



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

# ZMĚNY FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ PODPOVRCHOVÝCH VRSTEV PŮDY V ZÁVISLOSTI NA TECHNOLOGII ZPRACOVÁNÍ PŮDY

CHANGES IN PHYSICAL PROPERTIES OF THE SUBSURFACE SOIL LAYERS DEPENDING ON THE TECHNOLOGY TILLAGE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ADÉLA BAŽANTOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. IVANA KAMENÍČKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2015



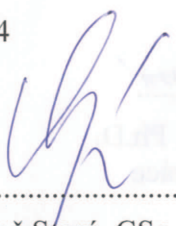
# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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


## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Student** Adéla Bažantová  
**Název** Změny fyzikálních vlastností podpovrchových vrstev půdy v závislosti na technologii zpracování půdy  
**Vedoucí bakalářské práce** Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.  
**Datum zadání bakalářské práce** 30. 11. 2014  
**Datum odevzdání bakalářské práce** 29. 5. 2015

V Brně dne 30. 11. 2014

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



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

## Podklady a literatura

- Kutílek, M. (1978): Vodohospodářská pedologie. Druhé vydání. SNTL/ALFA, Praha.
- Kutílek, M., Kuráž, V., Císlarová, M. (1993): Hydropedologie. Skriptum ČVUT, Praha.
- Šimek, M. (2005): Základy nauky o půdě - 1. Neživé složky půdy. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Biologická fakulta
- Hůla, J. a kol.: (2010) Dopad netradičních technologií zpracování půdy na půdní prostředí. Verifikovaná metodika - VÚZT.
- Články v domácích a zahraničních odborných časopisech

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

Bakalářská práce bude rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části bude zpracována problematika fyzikálních vlastností podpovrchových vrstev půdy, které představují soustavu dynamicky se vyvíjejících prvků, kdy změna jednoho prvku se ihned projevuje na ostatních. Fyzikální kvalita půdy ovlivňuje mnohé kritické zemědělské a environmentální procesy, např. klíčení semen a počátek růstu plodin, agregaci, dopady na zpracování půdy, erozi, půdní krustu, provzdušenost, infiltraci a další. V praktické části budou vyhodnoceny změny fyzikálních vlastností podpovrchové vrstvy půdy ve vybraném zájmovém území s odlišným kultivačním zásahem.

## Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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



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

## **Abstrakt**

Pro správný průběh půdních procesů, růst a vývoj rostlin je nezbytné zpracování půdy. Zpravidla rozlišujeme dvě technologie, kterými se tyto úpravy provádí. Jsou jimi klasická, která využívá orbu a minimalizační, kde je orba vyloučena. Cílem této bakalářské práce je zjištění dopadů těchto technologií na vybrané fyzikální vlastnosti půdy, tj. objemovou hmotnost, pórovitost, momentální obsah vody a vzduchu v půdě. K vyhodnocení byly použity půdní vzorky odebrané do Kopeckého válečků ( $V = 100 \text{ cm}^3$ ) z kopaných sond vždy v hloubkách 0,1; 0,2 a 0,3 m. Odběry byly prováděny vždy ve dvou opakováních v měsíci červenci. Toto období se označuje jako kritické z důvodu vyššího zhutnění půdy (pojezdy mechanizace, kořenový systém rostlin a srážkové úhrny). Experimentální výzkum probíhal v letech 2008 – 2011 v lokalitě Bohaté Málkovice.

## **Klíčová slova**

Technologie zpracování půdy, klasická technologie, minimalizační technologie, fyzikální vlastnosti půdy, objemová hmotnost, pórovitost, retenční vodní kapacita, momentální vlhkost, provzdušenost.

## **Abstract**

For the correct course of soil processes, plant growth and development is necessary the tillage of soil. Usually we choose between two technologies, that those adjustments are carried out by. Both are conventional tillage, which uses plowing and minimization tillage, wherein is excluded plowing. Objective of this work is to determine the impact of these tillage treatments on selected physical properties of soil, i. e. reduced bulk density of the soil, porosity, momentary contents of water and air in the soil. Soil samples were collected by Kopecky rollers ( $V = 100 \text{ cm}^3$ ) taken from depths of 0,1; 0,2 and 0,3 m that were used to evaluate. Two samples were collected each July. This period is referred as a critical due to higher soil compaction (movement of mechanization, root system of plants and rainfall totals). Experimental research was conducted in years 2008 – 2011 in the village Bohaté Málkovice.

## **Keywords**

Tillage treatment, conventional tillage, minimization tillage, physical properties of soil, reduced bulk density of the soil, porosity, water retention capacity, current humidity, aeration.

## **Bibliografická citace VŠKP**

Adéla Bažantová *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 Ing. Ivana Kameníčková, Ph.D.

**Prohlášení:**

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

V Brně dne 27.5.2015

.....  
podpis autora  
Adéla Bažantová

## **Poděkování**

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

# Obsah

<b>Úvod.....</b>	<b>3</b>
<b>Cíl práce.....</b>	<b>5</b>
<b>1. Teoretická práce.....</b>	<b>6</b>
1.1. Fyzikální a mechanické vlastnosti půdy.....	6
1.1.1. Zrnitost.....	6
1.1.2. Struktura půdy.....	13
1.1.3. Zdánlivá hustota půdních částic.....	15
1.1.4. Objemová hmotnost půdy.....	17
1.1.5. Základní rozbor neporušeného půdního vzorku.....	19
<b>2. Praktická část.....</b>	<b>26</b>
2.1. Charakteristika území.....	26
2.1.1. Popis lokality Bohaté Málkovice.....	26
2.1.2. Klimatické poměry.....	27
2.1.3. Hydrologické poměry.....	27
2.1.4. Technologie zpracování půdy.....	28
2.2. Popis práce v terénu a laboratoři.....	31
2.2.1. Sondážní práce.....	32
2.2.2. Odběr půdních vzorků.....	33
2.2.3. Práce v laboratoři.....	34
2.3. Výsledky měření.....	34
2.3.1. Zdánlivá hustota pevných částic.....	34
2.3.2. Zrnitostní rozbor.....	35
2.3.3. Vybrané fyzikální vlastnosti půdy.....	36
2.4. Vyhodnocení fyzikálních vlastností půdy.....	38
2.4.1. Objemová hmotnost půdy.....	38



2.4.2. Pórovitost, rozdělení pórů.....	39
2.4.3. Momentální vlhkost.....	42
2.4.4. Retenční vodní kapacita.....	43
2.4.5. Provzdušenost.....	45
<b>3. Závěr.....</b>	<b>47</b>
<b>4. Použitá literatura.....</b>	<b>49</b>
<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>51</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>53</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>54</b>

## Úvod

Pojem půda lze pochopit několika způsoby, zaprvé jde o přírodní útvar vzniklý ve svrchní vrstvě litosféry v kontaktu s atmosférou nebo hydrosférou. Zadruhé jde o vrchní vrstvu souše, která vzniká půdotvornými procesy ovlivněné pedogenetickými faktory. Půda je velmi nepostradatelnou pro udržení života na Zemi, jelikož zajišťuje životní podmínky pro veškeré organismy žijící v ní nebo jí využívající. Velký význam má především pro pěstování plodin, produkci biomasy a slouží také jako zdroj surovin. [6]

Zintenzivněním zemědělství a pěstováním plodin náročných na vláhové množství dochází k vysušování a zhoršování kvality půdy. V důsledku těchto změn dochází také k úbytku půdy a to především erozní činností spjatou s povrchovým odtokem. Proto je snaha o zlepšení fyzikálních vlastností půdy, k čemuž se využívají různé technologie zpracování půdy. Mezi základní technologie patří klasická využívající orbu a minimalizační, u které je orba vyloučena. Klasické zpracování je energeticky náročnější a obnáší více úkonů pro přípravu pole k osetí. Lze rozdělit do čtyř skupin dle hloubky orby. Jsou jimi mělká, střední, hluboká a velmi hluboká. Jelikož se u minimalizační technologie nevyužívá orba, přináší tato metoda úsporu ve formě práce a energie.

Při zpracování půdy tedy dochází ke změně fyzikálních, chemických a biologických vlastností půdy. Tyto změny pak slouží jako ukazatelé vlivu použité technologie zpracování půdy. Půdní struktura vypovídá o odolnosti půdních agregátů vůči srážkám. Vysoká objemová hmotnost poukazuje na nízkou pórovitost, jelikož jsou tyto fyzikální vlastnosti nepřímo úměrné. Nárůst objemové hmotnosti je zapříčiněn zhutněním, při kterém se snižuje pórovitost. Při nízké pórovitosti se snižuje provzdušenost a zvyšuje se penetrační odpor. Tento stav většinou nastává u minimalizační technologie.

Kvůli svým fyzikálním a hydraulickým vlastnostem je schopna přijímat a zadržovat půdní vodu. Velkou roli při těchto procesech hrají podíly jednotlivých pórů. Nekapilárními póry se dostává voda do větších hloubek a navyšuje tak hladiny podzemních vod. Při průchodu půdním profilem se voda filtruje a zlepšuje tak své vlastnosti. Pomocí kapilárních pórů je voda udržena i v menších hloubkách a je tedy zdrojem vláhy pro rostliny.

## Cíl práce

Cílem této bakalářské práce bylo posouzení vlivu jednotlivých technologických způsobů zpracování půdy na vybrané fyzikální vlastnosti středně těžké hlinité půdy. V teoretické části jsou popsány základní fyzikální vlastnosti půdy a metodika jejich určení. V praktické části je popsána experimentální lokalita, popis prací v terénu a laboratoři a jsou zde uvedeny a následně vyhodnoceny výsledky vybraných fyzikálních vlastností půdy. V závěru je posouzen dopad použitých technologií zpracování půdy v lokalitě Bohaté Málkovice na vybrané vlastnosti půdy.

# 1 Teoretická část

## 1.1 Fyzikální a mechanické vlastnosti půdy

### 1.1.1 Zrnitost

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

K určení zrnitostních frakcí slouží prosévací zkouška, ta spočívá v prosévání materiálu přes řadu sít s určitými průměry ok. Pro oddělení částic je potřeba vzorek zeminy prosévat ve vodě. Nejmenší průměr oka používaný proséváním ve vodě je 0,063 mm, problém však nastává již u průměru oka 0,1 mm. Protože jemné částičky ulpívají na síťovině a nelze tak přesně určit jemné frakce, které jsou důležité pro stanovení půdních vlastností. 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:

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{g \cdot r^2 (\rho_z - \rho_0)}{\eta} = a \cdot r^2 \text{ [cm} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}, \quad (1.1.1)$$

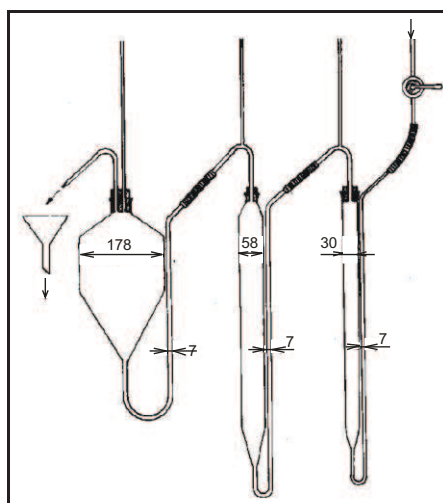
kde:

$v$	- sedimentační rychlost [cm·s <sup>-1</sup> ],
$g$	- tíhové zrychlení [cm·s <sup>-2</sup> ],
$\rho_z$	- hustota částic [g·cm <sup>-3</sup> ],
$\rho_0$	- hustota disperzního prostředí (vody při dané teplotě) [g·cm <sup>-3</sup> ],
$\eta$	- viskozita disperzního prostředí [g·cm <sup>-1</sup> ·s <sup>-1</sup> ],
$a$	- 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  $0,001 \text{ mm} < r < 0,08 \text{ mm}$ .

