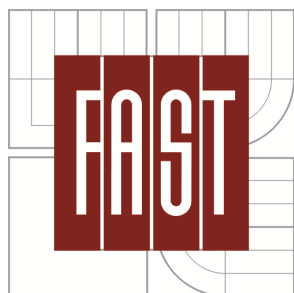


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

ÚČINKY OBHOSPODAŘOVÁNÍ PŮDY NA FYZIKÁLNÍ KVALITU PODPOVRCHOVÉ VRSTVY PŮDY

THE EFFECTS OF LAND MANAGEMENT ON THE PHYSICAL QUALITY OF SUBSURFACE SOIL
LAYER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

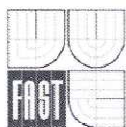
MARKÉTA KOMÁRKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. IVANA KAMENÍČKOVÁ, Ph.D. .

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Markéta Komárková

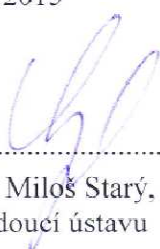
Název Účinky obhospodařování půdy na fyzikální kvalitu podpovrchové vrstvy půdy

Vedoucí bakalářské práce Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.

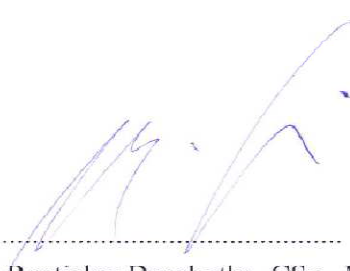
Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2015

Datum odevzdání bakalářské práce 27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015


prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu




prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Kutílek, M. (1978): Pedologie, SNTL/ALFA Praha

Kutílek, M., Kuráž, V., Císlerová, M. (1993): Hydopedologie. Skriptum ČVUT, Praha

Jandák, J. a kol. (2003): Cvičení z půdoznalectví, MZLU v Brně

Kutílek, M., Nielsen, D.R. (1994): Soil Hydrology, Catena Verlag, Cremlingen-Drestedt, Germany.

Lhotský, M. (2000): Zhutňování půd a opatření proti němu. UZPI, Praha.

Články v domácích a zahraničních odborných časopisech

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Bakalářská práce bude rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části bude zpracovaná problematika fyzikálních vlastností půdy a jejich změn v závislosti na použité technologii zpracování půdy, tj. na klasické s orbou a minimalizační bez orby. V současnosti se přehodnocují systémy zpracování půdy z hlediska odůvodněnosti jednotlivých zásahů do půdy, přiměřenosti mechanického působení strojů na půdu a s ohledem na ochranu půdy před dalším poškozením a nevratnými degradačními procesy. V praktické části bude zhodnocen vliv kultivačního zásahu na fyzikální kvalitu podpovrchové vrstvy půdy v konkrétní lokalitě.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

V bakalářské práci se hodnotí vliv různého zpracování půdy na fyzikální kvalitu podpovrchových vrstev půdy. Experimentální výzkum probíhal v blízkosti obce Šakvice na dvou vybraných plochách, které byly zpracované klasickým způsobem, tj. s orbou. Na jednu ze sledovaných ploch byla aplikována podpůrná látka PRP SOL. Neporušené vzorky půdy byly odebírány ve třech hloubkách půdy: 0,1, 0,2 a 0,3 m. Odběry byly prováděny 13. 5. 2009 a 10. 9. 2009 ve vegetačním období pěstované plodiny. Vybrané fyzikální parametry půdy, tj. objemová hmotnost půdy, pórovitost, rozdělení pórů, momentální obsah vody a vzduchu byly stanoveny standardními analytickými metodami. Výsledky jednoletého výzkumu neprokázaly výrazný vliv podpůrné látky PRP SOL na fyzikální kvalitu podpovrchových vrstev půdy na sledované ploše.

KLÍČOVÁ SLOVA

Klasická úprava půdy, přípravek PRP SOL, fyzikální vlastnosti půdy, objemová hmotnost redukována, momentální vlhkost, nasáklivost, pórovitost a provzdušenost.

ABSTRACT

The thesis deals with the influence of soil cultivation on physical quality of the subsurface soil layers (horizons). The experimental research has been conducted nearby Šakvice on two different areas which were both cultivated in an ordinary way, e.g. by tillage. One of the two areas was exposed to PRP SOL subsidiary substance. Undisturbed soil samples were drawn in three different soil depths: 0,1, 0,2 and 0,3 m. Samples were drawn on May 13, 2009 and September 9, 2009 during the vegetation period of the grown crop. The selected physical properties of the soil, e.g. the specific gravity of the soil, porosity, poruses division, actual presence of moisture and air, were assessed using standard analytical methods. The results of a one-year research did not give evidence of a strong effect of the PRP SOL subsidiary substance on the physical quality of the subsurface soil layers.

KEYWORDS

Ordinary way of cultivation, PRP SOL substance, physical properties of soil, reduced specific gravity, actual presence of moisture, absorbability, porosity and aerating.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Markéta Komárková *Účinky obhospodařování půdy na fyzikální kvalitu podpovrchové vrstvy půdy*. Brno, 2016. 64 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27.5.2016

.....
podpis autora
Markéta Komárková

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 27.5.2016

.....
podpis autora
Markéta Komárková

Poděkování

Rada bych poděkovala vedoucí bakalářské práce Ing. Ivaně Kameníčkové Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a věnovaný čas.

OBSAH

1	ÚVOD	2
1.1	CÍL PRÁCE	4
2	FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI PŮDY	5
2.1	TEXTURA PŮDY.....	5
2.1.1	<i>Metody zrnitostního rozboru</i>	<i>6</i>
2.1.2	<i>Klasifikace půdy.....</i>	<i>11</i>
2.2	ZDÁNLIVÁ HUSTOTA PŮDNÍCH ČÁSTIC	13
2.2.1	<i>Stanovení zdánlivé hustoty pevných částic pomocí pyknometrů</i>	<i>14</i>
2.3	OBJEMOVÁ HMOTNOST PŮDY	14
2.3.1	<i>Stanovení objemové hmotnosti půdy.....</i>	<i>15</i>
2.4	STRUKTURA PŮDY	16
2.4.1	<i>Stanovení stability půdních agregátů</i>	<i>19</i>
2.4.2	<i>Stanovení vodostálosti struktury podle ANDRIANOVA</i>	<i>20</i>
2.5	HYDROLIMITY	21
2.5.1	<i>Rozbor neporušeného půdního vzorku.....</i>	<i>22</i>
3	PRAKTICKÁ ČÁST	29
3.1	CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ	29
3.1.1	<i>Popis zájmového území.....</i>	<i>29</i>
3.1.2	<i>Klimatické poměry</i>	<i>29</i>
3.1.3	<i>Geomorfologické poměry.....</i>	<i>30</i>
3.1.4	<i>Způsob zpracování půdy.....</i>	<i>30</i>
3.1.5	<i>Přípravek PRP SOL</i>	<i>31</i>
3.2	PRÁCE V TERÉNU A LABORATOŘI	33
3.2.1	<i>Výkop sond.....</i>	<i>33</i>
3.2.2	<i>Odběr půdních vzorků</i>	<i>34</i>
3.3	VYHODNOCENÍ FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ PŮDY	36
4	ZÁVĚR.....	44
	PŘÍLOHA TABULEK	46
5	POUŽITÁ LITERATURA	50
	SEZNAM TABULEK.....	52
	SEZNAM OBRÁZKŮ	53
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	54

1 ÚVOD

Půda je přírodní útvar na rozhraní litosféry s atmosférou nebo hydrosférou, vzniklý součinností pedogenetických faktorů v pedogenetickém procesu. Půda je základem pro pěstování rostlin. Růst rostlin závisí na půdních vlastnostech a půdní vlhkosti. Důležitost půdy vyvolala zájem lidské společnosti, stala se předmětem jejího studia, zkoumaly se její vlastnosti a její vývoj. V 19. století vzniká nový vědní obor zvaný pedologie, jehož rozvoj byl umožněn vývojem fyziky, chemie, mikrobiologie, geologie apod. [1]

Již v 10. až 8. století před Kr. se člověk naučil vážit si půdy, začal ji obdělávat a považoval ji za nevyhnutelnou součást svého života. Přejít od doby, kdy člověk lovil zvířata a živil se sběrem rostlin, ke společnosti, jejíž ekonomika je založena na zemědělství, se označuje jako neolitická revoluce. Ta trvala několik tisíciletí. [2]

Materiál, ze kterého půda vzniká, se nazývá matečná hornina. Je to nejsvrchnější část zemské kůry. Je tvořena směsí nerostných součástí, odumřelé organické hmoty a živých organismů. Proces vzniku půdy probíhá přeměnou této matečné horniny, tzv. zvětráváním, kdy jejím rozpadem vzniká zvětralina.

Zvětrávání je velmi pomalý proces. Rychlost tvorby půdy je závislá především na podnebí a složení matečné horniny. V našich klimatických podmínkách by se měl 1 cm půdy vytvořit v průměru za 100 let. Tvorba celého půdního profilu potom trvá přibližně 1 000 let. [3]

Půda prochází neustálým vývojem, během kterého na ni působí vlivy jak pozitivní, tak i negativní. Negativní vlivy se označují jako degradace půdy. Tyto vlivy mohou být přirozené nebo způsobené lidskou činností. V globálním měřítku je největší hrozbou pro půdu přeměna úrodných půd v pouště. Mezi jednotlivé typy degradace půd zahrnujeme také půdní erozi způsobenou v tropických oblastech odlesněním a následným smyvem humusového horizontu, nebo erozi zapříčiněnou nevhodným způsobem hospodaření, či erozi větrnou. Významný podíl má lidská činnost vlivem zasolování nebo okyselování půd. Člověk je také často jedinou příčinou chemické kontaminace půd, zhutnění půd, záborů půdy či úbytku druhů.

Degradace půdy způsobuje ročně škody na celém světě odhadem za 30 miliard Euro a postihuje více než miliardu lidí, zejména v suchých oblastech. [4]

"Vodní i větrná eroze je v České republice a obzvláště na jižní Moravě velkým problémem. Výměra degradovaných půd se zvětšuje a s tím rostou problémy související

se snížením její ceny, poklesem výnosů a například se zhoršují odtokové poměry i průběh povodní," sdělil Jiří Hladík, ředitel Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy. [5]

Zastoupení jednotlivých složek a jejich vzájemné reakce v půdním prostoru udávají fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půd. Fyzikální vlastnosti půdy vyplývají ze vzájemných vztahů mezi pevnou, kapalnou a plynnou složkou půdy. Jsou dány pórovitostí, zrnitostí, barvou půdy a obsahem vody a vzduchu v půdě. Chemické vlastnosti půdy zahrnují chemické složení půd a fyzikálně chemické a chemické procesy probíhající v půdě. Složky půdy se z chemického pohledu dělí na minerální a organické látky. Zdrojem minerálních látek je horní část litosféry, která podléhá zvětrávání a ve které pomocí půdotvorných procesů vzniká půda. Organickou složku půdy tvoří půdní organismy. Mezi základní chemické vlastnosti půd patří obsah humusu, půdní reakce a obsah prvků v půdě. [6]

Další důležitou vlastností půdy je také úrodnost. Úrodnost je výsledkem vzájemného působení mnoha faktorů – fyzikálních, chemických, biologických a klimatických. Je to schopnost půdy poskytovat rostlinám podmínky pro růst a vývoj. Tyto podmínky jsou splněny, pokud půda poskytuje dostatek živin, vody a vzduchu pro optimální život organismů a má schopnost se vyrovnávat se změnami v půdním prostředí. Půdní úrodnost je ovlivněna složením a vývojem půdy, klimatickými podmínkami, zemědělskými zásahy (zpracování půdy, hnojení, používáním přípravků na ochranu rostlin), technickými opatřeními (melioracemi a závlahami) a způsobem využití půdy. Půdní úrodnost je ohrožována erozí, zhutněním, kontaminací a dalšími degradacemi. Úrodnost půdy ovlivňuje i její výnosnost a cenu. [7]

Půdu dělíme podle toho, jak ji využíváme, na tyto základní kategorie:

- zemědělská půda, do které patří orná půda, chmelnice, vinice, zahrady a ovocné sady,
- trvalé travní porosty, kam patří louky a pastviny,
- lesy, které rozdělujeme na jehličnaté, listnaté a smíšené,
- vodní plochy, kde jsou zahrnuty vodní toky a vodní plochy (jezera, přehrady apod.),
- zastavěné plochy a nádvoří, které tvoří pozemky, na nichž jsou postaveny budovy a jejich přílehlá prostranství,
- ostatní plochy, kam náleží pozemky, určené jako skladištní a dílenské prostory, stavební místa, pozemky určené k dopravě, dobývání surovin apod. [8]

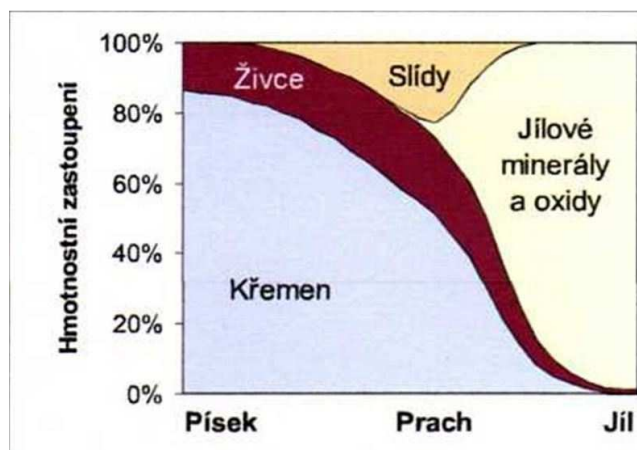
1.1 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce bylo posouzení jednotlivých fyzikálních vlastností na těžké jílovitohlinité půdě. V teoretické části jsou popsány základní fyzikální vlastnosti půdy a metodika jejich určení. V praktické části je popsána experimentální lokalita, popis prací v terénu a v laboratoři, jsou zde uvedeny a následně vyhodnoceny výsledky fyzikálních vlastností půdy. V závěru je posouzení výsledků půdy s aplikací přípravku PRP SOL i půdy bez aplikace přípravku v lokalitě Šakvice. Experimentální výzkum zde probíhal v roce 2009.

2 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI PŮDY

2.1 TEXTURA PŮDY

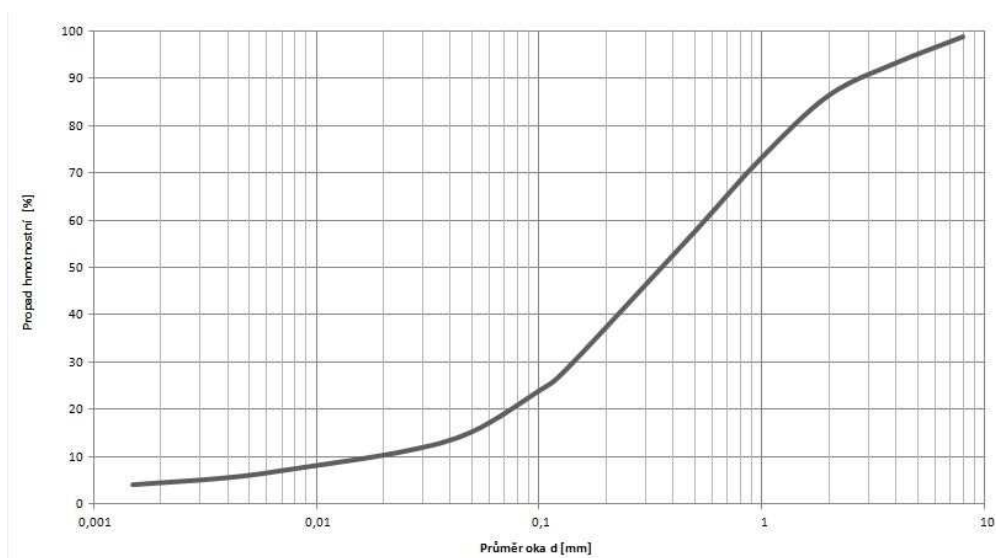
Základní vlastnost půdy charakterizovaná zrnitostním složením (procentuální zastoupení půdních částic různé velikosti). Na základě textury půdy se stanovuje půdní typ. Pro klasifikaci půd je rozhodující zastoupení nejjemnějších (jílkatých) částic. Užívá se např. tzv. Novákova stupnice půdních druhů. [9]



obr. č.1. Zastoupení minerálů v zrnitostních frakcích (zdroj internet)

Zrnitost vypovídá o procentuálním zastoupení jednotlivých frakcí v celém objemu a je základem pro klasifikaci půdy dle druhu nebo zrnitostní třídy. Frakce zde představuje skupinu částic se stejnou velikostí. Základem zrnitostního rozboru je jemnozem I (částice menší než 2 mm). V případě, že půdní vzorek obsahuje více jak 10 % částic větších než 2 mm, provádí se stanovení skeletu.

K určení zrnitostních frakcí slouží prosévací zkouška, ta spočívá v prosévání materiálu přes řadu sít s určitými průměry ok. Pro oddělení částic je potřeba vzorek zeminy prosévat ve vodě. Nejmenší průměr oka používaný proséváním ve vodě je 0,063 mm, problém však nastává již u průměru oka 0,1 mm. Protože jemné částičky ulpívají na síťovině a nelze tak přesně určit jemné frakce, které jsou důležité pro stanovení půdních vlastností. U nejjemnějších frakcí se využívají sedimentační metody, které jsou založeny na sedimentačních zákonech (závislost sedimentační rychlosti na velikosti částic). [10]



obr. č.2. Křivka zrnitosti (zdroj internet)

2.1.1 Metody zrnitostního rozboru

Nejjednodušším způsobem zrnitostního rozboru je prosévání přes sadu sít, které se používají pro hrubé zeminy se zrnem větším než 0,06 (0,125) mm a vždy při rozboru skeletovitosti. [11]

Ke třídění texturních částic se používají metody:

- *elutriační* (vyplavovací) - pro třídění zrn využívá unášecí síly vodního proudu, který působí proti tíhové síle zemitéch částic. Částičky, jejichž sedimentační rychlost je menší než rychlost vodního proudu, jsou odplaveny, částičky s větší sedimentační rychlostí klesají ke dnu (sedimentační pochod, kdy je využit Stokesův vztah při zachování laminárního pohybu ve vodním proudu).

