



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

# VLIV RŮZNÝCH AGROTECHNOLOGIÍ NA FYZIKÁLNÍ KVALITU PŮDY VE VYBRANÝCH LOKALITÁCH V JIHOMORAVSKÉM KRAJI

THE EFFECTS OF DIFFERENT AGRO-TECHNOLOGIES ON THE SOIL PHYSICAL QUALITY IN SELECTED LOCALITIES IN THE SOUTH MORAVIAN REGION

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Adéla Bažantová

## 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  
PRACOVNÍŠTĚ Ústav vodního hospodářství krajiny

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT **Bc. Adéla Bažantová**  
NÁZEV **Vliv různých agrotechnologií na fyzikální kvalitu půdy ve vybraných lokalitách v Jihomoravském 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 Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

- Dexter, A.R. (2004a): Soil physical quality. Soil Tillage Res. 79, 129-130.
- Dexter, A.R. (2004b): Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density and organic matter, and effects on root growth. Geoderma 120, 201-214.
- Kameníčková, I. (2013): BS06 - Návod 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., Kuráž, V., Císlarová, M.(1993): Hydropedologie. Skriptum ČVUT, Praha.
- Kutílek, M., Nielsen, D.R. (1994): Soil Hydrology, Catena Verlag, Cremlingen-Drestedt, Germany.
- 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 vlivu různých agrotechnologií na fyzikální kvalitu svrchní vrstvy půdy, která má vliv na mnohé probíhající agronomické a environmentální procesy, tj. eroze, infiltrace a povrchový odtok, klíčení semen a časný růst, agregace, tvorbu povrchové krusty, provzdušení. V praktické části bude zhodnocen vliv různých agrotechnologií na fyzikální kvalitu svrchní vrstvy půdy (0-10 cm) ve vybraných lokalitách v Jihomoravském kraji. Kvalita (zdraví) půdy bude zhodnocena na základě vybraných hydrofyzikálních vlastností půdy (textura, objemová hmotnost, pórovitost a distribuce pórů, provzdušenost, maximální a retenční vodní kapacita, hydraulická vodivost), které budou stanoveny standardními laboratorními metodami.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

**VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:**

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

*Ivana Kameníčková*

**Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.**

Vedoucí diplomové práce

## **Abstrakt**

Zemědělská půda je zpracovávána různými agrotechnologiemi především pro zajištění správného průběhu půdních procesů, růstu a vývoje rostlin a samozřejmě také zisku. Existují dva typy agrotechnologií, kterými jsou konvenční (klasická), která obnáší orbu a minimalizační, u které je orba vyloučena. Posledních několik desítek let se vývoj agrotechnologií zaměřuje především na minimalizační technologii. Ta zahrnuje kypření do malé hloubky, půdoochranné zpracování půdy a přímé setí. Tato diplomová práce se zaměřuje právě na dopad minimalizačních technologií na vybrané fyzikální a hydraulické vlastnosti půdy. Odběr neporušených půdních vzorků byl prováděn na experimentální ploše v Kozlanech pomocí Kopeckého válečků ( $V = 100 \text{ cm}^3$ ) v hloubce 0 – 10 cm v průběhu roku 2016. Na této ploše byla použita minimalizační technologie ve formě mělkého kypření a přímého setí.

## **Klíčová slova**

Technologie zpracování půdy, minimalizační technologie, fyzikální vlastnosti půdy, objemová hmotnost redukována, pórovitost, retenční vodní kapacita, momentální vlhkost, provzdušenost, hydraulické vlastnosti půdy, nasycená hydraulická vodivost.

## **Abstract**

Farmland is being handled by various the tillage of soil especially for the correct course of soil processes, plant growth and development and of course profit. There are two types of the tillage of soil are their conventional (classical) which involves plowing and minimization tillage, where is excluded plowing. The last few decades, the development the tillage of soil focuses on minimization tillage. This includes loosening up small depth, soil conservation tillage and direct seeding. This thesis is aimed at impact of minimization tillage on selected physical and hydraulic properties of the soil. Sampling undisturbed soil samples was performed on the experimental plot Kozlany by Kopecky rollers ( $V = 100 \text{ cm}^3$ ) from depth of 0 - 10 cm, during the year 2016. On this plot was used minimization tillage in the form loosening up small depth and direct seeding.

## **Keywords**

Tillage treatment, minimization tillage, physical properties of soil, soil dry bulk density, porosity, water retention capacity, current humidity, aeration, hydraulic properties of soil, saturated hydraulic conductivity.

## **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. Adéla Bažantová *Vliv různých agrotechnologií na fyzikální kvalitu půdy ve vybraných lokalitách v Jihomoravském kraji*. Brno, 2016. 110 s., 21 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 zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13.1.2017

---

Bc. Adéla Bažantová  
autor práce

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucí diplomové práce Ing. Ivaně Kameníčkové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a trpělivost, dále chci poděkovat Ing. Jiřímu Brňákovi ze společnosti ZEMO, spol. s r.o. za zpřístupnění experimentální lokality a poskytnutí potřebných informací.

V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině za nesmírnou podporu a schovívavost během celého mého studia na vysoké škole.

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>3</b>
<b>Cíl práce</b>	<b>5</b>
<b>1 Teoretická část</b>	<b>6</b>
1.1 Fyzikální vlastnosti půdy .....	6
1.1.1 Objemová hmotnost.....	6
1.1.2 Zdánlivá hustota půdních částic.....	8
1.1.3 Zrnitost (textura) .....	10
1.1.4 Struktura.....	21
1.2 Základní rozbor neporušeného půdního vzorku .....	25
1.2.1 Momentální vlhkost.....	28
1.2.2 Celková pórovitost.....	28
1.2.3 Provzdušenost půdy.....	30
1.2.4 Vzdušná kapacita půdy.....	31
1.2.5 Půdní hydrolimity.....	31
1.2.6 Nasáklivost.....	32
1.2.7 Vlhkost 30' .....	32
1.2.8 Maximální vodní kapacita .....	32
1.2.9 Retenční vodní kapacita .....	33
1.2.10 Bod vadnutí.....	33
1.3 Hydraulické charakteristiky půdy .....	33
1.3.1 Retenční čára půdní vlhkosti.....	34
1.3.2 Nasycená hydraulická vodivost ( $K_s$ ) .....	38
1.3.3 Nenasyčená hydraulická vodivost ( $K$ ).....	42
<b>2 Praktická část</b>	<b>44</b>
2.1 Charakteristika území.....	44



2.1.1	Popis lokality Kozlany.....	44
2.1.2	Klimatické podmínky .....	46
2.1.3	Hydrologické podmínky.....	46
2.1.4	Agrotechnologické úpravy půdy.....	46
2.2	Popis práce v terénu a laboratoři.....	51
2.2.1	Odběr půdních vzorků .....	51
2.2.2	Práce v laboratoři .....	52
2.3	Výsledky měření .....	53
2.3.1	Zdánlivá hustota pevných částic.....	55
2.3.2	Zrnitostní rozbor .....	55
2.3.3	Vybrané fyzikální vlastnosti půdy .....	57
2.4	Vyhodnocení fyzikálních a hydraulických vlastností půdy.....	60
2.4.1	Objemová hmotnost redukována .....	60
2.4.2	Pórovitost, rozdělení pórů .....	62
2.4.3	Provzdušenost .....	66
2.4.4	Momentální vlhkost.....	67
2.4.5	Maximální vodní kapacita .....	68
2.4.6	Retenční vodní kapacita .....	69
2.4.7	Nasyčená hydraulická vodivost.....	71
<b>3</b>	<b>Závěr</b>	<b>73</b>
<b>4</b>	<b>Použitá literatura</b>	<b>75</b>
	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů</b>	<b>79</b>
	<b>Seznam obrázků</b>	<b>81</b>
	<b>Seznam tabulek</b>	<b>84</b>
	<b>Seznam grafů</b>	<b>86</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>87</b>

## Úvod

Na rozhraní litosféry s atmosférou nebo hydrosférou vzniká půda. Jde o přírodní biologicky oživený útvar rozčleněný na horizonty. Půda se utváří a vyvíjí v závislosti na působení půdotvorných faktorů. Zajišťuje životní podmínky pro organismy v ní a na ní žijící. Půda je důležitá z hlediska produkce potravin a biomasy. Akumuluje, filtruje, transformuje látky a je zdrojem surovin. Jedná se o materiálové a kulturní dědictví, které je ovlivňováno námi prováděnými operacemi, při kterých někdy dochází i k jeho nenávratné ztrátě.[16]

Pro růst a vývoj pěstovaných plodin je důležité zpracování půdy. To se provádí buď konvenční technologií, tedy klasickou, při které dochází pomocí pluhu k obratu půdní masy a tím i zapravení posklizňových zbytků a hnojiv do podorničí. Druhý typ je minimalizační technologie, která se vyznačuje minimálními zásahy do půdy. Do tohoto netradičního způsobu zpracování půdy patří mělké kypření, půdoochranné technologie, při kterých zůstává minimálně 30 % plochy pokryto posklizňovými zbytky a přímé setí do nezpracované půdy.

Dlouhodobým a častým pojezdem zemědělských strojů, ale i nevhodně zvoleným typem zpracování půdy dochází k utužování jednotlivých vrstev půdního horizontu. Následkem je erozní smyv, který nastává v období přívalových srážek a při kterém dochází k odplavení malých půdních částic i organické hmoty. V důsledku toho pak dochází k zanášení vodních toků a ploch sedimentem, který může obsahovat značné množství těžkých kovů a negativně tak ovlivnit i život vodních organismů.

Použitá agrotechnologie do značné míry ovlivňuje fyzikální, hydraulické, chemické a biologické vlastnosti půdy. Průběh a změny půdních vlastností pak ukazují, jaký vliv má daná technologie. Půdní struktura charakterizuje odolnost půdních agregátů vůči rozmývání. Zhutněním půdy se zvyšují hodnoty objemové hmotnosti, zatímco hodnoty pórovitosti klesají. V důsledku snížení pórovitosti dojde i ke snížení provzdušenosti a zvýšení penetračního odporu.

Půda je schopna infiltrace a akumulace půdní vody díky svým fyzikálním a hydraulickým vlastnostem. Důležité jsou podíly jednotlivých pórů. Nekapilárními póry protéká voda díky gravitačním silám do velkých hloubek, zatímco v kapilárních pórech je voda udržována kapilárními silami i v mnohem menších hloubkách, kde je využívána pěstovanými plodinami. Průtok půdní vody půdním profilem charakterizuje hydraulická vodivost, která je mnohdy ovlivněna půdním edafonem.

## Cíl práce

Cílem této diplomové práce bylo porovnání vlivu použitých minimalizačních technologií na vybrané fyzikální a hydraulické vlastnosti středně těžké hlinité půdy. V teoretické části práce jsou popsány vybrané fyzikální a hydraulické vlastnosti půdy včetně metodiky k jejich určení a výpočtu. Praktická část je zaměřena na popis experimentální plochy, práci v terénu i laboratoři a dále jsou zde uvedeny výsledky měření a jejich vyhodnocení. V závěru je posouzen dopad použitých minimalizačních technologií zpracování půdy v lokalitě Kozlany na vybrané fyzikální a hydraulické vlastnosti půdy.

# 1 Teoretická část

## 1.1 Fyzikální vlastnosti půdy

### 1.1.1 Objemová hmotnost

Objemovou hmotností se rozumí hmotnost objemové jednotky zeminy stanovené v přirozeném, tj. rostlém stavu. Hodnota objemové hmotnosti se stanovuje jako podíl hmotnosti odebraného vzorku zeminy k jeho známému objemu. Jelikož je při odběru obsažen ve vzorku vždy určitý podíl půdní vlhkosti, je v praxi důležité rozlišovat objemovou hmotnost neredukovanou ( $\rho_v$ ). Tedy hmotnost mění se v závislosti na obsahu momentální vlhkosti ve vzorku. A objemovou hmotnost redukovanou ( $\rho_d$ ), která se stanovuje až po vysušení vzorku a charakterizuje stálé vlastnosti půdy.

Hodnoty objemové hmotnosti nejsou v průběhu roku konstantní. Ke změnám dochází v důsledku bobtnání a smršťování půdy. Příčinou je změna vlhkosti, mráz, způsob obdělávání půdy a v neposlední řadě také rozvoj kořenového systému rostlin. Tyto zmíněné faktory působí více v povrchových horizontech než u spodiny.[28] Jelikož tedy dochází během roku v půdním profilu k mnoha procesům, nelze na základě jednorázového odběru charakterizovat půdní vlastnosti. Podstatnější změny nastávají na konci zimy, uprostřed jara a koncem léta, jak bylo zjištěno z mnoha výzkumů. Také bylo zjištěno, že hodnoty objemové hmotnosti přímo úměrně vzrůstají s hloubkou půdního profilu. Chceme-li tedy uveřejňovat reprezentativní výsledky výzkumu, je zapotřebí odebrat větší množství vzorků v delším časovém horizontu.[20]

Pomocí dosažených hodnot objemové hmotnosti lze přibližně charakterizovat strukturní stav humusového horizontu, jak je patrné z tabulky 1.1.1. Podle tabulky 1.1.2 lze pak hodnotit míru nakypření jednotlivých půdních vrstev. V tabulce 1.1.3 je pak dána kritická hodnota pro jednotlivé půdní druhy podle Lhotského. Někteří autoři hodnotí také dopad objemové hmotnosti na omezení rozvoje kořenového systému rostlin.

Tab. 1.1.1 Přibližné hodnocení strukturního stavu humusového horizontu podle objemové hmotnosti (převzato Kutílek, 1978)

Strukturní stav humusového horizontu	Objemová hmotnost [g·cm <sup>-3</sup> ]
výborný	1,2
dobrý	1,2-1,4
nevyhovující	1,4-1,6
nestrukturní půda	1,6-1,8

Tab. 1.1.2 Kategorie nakypřenosti podle objemové hmotnosti (převzato Planeta, 2004)

Ornice		Podorničí		Spodina	
Objemová hm. [g·cm <sup>-3</sup> ]	kategorie	Objemová hm. [g·cm <sup>-3</sup> ]	kategorie	Objemová hm. [g·cm <sup>-3</sup> ]	kategorie
< 0,95	čerstvě nakypřená	< 1,2	velmi kypré	< 1,35	velmi kyprá
0,95 – 1,15	kyprá	1,2 – 1,35	slabě ulehlé	1,35 – 1,5	ulehlá
1,15 – 1,25	slabě ulehlá	1,35 – 1,45	ulehlé	>1,5	silně ulehlá
>1,25	silně ulehlá	>1,45	silně ulehlé		

Tab. 1.1.3 Kritické hodnoty objemové hmotnosti podle Lhotského (převzato Kameníčková, 2013)

Půdní druh	J	JV,JH	H	PH	HP	P
OHR kritická	1,35	1,40	1,45	1,55	1,60	1,70

Objemová hmotnost půdních vzorků se zjišťuje v laboratoři. Vzorky odebrané pomocí soupravy pro odběr vzorků do Kopeckého válečků ( $V = 100 \text{ cm}^3$ ) se po příjezdu do laboratoře ihned zvaží (váhy s přesností 0,01 g). Poté se vysuší při 105°C do konstantní hmotnosti, vloží se do exikátoru, kde se nechají vychladnout a opět se zvaží. Objemové hmotnosti se pak určí dle vztahů 1.1.1 a 1.1.2.[15]

*Objemová hmotnost neredukovaná:*

$$\rho_v = \frac{G_A}{V_s} [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}], \quad (1.1.1)$$

*Objemová hmotnost redukována:*

$$\rho_d = \frac{G_F}{V_s} [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}], \quad (1.1.2)$$

kde:

- $G_A$  - hmotnost zeminy s původní okamžitou vlhkostí [g],
- $G_F$  - hmotnost vysušené zeminy [g],
- $V_s$  - objem fyzikálního válečku [ $\text{cm}^3$ ].

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

### 1.1.2 Zdánlivá hustota půdních částic

Zdánlivá hustota půdních částic ( $\rho_s$ ) udává poměr hmotnosti pevných částic k jejich objemu.

Jedná se o stav bez pórů, který je vytvořen uměle v laboratoři. Zdánlivá hustota se stanovuje různými metodami, mezi nejčastější patří stanovení pomocí vodních pyknometrů. Objem vytlačené vody z pyknometru představuje objem pevných částic. Hmotnost půdních částic se zjišťuje vážením po vysušení při  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ . [15]

Hodnoty specifické hmotnosti jsou ovlivněny obsahem jednotlivých minerálů s rozdílnou specifickou hmotností. Tato fyzikální veličina charakterizuje zastoupení organického podílu v půdě.

Odhad zastoupení organického podílu v půdě dle hodnot specifické hmotnosti:

< 2,0	rašelinné horizonty
2,0 – 2,4	zrašeliněné horizonty
2,4 – 2,5	silně humózní horizonty
2,5 – 2,6	povrchové humózní horizonty
2,6 – 2,7	hlinité horizonty (cca 1% humusu)
2,7 – 2,8	železem obohacené iluviální horizonty[15]

### *Pyknometrické stanovení zdánlivé hustoty*

Do porcelánové misky se nasype vzorek jemnozeme o hmotnosti 10 g. Následně se zalije destilovanou vodou a vaří se po dobu 3 – 10 minut. Během vaření se suspenze promíchává skleněnou tyčinkou, aby se ze vzorku vypudil veškerý vzduch. Odpařená voda se postupně dolévá. Pyknometr „Gay-Lussac“ se naplní převařenou destilovanou vodou až po hrdlo a temperuje se ve vodní lázni (20 °C). Poté se dolije převařenou destilovanou vodou (20 °C). Uzavře se zátkou, která se nechá volně zapadnout. Poté se pyknometr vyjme z vodní lázně a osuší se. Provede se kontrola vzduchu v systému a pyknometr se zváží (váhy s přesností 0,01 g). Destilovaná voda se vylije a pyknometr se naplní pomocí nálevky vychladlou suspenzí (beze ztrát). Zbytek objemu pyknometru se doplní převařenou destilovanou vodou a temperuje se na 20 °C. Poté se pyknometr uzavře volným zapadnutím zátky, usuší se a zváží. V průběhu měření se pod pyknometr podkládá skleněná miska pro případné zachycení vyplavených zrn zeminy. Z naměřených hodnot se určí objem naváženého vzorku a zdánlivá hustota půdních částic dle rovnic 1.1.3 a 1.1.4[15]

*Objem naváženého vzorku:*

$$V_v = P_v + N_s - P_s \text{ [cm}^3\text{]}, \quad (1.1.3)$$



*Zdánlivá hustota tuhé fáze vzorku (měrná hmotnost):*

$$\rho_s = \frac{N_s}{V_v} = \frac{N_s}{P_v + N_s - P_s} \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}\text{]}, \quad (1.1.4)$$

kde:

- $P_v$  - hmotnost pyknometru s destilovanou vodou [g],
- $P_s$  - hmotnost pyknometru se suspenzí [g],
- $N_s$  - navážka zeminy na vzduchu vyschlá a přepočtená na sušinu (použije-li se rozmělněná zemina z vysušeného válečku, přepočet se neprovádí) [g].

### 1.1.3 Zrnitost (textura)

Zrnitost vypovídá o procentuálním zastoupení jednotlivých frakcí pevné fáze v celém objemu a je základem pro klasifikaci půdy dle druhu nebo zrnitostní třídy. Frakce zde představuje skupinu částic se stejnou velikostí. Základem zrnitostního rozboru jsou částice menší než 2 mm tzv. jemnozem I. V případě, že půdní vzorek obsahuje více jak 10 % částic větších než 2 mm tzv. skeletu, je potřeba provést stanovení skeletu. V následující tabulce 1.1.4 jsou uvedeny názvy jednotlivých frakcí dle průměru a jejich zařazení do kategorií.

Tab. 1.1.4 Pojmenování frakcí a kategorií dle Kopeckého – upraveno (převzato pedologie.czu.cz)

Název frakce	Průměr [mm]	Kategorie	
Koloidní jíl	<0.0001	I.kategorie	Jemnozem
Fyzikální jíl	0,0001 – 0,001		
Jemný prach	0,001 – 0,01		
Prach	0,01 – 0,05	II.kategorie	
Práškový písek	0,05 – 0,1	III.kategorie	
Písek	0,1 – 2,0	IV.kategorie	
Hrubý písek	2,0 – 4,0		Skelet
Štěrk	4,0 – 30,0		
Kamení	>30		

Zrnitost se určuje v laboratoři podle dále zmíněných metod, nebo ji lze přibližně odhadnout pomocí prstové zkoušky v terénu. K určení zrnitostních frakcí slouží prosévací zkouška, ta spočívá v prosévání materiálu přes řadu sít s určitými průměry ok. Pro oddělení částecek je potřeba vzorek zeminy prosévat ve vodě. Nejmenší průměr oka používaný proséváním ve vodě je 0,063 mm, problém však nastává již u průměru oka 0,1 mm. Důvodem je totiž ulpívání jemných částecek na síťovině kvůli čemuž pak nelze přesně určit jemné frakce, které jsou důležité pro stanovení půdních vlastností. Proto se u nejjemnějších frakcí využívá sedimentačních metod, které jsou založeny na sedimentačních zákonech (závislost sedimentační rychlosti na velikosti částic).

Využívaným sedimentačním zákonem je Stokesův vztah:

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{g \cdot r^2 (\rho_z - \rho_0)}{\eta} = a \cdot r^2 \text{ [cm} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}, \quad (1.1.5)$$

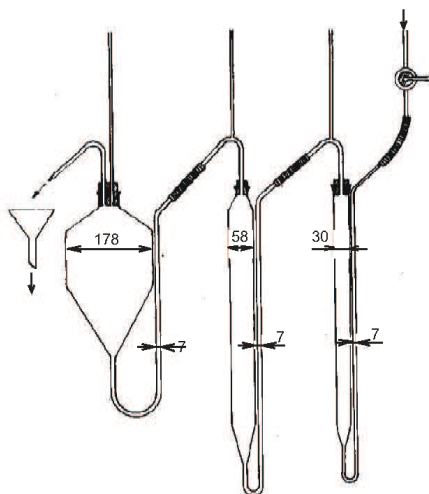
kde:

$v$	- 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].

