



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY**

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

**POSOUZENÍ KVALITY PŮDY ZPRACOVANÉ  
KLASICKÝM ZPŮSOBEM VE VYBRANÉ  
LOKALITĚ V OLOMOUCKÉM KRAJI**

QUALITY ASSESSMENT OF LAND PROCESSED CLASSICAL WAY IN THE  
SELECTED LOCATION IN THE OLOMOUC REGION

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

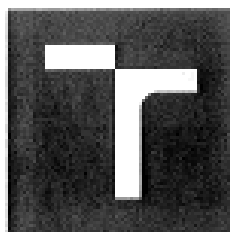
Bc. Barbora Drlíková

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.

BRNO 2017




## VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	N3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
PRACoviŠTĚ	Ústav vodního hospodářství krajiny

### ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT	Bc. Barbora Drlíková
NÁZEV	Posouzení kvality půdy zpracované klasickým způsobem ve vybrané lokalitě v Olomouckém kraji
VEDOUcí DIPLOMOVÉ PRÁCE	Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.
DATUM ZADÁNÍ	31. 3. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

  
.....  
prof. Ing. Miloš Starý, CSc.  
Vedoucí ústavu



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

## PODKLADY A LITERATURA

Kameníčková, I. (2013): BS06 - Návody do cvičení - Hydropedologie. Elektronická verze studijní opory pro studijní programy s prezenční formou studia, VUT FAST v Brně.

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

Kutílek, M., Kuráš, V., Číslerová, M. (1993): Hydropedologie. Skriptum ČVUT, Praha.

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

Pokorný, E. (2003): Příručka ekologického zemědělce. MZe ČR, Praha, 40s., ISBN 80-7084-295-4.

Články v domácích a zahraničních odborných časopisech

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Diplomová práce bude rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části bude zpracována problematika kvality půdy, která se posuzuje na základě fyzikálních, chemických nebo biologických indikátorů kvality. Zemědělská půda s dobrou "kvalitou" má tedy všechny fyzikální, chemické a biologické atributy nutné pro podporu a udržení dobré produktivity v zemědělství bez zhoršení kvality životního prostředí. Degradovaná půda pak může zhoršovat životní prostředí v důsledku větrné/vodní eroze, vyplavováním agrochemikálií, živin a patogenů do povrchových a vodních zdrojů v krajině. V praktické části bude zhodnocena kvalita půdy zpracovaná klasickým způsobem ve vybrané lokalitě v Olomouckém kraji podle vybraných fyzikálních, chemických a fyzikálně-chemických indikátorů kvality. Ty budou stanoveny standardními laboratorními metodami z neporušených a porušených půdních vzorků odebraných ze svrchní vrstvy půdy (0-10 cm).

## 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 diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce dokumentuje problematiku kvality půdy, která se posuzuje na základě fyzikálních, chemických nebo biologických indikátorů kvality půdy. V práci jsou popsány jednotlivé indikátory, metodika jejich stanovení a vyhodnocení. V praktické části práce je zhodnocena kvalita půdy zpracované klasickým způsobem – za využití orby. Experimentální plocha, kde byly odebírány vzorky půdy, leží v Olomouckém kraji v katastru obce Šumvald. Vyhodnoceny byly vybrané fyzikální, chemické a fyzikálně-chemické vlastnosti půdy, např. křivka zrnitosti, objemová hmotnost, pórovitost, provzdušenost, hydrolimity, pH, obsah uhličitánů, obsah humusu a salinita půdy.

## **ABSTRACT**

Diploma thesis documents the problems of soil quality, which is assessed on the basis of physical, chemical or biological indicators of soil quality. The paper describes the various indicators, its methodology and evaluation. In the practical part evaluates the quality of soil cultivated with the traditional way - using plowing. The experimental area, where the samples were taken from the soil, lies in the Olomouc region in the municipality Šumvald. Evaluated were selected physical, chemical and physico-chemical properties of soil, e.g. particle size distribution, bulk density, porosity, air capacity, hydrolimits, pH, carbonates, humus content and salinity of the soil.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Zemědělská půda, kvalita půdy, fyzikální, chemické a fyzikálně-chemické vlastnosti půdy, zrnitost, základní rozbor neporušeného půdního vzorku, pH, obsah uhličitánů, obsah humusu a salinita půdy

## **KEY WORDS**

Agricultural soil, soil quality, physical, chemical and physico-chemical properties of soil, the particle size distribution, basic analysis of undisturbed soil sample, pH, carbonates, organic matter content and salinity of soil

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Bc. Barbora Drlíková *Posouzení kvality půdy zpracované klasickým způsobem ve vybrané lokalitě v Olomouckém kraji*. Brno, 2017. 89 s., 18 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9.1.2017

.....  
podpis autora  
Bc. Barbora Drlíková

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucí diplomové práce Ing. Ivaně Kameníčkové, Ph.D. za vstřícný přístup, podporu při psaní této diplomové práce a za cenné rady, připomínky a věnovaný čas. Dále bych chtěla poděkovat akciové společnosti ÚSOVSKO, která spravuje pozemky, na kterých byly odebírány vzorky.

## Obsah

Obsah.....	8
<b>Úvod.....</b>	<b>10</b>
<b>Cíl diplomové práce .....</b>	<b>10</b>
<b>1 Teoretická část .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 Fyzikální vlastnosti půd .....</b>	<b>11</b>
1.1.1 Struktura .....	11
1.1.2 Zrnitost (textura).....	12
1.1.3 Základní rozbor neporušeného půdního vzorku .....	18
1.1.3.1 Měrná hmotnost zeminy .....	21
1.1.3.2 Objemová hmotnost zeminy .....	22
1.1.3.3 Půdní hydrolimity .....	24
1.1.3.4 Pórovitost.....	25
1.1.3.5 Vzdušné charakteristiky .....	28
<b>1.2 Chemické a fyzikálně-chemické vlastnosti půd .....</b>	<b>29</b>
1.2.1 Reakce půdy .....	30
1.2.2 Půdní uhličitany.....	33
1.2.3 Obsah humusu .....	35
1.2.4 Sorpční vlastnosti .....	37
1.2.5 Železo a hliník v půdě .....	39
1.2.6 Oxidačně-redukční potenciál půdy.....	40
1.2.7 Salinita půdy.....	40
<b>1.3 Biologické vlastnosti půd.....</b>	<b>42</b>
<b>2 Praktická část.....</b>	<b>43</b>
<b>2.1 Charakteristika území.....</b>	<b>43</b>
2.1.1 Popis lokality .....	43
2.1.2 Klimatické poměry .....	43
2.1.3 Hydrologické poměry .....	44
2.1.4 Biogeografické poměry .....	44
2.1.5 Geomorfologické poměry.....	45
2.1.6 Informace o lokalitě.....	45
<b>2.2 Práce v terénu .....</b>	<b>47</b>
2.2.1 Odběr půdních vzorků .....	49
<b>2.3 Příprava vzorků k rozborům.....</b>	<b>50</b>
2.3.1 Příprava jemnozemě I.....	51

---

2.3.2	Příprava jemnozeme II .....	51
2.3.3	Preparační metody přípravy vzorku .....	51
2.3.4	Přepočítání navážky vzorku na sušinu.....	51
<b>2.4</b>	<b>Výsledky měření .....</b>	<b>52</b>
2.4.1	Zrnitostní rozbor.....	52
2.4.2	Základní rozbor neporušeného půdního vzorku .....	54
2.4.2.1	Objemová hmotnost redukována .....	56
2.4.2.2	Měrná hmotnost zeminy .....	57
2.4.2.3	Momentální vlhkost.....	57
2.4.2.4	Retenční vodní kapacita .....	58
2.4.2.5	Pórovitost.....	59
2.4.2.6	Provdženost.....	61
2.4.3	Hodnoty pH .....	61
2.4.4	Půdní uhličitany.....	62
2.4.5	Obsah humusu .....	63
2.4.6	Salinita půdy.....	63
<b>3</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>64</b>
	<b>Seznam použitých zdrojů.....</b>	<b>66</b>
	<b>Seznam použitých symbolů .....</b>	<b>67</b>
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>69</b>
	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>70</b>
	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>71</b>

## Úvod

Půda je jedinečný přírodní útvar, ale ne každý si tuto skutečnost v dnešní době uvědomuje. Půda je sice jedním ze základních prvků životního prostředí, ale na rozdíl od vody a ovzduší u ní často nejsou zvažovány přímé dopady na její znečištění. Rozvoj vědy a techniky, zvýšená hustota osídlení i sama uspěchaná doba vedly k tomu, že se člověk půdě odcizil a v mnoha případech ztratil k půdě vztah. Proto se můžeme setkat s realizací podivných projektů, při kterých mizí ta nejkvalitnější půda. Je však třeba mít na paměti, že se nejedná o nevyčerpatelný zdroj. Vznik půdy trvá až stovky let, ale její degradace probíhá naopak velmi rychle.

Půdní fond České republiky se dělí na zemědělský půdní fond a nezemědělskou půdu. Tato práce je zaměřena na zemědělský půdní fond, který je základním přírodním bohatstvím naší země. Jedná se o nenahraditelný výrobní prostředek umožňující zemědělskou výrobu. Zemědělský půdní fond je jednou z hlavních složek životního prostředí. Po celá staletí zemědělství přispívá k tvorbě a udržování velké rozmanitosti krajiny. Zemědělské postupy však mohou mít i negativní vlivy na naše životní prostředí. Nevhodné zemědělské postupy mají za následek snižování úrodnosti půdy, znečištění půdy, vody i ovzduší, ztrátu volně žijících živočichů

Kvalita neboli také zdraví půdy je pojem pro hodnocení stavu půdního prostředí. Pojem byl zaveden kvůli reakci na naléhavou potřebu popsat negativní změny kvality půdy, ke kterým dochází v posledních desetiletích. Proto je velmi důležité kvalitu půdy sledovat a pečovat o ni, aby nebyla ohrožována degradací.

## Cíl diplomové práce

Cílem diplomové práce je zdokumentovat problematiku kvality půdy, která se posuzuje na základě fyzikálních, chemických nebo biologických indikátorů kvality. V praktické části je hodnocena kvalita půdy zpracovaná klasickým způsobem ve vybrané lokalitě v Olomouckém kraji podle vybraných indikátorů.

# 1 Teoretická část

## 1.1 Fyzikální vlastnosti půd

### 1.1.1 Struktura

Pod pojmem struktura půdy se rozumí vzájemné prostorové uspořádání základních částic v půdě. Částice se jen zřídka vyskytují v půdě jako izolované celky, ale naopak se vyskytují v půdě převážně ve formě shluků, které jsou nazývány agregáty. Podle velikosti lze tyto agregáty dělit na makroagregáty (o průměru nad 0,25 mm) a mikroagregáty (o průměru pod 0,25 mm). Agregáty mají tu vlastnost, že jsou ve vodě stabilní. Stabilita neboli nerozmokavost agregátu je způsobena různými tmelícími látky jako např. humus.

Vznik půdní struktury je podmíněn vznikem mikroagregátů v půdě, které se vytvářejí souběžně se vznikem půdních částic. Tyto mikroagregáty vznikají koagulací půdních koloidů a spojováním jílových a prachových částic. Postupným vzrůstem velikosti nebo shlukováním mikroagregátů do větších celků vznikají makroagregáty. Vznik makroagregátů je způsoben objemovými změnami v půdě (mráz, sucho), působením kořenů rostlin v půdě (rozdrobení, zhutnění vlivem růstu), vlivem půdního zooedafonu (např. dešťovky svými exkrementy zpevňují půdní agregáty) a v neposlední řadě obděláváním půdy. Agregáty, které vznikly umělým mechanickým způsobem (zhutňování půdy) za vyšší vlhkosti se nazývají pseudoagregáty. Tyto nově vzniklé útvary postrádají stabilitu vůči vodě a rychle se rozplavují.[1]

Podle stupně vývoje struktury se půdy dělí na:

- a) strukturní – půdy s vyvinutou strukturou, se snadno a zřetelně oddělitelnými agregáty
- b) slabě strukturní – půdy, v nichž převládá nestrukturní materiál
- c) nestrukturní – půdy, v nichž se agregáty nevyskytují nebo jde o půdy tvořeny pseudoagregáty (jedná se o půdy typické tvorbou škraloupů)

Podle tvaru agregátu se strukturní půdy dělí do čtyř morfologických tříd:

- I. třída – všechny tři osy jsou stejně dlouhé, tvar je zaoblený (kulovitá)
- II. třída – všechny tři osy jsou stejně dlouhé, plochy a hrany jsou zřetelné

(polyedrická)

III. třída – svíslá osa je protažená (hranovitá)

IV. třída – vodorovné osy jsou protažené (deskovitá) [2]

Dále můžeme strukturu půdy dělit podle vývinu hran a velikosti:

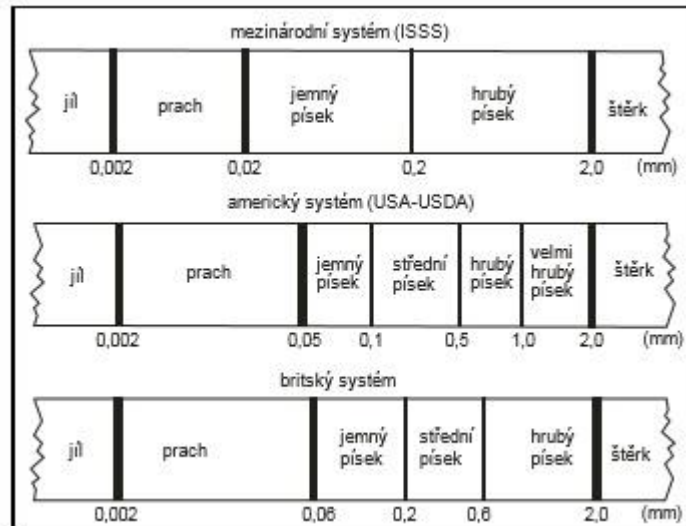
Tab. 1.1-1 Třídění struktury podle tvaru, vývinu hran a velikosti (zdroj Jandák, 2003)

Strukturní elementy vyvinuty stejně ve 3 směrech:		Strukturní elementy vertikálně protažené:		Strukturní elementy horizont. protažené:
I. KULOVITÁ	II. POLYEDRICKÁ	III. HRANOLOVITÁ		IV. DESKOVITÁ
Plochy a hrany vyvinuté nezřetelně	Plochy a hrany vyvinuté zřetelně	Bez zaoblení ve svrchní části - PRIZMATICKÉ	Se zaoblenou svrchní částí - SLOUPKOVITÁ	
Hrudovitá nad 50 mm Hrudkovitá 50-10 mm Drobtová 10-5 mm Jemně drobtová 5-1 mm	Hrubě polyedrická nad 20 mm  Polyedrická (středně) 20 - 10 mm	Hrubě prizmatická nad 50 mm  Prizmatická (středně) 50 - 20 mm	Hrubě sloupkovitá nad 50 mm  Sloupkovitá (středně) 50 - 20 mm	Hrubě deskovitá nad 10 mm  Deskovitá 10 - 5 mm Destičkovitá 5 - 2 mm
Plochy a hrany patrné, ale ne výrazné	Drobně polyedrická pod 10 mm	Drobně prizmatická pod 20 mm	Drobně sloupkovitá pod 20 mm	Lístkovitá pod 2 mm tloušťky
Zrnitá 10-5 mm Jemně zrnitá 5-1 mm		v příčném průměru	v příčném průměru	

Nejjednodušší metodou, jak určit stabilitu agregátů ve vodě, je například pozorování jejich rozpadu ve vodě. Jednotlivé agregáty půdy se ponoří do misky s destilovanou vodou. Následným pozorováním zjistíme, o jaké agregáty se jedná. Stabilní agregáty zůstávají po ponoření nerozrušeny, pseudoagregáty se okamžitě rozplynou do kašovitě hmoty a málo stabilní agregáty se postupně rozpadají (z části na menší útvary, z části na kašovitou hmotu). Dalšími metodami pro určení stability agregátů je prosévání půdy za sucha a pod vodou. Výsledky se vyhodnocují a vynášejí do čáry agregace podobně jako u zrnitostní křivky. Výsledek je určen pomocí rozdílů prosévání. Čím jsou větší rozdíly obou prosévání, tím je menší stabilita agregátů.

### 1.1.2 Zrnitost (textura)

Zrnitost udává velikost minerálních částic v půdě neboli poměrné zastoupení jednotlivých částic určité velikosti v půdě. Zrnitost výrazně ovlivňuje fyzikální i fyzikálně chemické vlastnosti půdy. Existují různé systémy třídění částic podle velikosti na jíl, prach, písek a štěrk viz obrázek 1.1-1. Česká republika používá taxanometrický systém půd, který vychází ze systému USA-USDA.



Obr.1.1-1 Velikostní kategorie půdních minerálních částic podle nejpoužívanějších klasifikačních systémů. (zdroj Kameníčková, 2005)

Zrnitostní klasifikaci členíme půdní částice na jednotlivé podíly – frakce. Zrna o průměru nad 2 mm jsou nazývány skelet a naopak zrna o průměru pod 2 mm jsou nazývány jemnozem. Pomocí zrnitostního rozboru se stanoví procentuální zastoupení jednotlivých frakcí. Před tím, než se začne samotným zrnitostním rozbohem, je třeba zeminu řádně připravit. Je zapotřebí uměle rozrušit agregáty na jednotlivé částice. Jedná se o fyzikální metody (rozrušení agregátů třepáním, vařením apod.) a chemické metody (přidání dispergačního činidla). Jendou z takových metod je i *preparační příprava vzorku třepáním*:

**Pomůcky:** láhev o objemu 500 ml, nálevka, horizontální třepačka, porcelánové misky, stříčka, destilovaná voda, olověné kuličky potažené gumou, váhy s přesností 0,05 g

**Postup:** 50 g navážky jemnozeme I se máčí 24 hodin v destilované vodě. Poté se přemístí do láhve a přidá se ke vzorku 5 olověných kuliček potažených gumou. Láhev se uzavře a umístí se na horizontální třepačku, kde se protřepává 60 minut. Následně se suspenze přelije do porcelánové misky pomocí nálevky a opět se nechá máčet dalších 24 hodin. Následně lze provést zrnitostní rozbor.

#### Metody zrnitostního rozboru

Nejpoužívanější způsob pro stanovení jednotlivých zrnitostních frakcí je prosévání na sítích. Tato metoda spočívá v prosévání zeminy na sítích o určitém

průměru oka. Pro oddělení částeczek vzájemně mezi sebou je zapotřebí prosévat zeminu ve vodě. Nejmenší rozměr stanovený proséváním ve vodě je 0,063 mm. Při tomto rozboru však vznikají obtíže, protože jemnější částecčky ulpívají na síťovině. Proto se využívá sedimentačních metod, které jsou schopny oddělit tyto jemnější frakce. Tyto nepřímé sedimentační metody jsou založeny na sedimentačních zákonech, konkrétně na závislosti sedimentační rychlosti na velikosti částic. Teoretickým podkladem sedimentačních metod je Stokesův vztah:

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

kde:  $v$  ...sedimentační rychlost [ $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 $g$  ...tíhové zrychlení [ $\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$ ],  
 $\rho_z$  ...hustota částeczek [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ],  
 $\rho_0$  ...hustota disperzního prostředí (vody při dané teplotě) [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ],  
 $\eta$  ...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].

