

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: M4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Posouzení fyzikálních vlastností půdy u konvenční a  
bezorebné technologie jejího zpracování

Vedoucí diplomové práce:  
**doc. Ing. Jan Horáček, CSc.**

Autor:  
**Anna Hejdová**

České Budějovice, 2011

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
Zemědělská fakulta  
Katedra agroekologie  
Akademický rok: 2008/2009

**ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Anna HEJDOVÁ  
Studijní program: M4101 Zemědělské inženýrství  
Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí  
Název tématu: Posouzení fyzikálních vlastností půdy u konvenční a bezorebné technologie jejího zpracování

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je zjistit k jakým změnám fyzikálních vlastností dochází v účinném půdním profilu u bezorebných technologií v porovnání se zpracováním konvenčním.  
Po rešerši z naší i zahraniční literatury budou rozhodující fyzikální vlastnosti zjištěné z některého z polních pokusů vzájemně korelovány s dalšími vybranými ukazateli kvality půd.  
Ke zpracování použijte skriptu Technika zpracování bakalářských a diplomových prací (Kareš, J., Vaněček, D., Burešová, M., 2007) a Práce s VTI (Mílota, J., Nýdl, V., 1996).

Rozsah grafických prací: dle potřeby  
Rozsah pracovní zprávy: 60 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:


- Němeček, J. a kol.: Klasifikační taxonomický systém půd České republiky. SZN Praha, 2001.  
Ledvina, R. a kol.: Geologie a půdoznalství. Studijní texty. ZF JU v Č. Budějovicích, 2000, 203 s.  
Horáček, J. a kol.: Geologie a půdoznalství. Studijní texty - cvičení. ZF JU v Č. Budějovicích, 1994, 114 s.  
Hůla, J., Procházková, B. a kol.: Minimalizace zpracování půdy. Profi Press Praha, 2008, 248 s.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jan Horáček, CSc.  
Katedra agroekologie

Datum zadání diplomové práce: 16. února 2009

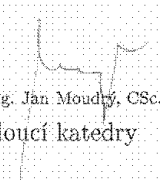
Termín odevzdání diplomové práce: 30. dubna 2011

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentská 13  
370 05 České Budějovice

  
prof. Ing. Miloš Šoch, CSc.

děkan

L.S.

  
prof. Ing. Jan Moudrý, CSc.

vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 16. února 2009

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

Dne 28.3. 2011

.....

Anna Hejdová

*Poděkování patří především doc. Ing. Janu Horáčkovi, CSc. za odborné vedení a všestrannou pomoc při zpracování této práce. Dále děkuji všem, kteří se na mé práci nějakým způsobem podíleli či zasloužili.*

## **Souhrn**

Vliv minimalizačního (SH) a konvenčního (SK) zpracování na vybrané fyzikální vlastnosti byl posouzen na základě provozního pokusu na pozemcích zemědělského podniku Stagra, s. r. o., Studená, a to stanovením zejména objemové hmotnosti suché půdy (Or), pórovitosti a penetrometrického odporu v půdních vzorcích odebraných na podzim 2009 těsně před sklizní. Hodnoty Or poukazují na vyšší utužení u mělce zpracované varianty (SH) ve vrstvě do 0,2 m. Ovšem v hloubce větší než 0,25 m jsou již u orby (SK) hodnoty Or vyšší, tedy méně příznivé než u bezorebného zpracování. Lze usoudit, že bezorebná technologie nezhoršuje utužení v podorničí. Ani v jednom případě nebyly překročeny kritické hodnoty pro nadměrné utužení vzhledem k zrnitostní skladbě půdy. Tento trend byl potvrzen rovněž penetrometrickým měřením. Posouzení hodnot celkové pórovitosti (Pc) poukazuje na téměř shodné závěry jako při hodnocení Or. Nejpříznivější hodnoty jsou tedy ve svrchní vrstvě půdy, resp. ve vrstvě, která je zpracovávána, a to u obou srovnávaných technologií. Následně byly hledány mezi jednotlivými půdními vlastnostmi korelační vztahy a jejich případné ovlivnění systémy zpracování půd.

**Klíčová slova:** zpracování půdy; fyzikální vlastnosti půdy; změny v půdním profilu

## **Abstract**

Some chosen physical properties have been observed in the field experiment on the land of Stagra, s. r. o., Studená in 2009. There have been compared two technologies “minimum tillage“ (MT) and “conventional tillage“ (CT). There was evaluated especially bulk density (Or), porosity and soil compaction. Bulk density was statistical significantly higher under conservation tillage than under ploughing in soil profil at the depth to 0,2 m. But at the depth more than 0,25 m bulk density was higher (it means less favourable) under CT than under MT. It can be concluded, that the minimum tillage doesn't deteriorate the compaction in the subsoil. The average values were not higher than critical levels of damaged compaction for sandy-loam soil. The soil compaction measurement confirmed this trend. The values of total porosity (Pc) show nearly the same conclusions as Or. The most favourable values of Pc occur in topsoil, which is tilled.

**Key words:** soil tillage; soil physical properties; soil profiles changes

## OBSAH

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>2. PŘEHLED LITERATURY</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1 Půdoochranné zpracování půdy</b> .....	<b>11</b>
2.1.1 Půdoochranné zpracování půdy a jeho varianty dělení.....	11
2.1.2 Historie půdoochranného zpracování půdy.....	13
2.1.3 Hlavní přínosy a nevýhody půdoochranného zpracování půdy .....	14
<b>2.2 Konvenční zpracování půdy</b> .....	<b>19</b>
2.2.1 Výhody konvenčního zpracování půdy.....	20
2.2.2 Nevýhody konvenčního zpracování půdy .....	21
<b>2.3 Fyzikální a technologické vlastnosti půdy</b> .....	<b>22</b>
2.3.1 Textura půdy .....	22
2.3.2 Půdní hmotnosti .....	25
2.3.3 Pórovitost půdy .....	27
2.3.4 Půdní vzduch.....	29
2.3.5 Půdní voda.....	30
2.3.6 Konzistence půdy, konzistenční meze .....	33
2.3.7 Struktura půdy a vodostálost agregátů .....	34
2.3.8 Kompakce (zhutnění) zemědělských půd .....	39
2.3.9 Eroze .....	46
<b>2.4 Fyzikálně-chemické vlastnosti půdy</b> .....	<b>47</b>
2.4.1 Půdní reakce .....	47
2.4.2 Pufrovací schopnost půd .....	51
2.4.3 Půdní sorpce .....	51
<b>2.5 Půdní organická hmota</b> .....	<b>53</b>
2.5.1 Dělení půdní organické hmoty .....	53
2.5.2 Funkce půdní organické hmoty .....	54
2.5.3 Množství a kvalita půdní organické hmoty v půdě a její stanovení.....	55
2.5.4 Vliv zpracování půdy na obsah a kvalitu POH .....	56

<b>4. MATERIÁL A METODIKA .....</b>	<b>58</b>
<b>4.1 Charakteristika stanoviště .....</b>	<b>58</b>
<b>4.2 Použitá agrotechnika .....</b>	<b>58</b>
<b>4.3 Odběr a úprava půdních vzorků .....</b>	<b>59</b>
<b>4.4 Metodiky stanovení fyzikálních vlastností půdy .....</b>	<b>59</b>
4.4.1 Zrnitostní rozbor.....	60
4.4.2 Základní rozbor neporušeného půdního vzorku – hydrolimity.....	60
4.4.3 Půdní hmotnosti .....	60
4.4.4 Pórovitost půdy .....	61
4.4.5 Vzdušné charakteristiky půdy .....	61
4.4.6 Zhutnění půdy .....	61
4.4.7 Stabilita půdních agregátů.....	62
<b>4.5 Fyzikálně-chemické vlastnosti půdy .....</b>	<b>62</b>
4.5.1 Stanovení aktivní a výměnné půdní reakce potenciometricky.....	62
4.5.2 Stanovení kationtové sorpční kapacity půdy T konduktometricky podle Sandhofa.....	63
<b>4.6 Statistické zpracování výsledků .....</b>	<b>64</b>
<b>5. VÝSLEDKY A DISKUSE .....</b>	<b>64</b>
<b>5.1 Fyzikální vlastnosti půdy .....</b>	<b>65</b>
5.1.1 Zrnitost .....	65
5.1.2 Půdní hmotnosti .....	66
5.1.3 Pórovitost .....	68
5.1.4 Půdní voda a vzduch .....	70
5.1.5 Zhutnění půdy .....	73
5.1.6 Vodostálost agregátů.....	74
<b>5.2 Fyzikálně-chemické vlastnosti půdy .....</b>	<b>77</b>
5.2.1 Půdní reakce .....	77
5.2.2 Kationtová výměnná sorpční kapacita půdy .....	78



<b>6. ZÁVĚR.....</b>	<b>82</b>
<b>7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>84</b>
<b>8. PŘÍLOHY .....</b>	<b>91</b>

## 1. ÚVOD

Půda je neobnovitelným přírodním zdrojem a tvoří charakteristickou složku krajiny. Pro zemědělství je však půda především stanovištěm pěstovaných rostlin, prostředkem k výrobě potravin rostlinného původu, krmiv pro hospodářská zvířata, ale také surovin pro nepotravinářské využití. Při hospodaření na půdě by proto mělo být trvale v popředí zájmu uchování úrodnosti půdy a jejích ekologických funkcí.