Stokesův vztah platí jen v laminární oblasti vymezené Reynoldsovým kritériem, pro kulové částice v rozmezí  $0,001 \text{ mm} < r < 0,08 \text{ mm}$ . [20]

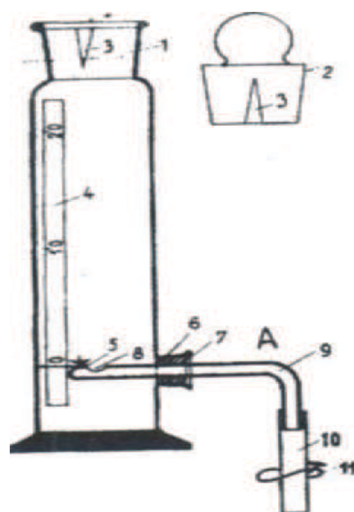
### Typy sedimentačních metod:

*Vyplavovací metoda Kopeckého* využívá unášecí síly vodního proudu. Částičky, u kterých je sedimentační rychlost větší, než rychlost vodního proudu klesají ke dnu a částičky s nižší rychlostí jsou odplavovány. Při zachování laminárního proudění vody se u této metody využívá Stokesova zákona. V dnešní době se již tato metoda z konce 19. století příliš nevyužívá. [16]



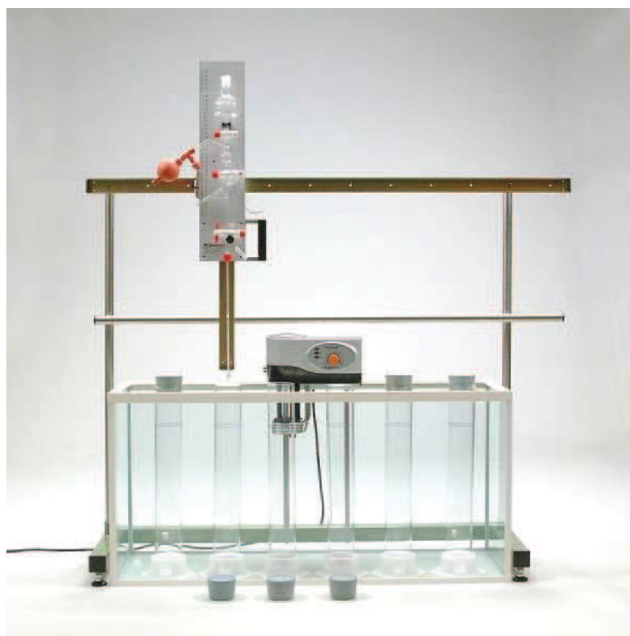
Obr. 1.1.1 Kopeckého plavící aparát (převzato Šálek, 1986)

*Dekantační metoda* (metoda opakované sedimentace) se využívá k určení obsahu fyzikálního jílu. Po oddělení jílových částic pak tato metoda slouží k fyzikálně chemickým a mineralogickým rozborům. Metoda spočívá v sedimentaci protřepané suspenze. V prvním kroku se po čase  $t$  vypustí vrchní sloupec suspenze po hladinu  $h$ , to znamená, že dojde k odstranění částic se sedimentační rychlostí menší než  $v = h/t$ . Poté se suspenze dolije vodou po původní hladinu a proces se opakuje, do doby než je suspenze zcela čirá. Po provedeném pokusu se zjistí hmotnost frakce částic s menším průměrem než je rozměr odpovídající uvažované sedimentační rychlosti  $v$ , tak že se zváží vysušený zbytek a odečte se od původní navážky.[21]



Obr. 1.1.2 Dekantační přístroj (převzato pedologie.czu.cz)

*Pipetovací metoda* (metoda neopakované sedimentace) je považována za nejpřesnější k určení zrn menších než 0,05 mm. Pipetou se odebírá malé množství suspenze v čase  $t_1$  a  $t_2$  z hloubky  $h$  pod povrchem hladiny, které se vysuší a zváží. Pomocí výpočtu se obdrží procentuální množství částic, kde jejich velikost odpovídá sedimentační rychlosti  $v_1 = h/t_1$ ,  $v_2 = h/t_2$ . [16]



Obr. 1.1.3 Pipetovací přístroj (převzato z [www.ekotechnika.cz](http://www.ekotechnika.cz))

*Hustoměrná metoda (A. Casagrande)* se používá od roku 1934 a patří mezi neopakované sedimentace. Postupnou sedimentací dochází ke snižování hustoty suspenze, což se projeví poklesem speciálního hustoměru.

Ještě před samotnou zkouškou, je potřeba provést separaci vzorku. Ta obnáší oddělení půdních agregátů na jednotlivá zrna a zamezení tvorby koagulačních vloček v průběhu zrnitostního rozboru. Preparaci je možné provádět mechanicky nebo chemicky. Mechanická preparace obnáší namáčení vzorku jemnozeme I (50 g) v destilované vodě po dobu 24 hodin. Dále protřepání této suspenze v širokohrdlé láhvi spolu s 5 olověnými kuličkami v horizontální třepačce po dobu 60 minut (440 rázů/min). Po této proceduře se suspenze přelije do misky, kde se ponechá opět 24 hodin. Takto připravená suspenze se přelije do sedimentačního válce ( $V = 1000 \text{ cm}^3$ ), doplní se destilovanou vodou a dispergačním činidlem (1 ml činidla/1 g jemnozeme). Suspenze se míchá jednu minutu před počátkem sedimentace, moment vyjmutí míchadla znamená začátek měření. Následně se do suspenze pomalu vkládá za stopku hustoměr (10 s). Po uklidnění hustoměru (bez otáčení, houpání) se na horním menisku přečte hustota. Hodnota se zapíše do formuláře, přičemž se tisíce zapisují jako celky (4,6 znamená 1,0046). Dále se provede oprava nulového čtení a úprava meniskové korekce. Hustota se odečítá z hustoměru v intervalech: 30'', 1', 2', 5', 15', 45', 2, 5 a 24 hodin. Hustoměr se vyjme ze sedimentačního válce po 3 – 4 měření, opláchně se a znovu se vloží do válce, vždy minutu před dalším měřením. Při hustoměrné zkoušce se měří teplota suspenze po 15' a posléze při každém čtení s přesností  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ . Podle naměřených teplot se určí teplotní korekce z nomogramu.[15]

Pro vyhodnocení se používá Stokesův vztah:

$$D = 10 \cdot \sqrt{\frac{18 \cdot \eta \cdot H}{g \cdot t \cdot (\rho_s - \rho_0)}} \text{ [mm]}, \quad (1.1.6)$$

kde:

- $D$  - průměr zrna [mm],
- $\eta$  - dynamická viskozita tekutiny ( $\eta = 0,017e^{-0,025T}$ ) [ $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ ],
- $\rho_s$  - zdánlivá hustota půdních částic [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ],

$\rho_0$	- měrná hmotnost vody [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ] ( $\rho = -5\cdot 10^{-6}\cdot T^2 - 5\cdot 10^{-6}\cdot T + 1$ ),
$H$	- hloubka ponořeného hustoměru v suspenzi [cm], [ $5 + (30,5 - R) \cdot 0,364$ ],
$R$	- čtení hustoměru,
$g$	- gravitační zrychlení [ $981 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$ ],
$t$	- čas měření [s],
$T$	- teplota suspenze [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Písčité frakce oddělené promýváním se po vysušení určují ze síťového rozboru. Prosévá se na sítích s průměry ok 1,25; 0,8; 0,5; 0,25; a 0,1 mm. Síta se staví na sebe od nejmenšího průměru po největší. Dospod se vkládá miska pro zachycení propadu a horní síto se zajistí pomocí poklopu. Nachystaná sada sít se umístí na vibrační přístroj, ukotví se pomocí křídlových šroubů a protřepává se přibližně 5 minut. Po vypnutí prosévačky se obsahy jednotlivých sít vysypou na filtrační papír a postupně se zváží. Výsledky zvážených podílů se vyjadřují v % hmotnostních k původní navážce, která byla určena pro zrnitostní rozbor. A to dle vztahu:

$$p_i = \frac{m_i}{s} \cdot 100 \text{ [% hmot.]}, \quad (1.1.7)$$

kde:

$p_i$	- procento zrn zachycené na i-tém sítu [% hmot.]
$m_i$	- hmotnost frakce zachycené na i-tém sítu [g]
$s$	- navážka zeminy k zrnitostní analýze přepočtená na sušinu [g].

Od nejhrubší frakce (2 mm), která představuje 100 % propad po nejjemnější (nad 0,1 mm), se odečítáním stanoví celkový součtový procentní podíl.

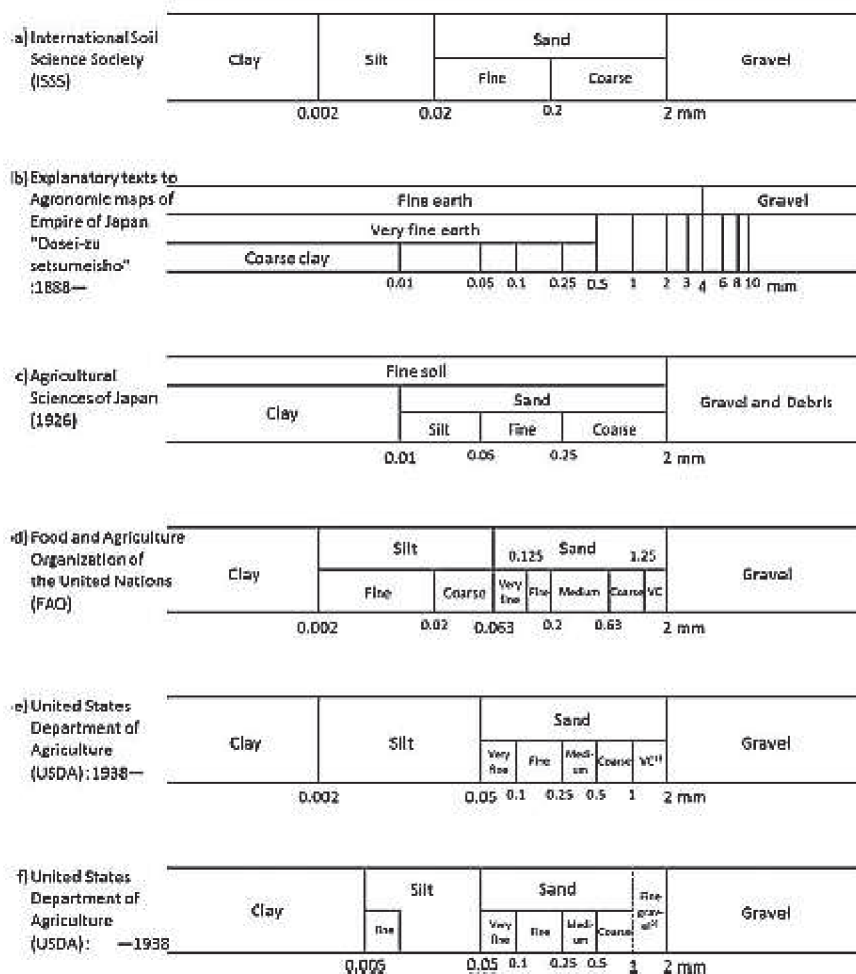
$$P_i = 100 - \sum_1^i p_i \text{ [% hmot.],} \quad (1.1.8)$$

kde:

- $P_i$  - celkové procento zrn zachycených na sítích 1 - i [% hmot.],  
 $p_i$  - procento zrn zachycených na i-tém sítu [% hmot.].

Výsledkem těchto zkoušek je křivka zrnitosti, která se vykreslí po vynesení průměru zrn v logaritmickém měřítku na vodorovnou osu a procentuálních podílů propadů jednotlivých frakcí na lineární svislou osu.

Klasifikace zrnitosti byla vytvořena tak, aby jednotlivé frakce měly shodné některé základní fyzikální vlastnosti. Například frakce s částicemi většími než 2 mm není schopna zadržet půdní vodu a je tedy limitem pro pohyb kapilární vody. Frakce menší než 0,002 mm se vyznačuje velmi nízkou propustností.[21] Při vyhodnocování zrnitostního rozboru je podstatné znát použitý klasifikační systém, neboť jak je na následujícím obrázku 1.1.4 patrné, tak se některé velikostní hranice mezi jednotlivými zrnitostními kategoriemi liší.



Obr. 1.1.4 Velikostní kategorie půdních minerálních částic podle vybraných klasifikačních systémů. (převzato Soil Science and Plant Nutrition, 2015)

Při klasifikaci půdního druhu odečítáme potřebné frakce z čáry zrnitosti, v závislosti na použitém klasifikačním systému. Kromě již uvedených systémů (viz obrázek 1.1.4) má v podstatě každý větší stát svou vlastní klasifikaci půdy, například Francie, Austrálie, Velká Británie, Brazílie a dokonce existuje i tzv. Polar systems pro klasifikaci zmrzlé půdy v polárních oblastech.[1] V České republice se využívá klasifikace půdy dle Nováka, trojúhelníkového diagramu USDA, dle Kopeckého a FAO (Food and Agriculture Organization). Pro použití Novákovy klasifikace je potřeba znát obsah částic menších než 0,01 mm (tzv. I kategorie), viz tabulka 1.1.5.



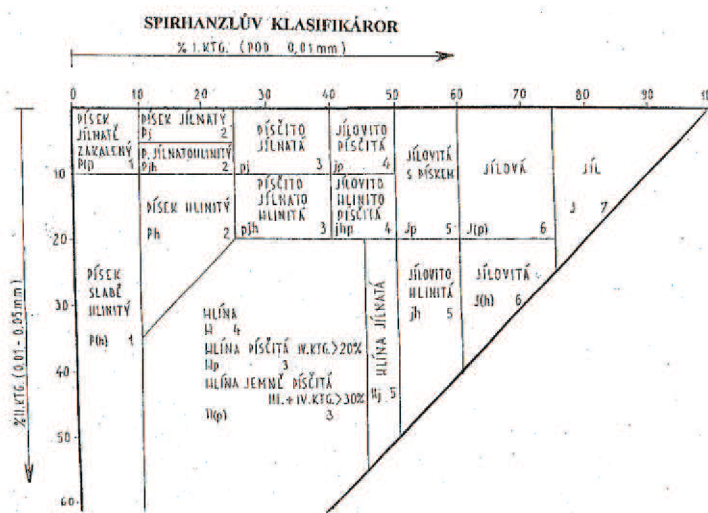
Tab. 1.1.5 Zrnitostní klasifikace podle Nováka (převzato Kameníčková, 2013)

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

Frakce potřebné při klasifikaci dle Kopeckého jsou uvedeny v tabulce 1.1.6, pro zařazení půdního druhu se poté využívá Spirhanzlova klasifikátoru.

Tab. 1.1.6 Zrnitostní frakce podle Kopeckého (převzato Kameníčková, 2013)

Název frakce (kategorie)	Průměr částic (mm)
I. jílnaté částice	< 0.01
II. prach	0.01-0,05
III. práškový cukr	0,05-0,1
IV. písek	0,1-2,0

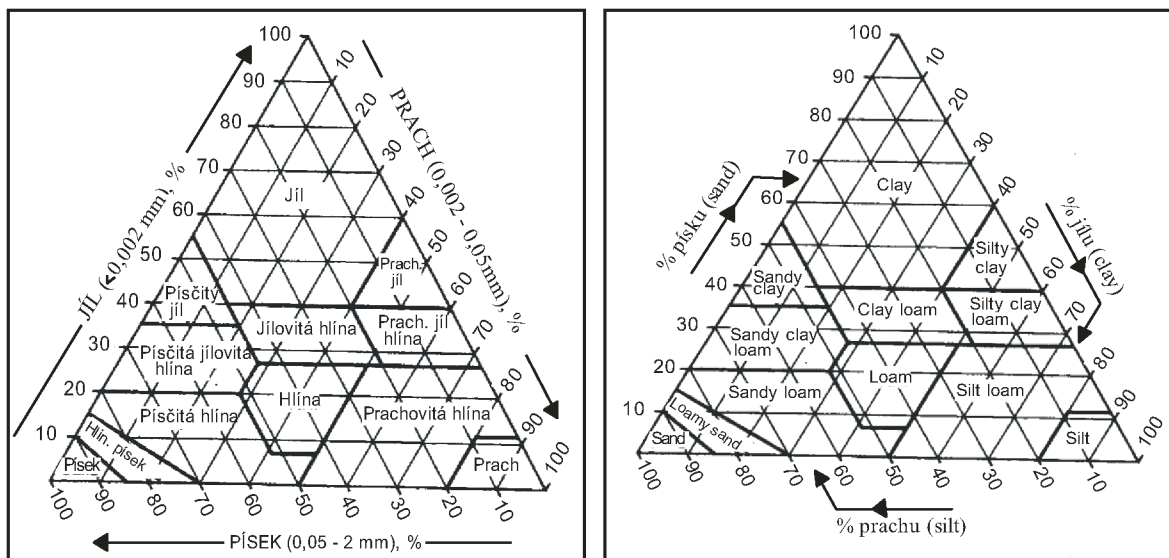


Obr. 1.1.5 Spirhanzlův klasifikátor (převzato z Kameníčková, 2005)

Při určování zrnitostních tříd podle Taxonomického klasifikačního systému půd ČR jsou použity převzaté zrnitostní frakce podle Ministerstva zemědělství USA (USDA), které jsou uvedeny v tabulce 1.1.7. Pro určení půdního druhu podle trojúhelníkového diagramu je potřeba znát procentuální podíl jílu (< 0,002 mm), prachu (0,002 – 0,05 mm) a písku (0,05 – 2 mm), diagram je zobrazen na obrázku 1.1.6.

Tab. 1.1.7 Zrnitostní frakce podle Ministerstva zemědělství USA (převzato Kameníčková, 2013)

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

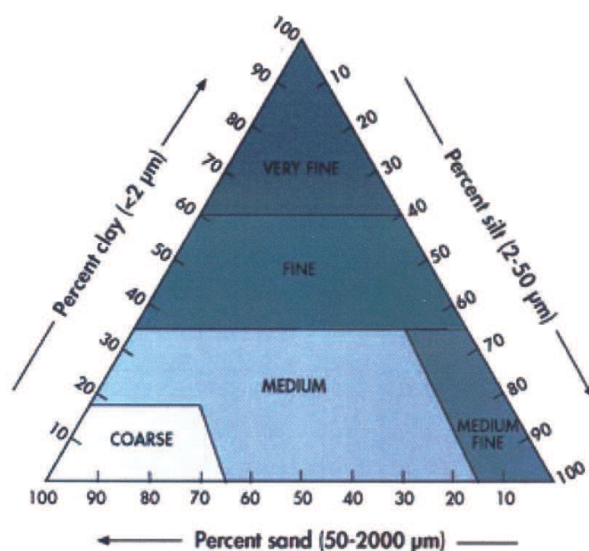


Obr. 1.1.6 Trojúhelníkové diagramy pro stanovení druhu podle obsahu jílu, prachu a písku v % hmotnostních. Systém ministerstva USA, z něho odvozený systém, který používá Taxonomický klasifikační systém půd ČR (převzato Kameníčková, 2005)

Zatřídění půd do jednotlivých zrnitostních tříd lze také udělat pomocí mezinárodní klasifikace dané FAO. Podle podílu jílu a písku ve vzorku zeminy se rozlišuje pět zrnitostních tříd ve svrchní vrstvě - ornice, pět v podorniční vrstvě a jednu v organické vrstvě půdního horizontu. Procentuální kritéria pro klasifikaci ornice jsou uvedena v tabulce 1.1.8 a související trojúhelníkový diagram je znázorněn na obrázku 1.1.7.[17]

Tab. 1.1.8 Kritéria pro rozdělení půd do strukturních tříd (Soil Geographical Data Base, Wösten et al. 1998)

C	Coarse (hrubá)	jíl < 18%, písek >65%
M	Medium (střední)	18% < jíl < 35 %, písek >15% jíl < 18%, 15% < písek < 65%
MF	Medium-fine (středně jemná)	jíl < 35%, písek < 15%
F	Fine (jemná)	35% < jíl < 60%
VF	Very fine (velmi jemná)	60% < jíl



Obr. 1.1.7 FAO/USDA půdní zrnitostní trojúhelník s 5 zrnitostními třídami (převzato Kameníčková přednášky z vybraných statí, 2015)

Výsledkem klasifikace zrnitostního rozboru je tedy určení půdního druhu u odebraného vzorku zeminy. Základní skupiny půdních druhů jsou písčité, hlinité a jílovité půdy, popřípadě jejich kombinace. Zastoupením I. kategorie se půdní druhy dělí na půdy lehké, středně těžké a těžké. Písčité a hlinitopísčité půdy spadají do kategorie lehkých půd (I. kat. < 25 %). Písčitohlinité a hlinité půdy patří mezi středně těžké (I. kat. 25 - 45 %). Mezi půdy těžké se řadí jílovitohlinité, jílovité půdy a jíly (I. kat. > 45 %). Na našem území je podle bazálního monitoringu půd největší podíl hlinitých půd a to s podstatnou převahou ve všech vrstvách půdního horizontu (ornice, podorničí a spodina).[23]

Podíl jednotlivých půdních kategorií, především prachu a jílu, ovlivňuje do značné míry nejen fyzikální a chemické vlastnosti půdy, ale i půdotvorné procesy a agronomické i ekologické charakteristiky. Zrnitostním složením půdy je ovlivněna také biologická činnost půdních organismů.[23]

#### 1.1.4 Struktura

Struktura je nejvýznamnější vlastností půdy, popisuje prostorové uspořádání základních částic v půdě. Tyto částice se shlukují do větších či menších celků nazývaných agregáty. Rozhodující velikost, podle které se agregáty dělí na makroagregáty a mikroagregáty, je 0,25 mm.[29] Stabilita agregátů ve vodě je zapříčiněna tmelícími látkami, jako je např. humus. Vznik mikroagregátů probíhá při koagulaci půdních koloidů a při spojování jílových a prachových částic. Při objemových změnách v půdě, působením kořenového systému rostlin, vlivem půdního zoedafonu nebo při obdělávání půdy dochází ke shlukování mikroagregátů do větších celků zvaných makroagregáty. Agregáty vzniklé umělým mechanickým způsobem při vyšší vlhkosti se nazývají pseudoagregáty.[20]

Půdy můžeme dělit podle stupně vývoje půdní struktury na strukturní, slabě strukturní a nestrukturní.

- Půda strukturní je charakteristická dobře oddělujícími se agregáty, které jsou pevné a ve vodě stabilní, má vyvinutou strukturu.

- Půda slabě strukturní má patrnou strukturu až po rozdrobení urýpnutých hrud. Převládá u ní nestrukturní podíl.
- Nestrukturní půda je tvořena pseudoagregáty různých velikostí, které vytvářejí po rozplavení kašovitou hmotu. Po zaschnutí vytváří půdní škraloup.[21]

Struktura se stanovuje pro jednotlivé půdní horizonty. Znakem půdní struktury je rozpad půdních částic do agregátů různých tvarů, podle nichž se dělí struktura do čtyř základních morfologických tříd.

- I. třída – všechny tři osy jsou stejně dlouhé, tvar zaoblený
- II. třída – všechny tři osy jsou stejně dlouhé, plochy a hrany jsou zřetelné
- III. třída – svislá osa je protažena
- IV. třída – vodorovné osy jsou protaženy [21]

Na obrázku 1.1.8 a 1.1.9 jsou znázorněny příklady půdní struktury. V následující tabulce 1.1.9 jsou vypsány druhy struktury spadající do jednotlivých tříd.



Obr. 1.1.8 Drobtovitá struktura (převzato Pospíšilová prezentace – Struktura půdy, 2014).



Obr. 1.1.9 Hrudkovitá struktura (převzato Pospíšilová prezentace – Struktura půdy, 2014)

Tab. 1.1.9 Základní typy struktury půdy (převzato a upraveno Planeta, 2004)

I. třída	II. třída	III. třída	IV. třída
<b>Kulovitá</b>	<b>Polyedrická</b>	<b>Hranolovitá (prismatická)</b>	<b>Deskovitá</b>
hrudovitá	polyedrická	hrubě prismatická	deskovitá
hrudkovitá	drobně polyedrická	prismatická	destičkovitá
drobtová		drobně prismatická	lístkovitá
jemně drobtová			
prášková			

Stabilita půdních agregátů se určuje zkouškou vodostálosti. K této zkoušce se používá přístroj pro mokré prosívání, který obsahuje třepací zařízení a síta s různými průměry ok (2,0 – 0,045 mm), viz obrázek 1.1.10.