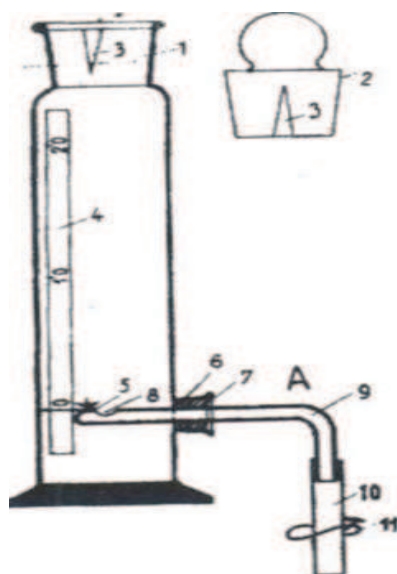
*Typy sedimentačních metod:*

*Vyplavovací metoda Kopeckého*, která využívá unášecí síly vodního proudu, vznikla již koncem 19. století. Voda stoupá ve válci proti gravitační síle působící na částičky půdy. Částičky, u kterých je sedimentační rychlost větší, než rychlost vodního proudu klesají ke dnu, částičky s nižší rychlostí jsou odplavovány. U této metody je zřejmý sedimentační pochod s využitím Stokesova zákona při zachování laminárního pohybu. V dnešní době se již tato metoda příliš nevyužívá.[6]



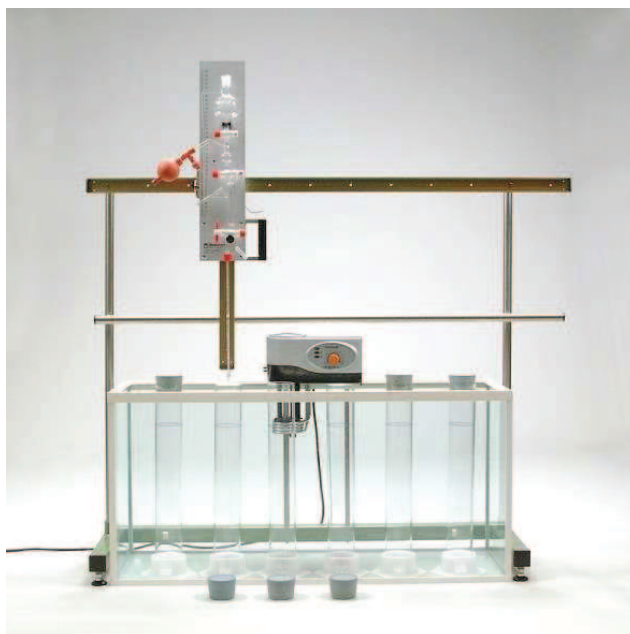
Obr. 1.1.1 Kopeckého plavící aparát (převzato Šálek, 1986)

*Dekantační metoda* (metoda opakované sedimentace) se využívá k určení obsahu fyzikálního jílu a pro oddělení této frakce pro fyzikálně chemické a mineralogické rozборы. 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 částiček 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 částiček s menším průměrem než je rozměr odpovídající uvažované sedimentační rychlosti  $v$ , tak že se zváží vysušený zbytek a odečte se od původní navážky.[8]



Obr. 1.1.2 Dekantační přístroj (zdroj internet)

*Pipetovací metoda* (metoda neopakované sedimentace) je považována za nejpřesnější k určení zrn menších než 0,05 mm. Odebírá se malé množství suspenze pipetou 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  $v_1 = h/t_1$ ,  $v_2 = h/t_2$ . [6]



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

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

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

*Preparace vzorku:* slouží k oddělení půdních agregátů na jednotlivá zrna a zamezení tvorbě koagulačních vloček v průběhu zrnitostního rozboru (pomocí koagulačních látek). Preparaci lze provádět mechanicky, chemicky nebo kombinací mechanické a chemické metody.

#### *Příprava vzorku třepáním*

*Pomůcky:* láhev o objemu 500 ml, nálevka, horizontální třepačka, porcelánové misky s plochým dnem, stříčka s destilovanou vodou, olověné kuličky potažené gumou, váhy s přesností 0,05 g, hodinové sklo.

*Postup:* navážku jemnozeme I (50 g) necháme máčet v destilované vodě po dobu 24 hodin. Poté se vše přemístí do širokohrdlé lahve a přidá se 5 olověných kuliček. Uzavře se lahev a nechá se protřepávat na horizontální třepačce 60 minut (440 rázů/min). Suspenze se přelije pomocí nálevky a skleněné tyčinky do misky, kde se ponechá opět 24 hodin. Posléze se již provede zrnitostní rozbor.

*Postup hustoměrné zkoušky:* po preparaci vzorku se suspenze přelije do sedimentačního válce a doplní se destilovanou vodou (objem 1000 cm<sup>3</sup>) a dispergačním činidlem (1 ml činidla/1 g jemnozeme). Suspenze se míchá jednu minutu před počátkem sedimentace, moment vyjmutí míchadla znamená začátek měření. Ihned se za stopku hustoměr pomalu vkládá do suspenze (10 s). Hustota se začne číst po uklidnění hustoměru (nesmí se houpat a otáčet) na horním menisku. Tisíciny se do formuláře zapisují jako celky (4,3 znamená 1,0043). Posléze se provede oprava nulového čtení a úprava meniskové korekce. Hustota se odečítá v časových intervalech: 30'', 1', 2', 5', 15', 45', 2, 5 a 24 hodin.



Hustoměr se vyjme ze sedimentačního válce po 3 – 4 měření, opláchne 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.[5]

Pro vyhodnocení se používá Stokesův vztah:

$$D = 10 \cdot \sqrt{\frac{18 \cdot \eta \cdot H}{g \cdot t \cdot (\rho_s - \rho_0)}} \text{ [mm]}, \quad (1.1.2)$$

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 zvaží. Výsledky zvážených podílů se vyjadřují v % hmotnostních k původní navážce, která byla určena pro zrnitostní rozbor. A to dle vztahu:

$$p_i = \frac{m_i}{s} \cdot 100 \text{ [% hmot.]}, \quad (1.1.3)$$

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.

$$P_i = 100 - \sum_1^i p_i \text{ [% hmot.]}, \quad (1.1.4)$$

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 provádí dle ČSN 73 1001. Do křivky zrnitosti se vynáší průměr zrn v logaritmickém měřítku na vodorovnou osu a procentuální podíly 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 větších než 2 mm není schopna zadržet půdní vodu a je tedy limitem pro pohyb kapilární vody. Frakce mešná než 0,002 mm se vyznačuje velmi nízkou propustností.[8]

Při klasifikaci půdního druhu odečítáme potřebné frakce z čáry zrnitosti, v závislosti na použitém klasifikačním systému. Využívá se klasifikace půdy dle Nováka, trojúhelníkového diagramu USDA a dle Kopeckého. Pro použití Novákovy klasifikace je potřeba znát obsah částic menších než 0,01 mm, viz tabulka 1.1.1. Frakce potřebné při klasifikaci dle Kopeckého jsou uvedeny v tabulce 1.1.2. 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 1.1.3. 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 1.1.4.

Tab. 1.1.1 Zrnitostní klasifikace podle Nováka (převzato Kameníčková, 2013)

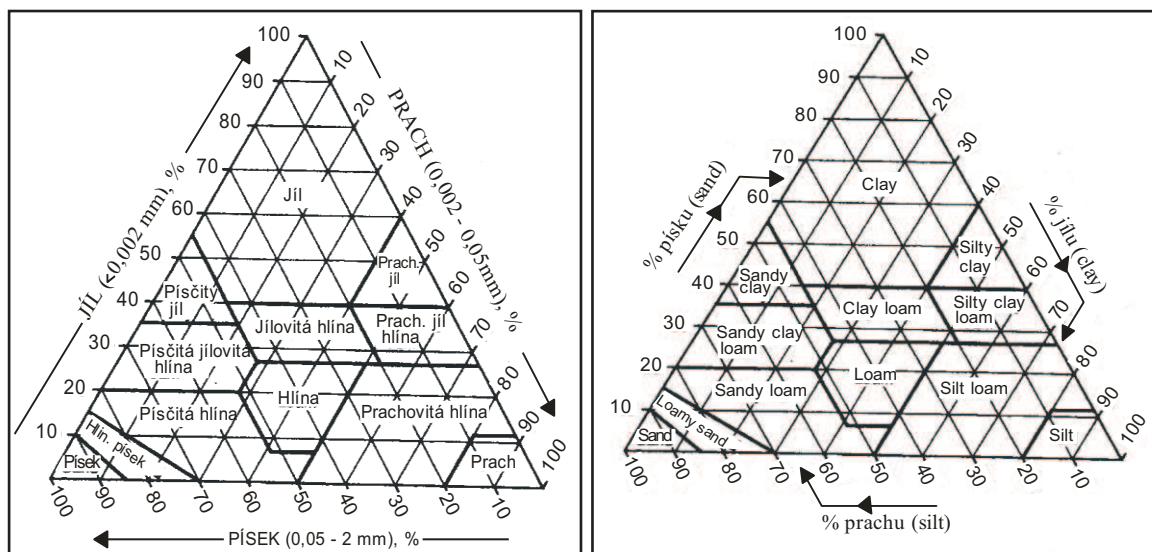
Obsah částic < 0,01mm (%)	Označení půdního druhu	Základní půdní druhy
0 0-10 10-20;	písek písčitá hlinitopísčitá	lehká půda
20-30 30-45	písčitohlinitá hlinitá	střední půda
45-60 60-75 > 75	jílovitohlinitá jílovitá jíl	těžká půda

Tab. 1.1.2 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

Tab. 1.1.3 Zrnitostní frakce podle Ministerstva zemědělství USA (převzato Kameníčková, 2013)

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



Obr. 1.1.4 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).

### 1.1.2 Struktura půdy

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.[17] Stabilita agregátů ve vodě je způsobena tmelícími látkami, jako je např. humus. Vznik mikroagregátů probíhá při koagulaci půdních koloidů a při spojování jílových a prachových částic. Shlukováním mikroagregátů vznikají makroagregáty a to při objemových změnách v půdě, působením kořenového systému, vlivem půdního zooedafonu a také obděláváním půdy. Agregáty vzniklé umělým mechanickým způsobem při vyšší vlhkosti se nazývají pseudoagregáty.[8]

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

- Půda strukturní, u které se od sebe dobře oddělují jednotlivé 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 buď pseudoagregáty náhodných tvarů nebo je rozsypavá bez patrných agregátů.

Znakem půdní struktury je rozpad půdních částic do agregátů různých tvarů, podle nichž se dělí struktura do čtyř morfologických tříd.

- I. třída – všechny tři osy jsou stejně dlouhé, tvar zaoblený  
Do této třídy patří hrudovitá, drobtovitá, zrnitá a prášková struktura.
- II. třída – všechny tři osy jdou stejně dlouhé, plochy a hrany jsou zřetelné  
Tato třída obsahuje strukturu kostkovitou a polyedrickou.
- III. třída – svislá osa je protažena  
Mezi podlouhlé struktury patří prizmatická a sloupkovitá.
- IV. třída – vodorovné osy jsou protaženy  
Jako zploštěné struktury pak rozeznáváme deskovitou a lístkovitou.[8]

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 1.1.5.

*Postup:* do síty se vloží určité množství půdních agregátů, poté se síta vloží do nádoby s vodou, která se pohybuje nahoru a dolů. Nestabilní agregáty se uvolní a propadnou síty do nádoby, která je naplněná vodou a instalovaná pod sítem. Výsledkem zkoušky vodostálosti je index stability půdních agregátů.[14]



Obr. 1.1.5 Přístroj pro mokré prosévání (převzato z [www.ekotechnika.cz](http://www.ekotechnika.cz))

Dobrá struktura půdy vykazuje příznivé ovlivnění hydrologických vlastností půdy a její úrodnosti. Struktura také ovlivňuje infiltraci srážkových vod, provzdušenost, která se projeví 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.

Půdní struktura není stálá, ovlivňují ji srážky, závlaha, pojezd mechanizace a technologie zpracování půdy. Zvyšováním humusu v půdě a prováděním vhodných osevních postupů lze zlepšit půdní strukturu.

### 1.1.3 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. Objem vytlačené vody z pyknometru představuje objem pevných částic. Zdánlivá hustota se stanovuje různými metodami, mezi nejčastější patří stanovení pomocí vodních pyknometrů.

### *Pyknometrické stanovení zdánlivé hustoty*

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

*Postup:* vzorek jemnozemě o hmotnosti 10 g se nasype do misky, zalije destilovanou vodou a vaří se po dobu 3 – 10 minut. Suspenze se promíchává skleněnou tyčinkou, při vaření se ze vzorku vypudí vzduch a odpařená voda se postupně dolívá. Pyknometr se naplní převařenou destilovanou vodou až po hrdlo, temperuje se ve vodní lázni (20°C). Poté se dolije převařenou destilovanou vodou (20°C) a uzavře se zátkou, která se nechá volně zapadnout. Pyknometr se vyjme z vodní lázně, osuší se a provede se kontrola vzduchu v systému, poté se pyknometr zváží. Destilovaná voda se z pyknometru vylije a místo ní se do pyknometru vlije zchlazená suspenze (beze ztrát). Zbytek objemu pyknometru se dolije převařenou destilovanou vodou a nechá se temperovat na 20°C. Zátka se nechá volně zapadnout, pyknometr se osuší a zváží. Při prováděném měření se pod pyknometr podkládá skleněná miska pro případné zachycení vyplavených zrn. Ze známých hodnot se určí objem naváženého vzorku a zdánlivá hustota dle rovnic 1.1.5 a 1.1.6.[5]

*Objem naváženého vzorku:*

$$V_v = P_v + N_s - P_s \text{ [cm}^3\text{]}, \quad (1.1.5)$$

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

$$\rho_s = \frac{N_s}{V_v} = \frac{N_s}{P_v + N_s - P_s} \text{ [g}\cdot\text{cm}^3\text{]}, \quad (1.1.6)$$

kde:

$P_v$  - hmotnost pyknometru s destilovanou vodou [g],

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

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

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[5]

#### 1.1.4 Objemová hmotnost půdy

Objemová hmotnost je hmotnost objemové jednotky zeminy v přirozené struktuře. Stanovuje se jako podíl hmotnosti zeminy k jejímu objemu. V závislosti na obsahu vody ve vzorku půdy rozlišujeme objemovou hmotnost neredukovanou ( $\rho_v$ ), která se mění v závislosti na obsahu momentální vlhkosti ve vzorku. A objemovou hmotnost redukovanou ( $\rho_d$ ), která se určuje po vysušení a charakterizuje stálé vlastnosti půdy.