Pro zjištění doby  $T$ , v níž jednotlivá částice o poloměru  $r$  proběhne sedimentační dráhu  $h$ , se nahradí v předchozím vzorci sedimentační rychlost  $v$  výrazem  $h/T$ , pak

$$T = \frac{2}{9} \frac{h\eta}{r^2 g (\rho_z - \rho_0)} \text{ [s]}$$

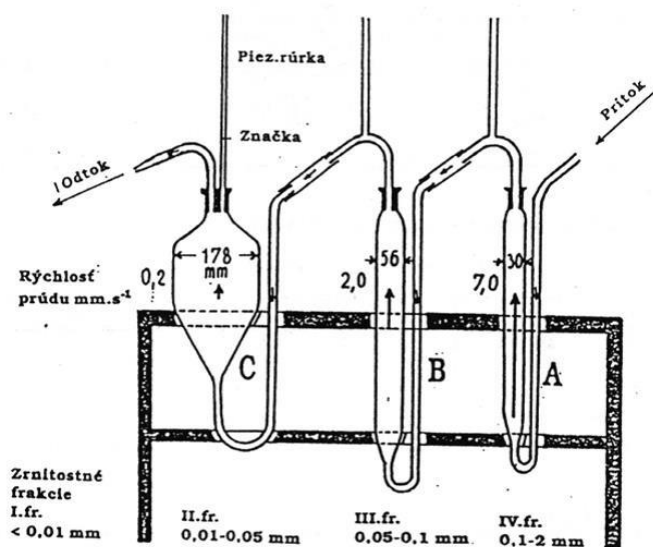
$$r = \sqrt{\frac{2}{9} \frac{h\eta}{T g (\rho_z - \rho_0)}} \text{ [cm]}$$

kde:  $T$  ...sedimentační doba [s],  
 $h$  ...sedimentační dráha, tj. dráha pádu částice o poloměru  $r$  [cm].[3]

Zákon platí pouze v laminární oblasti, která je vymezena Reynoldsovým kritériem, pro kulové částice v rozmezí  $0,08 \text{ mm} > r > 0,001 \text{ mm}$ . Protože půdní částice nejsou kulové a v jílové frakci se velmi liší od koule (deskovité, šupinkovité), měli bychom mluvit o ekvivalentním poloměru částic, tj. částic o stejné sedimentační rychlosti, jakou by měli částice kulové. Také některé další předpoklady uvažované Stokesovým vztahem při odvozování nejsou dodrženy.[1]

### Kopeckého vyplavovací metoda

Tato metoda se provádí pomocí Kopeckého plavícího přístroje, který se skládá ze tří skleněných válců různého průměru. Principem této metody je působení vodního proudu proti sedimentační rychlosti půdních zrn. Při průtoku konstantního množství vody je ve válci s nejmenším průměrem největší rychlost vody, a naopak ve válci s největším průměrem je nejmenší rychlost vody. V nejužším válci se usadí největší a nejtěžší částice, v dalších válcích se usadí menší a lehčí a nejmenší částice odchází z přístroje ven spolu s odpadní vodou. Tato metoda se v dnešní době moc nevyužívá. [4]



Obr.1.1-2 Kopeckého plavící přístroj (převzato Jandák, 2003)

### Dekantační metoda

Dekantace je metoda k oddělování kapaliny od pevné látky, jinými slovy se jedná o opakovanou sedimentaci. V pedologii se tato metoda nejčastěji využívá k oddělení frakcí fyzikálního jílu a k určení jeho obsahu. Princip metody: suspenze se protřepe a nechá se v klidu sedimentovat. Po době  $t$  se vypustí vypouštěcím zařízením vrchní sloupec suspenze až po hloubku  $h$ , takže se odstraňují zrna o sedimentační rychlosti menší než  $v = h/t$ . Dále se suspenze doplní vodou až po původní hladinu, protřepe se a proces se opakuje tak dlouho, až je vypouštěná suspenze čirá. Vážením vysušeného zbytku a odečtením od původní navážky se zjistí hmotnost frakce. [1]

### *Pipetovací metoda*

Pipetovací metoda patří do skupiny metod neopakované sedimentace a provádí se pomocí pipetovacího přístroje. Pipetou se odebírá vzorek určitého objemu ze suspenze určité koncentrace. Vzorek se postupně odebere ze stanovené hloubky  $h$  po určitých časových intervalech  $t$ , vysuší se a zváží se. Výpočtem se obdrží procentuální množství částic, jejichž velikost odpovídá sedimentační rychlosti  $v=h/t$ . Pipetovací metoda je přesná a uznávaná v EU.

### *Hustoměrná metoda (A. Casagrande)*

Jedná se o další metodu neopakované sedimentace. Vychází z principu měření hustoty suspenze speciálním hustoměrem v určitých časových intervalech. V závislosti na čase dochází k postupnému usazování částic a k poklesu hustoty, kterou stanovíme hustoměrem. Velikost a procentuální zastoupení částic, která již nemají vliv na údaj hustoměru v okamžiku jeho čtení, se zjistí pomocí Stokesova zákona použitím nomogramu nebo jednoduchého programu.

**Pomůcky:** hustoměr o rozsahu 0,995 – 1,030 cejchovaný při 20°C s přesností  $\pm 0,0002$ , sedimentační válec o objemu 1000 ml, stopky, teploměr, vysoušečky, porcelánové misky, síto o průměru ok 2 mm, písková lázeň nebo topná deska, sušárna, skleněná tyčinka, odměrný válec, exsikátor, míchadlo, pipeta a nomogram.

**Postup:** Po preparaci (viz výše) se suspenze přelije do sedimentačního válce a doplní se destilovanou vodou do objemu 1000 cm<sup>3</sup>. Suspenze se začne promíchávat minutu před začátkem sedimentace (měření je započato vytažením míchadla ze suspenze). Okamžitě po začátku sedimentace se do válce pomalu (10 s) vloží hustoměr. Po uklidnění hustoměru se hustota odečítá z horního menisku, tisíciny se zapisují jako celky. Naměřené hodnoty se zapisují do formuláře. Časové intervaly pro měření sedimentace jsou: 30 sekund, 1, 2, 5, 15, 45 minut dále 2, 5, 12 a 24 hodin. Po zhruba 3-4 měřeních se hustoměr vyjme, opláchne a nejpozději minutu před dalším měřením se znovu opatrně vloží do válce. Hustoměr se oplachuje z důvodu usazených částic v rozšířené části hustoměru. Oplachování se provádí u všech dalších měření. V průběhu sedimentace se měří i teplota (z počátku po 15 minutách později při každém čtení). K naměřeným teplotám se v nomogramu vyhledá příslušná teplotní korekce. K určení velikosti částic se dříve používal nomogram, který je zpracován na základě Stokesova

zákona. Dnes se používá jednoduchý program zpracovaný v programu Microsoft Excel  
- autor Ing. Rudolf Milerski, CSc. [3]

Výsledky jednotlivých frakcí ze zrnitostních rozborů se vynášejí do součtové  
čáry tzv. křivky zrnitosti. Na svislici grafu se vynáší obsah zrn v hmotnostních  
procentech a na vodorovnou osu se vynáší průměry zrn půdy. Ze zrnitostních křivek  
můžeme odečíst zastoupení jakékoliv frakce. Půdní druh se slovně označí podle  
procentuálního zastoupení jednotlivých frakcí. V praxi ke klasifikaci půd používáme  
řadu klasifikačních systémů, např. podle Kopeckého, Nováka a zrnitostní klasifikace  
podle Taxonomického klasifikačního systému půd ČR.

*Tab. 1.1-2 Klasifikace zrnitosti půd podle Nováka (zdroj Kameníčková, 2013)*

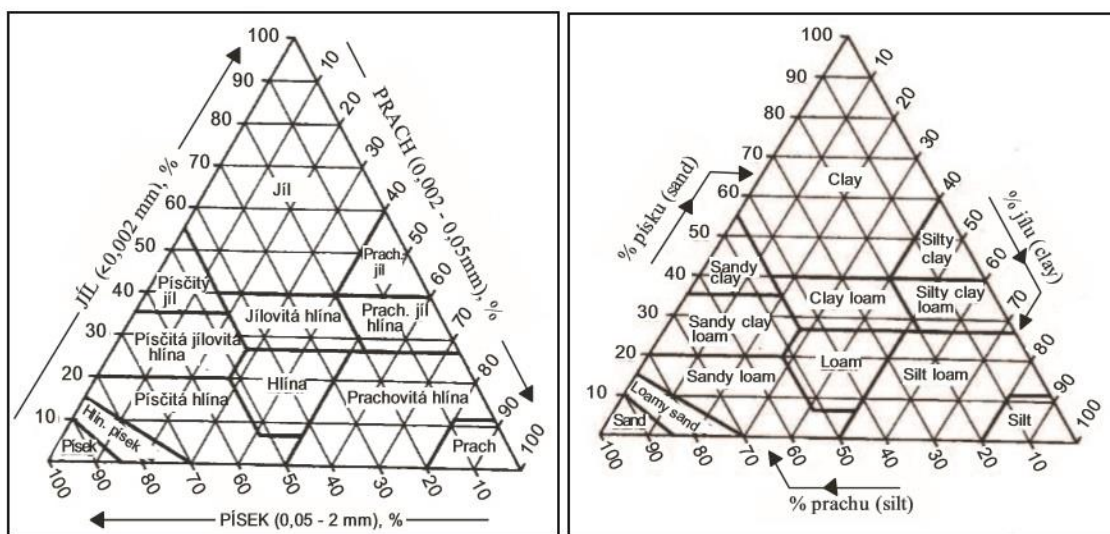
Obsah částic < 0.01 mm (%)	Označení půdního druhu	Základní půdní druhy
0	Písek	lehká půda
0 - 10	Písčítá	
10 - 20	hlinitopísčítá	
20 - 30	písčitohlinitá	střední půda
30 - 45	Hlinitá	
45 - 60	jílovitohlinitá	těžká půda
60 - 75	Jílovitá	
> 75	Jíl	

*Tab. 1.1-3 Zrnitostní frakce podle Kopeckého (zdroj 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

Tab. 1.1-4 Zrnitostní frakce podle ministerstva zemědělství USA (zdroj 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.1.1-3 Trojúhelníkové diagramy pro stanovení druhu půdy podle obsahu jílu, prachu a písku v % hmotnostních. Systém ministerstva USA, z něho odvozený systém, který používá Taxonomický klasifikační systém půd ČR (zdroj Kameníčková, 2005)

### 1.1.3 Základní rozbor neporušeného půdního vzorku

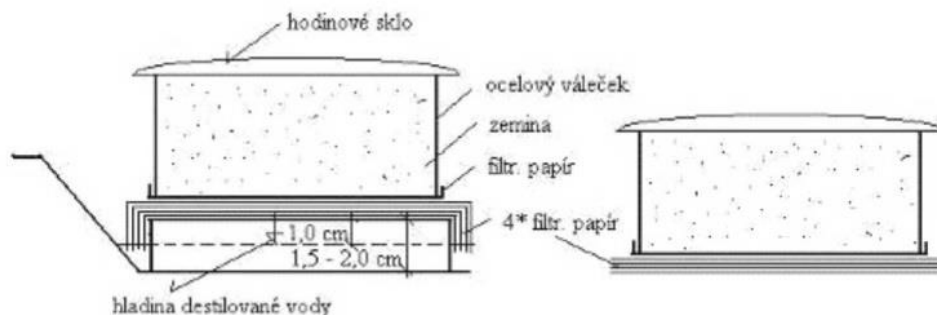
Neporušený půdní vzorek se používá k určování fyzikálních vlastností, jako jsou vodní a vzdušné charakteristiky půdy, měrná a objemová hmotnost zeminy a pórovitost. Půdní vzorky se odebírají v neporušeném stavu do Kopeckého válečků, vyrobených z oceli, o objemu  $100\text{ cm}^3$  s maximální výškou 5 cm. Před odebráním se Kopeckého válečky zváží ( $G_V$ ) a stanoví se jejich přesný objem ( $V_S$ ).

**Pomůcky:** Kopeckého váleček, hodinové sklo o průměru 7-8 cm, zařízení pro kapilární nasávání válečků, technické váhy, sušárna, filtrační papír, rovná lopatka a exsikator se sikativem.

**Postup:** Váleček se očistí (ponechá se v přirozené vlhkosti) a ze spodní strany se uzavře kruhovým filtračním papírem. Takto opatřený váleček se položí na hodinové sklo o známé hmotnosti a zváží se. Jeho hmotnost  $G_A$  se zapíše do zápisníku.

Váleček položíme (stranou s břitem) na vrstvu 4 listů filtračního papíru a nechá se nasytit destilovanou vodou. Filtrační papír předává vzorku vodu pouze kapilárním vedením. Horní strana válečku se zakryje hodinovým sklem, aby nedocházelo k výparu. Vzorek se nasycuje až do chvíle, kdy se voda začne lesknout na povrchu vzorku. Podle oborové normy nejméně 24 hodin. Po nasycení se váleček sejme z filtračního papíru a nakloní se pro odkapání přebytečné vody. Dále se váleček položí na hodinové sklo a zváží se ( $G_B$ ).

V dalším kroku se váleček opět postaví na 4 vrstvy filtračního papíru a zakryje se hodinovým sklem. Od tohoto okamžiku začíná odsávání vody ze vzorku, který se označuje časem  $t = 0$ . Tento okamžik je také startem pro měření doby odsávání. Po 30 minutách odsávání se váleček položí na hodinové sklo a zváží ( $G_C$ ). Váleček se zakryje hodinovým sklem a znovu se položí na 4 vrstvy suchého filtračního papíru. Po 90 minutovém odsávání od začátku měření se opět zjistí hmotnost vzorku ( $G_D$ ). Poté se znovu váleček zakryje a položí na filtrační papír a po 22 hodinách (24 hodin od začátku odsávání) se zváží ( $G_E$ ). Nakonec se vzorek vysuší při  $105^\circ\text{C}$  do konstantní hmotnosti. Hmotnost se měří po vychladnutí ( $G_F$ ) a využívá se při stanovení hmotnosti sušiny ( $G_H$ ).



Obr.1.1-4 Rozbor neporušeného půdního vzorku (zdroj Kameníčková, 2013)

Výpočty se zapisují do formuláře, ve kterém jsou zaznamenány naměřené hodnoty, viz tabulka 1.1-5. [3]

Tab. 1.1-5 Formulář pro záznam stanovených hmotností (zdroj Kameníčková, 2013)

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

Pro porušený vzorek se počítá vlhkost hmotnostní. Jde o poměr hmotnosti vody ve vzorku k hmotnosti tuhé fáze. Výpočet se provede podle vztahu:

$$w = \frac{m_w}{m_z} 100 = \frac{G_A - G_F}{G_F} 100 [\% \text{ hm.}]$$

Hmotnostní procenta lze přepočítat na objemová pomocí objemové hmotnosti:

$$\theta = w \cdot \rho_d.$$

Momentální vlhkost  $\theta_{mom}$  je momentální obsah vody ve vzorku [% obj., % hm.]. Nejčastěji je vyjadřována v % objemových. Je vyjádřením poměru objemu vody ve vzorku k objemu neporušeného vzorku.

### 1.1.3.1 Měrná hmotnost zeminy

Měrná hmotnost zeminy nebo také zdánlivá hustota půdních částic udává poměr hmotnosti pevných částíček půdy k jejich objemu. K určení měrné hmotnosti se nejčastěji používá metoda stanovení ve vodních pyknometrech. Objem vytlačené vody z pyknometru představuje objem částíček, které tvoří zeminu. Hmotnost částíček zjistíme vážením po vysušení při 105°C.

*Pyknometrické stanovení měrné hmotnosti zeminy*

**Pomůcky:** pyknometr („Gay-Lussac“) se širokým hrdlem a zátkou o obsahu 100 cm<sup>3</sup>, váhy s přesností 0,01 g, porcelánová miska, skleněná tyčinka, plynový kahan, vodní lázeň 20°C, nálevka, teploměr

**Postup:** Naváží se 10 g vzorku jemnozemě a vloží se do porcelánové misky. Přilije se destilovaná voda tak, aby zemina byla ponořena asi 0,5 cm pod hladinou. Za stálého míchání skleněnou tyčinkou se vzorek povaří 3-10 minut, aby se vypudil vzduch ze zeminy. Mezi tím se pyknometr naplní převařenou destilovanou vodou až po hrdlo a nechá se ve vodní lázni temperovat na teplotu 20°C. Po ustálení teploty se dolije pyknometr převařenou destilovanou vodou (20°C) a zátka se nechá volně zapadnout do hrdla. Pyknometr se vyjme z lázně, osuší a zváží. Voda z pyknometru se vylije a následně se do něj nalije zchlazená suspenze pomocí nálevky. Pyknometr se opět doplní destilovanou vodou až po hrdlo, vytemperuje se na 20°C, opět dolije, uzavře zátkou, osuší a zváží. Z navážených hodnot se vypočítá objem naváženého vzorku a měrná hmotnost zeminy pomocí níže uvedených rovnic.

Objem naváženého vzorku:

$$V_V = P_V + N_S - P_S [cm^3]$$

Měrná hmotnost zeminy:

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

kde:  $P_v$  ...hmotnost pyknometru s destilovanou vodou [g],

$P_s$  ...hmotnost pyknometru se suspenzí [g],

$N_s$  ...navážka zeminy vyschlá na suchu přepočtená na sušinu (použije-li se rozmělněná zemina z vysušeného válečku, přepočet se neprovádí) [g].[3]

Naměřené hodnoty se zapisují do formuláře, kde se provádí i výpočet. Doporučuje se provést dva rozborů ze stejné zeminy souběžně. Rozdíl jejich výsledků nemá být větší než  $0,03 g \cdot cm^{-3}$ . Výsledná měrná hmotnost je pak průměrná hodnota obou výsledků.

*„Průměrná měrná hmotnost našich minerálních půd se pohybuje kolem  $2,6 - 2,7 t \cdot m^{-3}$ , u organických půd klesá až pod  $1,5 t \cdot m^{-3}$ . Pro soubor pozorovacích ploch bazálního monitoringu zemědělských půd činí průměrná hodnota měrné hmotnosti  $2,69 t \cdot m^{-3}$ , minimum je  $1,8 t \cdot m^{-3}$  a maximum  $2,92 t \cdot m^{-3}$ . Měrná hmotnost půdy závisí především na mineralogickém složení a obsahu organické hmoty. Orientační hodnoty hustoty pro hlavní horizonty jsou uvedeny v tabulce 1.1-6.“ [6]*

Tab. 1.1-6 Orientační hodnoty hustoty pro hlavní horizonty (zdroj Sáňka, Materna, 2004)

Hustota ( $g \cdot cm^{-3}$ )	Horizont
< 2.0	rašelinné horizonty
2.0 - 2.4	zrašelinělé horizonty
2.4 - 2.5	silně humózní horizonty
2.5 - 2.6	povrchové humózní horizonty
2.6 - 2.7	hlinité horizonty s humusem kolem 1 %
2.7 - 2.8	železem obohacené iluviální horizonty

### 1.1.3.2 Objemová hmotnost zeminy

Objemová hmotnost zeminy je hmotnost objemové jednotky zeminy ve své přirozené struktuře. Zjišťuje se jako podíl hmotnosti zeminy a jejího objemu. Rozlišují se dvě varianty objemových hmotností a to objemová hmotnost neredukovaná a

objemová hmotnost redukována. Objemová hmotnost neredukovaná se stanovuje jako podíl hmotnosti zeminy a jejího objemu stanoveného v okamžiku odběru vzorku. Tato hmotnost necharakterizuje stálé vlastnosti půdy, protože je proměnná v závislosti na okamžité vlhkosti půdy. Proto je důležitější stanovit redukovanou objemovou hmotnost, která se stanovuje jako podíl hmotnosti vysušené zeminy a jejího původního objemu v rostlém stavu.

**Pomůcky:** Kopeckého váleček o obsahu  $100 \text{ cm}^3$ , váhy s přesností 0,01 g, sušárna

**Postup:** Odebraný vzorek půdy ve válečku s neporušenou strukturou se po přinesení do laboratoře ihned zváží a vysuší při  $105^\circ\text{C}$  do stálé hmotnosti, nechá se vychladnout v exsikátoru a znovu se zváží. Dále se provede výpočet pomocí následujících rovnic.

Objemová hmotnost neredukovaná:

$$\rho_V = \frac{G_A}{V_S} \quad [\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}]$$

Objemová hmotnost redukována:

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

kde:  $G_A$  ...hmotnost zeminy s původní okamžitou vlhkostí [g],

$G_F$  ...hmotnost vysušené zeminy [g],

$V_S$  ...objem zeminy v přirozené struktuře [ $\text{cm}^3$ ].

Výsledné hodnoty se udávají s přesností  $0,01 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ . [5]

*„Pro soubor pozorovacích ploch bazálního monitoringu zemědělských půd (ornice) činí průměrná hodnota objemové hmotnosti  $1,46 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$ , minimum je  $0,41 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$  a maximum  $1,90 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$ . Tabulka 2.8.1 uvádí průměrné hodnoty objemové hmotnosti redukované pro jednotlivé druhy půdy. Optimální hodnoty objemové hmotnosti redukované jsou kolem  $1,2 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$ , pro kořenovou zeleninu ještě nižší. Podle uvedených dat lze usoudit na velmi neuspokojivý stav našich půd.“ [6]*

Tab. 1.1-7 Průměrné hodnoty objemové hmotnosti pro jednotlivé druhy půdy. Výsledky hodnocení programu bazálního monitoringu půd. (zdroj Sáňka, Materna, 2004)

Horizont	Druh půdy						
	p	hp	ph	h	jh	jv	j
	objemová hmotnost redukována v g.cm <sup>-3</sup>						
ornice	nd	1.4	1.34	1.4	1.45	1.17	1.3
podorničí	1.53	1.52	1.52	1.51	1.46	1.39	1.26
spodina	1.57	1.55	1.54	1.49	1.54	1.51	1.31

nd = nedefinováno (žádná plocha k dispozici)

Objemová hmotnost redukována indikuje kyprost nebo ulehlost půdy a její hodnota vzrůstá s hloubkou půdy. K utužení půd dochází při překročení kritických hodnoty objemové hmotnosti jednotlivých druhů půd. Tyto kritické hodnoty podle Lhotského jsou uvedeny v tabulce 1.1-8. Dále lze pomocí hodnot objemové hmotnosti posuzovat strukturní stav humusového horizontu viz tabulka 1.1-9.