Na úseku zpracování půdy a péče o ní v poslední době dochází k pozitivním změnám spojeným s rostoucím zájmem o důsledky hospodaření na půdě z dlouhodobějšího hlediska a stále častěji jsou zmiňována také hlediska environmentální. Hlavní důvody rozvoje a rozšiřování minimalizačních technologií zpracování půdy najdeme v oblasti ekologické, ekonomické a technické. V řadě zemědělských podniků je konvenční zpracování půdy, založené na orbě a následně předset'ové přípravě půdy, nahrazováno novými postupy se sníženou hloubkou a intenzitou zpracování půdy. Nejnověji se v ČR uvádí odhady (dle prodané techniky) na cca 30 % takto obhospodařovaných ploch. Pro zemědělce ovšem není hlavní prioritou ochrana životního prostředí, ale především ekonomické dopady. Minimalizační postupy přináší úspory práce a energie. Pokles počtu pracovních operací a vyšší výkonnost strojů využívaných v těchto technologiích snižují nároky na organizaci práce i na počty pracovníků v podnicích.

Využívání minimalizačních technologií může být přínosem k efektivnímu hospodaření na půdě, ovšem současně je třeba zvážit také rizika, která jsou spojená s využíváním těchto technologií v různorodých podmínkách hospodaření zemědělských podniků.

Cílem této práce je porovnání konvenční a bezorebné technologie zpracování půdy, zejména z hlediska fyzikálních a fyzikálně-chemických vlastností, a to na základě provozního pokusu v horších půdně-klimatických podmínkách na pozemcích zemědělského podniku STAGRA, s. r. o., Studená, kde se bezorebné zpracování půdy používá kontinuálně již 16 let.

## 2. PŘEHLED LITERATURY

### 2.1 Půdoochranné zpracování půdy

#### 2.1.1 Půdoochranné zpracování půdy a jeho varianty dělení

Zpracování půdy je soubor operací, které mechanickým způsobem mění vlastnosti ornice nebo rizosféry. Patří k základním prvkům v technologických soustavách pěstování zemědělských plodin, zejména na orné půdě. Má mnohostranný význam ve vztahu k výrobnímu území, k půdě a její úrodnosti i pěstovaným rostlinám. S vývojem zemědělství se mění názory na význam zpracování půdy. Odrážejí zpravidla současný stav rozvoje pěstitelských technologií, ve kterých je významným prvkem vývoj techniky v posledním období i výsledky vědeckého poznání (LEDVINA ET AL., 2000).

Půdoochranné zpracování půdy je sdružená technologie, která kombinuje ochranné a výrobní efekty. Její ochranný potenciál souvisí s existencí zbytků rostlin jako mulče na povrchu půdy. Mulč poskytuje ochranu vrchní vrstvě půdy, což je velmi účinné pro redukci půdní eroze a také pro zlepšení půdního prostředí. Produktivní potenciál souvisí se stabilizací výnosů pěstovaných plodin (HŮLA, PROCHÁZKOVÁ ET AL., 2008).

Základním principem půdoochranného zpracování půdy je, že se neprovádí orba pluhem, ale půda je zpracována do požadované hloubky jiným nářadím s aktivními či pasivními pracovními orgány, nebo se seje přímo do nezpracované půdy. Část posklizňových zbytků, nebo všechny, jsou ponechány na povrchu půdy, či jsou zapraveny těsně pod povrch půdy (KOLÍNSKÝ, 1994).

Podle SOMMERA A ZACHA (1990) je půdoochranné zpracování půdy založeno na dvou myšlenkách:

- redukovat intenzitu základního zpracování půdy (šetrně kypřit) bez obracení zpracovávané vrstvy půdy; je snaha dosáhnout stabilní půdní struktury,
- ponechávat rostlinné zbytky předplodin a meziplodin blízko povrchu půdy nebo přímo na povrchu půdy. Při tomto cíleném využívání většího množství rostlinných zbytků hovoříme o výsevu do mulče.

V USA se v praxi aplikují a rozšiřují tyto základní půdoochranné technologie zpracování půdy (MIŠTINA, KOVÁČ ET AL., 1993):

a) **Technologie setí do nezpracované půdy** (No-tillage)

Půda se před setím neobdělává. Seje se do úzké rýhy nezpracované půdy speciálním secím strojem. Po setí zůstává 80-100 % posklizňových zbytků na povrchu půdy.

b) **Technologie setí do hrůbků** (Ridge-tillage)

Jedná se v podstatě o technologii bez základního zpracování půdy. Plodiny (širokořádkové se sejí speciálním secím stroje do hrůbků, které se zpravidla vytvářejí zároveň při setí. Při setí zůstává 40–70 % povrchu půdy pokryto posklizňovými zbytky.

c) **Pásové zpracování půdy** (Strip-tillage)

Půda se před setím nezpracovává. Seje se do nezpracované půdy. V průběhu vegetačního období se půda podle potřeby mechanicky zpracovává v úzkých pásech.

d) **Mulčovací technologie zpracování půdy** (Mulch-tillage)

Půda se před setím zpracuje tzv. podřezáním strniště, při kterém se zemina nadzdvihne, avšak podřezané strniště nebo posklizňové zbytky jiných rostlin zůstávají na povrchu půdy. Používají se speciální stroje zejména se šířovými radličkami. Po setí zůstává 30-60 % povrchu půdy pokryto rostlinnými zbytky.

e) **Redukované zpracování půdy** (Reduced-tillage)

Základem této technologie je redukce počtu mechanických zásahů a intenzity zpracování půdy. Využívá spojování operací.

Ochranné technologie zpracování půdy jsou významnou alternativou konvenčních technologií založených na orbě a následné předset'ové přípravě půdy. Soudobá široká nabídka strojů na zpracování půdy a setí umožňuje uplatnit technologie ochranného zpracování půdy v mnoha modifikacích s ohledem na plodiny, půdní a výrobní podmínky zemědělských podniků. Je nutné zdůraznit, že úspora nákladů při vlastním zpracování půdy bez orby musí být vyvážena celkově vysokou úrovní agrotechniky, připraveností na kvalifikované využívání herbicidů i dalších pesticidů i vyšší kvalitou výživy rostlin. Protože o ekonomické stránce hospodaření na půdě rozhodují náklady na jednotku produkce jednotlivých plodin, je

nutné respektovat i možná rizika snížení výnosu, spojená s uplatňováním zjednodušených technologií zpracování půdy bez orby (HŮLA, PROCHÁZKOVÁ ET AL., 2008).

### 2.1.2 Historie půdoochranného zpracování půdy

Systém minimálního zpracování půdy se začíná objevovat již na začátku 20.století, kdy se pomalu začíná realizovat program ochrany půdy před erozí omezeným používáním pluhu s odhrnovačkou (SPRAGUE A TRIPLETT, 1986).

Již v roce 1909 MOORHOUSE v prvním ročníku *Agronomy Journal* píše: V humidních oblastech je zpracovaná půda znetvořená proudy vody. V suchých planinách států od Texasu ke Kanadě zase silné větry zvedají gigantické množství prachu z orných půd a prach se usazuje až na lodích stovky mil vzdálených v Atlantickém oceánu.