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

*Postup:* vzorek odebraný pomocí soupravy pro odběr vzorků do Kopeckého válečků se po převozu do laboratoře ihned zváží. Poté se vysuší při 105°C do konstantní hmotnosti, vloží se do exikátoru, kde se nechá vychladnout a opět se zváží. Objemové hmotnosti se určí dle vztahů 1.1.7 a 1.1.8.[5]



*Objemová hmotnost neredukovaná:*

$$\rho_v = \frac{G_A}{V_s} [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}], \quad (1.1.7)$$

*Objemová hmotnost redukována:*

$$\rho_d = \frac{G_F}{V_s} [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}], \quad (1.1.8)$$

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  $0,01 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$ .

V průběhu roku dochází ke změnám hodnot objemové hmotnosti v důsledku bobtnání a smršťování půdy. Tyto změny jsou způsobeny změnou vlhkosti, mrazem, způsobem obdělávání a v neposlední řadě také rozvojem kořenového systému rostlin.[16] Jelikož tyto procesy probíhají nejintenzivněji v povrchových horizontech, je důležité odebírat více vzorků v delším časovém období pro objektivnost výstupu. Hodnota objemové hmotnosti vzrůstá s hloubkou.

Pomocí hodnot objemové hmotnosti lze posuzovat strukturní stav humusového horizontu, který udává tabulka 1.1.4. Dále je k dispozici také kritická hodnota objemové hmotnosti podle Lhotského určená pro jednotlivý půdní druh, což je patrné z tabulky 1.1.5.

Tab. 1.1.4 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. 1.1.5 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

### 1.1.5 Základní rozbor neporušeného půdního vzorku

Při rozboru neporušeného půdního vzorku (v přirozeném uložení) se stanovují základní fyzikální vlastnosti, pórovitost a analyzují se vzdušné a vodní poměry.

Odběr vzorků se provádí pomocí Kopeckého válečku ze středů jednotlivých horizontů z čela kopané sondy. Před samotným odběrem je potřeba zjistit hmotnost a objem válečku.

*Pomůcky:* Kopeckého váleček (objem 100 cm<sup>3</sup>), hodinové sklo, (průměr 7 – 8 cm), zařízení pro kapilární nasávání válečků, filtrační papír, rovná lopatka, technické váhy, exsikátor se sikativem, sušárna.

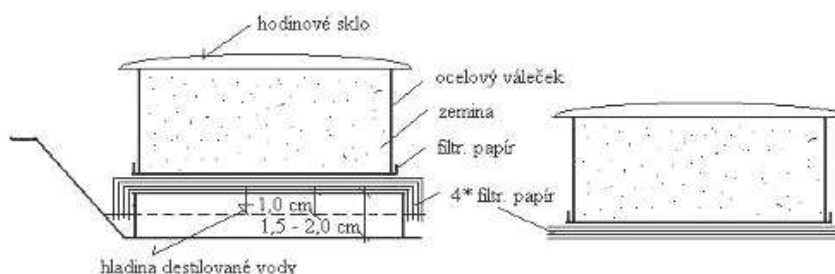
*Postup:* váleček se očistí a opatřený filtračním papírem ze spodní strany se položí na hodinové sklo (o známé hmotnosti) a přesně se zváží. Takto zjištěná hmotnost ( $G_A$ ) se poznamená do zápisníku.

V dalším kroku se vzorek nechá nasytit destilovanou vodou pomocí kapilárních sil přes 4 vrstvy filtračního papíru. Na horní základnu se položí hodinové sklo (zamezení výparu) a vzorek se nechá sytit do doby než je horní

základna nasycená (lesklá). Po nasycení se vzorek sejme z filtračního papíru, postaví se na hodinové sklo a zjistí se hmotnost ( $G_B$ ).

Poté se vzorek postaví na filtrační papír a horní základna se zakryje hodinovým sklem. Od tohoto okamžiku ( $t = 0$ ) se začíná měřit doba odsávání. Hmotnost odsávaného vzorku se měří ve 30' ( $G_C$ ), 90' ( $G_D$ ) a 22 hodinách ( $G_E$ ).

Dalším krokem rozboru je sušení vzorku při 105°C do konstantní hmotnosti. Hmotnost se měří po vychladnutí ( $G_F$ ) a využívá se při stanovení sušiny ( $G_H$ ).[5]



Obr. 1.1.6 Rozbor neporušeného půdního vzorku (převzato Kameníčková, 2013)

Získané výsledky hmotností se zapisují do formuláře, viz tabulka 1.1.6.

Tab. 1.1.6 Formulář pro záznam stanovených hmotností (převzato Kameníčková, 2013)

Stanovení	symbol	výpočet	jednotka
Momentální vlhkost	$\theta_{mom}$	$(G_A - G_F)$	% obj.
Nasáklivost	$\theta_{ns}$	$(G_B - G_F)$	% obj.
Vlhkost 30'	$\theta_{30}$	$(G_C - G_F)$	% obj.
Max. kap. vodní kapacita	$\theta_{MKK}$	$(G_D - G_F)$	% obj.
Retenční vodní kapacita	$\theta_{RVK}$	$(G_E - G_F)$	% obj.
Zdánlivá hustota pevných částic (spec. hmot.)	$Q_s$	$N_s / (N_s + P_v - P_s)$	$g \cdot cm^{-3}$
Sušina	$G_H$	$G_F - (G_v + G_s)$	g
Objemová hmotnost	$Q_d$	$G_H / V_s$	$g \cdot cm^{-3}$
Celková pórovitost	$P$	$(Q_s - Q_d) \cdot 100 / Q_s$	% obj.
Kapilární pórovitost	$P_K$	$\theta_{RVK}$	% obj.
Semikapilární pórovitost	$P_s$	$\theta_{30} - \theta_{RK}$	% obj.
Nekapilární pórovitost	$P_N$	$P - \theta_{30}$	% obj.
Provzdušenost	$V_z$	$P - \theta_{mom}$	% obj.
Max. kap. vzdušná kapacita	$K_{MKKvz}$	$P - \theta_{MKK}$	% obj.
Retenční vzdušná kapacita	$K_{RVKvz}$	$P - \theta_{RVK}$	% 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.

V případě, že je k dispozici pouze porušený vzorek, vypočte se hmotnostní vlhkost (poměr hmotnosti vody ve vzorku k hmotnosti tuhé fáze), podle vztahu 1.1.9.

$$w = \frac{m_w}{m_z} \cdot 100 = \frac{G_A - G_F}{G_F} \cdot 100 \text{ [% hm.]}, \quad (1.1.9)$$

Vtáh 1.1.10 slouží k přepočtu mezi hmotnostními a objemovými procenty.

$$\theta = w \cdot \rho_d \quad (1.1.10)$$

V případě zaplnění pórů vodou, vyjadřují se výsledky v procentech relativních ( $\theta_{rel}$ ). Namísto objemu celého vzorku se používá pórovitost (u bobtnavé půdy se použije nasáklivost) dle vztahu 1.1.11.[5]

$$\theta_{rel} = \frac{\theta_{obj}}{P} \cdot 100 \quad (1.1.11)$$

*Posouzení výsledků základního rozboru:*

Výpočet veškerých následujících charakteristik půdy je uveden v tabulce 1.1.6.

*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 množstvím srážek, výparem, vzlínáním podzemní vody a potřebou rostlin. Tato vlastnost se využívá k hodnocení infiltrační schopnosti půdy, redistribuci a uchování vody v půdním profilu.[8]

*Půdní hydrolimity:*

*Nasáklivost* ( $\theta_{NS}$ ) vyjadřuje maximální naplnění kapilárních pórů při kapilárním nasycení. Hodnoty se liší pro bobtnavé půdy, kdy se rovná nasáklivost pórovitosti a nebobtnavé půdy, kdy je hodnota nasáklivosti nižší než pórovitost.

*Vlhkost 30'* ( $\theta_{30}$ ) slouží ke klasifikaci pórů. Po 30' minutovém odsávání (těžké půdy, lehké půdy 15') dochází k rychlému poklesu vlhkosti (zřejmě z nekapilárních pórů).

*Maximální vodní kapacita* ( $\theta_{MKK}$ ) vyjadřuje 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.

*Retenční vodní kapacita* ( $\theta_{RVK}$ ) vyjadřuje množství půdní vody, kterou je schopna půda trvale zadržet pomocí kapilárních sil v rovnovážném stavu po nadměrném navlhčení. Proto ji lze ztotožňovat s kapilárními póry ( $P_K$ ).[5]

### Pórovitost

*Celková pórovitost (P)* vyjadřuje okamžité zastoupení pórů (mezery mezi pevnými částicemi vyplněné plynem nebo kapalinou) v půdě.

Pórovitost klesá při vysychání půdy a roste se zvyšující se vlhkostí. Dle hodnot pórovitosti lze klasifikovat ulehlost půdy, kterou udává tabulka 1.1.7. Pro určení kritické hodnoty pórovitosti lze opět využít klasifikaci podle Lhotského, která je uvedena v tabulce 1.1.8.

Tab. 1.1.7 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. 1.1.8 Kritické hodnoty pórovitosti podle Lhotského (převzato Kameníčková, 2013)

Půdní druh	I	IV, 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.

V *kapilárních pórech* ( $P_k = \theta_{RVK}$ ) je voda držena pomocí kapilárních sil proti gravitaci, proto lze i 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. [5]

#### *Vzdušné charakteristiky*

*Provzdušenost půdy* ( $V_z$ ) vyjadřuje okamžité zastoupení vzduchu v půdě a je ovlivněna vlhkostí. Lze ji určit podle vztahu uvedeného v tabulce 1.1.6 nebo pomocí vztahu 1.1.12.

$$V_z = \frac{V_A}{V_s} \cdot 100 \text{ [% obj.]}, \quad (1.1.12)$$

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

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

*Vzdušná kapacita půdy ( $K_{vz}$ )* vyjadřuje procento objemu pórů vyplněných vzduchem. Rozlišuje se maximální a retenční vzdušná kapacita podle toho zda se určuje při maximální vodní kapacitě nebo retenční vodní kapacitě.[5]



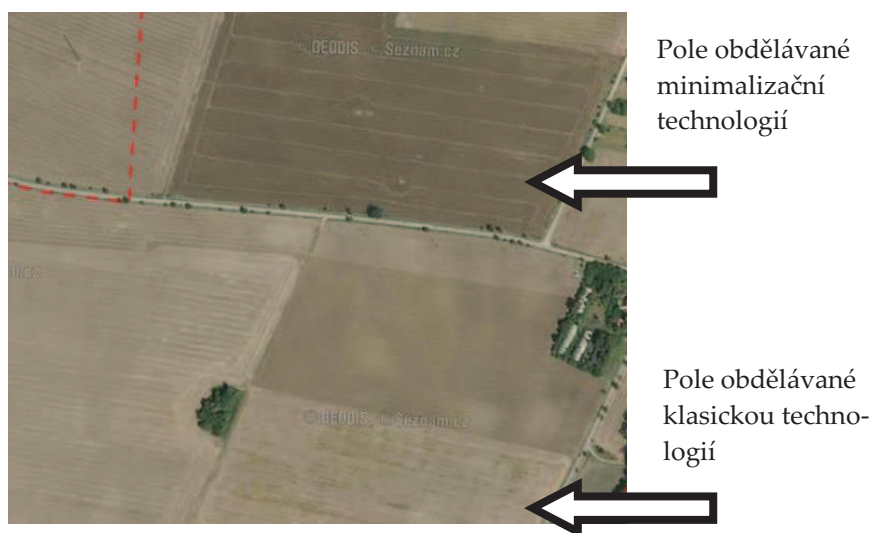
## 2 Praktická část

### 2.1 Charakteristika území

#### 2.1.1 Popis lokality Bohaté Málkovice

Experimentální plochy zpracovávané klasickou (středně hlubokou orbou) a minimalizační technologií se nacházejí v blízkosti silnice Bohdalice – Bohaté Málkovice v severní části katastrálního území obce Bohaté Málkovice, okres Vyškov. Geomorfologicky spadá lokalita do Bučovické pahorkatiny, s průměrnou nadmořskou výškou 279 m n. m. Převládá zde mírně svažité terén s jižní expozicí. U převážné části území je možno použít těžké mechanizace, v místech s prudšími svahy je možno využít pouze střední nebo potažné mechanizace.