Tab. 1.1-8 Kritické objemové hmotnosti po vysušení dle Lhotského (zdroj eagri.cz)

Půdní druh	j	jv,jh	h	ph	hp	p
$\rho_d$ kritické (g.cm <sup>-3</sup> )	>1.35	>1.40	>1.45	>1.55	>1.60	>1.70

Tab. 1.1-9 Strukturní stav humusového horizontu (zdroj eagri.cz)

Strukturní stav humusového horizontu	Objemová hmotnost půdy (g.cm <sup>-3</sup> )
výborný	< 1.2
dobry	1.2 - 1.4
nevyhovující	1.4 - 1.6
nestruturní	1.6 - 1.8

### 1.1.3.3 Půdní hydrolimity

Všechny výpočty níže popsaných hydrolimitů jsou uvedeny v tabulce 1.1-5.

- *Nasáklivost*  $\Theta_{NS}$  charakterizuje maximální zaplnění pórů při kapilárním nasycení. Pro bobtnavé půdy je nasáklivost zpravidla rovna pórovitosti. U nebobtnavých půd by měla být poněkud nižší než pórovitost.

- *Vlhkost třicetiminutová*  $\Theta_{30}$  slouží k rozdělení půdních pórů. Po 15 minutách u lehkých půd a po 30 minutách u těžkých půd dochází k rychlému poklesu vlhkosti.
- *Maximální kapilární vodní kapacita*  $\Theta_{MKK}$  je schopnost půdy zadržet maximální množství vody zavěšené v kapilárních pórech pro potřeby vegetace po 2 hodinách odtékání povodně plně nasycené půdy. Hodnota maximální kapilární vodní kapacity se využívá pro stanovení využitelné vodní kapacity. Jestliže je vlhkost větší než  $\Theta_{MKK}$ , jedná se o půdy zamokřené.
- *Retenční vodní kapacita*  $\Theta_{RVK}$  představuje maximální množství vody, které je půda schopna trvaleji zadržet kapilárními silami. Retenční vodní kapacitu lze ztotožnit s kapilárními póry. [3]

#### 1.1.3.4 Pórovitost

Pórovitost  $P$  vyjadřuje objem volných prostor nezaplňených tuhou fází. Celková pórovitost tedy podává obraz o okamžitém zastoupení objemu pórů v celkovém objemu půdy. V objemu půdy jsou části nezaplňené tuhou fází, jedná se o prostory, které mají různý tvar a různou velikost. Nazýváme je půdní póry. Póry jsou vzájemně spojené, mají různou velikost i tvar. Někdy se tvar pórů idealizuje a zjednodušuje na tvar válcovitý. Objem, tvar a velikost půdních pórů mají vliv na vlastnosti vody obsažené v půdě jako například rychlost pohybu vody. S tím souvisí i intenzita migrace látek v půdě, tedy i proces pedogeneze. Pórovitost také ovlivňuje obsah vzduchu v půdě, ale i jeho složení, protože má vliv na difúzní výměnu  $CO_2$  z půdního do atmosférického vzduchu. Pórovitost má vliv i na vývoj růstu kořínků, neboť k němu dochází právě v půdních pórech, i když si kořínky při růstu vytvářejí volný prostor stlačováním půdní hmoty.

Pórovitost se vypočte jako poměr objemu pórů  $V_p$  vyjádřených v % k celkovému objemu půdy  $V_s$  v přirozeném stavu. V praxi počítáme pórovitost  $P$  ze vztahu:

$$P = \frac{V_p}{V_s} = \frac{\rho_z - \rho_d}{\rho_z} \cdot 100 [\%]$$

kde:  $\rho_d$  ...objemová hmotnost půdy [ $g \cdot cm^{-3}$ ],  
 $\rho_z$  ...měrná hmotnost půdy [ $g \cdot cm^{-3}$ ].

Někdy se pórovitost uvádí jako poměrné číslo  $0 < P < 1$ , kdy se rovnice nevnásobí 100. Mění-li se celkový objem půdy  $V_s$ , nelze jej brát jako referenční a je výhodnější použít číslo pórovitosti  $e$ . K tomuto dochází při zatěžování půdy nebo při objemových změnách půdy spojených se změnou vlhkosti jako například bobtnání či smršťování. Pak platí:  $P = \frac{e}{1+e}$ .

Hodnota pórovitosti půdy se pohybuje v poměrně velkém rozpětí v závislosti na zrnitosti, humóznosti, struktuře půdy a na genetickém půdním horizontu. V minerálních půdách se pohybuje od 26 ÷ 80 %. V organozemních půdách a horizontech může dosáhnout až 90 %. V písčítých půdách bývá nižší než v hlinitých a jílovitých půdách, v ornici a ve vrchních humusových horizontech je vyšší než v podorničí a v hlubších horizontech. [3]

Z hodnocení strukturního stavu humusového horizontu dle pórovitosti (Kutílek, 1966) víme, že výborný stav náleží pórovitosti větší než 54 %, dobrý stav má pórovitost v rozmezí 46-54 %, stav nevyhovující se pohybuje mezi 39-46 % pórovitosti a poslední stav nestrukturní náleží rozmezí pórovitosti 31-39 %.

Z monitoringu zemědělských půd, který byl proveden pouze pro soubor bazálních pozorovacích ploch, byly zjištěny průměrné hodnoty pórovitosti pro jednotlivé druhy půd.

Tab. 1.1-10 Průměrné hodnoty pórovitosti zemědělských půd (zdroj Sáňka, Materna, 2004)

Horizont	Druh půdy						
	p	hp	ph	h	Jh	jv	j
	pórovitost v %						
ornice	nd	46.35	49.26	47.08	45.25	55.25	50.72
podorničí	42.40	43.06	43.58	43.75	45.81	48.99	53.3
spodina	42.58	42.64	42.75	44.36	43.40	44.05	49.97

nd = nedefinováno (žádná plocha k dispozici)

Z celkové pórovitosti lze velmi přesně hodnotit stav ulehlosti či nakypřenosti půdy. Musí se ale jednat o určitý půdní horizont s určitou zrnitostní skladbou. Naopak obtížnější je srovnávání ulehlosti a kyprosti půdy podle pórovitosti zrnitostně odlišných půd. Kritické hodnoty pórovitosti škodlivého zhutnění ornice jsou rozlišné pro různé půdní druhy. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 1.1-11. Jak můžeme vidět, při

porovnání kritických a průměrných hodnot pórovitostí na našich zemědělských půdách je patrné, že ve většině případů není kritická hodnota překročena. Pouze u půd jílovitohlinitých a některých horizontů půd hlinitých je půda ulehlá. Ulehlost a zhutnění půdy má za následek snížení infiltrační schopnosti půdy, vlivem čeho se zvyšuje riziko vodní eroze a povodní. V dnešní době je zhutnění půdy způsobeno zejména pojížděním těžké zemědělské techniky.

Tab. 1.1-11 Kritické hodnoty pórovitosti podle Lhotského (zdroj Jandák, 2003)

Půdní druh	j	jv,jh	h	ph	hp	p
P kritická (obj %)	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38

Celkovou pórovitost musíme znát, abychom mohli zjistit zastoupení jednotlivých pórů v půdě, a podle něj posoudit jeho retenční schopnost i propustnost. Na základě vztahu pórů a vody se póry dělí na:

- *kapilární póry*  $P_K$  – jsou rovny hodnotě přibližné retenční vodní kapacity, vedou vodu proti gravitaci
- *semikapilární póry*  $P_S$  – jsou charakteristické tím, že v nich nastává pozvolné ustálení podzemní vody. Semikapilární póry se rovnají rozdílu objemové vlhkosti po 30 minutách odsávání a přibližné retenční vodní kapacity. Tyto póry jsou přechodnou kategorií mezi kapilárními a nekapilárními.
- *Nekapilární póry*  $P_N$  – představují dutiny v půdě, z nichž voda odtéká gravitačně téměř okamžitě. Nekapilární póry se vypočtou jako rozdíl pórovitosti a objemové vlhkosti po 30 minutách odsávání.

Optimální zastoupení kapilárních pórů v půdě by mělo být asi 2/3 z pórovitosti. Zbývá 1/3 by měla být rovnoměrně rozdělena mezi póry semikapilární a nekapilární. Naopak nadbytečné zastoupení kapilárních pórů znesnadňuje vnikání vody do půdy. Půda proto infiltruje malé množství vody, srážky jsou zcela nevyužity k vsakování, tudíž se zvyšuje povrchový odtok s nebezpečím eroze. [4]

Pórovitost je charakterizována několika parametry. Kromě výše zmíněného dělení pórů na kapilární, semikapilární a nekapilární se dají póry charakterizovat

pomocí velikosti, a to konkrétně průměru. Póry o průměru větším než 30-50  $\mu\text{m}$  (podle různých autorů) se nazývají makropóry, menší než 30-50  $\mu\text{m}$  mikropóry. Makropóry mají tu funkci, že zajišťují rychlý pohyb vody (průsak při silném dešti nebo závlaze). Jakmile jsou tyto póry vyprázdněny, zasakování se výrazně zpomalí. Tento stav vlhkosti půdy se označuje jako polní kapacita, kdy voda je zdržována pouze v mikropórech (póry dostatečně malé, aby zadržely vodu kapilárními silami). Při dalším vysychání dochází k vadnutí rostlin. Tento stav vlhkosti se nazývá bod trvalého vadnutí. V tomto okamžiku je voda držena pouze v mikropórech reziduálních, neboli zbytkových. V následující tabulce jsou uvedeny jednotlivé typické objemy všech těchto pórů.

*Tab. 1.1-12 Rozdělení půdních pórů podle velikosti a jejich typický objem a celková pórovitost v lehké, střední a těžké minerální půdě (zdroj Šimek)*

<b>Druh pórů</b>	<b>Velikost (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Lehká půda (% obj.)</b>	<b>Střední půda (% obj.)</b>	<b>Těžká půda (% obj.)</b>
makropóry	nad 50	20 - 30	10 - 15	5 - 15
zásobní mikropóry	0,2 - 50	5 - 15	20 - 25	15 - 20
reziduální mikropóry	pod 0,2	5 - 10	15 - 20	25 - 35
pórovitost	-	35 - 45	45 - 55	50 - 70

### 1.1.3.5 Vzdušné charakteristiky

- *Provzdušenost půdy  $V_z$*  – jedná se o okamžitou provzdušenost v době odběru vzorku, udává poměr mezi objemem vzduchu ve vzorku a objemem vzorku. Lze ji vypočítat jako rozdíl hodnot celkové pórovitosti a momentální vlhkosti. Provzdušenost by měla být v ornických horizontech v následujících mezích: pro pole 18 – 24 % obj., pro louky 9-12 % obj. Klesne-li tato hodnota na polích pod 10 % obj. a na loukách pod 6 % obj., je třeba přistoupit k určitým agrotechnickým opatřením. Při nízkých hodnotách provzdušenosti se zpomalí výměna vzduchu v půdě, což má za následek snížení rozvoje aerobních mikroorganismů v půdě. Vysoká hodnota způsobí vyšší činnost těchto mikroorganismů, které rychleji odbourávají humus v půdě.

- *Minimální vzdušná kapacita půdy podle Nováka  $A_{KMK}$*  – je provzdušeností půdy při maximální vlhkosti kapilární vodní kapacity podle Nováka. Vypočítá se jako rozdíl celkové pórovitosti a maximální kapilární vodní kapacity. Kritická hodnota pro písčité půdy je 25 % obj. Je-li tato hodnota vyšší, pak se jedná o půdy vysušené.
- *Stupeň provzdušnění póru vzorku  $A_r$*  – vyjadřuje objemovou koncentraci vzduchu v pórech. Vypočítáme jej podle vzorce  $A_r = (P - \Theta_{mom}) / P$ , kde  $P$  je celková pórovitost a  $\Theta_{mom}$  je momentální vlhkost. Podle Kopeckého má být optimum rovno 40 % obj. V současné době se udává optimální stupeň provzdušnění pro obilniny 30 – 40, pro okopaniny 20 -30 a pro píce a většinu druhů zeleniny 15 – 25 (% obj.).
- *Stupeň provzdušnění při stavu maximální kapilární vodní kapacity  $A_{rKMK}$*  – je poměr objemu vzduchu k objemu pórů při stavu maximální kapilární vodní kapacity. Vzorec pro výpočet:  $A_{rKMK} = (P - \Theta_{MKK}) / P$ , kde  $P$  je celková pórovitost a  $\Theta_{MKK}$  je maximální kapilární vodní kapacita podle Nováka. Při snížení tohoto stupně pod minimální hodnotu (ornice 20 a louky 10 (% rel.)), je půda náchylná k zamokřování. Je třeba u těchto půd uvažovat o zlepšení poměrů agrotechnickými způsoby a odvodněním.[4]

## 1.2 Chemické a fyzikálně-chemické vlastnosti půd

Chemické vlastnosti půdy jsou ovlivněny celou řadou procesů probíhajících v půdě. Mezi ně patří proces chemické půdní dynamiky, přeměna minerálních a organických látek, rozkladné procesy v půdě, sorpce a desorpce, transport rozpuštěných látek a v neposlední řadě vliv člověka. Chemické reakce vytvářejí v půdě určité rovnovážné stavy, které jsou neustále narušovány vnějšími a vnitřními činiteli. Například užívání hnojiv ve velkých dávkách a používání pesticidů způsobuje změny nejen v chemismu půdy, ale transport těchto látek půdou může způsobit znečištění vod povrchových i podzemních.

Fyzikálně-chemické vlastnosti půdy závisí na vlastnostech půdního roztoku a

na vlastnostech půdních koloidů. Významným činitelem je voda, v ní rozpuštěný kyslík a  $CO_2$ , případně malé množství dalších plynů. Voda se v půdě dostává do styku s půdními částicemi, reaguje s nimi, obohacuje se různými rozpustnými látkami a umožňuje výměnu iontů na sorpčním komplexu půdy. Prosakující voda se v půdním prostředí podstatněji obohacuje  $CO_2$ , čímž se mění reakce půdního roztoku a zároveň se zvyšuje rozpustnost některých látek.

Vzájemný poměr rozpuštěných minerálních a organických látek se mění podle druhu půdy a horizontu, jejich obsah kolísá během roku. Organické látky převládají v půdním roztoku u podzolových půd. Stejný poměr organických a anorganických látek mohou obsahovat černozemě. V půdách zasolených vysoce převládá obsah anorganických látek. V půdním roztoku převládají v našich půdách ionty  $HCO_3^-$ , v menším množství  $SO_4^{2-}$  a  $NO_3^-$  a kationty  $H^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $NH_4^+$ ,  $K^+$ ,  $Fe^+$ ,  $Al^{3+}$ . Z organických látek jsou to především různé organické kyseliny, jejich soli, aminokyseliny či bílkoviny. Se zvyšujícím se obsahem rozpuštěných látek stoupá hodnota osmotického tlaku. Jestliže je osmotický tlak buněčných šťáv vyšší než osmotický tlak půdního roztoku, mohou tento roztok přijímat rostliny. [1]

### 1.2.1 Reakce půdy

Jedna ze základních vlastností půdy je její reakce. Reakce půdního roztoku je určena aktivitou volných iontů  $H^+$  a  $OH^-$ . Půdní reakce ovlivňuje řadu dalších procesů v půdě, jako například rozpustnost různých sloučenin, výměnu iontů, vazebnou sílu, půdní strukturu či aktivitu mikroorganismů. Půdní reakce se označuje hodnotou pH, která je záporným logaritmem koncentrace vodíkových iontů. Při neutrální reakci je koncentrace vodíkových iontů ( $H^+$ ) a hydroxylových aniontů ( $OH^-$ ) stejná, rovná se  $10^{-7} \text{ mol.l}^{-1}$ ,  $pH = 7$ . Jestliže se vodný roztok okyselí přidáním kyseliny, zvýší se koncentrace  $H^+$  na hodnotu větší než  $10^{-7} \text{ mol.l}^{-1}$  a  $pH < 7$ . Naopak přidáním zásady do neutrálního roztoku vzroste koncentrace  $OH^-$  a  $pH > 7$ .

Půdní reakce se dělí na dvě základní formy:

- Aktuální (aktivní) půdní reakce
- Potenciální půdní reakce, která se dá stanovit dvěma skupinami metod:
  - o výměnná reakce
  - o hydrolytická reakce

### Aktivní reakce

Reakce půdního roztoku způsobována především přítomností rozpustných kyselin a kyselých nebo zásaditých solí. Aktivní reakce se stanoví na vodním filtrátu získaném ze suspenze zeminy a vody v poměru 1 :2,5.

#### *Stanovení aktivní půdní reakce potenciometricky*

**Princip metody:** hodnota aktivní reakce se stanoví změřením pH vodní suspenze zeminy pomocí kombinované elektrody.

**Postup:** do kádinky o objemu 50 cm<sup>3</sup> se přidá 10 g zeminy vyschlé na vzduchu (jemnozem), pipetou se přidá 25 cm<sup>3</sup> destilované vody. Destilovaná voda musí být zbavena CO<sub>2</sub> převařením (5 min.) a musí být vychladlá. Suspenze se 5 minut intenzivně míchá tyčinkou, pak se v kádince změří hodnota pH, která se označí jako *pH/H<sub>2</sub>O*. [4]

Tab. 1.2-1 Hodnocení výsledků aktivní půdní reakce (zdroj Jandák, 2003)

pH/H <sub>2</sub> O	Hodnocení zeminy
< 4,9	silně kyselá
5,0 - 5,9	Kyselá
6,0 - 6,9	slabě kyselá
7,0	neutrální
7,1 - 8,0	slabě alkalická
8,1 - 9,4	alkalická
> 9,5	silně alkalická

### Výměnná reakce

Výměnná reakce charakterizuje ionty vázané sorpčním komplexem a určuje se v půdním výluhu normálním roztokem neutrální soli chloridu draselného. Kation draslíku vytěsňuje ze sorpčního komplexu výměnný vodík, který přispívá ke zvýšení celkové koncentrace H<sup>+</sup>. Hodnota výměnné reakce dosahuje ve srovnání s aktivní reakcí nižších hodnot.

#### *Stanovení výměnné půdní reakce*

**Princip metody:** Ionty vodíku (poutané půdními koloidy) se vytěsní draselnými ionty. Výměnná reakce půdy se změří elektrometricky (*pH/KCl*).

**Činidla:** roztok chloridu draselného  $c(KCl) = 1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$  (74,56 g *KCl* se rozpustí v destilované vodě a doplní v odměrce do 1 litru)

**Postup:** Do nádoby (skleněná kádinka o objemu 100 ml, plastová nádoba apod.) se naváží 10 g jemnozeme I a přilije se 25 ml roztoku *KCl*. Poté se suspenze míchá po dobu 5 minut. Dále se vloží do suspenze elektrody a měří se pH, dokud se hodnoty na pH metru neustálí (1-2 minuty). K měření se použije pH-metr se skleněnou a kalomelovou elektrodou nebo kombinovanou skleněnou elektrodou. Ustálená hodnota *pH/KCl* se zaznamená a vyhodnotí.

**Poznámky:**

1. Hodnota pH roztoku *KCl* musí být v rozmezí 5,6 – 6,0. Není-li tomu tak je nepřijatelné upravovat hodnotu kyselinou nebo zásadou.
2. Pře každým měřením je třeba nastavit pH-metr pomocí dvou tlumivých roztoků s odlišným pH. Nastavení se kontroluje i v průběhu měření po 15 až 20 vzorcích.
3. Stav elektrod se kontroluje pomocí standardního vzorku, který se proměřuje jako první po kalibraci přístroje. Jestliže se naměřená hodnota pH liší od deklarované hodnoty standardního vzorku, je nutno elektrody vyměnit.
4. Po každém měření je zapotřebí elektrody opláchnout roztokem *KCl*.