- *usazovací* (sedimentační) - využívají různé rychlosti sedimentace částic odlišných rozměrů.

Teoretickým podkladem elutriačních metod je **Schöneho** vztah:

$$d = 0,0314 \sqrt[11]{v^7} [mm] \quad (2.1)$$

kde:

v rychlost [$mm \cdot s^{-1}$],

d průměr částic [mm], platí pro rychlost $v = 0,1 - 12,0 \text{ mm} \cdot s^{-1}$.

Teoretickým podkladem sedimentačních metod je **Stokesův** vztah

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{gr^2(\rho_z - \rho_0)}{\eta} = ar^2 [\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.2)$$

kde: v sedimentační rychlost [$\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$],
 g tíhové zrychlení [$9,81 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$],
 ρ_z hustota částicek [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$],
 ρ_0 hustota disperzního prostředí (vody při dané teplotě) [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$],
 η viskozita disperzního prostředí [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$] - pro vodu $20 \text{ }^\circ\text{C} = 1,004 \cdot 10^{-2}$,
 a konstanta pro sedimentaci zemitých částic ve vodě teplé $20 \text{ }^\circ\text{C}$,
 r poloměr částice [cm].

Pokud se nahradí sedimentační rychlost v rovnici 2.2 výrazem h/T , platí

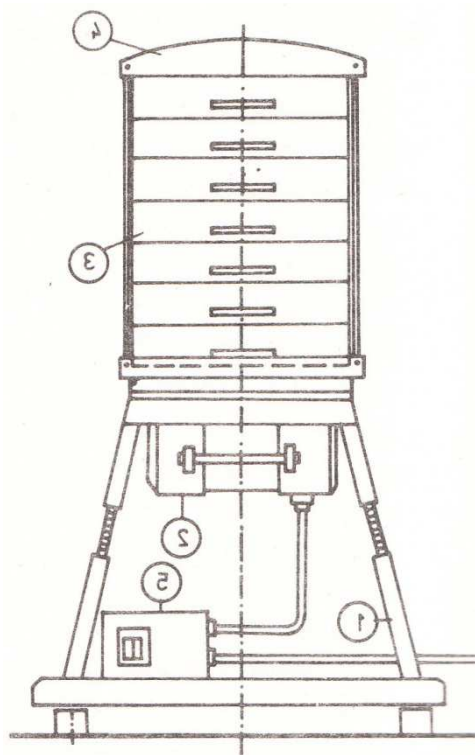
$$v = \frac{2}{9} \frac{h\eta}{r^2 g(\rho_z - \rho_k)} \quad [\text{s}] \quad (2.3)$$

$$r = \sqrt{\frac{2}{9} \frac{h\eta}{Tg(\rho_z - \rho_k)}} \quad [\text{cm}] \quad (2.4)$$

kde:

T sedimentační doba [s],
 h sedimentační dráha, tj. dráha pádu částice o poloměru r [cm]. [11]

V pedologii k neužívanějším metodám patří prosévání na sítích. Zrnitostní rozbor na sítích spočívá v rozdělení zrn na sadě sít s průměrem ok 1,25; 0,8; 0,5; 0,25; a 0,1 mm. Síta se osazují nad sebou a umísťují se na vibrační třepačku, která horizontálními pohyby proseje upravený vzorek sadou sít. Do horního síta, s největšími oky, vložíme upravený vzorek půdy. Jednotlivé zrnitostní frakce se zachycují na jednotlivých sítích s příslušným průměrem oka. U zachycených frakcí stanovíme jejich hmotnost a vypočítáme jejich procentuální zastoupení. Uspořádání prosévacího přístroje je znázorněno v obr. č. 3. [12]



obr. č.3. Schéma prosévacího přístroje (převzato Šálek, 1986)

1 – stojan, 2 – vibrátor, 3 – síta, 4 – kryt, 5 – přívod proudu

Hustoměrná metoda (A.Casagrande)

Preparované zeminy v sedimentačním válci se po zamíchání během usazování částic měří hustota suspenze, která je základem pro konstrukci kumulativní zrnitostní křivky a pro stanovení jednotlivých frakcí či kategorií.

Pomůcky: hustoměr o rozsahu 0,995 – 1,030, stopky, vysoušečky, porcelánové misky, síto o průměru ok 2 mm, sušárna, stříčka, skleněná tyčinka, odměrný válec, sedimentační válec ($V = 1000$ ml), teploměr, míchadlo, pipeta, stopky.

Postup: Po preparaci se suspenze vpraví do sedimentačního válce, doplní se destilovanou vodou ($V = 1000$ cm³) a dispergačním činidlem (1 ml činidla/ 1 g jemnozeme). Minutu před začátkem sedimentace se suspenze promíchá, počátek měření začíná v okamžiku vyjmutí míchadla.

Ihned po začátku sedimentace se do suspenze opatrně vloží hustoměr (10 s), hustota se čte na horním menisku. Doba sedimentace se měří v časových intervalech: 30'', 1', 2', 5', 15',

45', dále po 2, 5 a 24 hodinách. Po 5 minutě se vyjme hustoměr z válce, opláchne se a znovu se opatrně vnoří do válce minutu před dalším měřením.

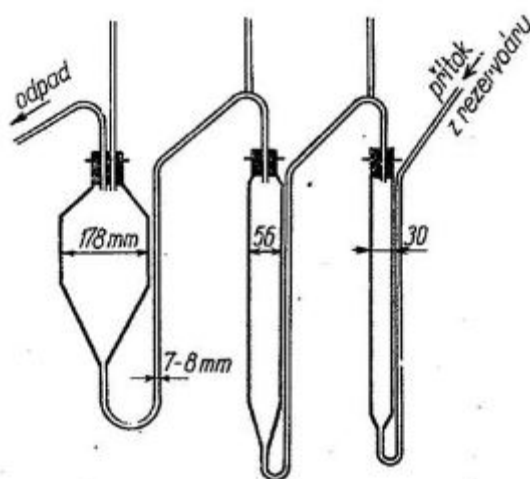
Během sedimentace se měří teplota, z počátku po 15' a později při každém čtení, přesnost $\pm 0,2$ °C. Získané hodnoty se vyhodnotí pomocí Stokesova vztahu. [11]

Kopeckého vyplavovací metoda

Tato metoda využívá unášecí síly vodního proudu.

Potřeby: Technické váhy, porcelánové misky o průměru 30 cm, vodovod a navazující nádržka na cca 10 l s plovákovou regulací doplňování vody, gumová či silikonová hadice, hliníkové vysoušečky s víčky, písková lázeň, horkovzdušná sušárna, Kopeckého plavící přístroj (skládá se z 3 skleněných průtokových nádob, jejichž válcové části mají vnitřní průměry 30, 56, 178 mm s tolerancemi $\pm 1, \pm 2, \pm 4$ mm). [13]

Postup: Pomocí plavícího Kopeckého aparátu působí vodní proud proti usazovací rychlosti půdních částic. Protože se průměr tří na sebe připojených válců postupně zvětšuje, zmenšuje se i průtoková rychlost a zemina se ve válcích třídí do tří frakcí, zatímco nejmenší frakce je odplavena a zjišťuje se početně. V této metodě se počítá sedimentační rychlost ze Schöneova vzorce, stanoveného pro rychlost v proudící kapalině. [14]



obr. č.4. Kopeckého plavící aparát (převzato Kutílek, 1978)

Pipetovací metoda

Tato metoda je metodou neopakované sedimentace.

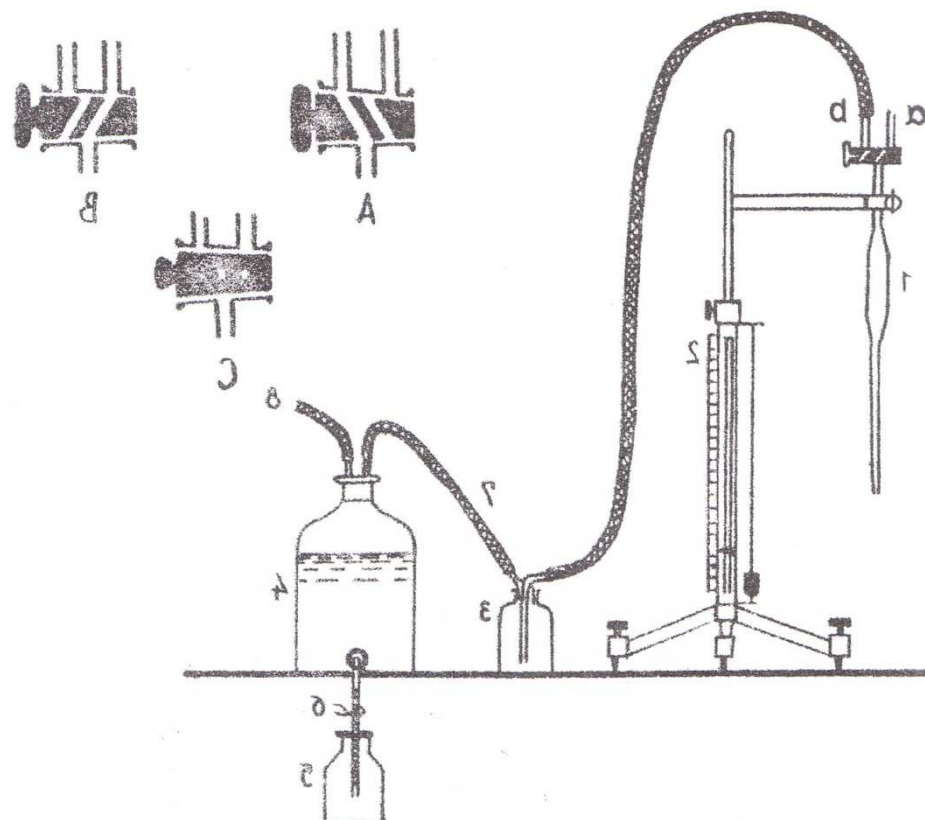
Potřeby: Analytické váhy, horkovzdušná sušárna, exsikátor se sikativem, porcelánové nebo skleněné vysoušečky, síto s velikostí ok 2 mm, písková lázeň nebo topná deska, stopky, sedimentační válec o objemu 1000 ml, míchadlo, pipetovací přístroj. [13]

Postup: Pipetou se odebírá (po uplynutí doby t_1 , t_2 atd., z určité hloubky h pod povrchem hladiny) malé množství suspenze, ta se vysuší a zváží. Výpočtem se obdrží procentuální množství částic, jejichž velikost odpovídá sedimentační rychlosti. [10]

$$v_1 = h/t_1, v_2 = h/t_2, \text{ atd.} \quad (2.5)$$

Kde:

- v_1, v_2 vyplavovací rychlost
- h hloubka pod povrchem hladiny
- t_1, t_2 čas



obr. č.5. Pipetovací přístroj (zdroj Jandák, 2003)

a – odvzdušnění, b – přívod aspirátoru, 1 – pipeta, 2 – regulovatelný stojan, 3 – pojistná láhev,
4 – láhev aspirátoru, 5 – odvod vody, 6 – tlačka, 7 – gumová hadice, 8 – připojení k vodovodu
Poznámka: součásti 3, 4, 5, 6, 7, a 8 mohou být nahrazeny elektronickým pipetovacím
nástavcem.

A – pipeta je spojena s nasáváním

B – pipeta je spojena s ovzduším = vypouštění

C – pipeta je uzavřena

2.1.2 Klasifikace půdy

Zrnitostní frakcí rozumíme souhrn všech částic spadajících velikosti průměrů do určitého rozmezí. Využíváme následujících klasifikačních systému:

Kopeckého klasifikační systém

Rozlišuje rozdíly v technologických vlastnostech půd v závislosti na obsahu částic hrubého prachu. [11]

Tab. 2.1 Zrnitostní frakce podle Kopeckého, (převzato Kameníčková, 2013)

Název frakce (kategorie)	Průměr částic (mm)
I. jílnaté částice	< 0,01
II. prach	0,01 - 0,05
III. práškový cukr	0,05 - 0,1
IV. písek	0,1 - 2,0

Jílnaté částice se dále dělí na:

- koloidní jíl < 0,0001 mm
- fyzikální jíl < 0,001 mm
- jemný prach 0,001 – 0,01 mm

Zrnitostní kategorie dle Nováka (1949)

Název zeminy se určí podle zastoupení I. kategorie ve vzorku jemnozemě. K základnímu názvu se potom ještě přidá další označení dle ostatních vlastností zeminy. (např. zastoupení štěrku, obsahu uhličitánů, humusu atd.) Obsahuje-li půda < 50% skeletu, hodnotí se zrnitost v 7 (8) stupních Novákovy stupnice. [11]

Tab. 2.2 Zrnitostní klasifikace podle Nováka, (převzato Kameníčková, 2013)

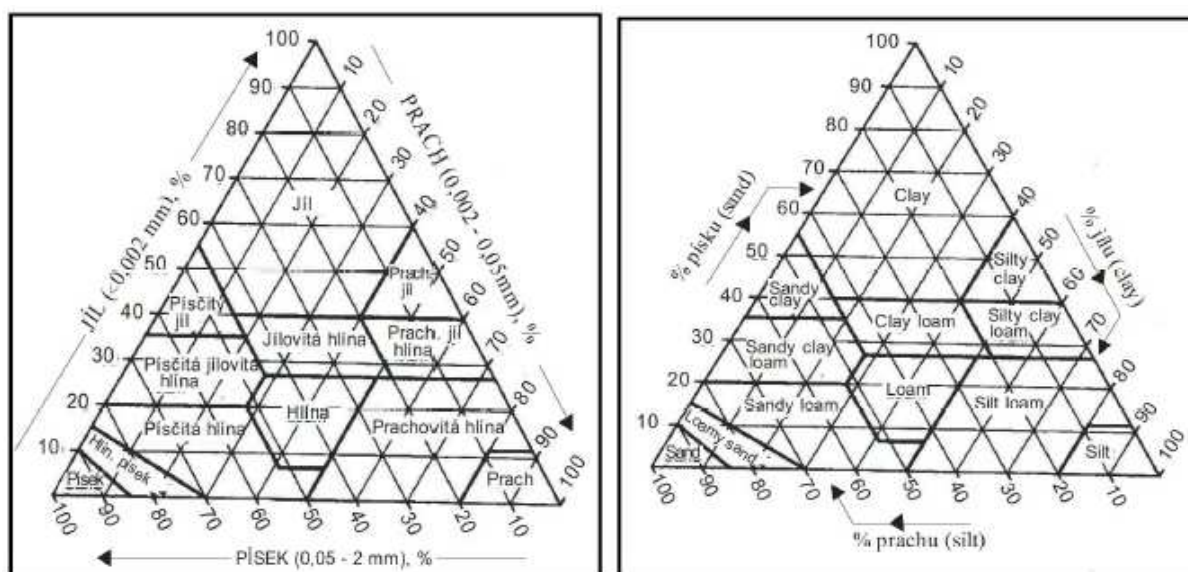
Obsah částic < 0,01 mm (%)	Označení půdního druhu	Základní půdní druhy
0	písek	lehká půda
0 - 10	písčitá	
10 - 20	hlinitopísčitá	
20 - 30	písčitohlinitá	střední půda
30 - 45	hlinitá	
45 - 60	jílovitohlinitá	těžká půda
60 - 75	jílovitá	
> 75	jíl	

Zrnitostní klasifikace podle Taxonomického klasifikačního systému půd ČR

Byly převzaty zrnitostní frakce podle Ministerstva zemědělství USA a trojúhelníkový diagram. [11]

Tab. 2.3 Zrnitostní frakce podle Ministerstva zemědělství USA, (převzato Kameníčková, 2013)

Název frakce	Průměr částic (mm)
jíl	< 0,002
prach	0,002 – 0,05
písek	0,05 – 2,0
(velmi jemný písek	(0,05 – 0,1
jemný písek	0,1 – 0,25
střední písek	0,25 – 0,5
hrubý písek	0,5 – 1,0
velmi hrubý písek)	1,0 – 2,0)



obr. č.6. Trojúhelníkové diagramy pro stanovení druhu půdy dle obsahu jílu, prachu a písku v % (převzato Kameníčková, 2013)

2.2 ZDÁNLIVÁ HUSTOTA PŮDNÍCH ČÁSTIC

Udává poměr hmotnosti pevných částek půdy k jejich objemu. Je to uměle vytvořený stav, bez pórů, který se u sypkých materiálů zjišťuje pomocí pyknometru. Hmotnost částek, které tvoří zeminu, se určuje vážením po vysušení při 105 °C. Objem se určí jako objem vytlačené kapaliny. K stanovení měrné hmotnosti zemin se používají různé metody, k nejpoužívanějším patří stanovení ve vodních pyknometrech. [11]

2.2.1 Stanovení zdánlivé hustoty pevných částic pomocí pyknometrů

Pomůcky: Pyknometr „Gay-Lussac“ se širokým hrdlem a zátkou o obsahu 100 cm³, porcelánová miska, skleněná tyčinka, plynový kahan, vodní lázeň 20 °C, nálevka z umělé hmoty, teploměr, váhy s přesností 0,01 g.