Na začátku této zkoušky se vloží předem stanovené množství půdním agregátů do sít, která se posléze ponoří do vody. Tato nádoba s vodou se poté začne pohybovat nahoru a dolů. Při tomto pohybu se nestabilní agregáty začnou uvolňovat a propadnou síty do nádoby s vodou umístěné pod nimi. Výsledkem zkoušky vodostálosti je pak určení indexu stability půdních agregátů.[9]



Obr. 1.1.10 Přístroj pro mokré prosévání (převzato z [www.ekotechnika.cz](http://www.ekotechnika.cz))

Lepší hydraulické vlastnosti, ale i vyšší úrodnost vykazují půdy s dobrou strukturou. Půdní struktura také ovlivňuje infiltraci srážkových vod a provzdušenost, která se projevuje mikrobiální činností.

Půdy s dobrou strukturou se lépe obdělávají, rychleji se prohřívají a jsou méně náchylné k půdní erozi. Přibližný strukturní stav půdy lze určit pomocí objemové hmotnosti a pórovitosti, jak již bylo řečeno v kapitole 1.1.1 Objemová hmotnost.

Půdní struktura není stálá, ovlivňují ji srážky, závlaha, pojezd mechanizace a technologie zpracování půdy. Ke zlepšení půdní struktury lze využít přírodních faktorů, nebo aplikace chemických a biochemických látek. Za přírodní faktory se pokládají vhodně stanovené osevní postupy, které zahrnují střídání plodin a po určitém cyklu výsadbu víceletých píceň, jetele nebo vojtěšky. Tyto rostliny svým vzrůstem zastiňují povrch půdy, díky čemuž je půda schopná regenerace. Zároveň svým značným rozvojem kořenového systému přispívají k obohacení půdy humusem. Zlepšení půdní struktury lze dosáhnout také uměle pomocí činnosti mikroorganismů, např.: *Bacillus subtilis*. Jako další varianta umělého zlepšení struktury je dávkování polymerů a kopolymerů. Tyto přípravky se dávkuje v přibližném množství 0,01 %. Za zmínku stojí, že jsou s úspěchem používány také při čištění odpadních vod.[21]

## 1.2 Základní rozbor neporušeného půdního vzorku

Stanovení pórovitosti, vodních a vzdušných poměrů se provádí na základě zjištěných objemově hmotnostních charakteristik půdy, které jsou výsledkem rozboru neporušeného půdního vzorku.

Z čela kopané sondy se pomocí Kopeckého válečků (předem zjištěn objem a váha) odebírají ze středů jednotlivých horizontů neporušené půdní vzorky. Po odběru se Kopeckého válečky, viz obrázek 1.2.1, uzavřou plastovými víčky a převezou do laboratoře.



Obr. 11 Půdní váleček o objemu 100 nebo 250 cm<sup>3</sup> (převzato z [www.ekotechnika.cz](http://www.ekotechnika.cz))

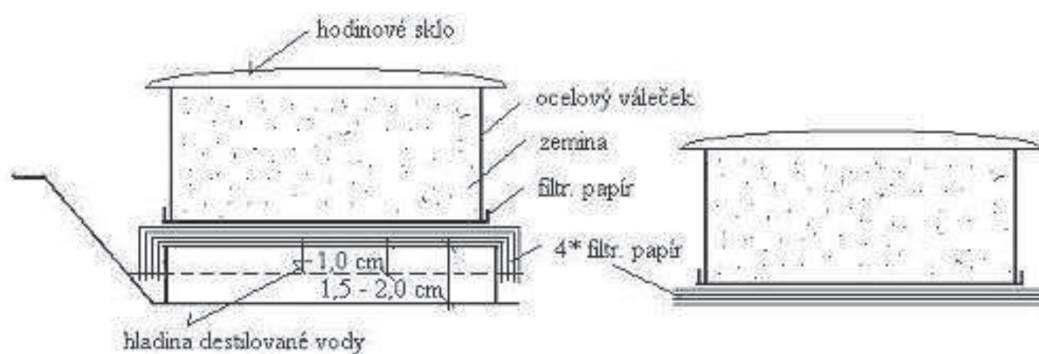
Očištěný váleček se ze spodní strany opatří filtračním papírem, položí se na hodinové sklo (o známé hmotnosti) a následně se přesně zváží. Zjištěná hmotnost ( $G_A$ ) se zapíše do formuláře, bude sloužit při určování momentální hmotnostní vlhkosti ( $w_{mom}$ ).

Neporušený půdní vzorek se v dalším kroku položí břitem na 4 vrstvy filtračního papíru a nechá se nasytit pomocí kapilárních sil destilovanou vodou. Horní základna je opatřena hodinovým sklem, aby nedocházelo k výparu. Sycení probíhá do doby, než je i horní základna nasycena vodou (lesklý povrch). Poté se vzorek bez filtračního papíru postaví na hodinové sklo a zjistí se jeho hmotnost ( $G_B$ ).



Následně se vzorek půdy položí na filtrační papír, horní základna se opět zakryje hodinovým sklem a začne se měřit doba odsávání. V předem určených časových intervalech 30' ( $G_C$ ), 2 ( $G_D$ ) a 22 hodin ( $G_E$ ) se zjistí hmotnost odsávaného vzorku.

Poslední krok rozboru představuje sušení při 105°C do konstantní hmotnosti. Po vychladnutí se vzorek zváží a zjištěná hmotnost ( $G_F$ ) se využije při stanovení sušiny ( $G_H$ ). [15]



Obr. 12.2 Rozbor neporušeného půdního vzorku (převzato Kameníčková, 2013)

Zápis zjištěných hmotností se provádí do formuláře, viz tabulka 1.2.1, který slouží pro výpočet vzdušných a vodních charakteristik půdy.

Tab. 1.2.1 Formulář pro záznam stanovených hmotností (převzato 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. kapilární 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 (spec. hmot.)	$Q_s$	$N_s / (N_s + P_v - P_s)$	$\text{g.cm}^{-3}$
Sušina	$G_H$	$G_F - (G_v + G_s)$	g
Objemová hmotnost	$Q_d$	$G_H / V_s$	$\text{g.cm}^{-3}$
Celková pórovitost	$P$	$(Q_s - Q_d) \cdot 100 / Q_s$	% obj.
Kapilární pórovitost	$P_K$	$\theta_{\text{RVK}}$	% obj.
Semikapilární pórovitost	$P_s$	$\theta_{30} - \theta_{\text{RK}}$	% obj.
Nekapilární pórovitost	$P_N$	$P - \theta_{30}$	% obj.
Provzdušenost	$V_z$	$P - \theta_{\text{mom}}$	% obj.
Max. kapilární 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 fyzikálního válečku.

Hmotnostní vlhkost (poměr hmotnosti vody ve vzorku k hmotnosti tuhé fáze) lze stanovit i v případě, že je k dispozici pouze porušený půdní vzorek a to dle vztahu 1.2.1.

$$w = \frac{m_w}{m_z} \cdot 100 = \frac{G_A - G_F}{G_F} \cdot 100 \text{ [% hm.]}, \quad (1.2.1)$$

Přepočítání mezi hmotnostními a objemovými procenty se provádí dle vztahu 1.2.2.

$$\theta = w \cdot \rho_d \quad (1.2.2)$$

Pokud jsou veškeré póry zaplněné vodou, vyjadřují se výsledky v procentech relativních ( $\theta_{rel}$ ). Místo celého objemu vzorku se k výpočtu používá pouze pórovitost (u bobtnavých půd se používá nasákivost) dle vztahu 1.2.3.[15]

$$\theta_{rel} = \frac{\theta_{obj}}{P} \cdot 100 \quad (1.2.3)$$

Z rozboru neporušeného půdního vzorku se ze zjištěných hmotností zjišťují výpočtem, dle tabulky 1.2.1, následující hydrofyzikální vlastnosti půdy.

### 1.2.1 Momentální vlhkost

Momentální vlhkost ( $\theta_{mom}$ ) vyjadřuje okamžitý objem vody v půdě, je závislá na objemové hmotnosti a na momentálním objemu vzduchu v půdě. Tvoří tak doplněk mezi objemem vzduchu a celkovou pórovitostí. Vyjadřuje se v jednotkách % objemu, popřípadě v % hmotnosti.

Hodnoty vlhkosti v půdě jsou proměnlivé během roku a mění se i s hloubkou. K ovlivnění dochází především vlivem srážek, výparem, vztlínáním podzemní vody a potřebou rostlin. Tato vlastnost se využívá k hodnocení infiltrační schopnosti půdy, redistribuci a uchování vody v půdním profilu.[21]

### 1.2.2 Celková pórovitost

Pórovitost ( $P$ ) vyjadřuje okamžité zastoupení pórů (mezery mezi pevnými částicemi vyplněné plynem nebo kapalinou) v půdě. Charakteristika pórů jako je objem, tvar nebo velikost ovlivňuje rychlost proudění vody v půdě a tím i transport látek. Nemalou mírou rozhoduje i o obsahu a složení půdního

vzduchu, jelikož ovlivňuje difúzní výměnu CO<sub>2</sub> mezi ním a vzduchem atmosférickým.[21]

Hodnoty pórovitosti závisí na půdním druhu, vrstvě půdního horizontu a struktuře. Pórovitost klesá při vysychání půdy a roste se zvyšující se vlhkostí. Dle hodnot pórovitosti lze klasifikovat ulehlost půdy, kterou udává tabulka 1.2.2. Pro určení kritické hodnoty pórovitosti lze opět využít klasifikaci podle Lhotského, která je uvedena v tabulce 1.2.3.

Tab. 1.2.2 Klasifikace půdy dle pórovitosti podle Bretfelda (převzato Kutílek, 1978)

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

Tab. 1.2.3 Kritické hodnoty pórovitosti podle Lhotského (převzato Kameníčková, 2013)

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

Pórovitost je důležitá pro rozvoj kořenového systému rostlin a pro rozvoj organismů. V pórech probíhají fyzikální, fyzikálně chemické a biologické procesy. Póry v půdě dělíme na kapilární, semikapilární a nekapilární. Dále se můžeme setkat i s tzv. druhotnými nebo preferenčními póry. Takovéto póry vznikají po zetlení kořinek rostlin nebo při činnosti půdního edafonu a přispívají tak k propustnosti humusových horizontů.[21]

V kapilárních pórech ( $P_k = \theta_{RVK}$ ) je voda držena pomocí kapilárních sil proti gravitaci, proto je lze ztotožnit s retenční vodní kapacitou. Optimální

zastoupení kapilárních pórů se pohybuje okolo 2/3 pórovitosti. Ve větším množství znesnadňují kapilární póry infiltraci, v důsledku toho dochází ke zvýšení povrchového odtoku. Při nedostatku kapilárních pórů dochází ke snížení obsahu vody pro rostliny.

*Semikapilární póry* ( $P_s$ ) tvoří přechod mezi kapilárními a nekapilárními póry. Také umožňují dobré vsakování vody do půdy a ustaluje se v nich hladina podzemní vody. Pomocí semikapilárních pórů dochází k nasycení kapilárních pórů.

Přes nekapilární póry ( $P_N$ ) prochází voda do půdy poměrně rychle a je schopna se dostat do větších hloubek, následkem čehož nedochází k nasycení kapilárních pórů a tudíž ani vláhovému zabezpečení rostlin. Optimální podíl semikapilárních a nekapilárních pórů by se měl pohybovat okolo 1/6 pórovitosti.[15]

Zastoupení jednotlivých pórů v závislosti na půdním druhu je patrné z tabulky 1.2.4.

Tab. 1.2.4 Rozdělení půdních pórů podle velikosti a jejich typické zastoupení (% obj) v základních skupinách půdního druhu. (převzato Planeta, 2004)

Druh pórů	Velikost [ $\mu\text{m}$ ]	Lehká půda [% obj.]	Střední půda [% obj.]	Těžká půda [% obj.]
Makropóry	> 50	20 - 30	10 - 15	5 - 15
Zásobní mikropóry	0,2 - 50	5 - 15	20 - 25	15 - 20
Reziduální mikropóry	< 0,2	5 - 10	15 - 20	25 - 35
Pórovitost	-	35 - 45	45 - 55	50 - 70

### 1.2.3 Provzdušenost půdy

Provzdušenost půdy ( $V_z$ ) vyjadřuje okamžité zastoupení vzduchu v půdě a je ovlivněna vlhkostí. Lze ji určit kromě vztahu v tab. 1.2.1 také uvedeným vztahem 1.2.4.

$$V_z = \frac{V_A}{V_s} \cdot 100 [\% \text{ obj.}], \quad (1.2.4)$$

kde:

- $V_A$  - objem vzduchu ve vzorku [ $\text{cm}^3$ ],  
 $V_s$  - objem celého vzorku [ $\text{cm}^3$ ].

Hodnoty provzdušenosti se můžou pohybovat od 0 při úplném nasycení pórů vodou až po hodnotu pórovitosti, kdy jsou póry vyplněny pouze vzduchem. Optimální hodnoty provzdušenosti se pohybují u polí mezi 18 – 24% obj.. Pokud dojde ke snížení provzdušenosti v polích pod 10% obj. přestane probíhat výměna vzduchu a začnou v půdě probíhat anaerobní procesy. V tomto případě se pak musí provést agrotechnický zásah, kterým se zvýší množství vzduchu v půdě. V opačném případě, při velkém provzdušení, dochází k přemnožení mikroorganismů, což vede k rychlému odbourání humusu.[15]

#### 1.2.4 Vzdušná kapacita půdy

Vzdušná kapacita ( $K_{vz}$ ) vyjadřuje procento objemu pórů vyplněných vzduchem. Rozlišuje se maximální a retenční vzdušná kapacita podle toho zda se určuje při maximální vodní kapacitě nebo retenční vodní kapacitě.[15]

#### 1.2.5 Půdní hydrolimity

Pod pojmem hydrolimity jsou označovány určité půdní vlhkosti dosažené při předem definovaných podmínkách.[21] Hydrolimity se rozlišují základní a aplikované.[6] Na obrázku 1.2.3 je znázorněna klasifikace půdní vody včetně zařídění jednotlivých hydrolimitů. Níže uvedené se zjišťují právě na základě rozboru neporušeného půdního vzorku a vztahy pro jejich výpočet jsou uvedeny v tabulce 1.2.1.

Kategorie půdní vody	Převládající působení sil	Pohyb ve skupenství	Rychlost pohybu (kapalné skupenství)	Přístupnost kulturním rostlinám	Objem pórů	Hydrolimity ● základní ○ aplikované	
gravitační	tíže	kapal- ném	velká	hadbyť	nekapilár- ní	○ PVK → P	
kapilární <small>pohyblivá (lehce těžce (lentokapilární))</small>	kapilární		normální	omez. normální	fyziologicky využitelná	semikapilár- ní	○ MKK    ○ PK ● RVK
			malá až nepatrná	neprístupná	dynamicky přístupná	kapilár- ní	● LB    ○ BSD ○ BV    ○ VV
adsorpční	adsorpční	plyněm	nepohyb- livá	stat. nepřístupná		○ ČH ● AVK ○ MAVK	

Obr. 13 Klasifikace půdní vody podle Drbala, 1962 (převzato pedologie.czu.cz)

### 1.2.6 Nasáklivost

Nasáklivost ( $\theta_{NS}$ ) stanovena po kapilárním nasycení se v laboratoři používá pro kontrolu určení správnosti pórovitosti. Hodnoty se liší pro bobtnavé půdy, kdy se nasáklivost rovná pórovitosti a pro nebobtnavé půdy, kdy je hodnota nasáklivosti nižší než pórovitost.[15]

### 1.2.7 Vlhkost 30'

Vlhkost 30' ( $\theta_{30}$ ) slouží ke klasifikaci nekapilárních pórů, ve kterých během 30 minut odsávání (těžké půdy, lehké půdy 15') dochází k rychlému poklesu vlhkosti.[15]

### 1.2.8 Maximální vodní kapacita

Maximální vodní kapacita ( $\theta_{MKK}$ ) je přibližný kvazistacionární stav vyjadřující schopnost půdy udržet maximální množství vody v kapilárních pórech po delší dobu. Tuto vodu je pak schopen využít kořenový systém rostlin. Dojde-li k překročení hodnot maximální vodní kapacity, stává se půda zamokřenou.[15] Hodnoty maximální vodní kapacity se liší v závislosti na půdním horizontu a na půdním druhu, nejvyšších hodnot dosahuje u jílovitohlinitých půd a jílu. Průměrná hodnota v ornici u hlinitých půd se pohybuje kolem 35% obj.[23] V případě, že hodnoty u hlinitých půd

překročí 36 % obj., dochází ke špatnému vsaku vody. Vyjadřuje tedy maximální vlhkost, při které nedochází ke ztrátám ani zamokření.[24]

### 1.2.9 Retenční vodní kapacita

Retenční vodní kapacita ( $\theta_{RVK}$ ) lze ztotožnit s kapilárními póry ( $P_K$ ), jelikož představuje ustálený stav, při kterém je půda schopna udržet maximální množství vody pomocí kapilárních sil v rovnovážném stavu po nadměrném navlhčení.[15]

### 1.2.10 Bod vadnutí

Pokud intenzita adsorpce vody kořenovým systémem poklesne pod úroveň transpirace, nazývá se tento moment bodem vadnutí ( $\theta_v$ ). Vlhkost půdy se tedy stává pro rostliny nedostatečná. Jelikož vadnutí rostlin nastává v případě, že se půdní vlhkost pohybuje v určitém vlhkostním intervalu, je podstatné znát alespoň jeho spodní mez. Vlhkost půdy, při které rostliny již definitivně vadnou, se liší druh od druhu rostliny. Dokonce ani u jedné rostliny není možné stanovit stálou hodnotu. Je tomu dáno vývojovým stádiem rostliny, meteorologickými poměry (teplota, sytostní doplněk) a osmotickým tlakem půdního roztoku. Pro kulturní plodiny se tedy určí průměrná hodnota bodu vadnutí, která odpovídá vlhkosti při vlhkostním potenciálu (sacím tlaku)  $1,5 \cdot 10^6$  Pa, neurčuje se tedy na základě rozboru neporušeného půdního vzorku. Hodnoty bodu vadnutí je možné zjistit i výpočtem, ale jsou většinou méně přesné. [21]

## 1.3 Hydraulické charakteristiky půdy

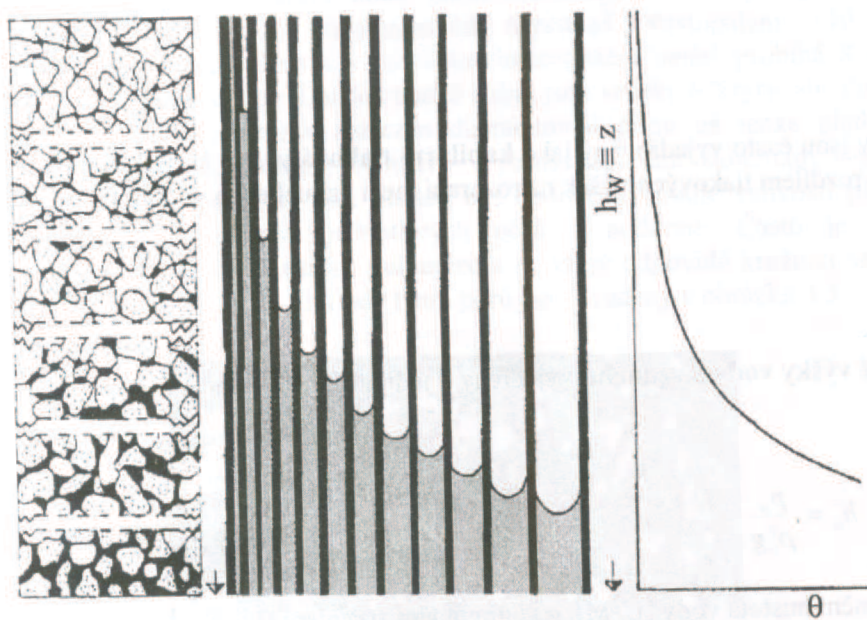
Jak již bylo výše uvedeno, můžou být půdní póry vyplněné kapalinou, tedy půdní vodou. Pokud je půdní voda v rovnovážném stavu, zabývá se jí půdní hydrostatika. Ta popisuje stav, kdy na vodu nepůsobí rozdílné potenciály, které by uvedly vodu do pohybu. Pokud tedy nastane stav, při kterém dojde ke spádu potenciálů, jedná se o hydrodynamiku. Proudění vody v půdě umožňuje skutečnost, že se jedná o porézní prostředí. K pohybu vody může docházet v prostoru maximálně odpovídajícímu objemu pórů.



Pokud tedy proudící voda vyplňuje veškerý objem pórů, jedná se o proudění nasycené, neboť je půda zcela nasycena vodou. V případě, že je půda jen částečně nasycená, neboli že je  $\theta < P$  (vlhkost < pórovitost), jedná se o proudění nenasyčené. Důležité je brát v potaz, že je část pórů nenasyčená a při proudění může dojít k nasycení nebo odvodnění. [20]

### 1.3.1 Retenční čára půdní vlhkosti

Jde o charakteristiku půdy zobrazovanou v makroskopickém měřítku. Vyjadřuje funkční vztah mezi objemovou vlhkostí půdy  $\theta$  a tlakovou výškou vody  $h_w$ . V závislosti na průměru pórů se půdní vlhkost pomocí kapilárních sil dostává do určité výškové úrovně, jak je patrné z obrázku 1.3.1. Při tlakové výšce  $h_{w,i}$  dojde k zaplnění všech pórů, u kterých se ekvivalentní poloměr  $r_e$  rovná nebo je menší než poloměr kapilární trubice  $r_i$ , jejíž výška kapilárního vztlínání  $h_{k,i}$  se rovná tlakové výšce vody  $h_{w,i}$ . Tedy, že celkový objem vody obsažený v kapilárách s poloměrem  $r_e \leq r_i$  následně podělený celkovým objemem všech pórů a vynásobený pórovitostí modelovaného porézního materiálu, odpovídá objemové vlhkosti řešeného materiálu.[18]

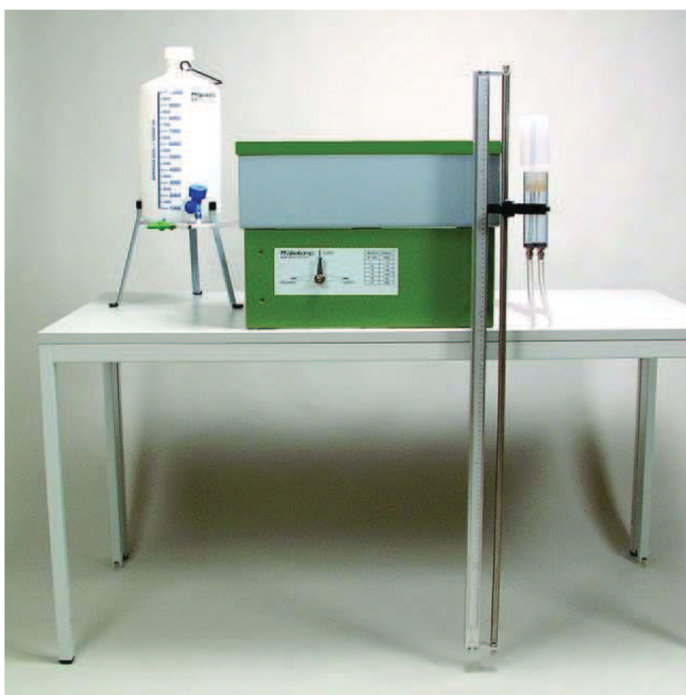


Obr. 14 Schematické znázornění vztahu půdního prostředí, modelu svazku kapilárních trubic a retenční čáry půdní vlhkosti (převzato Kodešová, 2005)

Z retenční čáry půdní vlhkosti lze přepočtem a náhradou měřítek získat přehled o zastoupení nebo velikosti půdních pórů.[18]

### Laboratorní metody stanovení RČPV

V laboratoři se RČPV stanovuje pomocí podtlakových a přetlakových přístrojů. Podtlakovým přístrojem je pískový tank, uvedený na obrázku č. 1.3.2. Jedná se o kontejner vyplněný vrstvami písku, do kterého je ze spodní strany zavedena hadička spojená s nádobou na vodu.