Tab. 1.2-2 Hodnocení výsledků výměnné půdní reakce (zdroj Jandák, 2003)

<b>pH/KCl</b>	<b>Hodnocení zeminy</b>
< 4,5	silně kyselá
4,6 - 5,5	Kyselá
5,6 - 6,5	slabě kyselá
6,6 - 7,2	neutrální
> 7,3	alkalická

Hydrolytické reakce

Hydrolytická reakce spočívá ve schopnosti půdy měnit reakci hydrolyticky štěpitelných solí. Ke stanovení se používá octan sodný nebo octan vápenatý. Při obou reakcích vzniká málo disociovaná kyselina octová. Tato reakce se stanovuje pomocí titrace. Hodnoty hydrolytické reakce vycházejí většinou vyšší než hodnoty reakce výměnné. V dnešní době se od stanovení hydrolytické půdní reakce upouští. Využívá se pouze při stanovení stupně nasycení sorpčního komplexu podle Kappena. [4]

### 1.2.2 Půdní uhličitany

Uhličitany představují významnou složku minerálního podílu půdy. Mezi uhličitany přítomnými v půdě jednoznačně převládá uhličitan vápenatý  $CaCO_3$ , méně často se vyskytuje i uhličitan hořečnatý  $MgCO_3$ . Uhličitany v půdě mají významný vliv při nasycování sorpčního komplexu, dále disponují výraznou tlumící schopností. Přítomnost uhličitanů silně ovlivňuje ostatní půdní vlastnosti. Původ uhličitanů v půdě je buď primární (z mateční horniny) nebo sekundární (z hnojení).

Všechny metody stanovení uhličitanů v půdě jsou založeny na uvolnění oxidu uhličitého ( $CO_2$ ) působením vhodné kyseliny, nejčastěji kyseliny chlorovodíkové ( $HCl$ ). Rozklad uhličitanu kyselinou lze určit podle rovnice:



Z množství uvolněného  $CO_2$  usuzujeme obsah uhličitanu vápenatého. Zjištěný obsah se vyjadřuje v procentech k celkové hmotnosti zeminy. K určení obsahu uhličitanů v půdě využíváme více metod, například stanovení odhadem, hmotnostní metodou, barometrickou metodou (měří se změna tlaku vyvolaná produkcí  $CO_2$ ) nebo objemovou metodou užívanou nejčastěji.

#### Kvalitativní – orientační stanovení obsahu uhličitanů

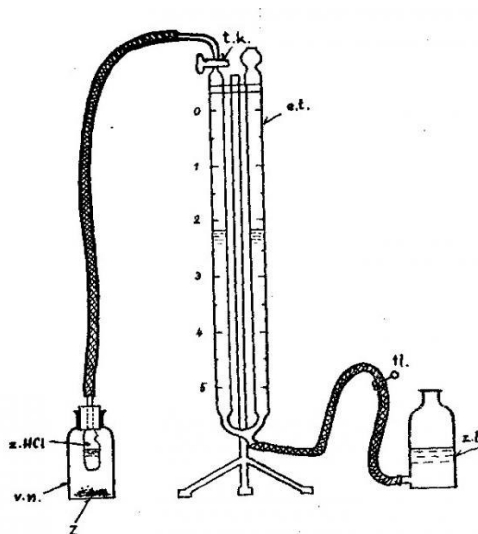
Posouzení přibližného obsahu uhličitanů a zjištění, zda zemina vůbec obsahuje uhličitany, se provádí kvalitativní zkouškou na hrudce zeminy položené na sklíčko. Na zeminu se nakape 10 % kyseliny chlorovodíkové (z koncentrované  $HCl$  ředěním 1:3) a pozoruje se intenzita šumění:

šumění sotva znatelné, krátce trvajících	pod 0,3 % $CaCO_3$
šumění slabé, krátce trvajících	0,3 – 1 % $CaCO_3$
šumění dosti silné, krátce trvajících	1 – 3 % $CaCO_3$
šumění silné, prodlužované	3 – 5 % $CaCO_3$
šumění výrazné, silné s delším rozkladem	přes 5% $CaCO_3$
šumění velmi silné, dlouho trvajících	přes 20 % $CaCO_3$

Kvalitativní zjištění se provádí i při terénním průzkumu, tak i v laboratoři pro orientační zkoušku před přesným rozbořem. [5]

#### Objemová metoda pro stanovení obsahu $CaCO_3$ pomocí Jankova vápnoměru

Přístroj je složen ze dvou svislých skleněných trubic, které jsou dole vzájemně spojeny. Na obou trubicích jsou souhlasné stupnice udávající obsah  $\text{CaCO}_3$  (%), který odpovídá objemu  $\text{CO}_2$ . Obsah uhličitanu lze číst s přesností 0,01 %. Na měrné trubici je spodem napojena zásobní láhev s vodou. Spojení je provedeno gumovou trubičkou, na které je nainstalovaná tlačka. Jedna z trubic je přes trojcestný kohout spojena gumovou hadičkou s vyvíjecí trubicí (zásobník  $\text{HCl}$ ), ta se zasunuje do vyvíjecí nádoby (rozkladná baňka).



Obr. Jankův vápnoměr. T.k. = trojcestný kohout,  
e.t. = eudiometrická trubice,  
v.n. = vyvíjecí nádoba,  
z.HCl = zásobník  $\text{HCl}$ ,  
Z = zemina,  
z.l. = zásobní láhev  
tl. = tlačka

Obr. 1.2-1 Jankův vápnoměr (zdroj mendelu.cz)

**Postup:** Trojcestný kohout se otočí tak, aby se otevřela měrná trubice. Po povolení tlačky na gumové hadici se naplní vodou (zvednutím láhve) obě měrné trubice do úrovně 0 na stupnicích. Tlačka se uzavře a láhev se postaví na stůl. Trojcestný kohout se otočí, tím se uzavře měrná trubice. Z vyvíjecí nádoby se vytáhne zátky se zásobníkem na  $\text{HCl}$ , do kterého se vlije bočním otvorem 10%  $\text{HCl}$  po rysku. Do rozkladné baňky se nasype 20 g zeminy, vložíme zpět vyvíjecí trubicí a zazátkujeme. Otočením kohoutu se spojí baňku s měrnou trubicí. Nakláněním rozkladné baňky se vylévá otvorem na boku  $\text{HCl}$  na zeminu. Vyvíjecí se  $\text{CO}_2$  stlačuje vodu v měrné trubicí a vytlačuje ji do druhé trubice. Vystoupí-li voda v druhé trubicí až do rozšířené

části, musí se vypustit část vody do zásobní lahve (otevřením tlačky). Rozkladná baňka se musí protřepat, aby se usnadnila reakce vzorku zeminy s kyselinou. Jestliže se neuvolňuje žádný  $CO_2$  (ani po dalším přidání kyseliny), nastal konec rozkladu. Pokud nenastane pokles hladiny (cca po 5 minutách), pomalu se vypustí pomocí tlačky voda z měrné trubice po úroveň, kdy se hladiny v obou trubicích vyrovnají. Tím se vyrovná tlak stlačeného plynu na stejnou hodnotu, jakou má okolní vzduch. V tomto okamžiku lze měřit objem uvolněného  $CO_2$ . Na stupnici čteme procenta  $CaCO_3$  za předpokladu, že jsme do rozboru vzali 20 g zeminy. Jestliže se v kvalitativní zkoušce zjistí, že obsah uhličitánů je větší než 5 %, použijeme k rozboru menší množství zeminy (10 g, 5 g apod.), přičemž hodnota přečtená ze stupnice se vynásobí dvěma, čtyřmi apod.[5]

Tab. 1.2-3 Klasifikace půd podle obsahu  $CaCO_3$  (zdroj Šálek, 1985)

Obsah $CaCO_3$ (%)	Označení zeminy
< 0,3	bezvápnná
0,3 - 3,0	slabě vápnná
3,0 - 20	vápnná
20 - 60	silně vápnná
> 60	vápenatá

V praxi se kyselé půdy upravují vápněním, jedná se o množství vápenatých hmot potřebných k neutralizaci půdy. Vápněním se zvyšuje procento výměnného  $Ca^{2+}$  a zlepšují se i fyzikální vlastnosti půdy. Potřeba vápnění je důležitá s ohledem na výživu rostlin vápníkem. Dále vápnění přispívá k vylepšení minerální výživy rostlin a k zvýšení úrodnosti půdy. Vápněním se stabilizuje půdní struktura, zvyšuje se filtrační schopnost půdy a tím se i zmírňuje účinnost eroze. Potřebu vápnění lze vypočítat podle výměnné půdní reakce, z titračních metod nebo z tlumivosti. Podle potřeby rozlišujeme vápnění udržovací a vápnění meliorační (ozdravovací).

### 1.2.3 Obsah humusu

Charakteristika obsahu humusu v půdě se nedá jednoznačně zařadit do kapitoly fyzikálně-chemických vlastností půdy (v některých publikacích obsah humusu tvoří samostatnou kapitolu, naopak v jiných se řadí právě sem). V této práci je tedy obsah humusu zařazen do kapitoly fyzikálně-chemických vlastností půdy.

Humus v půdě představuje odumřelé organické látky rostlinného a živočišného původu. Humus je tvořen dvěma složkami, a to primární složkou půdní organické hmoty a sekundární složkou přeměněné organické hmoty humifikačním procesem. Mezi primární složky patří lehce rozložitelné výchozí organické látky, glycidy, pektiny, bílkoviny, ligniny, tuky, vosky apod. K sekundárním látkám patří huminové kyseliny, jejich soli, huminy a humusové uhlí. Z hlediska hydropedologického má humus velký význam v půdě, poněvadž zlepšuje fyzikálně-chemické a sorpční vlastnosti půdy a také velmi ovlivňuje vodní režim půd.

Stanovení humusu se zjistí pomocí organického uhlíku v půdě. K jeho stanovení slouží více metod, které lze rozdělit do dvou skupin, a to na stanovení organického uhlíku spalováním za sucha a spalováním za mokra. Mezi metody spalování za sucha patří ztráta žiháním a elementární analýza. Stanovení oxidimetricky nebo spektrofotometricky se řadí do skupiny stanovení spalováním za mokra.

Na základě výsledků se půdy klasifikují podle obsahu humusu, viz tab. 1.2-4.

Tab. 1.2-4 Hodnocení obsahu humusu (zdroj eagri.cz)

Půdy	Obsah humusu v půdách (%)	
	lehkých	středních a těžkých
bezhumózní	0	0
slabě humózní	pod 1	pod 2
středně humózní	1 - 2	2 - 5
silně humózní	nad 2	nad 5

#### Stanovení za sucha – ztráta žiháním

**Princip:** Oxidace organického uhlíku probíhá v plameni kahanu (nebo v muflové či kelímkové peci). Obsah humusu se stanoví ze ztráty hmotnosti vzorku po jeho vyžihání.

**Potřeby:** žihací kelímek, žihací pec.

**Postup:** Naváží se 5 g vzorku (vysušený na vzduchu), který se vloží do předem zváženého žihacího kelímku. Poté žiháme cca 5 hodin. Po vytažení z pece se nechá vzorek vychladnout v exsikátoru. Vychladlá zemina i s kelímkem se zváží. Z úbytku na hmotnosti se vypočítá obsah humusu v % podle vzorce:

$$H = \frac{m_h \cdot 100}{m_s} [\%]$$

- kde: H ...obsah organické hmoty v %  
 $m_h$  ...úbytek hmotnosti žiháním v g  
 $m_s$  ...hmotnost vysušené zeminy použité k rozboru v g

Tato metoda je zatížena celou řadou chyb (ztráta krystalické vody, vypařování některých látek apod.) je tedy pouze orientační. Žiháním při maximálně 530 °C se zabrání rozkladu uhličitánů. Aby byla chyba stanovení relativně nižší, používají se vzorky s vysokým obsahem organických látek. [5]

#### *Stanovení za mokra*

Nejčastěji používanou metodou ke stanovení organického uhlíku v půdě je právě stanovení za mokra, která má řadu modifikací. Jedná se o oxidace organického uhlíku kyslíkem oxidantu (dichromanu draselného) v prostředí kyseliny sírové. Zoxidovaný kyslík se určí buď z vyprodukovaného  $CO_2$ , nebo se vypočítá z oxidačního činidla, spotřebovaného při titraci. Jednou z metod oxidimetrického stanovení je oxidačně redukční titrace (metoda Walkley-Blacka v modifikaci Nováka-Peliška).[4]

*Tab. 1.2-5 Obsah humusu v ornících našich půd (zdroj Jandák, 2003)*

<b>Půdní představitel</b>	<b>Humus (%)</b>
Černozem	2,2 - 4,5
Hnědozem	1,7 - 1,9
Luvizem	1,5 - 3,6
Pseudoglej	1,9 - 4,0
Fluvizem	3,3 - 4,5
Černice	3,8 - 5,3
Glej	0,9 - 2,9
kambizem nižších poloh	1,7 - 4,3
kambizem vyšších poloh	3,4 - 8,6
Podzol	3,4 - 15,5
Regozem	2,1 - 3,4

#### **1.2.4 Sorpční vlastnosti**

Soubor organických a anorganických koloidů se nazývá sorpční půdní komplex. Tento komplex vytvářejí jílové minerály, amorfní gely kyseliny křemičité, hydráty kyslíčnicků železa a hliníku, humusové látky apod. Jednou z nejdůležitějších vlastností sorpčního komplexu je schopnost poutat (sorbovat) látky z okolního prostředí. Ve výměnné formě se poutají především kationty, protože většina komponentů půdního

komplexu má záporný náboj. K vyjádření sorpční kapacity půdy se používají tyto veličiny:

- T ...výměnná sorpční kapacita půdy, která udává schopnost hmotnostní jednotky půdy sorbovat maximální množství kationtů.
- S ...momentální obsah výměnných bází udává obsah bazických kationtů (především Ca, Mg, K, Na) na hmotnostní jednotku půdy.
- V ...stupeň sorpčního nasycení bázemi vyjadřuje momentální poměr výměnných bází k výměnné sorpční kapacitě:

$$V = \frac{S}{T} 100 [\%]$$

Hodnoty  $S$ ,  $T$  a  $V$  lze stanovit řadou metod. Jedna z nich je metoda Kappenova, která však není vhodná pro půdy s obsahem uhličitánů větším jak 0,3 % a pro zasolené půdy. Další možností jak stanovit tyto hodnoty je metoda Mehlichova.

*Stanovení hodnot  $S$ ,  $T$  a  $V$  podle Kappena*

**Princip metody:** Bazické kationty se vytěsni nadbytkem  $HCl$ . Spotřebovaná  $HCl$  (odpovídá hodnotě  $S$ ) se stanoví titrací louhem sodným.

**Činidla:** kyselina chlorovodíková  $c(HCl) = 0,1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$

hydroxid sodný  $c(NaOH) = 0,1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$

fenolftalein

**Postup:** Naváží se 10 g jemnozeme a vloží se do PVC lahve. Pipetou se přidá  $100 \text{ cm}^3 HCl$  a nechá se protřepávat 1 hodinu. Poté se suspenze zfiltruje a odpipetuje  $50 \text{ cm}^3$  filtrátu. Do filtrátu se přidají 3 kapky fenolftaleinu a nechá se titrovat do slabě růžového zbarvení, které se udrží po dobu 1 minuty. Podle níže uvedených vzorců se provede výpočet:

$$S = \frac{c(50 - b)1000}{g} [\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}]$$

$$T = S + Ha [\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}]$$

$$V = \frac{S}{T} 100 [\%]$$

- kde:  $S$  ...obsah výměnných bází,  
 $c$  ...koncentrace obou roztoků (0,1),  
 $50$  ...počet  $\text{cm}^3 \text{HCl}$ ,  
 $b$  ...počet  $\text{cm}^3 \text{NaOH}$  spotřebovaného při titraci,  
 $g$  ...hmotnost navážky v g,  
 $T$  ...maximální sorpční kapacita,  
 $Ha$  ...hydrolytická acidita,  
 $V$  ...stupeň sorpčního nasycení.[4]

Tab. 1.2-6 Hodnocení výsledků celkové sorpční kapacity (zdroj Jandák, 2003)

Sorpční kapacita	T ( $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ )
Velmi vysoká	> 300
Vysoká	250 - 300
Střední vyšší	180 - 240
Střední nižší	130 - 170
Nízká	80 - 130
Velmi nízká	< 80

Tab. 1.2-7 Hodnocení výsledků stupně sorpčního nasycení (zdroj Jandák, 2003)

Nasycenost sorpčního komplexu	V (%)
Plně nasycený	100 - 90
Nasycený	90 - 75
Slabě nasycený	75 - 50
Nenasycený	50 - 30
Extrémně nasycený	< 30

### 1.2.5 Železo a hliník v půdě

V půdě je vždy přítomno určité množství nesilikátového hliníku a železa (volný  $Al$ ,  $Fe$ ). Oxidy a hydroxidy těchto prvků nejsou vázány v krystalové mřížce křemičitanů, vytváří povlaky na povrchu minerálů nebo zcela vyplňují některé póry. V prostředí se silně kyselou reakcí se stávají rozpustné a jako roztok jsou snadno vyluhovány až do takové hloubky, kde se zmírní kyselost roztoku a zde se vysráží. Na jejich pohybu v půdním profilu se podílejí fulvokyseliny.

### 1.2.6 Oxidačně-redukční potenciál půdy

Tato veličina označována  $Eh$  charakterizuje oxidační a redukční procesy v půdě. Vyjadřuje se v milivoltech ( $mV$ ) jako napětí elektrického proudu (rozdíl potenciálů) mezi dvěma elektrodami umístěnými v půdě nebo v půdním roztoku. Nízká hodnota  $Eh$  ukazuje na intenzivnější průběh redukčních procesů. Kulturní rostliny vyžadují prostředí s  $Eh = 200 \div 700 \text{ mV}$ , optimální prostředí je u jednotlivých plodin užší a závisí na hodnotě pH a jiných faktorech. Ztráta kyslíku probíhá při  $Eh = 300 \div 350 \text{ mV}$ . Rozsahy  $Eh$  jsou velmi závislé na aktuálním stavu půd, především hydromorfních poměrech. Oxidačně – redukční potenciál je sice významná vlastnost, která se podílí na ovlivňování chemických pochodů v půdě, vzhledem ke značné proměnlivosti se však jako kritérium hodnocení kvality půd neuvádí. V legislativě se nepoužívá.[6]

### 1.2.7 Salinita půdy

Salinita nebo také zasolení půdy je označení pro hromadění solí v půdě. Soli v půdě narušují vývoj rostliny, ovlivňují metabolismus půdních organismů, což může vést až k úhynu rostlin. Salinizace půdy je způsobena primárními nebo sekundárními faktory. Primární salinizace spočívá v nahromadění solí přírodními procesy v důsledku vysokého obsahu solí v matečné hornině nebo podzemní vodě. Za sekundární salinizaci se považuje zasolování způsobené lidskými zásahy, jako například nevhodné zavlažování, nebo hnojení průmyslovými hnojivami.

Stanovení rozpustných solí v půdě na základě elektrické vodivosti je nejpoužívanější metodou pro stanovení salinity půdy. Principem metody je stanovení množství soli ve výluhu proměřením vodivosti na vhodném přístroji.

#### *Příprava vodního výluhu*

Naváží se 100 g zeminy, která se vloží do PE lahve o objemu 1000 ml. Láhev se zalije 500 ml převařené destilované vody a uzavře se. Dále se po dobu 1 hodiny nechá protřepat na horizontální třepačce. Suspenze se přefiltruje přes složený filtr (zakalená část filtrátu se přefiltruje znovu). V případě že je filtrát stále zakalený, přefiltruje se přes ultrafiltr. Čirý obsah se dále použije pro stanovení specifické vodivosti.

#### *Stanovení specifické vodivosti vodního výluhu*

**Činidla:** Chlorid draselný, roztok c ( $KCl$ ) =  $0,02 \text{ mol.l}^{-1}$  – 1,4912 g KCl se rozpustí v čerstvě převařené redestilované vodě a roztok se touto vodou doplní na objem 1000

ml. Po přípravě se roztok přelije do plastové láhve. (Specifická vodivost při 20 °C je 0,002501 S.cm<sup>-1</sup>).

Chlorid draselný, roztok c (KCl) = 0,01 mol.l<sup>-1</sup> – připraví se zředěním roztoku o koncentraci 0,02 mol.l<sup>-1</sup> na dvojnásobek objemu. (Specifická vodivost při 20 °C je 0,0011278 S.cm<sup>-1</sup>).

**Postup:** Pro stanovení odporové konstanty elektrody se standartní roztoky KCl vytemperují na teplotu 20 °C. Elektroda se opláchne prvním měřeným roztokem a vícekrát se změří odpor roztoku. Průměrné hodnoty se použijí pro výpočet odporové konstanty. Stejným postupem se změří i odpor pro druhý roztok.

Stanovení vodivosti výluhu: výluh se rozleje do dvou kádinek a vytemperuje se na teplotu 20 °C. V první kádince se opláchne elektroda výluhem a v druhé kádince se provede vlastní měření. Je zapotřebí, aby při měření byly elektrody ponořeny minimálně 15 mm pod hladinou. Po vysušení a vytemperování se elektroda použije pro stanovení odporu výluhu v ohmech. Specifická vodivost výluhu se zjistí pomocí výpočtu uvedeného níže a vyhodnotí se druh zasolení půdy podle tabulky 1.2-8.