Situace s erozí se v USA zhoršovala, a tak v roce 1933 byla vytvořena státní organizace Půdně-erozní služba, která se za dva roky přetransformovala na Půdně-konzervační službu. Cílem této organizace bylo podpořit nové způsoby zpracování půdy, které sníží půdní erozi a udrží půdní úrodnost (SPRAGUE A TRIPLETT, 1986).

O vlivu a rozsahu eroze v USA přinášejí informace i další autoři. Např. HOLEMAN (1980) uvádí, že v roce 1980 se ztratilo z území USA vodní erozí asi 6 miliard tun půdy. Okolo šedesáti procent této půdy se ztratilo plošnou a ronovou erozí, která odstranila z povrchu slabou vrstvu půdy, z níž 20-30 % půdy bylo odneseno do spodní části toků řek. Odhady vývoje ukazují, že jestliže eroze probíhá kontinuálně od roku 1977 a plocha erozí ovlivněných půd je 43 %, pak se uvažuje, že se výnosy sóji a kukuřice sníží v roce 2030 o 15-30 % (USDA, 1980).

Také KINSELLA (1998) uvádí, že dlouhodobě používaná orba v USA měla za následek snížení mocnosti ornice vodní a větrnou erozí o 50 %, snížení obsahu půdní organické hmoty a destrukci půdní struktury. Půdoochranné (tzv. konzervační) technologie jsou nejlepším praktickým řešením obou problémů – půdní eroze a kvality půdy. Výsledky farem, kde se tyto technologie používají několik let, ukazují pravidelný růst organické hmoty, zvýšenou kationtovou výměnnou kapacitu, větší dostupnost živin tak dobře, jako zlepšení půdní struktury a prohloubení půdy. Zároveň se vytváří síť makropórů, které vznikají činností žížal nebo zetlením kořenů. Tyto biokanáanky zlepšují infiltraci vody a tím snižují vodní erozi.

Největší význam pro rozšíření půdoochranných technologií měly totální herbicidy, které nahrazují primární efekt orby v eliminaci plevelů a zanechávají organickou hmotu na půdním povrchu. Kvalita půdní struktury zůstává anebo se zlepšuje, odtok vody na strmých svazích se omezuje tak, jak je povrch půdy chráněn před vlivy větru a deště mulčem (SPRAGUE ET AL., 1962).

### 2.1.3 Hlavní přínosy a nevýhody půdoochranného zpracování půdy

#### ***Hlavní přínosy půdoochranného zpracování půdy***

Půdoochranné technologie můžeme také vhodně označovat jako úsporné zpracování půdy nebo zjednodušené zpracování půdy (HŮLA, 2000). Již podle těchto názvů můžeme usoudit, že zpracování půdy založené na mělkém kypření je energeticky méně náročné, což se projeví v úspoře nákladů na zakládání porostů. Zvláště na obtížněji zpracovatelných půdách se sklonem k tvorbě hrud při orbě znamená zjednodušené zpracování snazší přípravu půdy k ozimům, neboť při mělkém kypření se velké hroudy nevytvářejí (HŮLA ET AL., 2004).

Technologie mělkého zpracování půdy zajišťuje rychlejší a rovnoměrnější vzcházení a rostliny vykazují vyšší dynamiku růstu. Nedochozí k neproduktivní ztrátě vody výparem jako při hlubokém kypření nebo orbě. Naopak, vláha je dokonale zachovaným systémem kapilárních pórů přiváděna přímo k osivu (HOLÝ, 1997).

#### **Omezení eroze půdy**

Rostlinné zbytky na povrchu účinně chrání půdu před erozí tím, že poskytují ochranu vrchní vrstvě půdy proti přívalovým dešťům a také proti odnosu větrem. Výsledkem je redukce půdní eroze. Eroze je snižována se zvyšujícím se pokrytím půdy mulčem. Při komplexním zakrytí půdy rostlinnými zbytky je možné odnos zeminy téměř eliminovat (HŮLA, PROCHÁZKOVÁ ET AL., 2008).

RASMUSSEN A PARTON (1994) shrnují poznatky více autorů v konstatování, že pokrytí 20-30 % povrchu půdy rostlinnými zbytky v době setí snižuje vodní erozi o 50-90 % ve srovnání s holým povrchem půdy. Umístění a množství rostlinných zbytků během vegetace a speciálně po sklizni plodiny ovlivňuje vodní a větrnou erozi, půdní teplotu a vlhkost půdy. Hmotnost rostlinných zbytků na jednotku plochy je tradičně používané hodnotící kritérium. Poslední studie ale ukazují, že vhodnějším

kontrolním ukazatelem je procentuální vyjádření povrchu, který je pokryt rostlinnými zbytky. Toto kritérium lépe koreluje s vlivy, které kontrolují erozi a ochraňují půdu před evaporací (SPRAGUE A TRIPLETT, 1986).

U jednoletých rostlin se protierozní účinek vegetace v průběhu roku mění, přičemž nejméně je půda chráněna v době setí. Pokrytí povrchu půdy rostlinnými zbytky je proto významným přínosem k protierozní ochraně. Rostlinné zbytky tlumí energii dešťových kapek při intenzivních srážkách a zpomalují povrchový odtok vody. Zvětšení drsnosti půdního povrchu se projevuje příznivě i z hlediska ochrany půdy před větrnou erozí. U cukrovky a dalších plodin vysévaných do širokých řádků znamená výsev do mulče menší nebezpečí tvorby půdního škraloupu po vydatnějších srážkách na začátku vegetace (HŮLA, PROCHÁZKOVÁ ET AL., 2008).

Nejúčinnějším opatřením k omezení eroze půdy je přímé setí bez zpracování půdy, ovšem pouze tehdy, je-li povrch půdy dostatečně pokryt rostlinnými zbytky. Při malém množství rostlinných zbytků je z hlediska omezení eroze výhodnější kypření, protože zvyšuje propustnost půdy pro vodu a zvyšuje schopnost půdy ji pojmout (BLEVINS ET AL., 1977).

U půd ohrožených větrnou erozí, což jsou často lehké půdy, je třeba omezit nakypřování jejich povrchu. Tyto půdy by neměly být zpracovávány za sucha, aby nedocházelo k jejich rozprašování (HŮLA ET AL., 1997).

#### Zlepšení půdní struktury

LEDVINA ET AL. (2000) konstatovali, že zemědělské stroje a nářadí ve větší míře v orniční vrstvě půdní strukturu ničí. Mechanické ničení půdní struktury spočívá v tom, že se narušují půdní agregáty a vytvářejí se nestrukturní mikroagregáty menší než 0,25 mm. Tvorba nestrukturních agregátů závisí mj. na vlhkosti půdy a druhu použitého nářadí (pracovních orgánech).

Podle KOVÁČE A KUBINCE (1998) je omezení intenzity zpracování půdy a vyloučení obracení skývy při orbě přisuzováno zlepšení strukturního stavu půdy, ovšem za předpokladu, že půda nebude vystavována nadměrným tlakům pojezdových ústrojí zejména při vyšší půdní vlhkosti. Podpora tvorby a stability agronomicky cenné půdní struktury souvisí s ponecháním půdy nebo části půdního profilu v původním uložení, s využíváním fytomelioračního účinku kořenového systému plodin a s podporou rozvoje půdních organismů.

Uplatnění technologií bez orby, založených na mělkém kypření, přispívá k vyšší odolnosti půdy vůči stlačování při přejezdech traktorů, sklízeců a dopravních prostředků po pozemcích. Navíc jsou postupy zjednodušeného zpracování půdy spojeny s menším počtem přejezdů souprav při zakládání porostů plodin, s čímž souvisí ochrana půdy před nežádoucím zhutňováním (HŮLA, 2000).

### Úspora nákladů

PRCHAL (1992) uvádí, že příčiny jakékoliv minimalizace v procesu zpracování a přípravy půdy lze v podstatě vždy hledat v ekonomickém tlaku na zemědělské hospodaření. Snaha snížení nákladů na nejnižší možnou mez proto přinesla již krátce po 2. světové válce myšlenku i nyní pro mnohé kacířskou – vynechání orby a nulové nebo jen minimální zpracování půdního povrchu. Snaha o nízké náklady je ovšem věc jedna a výsledný efekt hospodaření věc druhá. Proto došlo postupem času k zachování jen těch bezorebných technologií, které zjednodušeně řečeno umožnily snížit celkové náklady na vyrobení stejného množství určitého zemědělského výrobku v porovnání s klasickým orebným systémem.