Obr. 15 Pískový box pro stanovení pF křivek (převzato ekotechnika.cz)

Křivky jsou stanoveny u neporušených půdních vzorků, které se nejdříve nechají nasytit na hodnotu objemové vlhkosti blízké nasycení. Tyto vzorky se poté vloží do pískového kontejneru, ve kterém jsou již zmíněné pískové vrstvy nasyceny. Vzorky se následně drénují do ustáleného stavu při různých tlakových podmínkách, které se nastavují pomocí výškové úrovně nádoby s vodou.[18]

Pro měření s vyšším sacím tlakem používáme přetlakový aparát, viz obrázek 1.3.3, jehož hlavní části jsou tlaková komora a polopropustné keramické membrány. Přetlak vzduchu se nastavuje pomocí regulátoru tlaku a manometru. Přípravené půdní vzorky jsou drénovány několika tlakovými kroky. Znárodnění průběhu retenční čáry se provádí stejně jako u předešlého podtlakového přístroje.[18]



Obr. 16 Přetlakový přístroj (převzato Kameníčková, 2013)

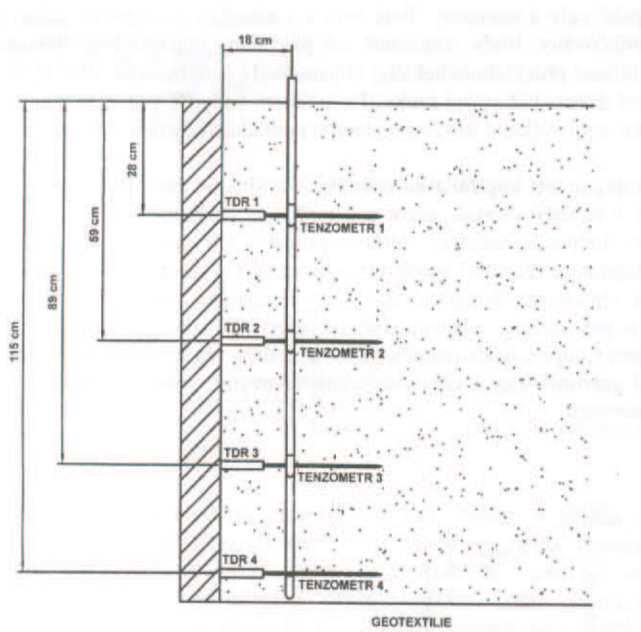
Dalším přístrojem využívaným při stanovení RČPV je Tempská cela, viz obrázek 1.3.4. U tohoto přístroje se tlakové úrovně nastavují buď pomocí polohy byrety (podtlakově) nebo zdrojem přetlaku vzduchu (přetlakově).[18]



Obr. 17 Tempská cela 1400D (převzato [www.ekotechnika.cz](http://www.ekotechnika.cz))

### Terénní metody stanovení RČPV

Při měření v terénu se do určitých hloubek půdního profilu nainstalují čidla na měření vlhkosti (TDR senzory, neutronová sonda, kapacitní sonda, apod.) a dále čidla na měření tlakové výšky (tenzometry), jak je znázorněno na obrázku 1.3.5. Po zjištění hodnot vlhkosti a tlakové výšky se jednotlivé body zakreslí do grafu a spojí se v retenční čáru půdní vlhkosti. Tato metoda je použitelná i v laboratoři.[18]



Obr. 18 Schematické zakreslení tenzometrů pro měření tlakových výšek a TDR čidel pro měření objemových vlhkostí (převzato Kodešová, 2005)

### 1.3.2 Nasycená hydraulická vodivost ( $K_s$ )

Hydraulická vodivost charakterizuje půdní prostředí vzhledem k proudění vody v půdě. Nasycenou hydraulickou vodivost lze stanovit přímo, pomocí laboratorních či terénních měření, nebo nepřímo v závislosti na půdních vlastnostech jako je textura, struktura, objemová hmotnost apod. Nepřímé metody jsou známé jako „pedotransferové funkce“ a slouží pro přibližný odhad hydraulické vodivosti. Pokud chceme dosáhnout rozumných výsledků, můžeme je použít jen u půd texturálně lehkých. V našich podmínkách (zvrstvené, heterogenní půdní profily) jsou často nepoužitelné. Lze je však využít pro prvotní odhad hodnot hydraulické vodivosti a následně tyto hodnoty upřesnit tzv. invertní metodou. [20]

#### Laboratorní metody stanovení $K_s$

Stanovení nasycené hydraulické vodivosti v laboratoři provádíme u neporušených půdních vzorků o objemu  $100 \text{ cm}^3$  (Kopeckého válečky). Při použití těchto metod dochází ke vzniku chyb. Prvotní chyby vznikají již při transportu, kdy dochází buď k hutnění vzorku, či nakypření. Tyto změny objemu pak mohou způsobit vytvoření preferenční cesty podél stěny válečku nebo kořínků rostlin. Další vnášení chyb nastává při samotném měření, kdy je vzorek upevněn do příslušného aparátu – propustoměr s konstantním nebo proměnným hydraulickým spádem a pomocí Tempských cel. Tehdy, především u nestrukturních půd, dochází k vyplavování jemné frakce a ke zvýšení hodnot hydraulické vodivosti. Pokud však zabráníme vyplavování, dojde k zakolmatování spodní části vzorku a hodnoty hydraulické vodivosti poklesnou.[20]

*Měření permeametrem s konstantním spádem* se provádí se vzorky půdy, které se nejprve nechají nasytit na filtračním papíru do dosažení maximální kapilární kapacity. Poté je lze umístit do permeometru a dosytit na plnou vodní kapacitu. Dosažená úroveň nasycení neodpovídá pórovitosti, jelikož v pórech vždy zůstane malý podíl vzduchu. Naměřená hydraulická vodivost se tedy vztahuje k experimentálně dosažené vlhkosti. Úroveň horní hladiny se kontroluje pomocí elektronického čidla, dolní hladina je určena

přepadem. Koeficient nasycené hydraulické vodivosti  $K_s$  se vypočítá z ustáleného průtoku  $q$  dle následujícího vztahu 1.3.1.[15]

$$K_s = \left(\frac{q}{S}\right)\left(\frac{l}{\Delta h}\right) [\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}], \quad (1.3.1)$$

kde:

- $q$  - ustálený průtok,  $q = V/\Delta t$  [ $\text{cm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ]
- $V$  - objem vody proteklý za čas  $\Delta t$  [ $\text{cm}^3$ ],
- $S$  - plocha válečku [ $\text{cm}^2$ ],
- $l$  - výška válečku [cm],
- $\Delta h$  - rozdíl hladin [cm].



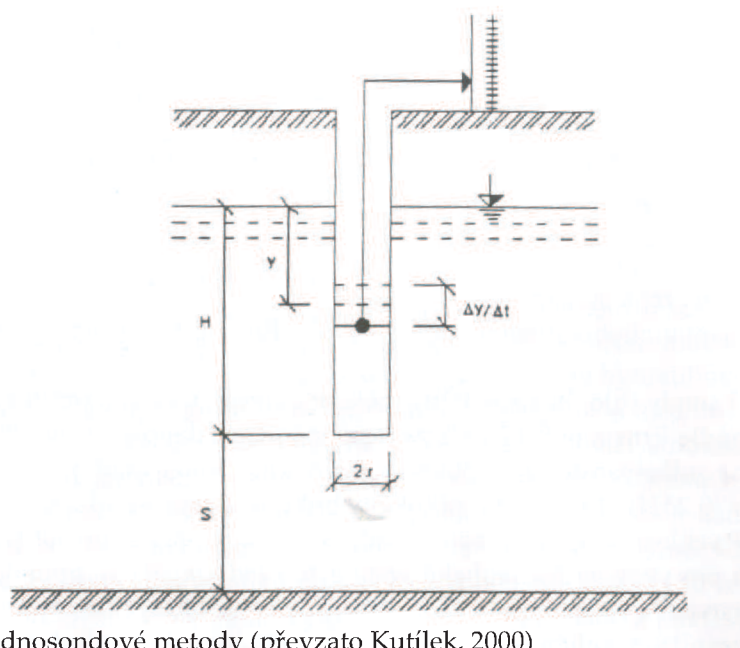
Obr. 19 Permeametr s konstantním spádem (vlastní foto)

U permeamtru s proměnným spádem dochází oproti průtokoměru s konstantním spádem k poklesu tlakové výšky na horním okraji.

### Terénní metody stanovení $K_s$

V terénu se využívá dvouválcové výtopové infiltrace, tlakového permeamtru a Guelphského permeamtru. V případě, že se měření provádí pod hladinou podzemní vody, lze  $K_s$  stanovit jednosondovou nebo piezometrickou metodou.[18] Následující popis je zaměřen na dvě poslední zmíněné.

Jednosondová metoda stanovuje hydraulickou vodivost z naměřených hodnot rychlosti přítoku do sondy skrze stěny a dno, poté co bylo vyčerpáno určité množství vody. Z obrázku č. 1.3.7 lze pak odvodit princip této metody, který je i patrný z následujícího vztahu 1.3.2. Doporučené parametry sondy jsou průměr 8-12 cm a hloubka minimálně 40 cm.[20]



Obr. 20 Schéma jednosondové metody (převzato Kutílek, 2000)

$$K_s = C \frac{dy}{dt} \quad (1.3.2)$$

kde:

- $K_s$  - nasycená hydraulická vodivost,
- $C$  - tvarový součinitel, závislý na poloměru a hloubce sondy a hloubce hladiny.

Pokud budeme měřit hydraulickou vodivost u anizotropické půdy, jednosondovou metodou zjistíme pouze horizontální složku  $K_s$ . Vertikální složku pak lze stanovit piezometrickou metodou. Tato metoda se od předešlé liší pouze tím, že je sonda zapažena nepropustnou pažnicí a přítok je možný pouze dnem. Výhodou piezometrické metody jsou poměrně přesné výsledky  $K_s$  u jednotlivých vrstev půdy pod hladinou podzemní vody. Pokud se hladina podzemní vody nachází ve větších hloubkách, lze použít infiltrační pokus nebo Guelphský permeometr.[20]

Ideální hodnoty nasycené hydraulické vodivosti půdy by se podle zahraniční literatury měly pohybovat v rozmezí  $5 \cdot 10^{-3}$  -  $5 \cdot 10^{-4}$   $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ , aby mohlo docházet k rychlé infiltraci a redistribuci potřebné a plodinami využitelné vody, redukci povrchového odtoku a půdní eroze, ale i rychlé drenáži přebytečné půdní vody. Pokud  $K_s$  přesáhne horní mez  $5 \cdot 10^{-3}$   $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$  dojde k vyplavování živin z půdy, pokud však nedosáhne ani spodní meze  $5 \cdot 10^{-4}$   $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$  dojde ke zvýšené tvorbě kaluží, zvýšenému povrchovému odtoku a půdní erozi. Pro jemnozrnné zemědělské půdy byla stanovena kritická hodnota  $1 \cdot 10^{-4}$   $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ . [26] U písčitých půd dosahují hodnoty  $K_s > 10$   $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$ , u jílu  $> 0,1$   $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$ . [20] Klasifikace půdního profilu vzhledem k jeho propustnosti lze provést podle mnoha autorů, v následující tabulce 1.3.1 je uvedena jedna z nich.



Tab. 1.3.1 Klasifikace půdní propustnosti (převzato Kutílek)

Skupina	Půdní propustnost	Kutílek
		$m \cdot d^{-1}$
I	Velmi malá	< 0,03
II	Malá	0,03-0,15
III	Mírná	0,15-0,50
IV	Střední	0,50-2,00
V	Velká	2,00-6,00
VI	Značně velká	< 6,00
VII	Velmi velká	-

### 1.3.3 Nenasycená hydraulická vodivost ( $K$ )

#### Laboratorní metody stanovení $K$

Nenasycená hydraulická vodivost se stanovuje pomocí crust metody, one-step nebo multi-step outflow a evaporační metodou. Princip crust metody spočívá opět na drenáži neporušeného půdního vzorku. Nenasycené proudění je zabezpečeno jemnozrnností a výškou krusty. Tlakové výšky jsou měřeny tenzometrem. Vyhodnocení se provádí na základě známého průtoku, rozdílu potenciálů a platnosti Darcyho zákona. Metody one-step a multi-step probíhají podobně jako u měření pomocí Tempské cely. Evaporační metoda představuje sledování úbytku váhy dané výparem a současné měření tlakových výšek ve vzorku pomocí tenzometrů.[18]

### Terénní metody stanovení $K$

Nenasycená hydraulická vodivost se v terénu stanovuje pomocí podtlakového diskového permeamtru. Jak je patrné z obrázku 1.3.8, přístroj se pokládá na povrch půdy a pomocí trubic v probublávací věži se nastavuje podtlak vody. V důsledku toho je pak dán průtok vody půdou. Další variantou je stanovení při měření objemových vlhkostí a tlakových výšek (viz. obrázek 1.3.5).[18]



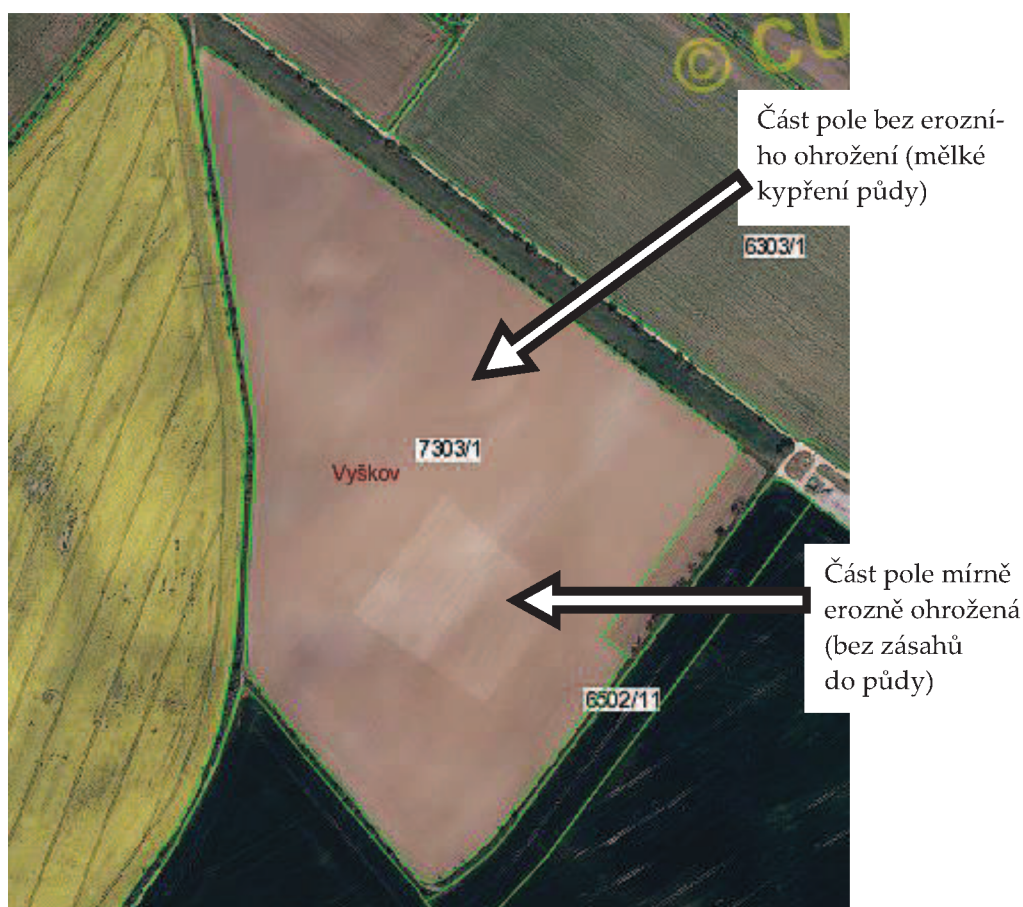
Obr. 21 Tenzní infiltrometr (převzato ekotechnika.cz)

## 2 Praktická část

### 2.1 Charakteristika území

#### 2.1.1 Popis lokality Kozlany

Obec Kozlany se nachází v okrese Vyškov v Jihomoravském kraji. Experimentální plochu tvoří 17,5 ha pole ležící v katastrálním území Kozlany u Vyškova, jihovýchodně od silnice Milonice – Kozlany. Lokalita spadá do geomorfologické oblasti Kučerovské pahorkatiny.[7] Pole je tvořeno mírně svažitém terénem s hlavním sklonem k severovýchodu ( $3 - 7^\circ$ ) s průměrnou nadmořskou výškou 325,52 m n. m. Podle LPISu se jedná o půdní blok 7303-0, který je z části mírně erozně ohrožen.[8]



Obr. 22 Zájmová lokalita Kozlany (převzato [www.eagri.cz](http://www.eagri.cz))

V jihozápadní části území se nacházejí nezpevněné jílovité sedimenty a zbylou část tvoří nezpevněná spraš a sprašová hlína.[5] Na těchto půdotvorných substrátech se vytvořily hluboké vrstvy černozemě modální.[11]

Experimentální plochu tvoří standardní orná půda obhospodařovaná zemědělskou společností ZEMO, spol. s r.o. Na zájmovém poli jsou využívány minimalizační technologie zpracování půdy, převážně se jedná o mělké kypření. Na části honu o ploše 3 ha, kde se nachází mírně erozně ohrožená půda, se ve vegetačním období neprováděly žádné operace s půdou. Po podzimní sklizni pšenice ozimé (*Triticum aestivum*) byla provedena podmítka talířovým podmítačem a na celé experimentální ploše bylo aplikováno hnojivo. Kromě těchto prací bylo na ploše bez erozního ohrožení (dílní lokalita 1) provedeno prohlubování radličkovým podmítačem do hloubky 20 cm. Na ploše erozně mírně ohrožené (dílní lokalita 2) byla vyseta mezplodina (směs hořčice bílé (*Sinapis alba*) a svazenky vratičolisté (*Phacelia tanacetifolia*)), do které se po vymrznutí zasela 7. dubna 2016 (75 tis. jedinců/ha) slunečnice roční - hybrid P63LL06 (*Helianthus annuus*). (zdroj ZEMO, spol. s r.o.)



Obr. 23 Zájmová lokalita Kozlany 29. 4. 2016 (vlastní foto)

### 2.1.2 Klimatické podmínky

Sledovaná lokalita leží v klimatickém regionu T 3 (teplý, mírně vlhký) s průměrnou roční teplotou 8 – 9°C. Průběh srážek během sledovaného období je zaznamenán v tabulce 2.1.1, která je sestavena na základě přílohy č. 6.

Tab. 2.1.1 Srážkové úhrny v lokalitě Kozlany I. – XII. 2016. Ve vyznačených měsících byly odebrány půdní vzorky. (zdroj ZEMO, spol. s r.o.)

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Úhrn srážek [mm]	15,17	63,64	51,43	44,76	23,8	21,76	70,04	19,72	6,8	35,02	21,08	4,76
Σ	379,1											

Z uvedených hodnot je patrné, že průběh srážek odpovídal běžnému roku, vyšší úhrny byly zjištěny na přelomu zimních a jarních měsíců a také během podzimu. Neobvyklý je však úhrn srážek v měsíci červenci, kdy bývají v této lokalitě často velmi suchá léta. Průběh srážek nemalou měrou ovlivňuje i fyzikální a hydraulické vlastnosti půdy.

### 2.1.3 Hydrologické podmínky

Území je odvodňováno Roštěnickým potokem (lok. č.h.p. 4-12-02-01), který se vlévá do vodního toku Haná. Celá oblast spadá do povodí Moravy (hlavní povodí Dunaj). Z hydrogeologického hlediska leží zájmová lokalita v rajónu 2230 Vyškovská brána.[5]

### 2.1.4 Agrotechnologické úpravy půdy

Úpravy půdy se provádí především proto, aby se vytvořili vhodné podmínky pro růst a vývoj pěstovaných plodin a tím se i docílilo vyššího zisku. V neposlední řadě je to jeden ze způsobů, jak zajistit správný průběh půdních procesů a zlepšit fyzikální vlastnosti půdy.

Rozlišují se dva základní typy technologie zpracování půdy, konvenční (klasická – orba) a minimalizační (minimální zásahy do půdy).

### Konvenční technologie

Při konvenčním zpracování dochází k obrácení vrstvy půdy a tím i k zapravení posklizňových zbytků a biomasy meziplodin pod orníční vrstvu. Využívaná je i z důvodu zamezení růstu plevelů a provzdušnění půdního horizontu. Podle hloubky orby se rozděluje na mělkou (14 – 18 cm), střední (18 - 24 cm), hlubokou (24 - 30 cm) a velmi hlubokou (> 30 cm) orbu, která se provádí radličnými pluhými.[28]



Obr. 24 Příklad jednostranného pluhu (převzato cz.kverland.com)

### Minimalizační technologie

Jde o způsob úpravy půdy, který se vyznačuje mělkým a málo intenzivním zásahem do půdy. Namísto orby je využito kypření do malé hloubky (20 cm), výsev plodin do nezpracované půdy, nebo do vymrzajících meziplodin a další. Zpracování půdy, při kterém zůstane více, jak 30 % povrchu zakryto posklizňovými zbytky je považováno za půdoochranné. Princip minimalizační technologie tkví v prokypřování pouze svrchní vrstvy půdy a tím zamezení vysychání spodních vrstev humusového horizontu (přerušení kapilarity).