**Výpočet:** Vodivostní konstanta  $k$ :

$$k = x \cdot R$$

kde:  $x$  ...specifická vodivost v S.cm<sup>-1</sup> roztoku KCl,  
 $R$  ...odpor standartního roztoku v ohmech.

Specifická vodivost výluhu  $x$ :

$$x = \frac{k}{R} [\mu S \cdot cm^{-1}]$$

kde:  $k$  ...odporová konstanta elektrody,  
 $R$  ...elektrický odpor měřeného roztoku v ohmech. [4]

Tab. 1.2-8 Hodnocení výsledků vodivosti (zdroj Laboratorní výuka z výživy rostlin)

Půdy	Vodivost (mS.cm <sup>-1</sup> )
Nezasolené	do 0,7
Středně zasolené	0,7 - 1,4
Zasolené	1,4 - 2,8
Silně zasolené	nad 2,8

### 1.3 Biologické vlastnosti půd

Živé organismy jsou nepostradatelnou složkou pro správný průběh veškerých procesů v půdě. Jedná se o půdní edafon, který svými životními procesy neustále vyvolává biochemické a biofyzikální procesy v půdě. Tyto organismy se také významně podílejí na vzniku a vývoji úrodnosti půdy. Proto je důležité půdu posuzovat nejen z hlediska fyzikálních a chemických, ale i z hlediska biologických vlastností.

V půdě se vyskytuje velký počet živých organismů, jedná se o mikroorganismy a makroorganismy, které se souhrnně nazývají půdní edafon. Půdní edafon se dělí na dvě části, a to říši rostlinnou (fytoedafon) a živočišnou (zooedafon). Na 1 m<sup>2</sup> se vyskytuje 1 – 200 tisíc jedinců makrofauny a miliardy jedinců mikrofauny. Biomasa edafonu na hektar půdy se může pohybovat mezi 2 – 10 t, což je asi 0,05 – 0,5 % z hmoty půdy.

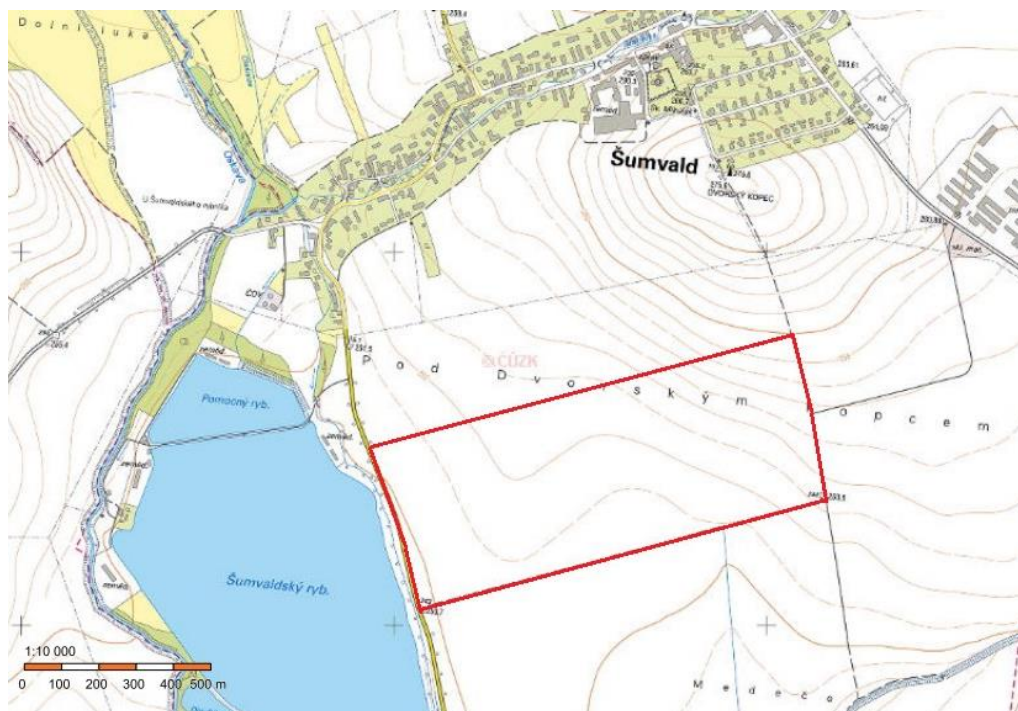
Mezi biologické charakteristiky kvality půdy patří uhlík *C*, *N* biomasy mikroorganismů, potenciálně mineralizovaný dusík, aktivita půdních enzymů a respirace. Pro vysokou variabilitu se rozsahy základních biologických parametrů obecně většinou neuvádějí. Pokud jsou uvedeny, měly by být vztaženy k určitým podmínkám, které je zásadně ovlivňují (roční období, kultura, obsah organické hmoty, vodní režim aj.). [7]

## 2 Praktická část

### 2.1 Charakteristika území

#### 2.1.1 Popis lokality

Pole, na kterém byly odebírány vzorky pro posuzování kvality půdy, se nachází vedle silnice druhé třídy mezi Uničovem a Šumvaldem, v katastru obce Šumvald. Obec Šumvald leží v Olomouckém kraji konkrétně na severozápadě okresu Olomouc. Obec se nachází v severní části Hornomoravského úvalu v Uničovské plošině, která je ohraničena výběžky Hrubého a Nízkého Jeseníku. Podrobnější geografické, hydrologické či klimatické poměry jsou uvedeny níže v podkapitolách. Šumvald má protáhlý tvar, rozkládá se po obou stranách potoka Dražůvky v nadmořské výšce 265 m. Katastr obce má celkovou výměru 2099 ha.



Obr. 2.1-1 Zájmová lokalita Šumvald - červeně označeno pole, z kterého byly odebírány vzorky půdy (zdroj [www.cuzk.cz](http://www.cuzk.cz))

#### 2.1.2 Klimatické poměry

Z hlediska charakteristiky klimatických oblastí dle Quitta, spadá tato lokalita do teplé, mírně vlhké klimatické oblasti, konkrétně do skupiny T2. V tabulce 2.1-1 jsou uvedeny jednotlivé klimatické charakteristiky pro tuto oblast.

Tab. 2.1-1 Charakteristika klimatických oblastí ČR dle Quitta

Klimatické charakteristiky	T2
Počet letních dní	50-60
Počet dní s průměrnou teplotou 10° C a více	160-170
Počet dní s mrazem	100-110
Počet ledových dní	30-40
Průměrná lednová teplota (°C)	-2 až -3
Průměrná dubnová teplota (°C)	8 - 9
Průměrná červencová teplota (°C)	18 - 19
Průměrná říjnová teplota (°C)	7 - 9
Průměrný počet dní se srážkami 1 mm a více	90 - 100
Suma srážek ve vegetačním období (mm)	350 - 400
Suma srážek v zimním období (mm)	200 - 300
Počet dní se sněhovou pokrývkou	40 - 50
Počet zatažených dní	120 - 140
Počet jasných dní	40 - 50

### 2.1.3 Hydrologické poměry

Zájmová lokalita spadá do povodí Moravy, přesněji do dílčího povodí řeky Oskavy. Řeka Oskava je levostranným přítokem řeky Moravy, do které se vlévá severně od města Olomouc. Správa povodí spadá do závodu Horní Morava se sídlem v Olomouci.

Nepřehlédnutelnou součástí šumvaldského katastru je velký rybník, k němuž náležejí menší rybníčky. Celková rozloha vodní plochy je 60 ha. Rybník má již svou úctyhodnou historii, nejstarší zápis o něm je v zemských deskách již z roku 1569. V průběhu dějin byl několikrát zrušen, ale vždy znovu obnoven.

### 2.1.4 Biogeografické poměry

*Oblast:* kontinentální

*Provincie:* středoevropských listnatých lesů

*Podprovincie:* 1. Hercynská

*Bioregion:* 1.12 Litovelský

### **2.1.5 Geomorfologické poměry**

*Soustava:* VIII Vněkarpatské sníženiny

*Podsoustava:* Západní Vněkarpatské sníženiny

*Celek:* Hornomoravský úval

*Podcelek:* Uničovská plošina

*Okrsek:* Oskavská niva [10]

### **2.1.6 Informace o lokalitě**

Pole, z kterého byly vzorky odebírány, má rozlohu cca 50 hektarů. Toto pole obhospodařuje akciová společnost ÚSOVSKO, která spolu s dceřinými společnostmi obhospodařuje téměř 19 tisíc hektarů půdy v Olomouckém a Plzeňském kraji.

Jako předplodina zde byla pěstovaná pšenice ozimá (výnos 8 tun). Po její sklizni byla sláma uklizena a provedla se podmítka. Následně bylo pole pohnojeno chlěvským hnojem (40 tun) a zoráno klasickým způsobem do hloubky 25 – 30 cm. Na jaře roku 2016 bylo pole pohnojeno 200 kg ledku amonného (LAD 27%) a v rámci přípravy pro setí bylo jednou přejeté kompaktozem SWIFTER SO (viz obrázek 2.1-2). Na konci března, konkrétně 30.-31.3.2016, byla pomocí secího stroje Multicorne 12 řádek zaseta cukrová řepa odrůdy Varios a Galant.

Zpracováním půdy klasickým způsobem se rozumí technologie zpracování pomocí orby. Půda se zpracovává pluhem, který má za úkol rozrušit a provzdušnit povrch do určité hloubky. V rámci orby jsou rostlinné zbytky, hnojiva i plevel zapracovány do půdy. Úkolem orby je vytvářet podmínky pro dosažení optimální úrodnosti půdy. Hloubka orby může být různá: mělká orba 10 – 18 cm, střední orba 18 – 24 cm, hluboká orba 25 – 30 cm a velmi hluboká orba nad 30 cm. V našem případě se jednalo o hlubokou orbu, která byla provedena oboustranným otočným pluhem.



Obr.2.1-2 Orba pomocí otočného pluhu (zdroj [www.farmweb.cz](http://www.farmweb.cz))



Obr.2.1-3 Stroj pro přípravu setí SWIFTER SO 8 řádek (zdroj <http://www.bednar-machinery.com>)

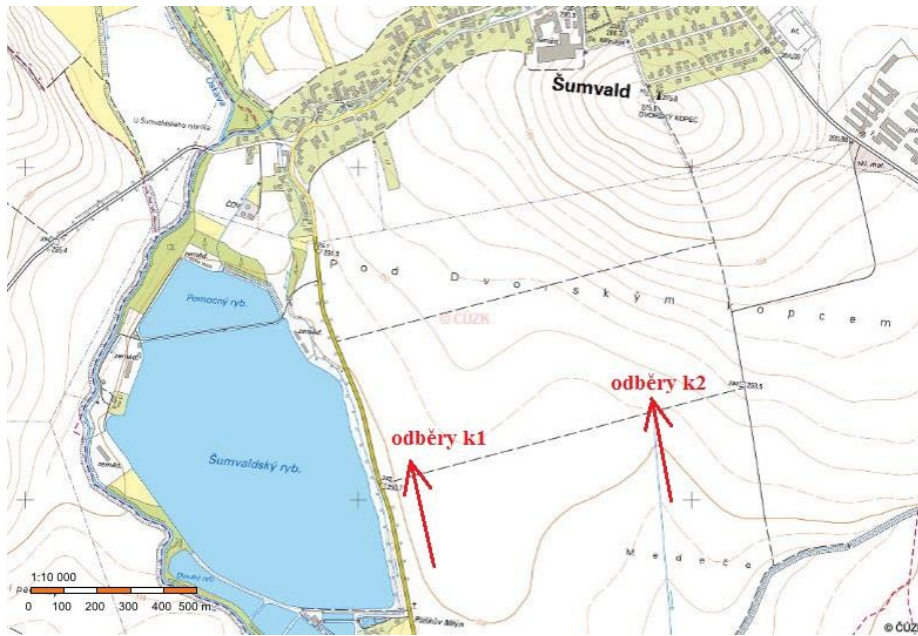
V následující tabulce jsou uvedeny předplodiny 5 roků zpětně. V roce 2013/2014 jsou uvedeny předplodiny dvě, a to z toho důvodu, že pole je většího rozsahu, proto bylo oseto z jedné části cukrovkou a z druhé kukuřicí.

Tab. 2.1-2 Předplodiny (5 roků zpět) na zájmovém území (zdroj Úsovsko a.s.)

předplodina (5.rok)	předplodina (4.rok)	předplodina (3.rok)	předplodina (2.rok)	předplodina (1.rok)
<b>2011/2012</b>	<b>2012/2013</b>	<b>2013/2014</b>	<b>2014/2015</b>	<b>2015/2016</b>
ječmen jar.	pšenice oz.	cukrovka+kukuřice	mák	pšenice oz.

Pro posuzování kvality půdy byly odebírány vzorky půdy ze dvou míst, a to z místa k1 a k2 (viz obrázek zájmového území). Tyto dvě místa jsou od sebe vzdáleny

cca 750 m. První místo odběru k1 je v nadmořské výšce 252 m n. m. a druhé místo k2 250 m n. m., terén tedy mírně klesá od místa k1 do k2. Obě místa odběrů mají odlišný kód bonitované půdně ekologické jednotky. První místo odběru má kód BPEJ 3.14.00 a druhé BPEJ 3.58.00, proto mají obě místa odlišné charakteristiky. Například hlavní půdní jednotka je různá, k1 má hlavní půdní jednotku hnědozem (Orthic Luvisol) a naopak k2 nivní půda - fluvizem (Eutric Fluvisol). [15]



Obr. 2.1-4 Zájmová lokalita Šumvald - označena odběrná místa k1 a k2 (zdroj [www.cuzk.cz](http://www.cuzk.cz))

## 2.2 Práce v terénu

Pro práci v terénu je základem hydropedologický průzkum půd, který slouží k určení hydropedologických a hydraulických vlastností půd a obecných pedologických vlastností. Tento průzkum je využíván jako podklad a součást stavební dokumentace vodohospodářských staveb. Podle potřeby se provádí tři druhy hydropedologického průzkumu a to předběžný, podrobný a doplňující průzkum.

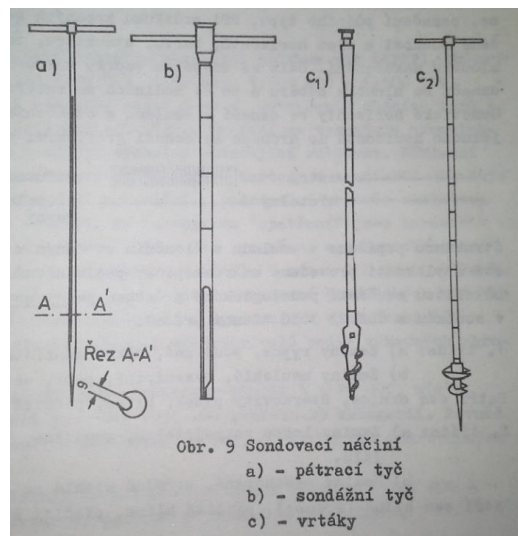
Předběžný hydropedologický průzkum udává všeobecný obraz o půdních poměrech a zdůvodnění vodohospodářské úpravy. Je podkladem pro zpracování přípravné dokumentace. Podrobný hydropedologický průzkum slouží jako podklad pro projektovou dokumentaci vodohospodářských staveb. Tento průzkum navazuje na předběžný hydropedologický průzkum, zpřesňuje jej a dodává podrobné a detailní podklady. Doplňující průzkum se provádí až v průběhu zpracování projektu, zpřesňuje a doplňuje dřívější průzkumy.

Hydropedologický průzkum se člení na několik etap, které na sebe vzájemně navazují. Mezi tyto etapy patří příprava průzkumu, průzkum v terénu, laboratorní zpracování odebraných vzorků, zvláštní měření v terénu a vyhodnocení získaných výsledků.

V rámci prací v terénu se provádí sondážní práce, jedná se o kopané sondy, polosondy, vrty a vpichy. Rozložení sondážní sítě se provádí s ohledem na reliéf a geologickou stavbu. Vpichy se provádí pomocí *pátrací tyče* – ocelová tyč o průměru 15 až 20 mm, dlouhá 120 až 150 cm. V horní části tyče je tzv. vratidlo a spodní konec je opatřen ostrým hrotem. Po délce tyče je vyfrézován žlábek (široký 9mm, hluboký 7mm). Na tyči jsou také vryty značky po 10 cm k určování hloubky zarážení. Tyč se do země zatlačí do požadované hloubky a několikrát otočí (vratidlem), poté se bez otáčení tyč vytáhne. Ve žlábků je zachycen vzorek zeminy.

*Sondážní tyč* slouží k odběru větších vzorků. Je vyrobena z ocelové trubky o průměru 30 až 35 mm. Spodní hrana tyče je vybroušena v břit a je zde výřez 20 cm dlouhý. Na tyči jsou značky po 10 nebo 20 cm. Sondovací tyč se zarazí do země do požadované hloubky, poté se nasadí vratidlo a pomocí otáčení se tyč vyjme ze země. Vzorek zeminy se vyjme a do stejného otvoru se vloží tyč pro další odběry z jiných hloubek.

*Půdní vrtáky* mohou mít různou konstrukci. Pokaždé se ale jedná o vrták tvořený závitovými křídly. Otáčením se vrták zavrtá do půdy tak hluboko až je celá hlavice zabořena. Poté se vrták opatrně vyjme, a z křídel vrtáku se sejme vzorek zeminy. Postup se opakuje pro různé hloubky ze stejného otvoru výkopu.



Obr. 2.2-1 Sondážní náčiní (zdroj Šálek, 1985)

*Polosondy* jsou sondážní jámy hluboké 40 až 60 cm. V půdorysu je tato jáma 60 cm široká a 60 – 80 cm dlouhá. Ze dna polosondy se obvykle provádí vpich k zjištění vrstev ve větší hloubce.

*Kopaná sonda* je jáma o šířce 60 až 80 cm, o hloubce 150 až 200 cm a délce 200 cm nebo více. Čelní stěna je svislá a na protilehlé straně jsou schodky pro vstup do sondy. [3]

### 2.2.1 Odběr půdních vzorků

Pro mechanické, chemické a mikrobiologické rozbory se používají tzv. *vzorky porušené*. Odebírají se vždy z čela sondy, směrem zespoda nahoru, aby nedošlo k znečištění zeminy hlubších horizontů. Zemina se odebírá pomocí lopatky a nože, a ukládá se do předem popsaných sáčků. Informace, které se uvádí při odběru: místo odběru, číslo sondy, pořadové číslo vzorku a hloubka odběru. Množství odebrané zeminy souvisí s počtem plánovaných laboratorních rozborů.

Odebrané a popsané vzorky se odvezou do laboratoře, sáčky se otevřou a postaví se tak aby mezi nimi byla mezera a vzorky mohly lépe vysychat. Vlhčí zeminu je nutné ze sáčků vysypat do misek, rozdrtit hroudy, rozprostřít a nechat vyschnout. Takto na vzduchu vyschlá zemina se používá dál k laboratorním rozborům.

Pokud je nutné stanovit fyzikální vlastnosti a charakterizovat vodní a vzdušný režim půd, je třeba odebrat půdní *vzorky v neporušeném stavu*. Tyto vzorky se odebírají obvykle z čelních stěn kopaných sond, v jedné svislici. K tomuto odběru se používají Kopeckého válečky, vyrobené z nerezavějící oceli o objemu 100 cm<sup>3</sup> a maximální výškou 5 cm. Tyto válečky jsou pomocí nástavce zatlačeny nebo zatlučeny ve vertikálním směru do půdy. Váleček se vyjme polní lopatkou, odstraní se horní část nástavce a nožem se opatrně odstraní přesahující zemina. V případě porušení vzorku je nutné provést odběr znovu. Nakonec se válečky zavíčkují a uloží se do kufříku. Do pedologického zápisníku se zaznamenají čísla válečků v jejich odebraných hloubkách. [4]



*Obr. 2.2-2 Nástavec k odebírání vzorků do Kopeckého válečku (zdroj [www.mendelu.cz](http://www.mendelu.cz))*



*Obr. 2.2-3 Kufřík s Kopeckého válečky (zdroj [www.ekotechnika.cz](http://www.ekotechnika.cz))*

### **2.3 Příprava vzorků k rozborům**

Odebraný vzorek půdy se nazývá hrubozem, který se dále dělí na skelet a jemnozem. Skelet představuje částice větší než 2 mm a naopak jemnozem částice menší než 2 mm. Jemnozem je dále rozdělena podle velikosti na jemnozem I (částice a agregáty < 2 mm) a jemnozem II (částice a agregáty < 0,25 mm). Tyto jednotlivé frakce zemin slouží k dalším laboratorním rozborům. Například výchozím materiálem pro zrnitostní rozbor je jemnozem I. Pro stanovení humusu nebo železa se používá jemnozem II.

