce IV. Velikostní kategorie a při rozboru skeletovitosti půdy. Tato metoda poskytuje informace o reálných rozměrech částic, což je její hlavní výhoda. Její nevýhodou je destruktivní charakter, časová náročnost a neschopnost oddělit částice písku a jílu.
- K získání informací o texturním složení částic se používají vyplavovací nebo usazovací (sedimentační) metody zrnitostního rozboru.
- Vyplavovací metoda je založena na různých unášejících silách vody působících proti usazování částic a různé rychlosti sedimentace částic odlišných rozměrů. Tato metoda stejně jako pipetovací, aerometrická, dekantační metoda a metoda laserové difrakce poskytují informace o všech velikostních frakcích. Při této metodě se I. Velikostní kategorie dopočítává jako rozdíl do 100% původního objemu suspenze.
- Mezi sedimentační metody se řadí metoda dekantační - použití dekantačních válců s postranním tubusem pro vypuštění suspenze po uplynutí vypočtené doby sedimentace (přerušovaná sedimentace), metoda pipetovací a aerometrická s přerušovanou sedimentací.
- Při pipetovací metodě se odebírají vzorky suspenze v předem stanovených hloubkách a časech, které se následně vysuší a vypočítá se procentické zastoupení frakcí v odebraném vzorku půdy. Jedná se o metodu přesnou, ale náročnou na práci.
- Hlavní výhodou aerometrické metody je stanovení hustoty látek přímo v suspenzi. Tato metoda je náročná na správné odečítání z hustoměru. Jedná se o metodu přesnou, ale časově náročnou.
- Z uvedených popisů metod bylo zjištěno, že nejnovější metoda laserové difrakce je v porovnání s ostatními metodami zrnitostní analýzy dražší a není tak přesná. Avšak manipulace se vzorky i se samotným laserovým analyzátozem není tak náročná a je velice časově úsporná v porovnání s ostatními metodami.

- Pro měření zhutnění půdy je vhodná metoda za použití neporušených vzorků půdy, která poskytuje větší soubor dat oproti měření penetračního odporu penetrometrem. Tato metoda je však v porovnání s měřením penetrometrem výrazně dražší a pracnější.

Doporučení

Metodu hodnocení zrnitosti bych volil podle charakteru výsledků, které hledáme. Při častém měření doporučuji metodu laserové difrakce, která má do budoucna ohledně technologického vývoje potenciál stát se primární metodou zrnitostního rozboru půdy.

7 Seznam použitých zdrojů

Odborná literatura

- HŮLA, J. *Dopad netradičních technologií zpracování půdy na půdní prostředí*. Praha. Výzkumný ústav zemědělské techniky, [2010]. ISBN 978-80-86884-53-0
- PAVLŮ, L. *Základy pedologie a ochrany půdy*. Praha: první vydání. ČZU Praha. 2018. ISBN 978-80-213-2876-1
- HUANG, P M. – LI, Y. – SAMNER, M E. *Handbook of soil sciences: Properties and processes*. Boca Raton: CRC Press, 2012. ISBN 978-1-4398-0305-9
- REJŠEK, Klement. *Lesnická pedologie: cvičení*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1999. ISBN 80-7157-352-3.
- ZOUBKOVÁ, Lenka. *Návody k laboratorním cvičením z pedologie*. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta životního prostředí, 2014. ISBN 978-80-7414-800-2
- VALLA, M., J. KOZÁK, J. NĚMEČEK, S. MATULA, L. BORŮVKA a O. DRÁBEK. *Pedologické praktikum. 2. vyd.* Praha: ČZU, katedra pedologie a geologie AF, [2002]. ISBN 80-213-0914-8
- ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČDN CEN ISOTS 17892-4: *Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemín.- Část 4: Stanovení zrnitosti zemín*, Praha: Český normalizační institut, 2005. (ČSN EN ISO 17892)

Internetové zdroje

- SEKOVÁ, J. *Sledování a hodnocení fyzikálních vlastností půdy*, Praha, 2012, Diplomová práce, Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta
- RICHTER, Rostislav. *Sorpční schopnosti půdy* [online]. [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/sorpce.htm
- ŠIMEČKOVÁ, J. (2014). *Zrnitostní složení půdy - Postup stanovení zrnitostního složení pomocí pipetovací metody*. Načteno z http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/19/19-zrnitost.pdf
- SUCHÁ, K. *Dopad netradičních technologií zpracování půdy na kvalitu půdy*, Brno, 2017, Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
- KADLČÁK, Jiří. *Obrazová analýza a současné metody granulometrie* [online]. Brno, 2014 [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <file:///C:/Users/domik/Desktop/dobr%C3%BD%20zdroje/Sekov%C3%A1%202012%20DP.pdf>. Rešeršní část k diplomové práci. Masarykova univerzita v Brně. Vedoucí práce Mgr. Martin Knížek, PhD.
- KOSÍKOVÁ, J. (2012). *Laserová difrakce pro měření velikost částic*. Načteno z Letní škola materiálového inženýrství: http://www.supmat.cz/DownloadHandler.ashx?pg=ba2009ef-ed3e-4701-bb91-023a5f597f80§ion=a04d5707-2897-4d73-afe5-04ad293686a5&file=Kos%C3%ADkov%C3%A1_Laserov%C3%A1_difrakce.ppt

- CHYBA, J. *Vliv technologie řízeného pohybu strojů po pozemcích na fyzikální vlastnosti půdy a výnosy plodin*, Praha, 2013, Disertační práce, Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta
- KAPLAN, Věroslav, Pavel MAŇAS a Šárka SOBOTKOVÁ. *Diagnostika terénu z hlediska jeho průjezdnosti*[online]. In: . Žilina, 2012, 30. Května [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <http://fbiw.uniza.sk/rks/2012/articles/clanky/kaplan.pdf>
- Bářková, K., Matula, S., Miháliková, M. 2013. *Multimediální učebnice hydroopedologických terénních měření. 2. doplněné vydání* [on-line]. Česká verze. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. Neustránkováno. Dostupné z: <http://hydroopedologie.agrobiologie.cz>. ISBN: 978-80-213-2434-3.
- SŠZ a VŠOZ Hradec Králové. *Prosevací přístroj*. Vyšší odborná škola zdravotnická a Střední zdravotnická škola [online]. Hradec Králové, Komenského 234 [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://lat.zshk.cz/vyuka/prosevani.aspx>
- ŠOBOR, Michal. *Křivka zrnitosti* [online]. 2011 [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Krivka.jpg>
- ANTON PAAR. *Laserový analyzátor* [online]. 2014 [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://www.anton-paar.com/cz-cs/produkty/detaily/rada-psa/>
- ŠKOLAMARKET. *Pipetovací soustava* [online]. 2021 [cit. 2021-5-14]. Dostupné z: <https://www.anton-paar.com/cz-cs/produkty/detaily/rada-psa/>