Vývoj minimalizační technologie a zemědělské techniky započal přibližně v první polovině 20. století v cizině, především v USA. Na našem území si minimalizační technologie vytváří dlouholetou tradici přibližně od 70. let. Její poměrně hojné využití je provázáno výzkumy zaměřenými na zjištění dopadů

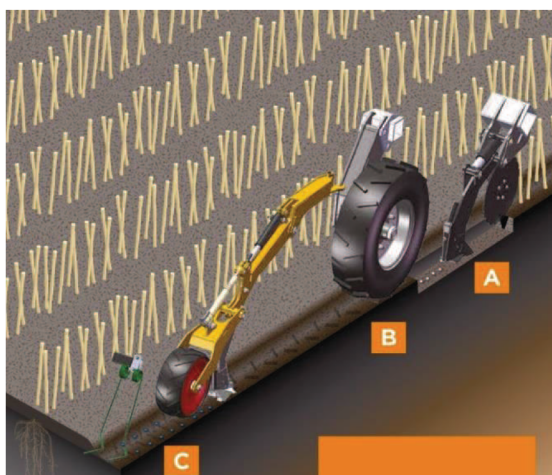
minimalizace na půdní prostředí, růst rostlin a dosažitelný výnos. V poslední době se výzkumy zaměřují, ale i na rizika spjatá s dlouhodobým a opakovaným používáním minimalizační technologie, při které by mohlo docházet k rozšíření negativních činitelů.[12; 19]

Jak již bylo řečeno, jedním způsobem využívaným při minimalizační technologii je mělké kypření. Toho se docíluje pomocí podmítacích pluhů, talířových (diskových) podmítačů, radličkových podmítačů a rotačních kypřičů. Převážná většina zmíněných podmítačů svým průměrem disků mnohdy nepokrývá potřebu spotřebitelů pěstujících cukrovou třtinu nebo zrnovou kukuřici, jelikož je pro ni velmi obtížné zpracovat mocné vrstvy zbylé organické hmoty. Proto se na trhu začínají objevovat i stroje robustnější jako například podmítač APF SL, který má průměr disku 1020 mm. Pomocí hydrauliky lze nastavit pracovní hloubku zpracování půdy, která může dosáhnout až 45 cm. Jeho robustní konstrukce, která zvládá i zpracování těžkých či suchem ztvrdlých půd je patrná z obrázku 2.1.4.[4]



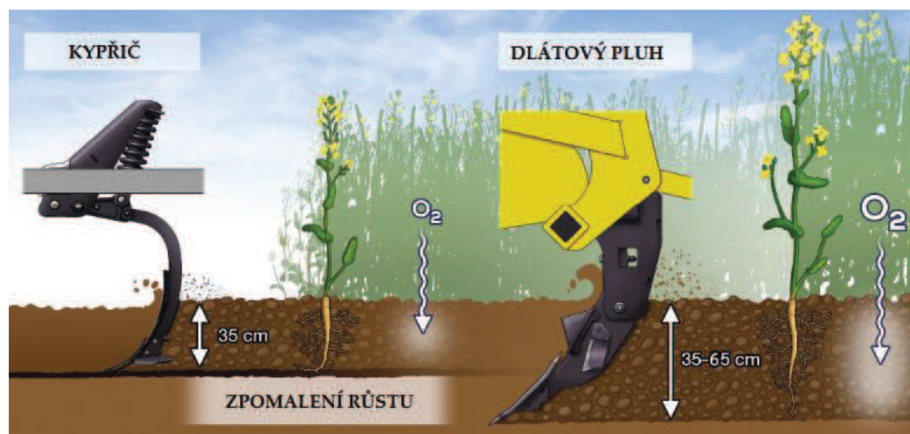
Obr. 25 Talířový podmítač APF SL od firmy Quivogne (převzato [www.mechanizaceweb.cz](http://www.mechanizaceweb.cz))

Postupem času dochází i k vývoji nových kombinovaných strojů, které minimalizují počet přejezdů po zemědělské ploše. Tzv. pásové zpracování půdy (strip-till) znamená, že při jednom pojezdu po nezpracované půdě (posklizňové zbytky, strniště) dojde k aplikaci hnojiva do spodní vrstvy, dále vpravení osiva a zpětné přimáčknutí nakypřené půdy, jak je patrné z obrázku 2.1.5.[10]



Obr. 26 Ukázka práce secího stroje Mzuri Pro-Til 4T, A-aplikace hnojiva, B-příprava seťového lůžka, C-vpravování osiva a následné přitlačení nakypřené půdy (převzato [www.mechanizaceweb.cz](http://www.mechanizaceweb.cz))

Při dlouhodobém zpracování půdního profilu na jednu hloubku dochází ke vzniku tzv. plužní pánve. Pojezdem těžké mechanizace se půdní profil v blízkosti plužní pánve utužuje, což má za následek negativní vliv na fyzikální vlastnosti půdy (pórovitost, penetrační odpor) a vývoj kořenového systému rostlin (růst kořenů v horizontálním směru, větvení a deformace u hlíznatých plodin). Po dlouhodobých srážkách dochází k trvalému zamokření půdy právě v důsledku vzniku plužní pánve. Tuto utuženou vrstvu je zapotřebí narušit a tím i obnovit půdní strukturu a vodní režim půdy. Hloubkové prokypření (až do hloubky 65 cm) se provádí pomocí dlátových pluhů, viz obrázek 2.1.6. [30]



Obr. 27 Ukázka použití dlátového pluhu a kypříče (převzato [www.bednar-machinery.com](http://www.bednar-machinery.com))



Minimalizační technologie je nejvíce využívána v Severní a Jižní Americe a Austrálii. V ČR se odhadují plochy obhospodařované minimalizační technologií na přibližně 30 % celkové zemědělské plochy. Je vhodná pro středně těžké půdy s vyšší přirozenou úrodností v sušších podmínkách. Nejčastěji se využívá při pěstování hustě setých obilnin, kukuřice, olejnin i cukrovky.[13]

Z ekologického hlediska je hlavní důvod využití minimalizační technologie příznivý vliv na strukturu půdy (především zvýšení vodostálosti půdních agregátů). Což v důsledku znamená i zlepšení hospodaření s půdní vodou a především redukcí vodní a větrné eroze. V tabulce 2.1.2 je uvedeno procento vodě odolných agregátů při konvenčním způsobu a vybraných typů minimalizačního způsobu zpracování půdy. Dalším důvodem je zlepšení stavu půdní organické hmoty (obsah a kvalita humusu).[13]

Tab. 2.1.2 Procento vodě odolných půdních agregátů – průměr hodnot z období 2005 - 2009 (převzato, upraveno Javůrek a kol., 2010)

Plodina	Konvenční zpracování	Bez zpracování	Bez zpracování + mulč	Mělké zpracování + sláma
Pšenice ozimá	23,7	47,3	56,1	34,5
Ječmen jarní	32,4	45,6	51,8	40,7
Hrách setý	26,8	44,3	48,3	37,5

Nezanedbatelným důvodem stále vyšší využitelnosti bez orebních způsobů obdělávání půdy je také ekonomická výhodnost. Oproti klasickému způsobu zpracování půdy, který obnáší orbu, podmítku, smykování, vláčení, různé způsoby kypření a další, využívá bez orební technologie pouze některé polní práce a tím i snižuje náklady na pohonné hmoty. Ekonomické porovnání minimalizační a konvenční technologie je znázorněno v tabulce 2.1.3.

Tab. 2.1.3 Ekonomická náročnost technologií úpravy půdy (zdroj Konvalinka, 2012)

Typ technologie	minimalizační	klasická
Hodinová výkonnost [ha/hod]	2 – 4	0,5 – 2
Spotřeba nafty [l/ha]	5 – 8	12 – 25
Náklady [Kč/ha]	350 - 600	1000 - 1600

Minimalizační technologie není vhodná pro zamokřené a nadměrně utužené půdy, kde je důležité docílit dostatečného provzdušení a nakypření půdy.[13]

## 2.2 Popis práce v terénu a laboratoři

Prvotní práce v terénu představuje hydroopedologický průzkum, ze kterého se zjišťují pedologické, hydroopedologické a hydraulické vlastnosti půdy. Tyto zjištěné vlastnosti pak slouží pro posouzení fyzikálního stavu půdního prostředí a jako podklad pro projektovou dokumentaci.

### 2.2.1 Odběr půdních vzorků

Z pedologického průzkumu lze získat dva typy vzorků, porušený a neporušený.

*Porušené vzorky* se odebírají z čela kopané sondy pomocí polní lopatky a to vždy od spodu, aby nedošlo k promíchání jednotlivých vrstev. Po odebrání potřebného množství (záleží na typu a počtu zkoušek), se vzorky vkládají do popsaných sáčků (místo odběru, číslo sondy, datum, počasí atd.).

*Neporušené vzorky* se odebírají pomocí Kopeckého válečku z čela kopané sondy v jednotlivých vrstvách, stejných jako u porušených vzorků. Válečky se zatloukají do předem připravené plošinky, až do doby než zemina přesahuje horní okraj válečku o 0,5 – 1 cm. V případě vyschlé zeminy se váleček nezatlouká, nýbrž se zemina kolem válečku uvolní a po dalším zatlačení se zemina odkrojí břitem válečku. Přesahující zemina se odřízne v úrovni obou základů a válečky se uzavřou víčky a vloží do plechového kufříku nebo igelitového sáčku.[15]



Obr. 28 Ukázka odebraných neporušených půdních vzorků před odříznutím přesahující zeminy (vlastní foto)



Obr. 29 Sada půdních válečků v plechovém kufříku (převzato [www.ekotechnika.cz](http://www.ekotechnika.cz))

### 2.2.2 Práce v laboratoři

Po převozu do laboratoře se porušené půdní vzorky skladují v suché a větrané místnosti. Sáčky se otevřou a s mezerou pro lepší vysychání se položí vedle sebe. V případě, že je odebraná zemina příliš vlhká rozprostře se v nižší vrstvě do misky, občasně se promíchá a rozdrobí.[15] Po vyschnutí se z těchto vzorků, viz obrázek 2.1.6, zjišťuje zdánlivá hustota pevných částic (viz kapitola

1.1.2). Dále se využívají pro zrnitostní rozbor a následnou klasifikaci půdy podle metodiky popsané v kapitole 1.1.3.

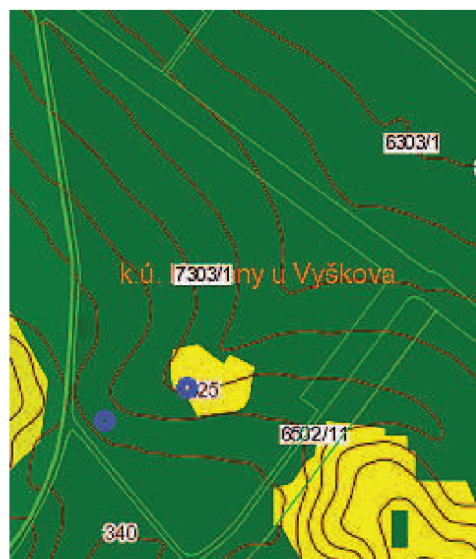


Obr. 30 Porušené půdní vzorky připravené pro laboratorní rozборы (vlastní foto)

S neporušeným vzorkem se práce v laboratoři provádí dle metodiky uvedené v kapitole 1.2. Výsledky zjištěné z tohoto rozboru slouží k určení objemové hmotnosti redukované, viz kapitola 1.1.1 a dalších charakteristik půdy popsanych v kapitole 1.2.

## 2.3 Výsledky měření

Vzorky byly odebírány z experimentální plochy pole v katastrálním území Kozlany. Na části půdního bloku se vyskytuje plocha mírně erozně ohrožená, proto mohou být na takto označené ploše pěstovány širokořádkové plodiny (kukuřice, brambory, řepa, slunečnice atd.) pouze s využitím půdoochranných technologií. Na obrázku 2.1.6 je znázorněna zmíněná plocha žlutou barvou, zelenou barvou jsou označeny plochy erozí neohrožené. Odběrná místa jsou znázorněna modrými kolečky.



Obr. 2.31 Erozní ohrožení zájmové lokality Kozlany - PB 7303/1 (převzato [www.eagri.cz](http://www.eagri.cz))

Během pěti výjezdů konaných 29. dubna, 24. června, 19. července, 15. srpna a 9. září bylo odebráno vždy ze stejného místa (zaměření pomocí systému GPS) po deseti vzorcích z obou dílčích částí experimentálního pole, tedy z plochy zpracované mělkým kypřením a z plochy, u které byla použita technologie přímého setí do nezpracované půdy. Počet vzorků byl stanoven z důvodu ověření heterogenity půdy v místě odběru. Vzorky se odbíraly z hloubky 0 - 0,1 m do Kopeckého válečků. Cílem měření bylo vyhodnotit a zjistit průběh jednotlivých fyzikálních a hydraulických vlastností půdy během vegetačního období.



Obr. 2.32 Odběr půdních vzorků pomocí Kopeckého válečků v hloubce 0 – 10 cm (vlastní foto)

### 2.3.1 Zdánlivá hustota pevných částic

Určení zdánlivé hustoty pevných částic probíhalo podle metodiky popsané v kapitole 1.1.2. V příloze č. 1 jsou uvedena pyknometrická měření, která byla použita jako podklad k určení zdánlivé hustoty. Průměrné hodnoty zdánlivé hustoty pevných částic pro dílčí plochy zájmové lokality jsou uvedeny v následující tabulce 2.3.1.

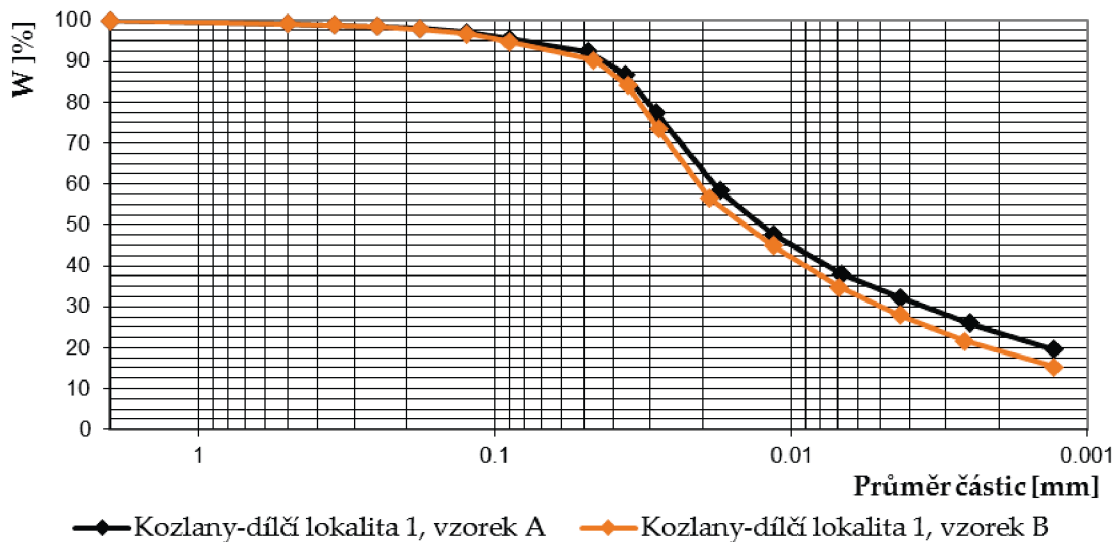
Tab. 2.3.1 Výsledné hodnoty zdánlivé hustoty pevných částic

Datum	Dílčí plocha	Způsob zpracování	Hloubka	$Q_s$
			cm	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
29.4.2016	1. - bez ohrožení	Mělké kypření	0 - 10	2.652
	2. - mírně ohrožená	Bez zpracování	0 - 10	2.674

### 2.3.2 Zrnitostní rozbor

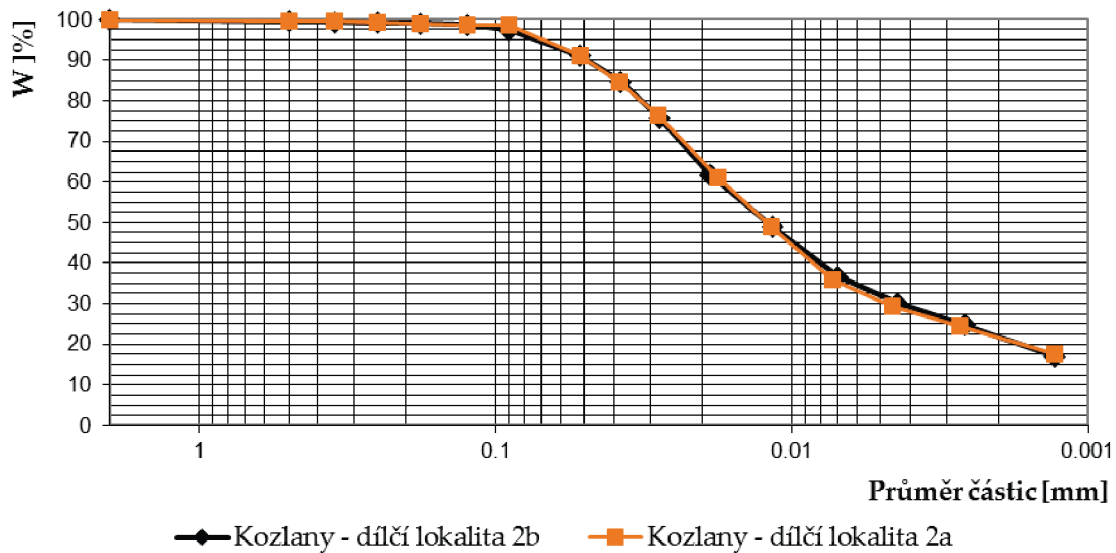
Zrnitostní rozbor byl prováděn podle metodiky uvedené v kapitole 1.1.3. Výsledkem zrnitostního rozboru jsou křivky zrnitosti, patrné z grafů 2.3.3 a 2.3.4. Podkladem pro vyhodnocení zrnitostního rozboru byly výsledky rozboru zrnitosti na sítech a hustoměrnou metodou, viz příloha č. 2.

### KŘIVKA ZRNITOSTI



Graf 2.3.1 Křivka zrnitosti, dílčí lokalita 1 bez erozního ohrožení – mělké kypření

### KŘIVKA ZRNITOSTI



Graf 2.3.2 Křivka zrnitosti, dílčí lokalita 2 s mírným erozním ohrožením – bez zpracování

Klasifikace půdy byla provedena podle Nováka, mezinárodní klasifikace půd FAO a USDA. Zatřídění vzorků z dílčích lokalit je uvedeno v tabulce 2.3.2. Pro určení jednotlivých kategorií byly použity výše uvedené křivky zrnitosti.

Tab. 2.3.2 Klasifikace půdy podle Nováka, FAO a USDA

Datum odběru	Dílčí lokalita	H	< 0.01	Jíl	Prach	Písek	Klasifikace		
		cm	%	%	%	%	Novák	FAO	Trojúhel. dia-gram USDA
1.5.2016	Lok. 1-A	10	43.80	22.77	69.70	7.53	hlinitá	středně jemná	prachovitá hlinitá
	Lok. 1-B	10	40.89	18.37	72.31	9.32	hlinitá	středně jemná	prachovitá hlinitá
	Lok. 2-A	10	44.82	21.04	69.07	9.89	hlinitá	středně jemná	prachovitá hlinitá
	Lok. 2-B	10	43.99	20.90	69.21	9.89	hlinitá	středně jemná	prachovitá hlinitá

### 2.3.3 Vybrané fyzikální vlastnosti půdy

Veličiny potřebné pro určení základních fyzikálních vlastností půdy byly zjištěny na základě metodiky popsané v kapitole 1.2. K výpočtu byly použity vzorce uvedené v tabulce 1.2.1. Výsledky základního rozboru neporušeného půdního vzorku jsou uvedeny v příloze č. 3. Přehled průměrných hodnot základních fyzikálních vlastností půdy je zpracován na základě výsledků uvedených v příloze č. 4 a je uveden v následující tabulce 2.3.3. Do průměru byly použity hodnoty výsledků vybraných hydrofyzikálních vlastností půdy ze všech pěti odebraných vzorků.



Tab. 2.3.3a Výsledné průměrné hodnoty základních fyzikálních a hydraulických vlastností půdy zjištěné ze vzorků odebraných z nezpracované plochy pole a z plochy mělce kypřené

Dílčí lokalita		1 - bez erozního ohrožení					
Typ technologie		mělké kypření					
Pěstovaná plodina		slunečnice roční					
Hloubka		10					
Výjezd	Datum	OHR $\rho_d$	Provzdu- šenost Vz	Pórovitost P	Distribuce pórů		
		g·cm <sup>-3</sup>	% obj.	% obj.	Kapilární póry P <sub>K</sub>	Semikapilární póry P <sub>S</sub>	Nekapilární póry P <sub>N</sub>
					% obj.	% obj.	% obj.
1	29.4.	1.27	34.94	52.14	24.08	7.47	20.59
2	24.5.	1.33	22.47	49.92	28.84	4.11	16.97
3	19.7.	1.39	22.02	47.57	27.40	2.98	17.19
4	15.8.	1.41	17.51	46.63	29.89	3.83	12.91
5	8.9.	1.49	28.28	43.83	16.25	6.61	20.97
Dílčí lokalita		2 - s mírným erozním ohrožením					
Typ technologie		bez zpracování					
Pěstovaná plodina		slunečnice roční					
Hloubka		10					
Výjezd	Datum	OHR $\rho_d$	Provzdu- šenost Vz	Pórovitost P	Distribuce pórů		
		g·cm <sup>-3</sup>	% obj.	% obj.	Kapilární póry P <sub>K</sub>	Semikapilární póry P <sub>S</sub>	Nekapilární póry P <sub>N</sub>
					% obj.	% obj.	% obj.
1	29.4.	1.33	25.57	50.13	27.28	5.12	17.73
2	24.5.	1.35	20.69	49.58	29.48	4.21	15.89
3	19.7.	1.39	18.78	47.77	30.97	3.22	13.59
4	15.8.	1.47	16.90	45.03	27.23	3.67	14.14
5	8.9.	1.47	31.59	44.79	17.10	6.92	20.77

Tab. 2.3.3b Výsledné průměrné hodnoty základních fyzikálních a hydraulických vlastností  
půdy zjištěné ze vzorků odebraných z nezpracované plochy pole a z plochy mělce kypřené

Dílčí lokalita		1 - bez erozního ohrožení			
Typ technologie		mělké kypření			
Pěstovaná plodina		slunečnice roční			
Hloubka		10			
Výjezd	Datum	Momentální vlhkost $\theta$	Maximální vodní kapacita $\theta_{\text{KMK}}$	Retenční vodní kapacita $\theta_{\text{RK}}$	Hydraulická vodivost
		% obj.	% obj.	% obj.	cm·s <sup>-1</sup>
1	29.4.	17.20	28.46	24.08	1,11E-03
2	24.5.	27.45	31.94	28.84	1,44E-03
3	19.7.	25.55	29.71	27.40	1,00E-03
4	15.8.	29.12	32.76	29.89	8,01E-04
5	8.9.	15.55	21.91	16.25	6,81E-04
Dílčí lokalita		2 - s mírným erozním ohrožením			
Typ technologie		bez zpracování			
Pěstovaná plodina		slunečnice roční			
Hloubka		10			
Výjezd	Datum	Momentální vlhkost $\theta$	Maximální vodní kapacita $\theta_{\text{KMK}}$	Retenční vodní kapacita $\theta_{\text{RK}}$	Hydraulická vodivost
		% obj.	% obj.	% obj.	cm·s <sup>-1</sup>
1	29.4.	24.56	31.01	27.28	8,40E-04
2	24.5.	28.89	33.15	29.48	1,20E-03
3	19.7.	28.99	33.45	30.97	8,69E-04
4	15.8.	28.13	30.23	27.23	5,11E-04
5	8.9.	13.20	23.20	17.10	5,34E-04

## 2.4 Vyhodnocení fyzikálních a hydraulických vlastností půdy

Veškeré vzorky byly odebrané z hloubky 0,0-0,1 m, tato svrchní část půdního horizontu je charakteristická díky environmentálním procesům, které v ní probíhají. Mezi tyto procesy patří agregace, vliv zpracování půdy, povrchová krusta, infiltrace, povrchový odtok, eroze a aerace. Vybrané hydrofyzikální vlastnosti půdy byly zjištěny podle příslušných metod popsaných v předešlých kapitolách. Jejich průměrné hodnoty (průměr ze vzorků 1 až 5) uvedené v tabulce 2.3.3 jsou v následujících podkapitolách vyhodnoceny a znázorněny v grafické formě sloupcových grafů.