### 2.3.1 Příprava jemnozemě I

**Potřeby:** Silnostěnná třecí miska, tlouček, síto s průměry ok 2 mm s víkem, podstavná sběrná nádoba.

**Postup:** Z hrubého vzorku, který byl vysušen na vzduchu, se odstraní hrubší částice, novotvary a rostlinné zbytky. Po částech se vzorek rozmělnuje třením v třecí misce, tak aby částice nebyly drceny – roztloukávány. Takto rozmělněný vzorek se proseje na sítu, které je osazeno sběrnou nádobou a víkem (zamezí se prášení).

### 2.3.2 Příprava jemnozemě II

**Potřeby:** Achátová miska, tlouček, stěrka, lžička, miska, síto s průměry ok 0,25 mm a podstavnou směrnou nádobou.

**Postup:** Z jemnozemě I se odebere vzorek cca 10 g. Vzorek se rozmělní a proseje na sítu o průměru ok 0,25 mm.

### 2.3.3 Preparační metody přípravy vzorku

Před samotným rozbořem zrnitosti je třeba od sebe dokonale oddělit jednotlivá zrna, která jsou v půdě v přirozených shlucích a dále zabránit tvorbě koagulačních vloček v průběhu rozboru. K této preparaci lze využít více metod, přesto ve snaze o zjednodušení práce bylo v ČSSR dohodnuto, že k běžným technickým rozborům je možno místo vaření a roztírání vzorku použít strojové třepačky. Takovou metodou s využitím třepačky je příprava vzorku třepáním. Postup i potřeby k této metodě jsou popsány již v kapitole 1.1.2 Zrnitost (textura).

### 2.3.4 Přepočítání navážky vzorku na sušinu

Vzorek vysušený na vzduchu obsahuje určité množství hygroskopické vody, což způsobuje nepřesnosti v kvalitativním určení navážky a v přepočtu výsledků na navážku. Proto se vždy používá přepočítání na vysušený vzorek.

**Potřeby:** Laboratorní váhy, hliníkové vysoušečky s víčky, laboratorní lžíce, horkovzdušná sušárna, exsikator se sikařem.

**Postup:** Vzorek pro stanovení sušiny, který má 10 g, se navažuje současně s navážkou pro rozbor. Sušení minerálních vzorků se provádí v horkovzdušné troubě při 105 °C. Vzorky s vysokým obsahem organické hmoty (zahradnické zeminy, zrašeliněné horizonty) při 60 °C do konstantní hmotnosti.

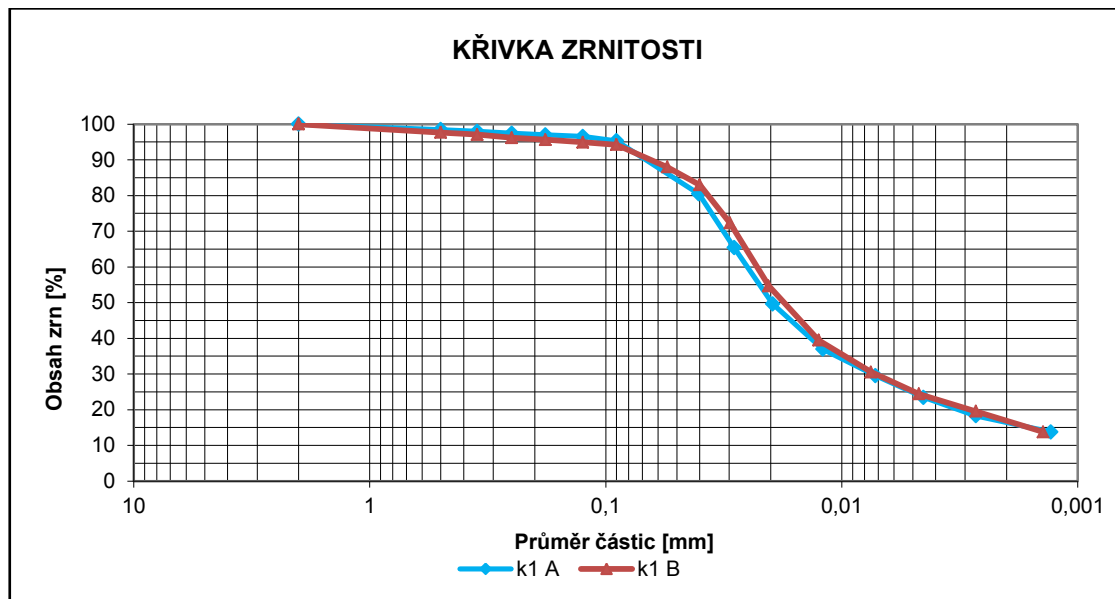
**Poznámky:** Přepočítání navážky vzorku půdy na sušinu se používá u všech metod, kde nelze navažovat vysušený vzorek (předchozí vysušení by ovlivnilo přesnost stanovení). [3]

## 2.4 Výsledky měření

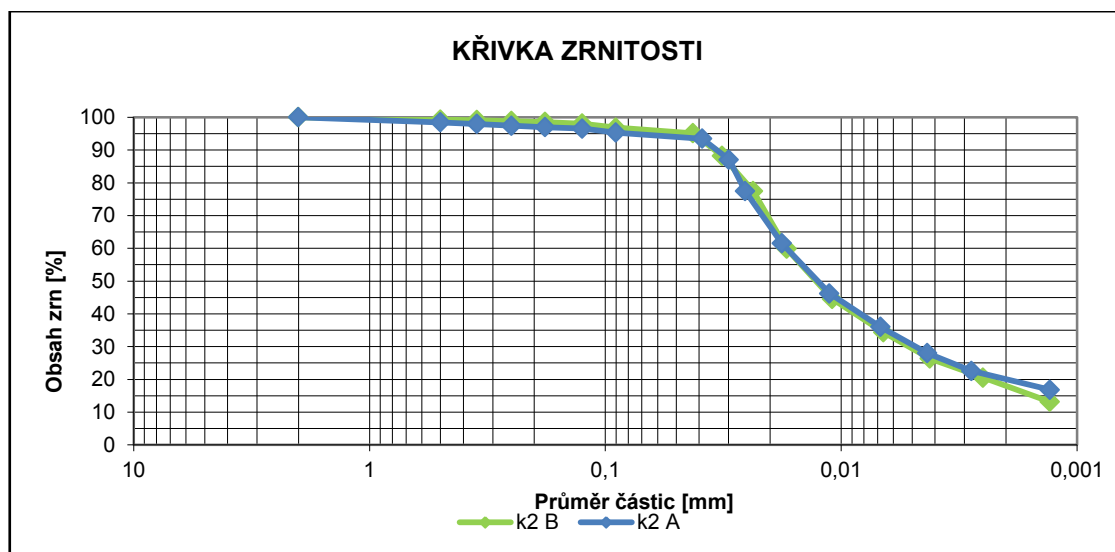
Vzorky půdy byly odebírány ze dvou míst, a to z místa k1 a k2. (viz kapitola 2.1.6. Informace o lokalitě). Odběry byly prováděny vždy z jednoho místa z hloubky 0 - 10 cm v deseti opakováních. Vzorky se odebíraly ve vegetačním období pětkrát, a to v dubnu (22.4), červnu (5.6), červenci (18.7), srpnu a září (7.9) roku 2016. První odběr byl proveden 22.dubna 2016, pak následovaly odběry 5.června 2016, 18.července 2016, 15.srpna 2016 a poslední 7.září 2016. Ve většině případů byla zemina dostatečně vlhká, aby šel provést odběr bez porušení vzorků. Poslednímu odběru v září předcházelo několik týdnů bez srážkového úhrnu, proto jsou některé výsledky měření tímto ovlivněny.

### 2.4.1 Zrnitostní rozbor

Zrnitostní rozbor byl proveden podle metod zmíněných v kapitole 1.2.1. Pro stanovení jednotlivých zrnitostních frakcí bylo využito síťového rozboru a hustoměrné metody podle Casagrandeho. Všechny naměřené hodnoty jednotlivých metod jsou uvedeny v příloze č. 1. Výsledky zrnitostních rozborů se použily ke stanovení zrnitostních křivek. Na svislici grafu zrnitostní křivky se vynášejí obsah zrn v hmotnostních procentech, na vodorovnou osu se vynášejí průměry zrn půdy. Grafické znázornění se provádí v semilogaritmické stupnici. Ze zrnitostních křivek lze odečíst zastoupení kterékoliv frakce. Pro každé místo odběru byly provedeny dva zrnitostní rozborů půdy (A, B) s ohledem na posouzení věrohodnosti výsledků. Na obrázku 2.4-1 jsou znázorněny obě zrnitostní křivky pro místo odběru k1. Je z nich patrné, že se liší pouze nepatrně. Zrnitostní křivky pro odběrné místo k2 jsou uvedeny na obrázku 2.4-2, obě křivky jsou téměř totožné.



Obr. 2.4-1 Zrnitostní křivky pro odběrné místo k1



Obr. 2.4-2 Zrnitostní křivky pro odběrné místo k2

Na základě zrnitostního rozboru půdy byla provedena klasifikace půdy dle Nováka a trojúhelníkového diagramu USDA. Oba systémy jsou uvedeny v teoretické části práce. Z výsledků je patrné, že se jedná o stejný půdní druh, ale s odlišným zastoupením částic menších než 0,01mm.

Tab. 2.4-1 Klasifikace půd podle Nováka

Odběrné místo	Obsah částic < 0.01 mm (%)	Označení půdního druhu	Základní půdní druh
k1 A	35.10	hlinitá	střední půda
k1 B	34.98	hlinitá	střední půda
k2 A	43.70	hlinitá	střední půda
k2 B	42.44	hlinitá	střední půda

Tab. 2.4-2 Klasifikace půd podle trojúhelníkového diagramu

Odběrné místo	Jíl (%)	Prach (%)	Písek (%)	Označení půdního druhu
k1 A	18,1	65,3	16,6	prachovitá hlína
k1 B	19,5	66,8	13,6	prachovitá hlína
k2 A	27,7	66,1	6,2	prachovitá hlína
k2 B	20,2	75,2	4,6	prachovitá hlína

#### 2.4.2 Základní rozbor neporušeného půdního vzorku

Všechny postupy pro tyto rozborů jsou popsány výše v kapitole 1.1.3. Jsou zde uvedeny i výpočty jednotlivých veličin. Výsledky všech naměřených veličin a výpočtů jsou uvedeny v příloze č. 2. V tabulce 2.4-3. jsou uvedeny průměrné hodnoty všech výsledků pro jednotlivé fyzikální vlastnosti. Průměry jsou uvedeny pro všechny odběry (duben, červen, červenec, srpen a září 2016).

Tab. 2.4-3 Výsledné průměrné hodnoty vybraných fyzikálních vlastností pro odběr k1 a k2

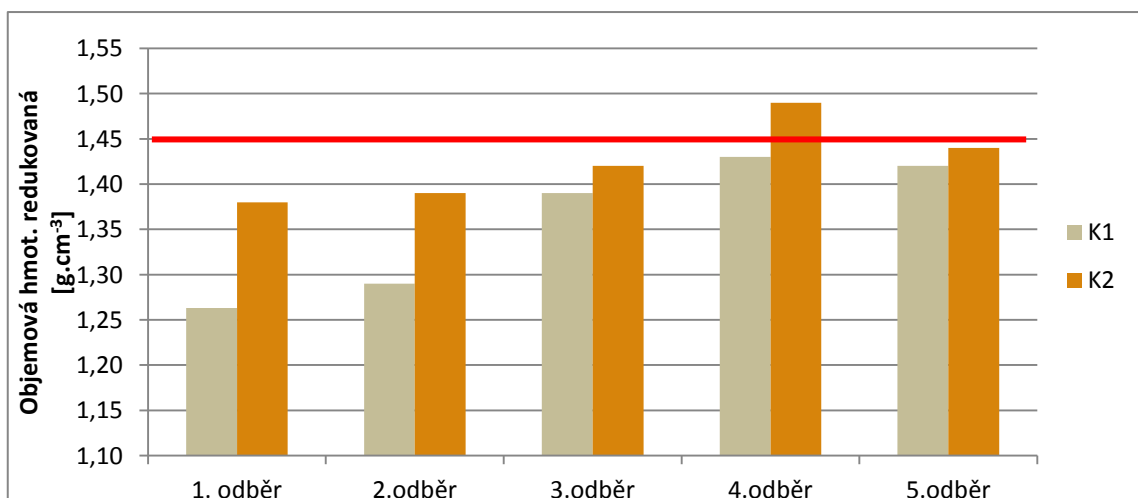
Šumvald k1		Jednotlivé odběry				
		1. odběr 22.4.2016	2.odběr 5.6.2016	3.odběr 18.7.2016	4.odběr 15.8.2016	5.odběr 7.9.2016
Fyzikální vlastnosti						
objemová hm. redukována $\rho_d$	[g·cm <sup>-3</sup> ]	1.26	1.29	1.39	1.43	1.420
momentální vlhkost $\theta$	[%obj.]	26.37	25.48	26.99	27.01	7.00
nasákivost $\theta_{NS}$	[%obj.]	37.48	38.37	38.71	38.85	32.01
30'vlhkost $\theta_{30}$	[%obj.]	34.13	34.80	35.67	36.40	27.93
max. vodní kapacita $\theta_{KMK}$	[%obj.]	31.18	31.99	33.28	34.24	25.22
retenční vodní kapacita $\theta_{RK}$	[%obj.]	26.21	25.87	26.97	28.74	16.40
pórovitost $P$	[%obj.]	51.42	50.39	47.68	45.92	47.32
kapilární póry $P_K$	[%obj.]	26.21	25.87	26.97	28.74	16.40
semikapilární póry $P_S$	[%obj.]	7.92	8.93	8.70	7.66	11.53
nekapilární póry $P_N$	[%obj.]	17.29	15.59	12.01	9.52	19.39
provzdušenost $V_Z$	[%obj.]	25.05	24.91	20.70	18.92	40.32
max. kap. vzdušná kapacita $K_{MKKVZ}$	[%obj.]	20.24	18.40	14.40	11.68	22.09
retenční vzdušná kapacita $K_{RVK}$	[%obj.]	25.21	24.52	20.71	17.19	30.92

Šumvald k2		Jednotlivé odběry				
		1. odběr 22.4.2016	2.odběr 5.6.2016	3.odběr 18.7.2016	4.odběr 15.8.2016	5.odběr 7.9.2016
Fyzikální vlastnosti						
objemová hm. redukována $\rho_d$	[g·cm <sup>-3</sup> ]	1.38	1.39	1.42	1.49	1.44
momentální vlhkost $\theta$	[%obj.]	30.68	26.68	29.37	30.57	13.95
nasákivost $\theta_{NS}$	[%obj.]	32.42	35.62	36.28	35.48	29.68
30'vlhkost $\theta_{30}$	[%obj.]	31.62	33.19	34.38	34.71	28.11
max. vodní kapacita $\theta_{KMK}$	[%obj.]	30.52	32.02	31.05	33.46	27.29
retenční vodní kapacita $\theta_{RK}$	[%obj.]	30.15	27.53	28.84	29.08	21.39
pórovitost $P$	[%obj.]	47.75	47.53	46.39	43.65	45.56
kapilární póry $P_K$	[%obj.]	30.15	27.53	28.84	29.08	21.39
semikapilární póry $P_S$	[%obj.]	1.48	5.65	5.54	5.63	6.72
nekapilární póry $P_N$	[%obj.]	16.13	14.34	12.01	8.94	17.45
provzdušenost $V_Z$	[%obj.]	17.07	20.85	17.02	13.09	31.61
max. kap. vzdušná kapacita $K_{MKKVZ}$	[%obj.]	17.23	15.51	15.34	10.19	18.27
retenční vzdušná kapacita $K_{RVK}$	[%obj.]	17.61	20.00	17.55	14.57	24.17

### 2.4.2.1 Objemová hmotnost reduková

Objemová hmotnost reduková vypovídá o kyprosti nebo ulehlosti půdy. Z průměrných hodnot objemových hmotností pro odběrné místo k1 je patrné, že tato hodnota měla téměř vzrůstající tendenci, pohybovala se od 1,26 po 1,42 g.cm<sup>-3</sup>. U čtvrtého odběru dosáhla objemová hmotnost maxima a to 1,43 g.cm<sup>-3</sup>. U druhého odběrného místa k2 měla objemová hmotnost reduková opět stoupající tendenci, kdy se hodnoty pohybovaly od 1,38 po 1,44 g.cm<sup>-3</sup>. Jak u odběrného místa k1, tak i tady bylo maxima dosaženo při čtvrtém odběru v srpnu, kdy tato hodnota dosáhla až 1,49 g.cm<sup>-3</sup>. Všechny tyto průměrné hodnoty jsou vyneseny v sloupcovém grafu (obrázek 2.4-4), kde je vyznačena i kritická hodnota pro hlinité půdy (podle Lhotského), která činí 1,45 g.cm<sup>-3</sup>. Kritická hodnota byla překročena pouze jednou, a to na druhém odběrném místě k2 při srpnovém odběru. V tomto měsíci byla dosažena maximální hodnota objemové hmotnosti redukové i u odběrného místa k1. K ulehlosti půdy došlo v důsledku pojezdů techniky po poli (hnojení, hubení škůdců). Proto je patrná i vzrůstající tendence, kdy se v rámci těchto pojezdů půda postupně utužovala během vegetačního období.

Podle objemové hmotnosti lze hodnotit strukturní stav humusového horizontu, viz tabulka 1.1-9. U prvního odběrného místa k1 byl v prvních třech odběrech strukturní stav humusového horizontu dobrý ( $\rho_d = 1,2 - 1,4 \text{ g.cm}^{-3}$ ). U odběrů v srpnu a září dosáhla tato hodnota stavu nevyhovujícího ( $\rho_d = 1,4 - 1,6 \text{ g.cm}^{-3}$ ). Pro druhé odběrné místo k2 byl tento stav dobrý pouze pro první dva odběry, pak byl hodnocen jako nevyhovující.



Obr. 2.4-3 Průběh průměrných objemových hmotností pro obě odběrná místa (červeně vyznačena kritická hodnota)

### 2.4.2.2 Měrná hmotnost zeminy

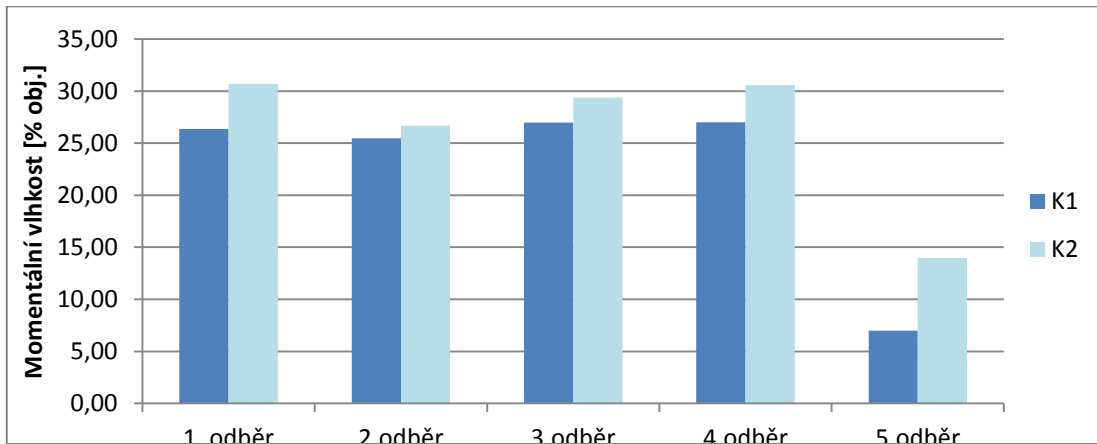
K určení měrné hmotnosti byla použita metoda stanovení ve vodních pyknometrech. Hodnoty pyknometrických měření jsou uvedeny v tabulce 2.4-4. Měrná hmotnost zeminy pro místo k1 vyšla  $2,65 \text{ g.cm}^{-3}$ , pro místo k2 je měrná hmotnost zeminy  $2,64 \text{ g.cm}^{-3}$ . Výsledky u obou odběrných míst se výrazně neliší.