Podle ŠABATKY ET AL. (2000) je jednou z příčin současné ekonomické situace v českém zemědělství mimo jiné výrazné snížení cen zemědělských produktů na světových trzích. Tato situace nutí zemědělce hledat rezervy a taková řešení, která by umožnila snížení nákladů. Cílem možných úspor se stále více stává vzhledem ke své vysoké energetické náročnosti zpracování půdy, především orba. Zásadním přínosem vynechání orby však není pouze úspora nákladů, jak se často uvádí, ale především zvýšení podílu organické hmoty v půdě a s tím související lepší hospodaření s vodou a živinami. Podstatné je tedy, že se vytvářejí předpoklady pro pozitivní ovlivnění výnosu. Ve svém důsledku se vyšší výnos spolu se snížením celkových nákladů projeví na snížení nákladů na jednotku produkce.

MIŠTINA (2000) ve svých výsledcích z pěstování kukuřice s využitím bezorebné technologie v podmínkách Slovenska uvádí, že při bezorebné technologii byla vysokopřekazně zjištěna úspora vlastních nákladů, vyšší míra rentability, doba návratnosti, kapitálová výnosnost a rentabilita investic, což poukazuje na výhodnost a opodstatněnost investování do této technologie.



### ***Hlavní nevýhody půdoochranného zpracování půdy***

Ochranné zpracování půdy založené na vyloučení orby může představovat pro pěstitele rizika související zejména s vyššími nároky na kvalifikované využívání herbicidů a dalších agrochemikálií pro ochranu rostlin. Rovněž při hnojení v systémech bez orby, především však při přímém setí do nezpracované půdy je nutné počítat s vyšší úrovní znalostí pěstitele než při využívání konvenčních technologií s orbou. Souhrnně platí, že pro úspěšné využívání zjednodušeného zpracování půdy je nutným předpokladem vyšší úroveň agrotechniky v zemědělském podniku než při využívání technologií konvenčních. Úspora nákladů při vlastním zpracování půdy by měla být zčásti kompenzována zvýšením vkladů do ochrany rostlin a hnojení. Protože v ekonomice pěstování plodin rozhodují náklady na jednotku produkce, nelze akceptovat významnější snížení výnosu plodin při uplatnění zpracování půdy a zakládání porostů bez orby (HŮLA, 2000).

Především při přímém setí do nezpracované půdy se zvyšuje obsah živin v povrchové vrstvě půdy. Na základě dlouhodobého porovnávání konvenčního zpracování půdy a systémů bez zpracování půdy se ukazuje souvislost uvolňování živin pro rostliny se způsobem zpracování půdy. Systémy zpracování půdy mají dále výraznou souvislost s obsahem vody v půdě a s teplotou půdy. Po přechodu na systém technologií bez orby se zpracovává mělká vrstva půdy s vysokým obsahem rostlinných zbytků, což může mít nepříznivý dopad na výživu rostlin (pomalejší mineralizace organické hmoty, změna přístupnosti některých živin). Další rizika mohou vyplývat z pozvolnějšího prohřívání půdy na jaře, významná rizika mohou nastat při zařazování obilnin po obilninách (HŮLA, PROCHÁZKOVÁ ET AL., 2008).

Některá rizika spojená s dlouhodobým využíváním technologií přímého setí a setí do minimálně zpracované půdy se projevují v oblastech, kde se široké užití těchto technologií uplatňuje již několik desetiletí. ŠKODA (2002) uvádí renesanci zájmu o orbu v USA, zejména ve státech Ohio, Illinois, Iowa, Indiana, Minesota i dalších. Jedním z důvodů je zhoršené klíčení a vzcházení obilnin, kukuřice a sóji v důsledku zvýšené koncentrace solí v povrchové vrstvě ornice v systémech bez orby. Dalším problémem jsou důsledky hromadění rostlinných zbytků na povrchu půdy a v povrchové vrstvě ornice, což může vést k produkci mykotoxinů, fytoncidů a dalších sekundárních metabolitů, které omezují klíčení semen plodin.

Známou skutečností je riziko přenosu chorob pat stébel, zejména při vysokém zastoupení obilnin v osevních postupech, a sněti i dalších chorob. V těchto případech může být návrat k orbě efektivním řešením problémů.

Diskutovanou otázkou je souvislost rostoucího zaplevelení porostů plodin po přechodu na systémy zpracování půdy bez orby. MIKULKA A ŠKODA (2002) upozorňují na šíření vytrvalých plevelných druhů (pýr plazivý, pcháč oset, pelyněk černobýl, čistec bahenní). Na ornou půdu se však šíří i plevele, které se na ní běžně nevyskytují (smetánka lékařská). Z jednoletých plevelů činí problémy heřmánkovec přímořský, chundelka metlice, svízel přítula, rdesno ptačí, ptačinec žabinec, hluchavka objímavá a hluchavka nachová. Intenzivní používání herbicidů v systémech bez orby opět není bez problémů (příkladem je opožděná aplikace herbicidů z důvodu nevhodného počasí). I když v systémech bez orby mohou být plevelná společenstva na orné půdě druhově chudší, početním výskytem na jednotce plochy mohou výrazně převyšovat pozemky, na kterých se využívají technologie s orbou.

MIKULKA (2000) také uvádí, že pravidelná hluboká orba umožňuje neustálé zaklápění semen plevelů do hlubších vrstev ornice, kde semena postupně odumírají. Každoroční orba umožňuje pravidelné prokypřování a provzdušnění ornice, podporuje mikrobiální aktivitu, která se významně podílí a podporuje proces tzv. samočištění půdy. Vytrvalé plevele jsou pravidelnou orbou významně poškozovány, naopak jednoleté plevele nejsou orbou nijak přímo eliminovány, pouze pravidelné prokypřování a provzdušňování ornice podpoří proces odumírání semen v půdě. Omezení zpracování půdy má za následek vždy menší provzdušňování ornice, což vede k poklesu procesu samočištění půdy a tím k výraznému vzestupu zaplevelenosti. Semena po sklizni kulturní rostliny nejsou zapravována do hlubších vrstev ornice. Uložení semen plevelů v povrchové vrstvě však umožňuje jejich masové vzcházení ve vhodných podmínkách. Při minimálním zpracování půdy se vytvoří vhodné podmínky pro vegetativní reprodukci vytrvalých plevelů.

Při využívání mulče ze slámy obilnin mohou narůstat škody způsobené hraboši, což se týká roků s přemnožením tohoto škůdce. Zejména u ozimů může docházet ke zničení porostu na významné části pozemků, což souvisí s nástupem plevelů na uvolněnou plochu (HŮLA, 2000).

## 2.2 Konvenční zpracování půdy

Orba zajišťuje „čistý stůl“ (HŮLA ET AL., 1997), to znamená zapravení rostlinných zbytků a hmoty zeleného hnojení, zaklopení vzrostlých plevelů a výdrolu obilovin či řepky. Dochází také k přesunu semen plevelů do hloubek, odkud již nemohou klíčit. Cílem orby jako takové je především snaha o udržení stabilních výnosů na určité úrovni a také zajištění bezproblémového setí, což se ne vždy daří. Příkladem mohou být těžké, obtížně zpracovatelné půdy. S orbou za nepříznivých podmínek se kromě snížení kvality této operace zvyšují některé náklady. Jde o náklady na palivo, opotřebitelné díly a jiné.

Podstatným rysem konvenčního zpracování půdy je každoroční kypření a obracení ornice na plnou hloubku orby, přičemž se do půdy zapravují posklizňové zbytky plodin, meziplodin a plevele. Kombinací strojů je povrch půdy zkyprěn a rozdroben, následně je potom uloženo osivo. Orbě většinou předchází zapravení posklizňových zbytků (KÖLLER, LINKE, 2006).