Ve východní části zájmového území se nacházejí spraše, dále jsou zde těžké jílovité sedimenty. Na těchto půdotvorných substrátech se vytvořily vrstvy černozemě o různých tloušťkách. Půdotvorný substrát v místě potoků tvoří vápnité nivní uloženiny s vrchní vrstvou nivních glejových – karbonátových půd.



Obr. 2.1.1 Zájmová lokalita B. Málkovice (převzato [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz))

Experimentální plochy jsou od sebe vzdáleny přibližně 300 m a jsou obhospodařované zemědělskou společností ZEMO s.r.o. Na poli zpracovávaném minimalizační technologií byly po sledované období

pěstovány: pšenice ozimá (*Triticum aestivum*), ječmen jarní (*Hordeum vulgare*), řepka ozimá (*Brassica napus* var. *Napus*) a pšenice ozimá (*Triticum aestivum*).

Na poli zpracovávaném klasickou technologií byly pěstovány: pšenice ozimá (*Triticum aestivum*), ječmen jarní (*Hordeum vulgare*), pšenice ozimá (*Triticum aestivum*), ječmen jarní (*Hordeum vulgare*). (zdroj ZEMO s.r.o.)

### 2.1.2 Klimatické podmínky

Z klimatického hlediska spadá lokalita do oblasti teplé, mírně suché, s mírnou zimou (A3). Průměrná roční teplota se pohybuje kolem 8,4°C. Průběh srážek za sledované období (2008-2011) je znázorněn v tabulce 2.1.1.

Tab. 2.1.1 Srážkové úhrny v lokalitě Bohaté Málkovice, 2008 – 2011 (zdroj ZEMO s. r.o.)

Měsíc/rok	Úhrn srážek [mm]												Roční
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2008	12	5,5	57,5	44	83	48	60	42	78,5	37,5	26	38	532
2009	20	28	39,5	4	74	116	118	28	19	31	46	26	549,5
2010	72	26	16,5	61	200	96	116	98	98	13	27	0	823,5
2011	19	5	41	33	59	67	73	49,5	27	32	0	19	405,5

Z uvedených ročních úhrnů je patrné, že roky 2008, 2009 a 2011 byly velmi suché v porovnání s rokem 2010, kdy je hodnota ročního úhrnu takřka dvojnásobná. Měsíční průběhy srážek v roce 2009 a 2010 vykazují velké výkyvy během letních měsíců. Průběhy srážek mají vliv i na výsledky fyzikálních vlastností půdy.

### 2.1.3 Hydrologické podmínky

Experimentální plocha spadá do dílčího povodí Svratky, hlavního povodí Moravy. V oblasti se nachází několik potoků místního významu, které tvoří hydrografickou síť.

Vlhkostní poměry půdy jsou ovlivněny zrnitostním složením, vnitřní drenáží půd v závislosti na půdotvorných substrátech a konfigurací terénu. V oblasti se nacházejí černozemě vytvořené na spraších, které jsou dobře propustné a mají dobrou kapilární schopnost. Dále se tu objevují černozemě vytvořené na jílovitých sedimentech, tyto půdy jsou málo propustné, s velkou

kapilární schopností. Rendziny, které se vytvořili také na jílovitých sedimentech, jsou málo propustné a občas u nich dochází k převlhčení. V místech potoků jsou nivní půdy glejové – karbonátové, které bývají lokálně zamokřené v závislosti na sezónních srážkách.

### 2.1.4 Technologie úpravy půdy

Význam úpravy půdy spočívá ve vytvoření vhodných podmínek pro správný průběh půdních procesů, a také pro růst a vývoj rostlin. Při úpravě jsou do půdy vpravovány posklizňové zbytky a hnojiva. Technologie úpravy půdy ovlivňuje základní fyzikální vlastnosti půdy.

Technologie úpravy lze rozdělit do dvou skupin, kterými jsou klasická technologie (orba) a minimalizační technologie (bez orby).

#### Klasická technologie

Základem orby je obrat půdní masy a tím zapravení posklizňových zbytků a hnojiv do půdy, dále je důležitá pro zamezení růstu plevelů a především pro provzdušnění půdního horizontu. Orba se provádí pomocí jednostranných, oboustranných a otočných pluhů.

Podle hloubky se orba dělí do 4 skupin:

- mělká (14 – 18 cm),
- střední (18 – 24 cm),
- hluboká (24 – 30 cm),
- velmi hluboká (> 30 cm).[16]



Obr. 2.1.2 Příklad jednostranného pluhu (převzato [www.kvernelandgroup.cz](http://www.kvernelandgroup.cz))

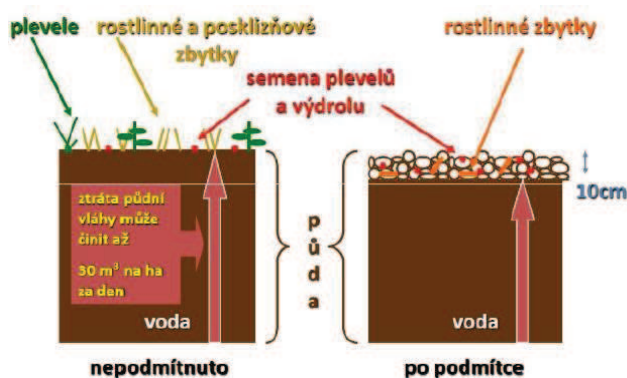


Obr. 2.1.3 Příklad otočného pluhu (převzato [www.peragro.cz](http://www.peragro.cz))

Vlivem pojezdu těžké mechanizace dochází k utužování půdy v podbrázdí a následnému snížení propustnosti. Výsledkem je posléze zvýšení povrchového odtoku a odnos půdy. U této technologie jsou prokázány vyšší nároky na čas a energii.

### Minimalizační technologie

Minimalizační technologie zahrnuje prokypření do malé hloubky (do 20 cm), půdoochranné zpracování půdy (ponechání min. 30% rostlinných zbytků) a přímé setí (setí do nezpracované půdy).[3] Minimalizační technologie se vyznačuje zásahem do menších hloubek a redukcí intenzity zpracování půdy. Princip minimalizační technologie spočívá v prokypření svrchní vrstvy půdy a tím zamezení vysychání spodních vrstev humusového horizontu (přerušením kapilarity) jak je patrné z obrázku 2.1.4.



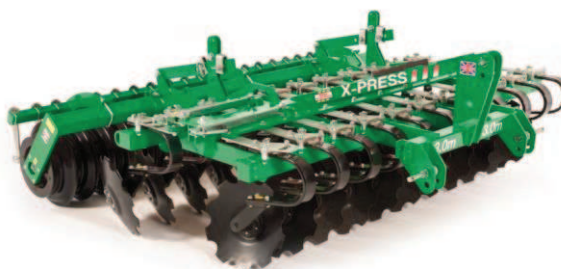
Obr. 2.1.4 Princip a význam podmítky (převzato Konvalinka, 2012)

Vývoj minimalizačních technologií započal v první polovině 20. století ve světě. Od té doby se vyvíjí také mechanizace určená pro šetrnější zpracování půdy. Evropa si osvojila šetrnější technologie až o několik desetiletí později a v 70 letech již byla používána i u nás.

Podrývání se provádí pomocí podmítačích pluhů, talířových (diskových) podmítačů, radličkových podmítačů a rotačními kypřiči. Příklady některých podmítačů jsou zobrazeny na obrázcích 2.1.5 a 2.1.6. V případě, že dojde k utužení spodních vrstev, je zapotřebí provést hluboké prokypření (až do hloubky 65 cm) pomocí dlátových pluhů, viz obrázek 2.1.7.[7]



Obr. 2.1.5 Radličkový podmítač (převzato [www.agrowest.com](http://www.agrowest.com))



Obr. 2.1.6 Talířový podmítač (převzato [www.agrozest.cz](http://www.agrozest.cz))



Obr. 2.1.7 Dlátový pluh (převzato [www.bednar-machinery.com](http://www.bednar-machinery.com))

Důležitým faktorem při výběru technologie hraje cena. Výzkumy prokazují, že využití minimalizační technologie je energeticky i ekonomicky výhodnější jak je znázorněno v tabulce 2.1.2.

Tab. 2.1.2 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

Největšími využiteli minimalizační technologie jsou Severní a Jižní Amerika a také Austrálie. V USA je upravováno více jak 30% plochy polí pomocí minimalizační technologie. V ČR se odhaduje využití této technologie na 30% orné půdy, aplikace se provádí především u pěstování obilovin, kukuřice, olejnin a luskovin.[4]

## 2.2 Popis práce v terénu a laboratoři

Hydropedologický průzkum je prvotní částí práce v terénu, je využíván pro zjištění pedologických, hydropedologických a hydraulických vlastností půdy. Výsledky průzkumu slouží jako podklad pro projektovou dokumentaci vodohospodářských staveb, ale i pro posouzení fyzikálního stavu půdního prostředí.

### 2.2.1 Sondážní práce

Sondážní práce se provádí pomocí:

- pátrací tyče
- sondovací tyče
- půdního vrtáku
- kopané sondy.

*Pátrací tyč* je vyrobena z oceli (průměru 15 – 20 mm, délky 150 – 200 cm), je opatřena vratidlem na horním konci, na spodním konci je vykovaná do ostrého hrotu. Tyč se zatlačí do potřebné hloubky (na dřívku je vyrytá stupnice) a několikrát se otočí, aby se odebral vzorek půdy do žlábků v tyči. Při vyjímání se s tyčí neotáčí. Pátrací tyč slouží k určení rozsahu půdních okrsků a chemických rozborů ( $\text{CaCO}_3$ ).

*Sondovací tyč* je také vyrobena z oceli (průměru 30 – 35 mm), na horním konci je osazena masivní hlavice s otvorem pro vratidlo. Břit je vybroušen na spodním konci. Sondovací tyč se zaráží do půdy s krokem 20 cm. Pro odebrání vzorků je potřeba s tyčí několikrát otočit, při vyndávání se využívá vratidla. Po odebrání vzorku do sáčku nebo vysoušečky, se tyč zaráží hlouběji na stejném místě.

*Půdní vrták* je opatřen závitovými křídly na spodním konci dřívku. Otáčením se vpravuje do půdy na výšku vrtací hlavice. Po vysunutí se odebere vzorek z křídel na podložku. Poté se vrták očistí a zavrtá hlouběji (o výšku hlavice).

*Kopaná sonda* má půdorysné rozměry 60 – 80 x 150 – 200 cm a je hluboká 120 – 200 cm. Čelo kopané sondy se orientuje proti slunci a proti svahu pokud se nachází ve skloněném terénu. Vzorky se odebírají v přirozeném stavu z čelní strany kopané sondy. Při odběru je zapotřebí z čela sondy odrýpnout vrstvu oschlé zeminy.

Do polního půdního záznamu se uvádí mocnost litologických vrstev, charakter přechodů jednotlivých vrstev, jejich mocnost, strukturu a barvu. Zapisují se také trhliny a svislé kanálky, hloubka prokořenění a další jevy

důležité pro popis půdních poměrů v půdním horizontu. Provedené sondy se zaznamenávají do pedologické mapy.[5]

## 2.2.2 Odběr půdních vzorků

Rozlišují se půdní vzorky porušené a neporušené.

*Odběr porušených vzorků* se provádí z čela kopané sondy pomocí polní lopatky vždy od spodu, aby nedošlo k promíchání. Vzorky se vkládají do popsaných sáčků (místo odběru, datum, číslo sondy atd.), množství záleží na typu a počtu laboratorních zkoušek.

*Odběr neporušených vzorků* se provádí pomocí Kopeckého válečku (váleček o objemu 100 cm<sup>3</sup> z nerezové oceli). Vzorky se odebírají z čela kopané sondy v jednotlivých vrstvách, stejných jako u porušených vzorků. Váleček se plynule zatlačuje do předem vytvořené plošinky, tak dlouho dokud zemina nepřesahuje horní okraj válečku o 0,5 – 1 cm. V případě vyschlé zeminy se váleček nezatlouká (destrukce půdy), nýbrž se zemina uvolní kolem válečku a po dalším zatlačení se zemina odkrojí břitem válečku. Vzorek půdy se ořízne v úrovních obou základů. V případě porušení se odebere nový vzorek půdy. Na závěr se válečky uzavřou víčky a vloží do plechového kufříku nebo igelitového sáčku, viz obrázek 2.2.1.