Postup: Do porcelánové misky se naváží 10 g jemnozeme, přidá se destilovaná voda, suspenze se povaří (3 - 10 minut), občas se zamíchá skleněnou tyčinkou, odpařená voda se patřičně doplňuje. Pyknometr se naplní po hrdlo převařenou destilovanou vodou (20 °C) a zátka se nechá volně zapadnout. Pyknometr se osuší, provede se v něm kontrola vzduchu, zváží se a vylije se z něj voda. Dále se zchlazená suspenze vpraví beze ztrát do pyknometru, doplní se po hrdlo převařenou destilovanou vodou a vytemperuje se na teplotu 20 °C. Nakonec se uzavře zátkou, osuší se a zváží se. [11]

Hodnotu zdánlivé hustoty určíme dle vztahu:

$$\rho_s = \frac{N_s}{V_v} = \frac{N_s}{P_v + N_s - P_s} [g \cdot cm^{-3}] \quad (2.6)$$

Kde:

P_v hmotnost pyknometru s destilovanou vodou [g]

P_s hmotnost pyknometru se suspenzí [g]

N_s navážka zeminy na vzduchu vyschlá a přepočtená na sušinu (použije-li se rozmělněná zemina z vysušeného válečku, přepočet se neprovádí) [g] [11]

2.3 OBJEMOVÁ HMOTNOST PŮDY

Jedná se o hmotnost objemové jednotky zeminy v přirozené struktuře. Určuje se jako podíl hmotnosti zeminy a jejího objemu stanovených v okamžiku odběru vzorku (objemová hmotnost neredukovaná). Ta závisí na okamžité vlhkosti. Nebo jako hmotnost vysušené zeminy a jejího původního stavu objemu (hmotnost redukována). Ta charakterizuje stálé vlastnosti půdy. [11]

2.3.1 Stanovení objemové hmotnosti půdy

Pomůcky: Kopeckého váleček a souprava pro odběr vzorků do válečku, sušárna, váhy s přesností 0,01 g.

Postup: Vzorek půdy v neporušené struktuře odebraný pomocí soupravy pro odběr vzorků do Kopeckého válečku se ihned v laboratoři zváží, vysuší se při 105 °C do konstantní hmotnosti, nechá se vychladnout v exikátoru a zváží se.

Neredukovaná objemová hmotnost se vypočítá podle vztahu

$$\rho_v = \frac{G_A}{V_S} [g \cdot cm^{-3}] \quad (2.7)$$

Redukovaná objemová hmotnost se vypočítá podle vztahu

$$\rho_d = \frac{G_H}{V_S} [g \cdot cm^{-3}] \quad (2.8)$$

kde:

G_A hmotnost zeminy s původní okamžitou vlhkostí [g]

G_F hmotnost vysušené zeminy [g]

V_S objem fyzikálního válečku [cm³]

Výsledné hodnoty se udávají s přesností 0,01 g.cm⁻³. [11]

Objemová hmotnost zeminy po vysušení vystihuje stav nakypření či zhutnění půdy daného horizontu za předpokladu konstantní měrné hmotnosti tuhé fáze. Objemovou hmotnost zeminy po vysušení užíváme pro výpočet pórovitosti, nebo chceme-li převádět vlhkost vyjádřenou objemově na vlhkost vyjádřenou hmotnostně a naopak. Objemová hmotnost po vysušení obvykle stoupá směrem od ornice do spodiny půdního profilu. Jestliže tuto gradaci nenacházíme, můžeme usuzovat na nadměrné zhutnění orničního horizontu nebo malou ulehlost horizontů spodin. Pomocí objemové hmotnosti zeminy po vysušení se dobře identifikuje zóna nakypření a zóna zhutnění. Často bývá nejvíce zhutněn horizont podorniční vrstvy vlivem obdělávání do stejné hloubky. Kritické hodnoty objemové hmotnosti po vysušení ρ_d vyjadřující škodlivé zhutnění jsou uvedeny v tabulce Tab. 2.4 [11]

Tab. 2.4 Kritické hodnoty objemové hmotnosti redukované podle Lhotského (převzato Kameníčková, 2013)

půdní druh	J	JV, JH	H	PH	HP	P
kritická P	1,35	1,4	1,45	1,55	1,6	1,7

2.4 STRUKTURA PŮDY

Půdní částičky se vyskytují v půdě zcela výjimečně vzájemně izolované. Většinou vytvářejí větší nebo naopak menší shluky, které nazýváme agregáty. Dle jejich velikosti rozeznáváme makroagregáty o průměru nad 0,25 mm a mikroagregáty o průměru do 0,25 mm. Ve vodě jsou agregáty stabilní díky různým tmelícím látkám. Půdní strukturou označujeme prostorové uspořádání agregátů v půdě. Různé druhy struktury určujeme podle tvaru a geneze agregátů a podle uspořádání a vazby půdních částic v agregátech. Za vyšší vlhkosti půdy dochází ke shlukování umělým mechanickým způsobem (zhutňování půdní hmoty) a vznikají nové útvary nazývané pseudoagregáty. Půdy sypké, písčité a kamenité suti agregáty nevytvářejí.

Vznik půdní struktury je závislý na existenci mikroagregátů v půdě. K mikroagregátům patří zkoagulované půdní koloidy a útvary vzniklé spojením částic jílovitých a prachových. V procesu mikroagregace se uplatňují vlivy fyzikální, chemické a biochemické. Fyzikální a fyzikálně chemické procesy jsou ovlivněny zrnitostním složením půdy. Na shlukování částic menších než 0,01 mm mají vliv kohezní síly. Shlukováním mikroagregátů do větších celků vznikají makroagregáty. Mikroagregace je základním předpokladem makroagregace. Makroagregátové strukturní částice vznikají vlivem objemových změn při vysychání půdy, působením mrazu a vlivem dehydratace.

Vlivem mechanických, mechanicko-biologických a chemických činitelů se půda rozpadá do strukturních útvarů – agregátů. Hlavní vliv na trvanlivost makroagregátů má způsob cementace. Jestliže mechanické rozdrobení půdní hmoty není provázeno zpevněním makroagregátů cementačními látkami a jestliže mikroagregáty nejsou stabilní, jsou výsledné makroagregáty také nestabilní a ve vodě se rychle rozpadají. Tyto nestabilní a náhodné shluky půdní hmoty se nazývají pseudoagregáty.

Půdní strukturu klasifikujeme podle stupně vývoje a podle tvaru a vlastností půdních agregátů určitého horizontu. Podle stupně vývoje struktury rozlišujeme tři skupiny půd:

- *půdy nestrukturní* – zde nejsou patrné agregáty, půdní hmota může být rozdrobena do větších či menších celků náhodných tvarů – pseudoagregátů.

- *půdy se slabě vyvinutou strukturou* patrnou až při rozdrobování urýpnutých hrud. Převládá podíl nestrukturního materiálu.

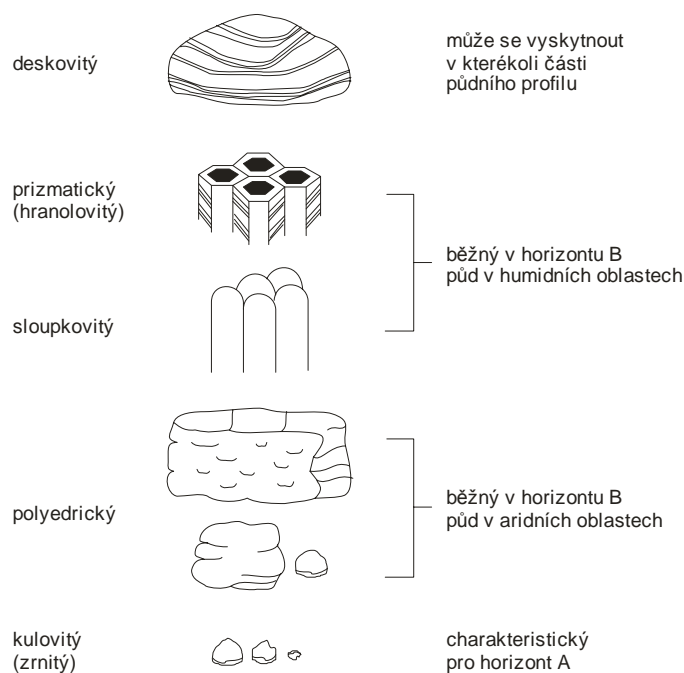
- *půdy strukturní* – agregáty se velmi snadno od sebe oddělují, jsou velice pevné a ve vodě zcela stabilní. [14]

Podle tvaru agregátů se rozlišuje struktura do čtyř morfologických tříd:

- I. – všechny tři osy jsou stejně dlouhé, tvar je zaoblený
- II. – všechny tři osy jsou stejně dlouhé, plochy a hrany jsou zřetelné
- III. – svislá osa je protažená
- IV. – vodorovné osy jsou protaženy

V jednotlivých třídách jsou zahrnuty tyto druhy struktury:

- I. třída:
 - 1. Hrudovitá
 - 2. Drobtovitá
 - 3. Zrnitá
 - 4. Práškovitá
- II. třída:
 - 1. Kostkovitá
 - 2. Polyedrická
- III. třída:
 - 1. Prizmatická
 - 2. Sloupkovitá
- IV. třída:
 - 1. Deskovitá
 - 2. Lístkovitá [14]

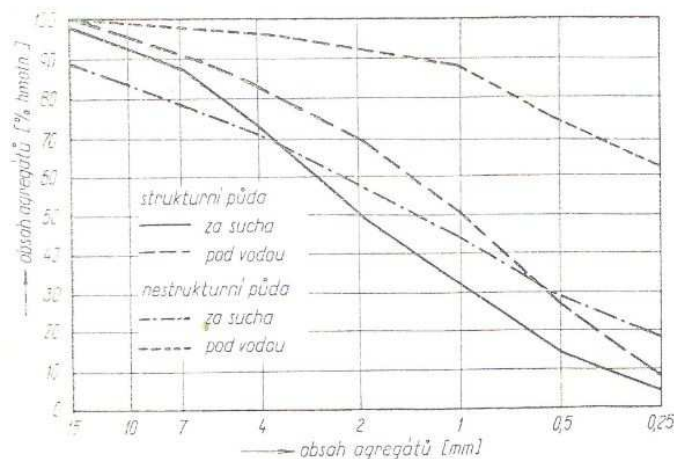


obr. č.7. Hlavní strukturální typy vyskytující se v minerálních půdách, (převzato Kameníčková, 2005)

Vyhodnocení strukturálního stavu půdy provádíme metodikami, podle nichž sledujeme strukturální stav humusového horizontu půdy.

- Metodiky morfologického popisu. Popis se provádí podle klasifikace uvedené výše a podle stupně vývoje struktury na vzorku vyrýpnutém rýčem. Navíc se posuzuje i ulehlost při dané vlhkosti.
- Přímé stanovení agregace a stability agregátů. Stabilita jednotlivých agregátů ve vodě se nejjednodušeji určuje přímým pozorováním agregátů náhle ponořených do misky s destilovanou vodou. Agregáty stabilní zůstávají po ponoření nerozrušeny, pseudoagregáty se okamžitě rozplynou do kašovitě hmoty, agregáty málo stabilní se postupně rozpadají zčásti na menší útvary, zčásti vytvářejí kašovitou hmotu. Často používanou metodou je „prosévání“ půdy na vzduchu („za sucha“) a pod vodou. Výsledky se vynesou jako čáry agregace podobně jako se vynášejí čáry zrnitosti. Z rozdílů obou prosévání se stanoví stabilita agregátů, popřípadě se určuje střední vážený průměr agregátů jako charakteristika čáry agregace. Čím jsou větší rozdíly obou prosévání, tím je menší stabilita agregátů. Mikroagregace se určuje pipetováním nebo pomocí hustoměrů, jako se provádí zrnitostní rozборы, pouze příprava a dispergování

odpadají. Stabilitu agregátů lze posoudit i z časových změn hydraulické vodivosti (propustnosti) při dlouhodobém průtoku vody válečkem obsahujícím agregáty. Velké změny souvisejí s malou stabilitou. [14]



obr. č.8. Čáry agregace stanovené proséváním strukturální a nestrukturální půdy vzduchem a pod vodou (převzato Kutílek, 1978)

2.4.1 Stanovení stability půdních agregátů

Přístroj pro mokré prosívání (stabilita půdních agregátů)

- Přístroj pro mokré prosívání slouží ke zjištění stability agregátů.
- Stabilita půdních agregátů je určena z faktu, že se nestabilní agregáty rozpadnou snadněji než stabilní agregáty, když jsou ponořeny do vody
- Sada obsahuje 8 nerezových sítí otvory 0,25 mm a povrchem 10,2 cm², sítové nádoby Ø 39 x 39 mm. Další volitelná síta s otvory 2,0 – 0,045 mm jsou k dispozici
- Dále sada obsahuje vlastní třepací přístroj, 16 nerezových nádobek Ø 64 mm a elektronickou váhu do 320 g, přesnost 0,1 g. [15]



obr. č.9. Příklad pro mokré prosívání (zdroj www.ekotechnika.cz)

2.4.2 Stanovení vodostálosti struktury podle ANDRIANOVA

Potřeby: Síta o průměru ok 3 a 5 mm, miska s plochým dnem, skleněná deska 12 x 12 cm, filtrační papír.

Postup: Z průměrného vzorku vysušeného na vzduchu se prosíváním odseparují agregáty o průměru 3 až 5 mm. Do připravené misky vložíme skleněnou desku, přes kterou přeložíme filtrační papír. Ke zjištění vodostálosti použijeme 50 agregátů, které rozmístíme do 50 čtverečků o rozměru 1 x 1 cm nakreslených na filtračním papíru.

Do krycí misky opatrně nalijeme vodu tak, aby se filtrační papír nasýtil, přičemž dochází ke kapilárnímu nasycení agregátů. Toto nasycení trvá 1 minutu. Po uplynutí této doby agregáty opatrně přelijeme vodou do výše 1 cm. Registrujeme rozpad agregátů v intervalech po 1 minutě. Počet rozpadlých agregátů v jednotlivých minutových intervalech zapisujeme do tabulky (Tab. 2.5). Po 10 minutách pozorování zjistíme počet polorozpadlých agregátů a rovněž zapíšeme do tabulky. Za rozplavený agregát je považován ten, který zcela ztratil svůj původní tvar. [13]

Tab. 2.5 Zázpis rozpadu agregátů při stanovení vodostálosti (převzato Jandák, 2003)

Doba pozorování (min)	Počet rozpadených agregátů n_i	Koeficient vodostálosti k_i	$n_i \cdot k_i$
1	12	5	60
2	8	15	120
3	2	25	50
4	0	35	0
5	1	45	45
6	2	55	110
7	0	65	0
8	1	75	75
9	1	85	85
10	0	95	0
Polorozpadlých agregátů:	10	50	500
Nerozpadlé agregáty: (výpočtem)	50 - (počet rozpadlých za 10 min) - (počet polorozpadlých / 2) = 18	100	1800
Suma součinitelů			2845

$$\text{Vodostálost} = \frac{\sum(n_i k_i)}{\sum \text{agregátů}} = \frac{2845}{50} = 56,8 \% \quad (2.9)$$

Je vhodné používat destilovanou vodu o teplotě 20 °C. Při určení koeficientu k_1 až k_{10} se vychází z předpokladu, že agregáty, které se nerozplaví do 10 min, jsou vodostálé. [13]

2.5 HYDROLIMITY

Neporušený půdní vzorek (v přirozeném uložení) je používán k určení základních fyzikálních vlastností. Analyzují se vodní a vzdušné poměry a stanoví se pórovitost.

Vzorky se odebírají v terénu ze středu jednotlivých horizontů do Kopeckého válečků. Před odběrem se přesně zváží Kopeckého válečky (G_V) a stanoví se přesný objem (V_S). Na neporušených půdních vzorcích se určuje momentální vlhkost, kapilární nasáklivost, maximální kapilární vodní kapacita, celková pórovitost a maximální vodní kapacita podle Nováka. [11]

2.5.1 Rozbor neporušeného půdního vzorku

Pomůcky: Kopeckého váleček o objemu 100 cm^3 , hodinové sklo o průměru 7 – 8 cm, zařízení pro kapilární nasávání válečků, nastříhaný nebo kruhový filtrační papír, rovná lopatka, technické váhy, exikátor se sikativem, sušárna.

Postup: Očištěný váleček v přirozené vlhkosti (bez víček), s dolní základnou uzavřenou kruhovým filtračním papírem, se postaví na hodinové sklo o známé hmotnosti, přesně se zváží a hmotnost (G_A) se zapíše do záznamu, používá se pro určení momentální hmotnostní vlhkosti w_{mom} .

Na 4 vrstvy kruhového filtračního papíru se položí strana s břitem a nechá se nasytit destilovanou vodou kapilárním vztláním. Horní základna válečku se zakryje hodinovým sklem z důvodu zamezení výparu. Zemina ve válečku se nasycuje vodou 24 hodin (dle oborové normy), až je celá horní základna provlhčená (bobtnavé vzorky až 72 hodin z důvodu pomalého pronikání molekul vody do krystalické mřížky jílových minerálů). Provlhčení je indikováno leskem horní základny.

Po nasycení se váleček sejme z filtračního papíru sesunutím do strany, nakloní se, aby odkapala přebytečná voda z uzavírajícího filtračního papíru (lze lehce setřít naplocho prstem). Váleček se postaví na hodinové sklo a zváží se, hmotnost (G_B) slouží pro určení nasáklivosti θ_{NS} . [11]

Váleček se postaví na 4 vrstvy filtračního papíru a horní základna se zakryje hodinovým sklem. Tento okamžik určuje počátek odsávání vody ze vzorku, označí se čas $t = 0$ a od tohoto okamžiku se začne měřit doba odsávání.