U tohoto způsobu zpracování půdy se volí sled operací podle plodiny, ke které se pozemek připravuje, podle stavu půdy zanechaného předplodinou a podle dalších ukazatelů, především momentální půdní vlhkosti a stupně zhutnění půdy. Operace tradičního způsobu zpracování půdy shrnujeme do tří okruhů:

- základní zpracování půdy,
- příprava půdy před setím a sázením,
- zpracování půdy během vegetace plodin (LHOTSKÝ ET AL., 1994).

V konvenčních postupech je ornice zpracovávána na požadovanou hloubku radličnými pluhy. Jedná se o tradiční postupy založené na využívání časového odstupu mezi operacemi základního a předset'ového zpracování půdy (potlačení plevelů, dostatečné přirozené slehávání půdy v době mezi orbou a setím). Půda se pluhem drobí, mísí, kypří a obrací. Předset'ová příprava půdy a setí se uskutečňuje buď v oddělených operacích, nebo se operace předset'ové přípravy půdy spojují. Při oddělených operacích se využívají především kombinátory. Pro spojené operace předset'ové přípravy půdy převládá využívání strojů s poháněnými pracovními nástroji ve spojení se secími stroji s pneumatickou nebo gravitační dopravou osiva do půdy (HŮLA, PROCHÁZKOVÁ, ET AL., 2002). Konvenční (klasický) způsob

předseťové přípravy je v naší zemědělské praxi dosud nejrozšířenější, protože nevyžaduje speciální nářadí a stroje (ŠKODA, 1997).

### 2.2.1 Výhody konvenčního zpracování půdy

Konvenční zpracování půdy s orbou jako stěžejní operací je dlouhodobě ověřeno a jeho využívání je mimo jiné motivováno snahou o výnosovou jistotu i při méně příznivém počasí (HŮLA ET AL., 1997). Drobením ornice orbou se slitý, ulehlý, celistvý sloh půdy mění ve strukturní, který dalším vlivem přírodních činitelů přechází v příznivý drobtovitý stav. Dosáhne se tak půdní zralosti s optimálními poměry obsahu vody, provzdušněnosti i biologické činnosti v půdě (ŠIMON, LHOTSKÝ ET AL., 1989).

Na hlubších půdách s mocným humózním horizontem, kde jsou velké rezervy živin v organické hmotě, která v důsledku orby rychleji mineralizuje, jsou živiny intenzivněji využívány rostlinami a z velké části kompenzují náklady na průmyslová hnojiva. Orbou se též šetří dusíkatá hnojiva, neboť podle německých pramenů je využití dusíkatých hnojiv v průměru o 30 % vyšší. Na půdách s velkými imisemi, kde zejména oxid siřičitý způsobuje rychlé povrchové okyselování ornice, se půda orbou obrací a mísí, čímž dochází k podstatnému rozředování a pH půdy se vyrovnává a stabilizuje. Orby se využívá též na půdách, kde je větší výskyt vytrvalých plevelů, a to nejen pýru plazivého, ale i pcháče osetu, svlačce rolního a dalších plevelů. Jedině orbou se půda obrací, což do současné doby nezajišťuje žádný jiný zemědělský stroj na zpracování půdy, a splavené živiny jsou vynášeny opět k povrchu a lépe rostlinami využívány (ŠKODA, 1997).

ŠIMON ET AL. (1999) zdůrazňují výhodu orby:

- při zapravování statkových a jiných objemných hnojiv do půdy,
- na zamokřené a studené půdě, kde orba zajišťuje lepší půdní podmínky ,
- při speciálních nárocích na lůžko pro osivo, jako např. mák,
- při zvýšeném riziku přenosu chorob při nesprávném střídání plodin.

ŠKODA ET AL. (2002) také uvádí, že orba a následná včasná příprava půdy před setím a sázením pozitivně ovlivňují nejen klíčení, vzcházení, ale i zapojení porostu a tím i výnos a do jisté míry i kvalitu produktů.

Orebné technologie se budou nadále využívat tam, kde nejsou splněny podmínky pro minimální zpracování, abychom tak zamezili rizikovosti této

minimalizace při obdělávání půdy (JAVŮREK, 2005). Lze také říci, že tradiční zpracování půdy s orbou poskytuje větší univerzálnost a částečně eliminuje nedostatky ve výživě a ochraně rostlin, avšak za cenu vyšších vstupů. Současné kritické názory vůči orbě by neměly směřovat proti orbě jako takové, spíše by měly vést ke zkvalitnění přípravy půdy a následnému zakládání porostu jako celku, a to za příznivých ekonomických podmínek (JAVOREK, 2006).

### 2.2.2 Nevýhody konvenčního zpracování půdy

ŠKODA ET AL. (2002) uvádí, že při využití orby je značně ohroženo setí ozimů, zejména klesne-li půdní vlhkost pod 10 % hmotnostních, pak orba neplní svůj účel, opoždí se a nalámané hroudy se nedají běžným nářadím zpracovat. Orbě se vytýká, že za vlhka se zhutňuje dno brázd a to přispívá k tvorbě zhutnělé vrstvy s nepříznivými fyzikálními vlastnostmi půdy v podorničí (HŮLA ET AL., 1997).

Při setí jařin konvenčním postupem dochází především k poškození struktury půdy utužením a vytvořením kolejových stop. Je to způsobeno hlavně tím, že se na pozemek vstupuje v době, kdy půda není ještě dostatečně zralá (ŠIMON ET AL., 1999).

Z hlediska zajištění optimálního termínu setí plodin, to je dodržení tzv. „faktoru času“, lépe toto splňují nové technologie zakládání porostu, než tradiční postupy zpracování půdy a setí (ŠIMON ET AL., 1999).

Na kamenitých a štěrkovitých půdách se orbou zvyšuje obsah kamenů v povrchových vrstvách ornice, zejména na těžších půdách dochází často při orbě k vytváření těžko zpracovatelných hrud a ke ztrátám půdní vláhy, což při zakládání porostů ozimých obilnin působí komplikace při předseťové přípravě půdy a setí a celkově to přispívá ke snížení kvality založení nových porostů. Na svažitých pozemcích je po orbě větší nebezpečí vodní eroze se všemi negativními důsledky (HŮLA, PROCHÁZKOVÁ ET AL., 2008). Dlouhodobé intenzivní zpracování půdy orbou snižuje obsah organických látek v orničním horizontu a dochází k redukci populací dešťovek a dalších drobných živočichů (JAVŮREK, 2005).

Při konvenčním zpracování půdy na pozemcích s většími rozdíly půdních vlastností, které se projevují ve zpracovatelnosti půdy, mohou také nastávat problémy při předseťové přípravě. Nestejná zpracovatelnost půdy na těchto pozemcích vede k nutnosti opakovat zásahy předseťové přípravy půdy na některých částech pozemků (HŮLA, PROCHÁZKOVÁ ET AL., 2008).

Zpracování půdy je z agrotechnických opatření na energii nejnáročnější. Při konvenčním zpracování půdy s orbou se na zpracování půdy spotřebovává průměrně 35 % její spotřeby v celé rostlinné výrobě (ŠIMON, LHOTSKÝ, 1989). S orbou za nepříznivých podmínek je také spojena nadměrná spotřeba nafty a ztráta času, což společně představuje nežádoucí růst nákladů (HŮLA ET AL., 2004).

Vzhledem k počtu pracovních operací je konvenční technologie časově náročná. Zejména po plodinách s delší vegetační dobou nelze kvalitně založit porosty ozimů a pokud ano, pak je to na úkor nedodržení agrotechnických lhůt, což mívá ve svých důsledcích vliv na výši sklizně (HŮLA, PROCHÁZKOVÁ ET AL., 2008).

## 2.3 Fyzikální a technologické vlastnosti půdy

### 2.3.1 Textura půdy

#### Rozdělení zrn a jejich vlastnosti

Zrnitostní složení půd se řadí k nejstarší půdním charakteristikám, je určeno podílovým zastoupením různých zrnitostních frakcí půdních částic, vyjádřených ve hmotnostních procentech. Zrnitostní složení půd neboli půdní druh výrazně ovlivňuje fyzikální vlastnosti půdy (strukturu, pórovitost a velikostní zastoupení pórů v půdě) a tím vodněvzdušné poměry půdy. V důsledku toho také ovlivňuje záhřevnost, chemický a biologický režim, dále zpracovatelnost půdy a její celkový charakter jako stanoviště kulturních rostlin (LEDVINA ET AL., 2000).