Obr. 2.2.1 Sada půdních válečků (převzato [www.ekotechnika.cz](http://www.ekotechnika.cz))



### **2.2.3 Práce v laboratoři**

Porušené vzorky půdy se po převozu do laboratoře skladují v suché a větrané místnosti. Sáčky se otevřou a s mezerou pro lepší vysychání se položí vedle sebe. Pokud je odebraná zemina příliš vlhká rozprostře se v nižší vrstvě do misky, občasně se promíchá a rozdrobí. Po vyschnutí se z těchto vzorků zjišťuje zdánlivá hustota pevných částic (viz kapitola 1.1.3). Dále se využívají pro zrnitostní rozbor a následnou klasifikaci půdy podle metodiky popsané v kapitole 1.1.1.

Postup prací v laboratoři s neporušeným vzorkem se provádí podle metodiky uvedené v kapitole 1.1.5. Výsledky zjištěné z tohoto rozboru slouží k určení objemové hmotnosti redukované, viz kapitola 1.1.4 a dalších charakteristik půdy popsaných v kapitole 1.1.5.

## **2.3 Výsledky měření**

Vzorky byly odebírány ze dvou experimentálních ploch (pole obdělávané minimalizační a klasickou technologií) v hloubkách 0,1; 0,2 a 0,3 m vždy ve dvou opakováních v měsíci červenci v letech 2008 – 2011. Červenec lze označit jako kritické období pro odběr vzorků, jelikož jsou výsledky ovlivněny již přirozeným utužením (srážky, kořenový systém rostlin) a umělým utužením (pojezd zemědělské mechanizace).

### **2.3.1 Zdánlivá hustota pevných částic**

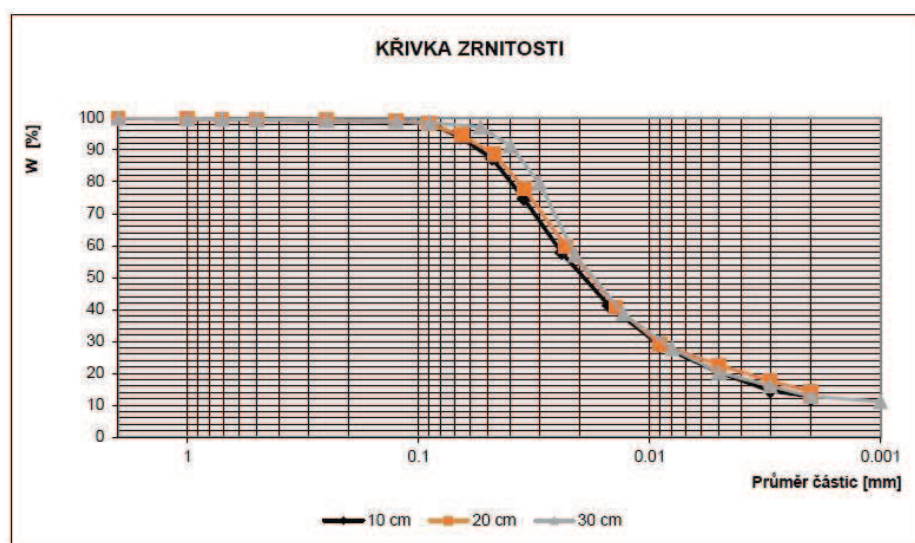
Hodnoty zdánlivé hustoty půdních částic z roku 2009 jsou uvedeny v tabulce 2.3.1. Zjištění zdánlivé hustoty probíhalo dle metodiky popsané v kapitole 1.1.3. Jako podklad pro výpočet zdánlivé hustoty byla použita pyknometrická měření, uvedená v příloze č. 1.

Tab. 2.3.1 Výsledné hodnoty zdánlivé hustoty pevných částic

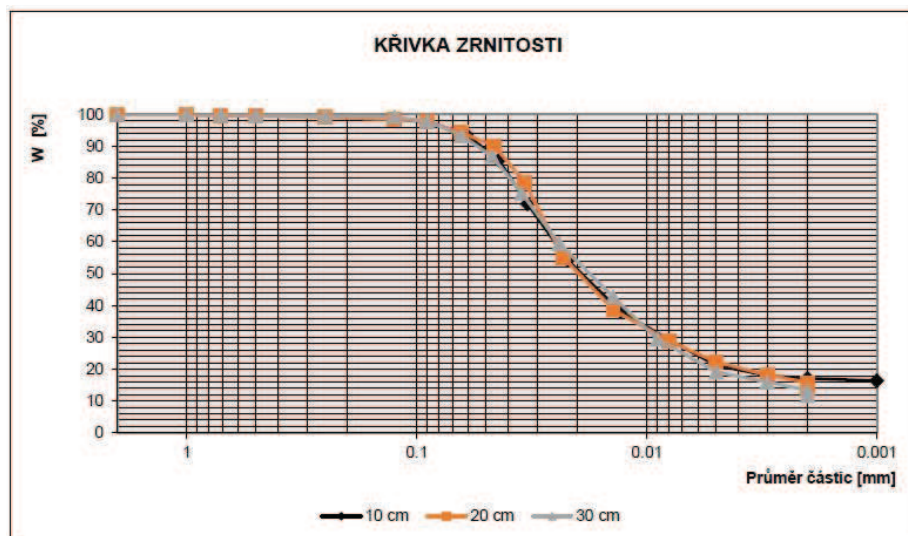
2009	Způsob zpracování	Hloubka	Q <sub>s</sub> (12.5.09)	Q <sub>s</sub> (21.7.09)
		cm	g·cm <sup>3</sup>	g·cm <sup>3</sup>
Klasický		10	2,48	2,48
		20	2,46	2,50
		30	2,52	2,51
Minimalizační		10	2,47	2,52
		20	2,52	2,54
		30	2,54	2,53

### 2.3.2 Zrnitostní rozbor

Zrnitostní rozbor byl prováděn dle metodiky uvedené v kapitole 1.1.1. Výsledkem zrnitostního rozboru jsou křivky zrnitosti, patrné z obrázků 2.3.1 a 2.3.2. Podkladem pro vyhodnocení zrnitostního rozboru byly výsledky síťového rozboru a hustoměrné zkoušky, viz příloha č. 2.



Obr. 2.3.1 Křivka zrnitosti, klasická technologie



Obr. 2.3.2 Křivka zrnitosti, minimalizační technologie

Klasifikace půdního druhu byla provedena podle Nováka a trojúhelníkového diagramu USDA, výsledky jsou uvedeny v tabulce 2.3.2. Podkladem pro odečet potřebných frakcí byly výše zobrazené křivky zrnitosti.

Tab. 2.3.2 Klasifikace půdy podle Nováka a Trojúhelníkového diagramu USDA

	Způsob zpracování	Hloubka cm	< 0.01	Jíl	Prach	Písek	Klasifikace	
			%	%	%	%	Novák	Trojúhel. Diagram USDA
2009	Klasický	10	30,80	12,82	75,22	11,96	hlinitá	prachovitá hlína
		20	31,50	14,32	75,36	10,32	hlinitá	prachovitá hlína
		30	32,17	12,80	82,68	4,52	hlinitá	prachovitá hlína
	Minimalizační	10	32,80	17,18	71,30	11,52	hlinitá	prachovitá hlína
		20	32,14	15,79	75,31	8,90	hlinitá	prachovitá hlína
		30	32,09	13,46	74,55	11,99	hlinitá	prachovitá hlína

### 2.3.3 Vybrané fyzikální vlastnosti půdy

Veličiny potřebné pro určení základních fyzikálních vlastností půdy byly zjištěny na základě metodiky popsané v kapitole 1.1.5. K výpočtu byly použity vzorce, uvedené v tabulce 1.1.6. Výsledky naměřených veličin a spočtených fyzikálních vlastností jsou uvedeny v příloze č. 3.

V tabulce 2.3.3 jsou uvedeny průměrné hodnoty vybraných fyzikálních

vlastností půdy pro jednotlivé roky. Průměr byl vytvořen vždy ze vzorku 1 a 2 odebraných v červenci, viz příloha č. 4.

Tab. 2.3.3 Výsledné průměrné hodnoty základních fyzikálních vlastností u klasické a minimalizační technologie

Typ technologie			klasická				
Rok	Pěstované plodiny	Hloubka	Objemová hmotnost redukovaná $\rho_d$ [g·cm <sup>-3</sup> ]	Momentální vlhkost $\theta$ [%obj.]	Retenční vodní kapacita $\theta_{RK}$ [%obj.]	Pórovitost P [%obj.]	Provzdušenost $V_z$ [%obj.]
2008	pšenice ozimá	10	1.24	7.48	16.65	50.82	43.33
		20	1.29	6.61	14.71	47.61	40.99
		30	1.45	8.92	14.92	41.65	32.74
2009	ječmen jarní	10	1.61	27.31	26.41	35.13	7.82
		20	1.62	25.33	25.50	35.17	9.84
		30	1.70	23.26	24.02	32.09	8.83
2010	pšenice ozimá	10	1.49	20.49	31.21	39.99	19.51
		20	1.59	23.91	32.09	36.25	12.34
		30	1.62	21.90	29.69	35.60	13.70
2011	ječmen jarní	10	1.65	22.43	22.83	35.81	13.38
		20	1.67	23.48	23.31	34.23	10.75
		30	1.62	18.15	21.04	38.32	20.17
Typ technologie			minimalizační				
Rok	Pěstované plodiny	Hloubka	Objemová hmotnost redukovaná $\rho_d$ [g·cm <sup>-3</sup> ]	Momentální vlhkost $\theta$ [%obj.]	Retenční vodní kapacita $\theta_{RK}$ [%obj.]	Pórovitost P [%obj.]	Provzdušenost $V_z$ [%obj.]
2008	pšenice ozimá	10	1.39	6.08	17.96	41.72	35.63
		20	1.61	7.10	18.48	32.42	25.32
		30	1.59	10.45	18.84	33.46	23.01
2009	ječmen jarní	10	1.49	25.65	25.27	40.94	15.30
		20	1.63	22.54	23.23	35.72	13.18
		30	1.59	23.70	24.42	36.97	13.27
2010	řepka ozimá	10	1.39	24.76	29.13	43.96	19.21
		20	1.24	23.05	26.07	50.93	27.89
		30	1.52	25.14	29.18	40.32	15.18
2011	ječmen jarní	10	1.38	13.34	20.57	43.81	30.47
		20	1.62	13.06	22.50	36.54	23.49
		30	1.60	12.91	22.99	38.38	25.47

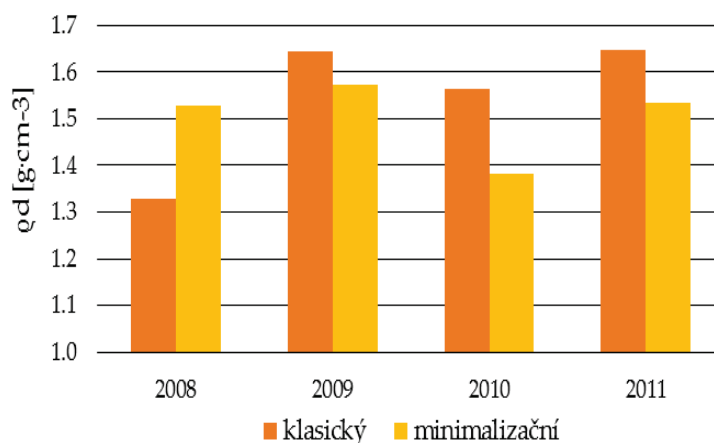
## 2.4 Vyhodnocení fyzikálních vlastností půdy

Vyhodnocení proběhlo u vybraných fyzikálních vlastností, viz následující podkapitoly na základě výsledků z tabulky 2.3.3 a je znázorněno graficky formou sloupcových grafů.