Tab. 2.4-4 Stanovení měrné hmotnosti zeminy

Datum odběru	Lokalita	Číslo sondy	Hloubka cm	Hmotnost sušiny $m_s$ g	Pyknometr		Hmotnost vytlačené vody $m_v$ g	Měrná hmotnost $\rho_s$ $\text{g.cm}^{-3}$	Průměr $\text{g.cm}^{-3}$	
					Číslo	Hmotnost				
						s vodou $m_1$ g				s vodou a zeminou $m_2$ g
				1		2	3	$4=1+2-3$	$5=1/4$	
5.6.2016	Šumvald	k2	10	9.85	92	137.6	143.7	3.75	2.63	2.64
5.6.2016	Šumvald	k2	10	9.85	65	136.83	142.97	3.71	2.65	
5.6.2016	Šumvald	k1	10	9.92	76	135.15	141.33	3.74	2.65	2.65
5.6.2016	Šumvald	k1	10	9.92	66	136.79	142.96	3.75	2.65	

### 2.4.2.3 Momentální vlhkost

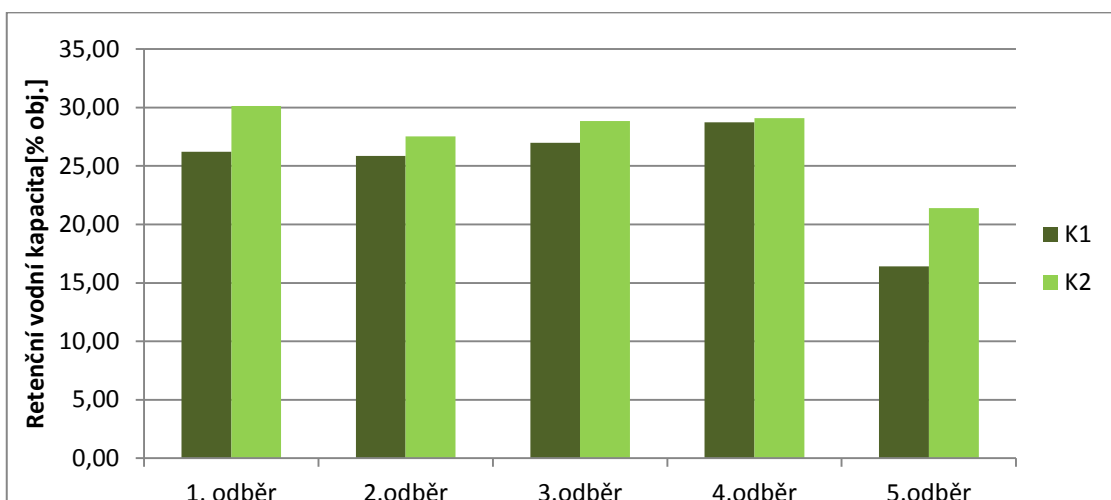
Momentální vlhkost půdy je vlhkost půdy v okamžiku odběru vzorku. Všechny hodnoty momentálních vlhkostí jsou uvedeny v příloze č. 2. Průměrné hodnoty momentální vlhkosti jsou uvedeny v tabulce 2.4-3. Pro odběrné místo k1 se hodnoty pro první čtyři odběry výrazně nelišily, pohybovaly se v intervalu mezi 25 - 27 % obj. V posledním odběru (září 2016) se tato hodnota výrazně liší a je velmi nízká - 7 % obj. Tato hodnota odráží delší období bez srážkových úhrnů. U odběrného místa k2 jsou hodnoty velice podobné. V prvních čtyřech odběrech se pohybují v intervalu 26 – 30 % obj, u posledního výjezdu je hodnota opět nižší, a to 13,95 %. Výsledky momentální vlhkosti odráží úhrny srážek z předcházejících období.



Obr. 2.4-4 Průběh průměrných momentálních vlhkostí pro obě odběrná místa

#### 2.4.2.4 Retenční vodní kapacita

Retenční vodní kapacita představuje maximální množství vody, které je půda schopna trvaleji zadržet kapilárními silami. Retenční vodní kapacitu lze ztotožnit s kapilárními póry. Průměrné hodnoty retenční vodní kapacity jsou uvedeny v tabulce 2.4-3. U prvního místa odběru se pohybovaly hodnoty v rozmezí 16,40 až 28,74 % obj. Minima bylo dosaženo v posledním odběru v září 2016, ostatní předešlé odběry měly retenční vodní kapacitu podobnou. Pro odběrné místo k2 vyšly tyto hodnoty nepatrně vyšší, a to v rozmezí 21,39 – 30,15 % obj. Podobně jako u k1 bylo minima dosaženo u pátého odběru. Průběh průměrných retenčních vodních kapacit je uveden v tabulce 2.4-6. Podrobné hodnoty pro jednotlivé odběry jsou uvedeny v příloze č. 2.



Obr. 2.4-5 Průběh průměrných retenčních vodních kapacit pro obě odběrná místa

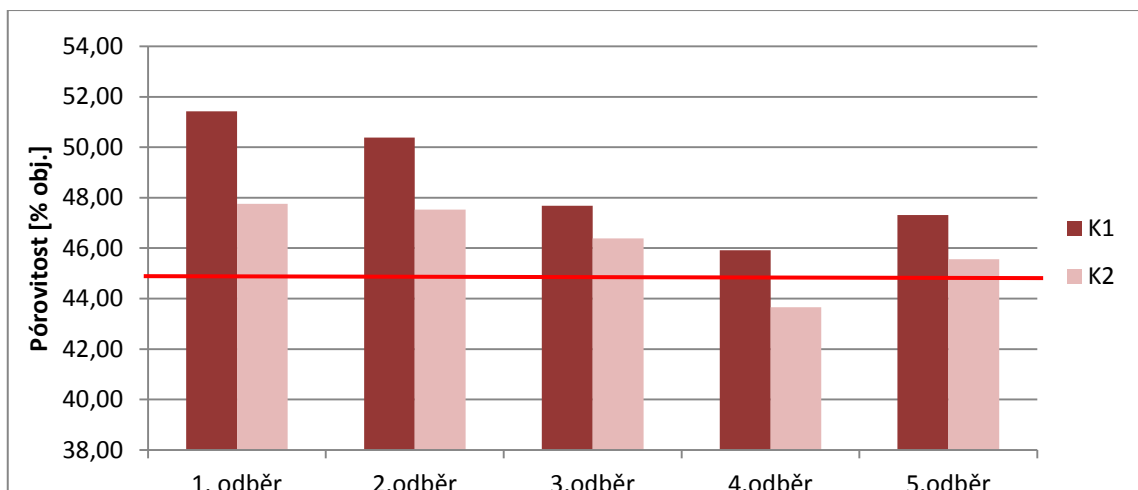
Z výše uvedeného grafu je patrné, že se průběh retenční vodní kapacity v průběhu roku výrazně neliší, pouze při posledním odběru je tato hodnota o něco nižší

než ostatní, což je ovlivněno téměř nulovým množstvím srážek v předcházejícím období.

#### 2.4.2.5 Pórovitost

Pórovitost vyjadřuje objem volných prostor nezaplňených tuhou fází, podrobnější informace jsou uvedeny v teoretické části v kapitole 1.1.3.4. Průběh pórovitosti pro průměrné hodnoty obou odběrných míst je uveden na obrázku 2.4-6. Hodnoty pórovitosti pro první odběrné místo měly klesající trend, pouze při posledním odběru tato hodnota mírně vzrostla. Rozmezí, ve kterém se pórovitost pohybovala, bylo cca 45 – 52 % obj. Minima bylo dosaženo u čtvrtého odběru, po celou dobu sledování nebyly překročeny kritické hodnoty. Podobně tomu bylo i u odběrného místa k2, kdy hodnoty pórovitosti během roku klesaly a pohybovaly se mezi 43 – 48 % obj. Kritická hodnota byla překročena u čtvrtého odběru, kdy klesla pod 45 % obj. (Tab. 1.1-11 Kritické hodnoty pórovitosti podle Lhotského).

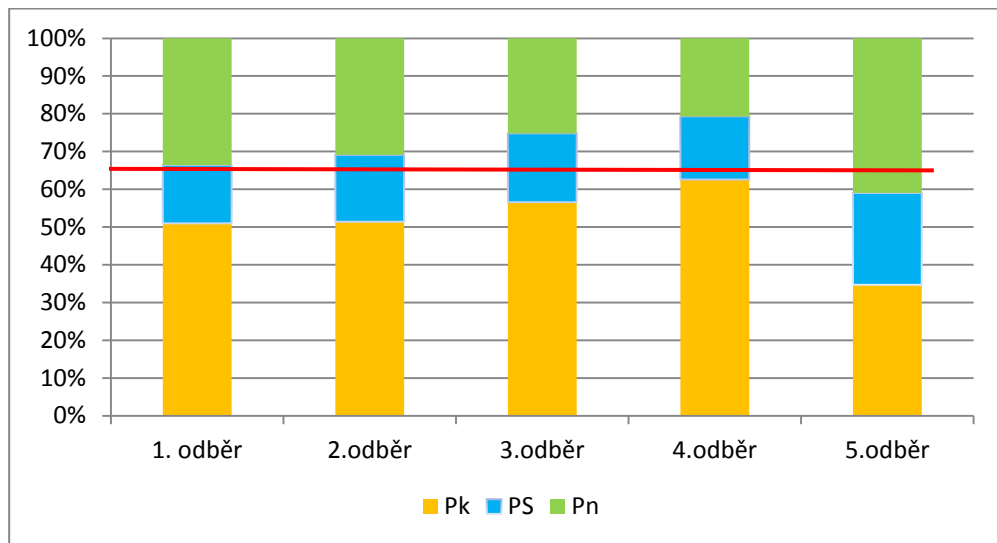
Z pórovitosti lze určit i ulehlost půdy pomocí klasifikace půd dle pórovitosti podle Bretfelda. Pro první místo k1 je půda označena jako ulehlá (pro pórovitost 45 -55 %). Pro odběrné místo k2 se zprvu jedná o půdu ulehlou a následně velmi ulehlou (pórovitost menší než 45 %). Průběh pórovitosti pro průměrné hodnoty obou odběrných míst je uveden na obrázku 2.4-6.



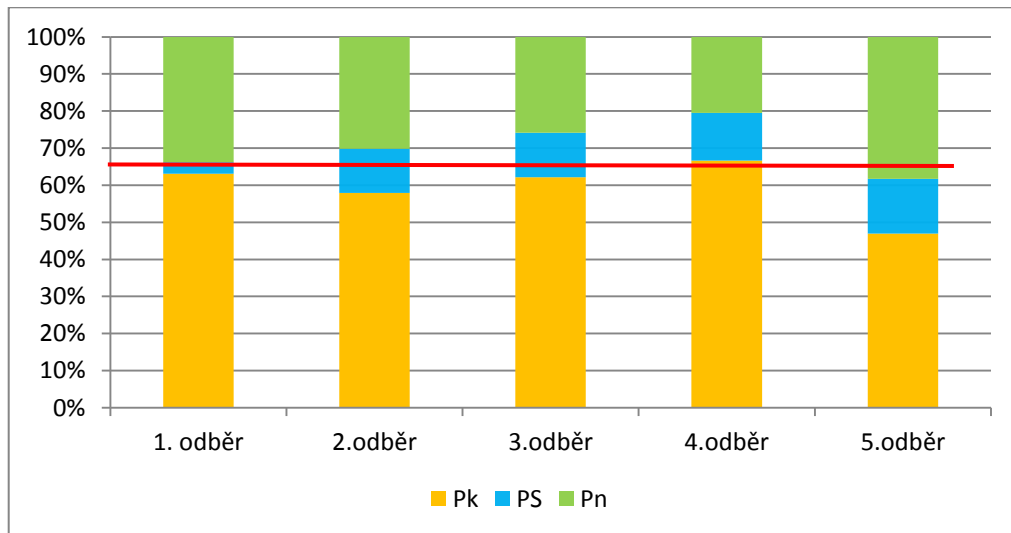
Obr. 2.4-6 Průběh průměrných pórovitostí pro obě odběrná místa (červeně vyznačena kritická hodnota)

Celkovou pórovitost musíme znát s ohledem na zastoupení jednotlivých druhů pórů, kdy se pak dá posoudit retenční schopnost i propustnost půdy. Na základě vztahu pórů a vody se póry dělí na kapilární, semikapilární a nekapilární. Optimální zastoupení

kapilárních pórů v půdě by mělo být asi 2/3 z pórovitosti. Zbylá 1/3 by měla být rovnoměrně rozdělena mezi póry semikapilární a nekapilární. Na obrázcích níže je uvedeno zastoupení jednotlivých pórů pro obě odběrná místa. Z těchto grafů je patrné, že obě odběrná místa měly téměř totožné zastoupení pórů během sledovaného období. Optimálnímu zastoupení odpovídá pouze čtvrtý odběr, kdy 2/3 (červenou čarou vyznačeny 2/3 zastoupení) mají zastoupení kapilární póry a zbylá 1/3 je rovnoměrně rozdělena mezi póry semikapilární a nekapilární.



Obr. 2.4-7 Zastoupení pórů pro odběrné místo k1 (červeně vyznačeny 2/3 zastoupení)



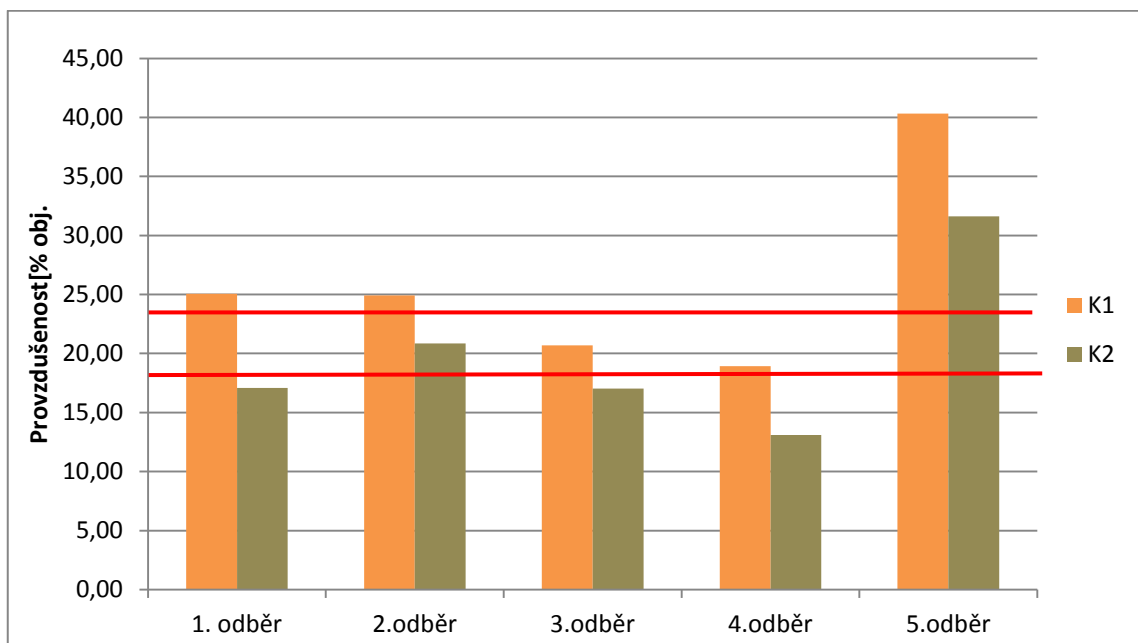
Obr. 2.4-8 Zastoupení pórů pro odběrné místo k2 (červeně vyznačeny 2/3 zastoupení)

Nadbytečné zastoupení kapilárních pórů znesnadňuje vnikání vody do půdy. Půda proto infiltruje malé množství vody, srážky jsou zcela nevyužity k vsakování, tudíž se zvyšuje povrchový odtok s nebezpečím eroze. Tento problém se v této situaci

nevyskytl, naopak při pátém odběru bylo zastoupení kapilárních pórů podprůměrné. Tento stav byl způsoben příliš velkým suchem v předcházejícím měsíci.

#### 2.4.2.6 Provdzušenost

Provdzušenost půdy  $V_z$  představuje okamžitou provdzušenost (objem vzduchu v půdě) v době odběru vzorku. Pro odběrné místo k1 se  $V_z$  pohybovala v rozmezí 18,9 – 40,3 %. U odběrného místa k2 bylo toto rozmezí 13,1 – 31,6 %. Z kapitoly 1.1.3.5. víme, že provdzušenost v orničních horizontech by se měla pohybovat v rozmezí 18 – 24 % obj. a neměla by klesnout pod 10 % obj. Z obrázku 2.4-9 je patrné, že optimální provdzušenost byla dosažena u místa k1 u třetího a čtvrtého odběru. Pro odběrné místo k2 bylo optima dosažena pouze u odběru číslo 3. Z grafu je patrné, že v obou případech byla optimální provdzušenost u pátého odběru výrazně překročena. Póry byly vyplněny více vzduchem než vodou, kvůli velkému suchu při tomto posledním odběru.



Obr. 2.4-9 Průběh provdzušenosti v jednotlivých odběrných místech (červeně vyznačeno optimální rozmezí)

#### 2.4.3 Hodnoty pH

Stanovení reakce půdy bylo provedeno potenciometricky (viz kapitola 1.2.1 Reakce půdy). Pro odběrné místo k1 se hodnoty pH pohybovaly v intervalu 7,1 – 8,0, jedná se tedy o slabě alkalickou půdu. Minimální hodnota pH činila 7,28 a maximální 7,55. Obdobně tomu bylo i u odběrného místa k2, kde se také jednalo o půdu slabě

alkalickou. Minimální hodnota pH byla naměřena u prvního odběru, kdy činila 7,26 a maximální hodnota 7,42 naměřena u druhého odběru.

Tab. 2.4-5 Výsledné hodnoty pH

Šumvald 2016	Odběrné místo	pH				
		1. odběr 22.4.2016	2. odběr 5.6.2016	3. odběr 18.7.2016	4. odběr 15.8.2016	5. odběr 7.9.2016
	k1	7,28	7,50	7,51	7,48	7,55
k2	7,26	7,42	7,37	7,34	7,38	

#### 2.4.4 Půdní uhličitany

Množství uhličitánů v půdě bylo určeno pomocí objemové metody pro stanovení obsahu  $\text{CaCO}_3$  pomocí Jankova vápnoměru. Postup metody je uveden v kapitole 1.2.2, jsou zde uvedeny hodnoty pro klasifikaci obsahu  $\text{CaCO}_3$ . Z množství uvolněného  $\text{CO}_2$  byl určen obsah uhličitanu vápenatého. Naměřené hodnoty obsahu uhličitanu vápenatého jsou uvedeny v tabulce 2.4-6.

Tab. 2.4-6 Obsah  $\text{CaCO}_3$  (stanovení pomocí Jankova vápnoměru)

Šumvald 2016	Odběrné místo	Obsah $\text{CaCO}_3$ (%)				
		1. odběr 22.4.2016	2. odběr 5.6.2016	3. odběr 18.7.2016	4. odběr 15.8.2016	5. odběr 7.9.2016
	k1	0,28	0,32	1,05	0,20	0,30
k2	0,35	0,35	0,17	0,25	0,30	

Pro hodnoty obsahu  $< 0,3$  % řadíme podle klasifikace tyto půdy do skupiny bezvápnitých. Z naměřených hodnot je patrné, že z odběrného místa k1 byla půda klasifikována v prvním a čtvrtém odběru jako bezvápnitá, u odběrného místa k2 byly půdy bezvápnité v červenci a srpnu. Hodnoty obsahu  $\text{CaCO}_3$  mezi 0,3 až 3,0 % se označují jako slabě vápnité, což představovaly všechny zbylé odběry. Vyšší hodnoty než 3,0 % se v tomto případě nevyskytovaly. Ve vzorku z třetího odběru místa k1 vyšla hodnota obsahu několikanásobně vyšší než u ostatních měření, proto bylo provedeno

opakované měření, které potvrdilo tuto hodnotu - 1,05 % CaCO<sub>3</sub>. Tento rozdíl mohl být způsoben tím, že byl vzorek odebrán v místě, kde se nacházely zbytky po hnojení.

#### 2.4.5 Obsah humusu

Obsah humusu byl proveden pomocí metodiky žiháním za sucha, která je podrobněji uvedena v teoretické části práce (kapitola 1.2.3 Obsah humusu). Pro odběrné místo k1 se hodnoty pohybovaly v intervalu 3,91 – 4,08 %. Podle hodnocení pro středně těžké půdy, lze tyto půdy označit za středně humózní (2 – 5 %). U odběrného místa k2 se naměřené hodnoty pohybovaly v rozmezí 4,43 – 5,39 %. Pouze u pátého odběru se jednalo o půdu středně humózní. Předěšlé čtyři odběry měly hodnoty obsahu humusu vyšší jak 5 %, půdy lze klasifikovat jako silně humózní.