Jedno z možných třídění (a u nás nejčastěji používané) je, že půdní částice se dělí na **jemnozem** - průměr částic menší než 2 mm a na **skelet**, což jsou částice větší než 2 mm. Jemnozem se dále dělí na písek (2-0,25 mm), jemný písek (0,25-0,05 mm), hrubý prach (0,05-0,01 mm), jemný a střední prach (0,01-0,001 mm) a na jílu (menší než 0,001 mm). A také skelet lze rozdělit na tři frakce - hrubý písek (2-4 mm), štěrk (4-30 mm) a kameny (větší než 30 mm) (VALLA ET AL., 1980).

LEDVINA ET AL. (2000) charakterizují dále jednotlivé složky jemnozeme.

**Písek** - (2-0,25 mm), částice písku mají mezi sebou hrubé póry. Půdy s větším podílem této kategorie zrn jsou dobře propustné pro vodu a vykazují malé vztlínání vody.

**Jemný písek** - (0,25-0,05 mm), dává půdám při vyšším obsahu odlišné fyzikální vlastnosti. Zvláště při vyšším obsahu slíd jsou uléhavější a méně propustné. Mají určitou vododržnou schopnost a vykazují dobrou vzlínavost pro vodu.

**Hrubý prach** - (0,05-0,01 mm), dává půdám příznivé fyzikální, chemické a biologické vlastnosti. Tyto půdy mají dobré technologické vlastnosti - zpracovatelnost, soudržnost i drobivost.

**Střední a jemný prach** - (0,01-0,001 mm), působí při vyšším obsahu nepříznivě na fyzikální vlastnosti půd. Půdy jsou náchylné k vytváření slité struktury s nízkou propustností pro vzduch a vodu.

**Jíl** - (menší než 0,001 mm), je nejjemnější zrnitostní frakcí. Obsahuje jílovité minerály, které dávají půdám koloidní, fyzikálně chemické vlastnosti, umožňují půdní sorpci a kapilaritu. Co do technologických vlastností dává vyšší obsah jílové frakce půdám vysokou vaznost, soudržnost a přilnavost, nepropustnost pro vodu a vzduch, jsou to půdy těžce zpracovatelné.

Zastoupení zrnitostních frakcí (kategorií) udává půdní druh s pojmenováním podle použitého klasifikačního systému. U nás se dlouho používal **Kopeckého klasifikační systém**, který se dodnes používá pro potřeby meliorací půd. Je založen na Spirhanzlově klasifikátoru, kdy na horizontální ose je stupnice zastoupení I. zrnitostní kategorie (částic menších než 0,01 mm) a na vertikální ose je II. zrnitostní kategorie (0,01-0,05 mm). Zjištěnou hodnotu I. kategorie se vede vertikála, hodnotou II. kategorie horizontála. Jejich průsečík padne do políčka, jehož pojmenování dává název klasifikované zemině (VALLA ET AL., 1980).

Pro potřeby komplexního průzkumu půd byla zrnitostní klasifikace provedena podle **Novákova systému**, který bere v úvahu pouze procenta I. zrnitostní kategorie a rozděluje půdu podle následujícího dělení: 0-10 % písčítá, 10-20 % hlinitopísčítá, 20-30 % písčitohlinitá, 30-45 % hlinitá, 45-60 % jílovitohlinitá, 60-75 % jílovitá a 75-100 % jíl (prchlice) (LEDVINA ET AL., 2000).

Pro účely bonitace půd se pro třídění hlavních půdních jednotek z hlediska zrnitostního rázu půd použilo hodnocení podle **trojúhelníkového diagramu**, založeného na obsahu tří půdních frakcí: jílu – částice <0,001 mm (podle mezinárodního hodnocení <0,002 mm), jemného a hrubého prachu – částice 0,001-0,05 mm a jemného a hrubého písku 0,05-2 mm (MAŠÁT ET AL., 2002).

V Rusku byl použit systém Kačinského podle procentuálního zastoupení I. frakce a ve Spojených státech amerických speciální grafikon, který určuje druh

půdy podle obsahu jílu (<0,005 mm), písku (>0,05mm) a prachu (0,005-0,05mm) (VALLA ET AL., 1980).

Lze shrnout, že u nás by měl být nadále používán trojúhelníkový diagram, neboť je uveden v nejnovějším klasifikačním a taxonomickém systému půd (NĚMEČEK ET AL., 2001). V praxi je nejvíce zažita Novákova stupnice, ale spíše ve formě tzv. sdružených skupin půdních druhů tj. P a HP = skupina půd zrnitostně lehkých, PH a H = skupina půd zrnitostně středních a HJ, J a Jíl = skupina zrnitostně těžkých půd.

### Význam zrnitosti půdy

Zrnitost má vliv na všechny ostatní půdní vlastnosti. Ovlivňuje poměr vody a vzduchu v půdě, poměr kapilárních a nekapilárních pórů, obsah a pohyb půdní vody a vzduchu, obsah a složení edafonu, velikost povrchové plochy a energie, adhezi a kohezi, chemické, fyzikálně-chemické a biochemické procesy v půdách (VALLA ET AL., 1980). Zrnitost půd má samozřejmě vliv i na dynamiku půdní vody, která je ovlivněna poměrem hrubých nekapilárních a jemných kapilárních pórů v půdách různých druhových vlastností. Tyto póry mají vztah k zasakování, pohybu a zadržování vody. Silná perkolace vody půdním profilem může vést i k proplavování koloidních částic ze svrchních vrstev do hlubších horizontů půdy, kde se hromadí (PAVEL ET AL., 1984).

Textura ovlivňuje také biologické vlastnosti půdy. Primárně na ně působí poměr hrubých a kapilárních pórů, což souvisí s poměrem vzduchu a vody. To se odráží i v biologické aktivitě a ve způsobu rozkladu a přeměně organických látek v půdě (MARENDIAK ET AL., 1987).

Kultivační opatření by měla být prováděna se zřetelem na texturu půdy. U lehkých písčitých půd se doporučuje udržovat určité zásady: zhutňování přidáváním jemnozrnných hmot (jíl, bentonit), mírné kypření, případné zavlažování, hlubší zapracování organických hnojiv, častější hnojení pomalu působícími hnojivy a vápnění méně rozpustnými uhličitanovými formami vápenatých hnojiv (LEDVINA ET AL., 2000). U těžkých půd se naopak doporučuje hluboké kypření, podrývání spodiny, vylehčování ornice přídatkem písčitých materiálů, odvodňování, mělké zaorávání hnoje a kompostů, hnojení většími dávkami v delších intervalech



a vápnění rychle působícími oxidovými formami vápenatých hnojiv (PAVEL ET AL., 1984).

Také MCCONKEY ET AL. (1996) se zabývá efektem zrnitostního složení půdy na její vodní režim v závislosti na různém způsobu zpracování. U písčitéch půd s celkově nízkou vodostí se rozdílné zpracování půdy příliš neprojevilo, ale naopak v jílovitých a hlinitých půdách zachovala půdoochranná technologie vyšší zásoby vody ze zimního období pro období vegetace, což se projevilo vyšším výnosem zrna zvláště na jílovitých půdách.

### 2.3.2 Půdní hmotnosti

#### Měrná hmotnost (Mz)

Je hmotnost objemové jednotky pevné fáze půdy za předpokladu, že pevné částice dokonale vyplňují daný prostor. Je jí možné také definovat jako poměrné číslo, které udává, kolikrát je určitý objem zeminy vysušený při 105°C těžší než stejný objem vody při 4 °C a většinou se stanovuje pyknometricky. Měrná hmotnost závisí na obsahu minerálů a organických látek, protože tyto složky mají různou měrnou hmotnost (hustotu). Nejvíce zastoupeným nerostem v minerálním podílu je křemen. Průměrná měrná hmotnost půdy je proto blízká jeho měrné hmotnosti, tj. 2,65 g.cm<sup>-3</sup>. Tuto hodnotu snižuje větší obsah humusu, naopak ji zvyšuje obsah těžkých minerálů. Význam měrné hmotnosti je v tom, že podle její konkrétní hodnoty je možné částečně usuzovat na mineralogické složení půdy a obsah organických látek. Potřebujeme ji však ještě znát pro výpočet celkové pórovitosti a rovněž při nejběžnějším stanovení zrnitosti hustoměrnou metodou (LEDVINA ET AL., 2000).