### 2.4.1 Objemová hmotnost redukována

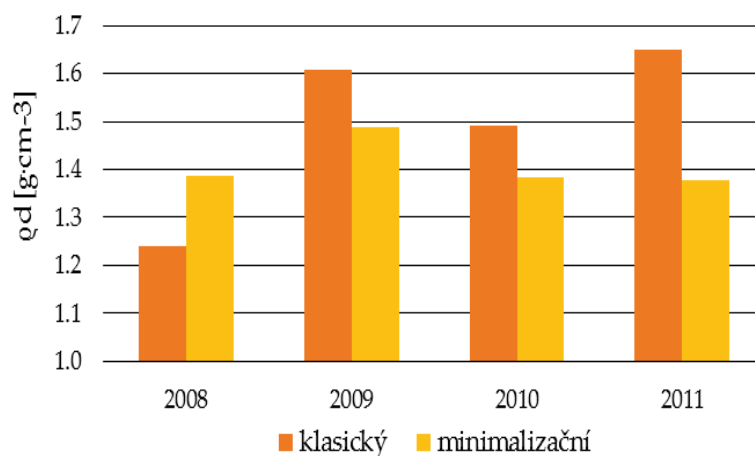
*Objemová hmotnost redukována* ( $\rho_d$ ) charakterizuje stav zhutnění nebo nakypření. Průměrné hodnoty půdy obdělávané klasickou technologií se pohybovaly v roce 2008 od 1,24 do 1,45 g·cm<sup>3</sup>. Maxima byla dosažena ve 30 cm. U vzorků z minimalizačně obdělávané plochy se hodnoty pohybovaly od 1,39 do 1,61 g·cm<sup>3</sup>, maxima byla dosažena ve 20 cm. V roce 2009 se hodnoty  $\rho_d$  pohybovaly u klasické technologie od 1,61 do 1,70 g·cm<sup>3</sup>, maxima byla dosažena ve 30 cm. U minimalizační technologie se hodnoty pohybovaly od 1,49 do 1,63 g·cm<sup>3</sup> a maxima byla dosažena ve 20 cm. V roce 2010 byly hodnoty v rozmezí 1,49 až 1,62 g·cm<sup>3</sup> u klasické úpravy půdy, maximum ve 30 cm. Hodnoty minimalizačně zpracované půdy byly v rozmezí 1,24 až 1,52 g·cm<sup>3</sup> a maxima v hloubce 30 cm. V roce 2011 byly dosaženy nejvyšší hodnoty objemové hmotnosti, jak u klasické technologie kdy se hodnoty pohybovaly od 1,62 do 1,67 g·cm<sup>3</sup>, maxima ve 20 cm. Tak u minimalizační technologie kdy byly hodnoty v rozmezí 1,38 až 1,62 g·cm<sup>3</sup> a maxima ve 20 cm.

Hodnoty objemové hmotnosti, které překročily kritickou hodnotu pro hlinité půdy (1,45 g·cm<sup>3</sup>) podle Lhotského jsou vyznačené v příloze č. 4. Podle objemové hmotnosti lze přibližně hodnotit strukturní stav humusového horizontu (0,1 – 0,3 m), podle hodnot uvedených v tab. 1.1.4 a zobrazeny v obrázku 2.4.1. Při klasickém zpracování byl strukturní stav půdy v roce 2008 dobrý, 2009 nestrukturní, 2010 nevyhovující a v roce 2011 nestrukturní. Při minimalizační technologii byl v roce 2008 a 2009 stav nevyhovující, 2010 dobrý a v roce 2011 nevyhovující.



Obr. 2.4.1 Průběh objemové hmotnosti redukované v humusovém horizontu, 2008 – 2011

Z důvodu kontroly environmentálních procesů (agregace, vliv zpracování, eroze, povrchová krusta, aerace, infiltrace a povrchový odtok) se posuzovala fyzikální kvalita svrchní vrstvy půdy (10 cm), znázorněná na obrázku 2.4.2.



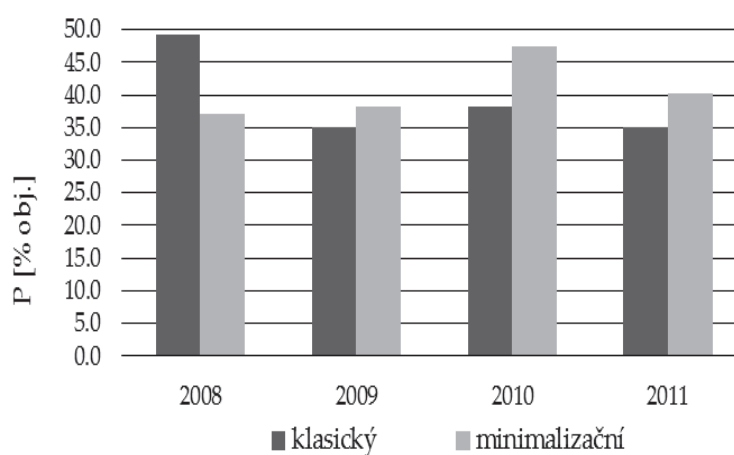
Obr. 2.4.2 Průběh objemové hmotnosti redukované ve svrchní vrstvě, 2008 – 2011

## 2.4.2 Pórovitost, rozdělení pórů

*Pórovitost* ( $P$ ) charakterizuje uspořádání půdní hmoty. V roce 2008 se hodnoty pórovitosti u klasické technologie pohybovaly od 41,65 do 50,82% obj., maxima v hloubce 10 cm a minima ve 30 cm. U minimalizační technologie byly hodnoty od 32,42 do 41,72% obj., maximum v hloubce 10 cm a minimum ve 20 cm. V roce 2009 byly hodnoty v celém humusovém profilu velmi nízké,

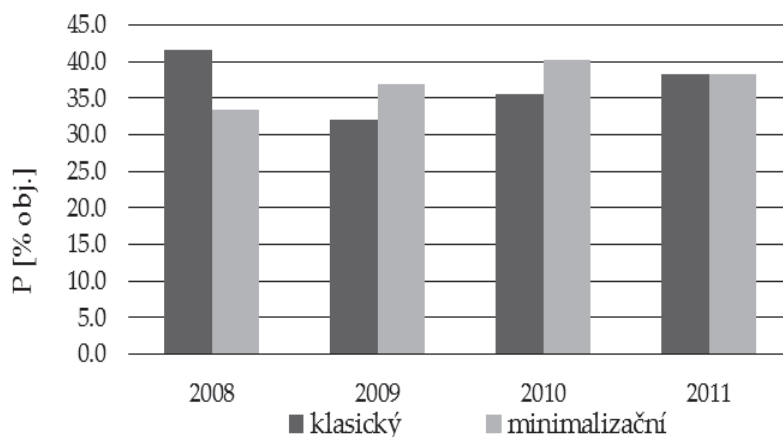
pohybovaly se od 32,09 do 35,17% obj., maximum v hloubce 20 cm a minimum ve 30 cm při klasickém zpracování. Při minimalizační úpravě půdy se hodnoty pohybovaly od 35,72 do 40,94% obj., maxima v 10 cm a minima ve 20 cm. V roce 2010 byly hodnoty v rozmezí 35,60 až 39,99% obj., maxima v 10 cm a minima ve 30 cm. U minimalizační úpravy byly v rozmezí 40,32 až 50,93% obj., maxima ve 20 cm a minima ve 30 cm. V roce 2011 se hodnoty pohybovaly od 34,23 do 38,32% obj., maxima v 30 cm a minima ve 20 cm. Při minimalizační úpravě byly hodnoty v rozmezí 36,54 až 43,81% obj. a maxima v 10 cm, minima ve 20 cm.

Půdní vzorky byly posuzovány z hlediska překročení kritických hodnot podle Lhotského (< 45% obj.) a jsou vyznačeny v příloze 4. Podle hodnot pórovitosti lze hodnotit stav ulehlosti půdy podle Bretfelda (tab. 1.1.7) a to pro ornici (0 – 20 cm) a spodinu (30 cm). U klasického zpracování půdy byla ulehlost ornice klasifikovaná v roce 2008 jako ulehlá a v ostatních letech jako velmi ulehlá. U minimalizační úpravy byla půda velmi ulehlá kromě roku 2010, kdy byla půda ulehlá. Viz obrázek 2.4.3.



Obr. 2.4.3 Průběh pórovitosti v orníční vrstvě půdy, 2008 – 2011

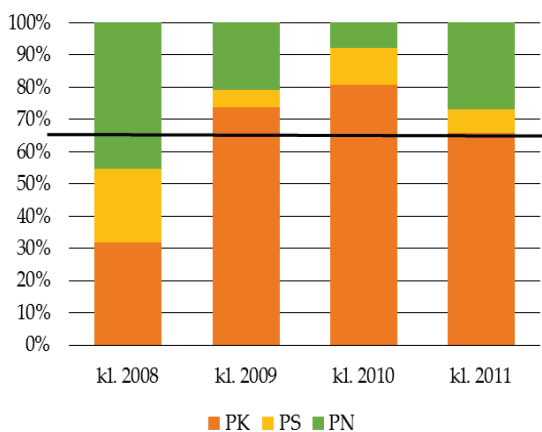
Spodina u klasického zpracování půdy byla vyhodnocena jako ulehlá, vyjma roku 2009 kdy byla hodnocena jako velmi ulehlá. Při použití minimalizační technologie byla půda hodnocena jako ulehlá, vyjma roku 2008. Na obrázku 2.4.4 je zobrazen průběh pórovitosti ve spodině.



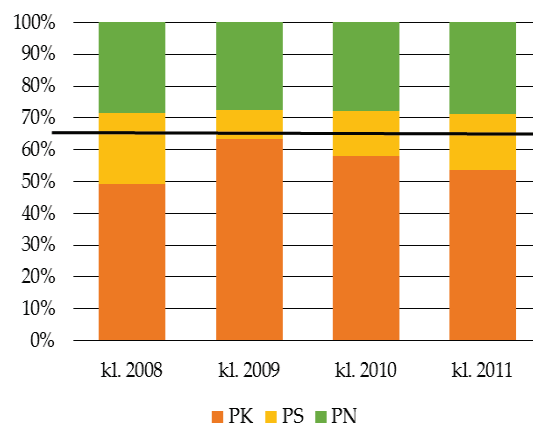
Obr. 2.4.4 Průběh pórovitosti ve spodině, 2008 – 2011

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

Hodnoty jednotlivých pórů jsou uvedeny v příloze č. 4. Kritéria pro optimální rozdělení pórů jsou uvedena v kapitole 1.1.5. Na obrázcích 2.4.5 a 2.4.6 jsou zobrazena rozdělení pórů v orničním horizontu. Na obrázcích 2.4.7 a 2.4.8 jsou vyobrazena rozdělení pórů ve spodině. Rozdělení pórů při minimalizačním zpracování vykazuje mírně lepší výsledky oproti klasickému zpracování.

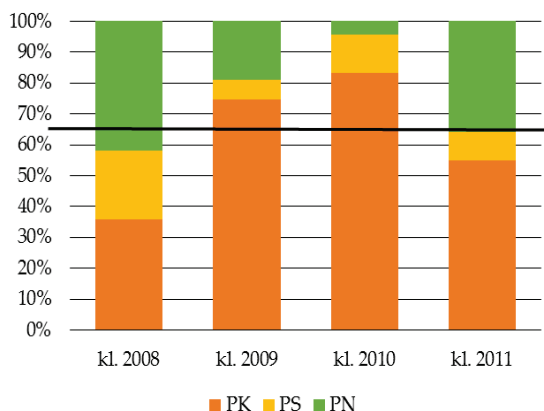


Obr. 2.4.5 Rozdělení pórů v orničním horizontu u klasické technologie, 2008 – 2011

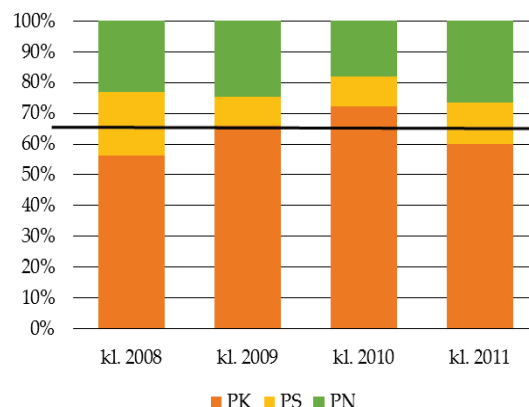


Obr. 2.4.6 Rozdělení pórů v orničním horizontu u minimalizační tech., 2008 – 2011





Obr. 2.4.7 Rozdělení pórů ve spodině u klasické technologie, 2008 – 2011



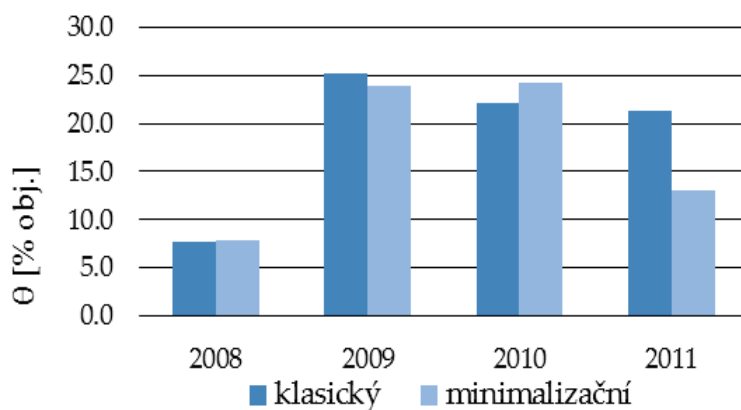
Obr. 2.4.8 Rozdělení pórů ve spodině u minimalizační technologie, 2008 – 2011

U klasické technologie bylo rozdělení pórů nejbližší optimu v roce 2011 v orničním horizontu. U minimalizační technologie byly výsledky příznivější, nejvíce však v roce 2009 jak v orničním horizontu, tak ve spodině.