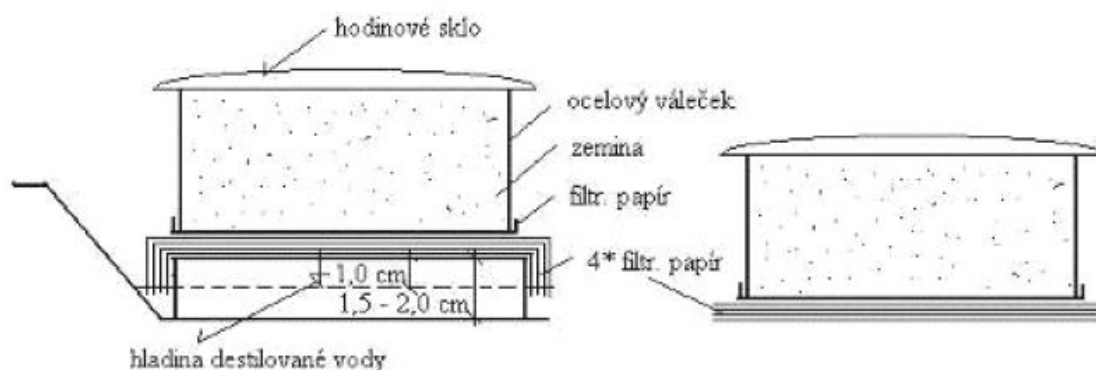
Po 30' odsávání se zváží hmotnost válečku na hodinovém skle (G_C), používá se pro výpočet 30 minutové vlhkosti θ_{30} .

Váleček zakrytý hodinovým sklem se opět postaví na suchý filtrační papír (4 vrstvy), odvodňuje se po dobu 90', tj. 2 hodiny od času $t = 0$. Hmotnost po zvážení (G_D) se používá pro určení maximální kapilární vodní kapacity θ_{MKK} podle V. Nováka.

Váleček se postaví na suchý filtrační papír zakryt hodinovým sklem, doba odsávání 22 hodin (celkem 24 hodin od počátku odsávání) a zváží se. Hmotnost (G_E) se používá k určení přibližné retenční vodní kapacity θ_{RVK24} .

Váleček se zeminou a s filtračním papírem se suší při 105°C do konstantní hmotnosti, po vychladnutí se zváží s hodinovým sklem, hmotnost (G_F) se používá ke stanovení hmotnosti sušiny (G_H).

Suchá zemina z válečku po rozmělnění slouží ke stanovení zdánlivé hustoty pevných částic ρ_S (specifická hmotnost). Objemová hmotnost ρ_d , která je blízká specifické hmotnosti, se charakterizuje jako hmotnost zeminy v přirozeném uložení, vysušená při 105°C k objemu vzorku V_S . Pak platí $\rho_d = G_H/V_S$. [11]



obr. č.10. Rozbor neporušeného půdního vzorku (převzato Kameníčková, 2013)

Získané výsledky hmotností se zapisují do formuláře, viz Tab. 2.6

Tab. 2.6 Formulář pro záznam stanovených hmotností (převzato Kameníčková, 2013)

Stanovení	symbol	výpočet	jednotka
Momentální vlhkost	θ_{mom}	$(G_A - G_F)$	% obj.
Nasákivost	θ_{ns}	$(G_B - G_F)$	% obj.
Vlhkost 30'	θ_{30}	$(G_C - G_F)$	% obj.
Max. kap. vodní kapacita	θ_{MKK}	$(G_D - G_F)$	% obj.
Retenční vodní kapacita	θ_{RVK}	$(G_E - G_F)$	% obj.
Zdánlivá hustota pevných částic (specifická hmotnost)	ρ_s	$N_S / (N_S + P_V - P_S)$	g.cm^{-3}
Sušina	G_H	$G_F - (G_V + G_S)$	g
Objemová hmotnost	ρ_d	G_H / V_S	g.cm^{-3}
Celková pórovitost	P	$(\rho_s - \rho_d) \cdot 100 / \rho_s$	% obj.
Kapilární pórovitost	P_K	θ_{RVK}	% obj.
Nekapilární pórovitost	P_N	$P - \theta_{30}$	% obj.
provzdušenost	V_z	$P - \theta_{\text{mom}}$	% obj.
Max. kap. vzdušná kapacita	K_{MKKvz}	$P - \theta_{\text{MKK}}$	% obj.
Retenční vzdušná kapacita	K_{RVKvz}	$P - \theta_{\text{RVK}}$	% obj.

Kde:

- G_A vzorek s přirozenou vlhkostí
- G_B vzorek kapilárně nasycený
- G_C vzorek po 30' odsávání
- G_D vzorek po 2 hodinách odsávání
- G_E vzorek po 24 hodinách odsávání
- G_F vzorek při vysušení při 105 °C
- G_H čistá hmotnost vzorku po vysušení při 105 °C
- G_V hmotnost fyzikálního válečku
- G_S hmotnost hodinového skla
- N_S navážka pro stanovení zdánlivé hustoty částic
- P_V hmotnost pyknometru s vodou
- P_S hmotnost pyknometru se zeminou
- V_S objem fyzikálního válečku [11]

Momentální (okamžitá) vlhkost (Θ_{mom}) je momentální obsah vody v půdě.

1. Nejčastěji je vyjadřována v % objemových a nazývána objemová vlhkost.

Je vyjádřením poměru objemu vody ve vzorku k objemu neporušeného objemu:

$$\Theta = \frac{V_w}{V_s} \cdot 100. \text{ Vypočítáme podle vzorce: } \Theta = \frac{A-C}{V_s} \cdot 100, \text{ používáme-li neporušený}$$

vzorek o objemu 100 cm^3 , pak $\Theta = \frac{A-C}{100} \cdot 100 = A - C$ (% obj.)

2. Není-li k dispozici neporušený vzorek, pak počítáme hmotnostní vlhkost.

Je vyjádřením poměru hmotnosti vody ve vzorku k hmotnosti tuhé fáze vzorku:

$$w = \frac{m_w}{m_z} \cdot 100. \text{ Vypočítáme podle vzorce: } w = \frac{A-C}{C} \cdot 100 \text{ (% hm.).}$$

Momentální vlhkost v hmotnostních % lze vypočítat v momentální vlhkosti v objemových % podle vzorce: $w = \frac{\Theta}{\rho_d}$ (% hm.), kde ρ_d je objemová hmotnost redukovaná (objemová hmotnost vzorku po vysušení).

3. Pokud nás zajímá, nakolik jsou za momentální vlhkosti zaplněny póry vodou, počítáme vlhkost relativní. Matematicky se jedná o poměr objemu vody ve vzorku k objemu pórů: $w_{rel.} = \frac{V_w}{V_p} \cdot 100$.

$$w_{rel.} = \frac{V_w}{V_p} \cdot 100.$$

Vypočítáme podle vzorce: $w_{rel.} = \frac{\Theta}{P} \cdot 100$ (% rel.).

4. Pokud nám nestačí údaje o vlhkosti jednotlivých horizontů či vrstev, počítáme zásobu vody v půdě neboli vlhkost zásobní podle vzorce:

$$W = \int_0^h \Theta \cdot dh \text{ (mm)} \quad (2.10)$$

Kde:

h hloubka půdního profilu (dosazujeme v dm)

Jestliže je Θ s hloubkou konstantní, pak $W = \Theta \cdot h$. [13]

Nasáklivost (θ_{NS}) - charakteristika pro maximální zaplnění pórů při kapilárním nasycování zeminy (V. Novák). V laboratoři se stanovuje pro kontrolu správnosti určení pórovitosti. U některých nebobtnavých půd by měla být poněkud nižší než pórovitost. U bobtnavých půd pak nasáklivost zastupuje pórovitost.

Vlhkost 30' (θ_{30}) - charakteristika sloužící ke klasifikaci půdních pórů, zavedená na základě studia odsávání vody z válečků na 4 vrstvách filtračního papíru v závislosti na čase. Po 15' (lehké půdy) a po 30' (těžké půdy) dochází k rychlému poklesu vlhkosti (pravděpodobně z hrubých nekapilárních pórů).

Maximální kapilární vodní kapacita (θ_{MKK}) - schopnost půdy zadržet maximální množství vody zavěšené v kapilárních pórech pro potřeby vegetace po 2 hodinách odtékání původně plně nasycené půdy. Při závlaze se považuje za nejvyšší vlhkost, které je možno dosáhnout, aniž by nastaly nadměrné ztráty (z převlhčení) zavlažované části půdního profilu. Je-li vlhkost $> \theta_{MKK}$, půda je zamokřená. Hodnota θ_{MKK} se používá pro stanovení využitelné vodní kapacity

Retenční vodní kapacita přibližná (θ_{RVK}) - představuje poměrně ustálený stav vlhkosti, takže se již neuplatňuje vliv tíže, voda v pórech je pod výhradním vlivem kapilárních sil, tedy v kapilárních pórech. Proto lze θ_{RVK} ztotožnit s kapilárními póry.

Pórovitost (P) - dává údaj o okamžitém zastoupení objemu pórů v celkovém objemu půdy. Při zvětšování půdní vlhkosti se zvětšuje i pórovitost (vliv bobtnání koloidů), při vysychání půdy se pórovitost naopak snižuje. Podle pórovitosti se posuzuje ulehlost a kyprost půdy. Kritické hodnoty pórovitosti ukazují škodlivé zhutnění podorničí i ornice. Pro určení kritické hodnoty pórovitosti lze využít klasifikaci podle Lhotského, která je uvedena v Tab. 2.7. [11]

Tab. 2.7 Kritické hodnoty pórovitosti podle Lhotského (převzato Kameníčková, 2013)

půdní druh	J	JV, JH	H	PH	HP	P
kritická P	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38

Dle Bretfelda je možné posoudit ulehlost orniční a podorniční vrstvy, viz. Tab. 2.8

Tab. 2.8 Klasifikace půdy podle pórovitosti (podle Bretfelda), (převzato Kutílek, 1978)

Pórovitost půd lehkých	Označení ulehlosti	Pórovitost půd středně těžkých a těžkých
[%]		[%]
ornice		
> 65	kyprá	> 65
65 - 50	mírně ulehlá	65 - 55
50 - 40	ulehlá	55 - 45
< 40	velmi ulehlá	< 45
spodina		
>50	kyprá	> 57
50-43	mírně ulehlá	57 - 46
43-35	ulehlá	46 - 35
<35	velmi ulehlá	< 35

Rozdělení pórů:

Kapilární póry (P_K) vedou vodu proti gravitaci. Jsou totožné s hodnotou přibližné retenční vodní kapacity ($P_K = \theta_{RVK}$). Jejich optimální zastoupení v půdě je přibližně 2/3 z celkové pórovitosti. Nadbytek kapilárních pórů znesnadňuje infiltraci (půda přijme méně vody, provlhčení do malé hloubky → zvýšení povrchového odtoku, nebezpečí svahových erozí).

Semikapilární póry (P_S) tvoří přechodnou fázi mezi póry kapilárními a nekapilárními. Vyjadřují rozdíl objemové vlhkosti po 30 minutách odstávání a přibližné retenční vodní kapacity. Umožňují dobrý pronik vody do půdy a její zadržení (umožňují nasycení kapilárních pórů do větší hloubky).

Nekapilární póry (P_N) tvoří dutiny v půdě, z nich okamžitě odtéká gravitačně voda (lepší vnik vody do půdy). Při nadbytku těchto pórů se vlhkost v povrchové vrstvě příliš nemění (velká rychlost prosakující vody – nedochází k nasycení kapilárních pórů → voda jde do hloubky). [11]

Hmotnostně-objemové veličiny:

1. Zdánlivá hustota tuhé fáze zeminy ρ_s neboli měrná (specifická) hmotnost zeminy udává hmotnost jednotkového objemu (hustota) tuhé fáze (sušiny).
2. Objemová hmotnost zeminy, která je popsána v kapitole 2.3. [13]

Vzdušné charakteristiky

Provzdušenost půdy (V_z) - vyjadřuje okamžité zastoupení vzduchu v půdě a je ovlivněna vlhkostí. Lze ji určit pomocí vztahu:

$$V_z = \frac{V_A}{V_S} \cdot 100 = P - \theta_{mom} [\% \text{ obj.}] \quad (2.11)$$

Kde:

V_A objem vzduchu ve vzorku [cm^3]

V_S objem celého vzorku [cm^3]

Hodnoty provzdušenosti se můžou pohybovat od 0 při úplném nasycení pórů vodou až po hodnotu pórovitosti, kdy jsou póry vyplněny pouze vzduchem. Optimální hodnoty provzdušenosti se pohybují u polí mezi 18 – 24 % obj.. Pokud dojde ke snížení provzdušenosti v polích pod 10 % obj., přestane probíhat výměna vzduchu a začnou probíhat

anaerobní procesy v půdě. V tomto případě se pak musí provést agrotechnický zásah, kterým se zvýší množství vzduchu v půdě.

V opačném případě, při velkém provzdušení, dochází k přemnožení mikroorganismů, což vede k rychlému odbourání humusu.

Vzdušná kapacita půdy (K_{VZ}) vyjadřuje procento objemu pórů vyplněných vzduchem. Rozlišuje se maximální a retenční vzdušná kapacita podle toho, zda se určuje při maximální vodní kapacitě nebo retenční vodní kapacitě. [11]

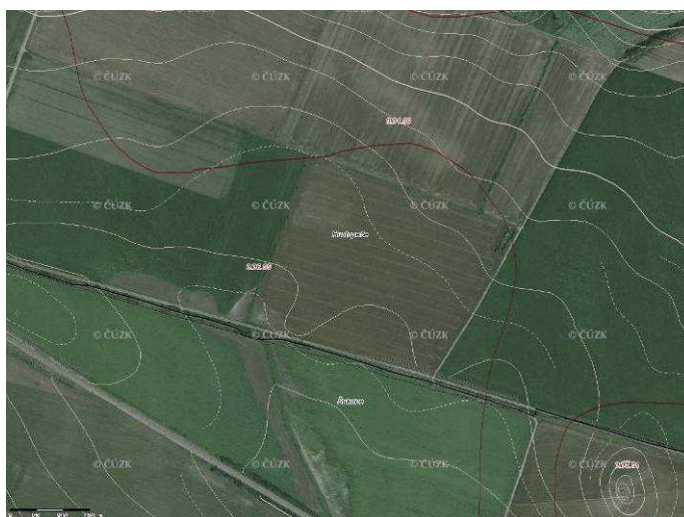
3 PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ

3.1.1 Popis zájmového území

Šakvice leží v povodí řeky Dyje, která tvoří jihozápadní hranici hospodářského obvodu. Na východě obvodu protéká levostranný přítok Dyje, do něhož se vlévá říčka Štinkavka a z levé strany malý rozvětvený přítok, protékající loukami na západním okraji hospodářského obvodu.

Zájmové území leží na rozhraní Kyjovské a Hustopečské pahorkatiny a vlastního Dyjsko-svrateckého úvalu. Terén je převážně plochý nebo jen mírně zvlněný; nejnižší nadmořská výška 169 m se nachází na jihu obvodu při Dyji. Výška terénu se pohybuje kolem 175 m n. m., nejvyšší kóty jsou SZ od obce ve výšce 204 m n. m. a v JV části obvodu 196 m n.m.



obr. č.11. Sledované experimentální plochy (zdroj www.mapy.cz)

3.1.2 Klimatické poměry

Z klimatického hlediska se jedná o oblast teplou, okrsek teplý a suchý s mírnou zimou (A2). Průměrná roční teplota je 9,2 °C a průměrný roční úhrn srážek je 563 mm, úhrn srážek za IV-IX je 364 mm (meteorologická stanice v Hustopečích, Atlas podnebí ČSSR, 1901-1950).

Průběh srážek za rok 2009 je uveden v tabulce Tab. 3.1 Rok 2009 vykazuje úhrn srážek ve vegetačním období IV.-IX. 282,8 mm s maximálními srážkovými úhrny v červnu 131,2 mm a minimálními srážkovými úhrny v dubnu 2,5 mm.

Tab. 3.1 Srážkové úhrny v lokalitě Šakvice, 2009

měsíc/rok	srážky (mm)										
	1.1. - 3.2.	4.2. - 2.3.	3.3. - 6.4.	7.4. - 4.5.	5.5. - 1.6.	2.6. - 6.7.	7.7. - 3.8.	4.8. - 31.8.	1.9. - 5.10.	6.10. - 2.11.	IV. - IX
2009	0	0	93,1	2,5	74	131,2	66,3	31,5	8,8	32,8	282,8

3.1.3 Geomorfologické poměry

Obě experimentální plochy se nachází ve vzdálenosti cca 200 m, terén je rovinný s všesměrnou expozicí.

Uspořádání půdního profilu:

0-40 cm Ac - černický horizont

40-60cm Ac/CK - přechodný horizont

60 a více cm C/k - půdotvorný substrát

Struktura půdy drobtová/bezstrukturní, obsah humusu 2,5 %.

Genetickým půdním představitelem je černozem pelická. Základní půdní druh: těžká půda – jílovitohlinitá.