### 2.4.1 Objemová hmotnost redukováná

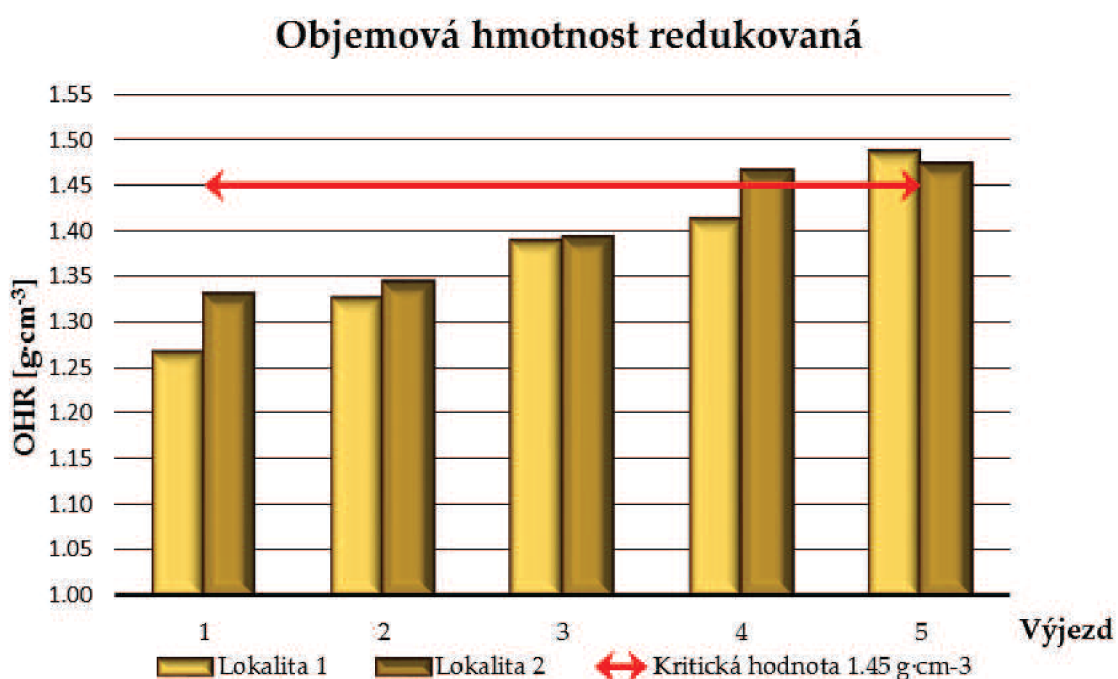
Na základě hodnot objemové hmotnosti redukováné ( $\rho_d$ ) lze popsat míru zhutnění nebo nakypření půdy.

Průměrné hodnoty OHR zjištěné u vzorků odebraných z dílčí lokality 1 zpracované mělkým kypřením se pohybovaly v rozmezí 1,27 – 1,49 g·cm<sup>-3</sup> (nárůst o 0,22 g·cm<sup>-3</sup>). Nejnižší průměrná hodnota 1,27 g·cm<sup>-3</sup> byla zjištěna na začátku vegetačního období a nejvyšší hodnota 1,49 g·cm<sup>-3</sup> při posledním výjezdu, tedy na konci vegetačního období. K překročení kritické hodnoty 1,45 g·cm<sup>-3</sup>, uváděné podle Lhotského pro středě těžké hlinité půdy, došlo při posledním výjezdu. Zhutnění půdního horizontu nastalo během přelomu srpna a září. Pomocí hodnot objemové hmotnosti redukováné dosažených při rozboru neporušeného půdního vzorku lze charakterizovat i přibližně strukturní stav humusového horizontu (0,0 – 0,3 m). Toto členění platné pro středně těžké až těžké půdy klasifikuje půdní horizont od výborného po nestrukturní, viz tabulka 1.1.1. Z dosažených hodnot vyplývá, že během 1. až 3. výjezdu byl strukturní stav dobrý. Při 4. a 5. výjezdu, tedy na konci vegetačního období, byl již stav nevyhovující.

U dílčí lokality 2, u které nedošlo k žádným zásahům do půdy, vzrostly průměrné hodnoty OHR z 1,33 na 1,47 g·cm<sup>-3</sup> (nárůst o 0,14 g·cm<sup>-3</sup>). Stejně jako u předešlé lokality, byly i zde dosaženy nejnižší hodnoty na začátku vegetačního období a nejvyšší hodnoty u vzorků z posledních výjezdů. K překročení kritické hodnoty podle Lhotského o 0,02 g·cm<sup>-3</sup> a tedy

i ke ztuhnutí půdy došlo u posledních dvou výjezdů. Přibližný strukturní stav lze zhodnotit jako dobrý u prvních třech výjezdů, u 4. a 5. výjezdu již jako nevyhovující.

Nárůst hodnot u obou dílčích lokalit odpovídá průběhu vegetačního období, během kterého dochází k utužování půdy rozvojem kořenového systému pěstovaných plodin, pojezdem zemědělské mechanizace, ale i vlivem klimatických podmínek. Celkový průběh zvyšujících se hodnot OHR ve svrchní vrstvě půdy s vyznačenou hranicí kritické hodnoty je znázorněn v následujícím grafu 2.4.1. Vyhodnocení OHR bylo provedeno na základě přílohy č. 4.



Graf 2.4.1 Průběh objemové hmotnosti redukové ve svrchní vrstvě s vyznačenou kritickou hodnotou, 29. 4. – 8. 9. 2016

## 2.4.2 Pórovitost, rozdělení pórů

Pomocí hodnot pórovitosti lze charakterizovat uspořádání půdní hmoty, ale i stejně jako u OHR i ulehlost a nakypření. Nárůst a pokles hodnot je totiž nepřímo úměrný s hodnotami objemové hmotnosti.

U vzorků odebraných z dílčí lokality 1 se zjištěné hodnoty pohybovaly v rozmezí od 52,14 do 43,83 % obj. (pokles o 8,31 % obj.). Na začátku vegetačního období tvořily póry 52,14 % obj., v průběhu vegetačního období tato hodnota poklesla až na hodnotu 43,83 % obj. Stejně jako u objemové hmotnosti je i pro pórovitost dána kritická hodnota podle Lhotského, pro hlinité půdy < 45 % obj., která poukazuje na nepříznivé zhutnění podorničí a ornice. Pod kritickou hodnotu se pórovitost dostala o 1,17 % obj. a to u vzorků odebraných při posledním výjezdu, tedy na konci vegetačního období.

Průměrné hodnoty celkové pórovitosti se pohybovaly u vzorků odebraných z dílčí lokality 2 od 50,13 do 44,79 % obj. (pokles o 5,34 % obj.). Na začátku vegetačního období byly zjištěny opět nejvyšší hodnoty pórovitosti a nejnižší na jeho konci. Pod kritickou hodnotu, danou dle Lhotského se hodnoty pórovitosti, opět dostaly na konci vegetačního období při posledním výjezdu a to o 0,21 % obj.

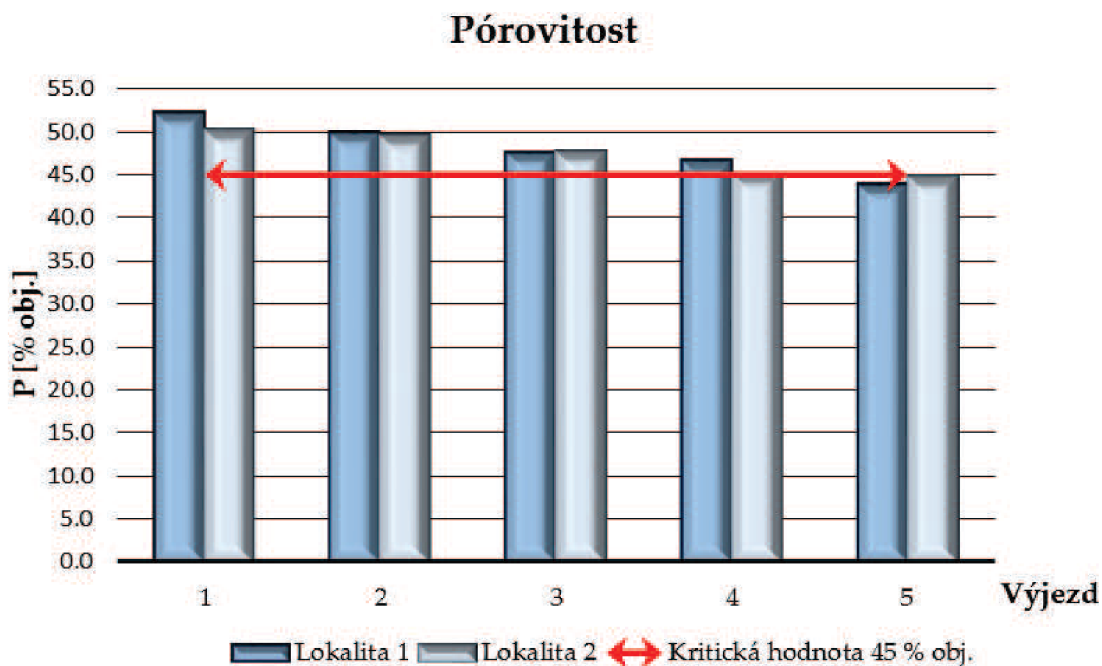
Stav utuženosti půdního horizontu lze popsat pomocí Bretfelda, viz tab. 1.2.2. Podle této klasifikace byly hodnoty pórovitosti z obou lokalit shodně zařazeny do jednotlivých kategorií ulehlosti, a to od mírně ulehlé po velmi ulehlou půdu, jak je patrné ze souhrnné tabulky 2.4.1.

Tab. 2.4.1 Klasifikace ulehlosti půdy podle dosažených hodnot pórovitost dle Bretfelda

Výjezd	Datum	Klasifikace půdy podle pórovitost (podle Bretfelda)
1	29.4.	mírně ulehlá
2	24.5.	ulehlá
3	19.7.	ulehlá
4	15.8.	ulehlá
5	8.9.	velmi ulehlá

Pokles hodnot pórovitosti během vegetačního období, znázorněný v grafu 2.4.2 včetně vyznačené kritické hodnoty, odpovídá průběhu objemové

hmotnosti. V příloze č. 4, která sloužila jako podklad pro toto vyhodnocení, jsou uvedeny zjištěné průměrné hodnoty pórovitosti včetně vyznačených hodnot, které překračují kritickou hodnotu.

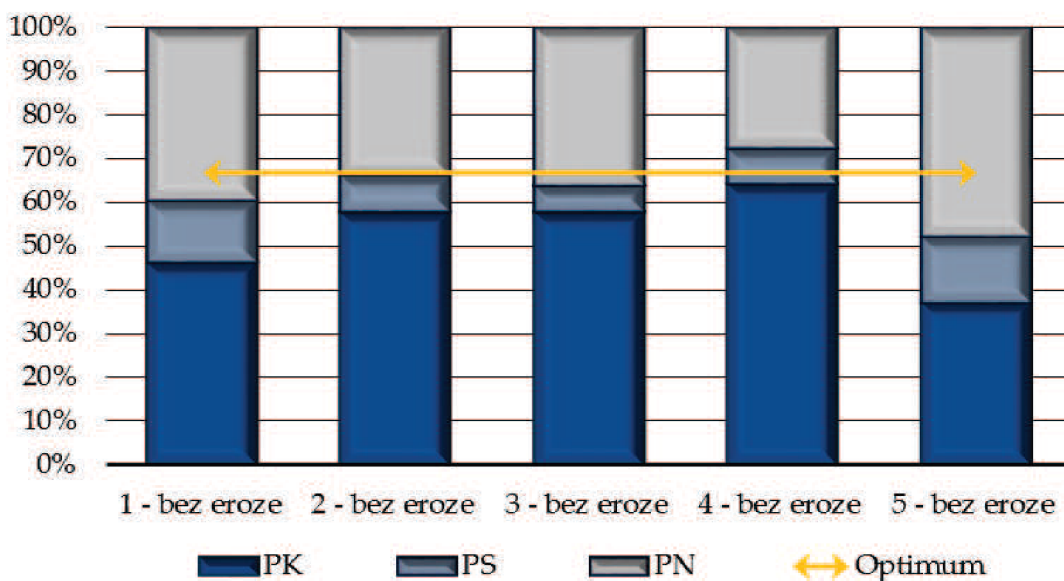


Graf 2.4.2 Průběh pórovitosti s vyznačenou kritickou hodnotou ve svrchní vrstvě půdy, 29. 4. – 8. 9. 2016

Nerovnoměrné rozdělení pórů má za následek snížení infiltrační schopnosti a tím i zvýšení povrchového odtoku, rychlejší vysychání půdy a nedostatek vody v kořenové oblasti rostlin.

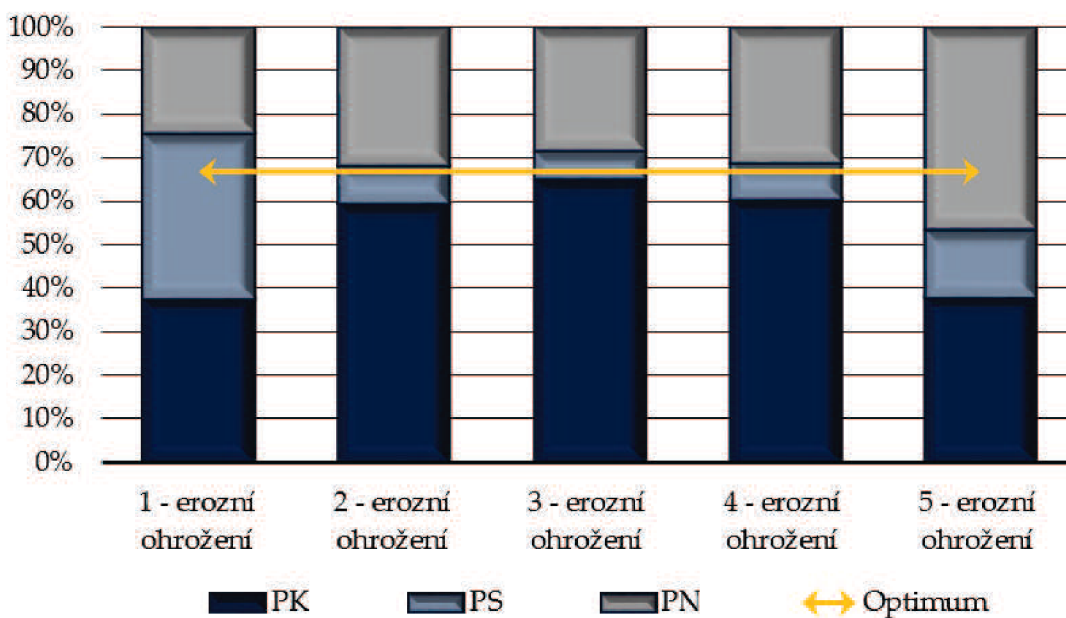
Zastoupení jednotlivých druhů pórů jsou uvedena v příloze č. 4. a kritéria pro jejich optimální rozdělení jsou uvedena v kapitole 1.2.2. Z grafu 2.4.3 a 2.4.4 je patrné rozdělení pórů ve svrchní vrstvě půdy (0 – 0,1 m) včetně vyznačené optimální hranice (2/3 % obj.) mezi kapilárními a semikapilárními a nekapilárními póry.

### Procentuální rozdělení pórů



Graf 2.4.3 Rozdělení pórů ve svrchní vrstvě půdy zpracovávané mělkým kypřením, 29. 4. – 8. 9. 2016

### Procentuální rozdělení pórů



Graf 2.4.4 Rozdělení pórů ve svrchní vrstvě nezpracované půdy, 29. 4. 8. 9. 2016

K optimálnímu rozdělení pórů se nejvíce přibližují hodnoty zjištěné ze vzorků odebraných při 4. výjezdu z dílčí lokality 1. Uspokojivých výsledků dosahují i vzorky z 2. a 3. výjezdu. Naopak při 1. a 5. výjezdu byly zjištěny nízké podíly v zastoupení kapilárních pórů. Vyšší podíl nekapilárních pórů, který byl taktéž zjištěn u 1. a 5. výjezdu značí, že půdní voda rychle proniká půdním profilem do větších hloubek.

U půdních vzorků odebraných z dílčí lokality 2 bylo nejlepší rozdělení pórů zjištěno při 3. výjezdu. Uspokojivé hodnoty byly dosaženy i při 2. a 4. výjezdu. Nejméně vhodné rozdělení půdních pórů bylo zjištěno u vzorků z 1. a 5. výjezdu, kde podíl kapilárních pórů důležitých pro zajištění vláhy kořenového systému činil přibližně  $\frac{1}{2}$  optimálního procentuálního zastoupení.

Průběh rozdělení půdních pórů probíhal u obou lokalit velmi podobně, v první polovině vegetačního období došlo k nárůstu kapilárních pórů a tudíž i k snížení podílu semikapilárních a nekapilárních pórů. Na konci vegetačního období podíl kapilárních pórů poklesl a naopak vzrostl podíl zbývajících pórů, což mělo za následek snížení půdní vláhy, která je důležitá pro zásobování kořenového systému rostlin. Znatelný rozdíl mezi dílčími lokalitami pak tvoří data zjištěná u neporušených půdních vzorků odebraných při 1. výjezdu, který způsobila odlišná technologie zpracování půdy.



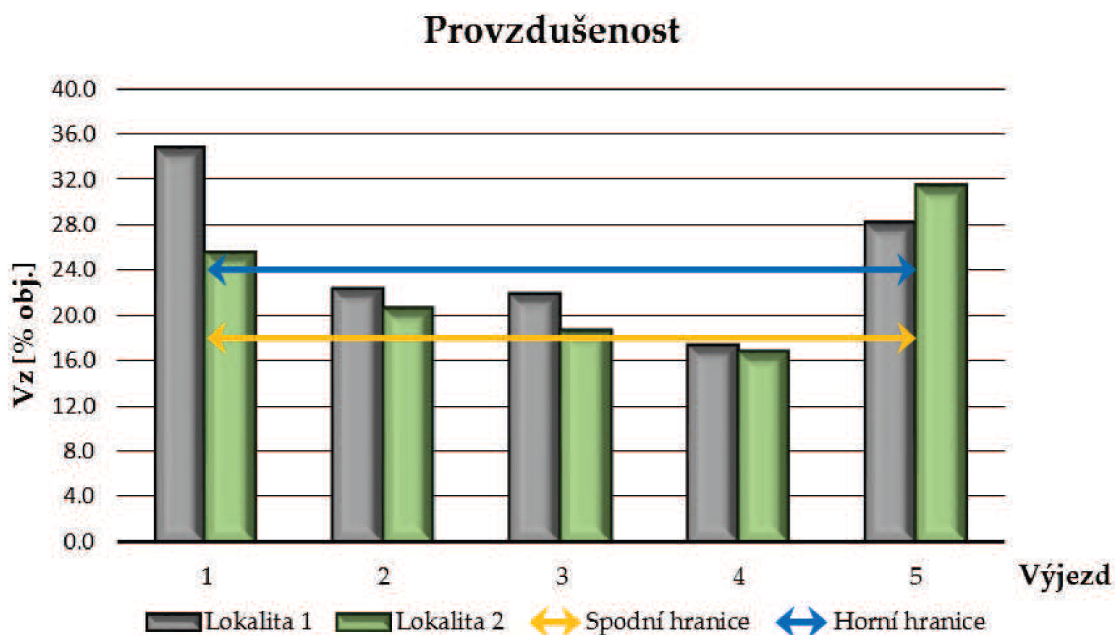
### 2.4.3 Provzdušenost

Podíl zastoupení půdního vzduchu je důležitým faktorem pro průběh chemických a biologických procesů. S dostatkem vzduchu probíhají v půdě aerobní procesy a v případě jeho nedostatku anaerobní procesy. Optimální hodnoty provzdušenosti u polí by se měly pohybovat mezi 18 – 24 % obj.

Průměrné hodnoty provzdušenosti zjištěné z lokality 1 se pohybovaly v rozmezí od 17,51 do 34,94 % obj. (rozpětí 17,43 % obj.). Nejvyšší hodnoty 34,94 % obj. byly zjištěny při 1. výjezdu, což je dáno prováděným mělkým kypřením. Naopak nejnižší hodnoty byly zaznamenány u vzorků z výjezdu 4. Průběh provzdušenosti má klesající tendenci v závislosti na zvyšující se objemové hmotnosti a klesající pórovitosti. Výjimku tvoří poslední výjezd, při kterém hodnoty dosahovaly 28,28 % obj. v důsledku velmi nízkého srážkového úhrnu. Optimální provzdušenost polí byla dosažena při 2. a 3. výjezdu. Při 1. a 5. výjezdu se hodnoty pohybovaly nad horní hranicí optimální provzdušenosti. V případě 1. výjezdu to bylo zapříčiněno především mělkým kypřením, v důsledku čehož došlo k rychlému odbourání humusu. U vzorků půdy z 5. výjezdu to bylo způsobeno nedostatkem srážek. Nedostatečná provzdušenost byla zjištěna při 4. výjezdu, čehož byla příčinou spotřeba půdního vzduchu pěstovanými plodinami a snižující se pórovitost.

Zjištěné hodnoty provzdušenosti z lokality 2 se pohybovaly mezi 16,90 a 31,59 % obj. (rozpětí 14,69 % obj.). Nejvyšší hodnota byla zjištěna při posledním výjezdu, tedy na konci vegetačního období a byla také jako u dílčí lokality 1 způsobena nízkým srážkovým úhrnem. Nejnižší hodnota 16,9 % obj. byla zjištěna opět při 4. výjezdu. Optimální provzdušenost půdy byla zjištěna při 2. a 3. výjezdu. Hodnoty pohybující se nad 24 % obj. byly také jako u lokality 1 zjištěny při 1. a 5. výjezdu. Podlimitní hodnoty pak byly zjištěny u 4. výjezdu, způsobené spotřebou kořenového systému vegetace.

Průběh hodnot provzdušenosti je znázorněn v grafu 2.4.5 a jak je z něj patrné má zpočátku klesající tendenci, která je na konci vegetačního období přerušena a hodnoty opět vzrostou nad optimální mez. Průměrné hodnoty provzdušenosti včetně zvýrazněných hodnot, které se nepohybují v optimálním rozmezí, jsou uvedeny v příloze č. 4.