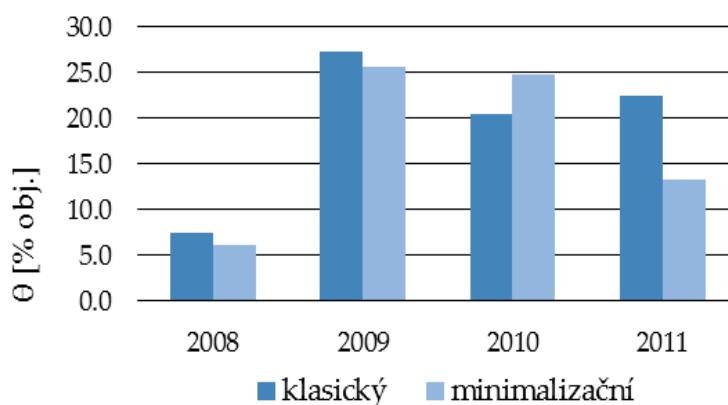
### 2.4.3 Momentální vlhkost

*Momentální vlhkost* ( $\theta$ ) ukazuje okamžitý obsah vody v půdě. V roce 2008 se hodnoty pohybovaly od 6,61 do 8,92% obj., maxima byla dosažena ve 30 cm u klasické technologie. Při minimalizační úpravě půdy byly hodnoty v rozmezí 6,08 až 10,45 %obj., maxima ve 30 cm. V roce 2009 byly hodnoty u klasické technologie od 23,26 do 27,31% obj., maxima v 10 cm. U minimalizační technologie se hodnoty pohybovaly od 22,54 do 25,65% obj., maxima v 10 cm. V roce 2010 byly hodnoty v rozmezí 20,49 až 23,91% obj. u klasické technologie a maxima ve 20 cm. U minimalizační úpravy půdy se hodnoty pohybovaly od 23,05 do 24,76% obj., maxima ve 30 cm. V roce 2011 byly hodnoty v rozmezí 18,15 až 23,48% obj. a maxima v hloubce 20 cm u klasické technologie. U minimalizační technologie byly hodnoty v rozmezí 12,91 až 13,34% obj., maxima v 10 cm.

Průběh momentální vlhkosti je ovlivněn množstvím srážek během sledovaného období, což je i patrné z obrázku 2.4.9. Z důvodu kontroly environmentálních procesů ve svrchní vrstvě je zde uveden obrázek 2.4.10, který zobrazuje průběh vlhkosti v 10 cm.



Obr. 2.4.9 Průběh momentální vlhkosti v humusovém horizontu, 2008 – 2011



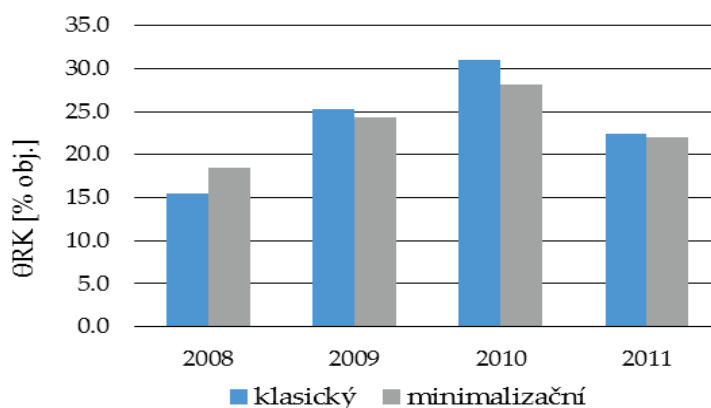
Obr. 2.4.10 Průběh momentální vlhkosti ve svrchní vrstvě, 2008 – 2011

U obou technologií je průběh momentální vlhkosti podobný, největší rozdíl vykazuje rok 2011, kdy jsou hodnoty u minimalizační technologie výrazně nižší než u klasické. V roce 2008 vykazují výsledky minima momentální vlhkosti v půdě, což je následkem nejnižších naměřených úhrnů za sledované období.

#### 2.4.4 Retenční vodní kapacita

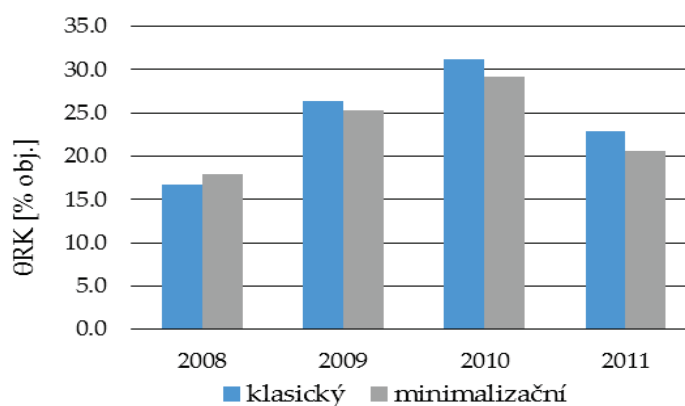
*Retenční vodní kapacita* ( $\theta_{RK}$ ) vyjadřuje schopnost udržet vodu v půdním profilu pomocí kapilárních sil a proto lze i ztotožnit s kapilárními póry. V roce 2008 se hodnoty pohybovaly od 14,71 do 16,65% obj. a maxima byla zjištěna v hloubce 10 cm u klasické technologie. U minimalizační technologie se hodnoty pohybovaly od 17,96 do 18,84% obj., maxima ve 30 cm. V roce 2009

byly hodnoty u klasického zpracování v rozmezí 24,02 až 26,41% obj., maxima v 10 cm. U minimalizační technologie se výsledky pohybovaly od 23,23 do 25,27% obj., maximum v 10 cm. V roce 2010 byly hodnoty v rozmezí 29,69 až 32,09% obj., maxima ve 20 cm u klasické technologie. U minimalizační technologie se hodnoty pohybovaly od 26,07 do 29,18% obj., maxima ve 30 cm. V roce 2011 se hodnoty pohybovaly při klasickém zpracování od 21,04 do 23,31% obj., maxima ve 20 cm. U minimalizační úpravy půdy byly hodnoty v rozmezí 20,57 až 22,99% obj., maxima ve 30 cm. Průběh retenční vodní kapacity je patrný z obrázku 2.4.11.



Obr. 2.4.11 Průběh retenční vodní kapacity v humusovém horizontu, 2008 – 2011

Průběh retenční vodní kapacity ve svrchní vrstvě je znázorněn v obrázku 2.4.12.



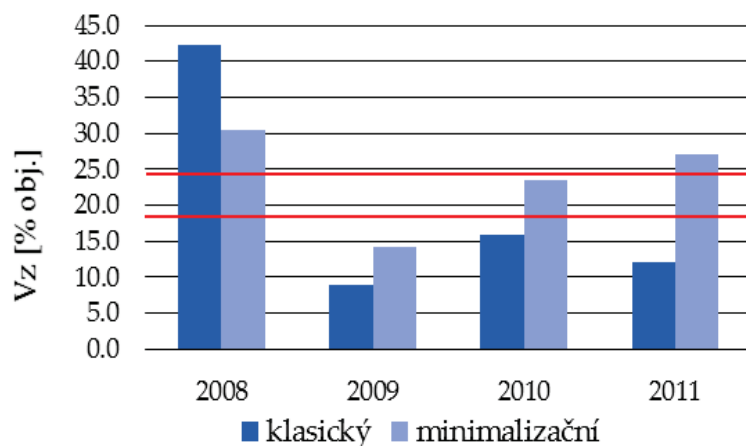
Obr. 2.4.12 Průběh retenční vodní kapacity ve svrchní vrstvě, 2008 – 2011

Z výše uvedených grafů je zřejmé, že se průběh retenční vodní kapacity výrazně neliší v závislosti na způsobu zpracování půdy.

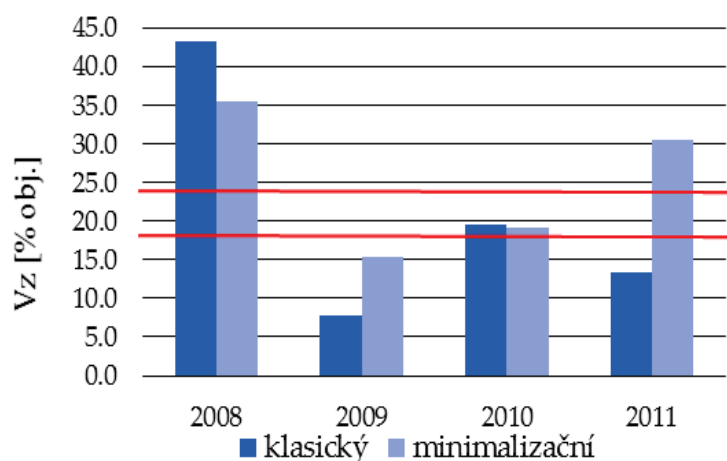
#### 2.4.5 Provzdušenost

*Provzdušenost* ( $V_z$ ) znázorňuje objem vzduchu v půdě. U klasicky zpracovávané půdy se hodnoty v roce 2008 pohybovaly od 32,74 do 43,33% obj., maxima byla zjištěna v 10 cm a minima ve 30 cm. U minimalizační technologie se hodnoty pohybovaly od 23,01 do 35,63% obj., maxima v 10 cm a minima ve 30 cm. V roce 2009 byly hodnoty v rozmezí 7,82 až 9,84% obj., maxima ve 20 cm a minima v 10 cm u klasické technologie. Při minimalizační úpravě byly hodnoty v rozmezí 13,18 až 15,30% obj., maxima v 10 cm a minima ve 20 cm. V roce 2010 u klasického zpracování se pohybovaly hodnoty od 12,34 do 19,51% obj., maxima v 10 cm a minima ve 20 cm. U minimalizační technologie se hodnoty pohybovaly od 15,18 do 27,89% obj., maxima ve 20 cm a minima ve 30 cm. V roce 2011 byly hodnoty v rozmezí 10,75 až 20,17% obj., maxima ve 30 cm a minima ve 20 cm u klasické technologie. U minimalizační technologie se hodnoty pohybovaly od 25,49 do 30,47% obj., maxima ve 30 cm a minima ve 20 cm.

Provzdušenost u polí by se měla pohybovat v rozmezí od 18 do 24% obj., v následujících obrázcích 2.4.13 (orniční horizont – 20 cm) a 2.4.14 (svrchní vrstva – 10 cm) jsou vyznačeny tyto limitní hodnoty. Během sledovaného období se provzdušenost pohybovala v orničním horizontu mimo dané rozmezí, vyhověl pouze vzorek s minimalizačně obdělávanou půdou v roce 2010. Ve svrchní vrstvě vyhověl vzorek s klasicky i minimalisticky obdělávanou půdou v roce 2010. V příloze č. 4 jsou zvýrazněny hodnoty, které se pohybují mimo určenou mez.



Obr. 2.4.13 Průběh provzdušenosti v orničním horizontu, 2008 – 2011



Obr. 2.4.14 Průběh provzdušenosti ve svrchní vrstvě, 2008 – 2011

Hodnoty provzdušenosti se v průběhu experimentu velmi liší. Výrazný byl rok 2008, kdy u obou technologií byly překročeny limitní hodnoty. Oproti tomu ostatní roky vykazují spíše podlimitní hodnoty provzdušenosti. Optimálních hodnot provzdušenosti bylo dosaženo jen v roce 2010.

Z vyobrazených grafů i zobrazených výsledků (viz příloha č. 4) je patrné, že minimalizační technologie vykazuje převážně příznivější výsledky u základních fyzikálních vlastností než klasické zpracování půdy orbou.

### 3 Závěr

Na zjištěných výsledcích je patrný dopad zvýšeného zhutnění, které je následkem odběru vzorků v kritickém období měsíci červenci. Z hlediska strukturního stavu humusového horizontu lze usuzovat, že dopad minimalizační technologie je pro půdu příznivější. Objemová hmotnost redukována při klasickém zpracování půdy měla vzestupnou tendenci, při minimalizačním zpracování byla bez výrazných změn. Se snižující se objemovou hmotností by se měla zvyšovat pórovitost, objem vzduchu a objem kapilárních pórů v orničním horizontu. Tohoto předpokladu bylo dosaženo u pórovitosti a objemu vzduchu v půdě. Pórovitost při klasickém zpracování půdy je v orničním horizontu neměnná vyjma roku 2008, kdy dosahuje nejvyšších hodnot, takřka 50% obj.. Minimalizační technologie vykazuje rovnoměrnější průběh pórovitosti. Hodnoty pórovitosti ve spodině jsou u obou technologií prakticky neměnné a vzájemně se takřka neliší. Rozdělení pórů při klasickém zpracování půdy je v orničním horizontu a ve spodině stejné, vyjma roku 2011. Během sledovaného období však docházelo k velkým změnám hodnot objemu jednotlivých pórů. U minimalizační technologie se rozdělení pórů liší více mezi orničním horizontem a spodinou, ale průběh hodnot objemu pórů je konstantní. Obsah vody v půdě byl během sledovaného období u obou technologií velmi podobný a odpovídal průběhu srážek. Co se týče dobrého provzdušnění půdy, vykazuje minimalizační technologie v převážné většině lepší výsledky než klasická. Průběh provzdušenosti se během let 2008 – 2011 velmi liší, v závislosti na průběhu pórovitosti a momentální vlhkosti půdy.