3.1.4 Způsob zpracování půdy

Od roku 2005 je na jednu z ploch s klasickým způsobem zpracování půdy aplikovaná rozmetadlem minerálních hnojiv před setím nebo po sklizni plodin přímo do rostlinných zbytků pomocná látka PRP SOL. Jedná se o směs vápenatých a hořečnatých uhličitanů a rostlinného pojiva. PRP SOL příznivě ovlivňuje půdní strukturu, biologickou aktivitu v půdě a pomáhá zvyšovat půdní úrodnost. V případě aplikace přípravku PRP SOL do půdy rostliny vytváří bohatý kořenový systém, který dokáže čerpat vláhu z hlubších vrstev. Přípravek je vhodný pro všechny typy obhospodařovaných půd, aplikuje se rozmetadlem minerálních hnojiv před setím nebo po sklizni plodin přímo do rostlinných zbytků. Startovací dávka 200 kg.ha⁻¹. V roce 2009 byly obě experimentální plochy osety kukuřicí na zrno.

Hlavní agrotechnické zásahy u sledovaných plodin:

- Kukuřice na zrno po kukuřici na zrno - klasická technologie zpracování půdy (10 ha) orba, vláčení, hnojení močovina, kompaktor, setí kukuřice, válení, postřik herbicid, postřik insekticid, sklizeň zrna, odvoz, zadiskování posklizňových zbytků.
- Kukuřice na zrno po kukuřici na zrno - klasická technologie zpracování půdy s PRP SOL (10 ha)

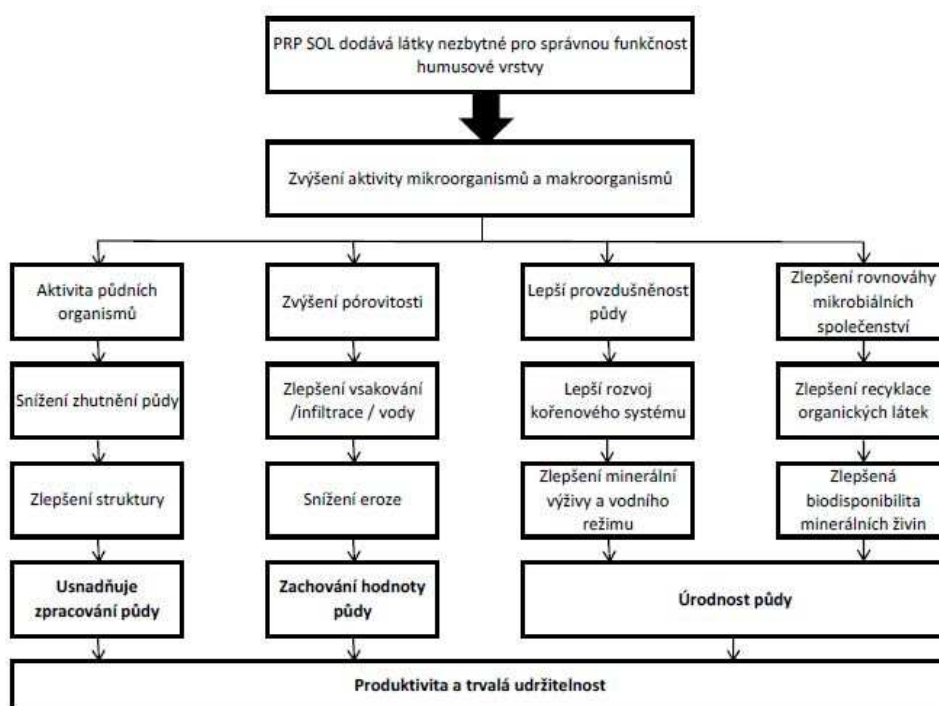
orba, vláčení, hnojení PRP, hnojení močovina, kompaktor, setí kukuřice, válení, postřik herbicid, postřik insekticid, sklizeň zrna a odvoz, zapravení posklizňových zbytků pomocí disku.

3.1.5 Přípravek PRP SOL

PRP SOL je prostředek zajišťující zlepšení vitálních funkcí půdy. Aplikuje se ve formě granulí.

Je směsí vápenatých a hořečnatých uhličitánů a rostlinného pojiva; účinné složky přípravku PRP SOL se po aplikaci do půdy rozpouštějí a rozptýlí v půdním roztoku.

Tyto dobře rozpustné minerální složky se vážou na půdní roztok a upravují prostředí, ve kterém se vyvíjejí mikroorganismy. Stimulace mikrobiální flóry působí na všechny životadárné funkce půdy, zlepšuje její úrodnost a pozitivně ovlivňuje růst rostlin. Díky bohatší síti kořenů má rostlina přístup k většímu množství půdy, která je zároveň i biologicky aktivnější. [16]



obr. č.12. Využití přípravku PRP SOL (zdroj www.prp-technologies.eu)

Použití přípravku PRP SOL

PRP SOL se používá na všech druzích půd a u všech kultur. Aplikované množství se liší podle stavu půdy a podle počtu operací prováděných během sezóny. Zintenzivnění rotace plodin, zhutnění půdy, zavlažování, ošetřování, kvalita kořenového systému a objem posklizňových zbytků představují některá z kritérií charakterizujících dopad na chování rostliny na půdě. Půdní mikroflóra reaguje, stejně jako většina živých organismů, na podmínky prostředí, to znamená na teplotu a vlhkost.

Vlhkost půdy a zvýšená teplota přímo stimuluje činnost této mikroflóry od konce zimy do podzimu. Celé toto období je tedy vhodné pro používání přípravku PRP SOL. [16]

Složení PRP SOL

PRP SOL představuje granulát na bázi uhličitanů vápenatých a hořečnatých a technologických přísad podle postupu MIP (železo, zinek, bór, sodík, mangan, atd.).

Všechny tyto látky jsou spojeny rozpustným pojivem rostlinného původu: lignosulfonát.

Používání vápenatých a hořečnatých uhličitanů řadí PRP SOL do zákonem určené třídy zásaditých minerálních hnojiv (norma NFU 44-001, třída II).

Deklarované složení:

Vápník ve formě oxidu vápenatého v	35% uhličitanové formě
Hořčík ve formě oxidu hořečnatého v	8% uhličitanové formě
Rozpustnost uhličitanů	50
Neutralizační hodnota	46
Vlhkost	< 0.8%
Jemnost mletí	minimálně 80% před granulací procházející sítí velikosti 0.315 mm
pH	7.7
Měrná hmotnost	1.19

Balení: 50 kg pytle (paleta po 24 pytlích) – „Big bag“ 600 kg / 1 200 kg – volně na plně naloženém nákladním autě. [16]

3.2 PRÁCE V TERÉNU A LABORATOŘI

Práce v terénu začíná hydropedologickým průzkumem, který slouží k určení obecných pedologických, hydropedologických a hydraulických vlastností půd. Je využíván hlavně jako podklad a součást projektové dokumentace všech vodohospodářských staveb (úpravy vodních toků, výstavba údolních nádrží, vymezení pramenišť a lokalit pro jímání vody, protierozní opatření, revitalizace apod.).

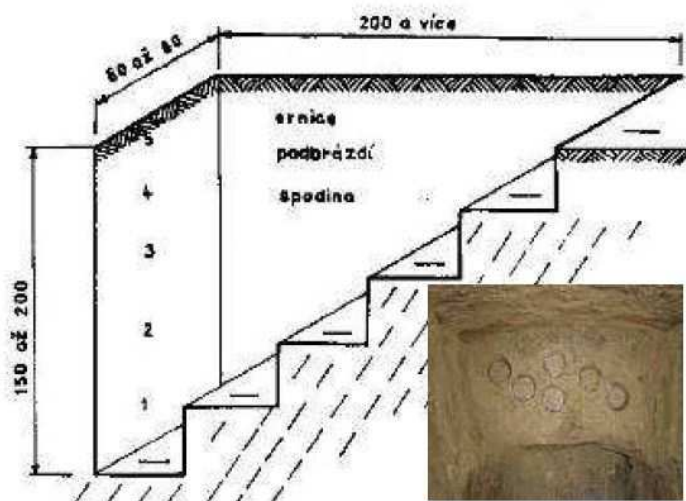
Hydropedologický průzkum se dělí na:

- *předběžný*, podává všeobecný obraz o půdních poměrech a zdůvodnění vodohospodářské úpravy;
- *podrobný*, slouží jako podklad pro projektovou dokumentaci, práce postupuje v několika na sebe navazujících etapách: příprava a zhodnocení podkladů, příprava terénního průzkumu, terénní průzkum a měření, laboratorní práce, zpracování závěrečné zprávy;
- *doplňující*, provádí se v průběhu zpracování projektu stavby, zpřesňuje a doplňuje dřívější průzkumy.

3.2.1 Výkop sond

Půdorys *kopané sondy* je obdélníkový, rozměr 60 (80)*150 (200) cm, hloubka 120 – 200 cm. Čelní stěna je orientována proti slunci, strana proti čelu se kope stupňovitě ve tvaru schodů. Ve svažitém terénu je čelo proti svahu, podélná osa svahu je kolmá na vrstevnice. Čelní a obě postranní stěny musí být kolmé ke dnu sondy. Při výkopu se dává zemina z humusových horizontů na opačnou stranu než zemina ze spodiny.

Popis půdního profilu se provádí podle čerstvého stavu čelní stěny v sondě. Nožem se odrýpne oschlá vrstva zeminy z důvodu „oživení“, aby byla vidět zemina v přirozeném stavu vlhkosti, se svěžím zabarvením a přirozenou neporušenou strukturou.



obr. č.13. Kopaná sonda (převzato Kameníčková, 2013)

Při popisu do polního půdního záznamu se zapisuje mocnost litologických vrstev, mocnost a sled horizontů, charakter přechodů, barva, struktura, zrnitost, skeletovitost, vlhkost, konzistence, obsah uhličitánů, trhliny a svislé kanálky, hloubka a mohutnost prokořenění, biologické oživení a další jevy důležité pro posouzení půdních poměrů. U profilu s podzemní vodou se výška hladiny podzemní vody určí až po jejím ustálení.

3.2.2 Odběr půdních vzorků

Porušené půdní vzorky se odebírají z čela sondy, ze středů jednotlivých horizontů vždy zesponu nahoru, aby nedošlo k promíšení vzorků z vrchních a hlubších horizontů. Zemina se odebírá pomocí polní lopatky a ukládá se do předem popsanych sáčků (místo odběru, datum, číslo sondy a vzorku, hloubka). Množství odebrané zeminy závisí na plánovaných laboratorních rozborech, u půd bez skeletu cca 1 kg, u půd se skeletovostí > 20 % se odebere vzorek o hmotnosti cca 2,5 kg. Pokud potřebujeme stanovit pouze okamžitou vlhkost zeminy, používají se tzv. vysoušečky (hliníkové o objemu 50 - 100 cm³, opatřené těsnícím víčkem, aby se zamezilo vypařování půdní vody). Číslo na vysoušečce a víčku se zapíše do polního půdního záznamu nebo do zápisníku k příslušnému horizontu.

Odebrané vzorky se odvezou do laboratoře, skladují se v suché a dobře větratelné místnosti. Otevřené sáčky se postaví vedle sebe, mezi nimi se ponechá mezera z důvodu lepšího vysychání zeminy. Z igelitových sáčků se přemístí vlhčí zemina do misek, hroudy se rozdrť, zemina se rozprostře do nižší vrstvy, nechá se vyschnout za občasného promíchání a drobení. Takto připravená zemina se používá pro laboratorní rozbory (vyschlá na vzduchu).

Odběr *neporušených vzorků* se provádí za účelem stanovení fyzikálních vlastností a charakteristiku vodního a vzdušného režimu půdy do tzv. Kopeckého fyzikálních válečků (nerezavějící ocelový váleček, objem 100 cm³, pro stanovení propustnosti se používají mezikruží o objemu 1000 cm³).

Odběr se provádí v kopaných sondách v popisované stěně ze stejného místa, jako odběr porušených vzorků, tj. v jedné svislici nad sebou. V místě po odběru porušeného vzorku se vytvoří plošinka, do ní se plynule svisle vtlačuje váleček bez viklání pomocí násadce tak dlouho, až sloupec vnikající zeminy převyšuje horní okraj válečku o 0,5 – 1 cm.



obr. č.14. Pomůcky pro odběr fyzikálních válečků (převzato Kameníčková, 2013)

V případě ulehlé, vyschlé půdy je odběr vzorku obtížnější, nedoporučuje se váleček zatlučet (destrukce zeminy). Pokud nejsou pro vtlačování k dispozici žádné pomůcky, uvolní se kolem válečku zemina (pod částečně vtlačeným válečkem vznikne válec zeminy s větším průměrem než má mezikruží), při dalším vtlačování se přebytečná zemina břitem válečku snadno odkrojí, poněvadž zemina neklade svíráním odpor vnikajícímu břitu.

Odebrané válečky s neporušeným vzorkem se opatrně oddělí a zemina v něm se odkrojí do úrovně základny (řeže se nožem do kužele od středu ke kraji válečku, výška kužele se postupně snižuje až do zarovnání základny). V případě porušení vzorku je třeba provést odběr znovu. Nakonec se válečky zavíčkují a uloží se do igelitových sáčků nebo plechového kufříku. Hloubka odběru vzorku s číslem válečku se zaznamená do pedologického zápisníku. Lokalizace všech sond se zaznamená do půdní mapy.

3.3 VYHODNOCENÍ FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ PŮDY

Na základě odběru neporušených půdních vzorků odebraných na začátku a na konci vegetačního období byly vyhodnoceny tyto fyzikální vlastnosti půdy: objemová hmotnost redukovaná, momentální vlhkost, nasáklivost, pórovitost a provzdušenost, které jsou uvedené v tabulce Tab. 3.2. a 3.3.

Tab. 3.2 Hodnoty posuzovaných fyzikálních vlastností půdy neporušených půdních vzorků odebraných 13. 5. 2009

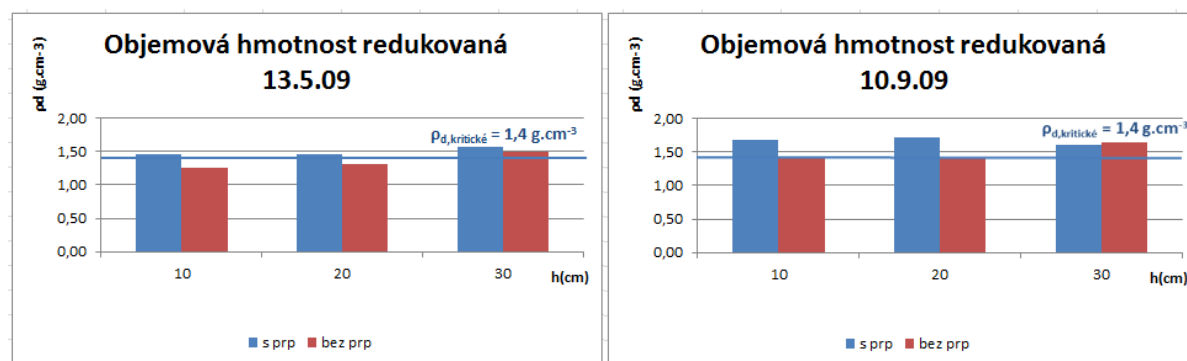
hloubka odběru	h	s PRP			bez PRP		
		10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm
objemová hmotnost reduk.	P_d	1,46	1,45	1,56	1,25	1,31	1,49
momentální vlhkost	θ	24,24	24,01	23,73	20,13	25,69	28,02
nasáklivost	$\theta_{NS} = \theta_S$	40,58	34,44	32,37	37,39	38,44	35,92
pórovitost	P	41,43	41,49	38,61	50,38	48,25	40,18
kapilární póry	P_K	28,75	26,78	25,23	24,08	27,71	29,62
semikapilární póry	P_S	8,88	4,91	4,28	9,10	6,92	3,70
nekapilární póry	P_N	3,80	9,80	9,10	17,20	13,62	6,87
provzdušenost	V_z	17,19	17,48	14,88	30,25	22,56	12,16

Tab. 3.3 Hodnoty posuzovaných fyzikálních vlastností půdy neporušených půdních vzorků odebraných 10. 9. 2009

hloubka odběru	h	s PRP			bez PRP		
		10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm
objemová hmotnost reduk.	P_d	1,67	1,71	1,60	1,40	1,43	1,65
momentální vlhkost	θ	19,72	16,77	18,37	19,99	16,28	15,41
nasáklivost	$\theta_{NS} = \theta_S$	26,62	24,50	31,72	33,01	30,67	31,01
pórovitost	P	32,61	32,23	36,37	45,23	43,38	34,97
kapilární póry	P_K	23,53	22,03	26,35	24,62	23,89	25,34
semikapilární póry	P_S	1,74	1,66	3,34	5,12	3,97	3,42
nekapilární póry	P_N	7,34	8,54	6,69	15,48	15,51	6,22
provzdušenost	V_z	12,89	15,46	18,00	25,24	27,10	19,56

Výsledky rozboru jednotlivých neporušených půdních vzorků jsou uvedené v příloze s tabulkami: Tab. 4.1 - 4.4. Výsledky fyzikálních vlastností půdy pro jednotlivé experimentální plochy jsou uváděny v grafické formě, obr. č. 15 – 21.

Objemová hmotnost redukováná



obr. č.15. Průběh objemové hmotnosti redukováné ze dne 13. 5. 09 a 10. 9. 09

13. 5. 09

Hodnoty objemové hmotnosti redukováné při klasické úpravě půdy s aplikací přípravku PRP SOL na začátku měření překračují kritické hodnoty stanovené pro jílovitohlinitou půdu (Lhotský, 1984: jílovitohlinitá půda $\rho_{d,kritické} = 1,4 \text{ g.cm}^{-3}$). Ve svrchní vrstvě ornice (10 cm) jsou hodnoty $\rho_{d,PRP} = 1,46 \text{ g.cm}^{-3}$, a ve 20 cm $\rho_{d,PRP} = 1,45 \text{ g.cm}^{-3}$. V hloubce 30 cm objemová hmotnost se zvyšuje na hodnotu $\rho_{d,PRP} = 1,56 \text{ g.cm}^{-3}$. Z důvodu překročení kritické hodnoty v celém půdním profilu je patrné škodlivé ztuhnutí půdy. Na základě objemové hmotnosti redukováné je hodnocen strukturní stav humusového horizontu ($\rho_{d,PRP} = 1,49 \text{ g.cm}^{-3}$) podle Kutílka, 1984 jako nevyhovující ($\rho_d = 1,4 - 1,6 \text{ g.cm}^{-3}$).