Tab. 2.4-7 Výsledné hodnoty obsahu humusu

Šumvald 2016	Odběrné místo	Obsah humusu (%)				
		1. odběr 22.4.2016	2. odběr 5.6.2016	3. odběr 18.7.2016	4. odběr 15.8.2016	5. odběr 7.9.2016
	k1	4,06	4,03	4,08	3,95	3,91
k2	5,39	5,38	5,35	5,33	4,43	

Po celou dobu odběrů se v půdě vyskytovalo značné množství půdního edafonu – zejména žížal, proto bylo v půdních vzorcích velké množství preferenčních cest. Žížala je v zemědělství považována za pomocníka, který zdarma zlepšuje kvalitu půdy. Živí se organickým materiálem, jako jsou rostlinné zbytky či chlévský hnůj, pečlivě zpracovávají půdu, zlepšují dostupnost živin pro rostliny a podporují růst rostlin. Jejich exkrementy jsou důležitým stavebním materiálem pro půdní agregáty. Dobrá půdní struktura přispívá k dostatečnému obsahu vody, vzduchu a živin a poskytuje prostor pro kořeny a půdní organismy. [17]

#### 2.4.6 Salinita půdy

Obsah rozpustných solí v půdě byl stanoven na základě elektrické vodivosti (viz kapitola 1.2.7 Salinita půdy). Hodnoty vodivosti pro obě odběrná místa byly bez výrazných rozdílů, pohybovaly se v rozmezí 0,14 – 0,24 mS.cm<sup>-1</sup>. Z tabulky pro

hodnocení salinity půdy je patrné, že až do hodnoty  $0,7 \text{ mS.cm}^{-1}$  se jedná o půdy nezasolené.

Šumvald 2016	Odběrné místo	Vodivost ( $\text{mS.cm}^{-1}$ )				
		1. odběr 22.4.2016	2. odběr 5.6.2016	3. odběr 18.7.2016	4. odběr 15.8.2016	5. odběr 7.9.2016
	k1	0,18	0,19	0,21	0,24	0,18
k2	0,16	0,14	0,16	0,20	0,15	

### 3 Závěr

Tato práce hodnotí kvalitu půdy s klasickým způsobem zpracování v blízkosti obce Šumvald v Olomouckém kraji. Na základě naměřených hodnot bylo zhodnoceno, jak a zda se mění kvalita půdy ve vegetačním období při pěstování širokořádkové plodiny (curovka) u hnědozemě a nivní půdy-fluvizemě. Ze zrnitostního rozboru je patrné, že se v obou případech jedná o půdy středně těžké, a to hlinité. Ze zjištěných výsledků objemové hmotnosti redukované je patrný trend postupného vzestupu ulehlosti během vegetačního období, přičemž nižší hodnoty jsou patrné u k1. Také z výsledků pórovitosti lze nepřímo posuzovat ulehlost půdy. U prvního odběrného místa k1 byla půda vyhodnocena jako ulehlá ( $P = 45 - 52 \%$  obj.), u druhého místa k2 jako ulehlá až velmi ulehlá (byla překročena kritická hodnota pórovitosti,  $P = 43 - 48 \%$  obj.). K postupnému zvyšování ulehlosti půdy nejspíš došlo v důsledku pojezdů zemědělské techniky po poli (hnojení, hubení škůdců). Vodní charakteristiky, jako je například momentální vlhkost nebo retenční vodní kapacita, se u obou odběrných míst výrazně neliší, pohybují se v rozmezí  $25 - 30 \%$  obj. pouze u posledního odběru se výrazně liší a dosahují minimální hodnoty ( $\Theta_{MKK} = 7 - 13 \%$  obj.,  $\Theta_{RVK} = 15 - 21 \%$ ), což bylo způsobeno bezdeštným obdobím. Tento fakt ovlivnil i výsledky provzdušenosti, které se u posledního odběru výrazně lišily, provzdušenost zde dosáhla až  $40 \%$  obj. Stanovení reakce půdy bylo provedeno potenciometricky a vyšlo, že se u obou odběrných míst jedná o slabě alkalické půdy ( $\text{pH} = 7,28 - 7,55$ ). Co se týče dalších indikátorů kvality, bylo zjištěno, že se jedná o půdy nezasolené (vodivost se pohybovala v rozmezí  $0,14 - 0,24 \text{ mS.cm}^{-1}$ ) a středně humózní (obsah humusu se pohyboval v intervalu  $3,9 - 5,4 \%$ ).

Z výsledků pro zjištění uhličitánů v půdě bylo určeno, že se jedná o bezvápnité až slabě vápnité půdy.

K tomu aby se stav kvality půdy zlepšoval, je zapotřebí, aby zemědělské postupy byly co nejšetrnější k našemu životnímu prostředí. Mělo by být v zájmu každého poctivého zemědělce kvalitu půdy sledovat a snažit se ji napravovat. Je důležité porovnat, které technologické úpravy půdy jsou pro kvalitu půdy výhodnější. Je zapotřebí posoudit zda je zapotřebí půdu pojíždět těžkou zemědělskou technikou (snížením infiltrační schopnosti půdy se zvyšuje riziko vodní eroze a povodní). V dnešní době je spíše v zájmu zemědělců finanční výnos než zájem o kvalitní půdu. Proto můžeme vidět, jak je na polích několik let po sobě zasetá kukuřice, protože finanční výnos z bioplynových stanic je výhodnější. Tuto situaci by bylo možné řešit vhodnou legislativou a jejím přísným respektováním.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] KAMENÍČKOVÁ, Ivana. Vodní hospodářství krajiny I-M02 Pedologie, Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, VUT FAST v Brně, 2005.
- [2] ŠÁLEK, Jan. Půdní hospodářství. Brno: Vysoké učení technické, 1985.
- [3] KAMENÍČKOVÁ, Ivana. Návody do cvičení (VHK) Hydropedologie, Studijní opory pro studijní programy s prezenční formou studia. VUT FAST v Brně, 2013.
- [4] JANDÁK, Jiří. *Cvičení z půdoznalství*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2003. ISBN 80-7157-733-2.
- [5] VALIŠ, Stanislav a Jan ŠÁLEK. Hydropedologické praktikum: určeno pro posl. fak. stavební. 3., přeprac. vyd. Brno: VUT, 1976. Učební texty vysokých škol.
- [6] SÁŇKA, Milan a Jan MATERNA. Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. *Planeta 2004*, roč. XII, č. 11. ISSN 1213-3393.
- [7] Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku: metodická pomůcka, *eAGRI* [online]. 2007 [cit.2016-12-11]. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/26922/Hodnoceni\\_kvality\\_pudy.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/26922/Hodnoceni_kvality_pudy.pdf)
- [8] ŠIMEK, Miloslav. *Základy nauky o půdě*. 2., upr a rozš. Vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Biologická Fakulta, 2005. ISBN 80-7040-747-6.
- [9] Nahlížení do katastru nemovitostí, *čÚZK* [online]. 2016 [cit.2016-12-12]. Dostupné z: <http://sgi.nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&&MarQueryId=6D2BCEB5&MarQParam0=764515&MarQParamCount=1&MarWindowName=Marushka>
- [10] MapoMat. *Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky*. [online]. 2016 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://mapy.nature.cz/>
- [11] Zpracování půdy. *BEDNAR Farm machinery*. [online]. 2016 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://www.bednar-machinery.com/cz/produkty/detail/257/swifter-so>
- [12] Galerie. *FARMWEB.CZ*. [online]. 2016 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: [http://www.farmweb.cz/index.php?page=view\\_image&id=MTQ0MVgyOTAzNVgzMzQzNTI=#skok](http://www.farmweb.cz/index.php?page=view_image&id=MTQ0MVgyOTAzNVgzMzQzNTI=#skok)
- [13] Principy hodnocení vybraných ukazatelů kvality půdy. *Mendelova univerzita v Brně*. [online]. 2016 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: [http://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty2/vseo/print.php?page=5054&typ=html](http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=5054&typ=html)

- [14] Odběr neporušených vzorků do Kopeckého válečku. *Ekotechnika*. [online]. 2016 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://www.ekotechnika.cz/sada-24-pudnich-valecku?kat=Odber-neporusenych-vzorku-do-kopeckeho-valecku>
- [15] eKatalog BPEJ. *Geoportál SOWAC.GIS*. [online]. 2016 [cit. 2016-12-19]. Dostupné z: <http://bpej.vumop.cz>
- [16] Stanovení rozpustných solí na základě elektrické vodivosti. *Laboratorní výuka z výživy rostlin*. [online]. 2017 [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: [http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/laborator/index.php?N=1&I=3&J=7&K=2](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/laborator/index.php?N=1&I=3&J=7&K=2)
- [17] Žížaly a jejich význam pro zlepšování kvality půdy. *OCHRANA PŮDY*. [online]. 2017 [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://www.ochrana-pudy.cz/hrozby-pro-pudu/zizaly-a-jejich-vyznam-pro-zlepsovani-kvality-pudy/2016/11/27/>

## Seznam použitých symbolů

$v$	...sedimentační rychlost [ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
$g$	...tíhové zrychlení [ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-2}$ ]
$\rho_z$	...hustota částecek [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]
$\rho_0$	...hustota disperzního prostředí (vody při dané teplotě) [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]
$\eta$	...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]
$G_A$	... vzorek s přirozenou vlhkostí [g]
$G_B$	... vzorek kapilárně nasycený [g]
$G_C$	... vzorek po 30' odsávání [g]
$G_D$	... vzorek po 2 hodinách odsávání [g]
$G_E$	... vzorek po 24 hodinách odsávání [g]
$G_F$	... vzorek při vysušení při 105°C [g]
$G_H$	... čistá hmotnost vzorku po vysušení při 105°C [g]
$G_V$	... hmotnost fyzikálního válečku [g]
$G_S$	... hmotnost hodinového skla [g]
$N_S$	... navážka pro stanovení zdánlivé hustoty částic [g]
$P_V$	... hmotnost pyknometru s vodou [g]
$P_S$	... hmotnost pyknometru se zeminou [g]

$V_S$	... objem válečku [ $\text{g.cm}^{-1}$ ]
$\rho_d$	... objemová hmotnost redukována [ $\text{g.cm}^{-3}$ ]
$\theta$	...momentální vlhkost [% obj.]
$\theta_{NS}$	...nasáklivost [% obj.]
$\theta_{30}$	...30' vlhkost [% obj.]
$\theta_{KMK}$	...maximální vodní kapacita [% obj.]
$\theta_{RK}$	...retenční vodní kapacita [% obj.]
$P$	...pórovitost [% obj.]
$P_K$	...kapilární póry [% obj.]
$P_S$	...semikapilární póry [% obj.]
$P_N$	...nekapilární póry [% obj.]
$V_Z$	...provzdušenost [% obj.]
$K_{MKKVZ}$	...max. kap. vzdušná kapacita [% obj.]
$K_{RVK}$	...retenční vzdušná kapacita [% obj.]
$CO_2$	...oxid uhličitý
$H^+$	...vodíkový iont
$OH$	...hydroxylový aniont
$KCl$	...chlorid draselný
$CaCO_3$	...uhličitan vápenatý
$MgCO_3$	...uhličitan hořečnatý
$NaOH$	...hydroxid sodný
$HCl$	...kyselina chlorovodíková
$pH$	...vodíkový exponent
$H$	...obsah organické hmoty [%]
$m_h$	...úbytek hmotnosti žiháním [g]
$m_s$	...hmotnost vysušené zeminy použité k rozboru [g]
$T$	...výměnná sorpční kapacita půdy [ $\text{mmol.kg}^{-1}$ ]
$S$	... momentální obsah výměnných bází [ $\text{mmol.kg}^{-1}$ ]
$V$	... stupeň sorpčního nasycení bázemi [%]
$Eh$	...oxidačně-redukční potenciál půdy [mV]
$x$	...specifická vodivost [ $\text{S.cm}^{-1}$ ]
$R$	...odpor standartního roztoku v ohmech
$k$	...odporová konstanta elektrody

## Seznam obrázků

<i>Obr. 1.1-1 Velikostní kategorie půdních minerálních částic podle nejpoužívanějších klasifikačních systémů. (zdroj Kameníčková, 2005) .....</i>	13
<i>Obr. 1.1-2 Kopeckého plavící přístroj (převzato Jandák, 2003) .....</i>	15
<i>Obr. 1.1-3 Trojúhelníkové diagramy pro stanovení druhu půdy podle obsahu jílu, prachu a písku v % hmotnostních. Systém ministerstva USA, z něho odvozený systém, který používá Taxonomický klasifikační systém půd ČR (zdroj Kameníčková, 2005) ....</i>	18
<i>Obr. 1.1-4 Rozbor neporušeného půdního vzorku (zdroj Kameníčková, 2013) .....</i>	19
<i>Obr. 1.2-1 Jankův vápnoměr (zdroj mendelu.cz) .....</i>	34
<i>Obr. 2.1-1 Zájmová lokalita Šumvald - červeně označeno pole, z kterého byly odebírány vzorky půdy (zdroj www.cuzk.cz) .....</i>	43
<i>Obr. 2.1-2 Orba pomocí otočného pluhu (zdroj www.farmweb.cz) .....</i>	46
<i>Obr. 2.1-3 Stroj pro přípravu setí SWIFTER SO 8 řádek (zdroj <a href="http://www.bednar-machinery.com">http://www.bednar-machinery.com</a>) .....</i>	46
<i>Obr. 2.1-4 Zájmová lokalita Šumvald - označena odběrná místa k1 a k2 (zdroj .....</i>	47
<i>Obr. 2.2-1 Sondážní náčiní (zdroj Šálek, 1985) .....</i>	48
<i>Obr. 2.2-2 Nástavec k odebírání vzorků do Kopeckého válečků (zdroj www.mendelu.cz) .....</i>	50
<i>Obr. 2.2-3 Kufřík s Kopeckého válečky (zdroj www.ekotechnika.cz) .....</i>	50
<i>Obr. 2.4-1 Zrnitostní křivky pro odběrné místo k1 .....</i>	53
<i>Obr. 2.4-2 Zrnitostní křivky pro odběrné místo k2 .....</i>	53
<i>Obr. 2.4-3 Průběh průměrných objemových hmotností pro obě odběrná místa (červeně vyznačena kritická hodnota) .....</i>	56
<i>Obr. 2.4-4 Průběh průměrných momentálních vlhkostí pro obě odběrná místa .....</i>	58
<i>Obr. 2.4-5 Průběh průměrných retenčních vodních kapacit pro obě odběrná místa .....</i>	58
<i>Obr. 2.4-6 Průběh průměrných pórovitostí pro obě odběrná místa (červeně vyznačena kritická hodnota) .....</i>	59
<i>Obr. 2.4-7 Zastoupení pórů pro odběrné místo k1 (červeně vyznačeny 2/3 zastoupení) .....</i>	60
<i>Obr. 2.4-8 Zastoupení pórů pro odběrné místo k2 (červeně vyznačeny 2/3 zastoupení) .....</i>	60
<i>Obr. 2.4-9 Průběh provzdušenosti v jednotlivých odběrných místech (červeně vyznačeno optimální rozmezí) .....</i>	61

## Seznam tabulek

<i>Tab. 1.1-1 Třídění struktury podle tvaru, vývinu hran a velikosti (zdroj Jandák, 2003)</i>	12
<i>Tab. 1.1-2 Klasifikace zrnitosti půd podle Nováka (zdroj Kameníčková, 2013)</i>	17
<i>Tab. 1.1-3 Zrnitostní frakce podle Kopeckého (zdroj Kameníčková, 2013)</i>	17
<i>Tab. 1.1-4 Zrnitostní frakce podle ministerstva zemědělství USA (zdroj Kameníčková, 2013)</i>	18
<i>Tab. 1.1-5 Formulář pro záznam stanovených hmotností (zdroj Kameníčková, 2013)</i>	20
<i>Tab. 1.1-6 Orientační hodnoty hustoty pro hlavní horizonty (zdroj Sáňka, Materna, 2004)</i>	22
<i>Tab. 1.1-7 Průměrné hodnoty objemové hmotnosti pro jednotlivé druhy půdy. Výsledky hodnocení programu bazálního monitoringu půd. (zdroj Sáňka, Materna, 2004)</i>	24
<i>Tab. 1.1-8 Kritické objemové hmotnosti po vysušení dle Lhotského (zdroj eagri.cz)</i>	24
<i>Tab. 1.1-9 Strukturní stav humusového horizontu (zdroj eagri.cz)</i>	24
<i>Tab. 1.1-10 Průměrné hodnoty pórovitosti zemědělských půd (zdroj Sáňka, Materna, 2004)</i>	26
<i>Tab. 1.1-11 Kritické hodnoty pórovitosti podle Lhotského (zdroj Jandák, 2003)</i>	27
<i>Tab. 1.1-12 Rozdělení půdních pórů podle velikosti a jejich typický objem a celková pórovitost v lehké, střední a těžké minerální půdě (zdroj Šimek)</i>	28
<i>Tab. 1.2-1 Hodnocení výsledků aktivní půdní reakce (zdroj Jandák, 2003)</i>	31
<i>Tab. 1.2-2 Hodnocení výsledků výměnné půdní reakce (zdroj Jandák, 2003)</i>	32
<i>Tab. 1.2-3 Klasifikace půd podle obsahu CaCO<sub>3</sub> (zdroj Šálek, 1985)</i>	35
<i>Tab. 1.2-4 Hodnocení obsahu humusu (zdroj eagri.cz)</i>	36
<i>Tab. 1.2-5 Obsah humusu v ornících našich půd (zdroj Jandák, 2003)</i>	37
<i>Tab. 1.2-6 Hodnocení výsledků celkové sorpční kapacity (zdroj Jandák, 2003)</i>	39
<i>Tab. 1.2-7 Hodnocení výsledků stupně sorpčního nasycení (zdroj Jandák, 2003)</i>	39
<i>Tab. 1.2-8 Hodnocení výsledků vodivosti (zdroj Laboratorní výuka z výživy rostlin)</i>	41
<i>Tab. 2.1-1 Charakteristika klimatických oblastí ČR dle Quitta</i>	44
<i>Tab. 2.1-2 Předplodiny (5 roků zpět) na zájmovém území (zdroj Úsovsko a.s.)</i>	46
<i>Tab. 2.4-1 Klasifikace půd podle Nováka</i>	54
<i>Tab. 2.4-2 Klasifikace půd podle trojúhelníkového diagramu</i>	54
<i>Tab. 2.4-3 Výsledné průměrné hodnoty vybraných fyzikálních vlastností pro odběr k<sub>1</sub> a k<sub>2</sub></i>	55

<i>Tab. 2.4-4 Stanovení měrné hmotnosti zeminy</i> .....	57
<i>Tab. 2.4-5 Výsledné hodnoty pH</i> .....	62
<i>Tab. 2.4-6 Obsah CaCO<sub>3</sub> (stanovení pomocí Jankova vápnoměru)</i> .....	62
<i>Tab. 2.4-7 Výsledné hodnoty obsahu humusu</i> .....	63

## Seznam příloh

<i>Příloha č. 1.1 Zrnitostní rozbor – odběrné místo k1 A</i> .....	72
<i>Příloha č. 1.2 Zrnitostní rozbor – odběrné místo k1 B</i> .....	74
<i>Příloha č. 1.3 Zrnitostní rozbor – odběrné místo k2 A</i> .....	76
<i>Příloha č. 1.4 Zrnitostní rozbor – odběrné místo k2 B</i> .....	78
<i>Příloha č. 2.1 Zápis výsledků základního rozboru neporušeného půdního vzorku – 1. odběr 22. 4. 2016, odběrné místo k1</i> .....	80
<i>Příloha č. 2.2 Zápis výsledků základního rozboru neporušeného půdního vzorku – 1. odběr 22. 4. 2016, odběrné místo k2</i> .....	81
<i>Příloha č. 2.3 Zápis výsledků základního rozboru neporušeného půdního vzorku – 2. odběr 5. 6. 2016, odběrné místo k1</i> .....	82
<i>Příloha č. 2.4 Zápis výsledků základního rozboru neporušeného půdního vzorku – 2. odběr 5. 6. 2016, odběrné místo k2</i> .....	83
<i>Příloha č. 2.5 Zápis výsledků základního rozboru neporušeného půdního vzorku – 3. odběr 18. 7. 2016, odběrné místo k1</i> .....	84
<i>Příloha č. 2.6 Zápis výsledků základního rozboru neporušeného půdního vzorku – 3. odběr 18. 7. 2016, odběrné místo k2</i> .....	85
<i>Příloha č. 2.7 Zápis výsledků základního rozboru neporušeného půdního vzorku – 4. odběr 15. 8. 2016, odběrné místo k1</i> .....	86
<i>Příloha č. 2.8 Zápis výsledků základního rozboru neporušeného půdního vzorku – 4. odběr 15. 8. 2016, odběrné místo k2</i> .....	87
<i>Příloha č. 2.9 Zápis výsledků základního rozboru neporušeného půdního vzorku – 5. odběr 7. 9. 2016, odběrné místo k1</i> .....	88
<i>Příloha č. 2.10 Zápis výsledků základního rozboru neporušeného půdního vzorku – 5. odběr 7. 9. 2016, odběrné místo k2</i> .....	89