Z několika studií provedených na zjištění výnosu pěstovaných plodin při použití různých technologických úprav půdy, nelze s jistotou říct, která technologie je z tohoto hlediska výhodnější. Výsledky byly v některých zemích mírně lepší při použití minimalizační technologie, ale ve větší míře byly výsledky shodné s klasickým zpracováním. Vývoj a růst rostlin je totiž velmi ovlivněn typem půdy, klimatickými podmínkami a použitými přípravky.

Z hlediska ekonomiky, která je v dnešní době důležitým faktorem, je minimalizační technologie jednoznačně výhodnější. Při této technologii totiž dochází k úspoře času a hlavně je u ní prokázána menší spotřeba pohonných hmot.

V závěru lze konstatovat, že dopad minimalizační technologie na vybrané fyzikální vlastnosti půdy je mírnější, jak je patrné i z dosažených výsledků.

## 4 Použitá literatura

- [1] *Agrowest / Radličkové podmiítače G (GX) 300 N* [online]. 2010 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.agrowest.com/produkty/radlickove-podmitace/g-gx-300-n>
- [2] *Dlátový pluh, TERRALAND TN - BEDNAR Farm machinery* [online]. 2010 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.bednar-machinery.com/zpracovani-pudy/dlatovy-pluh/terraland-tn-m.html>
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] KAMENÍČKOVÁ, Ivana. *Návody do cvičení (VHK) Hydropedologie, Studijní opory pro studijní programy s prezenční formou studia*. VUT FAST v Brně, 2013.
- [6] KAMENÍČKOVÁ, Ivana. *Vodní hospodářství krajiny I-M02 Pedologie, Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia*, VUT FAST v Brně, 2005.
- [7] 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)
- [8] KUTÍLEK, Miroslav. *Vodohospodářská pedologie*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, n.p., 1978. ISBN 04-721-78.
- [9] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz/zakladni?x=17.0068359>
- [10] *Odběr neporušených vzorků do Kopeckého válečku / Ekotechnika* [online]. 2015 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.ekotechnika.cz/Odber-neporusenych-vzorku-do-kopeckeho-valecku?page=1>



- [11] *Peragro Přísečná s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.peragro.cz/kverneland/detail/polonesotoc>
- [12] *Polonesené klasické: kverneland group czech* [online]. 2008 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.kvernelandgroup.cz/cz/kverneland/produkty/priprava-pudy/pluhy/polonesene-klasicke/>
- [13] *SIMBA X-PRESS / AGRO ZES* [online]. 2011 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.agrozes.cz/x-press>
- [14] *Stabilita půdních agregátů / Ekotechnika* [online]. 2015 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.ekotechnika.cz/stabilita-pudnich-agregatu>
- [15] *Stanovení zrnitostního složení / Ekotechnika* [online]. 2015 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.ekotechnika.cz/stanoveni-zrnitostniho-slozeni>
- [16] ŠÁLEK, Jan. *Půdní hospodářství*. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1986. ISBN 55-610-86.
- [17] ŠÁLEK, Jan. *Vodní hospodářství krajiny I*. Vyd. 1. Brno: VUTIUM, 1997, 152 s. ISBN 80-214-0949-5.
- [18] WEIGLOVÁ, Kamila. *Mechanika zemin*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 186 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-7204-507-5.

## Seznam obrázků

Obr. 1.1.1 Kopeckého plavící aparát (převzato Šálek, 1986).....	7
Obr. 1.1.2 Dekantační přístroj (převzato internet) .....	8
Obr. 1.1.3 Pipetovací přístroj (převzato z <a href="http://www.ekotechnika.cz">www.ekotechnika.cz</a> ).....	8
Obr. 1.1.4 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) .....	13
Obr. 1.1.5 Přístroj pro mokré prosívání (převzato z <a href="http://www.ekotechnika.cz">www.ekotechnika.cz</a> ) ....	15
Obr. 1.1.6 Rozbor neporušeného půdního vzorku (převzato Kameníčková, 2013).....	20
Obr. 2.1.1 Zájmová lokalita B. Málkovice (převzato <a href="http://www.mapy.cz">www.mapy.cz</a> ).....	26
Obr. 2.1.2 Příklad jednostranného pluhu (převzato <a href="http://www.kvernelandgroup.cz">www.kvernelandgroup.cz</a> ) .....	28
Obr. 2.1.3 Příklad otočného pluhu (převzato <a href="http://www.peragro.cz">www.peragro.cz</a> ) .....	29
Obr. 2.1.4 Princip a význam podmítky (převzato Konvalinka, 2012) .....	29
Obr. 2.1.5 Radličkový podmítač (převzato <a href="http://www.agrowest.com">www.agrowest.com</a> ) .....	30
Obr. 2.1.6 Talířový podmítač (převzato <a href="http://www.agrozest.cz">www.agrozest.cz</a> ) .....	30
Obr. 2.1.7 Dlátový pluh (převzato <a href="http://www.bednar-machinery.com">www.bednar-machinery.com</a> ) .....	31
Obr. 2.2.1 Sada půdních válečků (převzato <a href="http://www.ekotechnika.cz">www.ekotechnika.cz</a> ) .....	33
Obr. 2.3.1 Křivka zrnitosti, klasická technologie .....	35
Obr. 2.3.2 Křivka zrnitosti, minimalizační technologie .....	36
Obr. 2.4.1 Průběh objemové hmotnosti redukované v humusovém horizontu, 2008 – 2011 .....	39

<b>Obr. 2.4.2 Průběh objemové hmotnosti redukované ve svrchní vrstvě, 2008 – 2011.....</b>	<b>39</b>
<b>Obr. 2.4.3 Průběh pórovitosti v orniční vrstvě půdy, 2008 – 2011.....</b>	<b>40</b>
<b>Obr. 2.4.4 Průběh pórovitosti ve spodině, 2008 – 2011.....</b>	<b>41</b>
<b>Obr. 2.4.5 Rozdělení pórů v humusovém horizontu u klasické technologie, 2008 – 20011.....</b>	<b>41</b>
<b>Obr. 2.4.6 Rozdělení pórů v humusovém horizontu u minimalizační technologie, 2008 – 20011 .....</b>	<b>41</b>
<b>Obr. 2.4.7 Rozdělení pórů ve svrchní vrstvě u klasické technologie, 2008 – 20011 .....</b>	<b>42</b>
<b>Obr. 2.4.8 Rozdělení pórů ve svrchní vrstvě u minimalizační technologie, 2008 – 20011.....</b>	<b>42</b>
<b>Obr. 2.4.9 Průběh momentální vlhkosti v humusovém horizontu, 2008 – 2011 .....</b>	<b>43</b>
<b>Obr. 2.4.10 Průběh momentální vlhkosti ve svrchní vrstvě, 2008 – 2011.....</b>	<b>43</b>
<b>Obr. 2.4.11 Průběh retenční vodní kapacity v humusovém horizontu, 2008 – 2011 .....</b>	<b>44</b>
<b>Obr. 2.4.12 Průběh retenční vodní kapacity ve svrchní vrstvě, 2008 – 2011....</b>	<b>44</b>
<b>Obr. 2.4.13 Průběh provzdušenosti v orničním horizontu, 2008 – 2011.....</b>	<b>46</b>
<b>Obr. 2.4.14 Průběh provzdušenosti ve svrchní vrstvě, 2008 – 2011.....</b>	<b>46</b>

## Seznam tabulek

Tab. 1.1.1 Zrnitostní klasifikace podle Nováka (převzato Kameníčková, 2013).....	12
Tab. 1.1.2 Zrnitostní frakce podle Kopeckého (převzato Kameníčková, 2013).....	12
Tab. 1.1.3 Zrnitostní frakce podle Ministerstva zemědělství USA (převzato Kameníčková, 2013).....	12
Tab. 1.1.4 Přibližné hodnocení strukturního stavu humusového horizontu podle objemové hmotnosti (převzato Kutílek, 1978).....	19
Tab. 1.1.5 Kritické hodnoty objemové hmotnosti podle Lhotského (převzato Kameníčková, 2013).....	19
Tab. 1.1.6 Formulář pro záznam stanovených hmotností (převzato Kameníčková, 2013).....	20
Tab. 1.1.7 Klasifikace půdy dle pórovitosti podle Bretfelda (převzato Kutílek, 1978).....	23
Tab. 1.1.8 Kritické hodnoty pórovitosti podle Lhotského (převzato Kameníčková, 2013).....	23
Tab. 2.1.1 Srážkové úhrny v lokalitě Bohaté Málkovice, 2008 - 2011 (převzato ZEMO spol. s r.o.).....	27
Tab. 2.1.2 Ekonomická náročnost technologií úpravy půdy (zdroj Konvalinka, 2012).....	31
Tab. 2.3.1 Výsledné hodnoty zdánlivé hustoty pevných částic .....	35
Tab. 2.3.2 Klasifikace půdy podle Nováka a Trojúhelníkového diagramu USDA.....	36
Tab. 2.3.3 Výsledné hodnoty základních fyzikálních vlastností u klasické a minimalizační technologie.....	37

## Seznam příloh

<b>Příloha č. 1 Stanovení zdánlivé hustoty pevných částic.....</b>	<b>56</b>
<b>Příloha č. 2.1 Zrnitostní rozbor – klasický způsob zpracování půdy, hloubka 10 cm.....</b>	<b>57</b>
<b>Příloha č. 2.2 Zrnitostní rozbor – klasický způsob zpracování půdy, hloubka 20 cm .....</b>	<b>58</b>
<b>Příloha č. 2.3 Zrnitostní rozbor – klasický způsob zpracování půdy, hloubka 30 cm .....</b>	<b>59</b>
<b>Příloha č. 2.4 Zrnitostní rozbor – minimalizační způsob zpracování půdy, hloubka 10 cm .....</b>	<b>60</b>
<b>Příloha č. 2.5 Zrnitostní rozbor – minimalizační způsob zpracování půdy, hloubka 20 cm .....</b>	<b>61</b>
<b>Příloha č. 2.6 Zrnitostní rozbor – minimalizační způsob zpracování půdy, hloubka 30 cm .....</b>	<b>62</b>
<b>Příloha č. 3.1 Formulář zápisu výsledků základního rozboru neporušeného půdního vzorku z lokality B. Málkovice, 2008 .....</b>	<b>63</b>
<b>Příloha č. 3.2 Formulář zápisu výsledků základního rozboru neporušeného půdního vzorku z lokality B. Málkovice, 2009 .....</b>	<b>64</b>
<b>Příloha č. 3.3 Formulář zápisu výsledků základního rozboru neporušeného půdního vzorku z lokality B. Málkovice, 2010 .....</b>	<b>65</b>
<b>Příloha č. 3.4 Formulář zápisu výsledků základního rozboru neporušeného půdního vzorku z lokality B. Málkovice, 2011 .....</b>	<b>66</b>
<b>Příloha č. 4.1 Průměrné hodnoty fyzikálních vlastností půdy pro rok 2008 s vyznačenými hodnotami překračujícími kritické hodnoty objemové hmotnosti a pórovitosti podle Lhotského a provzdušenost polí.....</b>	<b>67</b>

<b>Příloha č. 4.2 Průměrné hodnoty fyzikálních vlastností půdy pro rok 2009 s vyznačenými hodnotami překračujícími kritické hodnoty objemové hmotnosti a pórovitosti podle Lhotského a provzdušenost polí.....</b>	<b>68</b>
<b>Příloha č. 4.3 Průměrné hodnoty fyzikálních vlastností půdy pro rok 2010 s vyznačenými hodnotami překračujícími kritické hodnoty objemové hmotnosti a pórovitosti podle Lhotského a provzdušenost polí.....</b>	<b>69</b>
<b>Příloha č. 4.4 Průměrné hodnoty fyzikálních vlastností půdy pro rok 2011 s vyznačenými hodnotami překračujícími kritické hodnoty objemové hmotnosti a pórovitosti podle Lhotského a provzdušenost polí.....</b>	<b>70</b>