Hodnoty objemové hmotnosti redukováné při klasické úpravě půdy bez aplikace přípravku PRP SOL vykazují lepší výsledky, a to v celém orničním horizontu. V hloubce 10 cm $\rho_{d,bez PRP} = 1,25 \text{ g.cm}^{-3}$, ve 20 cm $\rho_{d,bez PRP} = 1,31 \text{ g.cm}^{-3}$, což je pod kritickou hodnotou. Do této hloubky je půda v dobrém stavu a nevykazuje známky ztuhnutí. V podorničí, tj. v hloubce 30 cm překračuje kritickou hodnotu $\rho_{d,bez PRP} = 1,49 \text{ g.cm}^{-3}$ a vykazuje známky ztuhnutí. Strukturní stav humusového horizontu na základě objemové hmotnosti ($\rho_{d,bez PRP} = 1,35 \text{ g.cm}^{-3}$) je hodnocen jako dobrý ($\rho_d = 1,2 - 1,4 \text{ g.cm}^{-3}$).

10. 9. 09

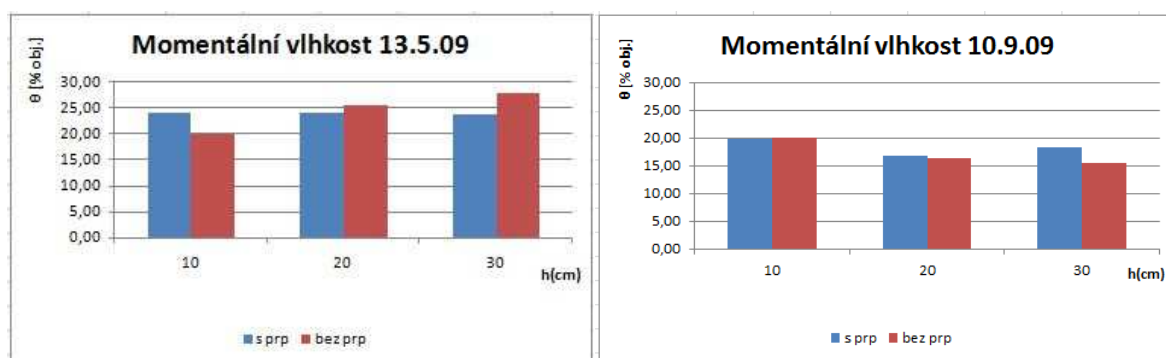
Hodnoty objemové hmotnosti redukováné při klasické úpravě půdy s aplikací přípravku PRP SOL ($\rho_d = 1,49 \text{ g.cm}^{-3}$) odebrané téměř na konci vegetačního období vykazují známky ztuhnutí půdy ve všech hloubkách půdního profilu (10 - 30 cm) a výrazně překračují kritickou hodnotu. V 10 cm $\rho_{d,PRP} = 1,67 \text{ g.cm}^{-3}$, ve 20 cm $\rho_{d,PRP} = 1,71 \text{ g.cm}^{-3}$ a ve 30 cm

$\rho_{d,PRP} = 1,60 \text{ g.cm}^{-3}$. Z hlediska hodnocení strukturního stavu humusového horizontu podle objemové hmotnosti redukované půda spadá do poslední kategorie, tj. nestrukturní půda ($\rho_d = 1,6 - 1,8 \text{ g.cm}^{-3}$).

Hodnoty objemové hmotnosti redukované při klasické úpravě půdy bez aplikace přípravku PRP SOL mají lepší výsledky než na půdě s aplikací přípravku PRP SOL ($\rho_d = 1,49 \text{ g.cm}^{-3}$). V 10 cm $\rho_{d,bez PRP} = 1,4 \text{ g.cm}^{-3}$, ve 20 cm $\rho_{d,bez PRP} = 1,43 \text{ g.cm}^{-3}$ a ve 30 cm $\rho_{d,bez PRP} = 1,65 \text{ g.cm}^{-3}$. Strukturní stav humusového horizontu na základě objemové hmotnosti redukované je přibližně charakterizován jako nevyhovující ($\rho_d = 1,4 - 1,6 \text{ g.cm}^{-3}$).

Srovnáme-li průměrné hodnoty ze začátku a na konci měření, nevidíme žádné velké rozdíly. Průměrná objemová hmotnost ze dne 13. 5. 09 s použitím přípravku PRP SOL je $\rho_{d,PRP} = 1,49 \text{ g.cm}^{-3}$, tato hodnota vypovídá o nevyhovujícím strukturním stavu půdy a hodnota z 10. 9. 09 s přípravkem PRP SOL je o kategorii horší, jedná se již o půdu nestrukturní $\rho_{d,PRP} = 1,66 \text{ g.cm}^{-3}$. V obou případech hodnoty přesahují kritickou hodnotu. Odlišné výsledky objemové hmotnosti vykazují vzorky půdy bez přípravku PRP SOL, kde 13. 5. 09 je průměrná hodnota $\rho_{d,bez PRP} = 1,35 \text{ g.cm}^{-3}$ a dle strukturního stavu humusového horizontu je půda klasifikovaná jako dobrá. Koncem vegetačního období 10. 9. 09 se hodnota sice zhoršuje ($\rho_{d,bez PRP} = 1,49 \text{ g.cm}^{-3}$), čímž překročí kritickou hodnotu a půda je klasifikována jako nevyhovující (na konci vegetačního období se dají tyto hodnoty očekávat).

Momentální vlhkost



obr. č.16. Průběh momentální vlhkosti ze dne 13. 5. 09 a 10. 9. 09

13. 5. 09

Hodnoty momentální vlhkosti při klasické úpravě půdy s aplikací přípravku PRP SOL se vzrůstající hloubkou se výrazně neliší, půda tedy zadržuje přibližně stejnou zásobu půdní

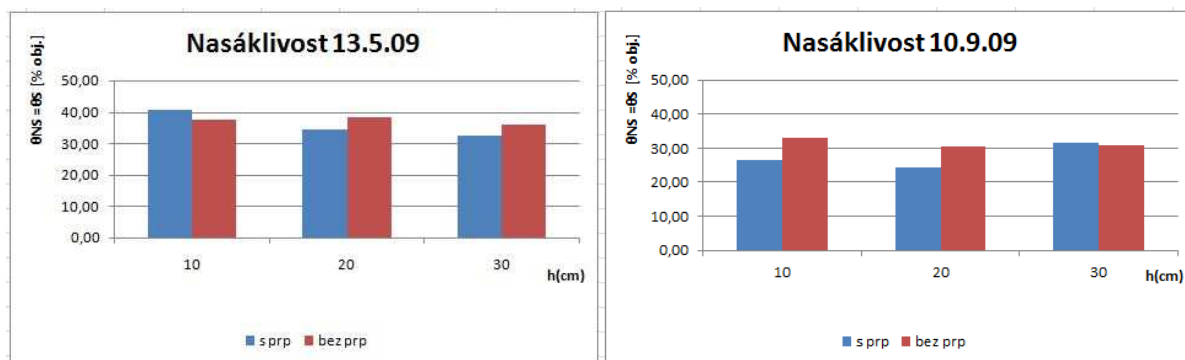
vody v celé měřené hloubce. Hodnoty momentální vlhkosti při klasické úpravě půdy bez aplikace přípravku PRP SOL rostou se vzrůstající hloubkou. (Průměrné hodnoty momentální vlhkosti: $\theta_{mom,PRP} = 23,99 \% obj$, $\theta_{mom,bez PRP} = 24,61 \% obj$).

10. 9. 09

Hodnoty momentální vlhkosti při klasické úpravě půdy s aplikací přípravku PRP SOL i bez něj jsou nižší, než ze dne 13. 5. 09. Nejnižší zásoba vody v ošetřené půdě je v hloubce 20 cm a nejvyšší v 10 cm. Hodnoty půdy bez aplikace přípravku PRP SOL mají klesající tendenci. Průměrné hodnoty momentální vlhkosti: $\theta_{mom,PRP} = 18,29 \% obj$, $\theta_{mom,bez PRP} = 17,23 \% obj$). Z grafu je patrné, že zásoba půdní vody ubývá se vzrůstající hloubkou.

Srovnáme-li hodnoty z obou naměřených dnů, potom je patrné, že zásoba půdní vody ze dne 13. 5. 09 je výrazně vyšší. Nižší hodnoty ze dne 10. 9. 09 jsou patrně vlivem nižších srážek a v důsledku vyššího zhutnění půdy.

Nasáklivost



obr. č.17. Průběh nasáklivosti ze dne 13. 5. 09 a 10. 9. 09

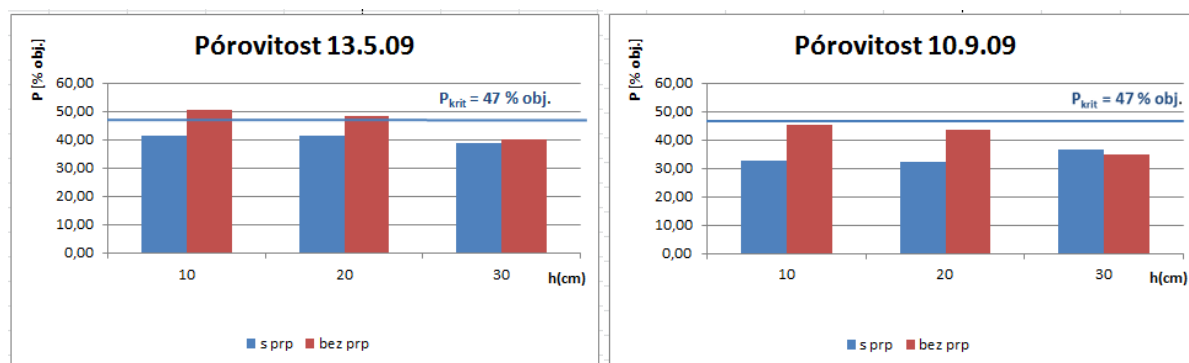
13. 5. 09

Hodnoty nasáklivosti při klasické úpravě půdy s aplikací přípravku PRP SOL s přibývajícím hloubkou půdního profilu se mírně snižují. U půdy bez aplikace přídatku PRP SOL jsou hodnoty nasáklivosti bez výrazných změn v celém půdním profilu. Průměrné hodnoty nasáklivosti: $\theta_{NS,PRP} = 35,79 \% obj$, $\theta_{NS,bez PRP} = 37,25 \% obj$.

10. 9. 09

Hodnoty nasáklivosti při klasické úpravě půdy s aplikací přípravku PRP SOL jsou až do hloubky 20 cm konstantní a v hloubce 30 cm se zvýší. U půdy bez aplikace přípravku PRP SOL se hodnoty mírně snižují. Průměrné hodnoty nasáklivosti: $\theta_{NS,PRP} = 27,6 \% obj$, $\theta_{NS,bez PRP} = 31,56 \% obj$.

Pórovitost



obr. č.18. Průběh pórovitosti ze dne 13. 5. 09 a 10. 9. 09

13. 5. 09

Hodnoty pórovitosti při klasické úpravě půdy s aplikací přípravku PRP SOL jsou výrazně pod kritickou hodnotou podle Lhotského, 1984 (jílovitohlinitá půda: $P_{krit.} < 47 \% obj.$). Průměrná hodnota v ornici, tedy do hloubky 20 cm, vychází $P_{PRP} = 41,46 \% obj.$, což odpovídá podle Bretfelda velmi ulehle půd (pórovitost u středně těžkých a těžkých půd u ornice < 45 velmi ulehle). V podorničí se pórovitost mírně snižuje, a to na hodnotu $P_{PRP} = 38,61 \% obj.$ a dle Bretfelda je již půda pouze ulehle (pórovitost u středně těžkých a těžkých půd v podorničí 46 - 35 ulehle).

Hodnoty pórovitosti při klasické úpravě půdy bez aplikace přípravku PRP SOL překračují kritickou hodnotu podle Lhotského, 1984 (jílovitohlinitá půda: $P_{krit.} < 47 \% obj.$). Ornice $P_{bez PRP} = 49,31 \% obj.$ a podorničí $P_{bez PRP} = 40,18 \% obj.$ jsou klasifikovány podle Bretfelda jako ulehle.

10. 9. 09

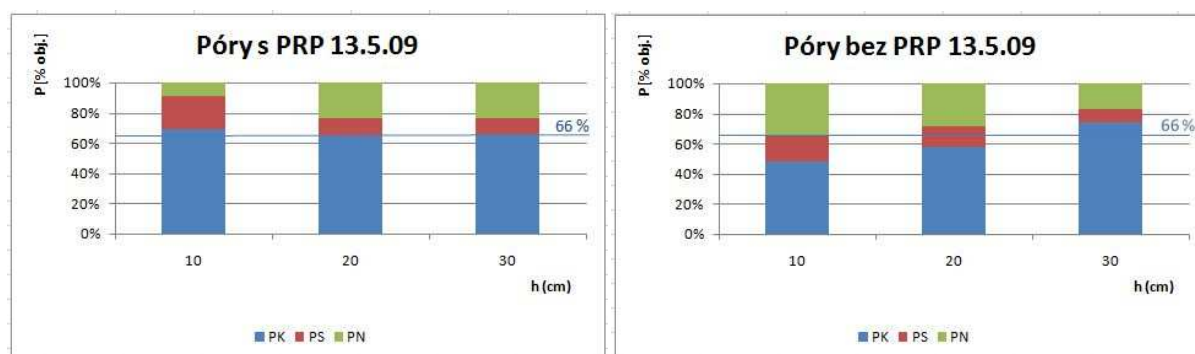
U hodnot pórovitosti při klasické úpravě půdy s aplikací přípravku PRP SOL vidíme pokles proti hodnotám ze dne 13. 5. 09. Hodnoty ornice i podorničí jsou pod kritickou hodnotou podle Lhotského, 1984 (jílovitohlinitá půda: $P_{krit.} < 47 \% obj.$). Hodnota u ornice $P_{PRP} = 32,42 \% obj.$ vychází jako velmi ulehle (pórovitost u středně těžkých a těžkých půd u ornice < 45 velmi ulehle), v podorničí je patrný mírný nárůst pórovitosti $P_{PRP} = 36,37 \% obj.$ a půda je hodnocena jako velmi ulehle (pórovitost u středně těžkých a těžkých půd v podorničí 46 - 35 velmi ulehle).

Hodnoty pórovitosti při klasické úpravě půdy bez aplikace přípravku PRP SOL jsou o něco vyšší a nepřekračují kritickou hodnotou podle Lhotského, 1984 (jílovitohlinitá půda: $P_{krit.} < 47 \% obj.$). Hodnota ornice $P_{bez PRP} = 44,30 \% obj.$, hodnota v podorničí vykazuje

mírný pokles $P_{bez\ PRP} = 34,97\ %\ obj.$, půdu hodnotíme jako velmi ulehlou (pórovitost u středně těžkých a těžkých půd v podorníci < 35 velmi ulehlá).

Srovnáme-li grafy pórovitosti u půdy ošetřené i neošetřené přípravkem PRP SOL, vidíme, že neošetřená půda vykazuje výrazně vyšší hodnoty pórovitosti ve všech měřených hloubkách. Maxima byla dosažena dne 13. 5. 09 v hloubce 10 cm $P_{bez\ PRP} = 50,38\ %\ obj.$.

Rozdělení pórů

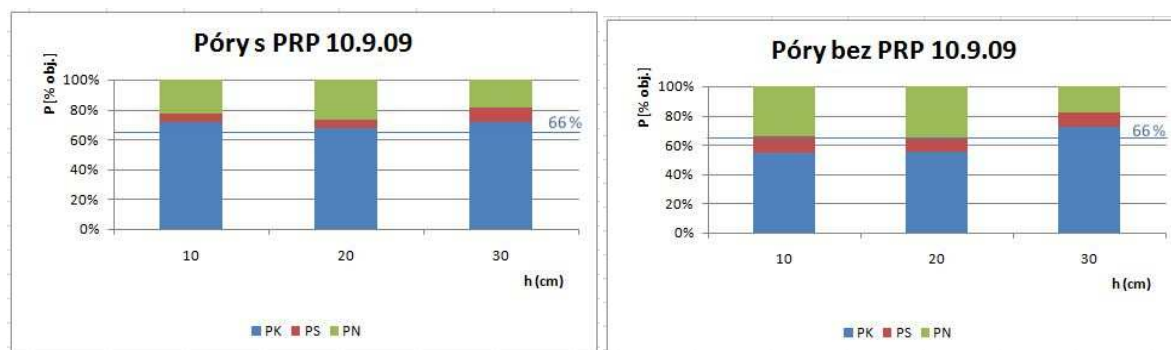


obr. č.19. Průběh jednotlivého zastoupení pórů ze dne 13. 5. 09

13. 5. 09

Hodnoty pórů kapilárních při klasické úpravě půdy s aplikací přípravku PRP SOL nepatrně přesahují nebo nedosahují optimální hodnoty ($2/3$ z celkové pórovitosti). V hloubce 10 cm a 30 cm jsou přesně na hranici 66 %, v hloubce 20 cm je kapilárních pórů nedostatek. V půdě je prakticky dostatečná zásoba vody pro potřeby rostlin. Rozdělení semikapilárních a nekapilárních pórů není rovnoměrně rozloženo. V hloubce 10 cm je převaha semikapilárních pórů, v hloubkách 20 cm a 30 cm převaha nekapilárních. Voda se ztrácí do hloubky.