Graf 2.4.5 Průběh provzdušenosti ve svrchní vrstvě půdy, 29. 4. – 8. 9. 2016

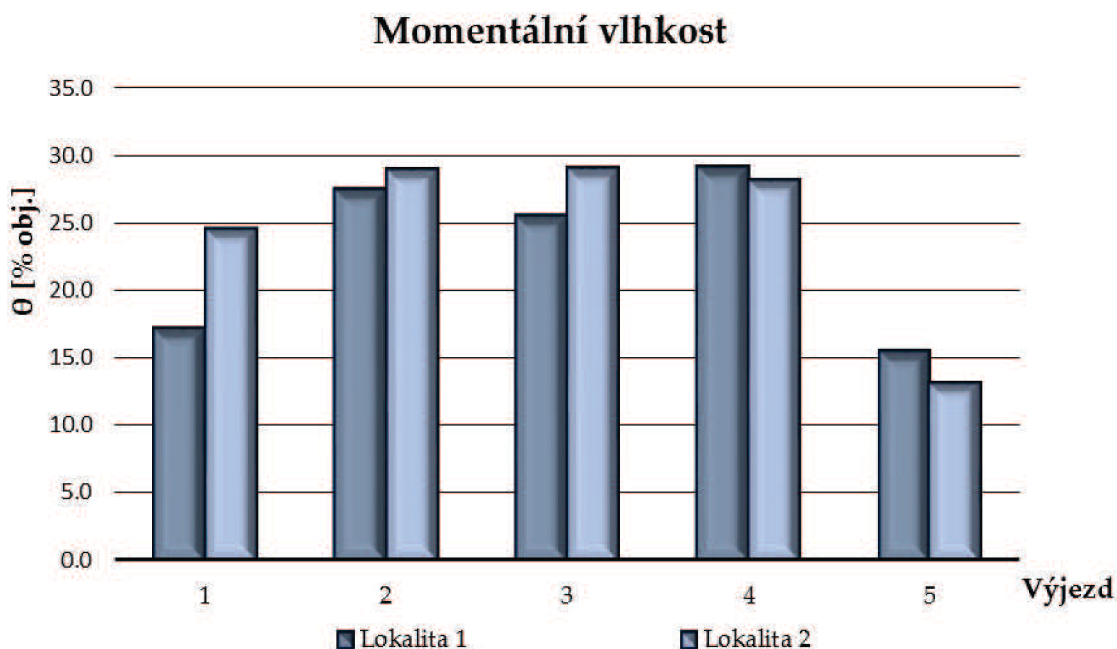
#### 2.4.4 Momentální vlhkost

Hodnoty momentální vlhkosti ( $\theta$ ) se pohybují v závislosti na srážkách, výparu, spotřebě a transpiraci vegetace i na vztlínání podzemní vody.

Zjištěné průměrné hodnoty u dílčí lokality 1 se pohybovaly v rozmezí 15,55 až 29,12 % obj. (rozpětí 13,57 % obj.). Nejvyšší hodnota momentální vlhkosti byla zjištěna při 4. odběru, kdy provzdušenost dosahovala minima. Při 5. výjezdu byla hodnota momentální vlhkosti nejnižší z důvodu velmi nízkého srážkového úhrnu. Nízké hodnoty byly dosaženy také při 1. výjezdu, s tím rozdílem, že je neovlivnil srážkový úhrn, ale vysoká provzdušenost v důsledku nakypření půdy.

Průměrné hodnoty zjištěné z lokality 2 se pohybovaly od 13,20 do 28,99 % obj. (rozmezí 15,79 % obj.). Nejvyšší hodnota byla dosažena při 3. výjezdu a nejnižší při 5. výjezdu. Během letních měsíců bylo celkově dosaženo nejvyšších a zároveň nejstálejších hodnot momentální vlhkosti. Při 5. výjezdu byla dosažena nejnižší hodnota, právě v důsledku nízkých srážkových úhrnů v předcházejícím období.

U obou dílčích lokalit byl průběh momentální vlhkosti téměř shodný, jak také patrné z grafu 2.4.6.



Graf 2.4.6 Průběh momentální vlhkosti ve svrchní vrstvě půdy, 29.4. – 8.9.2016

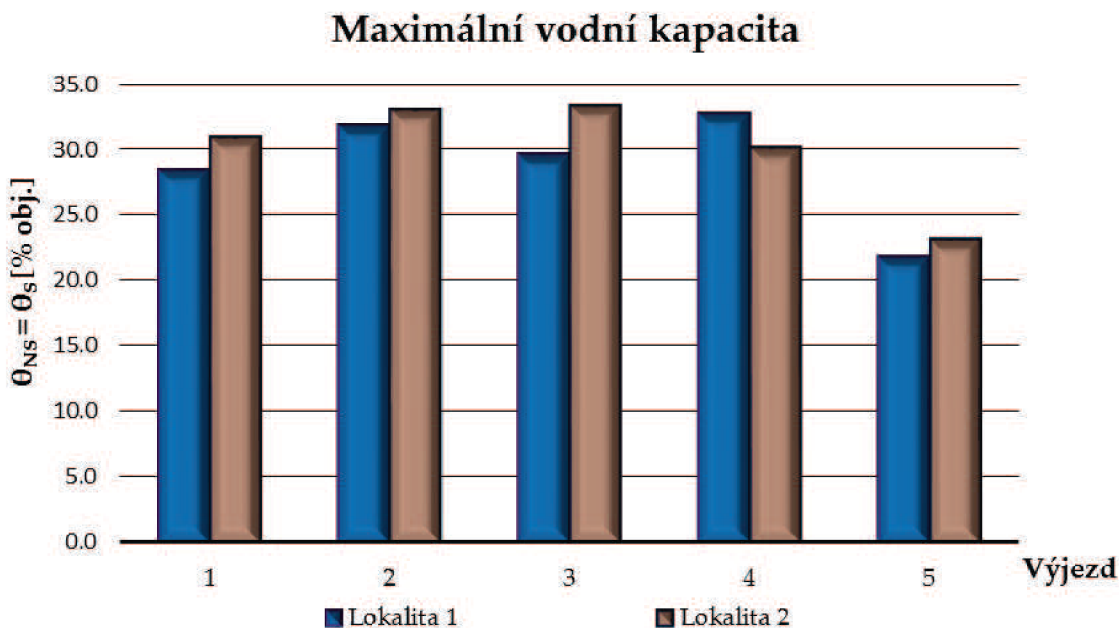
#### 2.4.5 Maximální vodní kapacita

Tato charakteristika vyjadřuje schopnost půdy zadržet maximální množství vody v kapilárních pórech po delší dobu.

Průměrné hodnoty zjištěné u vzorků z lokality 1 se pohybovaly v rozmezí od 21,91 do 32,76 % obj. (rozpětí 10,85 % obj.). Při 4. výjezdu bylo dosaženo nejvyšší hodnoty 32,76 % obj. a nejnižší při posledním výjezdu na konci vegetačního období. Během celého vegetačního období nedošlo k překročení limitní hodnoty 36 % obj., kterým by docházelo k zamokření půdy.

Hodnoty u vzorků odebraných z dílčí lokality 2 se pohybovaly mezi 23,20 a 33,45 % obj. (10,25 % obj.). Nejvyšších hodnot bylo dosaženo při 3. výjezdu a nejnižších 23,20 % obj. na konci vegetačního období v rámci 5. výjezdu. Limitní hodnoty 36 % obj. nedosahovaly ani výsledky zjištěné z lokality 2.

Průběh maximální vodní kapacity je u obou ploch značně podobný, za jediný rozdíl lze pokládat vzrůstající tendenci hodnot z lokality 2 oproti mírnému kolísání hodnot zjištěných z lokality 1. Grafické znázornění průběhu maximální vodní kapacity během vegetačního období je patrné z grafu 2.4.7, který byl zhotoven na základě průměrných hodnot uvedených v příloze č. 4.



Graf 2.4.7 Průběh maximální vodní kapacity ve svrchní vrstvě půdy, 29. 4. – 8. 9. 2016

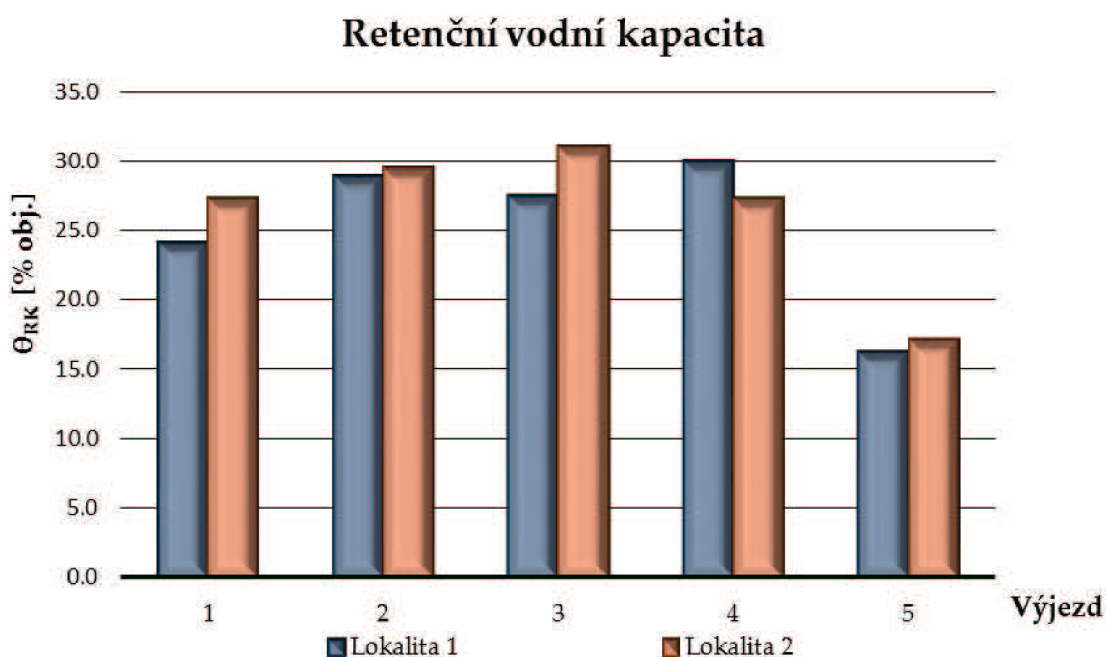
#### 2.4.6 Retenční vodní kapacita

Představuje půdní vodu zadrženu pomocí kapilárních sil, a proto ji lze také ztotožnit s kapilárními póry.

Zjištěné hodnoty u odebraných vzorků z dílčí lokality 1 se pohybovaly v rozmezí od 16,25 do 29,89 % obj. (rozpětí 13,64 % obj.). Maximální hodnota byla zjištěna při 4. výjezdu a nejnižší při 5. výjezdu.

U vzorků z dílčí lokality 2 byly průměrné hodnoty v rozmezí od 17,10 do 30,97 % obj. (rozpětí 13,87 % obj.). Nejvyšší hodnota 30,97 % obj. byla zjištěna při 3. výjezdu a nejnižší stejně jako u dílčí lokality 1 při 5. výjezdu, tedy na konci vegetačního období.

Hodnoty retenční vodní kapacity se po celou dobu pohybovaly kolem 25 až 30 % obj. s výjimkou posledního výjezdu. U vzorků nezpracované půdy mají hodnoty vzrůstající tendenci až po 3. výjezd a následně klesají k nejnižší zjištěné hodnotě. Průběh hodnot retenční vodní kapacity je však u obou dílčích lokalit velmi podobný, čehož si lze povšimnout také z grafu 2.4.8. Průměrné hodnoty, na základě kterých je provedeno toto vyhodnocení, jsou uvedeny v příloze č. 4.



Graf 2.4.8 Průběh retenční vodní kapacity ve svrchní vrstvě půdy, 29. 4. – 8. 9. 2016

#### 2.4.7 Nasycená hydraulická vodivost

Tato důležitá hydraulická vlastnost půdy, vyjadřuje, jak půdní prostředí umožňuje proudění půdní vody.

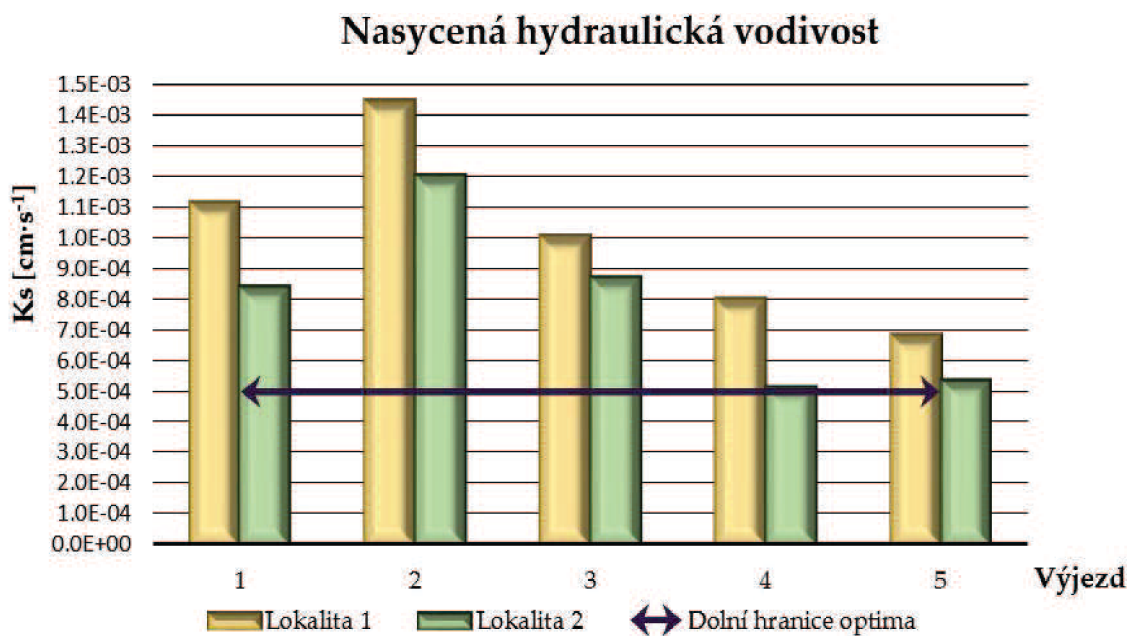
U odebraných vzorků z dílčí lokality 1 byly zjištěny hodnoty v rozmezí  $6,81 \cdot 10^{-4}$  až  $1,44 \cdot 10^{-3} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  (rozpětí  $7,63 \cdot 10^{-4} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Nejvyšší hodnota  $1,44 \cdot 10^{-3} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  byla zjištěna při měření vzorků z 2. výjezdu. Nejnižší hodnota  $6,81 \cdot 10^{-4} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  byla zjištěna při 5. výjezdu, tedy na konci vegetačního období. Průběh hydraulické vodivosti má od 2. výjezdu klesající tendenci, což je způsobeno především utužením svrchní vrstvy půdy, klimatickými podmínkami, pojezdem mechanizace a rozvojem kořenového systému vegetace.

Průměrné hodnoty zjištěné u vzorků z dílčí lokality 2 se pohybovaly v rozmezí od  $5,11 \cdot 10^{-4}$  až  $1,20 \cdot 10^{-3} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  (rozpětí  $6,93 \cdot 10^{-4} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Nejvyšší hodnoty  $K_s$  byly stejně jako u lokality 1 zjištěny ve 2. výjezdu. Nejnižší hodnota od  $5,11 \cdot 10^{-4} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  byla zjištěna ze vzorků odebraných při 4. výjezdu. Do 2. výjezdu má průběh hydraulické vodivosti stoupající tendenci a následně klesá k nejnižší hodnotě zjištěné ze 4. výjezdu.

Celkově vyšších hodnot dosahovaly výsledky zjištěné ze vzorků odebraných z dílčí lokality 1. Průběh nasycené hydraulické vodivosti je znázorněn v grafu 2.4.9 včetně vyznačené spodní hranice optimálního rozmezí. Jak je tedy z grafu patrné, veškeré dosažené hodnoty hydraulické vodivosti se pohybují v optimálním rozsahu. V tabulce 2.4.2 je uvedena klasifikace půdní propustnosti podle Kutílka. Podkladem pro toto vyhodnocení byla příloha č. 5, ze které byly vyřazeny nereprezentativní vzorky, u kterých byla zjištěna velká množství preferenčních cest způsobená půdním zooedafonem.

Tab. 2.4.2 Klasifikace půdní propustnosti podle Kutílka

Lokalita	1 – bez erozního ohrožení		Lokalita	2 – s mírným ohrožením	
Technologie	Mělké kypření		Technologie	Bez zpracování	
Hloubka	0 – 10 cm		Hloubka	0 – 10 cm	
Výjezd	Ks	Klasifikace	Výjezd	Ks	Klasifikace
	m·den <sup>-1</sup>			m·den <sup>-1</sup>	
1	0,96	střední	1	0,73	střední
2	1,25	střední	2	1,04	střední
3	0,87	střední	3	0,75	střední
4	0,69	střední	4	0,44	mírná
5	0,59	střední	5	0,46	mírná



Graf 2.4.9 Průběh nasycené hydraulické vodivosti ve svrchní vrstvě půdy, 29. 4. – 8. 9. 2016

### 3 Závěr

Výsledkem této diplomové práce je porovnání dopadů použitých minimalizačních technologií na vybrané fyzikální a hydraulické vlastnosti půdy. Půda z obou posuzovaných lokalit byla klasifikována jako středně těžká hlinitá půda. Mezi hlavní indikátory kvality půdy patří OHR, která následně ovlivňuje i dále zjišťované charakteristiky. S růstem objemové hmotnosti redukované by měla klesat pórovitost, provzdušenost i podíl kapilárních pórů důležitých pro zajištění vláhy pro kořenový systém vegetace. Průběh momentální vlhkosti by měl být mimo jiné závislý i na průběhu klimatických podmínek. Tyto zmíněné předpoklady byly potvrzeny zjištěnými průběhy půdních vlastností v rámci vegetačního období.

Objemová hmotnost redukovaná měla vzrůstající tendenci s průběhem vegetačního období u obou dílčích lokalit. U 1. výjezdu je znatelný rozdíl mezi hodnotami z důvodu použití odlišné minimalizační technologie zpracování půdy. Mělkým kypřením totiž došlo k navýšení provzdušenosti, proto jsou hodnoty z této lokality nižší než z nezpracované půdy. Na konci vegetačního období byly překročeny kritické hodnoty OHR u obou lokalit, což ukazuje na zhutnění půdy. S rostoucí OHR klesala pórovitost až pod kritickou hodnotu, která byla překročena také na konci vegetačního období. Během průběhu pórovitosti nejsou znatelnější rozdíly mezi jednotlivými lokalitami. Neoptimálnějšího rozdělení pórů bylo dosaženo uprostřed vegetačního období během letních měsíců u vzorků z obou lokalit. Nízké podíly kapilárních pórů v 1. a 5. výjezdu značí, že mohlo dojít k nedostatečnému zásobování kořenového systému vodou. Průběh momentální vlhkosti je u obou lokalit podobný, vyjma 1. výjezdu, kdy byla hodnota vlhkosti u lokality 1 výrazně nižší než u lokality 2. Tento rozdíl byl způsoben poměrně velkým zastoupením nekapilárních pórů, které se opakovalo i na konci vegetačního období a spolu s nízkým úhrnem srážek zapříčinilo nízkou hodnotu momentální vlhkosti a nárůst provzdušenosti, a to u obou lokalit. Klesající tendence provzdušenosti odpovídá klesající pórovitosti a průběhu momentální vlhkosti. Nárůst hodnot na konci vegetačního období byl zapříčiněn nízkými srážkovými úhrny v předcházejícím období, proto byla převážná část objemu pórů vyplněna



vzduchem. Optimální provzdušenost byla dosažena u obou lokalit ve 2. a 3. výjezdu. Při 4. výjezdu nebylo dosaženo ani minima (18 % obj.) a nadměrné hodnoty zjištěné při 1. a 5. výjezdu byly patrné u obou lokalit. Průběh nasycené hydraulické vodivosti byl během vegetačního období stejný u obou lokalit. Veškeré průměrné hodnoty se pohybovaly v optimálním rozsahu, kdy nedochází k vyplavování živin ani k zvyšování povrchového odtoku či ke vzniku eroze.

U převážné většiny odběrů byl zjištěn téměř shodný průběh fyzikální a hydraulických vlastností půdy, vyjma odběru při 1. výjezdu, kdy je znatelný největší rozdíl mezi použitými minimalizačními technologiemi zpracování půdy, a kdy příznivější dopad vykazuje mělké kypření. Jelikož experimentální výzkum probíhal pouze jeden rok, nelze korektně určit, která použitá agrotechnologie měla kladnější dopad na kvalitu půdy. K tomu by bylo potřeba provést dlouhodobý výzkum s pravidelnými odběry.