Vliv půdoochranného zpracování půdy na měrnou hmotnost studovali někteří autoři, z nichž např. SPRAGUE A TRIPLET (1986) zjistili, že půdoochranné zpracování půdy snižuje hodnoty měrné hmotnosti v povrchové vrstvě (0-0,05 m), což podle nich způsobuje větší množství půdní organické hmoty v této vrstvě.

#### Objemová hmotnost redukována a objemová hmotnost

**Objemová hmotnost** půdy je hmotnost objemové jednotky půdy v neporušeném stavu s momentálním obsahem vody, přičemž větší objemová

hmotnost obvykle znamená menší pórovitost a menší pohyb vody a vzduchu (PAVEL ET AL., 1984).

**Objemová hmotnost redukována Or** je hmotnost objemové jednotky půdy v neporušeném stavu po vysušení do konstantní hmotnosti, tzn. bez vody v pórech. Je to hodnota stálejší nežli objemová hmotnost a pohybuje se ve svrchních půdních vrstvách nejčastěji v rozmezí 1,2-1,5 g.cm<sup>-3</sup> v závislosti na měrné hmotnosti a celkovém objemu pórů v dané půdě. Ve spodině je půda zpravidla ulehlejší, s menším objemem pórů a s menším obsahem humusu, proto zde Or vzrůstá na 1,6-1,8 g.cm<sup>-3</sup> (PAVEL ET AL., 1984). Objemová hmotnost redukována do určité míry indikuje kyprost nebo ulehlost půdy a její strukturotvornost, a proto je nejčastěji používaným kritériem pro posouzení případného nadměrného utužení půd. Stanovuje se rozbořem neporušeného půdního vzorku nejčastěji formou fyzikálního válečku (HORÁČEK ET AL., 2009).

Hodnota objemové hmotnosti má vliv na růst a výnos plodin. Podle autorů SPRAGUE A TRIPLETTA (1986) objemová hmotnost půdy ovlivňuje pohyb vody a růst kořenů, a tím ovlivňuje i výnosový potenciál plodin. Zpracování půdy se odlišuje hloubkou zpracování půdy a množstvím přejezdů. Důsledek je ve změně objemové hmotnosti půdy během vegetace v kořenové zóně. PROCHÁZKOVÁ ET AL. (2000) zjistili, že konkrétně u obilovin je pozitivní vztah mezi objemovou hmotností redukována a jejich výnosem. Výnos je zpravidla nejvyšší při objemové hmotnosti redukováne odpovídající přirozeně slehlé půdě. Odlišný názor zastávají VOORHEES ET AL. (1985) a KAYAMBO ET AL. (1986). Podle nich při půdoochranné technologii sice dosahujeme větší povrchové retence vody, ovšem je třeba věnovat pozornost potenciálnímu rozvoji negativních fyzikálních vlastností, které vznikají nekypřením ornice zpracováním půdy. Je to hlavně zvýšení objemové hmotnosti půdy a penetračního odporu, které mohou snížit infiltraci vody, růst kořenů rostlin a výnos plodin.

MIKULKA ET AL. (2006) se v jedné ze svých prací zabývali sledováním změn objemové hmotnosti v průběhu roku v celém orničním profilu při uplatňování konzervačních technologií (mělkého kypření) v porovnání s konvenční variantou zpracování půdy (orbou). Došli k závěru, že za 4 leté období nedošlo ke zvýšení objemové hmotnosti půdy v žádné z vrstev orničního profilu.

Objemová hmotnost redukována vykazuje určitou dynamiku během roku. Ovšem názory na změnu objemové hmotnosti redukováne během roku se různí.

Podle některých zdrojů velikost změn půdní objemové hmotnosti během roku nemusí odhalovat velké rozdíly mezi jednotlivými systémy zpracování. (BENOIT A LINDSTROM, 1987). Naopak HORÁČEK (2007) uvádí, že na konvenčně zpracovaných plochách dochází u objemové hmotnosti redukované v ornici po velkém vzrůstu těsně po zpracování k postupnému poklesu během vegetace a v době sklizně je její hodnota skoro totožná s hodnotou v půdoochranné technologii. V podorničí jsou pak většinou při srovnávání technologií nižší hodnoty Or u bezorebného zpracování půd (HORÁČEK ET AL., 2009). Také podle CRUZE (1982) má největší efekt na roční dynamiku objemové hmotnosti půdy způsob zpracování půdy.

K zajímavým výsledkům dospěli HORÁČEK ET AL. (1999) při bezorebném pěstování brambor, kdy objemová hmotnost redukována byla při jarním odběru u orby nepatrně nižší nežli u minimalizačního zpracování, ale nikoli statisticky průkazně. Podobně tomu bylo v podzimním odběru ze stejné hloubky. Ve vrstvě 0,25-0,3 m je již trend opačný, tehdy Or je lepší u minimalizace, i když rovněž neprůkazně. Rovněž výnos hlíz i jejich kvalitativní parametry byly lepší v bezorebné variantě.

SPRAGUE A TRIPLETT (1986) uvádějí, že hodnoty objemové hmotnosti redukované při kontinuálním používání půdoochranného zpracování půdy se postupně zlepšují, protože počáteční negativní efekt vyšší objemové hmotnosti pro růst kořenů a pohyb vody je kompenzován růstem velkých pórů. Makropóry jsou tvořeny žízálními kanálky a kanálky po odumřelých kořenech. Když jsou tyto póry otevřené, pak jsou efektivní, a proto by měla být chráněna půda od zbytečných přejezdů.

### 2.3.3 Pórovitost půdy

Pórovitost je specifickou vlastností půdy, která podmiňuje třífázový charakter půdního těla. Póry jsou jakýmsi cévami, kterými proudí voda s různě rozpuštěnými a rozptýlenými substancemi minerálními, organickými a také vzduch se svými plynnými složkami. V pórech se uskutečňují nejdůležitější dynamické děje, probíhají tu látkové přeměny chemické a biochemické, výměnné reakce mezi jednotlivými fázemi půdy, buňkami mikroorganismů a kořínky rostlin (PAVEL ET AL., 1984).

Charakter pórovitosti závisí na tom, v jakém stavu je půda z hlediska strukturnosti. U nestrukturních půd s volným uložením částic (a to především

u písčitéch) jsou póry zpravidla větších rozměrů mezi jednotlivými zrny. U strukturních půd s agregáty vytvořenými spojením elementárních částic, jsou póry jednak mezi těmito agregáty - **póry meziagregátové** a jednak uvnitř agregátů - **póry vnitroagregátové**. Nejpříznivější poměry jsou v půdě, je-li celková pórovitost rozdělena asi z 1/3 na póry meziagregátové a ze 2/3 na vnitroagregátové (LEDVINA ET AL., 2000).

Pro funkci pórů je významná jejich velikost. Třídění pórů podle velikosti není snadné, poněvadž jejich průměr nelze přímo měřit. Třídí se proto zpravidla podle druhu a velikosti sil, které působí na vodu v nich obsaženou (PAVEL, 1984). Póry se třídí na kapilární (jemné), nekapilární (hrubé) a semikapilární (střední).

*Kapilární póry* jsou takové, v kterých voda nepodléhá gravitaci a je ovládána kapilárními silami, které vodu zadržují a umožňují její pohyb proti působení gravitace. Vzduch se do nich dostává nesnadno a jeho pohyb je v nich omezený. Průměr mají menší než 0,2  $\mu\text{m}$ . V těchto pórech probíhají chemické, fyzikálně chemické a biologické pochody (LEDVINA ET AL., 2000; PAVEL ET AL., 1984). Zvyšování kapilární pórovitosti je důležité především na jaře, kdy klíčící rostliny potřebují plynulý přísun vody dopravené k povrchu vztláním kapilárními póry (PAVEL ET AL., 1984). Ovšem nadbytečné zastoupení kapilárních pórů znesnadňuje vnikání vody do půdy, půda přijímá málo vody, provlhuje se do malé hloubky, srážky jsou málo využity, zvyšuje se povrchový odtok s nebezpečím eroze na svazích. Naopak při nedostatečném zastoupení kapilárních pórů je malá zásoba vody v půdě pro vegetaci. Optimální zastoupení kapilárních pórů má být asi 2/3 z celkové pórovitosti. Zbytek má být přibližně rovným dílem rozdělen mezi póry semikapilární a nekapilární. Objem kapilárních pórů se ztotožňuje s hodnotou retenční vodní kapacity RVK (nebo přibližné retenční vodní kapacity RVK<sub>24</sub>) (HORÁČEK ET AL., 1994).