Hodnoty pórů kapilárních při klasické úpravě půdy bez aplikace přípravku PRP SOL vykazují až do hloubky 20 cm nedostatek, optimálního zastoupení kapilárních pórů z celkové pórovitosti dosahují až v hloubce 30 cm. Z důvodu nedostatku optimálního zastoupení kapilárních pórů je v půdě malá zásoba vody pro rostliny. Rozdělení semikapilárních a nekapilárních pórů ovšem není rovnoměrně rozloženo v žádné měřené hloubce. Ve všech měřených hloubkách je převaha nekapilárních pórů, které neumožní nasycení kapilárních pórů.



obr. č.20. Průběh jednotlivého zastoupení pórů ze dne 10. 9. 09

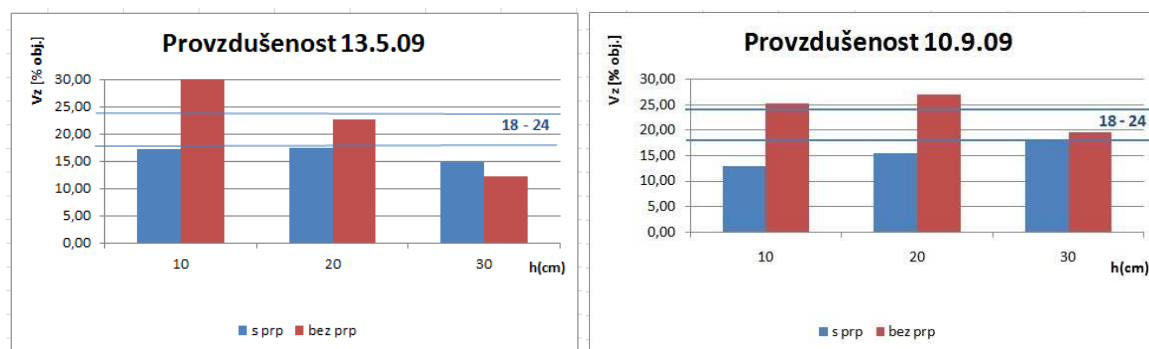
10. 9. 09

Hodnoty pórů kapilárních při klasické úpravě půdy s aplikací přípravku PRP SOL překračují optimální zastoupení kapilárních pórů ve všech naměřených hloubkách. V půdě je dostatečná zásoba pro potřeby rostlin. Rozdělení semikapilárních a nekapilárních pórů ovšem není rovnoměrně rozloženo v žádné měřené hloubce, převažují nekapilární póry, jež představují dutiny v půdě, z nichž voda téměř okamžitě odtéká.

Hodnoty pórů kapilárních při klasické úpravě půdy bez aplikace přípravku PRP SOL dosahují optimálního zastoupení kapilárních pórů pouze v hloubce 30 cm. V této hloubce je zásoba vody pro potřeby rostlin. Rozdělení semikapilárních a nekapilárních pórů není rovnoměrně rozloženo v žádné měřené hloubce, převažují nekapilární póry, jež představují dutiny v půdě, z nichž voda téměř okamžitě odtéká.

Zhodnotíme-li hodnoty z obou měření, je patrné, že půda ošetřená přípravkem PRP SOL vykazuje lepší výsledky, tj. vyšší zásobu vody v půdě pro potřeby rostlin.

Provdzušenost



obr. č.21. Průběh provdzušenosti ze dne 13. 5. 09 a 10. 9. 09

13. 5. 09

Ve sledovaných hloubkách půdního profilu nebyly dosaženy optimální hodnoty provzdušenosti při klasické úpravě půdy s aplikací přípravku PRP SOL na začátku měření, což ukazuje na špatnou výměnu vzduchu v půdě a malou činnost aerobních mikroorganismů.

Naopak tomu je u vzorků půdy bez použití přípravku PRP SOL, kde v hloubce 10 cm hodnota provzdušenosti byla výrazně překročena, a to až na hodnotu $V_{Z,bez\ PRP} = 30,25\% \text{ obj.}$, kde vykazuje nadměrnou činnost aerobních organismů a rychlé odbourávání humusu. V hloubce 20 cm byla dosažena optimální provzdušenost (optimální hodnoty provzdušenosti 18 – 24 [%] dle hodnot podle Kopeckého (Kutílek, 1978)) $V_{Z,bez\ PRP} = 22,56\% \text{ obj.}$, ale ve větších hloubkách hodnoty opět klesají.

10. 9. 09

Hodnota provzdušenosti při klasické úpravě půdy s aplikací přípravku PRP SOL v hloubce 10 cm nedosahuje minima, v hloubce 20 cm se zvyšuje a v hloubce 30 cm je již na hranici optimální provzdušenosti $V_{Z,PRP} = 18,00\% \text{ obj.}$

Hodnoty provzdušenosti při klasické úpravě bez přípravku PRP SOL výrazně překračují optimální hodnoty provzdušenosti, což má za následek nadměrnou činnost aerobních organismů a rychlé odbourávání humusu a to až do hloubky 30 cm, kde splňují hodnotu pro optimální provzdušenosti $V_{Z,bez\ PRP} = 19,56\% \text{ obj.}$

Porovnáme-li tyto dvě měření, žádné výsledky nejsou jednoznačně optimální. Lepší výsledky provzdušenosti půdy vychází u půdy neošetřené přípravkem PRP SOL. Půda s aplikací přípravku PRP SOL nedosahuje hranice optimální provzdušenosti, až dne 10. 9. 09, kdy je v hloubce 30 cm na spodní hranici provzdušenosti (18 % obj.). Hodnoty u půdy bez aplikace přípravku PRP SOL jsou převážně vyšší nebo v rozmezí 18 – 24 % objemu, až na hodnotu z hloubky 30 cm ze dne 13. 5. 09, která je výrazně nízká.

4 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vyhodnocení vybraných fyzikálních vlastností z odebraných vzorků půdy, kde byla použita klasická úprava půdy s aplikací přípravku PRP SOL a bez něj. Vzorky byly odebrány v blízkosti obce Šakvice, které leží v povodí řeky Dyje, která tvoří jihozápadní hranici hospodářského obvodu. Na jednu z experimentálních ploch s klasickým způsobem zpracování půdy byla aplikovaná rozmetadlem minerálních hnojiv před setím nebo po sklizni přímo do rostlinných zbytků pomocná látka PRP SOL. Jedná se o směs vápenatých a hořečnatých uhličitánů a rostlinného pojiva. Tato pomocná látka se zde aplikovala od roku 2005 a startovací dávka byla $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Ve sledovaném roce 2009 byly obě experimentální plochy osety kukuřicí na zrno. Půdní vzorky byly odebírány do Kopeckého válečků z kopaných sond vždy v hloubkách 0,1; 0,2 a 0,3 m. Odběry byly prováděny dne 13. 5. 2009 a 10. 9. 2009.

Z fyzikálních vlastností se vyhodnocovaly objemová hmotnost redukovaná, momentální vlhkost, nasáklivost, pórovitost a provzdušenost. U objemové hmotnosti redukované vychází výsledky lépe u půdy bez aplikace přípravku PRP SOL, kde je průměrná hodnota dle strukturního stavu humusového horizontu klasifikována jako dobrá. U půdy bez aplikace přípravku PRP SOL hodnoty překračují kritickou hodnotu a jde o půdu nestrukturní až nevyhovující.

U momentální vlhkosti nelze jednoznačně určit prospěšnost přípravku. Zásoba půdní vody byla vyšší na začátku měření, což souvisí s klimatickými poměry ve sledované lokalitě (nižších srážek a vyšší teploty).

Hodnoty nasáklivosti jsou poměrně shodné, u půdy bez aplikace přípravku PRP SOL jsou výsledky nepatrně lepší.

Pórovitost u půdy neošetřené přípravkem PRP SOL vykazuje výrazně vyšší hodnoty ve všech měřených hloubkách, nežli je tomu u půdy ošetřené, a to v obou měřených dnech. Hodnoty pórovitosti u půdy s aplikací přípravku PRP SOL překračují kritické hodnoty a hodnoty u půdy bez přípravku PRP SOL překračují tuto mez na začátku měření v hloubce 30 cm a na konci měření ve všech hloubkách.

Na začátku měření u půdy s aplikací přípravku PRP SOL obsah kapilárních pórů splňuje optimální zastoupení pórů, zato u půdy bez aplikace přípravku PRP SOL je optimální

zastoupení pórů splněno pouze v hloubce 30 cm. Zastoupení semikapilárních a nekapilárních pórů není rovnoměrně rozloženo u žádné ze sledované půdy. Převažují nekapilární póry.

Na konci vegetačního období půda s přípravkem PRP SOL splňuje optimální zastoupení kapilárních pórů, dokonce ho i přesahuje. Rozdělení semikapilárních a nekapilárních pórů je ale opět nerovnoměrně rozloženo s velkou převahou pórů nekapilárních. Půda bez aplikace přípravku PRP SOL až do hloubky 30 cm nedosahuje optimálního zastoupení pórů. Kapilární póry do hloubky 20 cm jsou zastoupeny v průměru pouze kolem 55 % a opět převažují nekapilární póry nad semikapilárními.

Poslední ze sledovaných fyzikálních vlastností je provzdušenost. Výsledky provzdušenosti nejsou s přípravkem PRP SOL ani bez něj jednoznačně optimální. U půdy ošetřené přípravkem hodnoty nedosahují hranice optimální provzdušenosti a hodnoty u půdy bez použití přípravku jsou ve většině měřených hloubek překročeny.

PŘÍLOHA TABULEK

Tab. 4.1 Vyhodnocení půdních vzorků 13. 5. 2009

		s PRP			bez PRP		
hloubka odběru	h	10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm
tara	T	115,58	116,53	117,43	116,99	117,40	117,30
bezpr. po odběru	A	285,38	291,22	299,98	266,26	281,09	299,38
nasyčený vztlín. vodou	B	302,69	299,24	308,31	282,39	292,51	306,01
odsávání na filtr. papíru -30	B ₃₀	299,69	296,69	305,35	278,35	288,65	303,99
odsávání na filtr.papíru -2 hod.	B ₂	296,18	295,65	303,81	275,11	286,29	303,16
odsávání na filtr.papíru-24 hod.	B ₂₄	289,95	293,35	301,18	270,39	282,93	300,93
vysušený při 105°C	C	261,32	265,99	275,61	246,24	254,99	270,51
měrná hm.-pyknometr	ρ _s	2,49	2,48	2,54	2,52	2,53	2,49
objemová hmotn. nereduk.		1,70	1,75	1,83	1,49	1,64	1,82
objemová hmotnost reduk.	ρ _d	1,46	1,49	1,58	1,29	1,38	1,53

momentální vlhkost	θ	24,06	25,23	24,37	20,02	26,10	28,87
nasáklivost	θ _{NS} = θ _S	41,37	33,25	32,70	36,15	37,52	35,50
30' vlhkost	θ ₃₀	38,37	30,70	29,74	32,11	33,66	33,48
max. vodní kapacita	θ _{KMK}	34,86	29,66	28,20	28,87	31,30	32,65
retenční vodní kapacita	θ _{RK}	28,63	27,36	25,57	24,15	27,94	30,42
pórovitost	P	41,47	39,73	37,72	48,71	45,62	38,47
kapilární póry	P _K	28,63	27,36	25,57	24,15	27,94	30,42
semikapilární póry	P _S	9,74	3,34	4,17	7,96	5,72	3,06
nekapilární póry	P _N	3,10	9,03	7,98	16,60	11,96	4,99
provzdušenost	V _Z	17,41	14,50	13,35	28,69	19,52	9,60
max. kap. vzdušná kapacita	K _{MKKVZ}	6,61	10,07	9,52	19,84	14,32	5,82
retenční vzdušná kapacita	K _{RVKKVZ}	12,84	12,37	12,15	24,56	17,68	8,05

		s PRP			bez PRP		
hloubka odběru	h	10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm
tara	T	120,79	116,80	116,97	117,25	121,75	118,68
bezpr. po odběru	A	291,15	280,35	293,74	258,33	271,3	290,52
nasyčený vztlín. vodou	B	306,52	293,2	302,69	276,73	285,37	299,68
odsávání na filtr. papíru -30	B ₃₀	303,63	290,25	299,93	272,34	281,61	296,5
odsávání na filtr.papíru -2 hod.	B ₂	300,81	287,32	298,4	269,92	278,22	295,31
odsávání na filtr.papíru-24 hod.	B ₂₄	295,61	283,76	295,55	262,11	273,49	292,16
vysušený při 105°C	C	266,74	257,57	270,66	238,1	246,02	263,35
měrná hm.-pyknometr	ρ _s	2,49	2,48	2,54	2,52	2,53	2,49
objemová hmotn. nereduk.		1,70	1,64	1,77	1,41	1,50	1,72
objemová hmotnost reduk.	ρ _d	1,46	1,41	1,54	1,21	1,24	1,45

momentální vlhkost	θ	24,41	22,78	23,08	20,23	25,28	27,17
nasáklivost	θ _{NS} = θ _S	39,78	35,63	32,03	38,63	39,35	36,33
30' vlhkost	θ ₃₀	36,89	32,68	29,27	34,24	35,59	33,15
max. vodní kapacita	θ _{KMK}	34,07	29,75	27,74	31,82	32,20	31,96
retenční vodní kapacita	θ _{RK}	28,87	26,19	24,89	24,01	27,47	28,81
pórovitost	P	41,39	43,24	39,49	52,04	50,88	41,90
kapilární póry	P _K	28,87	26,19	24,89	24,01	27,47	28,81
semikapilární póry	P _S	8,02	6,49	4,38	10,23	8,12	4,34
nekapilární póry	P _N	4,50	10,56	10,22	17,80	15,29	8,75
provzdušenost	V _Z	16,98	20,46	16,41	31,81	25,60	14,73
max. kap. vzdušná kapacita	K _{MKKVZ}	7,32	13,49	11,75	20,22	18,68	9,94
retenční vzdušná kapacita	K _{RVKKVZ}	12,52	17,05	14,60	28,03	23,41	13,09

Tab. 4.2 Průměr půdních vzorků 13. 5. 2009

hloubka odběru	h	s PRP			bez PRP		
		10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm
měrná hm.-pyknometr	ρ_s	2,49	2,48	2,54	2,52	2,53	2,49
objemová hmotn. nereduk.		1,70	1,69	1,80	1,45	1,57	1,77
objemová hmotnost reduk.	ρ_d	1,46	1,45	1,56	1,25	1,31	1,49
momentální vlhkost	θ	24,24	24,01	23,73	20,13	25,69	28,02
nasáklivost	$\theta_{NS} = \theta_s$	40,58	34,44	32,37	37,39	38,44	35,92
30'vlhkost	θ_{30}	37,63	31,69	29,51	33,18	34,63	33,32
max. vodní kapacita	θ_{KMK}	34,47	29,71	27,97	30,35	31,75	32,31
retenční vodní kapacita	θ_{RK}	28,75	26,78	25,23	24,08	27,71	29,62
pórovitost	P	41,43	41,49	38,61	50,38	48,25	40,18
kapilární póry	P_K	28,75	26,78	25,23	24,08	27,71	29,62
semikapilární póry	P_S	8,88	4,91	4,28	9,10	6,92	3,70
nekapilární póry	P_N	3,80	9,80	9,10	17,20	13,62	6,87
provzdušenost	V_Z	17,19	17,48	14,88	30,25	22,56	12,16
max. kap. vzdušná kapacita	K_{MKKVZ}	6,96	11,78	10,64	20,03	16,50	7,88
retenční vzdušná kapacita	K_{RVKKVZ}	12,68	14,71	13,38	26,30	20,54	10,57