## 4 Použitá literatura

- [1] *Aridic Soil of the United States and Israel: Soil Classification Systems* [online]. 2003 [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: <http://cals.arizona.edu/oals/soils/classifsystems.html>
- [2] BAŽANTOVÁ, Adéla. *Změny fyzikálních vlastností podpovrchových vrstev půdy v závislosti na technologii zpracování půdy*. Brno, 2015. 70 s., 15 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ivana Kameníčková.
- [3] *BEDNAR FARM MACHINERY: TERRALAND TN* [online]. Dlouhá Ves: BEDNAR FMT [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: <http://www.bednar-machinery.com/cz/produkty/detail/341/terraland-tn>
- [4] BENEŠ, Petr. Těžký a robustní talířový podmítač. In: *Mechanizace zemědělství* [online]. Praha: Profi Press, 2016 [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: <http://mechanizaceweb.cz/tezky-a-robustni-talirovy-podmitac/>
- [5] ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Mapy* [online]. Praha: Česká geologická služba, 2016 [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/>
- [6] *Česká pedologická společnost: Přednášky ze Základů pedologie a ochrany půdy pro PŘF UK* [online]. Praha, 2011 [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: <http://pedologie.czu.cz/prednasky/zpop.htm>
- [7] *Český úřad zeměměřický a katastrální: Geoportál* [online]. Praha: ČÚZK, 2016 [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/Geoprohlizec/default.aspx?wmcid=9590>
- [8] EAGRI Portál farmáře: Registr půdy - LPIS. *Veřejný registr půdy - LPIS* [online]. Praha: ČÚZK, 2016 [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/farmar/LPIS/>
- [9] *Ekotechnika / Půda* [online]. Praha, 2016 [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: <http://www.ekotechnika.cz/puda>

- [10] FUKA, Vladislav. Anglická technologie jednoho přejezdu.  
In: *Mechanizace zemědělství* [online]. Praha: Profi Press, 2016 [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: <http://mechanizaceweb.cz/anglicka-technologie-jednoho-prejezdu/>
- [11] Geoportál sovac-gis. *Souhrnné mapy VÚMOP* [online]. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2016 [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: <http://geoportal.vumop.cz/index.ph>
- [12] HŮLA, Josef a kolektiv. *Dopad netradičních technologií zpracování půdy na půdní prostředí*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., 2010. ISBN 978-80-86884-53-0.
- [13] HŮLA, Josef, Blanka PROCHÁZKOVÁ, Pavel KOVAŘÍČEK a kolektiv. *Minimalizační a půdoochranné technologie*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., 2004. ISBN 80-86884-01-5.
- [14] JAVŮREK, Miloslav, Olga MIKANOVÁ, Milan VACH a Tomáš ŠIMON. *Význam půdoochranných technologií v rostlinné výrobě pro rozvoj půdní úrodnosti: METODIKA PRO PRAXI*. 1. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2010. ISBN 978-80-7427-051-2.
- [15] KAMENÍČKOVÁ, Ivana. *Návody do cvičení (VHK) Hydropedologie, Studijní opory pro studijní programy s prezenční formou studia*. VUT FAST v Brně, 2013.
- [16] KAMENÍČKOVÁ, Ivana. *Vodní hospodářství krajiny I-M02 Pedologie, Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia*, VUT FAST v Brně, 2005.
- [17] KAMENÍČKOVÁ, Ivana. *Vybrané statě z vodního hospodářství krajiny (VHK), Prezentace*. VUT FAST v Brně, 2015
- [18] KODEŠOVÁ, Radka. *Modelování v pedologii*. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, katedra pedologie a geologie FAPPT, 2005, 150 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-213-1347-1.
- [19] KONVALINKA, Petr. *Základní zpracování půdy* [online]. 2012 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: [http://konvalina.zf.jcu.cz/download2/7\\_22\\_cs\\_pk-2012-zakladni-zpracovani-pudy.pdf](http://konvalina.zf.jcu.cz/download2/7_22_cs_pk-2012-zakladni-zpracovani-pudy.pdf)

- [20] KUTÍLEK, Miroslav, Václav Kuráž a Milena Císlerová. *Hydropedologie 10*. 2. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000, 176 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-01-02237-4.
- [21] KUTÍLEK, Miroslav. *Vodohospodářská pedologie*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, n.p., 1978. ISBN 04-721-78.
- [22] *Nesený jednostranný pluh Kverneland AB a AD* [online]. 2016 [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: <http://cz.kverneland.com/Zpracovani-pudy/Pluhy/Nesene-klasicke-pluhy/Neseny-jednostranny-pluh-Kverneland-AB-a-AD>
- [23] *Planeta: Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR* [online]. Praha, 2004, XII(11) [cit. 2017-01-08]. ISSN 1213-3393.
- [24] POKORNÝ, Eduard, Bořivoj ŠARAPATKA a Květuše HEJÁTKOVÁ. *Metodická pomůcka: Hodnocení kvality půdy v ekologickém hospodaření podniku*. 1. Náměšť nad Oslavou: ZERA - Zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s., 2007. ISBN 80-903548-5-8.
- [25] POSPÍŠILOVÁ, Ľubica. *Struktura půdy, Prezentace*. Mendelova univerzita v Brně, 2014
- [26] REYNOLDS, W.D., C.F. DRURY, X.M. YANG, C.A. FOX, C.S. TAN a T.Q. ZHANG. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. *Soil and Tillage Research* [online]. 2007, **96**(1-2), 330 [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198707001171>
- [27] *Soil Science and Plant Nutrition: Origin of the soil texture classification system used in Japan* [online]. Japonsko, 2015 [cit. 2017-01-08]. ISSN 1747-0765.
- [28] ŠÁLEK, Jan. *Půdní hospodářství*. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1986. ISBN 55-610-86.
- [29] ŠÁLEK, Jan. *Vodní hospodářství krajiny I*. Vyd. 1. Brno: VUTIUM, 1997, 152 s. ISBN 80-214-0949-5.

- [30] VAŇATOVÁ, Petra. Účinné řešení do utužených půd. In: *Mechanizace zemědělství* [online]. Praha: Profi Press, 2015 [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: <http://mechanizaceweb.cz/ucinne-reseni-do-utuzenych-pud/>

## Seznam použitých zkratek a symbolů

$\rho_v$	- objemová hmotnost neredukovaná [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]
$\rho_d, OHR$	- objemová hmotnost redukována [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]
$\rho_s$	- zdánlivá hustota půdních částic [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]
$\rho_z$	- hustota částic [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]
$\rho_o$	- hustota disperzního prostředí [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]
$w_{mom}$	- momentální hmotnostní vlhkost [% hmot.]
$\theta_{rel}$	- relativní vlhkost [% obj.]
$\theta_{obj}$	- objemová vlhkost [% obj.]
$\theta_{mom}$	- momentální vlhkost [% obj.]
$\theta_{NS}$	- nasákivost [% obj.]
$\theta_{30}$	- vlhkost 30' [% obj.]
$\theta_V$	- bod vadnutí
$\theta_{MKK}$	- maximální kapilární vodní kapacita [% obj.]
$\theta_{RVK}$	- retenční vodní kapacita [% obj.]
$P$	- celková pórovitost [% obj.]
$P_K$	- kapilární pórovitost [% obj.]
$P_S$	- semikapilární pórovitost [% obj.]
$P_N$	- nekapilární pórovitost [% obj.]
$V_z$	- provzdušenost [% obj.]
$K_{VZ}$	- vzdušná kapacita půdy [% obj.]
$K_{MKKvz}$	- maximální kapilární vzdušná kapacita [% obj.]
$K_{RVKvz}$	- retenční vzdušná kapacita [% obj.]
$R\check{C}PV$	- retenční čára půdní vlhkosti
$K_s$	- nasycená hydraulická vodivost [ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
$K$	- nenasycená hydraulická vodivost [ $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
$G_A$	- hmotnost zeminy s původní okamžitou vlhkostí [g]
$G_B$	- hmotnost kapilárně nasyceného vzorku [g]
$G_C$	- hmotnost po 30' odsávání [g]
$G_D$	- hmotnost po 2 hodinách odsávání [g]
$G_E$	- hmotnost po 24 hodinách odsávání [g]
$G_F$	- hmotnost vysušené zeminy [g]
$G_H$	- čistá hmotnost vzorku po vysušení [g]
$G_V$	- hmotnost fyzikálního válečku [g]
$G_S$	- hmotnost hodinového skla [g]
$P_V$	- hmotnost pyknometru s destilovanou vodou [g]
$P_S$	- hmotnost pyknometru se suspenzí [g]

$N_s$	- na vzduchu vyschlá navážka přepočtená na sušinu [g]
$V_V$	- objem naváženého vzorku [cm <sup>3</sup> ]
$V_s$	- objem fyzikálního válečku [cm <sup>3</sup> ]
$V_A$	- objem vzduchu ve vzorku [cm <sup>3</sup> ]
$m_w$	- hmotnost vody [g]
$m_z$	- hmotnost zeminy [g]
$v$	- sedimentační rychlost [cm·s <sup>-1</sup> ]
$q$	- ustálený průtok [cm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
$g$	- gravitační zrychlení [cm·s <sup>-2</sup> ]
$\eta$	- viskozita disperzního prostředí [g·cm <sup>-1</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
$\alpha$	- konstanta pro sedimentaci zemitých částic ve vodě [-]
$C$	- tvarový součinitel [-]
$S$	- plocha válečku [cm <sup>2</sup> ]
$l$	- výška válečku [cm]
$r$	- poloměr částice [cm]
$r_e$	- ekvivalentní poloměr [cm]
$r_i$	- poloměr kapilární trubice [cm]
$t$	- čas [s]
$h$	- hloubka vody [cm]
$D$	- průměr zrna [mm]
$H$	- hloubka ponořeného hustoměru v suspenzi [cm]
$\Delta h$	- rozdíl hladin [cm]
$R$	- čtení hustoměru
$T$	- teplota [°C]
$p_i$	- procento zrn zachycených na i-tém sítu [% hmot.]
$P_i$	- celkové procento zrn zachycených na sítích 1 – i [% hmot.]
$m_i$	- hmotnost frakce zachycené na i-tém sítu [g]
$s$	- navážka zeminy k zrnitostní analýze přepočtená na sušinu [g]
$h_{w,i}$	- tlaková výška [mm]
$h_{k,i}$	- kapilární vztlínání [mm]
USDA	- Ministerstvo zemědělství USA
FAO	- Food and Agriculture Organization
TDR	- time domain reflectometry

## Seznam obrázků

Obr. 1.1.1 Kopeckého plavící aparát (převzato Šálek, 1986) .....	12
Obr. 1.1.2 Dekantační přístroj (převzato pedologie.czu.cz) .....	13
Obr. 1.1.3 Pipetovací přístroj (převzato z <a href="http://www.ekotechnika.cz">www.ekotechnika.cz</a> ) .....	13
Obr. 1.1.4 Velikostní kategorie půdních minerálních částic podle vybraných klasifikačních systémů. (převzato Soil Science and Plant Nutrition, 2015) .....	17
Obr. 1.1.5 Spirhanzlův klasifikátor (převzato z Kameníčková, 2005) .....	18
Obr. 1.1.6 Trojúhelníkové diagramy pro stanovení druhu podle obsahu jílu, prachu a písku v % hmotnostních. Systém ministerstva USA, z něho odvozený systém, který používá Taxonomický klasifikační systém půd ČR (převzato Kameníčková, 2005) .....	19
Obr. 1.1.7 FAO/USDA půdní zrnitostní trojúhelník s 5 zrnitostními třídami (převzato Kameníčková přednášky z vybraných statí, 2015) .....	20
Obr. 1.1.8 Drobtovitá struktura (převzato Pospíšilová prezentace – Struktura půdy, 2014) .....	22
Obr. 1.1.9 Hrudkovitá struktura (převzato Pospíšilová prezentace – Struktura půdy, 2014) .....	23
Obr. 1.1.10 Přístroj pro mokré prosévání (převzato z <a href="http://www.ekotechnika.cz">www.ekotechnika.cz</a> ) .....	24
Obr. 1.2.1 Půdní váleček o objemu 100 nebo 250 cm <sup>3</sup> (převzato z <a href="http://www.ekotechnika.cz">www.ekotechnika.cz</a> ) .....	25
Obr. 1.2.2 Rozbor neporušeného půdního vzorku (převzato Kameníčková, 2013) .....	26
Obr. 1.2.3 Klasifikace půdní vody podle Drbala, 1962 (převzato <a href="http://pedologie.czu.cz">pedologie.czu.cz</a> ) .....	32



<b>Obr. 1.3.1 Schematické znázornění vztahu půdního prostředí, modelu svazku kapilárních trubic a retenční čáry půdní vlhkosti (převzato Kodešová, 2005) .....</b>	<b>34</b>
<b>Obr. 1.3.2 Pískový box pro stanovení pF křivek (převzato ekotechnika.cz) .....</b>	<b>35</b>
<b>Obr. 1.3.3 Přetlakový přístroj (převzato Kameníčková, 2013) .....</b>	<b>36</b>
<b>Obr. 1.3.4 Tempská cela 1400D (převzato www.ekotechnika.cz) .....</b>	<b>37</b>
<b>Obr. 1.3.5 Schematické zakreslení tenzometrů pro měření tlakových výšek a TDR čidel pro měření objemových vlhkostí (převzato Kodešová, 2005) .....</b>	<b>37</b>
<b>Obr. 1.3.6 Permeometr s konstantním spádem (vlastní foto) .....</b>	<b>39</b>
<b>Obr. 1.3.7 Schéma jednosondové metody (převzato Kutílek, 2000) .....</b>	<b>40</b>
<b>Obr. 1.3.8 Tenzní infiltrometr (převzato ekotechnika.cz) .....</b>	<b>43</b>
<b>Obr. 2.1.1 Zájmová lokalita Kozlany (převzato www.eagri.cz).....</b>	<b>44</b>
<b>Obr. 2.1.2 Zájmová lokalita Kozlany 29. 4. 2016 (vlastní foto) .....</b>	<b>45</b>
<b>Obr. 2.1.3 Příklad jednostranného pluhu (převzato cz.kverland.com).....</b>	<b>47</b>
<b>Obr. 2.1.4 Talířový podmítač APF SL od firmy Quivogne (převzato www.mechanizaceweb.cz) .....</b>	<b>48</b>
<b>Obr. 2.1.5 Ukázka práce secího stroje Mzuri Pro-Til 4T, A-aplikace hnojiva, B-příprava seřového lůžka, C-vpravování osiva a následné přitlačení nakypřené půdy (převzato www.mechanizaceweb.cz) .....</b>	<b>49</b>
<b>Obr. 2.1.6 Ukázka použití dlátového pluhu a kypřiče (převzato www.bednar-machinery.com) .....</b>	<b>49</b>
<b>Obr. 2.2.1 Ukázka odebraných neporušených půdních vzorků před odříznutím přesahující zeminy (vlastní foto) .....</b>	<b>52</b>
<b>Obr. 2.2.2 Sada půdních válečků v plechovém kufříku (převzato www.ekotechnika.cz) .....</b>	<b>52</b>

<b>Obr. 2.2.3 Porušené půdní vzorky připravené pro laboratorní rozbor (vlastní foto) .....</b>	<b>53</b>
<b>Obr. 2.3.1 Erozní ohrožení zájmové lokality Kozlany - PB 7303/1 (převzato <a href="http://www.eagri.cz">www.eagri.cz</a>) .....</b>	<b>54</b>
<b>Obr. 2.3.2 Odběr půdních vzorků pomocí Kopecského válečků v hloubce 0 – 10 cm (vlastní foto).....</b>	<b>54</b>

## Seznam tabulek

Tab. 1.1.1 Přibližné hodnocení strukturního stavu humusového horizontu podle objemové hmotnosti (převzato Kutílek, 1978).....	7
Tab. 1.1.2 Kategorie nakypřenosti podle objemové hmotnosti (převzato Planeta, 2004).....	7
Tab. 1.1.3 Kritické hodnoty objemové hmotnosti podle Lhotského (převzato Kameníčková, 2013) .....	7
Tab. 1.1.4 Pojmenování frakcí a kategorií dle Kopeckého – upraveno (převzato pedologie.czu.cz) .....	10
Tab. 1.2.1 Formulář pro záznam stanovených hmotností (převzato Kameníčková, 2013) .....	27
Tab. 1.2.2 Klasifikace půdy dle pórovitosti podle Bretfelda (převzato Kutílek, 1978).....	29
Tab. 1.2.3 Kritické hodnoty pórovitosti podle Lhotského (převzato Kameníčková, 2013).....	29
Tab. 1.2.4 Rozdělení půdních pórů podle velikosti a jejich typické zastoupení (% obj) v základních skupinách půdního druhu. (převzato Planeta, 2004).....	30
Tab. 1.3.1 Klasifikace půdní propustnosti (převzato Kutílek) .....	42
Tab. 2.1.1 Srážkové úhrny v lokalitě Kozlany I. – XII. 2016. Ve vyznačených měsících byly odebrány půdní vzorky. (zdroj ZEMO, spol. s r.o.).....	46
Tab. 2.1.2 Procento vodě odolných půdních agregátů – průměr hodnot z období 2005 - 2009 (převzato, upraveno Javůrek a kol., 2010).....	50
Tab. 2.1.3 Ekonomická náročnost technologií úpravy půdy (zdroj Konvalinka, 2012) .....	51
Tab. 2.3.1 Výsledné hodnoty zdánlivé hustoty pevných částic .....	55

<b>Tab. 2.3.2 Klasifikace půdy podle Nováka, FAO a USDA .....</b>	<b>57</b>
<b>Tab. 2.3.3a Výsledné průměrné hodnoty základních fyzikálních a hydraulických vlastností půdy zjištěné ze vzorků odebraných z nezpracované plochy pole a z plochy mělce kypřené .....</b>	<b>58</b>
<b>Tab. 2.3.3b Výsledné průměrné hodnoty základních fyzikálních a hydraulických vlastností půdy zjištěné ze vzorků odebraných z nezpracované plochy pole a z plochy mělce kypřené .....</b>	<b>59</b>
<b>Tab. 2.4.1 Klasifikace ulehlosti půdy podle dosažených hodnot pórovitosti dle Bretfelda .....</b>	<b>62</b>
<b>Tab. 2.4.2 Klasifikace půdní propustnosti podle Kutílka .....</b>	<b>72</b>

## Seznam grafů

Graf 2.3.1 Křivka zrnitosti, dílčí lokalita 1 bez erozního ohrožení – mělké kypření.....	56
Graf 2.3.2 Křivka zrnitosti, dílčí lokalita 2 s mírným erozním ohrožením – bez zpracování .....	56
Graf 2.4.1 Průběh objemové hmotnosti redukované ve svrchní vrstvě s vyznačenou kritickou hodnotou, 29. 4. – 8. 9. 2016 .....	61
Graf 2.4.2 Průběh pórovitosti s vyznačenou kritickou hodnotou ve svrchní vrstvě půdy, 29. 4. – 8. 9. 2016 .....	63
Graf 2.4.3 Rozdělení pórů ve svrchní vrstvě půdy zpracovávané mělkým kypřením, 29. 4. – 8. 9. 2016 .....	64
Graf 2.4.4 Rozdělení pórů ve svrchní vrstvě nezpracované půdy, 29. 4. 8. 9. 2016 .....	64
Graf 2.4.5 Průběh provzdušenosti ve svrchní vrstvě půdy, 29. 4. – 8. 9. 2016 .....	67
Graf 2.4.6 Průběh momentální vlhkosti ve svrchní vrstvě půdy, 29.4. – 8.9.2016 .....	68
Graf 2.4.7 Průběh maximální vodní kapacity ve svrchní vrstvě půdy, 29. 4. – 8. 9. 2016 .....	69
Graf 2.4.8 Průběh retenční vodní kapacity ve svrchní vrstvě půdy, 29. 4. – 8. 9. 2016 .....	70
Graf 2.4.9 Průběh nasycené hydraulické vodivosti ve svrchní vrstvě půdy, 29. 4. – 8. 9. 2016.....	72

## Seznam příloh

Příloha č. 1 Stanovení zdánlivé hustoty pevných částic.....	90
Příloha č. 2.1 Zrnitostní rozbor – lokalita 1 – bez erozního ohrožení, vzorek A, hloubka 0 - 10 cm.....	91
Příloha č. 2.2 Zrnitostní rozbor – lokalita 1 – bez erozního ohrožení, vzorek A, hloubka 0 - 10 cm .....	92
Příloha č. 2.3 Zrnitostní rozbor – lokalita 2 – s mírným erozním ohrožením, vzorek A, hloubka 0 - 10 cm .....	93
Příloha č. 2.4 Zrnitostní rozbor – lokalita 2 – s mírným erozním ohrožením, vzorek A, hloubka 0 - 10 cm .....	94
Příloha č. 3.1 Formulář zápisu výsledků základního rozboru neporušeného půdního vzorku z lokality Kozlany, 1. výjezd 29. 4. 2016 .....	95
Příloha č. 3.2 Formulář zápisu výsledků základního rozboru neporušeného půdního vzorku z lokality Kozlany, 2. výjezd 24. 5. 2016 .....	96
Příloha č. 3.3 Formulář zápisu výsledků základního rozboru neporušeného půdního vzorku z lokality Kozlany, 3. výjezd 19. 7. 2016 .....	97
Příloha č. 3.4 Formulář zápisu výsledků základního rozboru neporušeného půdního vzorku z lokality Kozlany, 4. výjezd 15. 8. 2016 .....	98
Příloha č. 3.5 Formulář zápisu výsledků základního rozboru neporušeného půdního vzorku z lokality Kozlany, 5. výjezd 8. 9. 2016.....	99
Příloha č. 4.1 Průměrné hodnoty fyzikálních vlastností půdy z 1. výjezdu (29. 4. 2016) s vyznačenými hodnotami překračujícími kritické hodnoty objemové hmotnosti a pórovitosti podle Lhotského a provzdušenost polí.....	100

<b>Příloha č. 4.2 Průměrné hodnoty fyzikálních vlastností půdy z 2. výjezdu (24. 5. 2016) s vyznačenými hodnotami překračujícími kritické hodnoty objemové hmotnosti a pórovitosti podle Lhotského a provzdušenost polí.....</b>	<b>101</b>
<b>Příloha č. 4.3 Průměrné hodnoty fyzikálních vlastností půdy ze 3. výjezdu (19. 7. 2016) s vyznačenými hodnotami překračujícími kritické hodnoty objemové hmotnosti a pórovitosti podle Lhotského a provzdušenost polí.....</b>	<b>102</b>
<b>Příloha č. 4.4 Průměrné hodnoty fyzikálních vlastností půdy ze 4. výjezdu (15. 8. 2016) s vyznačenými hodnotami překračujícími kritické hodnoty objemové hmotnosti a pórovitosti podle Lhotského a provzdušenost polí.....</b>	<b>103</b>
<b>Příloha č. 4.5 Průměrné hodnoty fyzikálních vlastností půdy z 5. výjezdu (8. 9. 2016) s vyznačenými hodnotami překračujícími kritické hodnoty objemové hmotnosti a pórovitosti podle Lhotského a provzdušenost polí.....</b>	<b>104</b>
<b>Příloha č. 5.1 Formulář výpočtu nasycené hydraulické vodivosti s vyznačenými průměrnými hodnotami, které byly zjištěny na základě reprezentativních hodnot zjištěných pomocí permeamtru s konstantním spádem. Vzorky byly odebírány při 1. výjezdu 29. 4. 2016 z lokality Kozlany v hloubce 0-10 cm.....</b>	<b>105</b>
<b>Příloha č. 5.2 Formulář výpočtu nasycené hydraulické vodivosti s vyznačenými průměrnými hodnotami, které byly zjištěny na základě reprezentativních hodnot zjištěných pomocí permeamtru s konstantním spádem. Vzorky byly odebírány při 2. výjezdu 24. 5. 2016 z lokality Kozlany v hloubce 0-10 cm.....</b>	<b>106</b>

<b>Příloha č. 5.3 Formulář výpočtu nasycené hydraulické vodivosti s vyznačenými průměrnými hodnotami, které byly zjištěny na základě reprezentativních hodnot zjištěných pomocí permeamtru s konstantním spádem. Vzorky byly odebírány při 3. výjezdu 19. 7. 2016 z lokality Kozlany v hloubce 0-10 cm.....</b>	<b>107</b>
<b>Příloha č. 5.4 Formulář výpočtu nasycené hydraulické vodivosti s vyznačenými průměrnými hodnotami, které byly zjištěny na základě reprezentativních hodnot zjištěných pomocí permeamtru s konstantním spádem. Vzorky byly odebírány při 4. výjezdu 15. 8. 2016 z lokality Kozlany v hloubce 0-10 cm.....</b>	<b>108</b>
<b>Příloha č. 5.5 Formulář výpočtu nasycené hydraulické vodivosti s vyznačenými průměrnými hodnotami, které byly zjištěny na základě reprezentativních hodnot zjištěných pomocí permeamtru s konstantním spádem. Vzorky byly odebírány při 5. výjezdu 8. 9. 2016 z lokality Kozlany v hloubce 0-10 cm.....</b>	<b>109</b>
<b>Příloha č. 6 Meteorologické údaje - lokalita Kozlany, období od 1. 1. 2016 do 31. 12. 2016 s vyznačenými dny odběru vzorků (údaje poskytnuté ZEMO, spol. s r.o.).....</b>	<b>110</b>