Tab. 4.3 Vyhodnocení půdních vzorků 10. 9. 2009

		s PRP			bez PRP		
		10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm
hloubka odběru	h						
tara	T	97,02	97,02	97,01	96,03	96,98	97,02
bezpr. po odběru	A	291,03	283,3	271,76	257,15	255,51	282,59
nasyčený vzlín. vodou	B	295,5	293,98	285,91	270,66	271,65	296,89
odsávání na filtr. papíru -30	B₃₀	295,03	292,7	283,58	267,31	268,86	295,12
odsávání na filtr.papíru -2 hod.	B₂	294,83	292,22	282,43	265,22	267,4	294,33
odsávání na filtr.papíru-24 hod.	B₂₄	293,8	290,48	279,68	261,68	264,39	292,34
vysušený při 105°C	C	270,7	266,8	251,43	238,41	241,4	268,38
měrná hm.-pyknometr	ρ_s	2,48	2,52	2,52	2,55	2,52	2,53
objemová hmotn. nereduk.		1,94	1,86	1,75	1,61	1,57	1,86
objemová hmotnost reduk.	ρ_d	1,74	1,70	1,54	1,42	1,42	1,71
momentální vlhkost	θ	20,33	16,50	20,33	18,74	14,11	14,21
nasáklivost	θ_{NS} = θ_D	24,80	27,18	34,48	32,25	30,25	28,51
30'vlhkost	θ₃₀	24,33	25,90	32,15	28,90	27,46	26,74
max. vodní kapacita	θ_{KMK}	24,13	25,42	31,00	26,81	26,00	25,95
retenční vodní kapacita	θ_{REK}	23,10	23,68	28,25	23,27	22,99	23,96
pórovitost	P	29,97	32,63	38,72	44,16	43,48	32,27
kapilární póry	P_K	23,10	23,68	28,25	23,27	22,99	23,96
semikapilární póry	P_S	1,23	2,22	3,90	5,63	4,47	2,78
nekapilární póry	P_N	5,64	6,73	6,57	15,26	16,02	5,53
provzdušenost	V_Z	9,64	16,13	18,39	25,42	29,37	18,06
max. kap. vzdušná kapacita	K_{MKOVZ}	5,84	7,21	7,72	17,35	17,48	6,32
retenční vzdušná kapacita	K_{REOVZ}	6,87	8,95	10,47	20,89	20,49	8,31

		s PRP			bez PRP		
		10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm
hloubka odběru	h						
tara	T	96,64	96,76	97,05	95,04	94,41	97,22
bezpr. po odběru	A	276,3	285,59	279,73	263,24	255,83	271,53
nasyčený vzlín. vodou	B	285,63	290,37	292,28	265,76	268,46	288,42
odsávání na filtr. papíru -30	B₃₀	283,4	290,03	290,54	262,59	265,65	285,68
odsávání na filtr.papíru -2 hod.	B₂	282,74	289,81	289,83	261,07	264,59	284,38
odsávání na filtr.papíru-24 hod.	B₂₄	281,15	288,93	287,76	257,97	262,17	281,63
vysušený při 105°C	C	257,19	268,55	263,32	232	237,38	254,92
měrná hm.-pyknometr	ρ_s	2,48	2,52	2,52	2,55	2,52	2,53
objemová hmotn. nereduk.		1,80	1,89	1,83	1,58	1,61	1,74
objemová hmotnost reduk.	ρ_d	1,61	1,72	1,66	1,37	1,43	1,58

momentální vlhkost	θ	19,11	17,04	16,41	21,24	18,45	16,61
nasáklivost	θ_{NS} = θ_D	28,44	21,82	28,96	33,76	31,08	33,50
30'vlhkost	θ₃₀	26,21	21,48	27,22	30,59	28,27	30,76
max. vodní kapacita	θ_{KMK}	25,55	21,26	26,51	29,07	27,21	29,46
retenční vodní kapacita	θ_{REK}	23,96	20,38	24,44	25,97	24,79	26,71
pórovitost	P	35,26	31,83	34,02	46,29	43,27	37,67
kapilární póry	P_K	23,96	20,38	24,44	25,97	24,79	26,71
semikapilární póry	P_S	2,25	1,10	2,78	4,62	3,48	4,05
nekapilární póry	P_N	9,05	10,35	6,80	15,70	15,00	6,91
provzdušenost	V_Z	16,15	14,79	17,61	25,05	24,82	21,06
max. kap. vzdušná kapacita	K_{MKOVZ}	9,71	10,57	7,51	17,22	16,06	8,21
retenční vzdušná kapacita	K_{REOVZ}	11,30	11,45	9,58	20,32	18,48	10,96

Tab. 4.4 Průměr půdních vzorků 10. 9. 2009

		s PRP			bez PRP		
		10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm
hloubka odběru	h						
měrná hm.-pyknometr	ρ_k	2,48	2,52	2,52	2,55	2,52	2,53
objemová hmotn. nereduk.		1,87	1,88	1,79	1,80	1,59	1,80
objemová hmotnost reduk.	ρ_d	1,67	1,71	1,60	1,40	1,43	1,65
momentální vlhkost	θ	19,72	16,77	18,37	19,99	16,28	15,41
nasáklivost	$\theta_{NS} = \theta_S$	26,62	24,50	31,72	33,01	30,67	31,01
30'vlhkost	θ_{30}	25,27	23,69	29,69	29,75	27,87	28,75
max. vodní kapacita	θ_{KMK}	24,84	23,34	28,76	27,94	26,61	27,71
retenční vodní kapacita	θ_{RK}	23,53	22,03	26,35	24,62	23,89	25,34
pórovitost	P	32,61	32,23	36,37	45,23	43,38	34,97
kapilární póry	P_K	23,53	22,03	26,35	24,62	23,89	25,34
semikapilární póry	P_S	1,74	1,66	3,34	5,12	3,97	3,42
nekapilární póry	P_N	7,34	8,54	6,69	15,48	15,51	6,22
provzdušenost	V_z	12,89	15,46	18,00	25,24	27,10	19,56
max. kap. vzdušná kapacita	K_{MKVZ}	7,77	8,89	7,62	17,29	16,77	7,26
retenční vzdušná kapacita	K_{RVVZ}	9,08	10,20	10,03	20,61	19,49	9,63

5 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ŠÁLEK, Jan. *Vodní hospodářství krajiny I*. Vysoké učení technické v Brně: VUTIAM, 1997. ISBN 80-214-0949-5.
- [2] Půda a voda. *Geology* [online]. Česká republika, 2008 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: https://www.google.com/url?q=http://www.geology.cz/svet-geologie/ucitele/_OBJEVY_puda_a_voda_PRACOVNI_LISTY.pdf&sa=U&ved=0ahUKewiIy6S-8PLMAhXGXBoKHacSA_4QFggEMAA&client=internal-uds-cse&usg=AFQjCNEWUAj7kSSVbuLNDsjWVxpnTKY5-A
- [3] Jak vzniká a kde se ztrácí půda. *Vítejte na zemi* [online]. 2013 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=jak_vznika_a_kde_se_ztraci_puda&site=puda
- [4] Degradace půdy. *Vítejte na zemi* [online]. 2013 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/?p=degradace_pudy&site=puda
- [5] *Biom* [online]. 2011 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/zpravy-z-tisku/kvuli-erozi-dochazi-v-cr-k-degradaci-pudy-a-snizovani-jeji-ceny-alarmujici-situace-je-predevsim-na-jizni-morave>
- [6] Fyzikální a chemické vlastnosti půdy. *Vítejte na zemi* [online]. 2013 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=fyzikalni_a_chemicke_a_vlastnosti_pudy&site=puda
- [7] Jaké máme druhy půd a jejich vlastnosti. *Vítejte na zemi* [online]. 2013 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/?p=jake_mame_druhy_pud_a_jejich_vlastnosti&site=puda

- [8] Jak půdu využíváme? *Vítejte na zemi* [online]. 2013 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=jak_pudu_vyuzivame&site=puda
- [9] Textura půdy. *Leporelo* [online]. [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <https://leporelo.info/textura-pudy>
- [10] KAMENÍČKOVÁ, Ivana. *Vodní hospodářství krajiny I-M02 Pedologie: Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia*. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ, 2005.
- [11] KAMENÍČKOVÁ, Ivana. *Návody do cvičení (VHK) Hydropedologie, Studijní opory pro studijní programy s presenční formou studia*. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ, 2013.
- [12] ŠÁLEK, Jan. *Půdní hospodářství*. Druhé upravené. Brno: Rektorát vysokého učení technického v Brně, 1986. ISBN 55-610-86.
- [13] JANDÁK, Jiří. *Cvičení z půdoznalství*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2003. ISBN 80-7157-733-2.
- [14] KUTÍLEK, Miroslav. *Vodohospodářská pedologie*. Druhé, přepracované vydání. Praha: SNTL - Státní nakladatelství technické literatury, n. p., 1978. ISBN 04-721-78.
- [15] Stabilita půdních agregátů. *Ekotechnika* [online]. 2015 [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.ekotechnika.cz/stabilita-pudnich-agregatu>
- [16] Přípravek PRP SOL. *PRP - technologies* [online]. 2009 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.prp-technologies.eu/userfiles/PRP%20SOL%20A4%20CS%2018%2005%2009%20web.pdf>

SEZNAM TABULEK

TAB. 2.1 ZRNITOSTNÍ FRAKCE PODLE KOPECKÉHO, (PŘEVZATO KAMENÍČKOVÁ, 2013)	12
TAB. 2.2 ZRNITOSTNÍ KLASIFIKACE PODLE NOVÁKA, (PŘEVZATO KAMENÍČKOVÁ, 2013).....	12
TAB. 2.3 ZRNITOSTNÍ FRAKCE PODLE MINISTERSTVA ZEMĚDĚLSTVÍ USA, (PŘEVZATO KAMENÍČKOVÁ, 2013).....	13
TAB. 2.4 KRITICKÉ HODNOTY OBJEMOVÉ HMOTNOSTI REDUKOVANÉ PODLE LHOTSKÉHO (PŘEVZATO KAMENÍČKOVÁ, 2013)	16
TAB. 2.5 ZÁPIS ROZPADU AGREGÁTŮ PŘI STANOVENÍ VODOSTÁLOSTI (PŘEVZATO JANDÁK, 2003).....	21
TAB. 2.6 FORMULÁŘ PRO ZÁZNAM STANOVENÝCH HMOTNOSTÍ (PŘEVZATO KAMENÍČKOVÁ, 2013)	24
TAB. 2.7 KRITICKÉ HODNOTY PÓROVITOSTI PODLE LHOTSKÉHO (PŘEVZATO KAMENÍČKOVÁ, 2013)	26
TAB. 2.8 KLASIFIKACE PŮDY PODLE PÓROVITOSTI (PODLE BRETVELDA), (PŘEVZATO KUTÍLEK, 1978).....	26
TAB. 3.1 SRÁŽKOVÉ ÚHRNY V LOKALITĚ ŠAKVICE, 2009	30
TAB. 3.2 HODNOTY POSUZOVANÝCH FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ PŮDY NEPORUŠENÝCH PŮDNÍCH VZORKŮ ODEBRANÝCH 13. 5. 2009	36
TAB. 3.3 HODNOTY POSUZOVANÝCH FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ PŮDY NEPORUŠENÝCH PŮDNÍCH VZORKŮ ODEBRANÝCH 10. 9. 2009	36
TAB. 4.1 VYHODNOCENÍ PŮDNÍCH VZORKŮ 13. 5. 2009	46
TAB. 4.2 PRŮMĚR PŮDNÍCH VZORKŮ 13. 5. 2009	47
TAB. 4.3 VYHODNOCENÍ PŮDNÍCH VZORKŮ 10. 9. 2009	48
TAB. 4.4 PRŮMĚR PŮDNÍCH VZORKŮ 10. 9. 2009	49

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. Č.1.	ZASTOUPENÍ MINERÁLŮ V ZRNITOSTNÍCH FRAKČÍCH (ZDROJ INTERNET).....	5
OBR. Č.2.	KŘIVKA ZRNITOSTI (ZDROJ INTERNET)	6
OBR. Č.3.	SCHÉMA PROSÉVACÍHO PŘÍSTROJE (PŘEVZATO ŠÁLEK, 1986).....	8
OBR. Č.4.	KOPECKÉHO PLAVICÍ APARÁT (PŘEVZATO KUTÍLEK, 1978)	9
OBR. Č.5.	PIPETOVACÍ PŘÍSTROJ (ZDROJ JANDÁK, 2003)	11
OBR. Č.6.	TROJÚHELNÍKOVÉ DIAGRAMY PRO STANOVENÍ DRUHU PŮDY DLE OBSAHU JÍLU, PRACHU A PÍSKU V % (PŘEVZATO KAMENÍČKOVÁ, 2013).....	13
OBR. Č.7.	HLAVNÍ STRUKTURNÍ TYPY VYSKYTUJÍCÍ SE V MINERÁLNÍCH PŮDÁCH, (PŘEVZATO KAMENÍČKOVÁ, 2005)	18
OBR. Č.8.	ČÁRY AGREGACE STANOVENÉ PROSÉVÁNÍM STRUKTURNÍ A NESTRUKTURNÍ PŮDY VZDUCHU A POD VODOU (PŘEVZATO KUTÍLEK, 1978).....	19
OBR. Č.9.	PŘÍSTROJ PRO MOKRÉ PROSÍVÁNÍ (ZDROJ WWW.EKOTECHNIKA.CZ)	20
OBR. Č.10.	ROZBOR NEPORUŠENÉHO PŮDNÍHO VZORKU (PŘEVZATO KAMENÍČKOVÁ, 2013).....	23
OBR. Č.11.	SLEDOVANÉ EXPERIMENTÁLNÍ PLOCHY (ZDROJ WWW.MAPY.CZ).....	29
OBR. Č.12.	VYUŽITÍ PŘÍPRAVKU PRP SOL (ZDROJ WWW.PRP-TECHNOLOGIES.EU)	31
OBR. Č.13.	KOPANÁ SONDA (PŘEVZATO KAMENÍČKOVÁ, 2013).....	34
OBR. Č.14.	POMŮCKY PRO ODBĚR FYZIKÁLNÍCH VÁLEČKŮ (PŘEVZATO KAMENÍČKOVÁ, 2013)	35
OBR. Č.15.	PRŮBĚH OBJEMOVÉ HMOTNOSTI REDUKOVANÉ ZE DNE 13. 5. 09 A 10. 9. 09	37
OBR. Č.16.	PRŮBĚH MOMENTÁLNÍ VLHKOSTI ZE DNE 13. 5. 09 A 10. 9. 09.....	38
OBR. Č.17.	PRŮBĚH NASÁKLIVOSTI ZE DNE 13. 5. 09 A 10. 9. 09	39
OBR. Č.18.	PRŮBĚH PÓROVITOSTI ZE DNE 13. 5. 09 A 10. 9. 09	40
OBR. Č.19.	PRŮBĚH JEDNOTLIVÉHO ZASTOUPENÍ PÓRŮ ZE DNE 13. 5. 09	41
OBR. Č.20.	PRŮBĚH JEDNOTLIVÉHO ZASTOUPENÍ PÓRŮ ZE DNE 10. 9. 09	42
OBR. Č.21.	PRŮBĚH PROVZDUŠENOSTI ZE DNE 13. 5. 09 A 10. 9. 09	42

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

v	rychlost [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]
d	průměr částic [mm]
v	sedimentační rychlost [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$]
g	tíhové zrychlení [$9,81 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$]
ρ	hustota [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]
ρ_z	hustota částicek [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]
ρ_0	hustota disperzního prostředí (vody při dané teplotě) [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]
η	viskozita disperzního prostředí [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$]
a	konstanta pro sedimentaci zemitých částic ve vodě teplé 20°C
r	poloměr částice [cm]
T	sedimentační doba [s]
h	sedimentační dráha, tj. dráha pádu částice o poloměru r [cm]
ρ_k	hustota disperzního prostředí (vody při dané teplotě) [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]
v_1, v_2	vyplavovací rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
h	hloubka [m]
t_1, t_2	čas [s]
s	sekunda
min	minuta
°C	stupeň Celsia
cm^3	centimetr krychlový
mm	milimetr
m	metr
ρ_s	zdánlivá hustota pevných částic [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]
P_V	hmotnost pyknometru s destilovanou vodou [g]
P_S	hmotnost pyknometru se suspenzí [g]
N_S	navážka zeminy na vzduchu vyschlá a přepočtená na sušinu [g]
g	gram
ρ_v	neredukovaná objemová hmotnost [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]
ρ_d	redukovaná objemová hmotnost [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]
G_A	hmotnost zeminy s původní okamžitou vlhkostí [g]
G_F	hmotnost vysušené zeminy [g]

V_s	objem fyzikálního válečku [cm^3]
g.cm^{-3}	gram na centimetr krychlový
\emptyset	průměr [m]
cm^2	centimetr čtvereční
cm	centimetr
w_{mom}	momentální hmotnostní vlhkost [% obj.]
G_A	vzorek s přirozenou vlhkostí
G_B	vzorek kapilárně nasycený
G_C	vzorek po 30' odsávání
G_D	vzorek po 2 hodinách odsávání
G_E	vzorek po 24 hodinách odsávání
G_F	vzorek při vysušení při 105 °C
G_H	čistá hmotnost vzorku po vysušení při 105 °C
G_V	hmotnost fyzikálního válečku
G_S	hmotnost hodinového skla
N_S	navážka pro stanovení zdánlivé hustoty částic
P_V	hmotnost pyknometru s vodou [kg]
P_S	hmotnost pyknometru se zeminou [kg]
V_S	objem fyzikálního válečku [m^3]
%	procento
Θ	objemová vlhkost [% obj.]
V_W	objem vody ve vzorku [m^3]
V_S	objemu neporušeného vzorku [m^3]
A	vzorek bezprostředně po odběru
C	vzorek vysušen při 105 °C
w	hmotnostní vlhkost neporušeného vzorku [% obj.]
m_w	hmotnost vody ve vzorku [kg]
m_z	hmotnost tuhé fáze vzorku [kg]
$W_{\text{rel.}}$	vlhkost relativní [% obj.]
V_P	objem pórů [m^3]
P	pórovitost [% obj.]
dm	decimetr
∫	integrál

θ_{NS}	nasákivost [% obj.]
θ_{30}	vlhkost [% obj.]
θ	momentální vlhkost [% obj.]
θ_{MKK}	maximální kapilární vodní kapacita [% obj.]
θ_{RVK}	retenční vodní kapacita přibližná [% obj.]
Θ_{mom}	Momentální (okamžitá) vlhkost
P_k	kapilární póry [% obj.]
P_s	semikapilární póry [% obj.]
P_N	nekapilární póry [% obj.]
ρ_s	zdánlivá hustota tuhé fáze zeminy [$g.cm^{-3}$]
$kg.m^{-3}$	kilogram na metr krychlový
m_s	hmotnost jednotkového objemu neporušené půdy [kg]
V_z	provzdušenost půdy [% ob.]
V_A	objem vzduchu ve vzorku [cm^3]
θ_{mom}	momentální vlhkost [% ob.]
K_{VZ}	vzdušná kapacita půdy [% ob.]
m n. m.	metr nad mořem
SZ	severozápad
JV	jihovýchod
ČSSR	Československá socialistická republika
Ac	černický horizont
Ac/CK	přechodný horizont
C/k	půdotvorný substrát
$kg.ha^{-1}$	kilogram na hektar
ha	hektar
kg	kilogram