*Nekapilární póry* charakterizuje neomezené působení gravitace na vodu, která se v nich volně pohybuje do spodiny a na její místo se dostává volně vzduch. Mají význam hlavně pro provzdušení půdy a vzájemnou výměnu plyných složek mezi půdou a ovzduším. Průměr mají větší než 10  $\mu\text{m}$ . Zvětšování jejich objemu zajišťujeme posklizňovými operacemi (podmítka, orba, vláčení), to jsou operace, které vracejí půdu do příznivého stavu, který byl narušen během vegetace sedáním půdy a uléháním povrchu, čímž došlo k zmenšení celkové pórovitosti a zvláště

objemu nekapilárních pórů. Obvykle se určují jako rozdíl celkové pórovitosti a vlhkosti třicetiminutové při rozboru fyzikálního válečku (LEDVINA ET AL., 2000).

*Semikapilární póry* jsou jak po stránce energetické ve vztahu k poutání vody, tak z hlediska významu v půdě přechodem mezi póry kapilárními a nekapilárními (LEDVINA ET AL., 2000; PAVEL ET AL., 1984). Umožňují dobré vnikání vody do půdy a jejím dočasným zadržením umožňují nasycení kapilárních pórů do větších hloubek (HORÁČEK ET AL., 1994).

Celková pórovitost je definovaná jako součet objemů všech volných meziprostorů mezi pevnými částicemi a jejich shluky a nelze ji přímo změřit. Proto se zjišťuje výpočtem z měrné hmotnosti a objemové hmotnosti redukované. Celková pórovitost zemědělských půd se ve svrchních vrstvách pohybuje většinou v rozmezí 40-50 %. U půd silně humózních může dosahovat 70-80 %. Ve spodních vrstvách klesá na 30-40 % a u půd zamokřených i pod 30 % (BARLEY, 1954).

Pórovitost celková i pórovitosti dílčí jsou kromě sezónního, respektive přirozeného slehávání půdy výrazně ovlivněny jejím zpracováním. THOMAS A PHILLIPS (1979) přisuzují vynálezu orby fatální efekt pro makropóry, protože opakovaná orba rozruší strukturu i nekapilární póry, nebo je ucpe. Praktický efekt je ve zpomalení propustnosti vody do podorničí a nasycení orniční vrstvy vodou. Při dostatečné intenzitě deště dochází k povrchovému odtoku vody a erozi. Také HORÁČEK ET AL. (1999) konstatovali, že při pěstování brambor existují rozdíly v celkové pórovitosti podle způsobu zpracování půdy. Celková pórovitost byla při jarním odběru u orby nepatrně nižší nežli u minimalizačního zpracování půdy ve vrstvě 0,15-0,2 m. Podobně tomu bylo při podzimním odběru z této hloubky. Ve vrstvě 0,25 až 0,30 m byl již trend opačný. Rovněž potvrdili vyšší zvodnění orniční vrstvy u konvenčního zpracování půdy.

#### 2.3.4 Půdní vzduch

Vzduch v půdě tvoří plynnou fázi půdy významnou pro biologické i chemické pochody probíhající v půdě a je jednou z nezbytných podmínek života rostlin. Vyplňuje póry bez vody, proti atmosferickému vzduchu obsahuje zpravidla více CO<sub>2</sub>, méně O<sub>2</sub> a zvýšené množství vodních par (LEDVINA ET AL., 2000).

Vzdušné poměry v půdě závisí na její schopnosti přijímat, obsahovat a zadržovat vzduch, na pohyblivosti vzduchu v půdě a výměně vzduchu mezi půdou a atmosférou. Vzduch může být adsorbován na povrchu pevných částic, kdy znesnadňuje jejich svlažitelnost při nejvyšším fyzikálním poutání CO<sub>2</sub> a dusíku. Může se také rozpouštět v půdním roztoku, bublinky vzduchu mohou být uzavřeny v kapilárních pórech při možnosti využití edafonem a vegetací (LEDVINA ET AL., 2000).

Možný a skutečný obsah vzduchu v půdě charakterizují tyto hodnoty:

**Provzdušněnost půdy** je dána procentem pórů vyplněných vzduchem při momentní vlhkosti. Optimální provzdušněnost pro různé plodiny ukazuje tabulka č.1.

Tabulka č. 1: Hodnoty provzdušněnosti nutné pro dobrý vývoj vegetace v našich podmínkách (KOPECKÝ, 1928)

Vegetace	Provzdušněnost (% obj.)	
	minimální	optimální
hodnocení		
louky	5	10
pšenice, oves	10 - 15	15 - 20
ječmen, okopaniny	15 - 20	18 - 24

**Vzdušná kapacita** půdy je dána procentem pórů vyplněných vzduchem při odpovídající vodní kapacitě půdy, např. při maximální kapilární nebo retenční vodní kapacitě (VALLA ET AL., 1980).

V dynamice půdního vzduchu se uplatňují jednak vnitřní faktory podmíněné fyzikálními vlastnostmi půdy (zrnitost, struktura, vodní a tepelné poměry), a také vnější atmosferické vlivy (teplota, tlak, pohyb vzduchu, srážky). Pohyb půdního vzduchu je podmíněn prouděním a difúzí (LEDVINA ET AL., 2000).

### 2.3.5 Půdní voda

Voda se vyskytuje v půdě podle konkrétních podmínek od prakticky zanedbatelného množství v suché půdě až po úplné zaplnění všech půdních pórů. Poměr množství vody k pevné fázi půdy je vyjádřen hodnotami hmotnostní nebo objemové vlhkosti. Voda je v půdě poutána větší či menší silou, k jejímuž překonání je třeba vynaložit určitou práci, a sice tím větší, čím méně vody půda obsahuje. Vztah vody a půdy není v celém rozsahu vlhkosti energeticky homogenní a je proto

potřeba uvažovat vedle množství vody také její energetické poměry (PAVEL ET AL., 1984). Vydělují se především energetické kategorie vody adsorpční, kapilární a gravitační (LEDVINA ET AL., 2000).

Vztahy mezi půdou a vodou a jejich kvalitativní a kvantitativní změny vyjadřují půdní hydrolimity. Rozlišují se hydrolimity základní - adsorpční vodní kapacita, lentokapilární bod a retenční vodní kapacita a hydrolimity aplikované - monomolekulární adsorpční vodní kapacita, číslo hydroskopicity, bod vadnutí,  $RVK_{24}$ , polní vodní kapacita nebo též maximální vodní kapacita, maximální kapilární vodní kapacita  $W_{30}$  a nasáklivost (HORÁČEK ET AL., 1994).

Dle výše uvedených autorů byly jednotlivé hydrolimity definovány následovně :

**Základní hydrolimity:**

**Adsorpční vodní kapacita** - je maximální množství vody, které daná půda může poutat adsorpčními silami. Je hydrolimitem na rozmezí kategorie vody adsorpční a kapilární.

**Lentokapilární bod** - je rozmezím mezi energetickými subkategoriemi těžce a lehce pohyblivé kapilární vody. Odpovídá takovému stavu vody v půdě, při kterém nastává náhlý pokles pohyblivosti kapilární vody.

**Retenční vodní kapacita** - je maximální množství vody, které je půda po nadměrném zavlažení schopná zadržet v téměř rovnovážném stavu. Představuje tak rozmezí mezi kapilární a gravitační vodou.

Základní hydrolimity jsou obtížně experimentálně stanovitelné, proto v jejich blízkosti leží příslušné hydrolimity aplikované:

**Monomolekulární adsorpční vodní kapacita** - je obsah vody v monomolekulární adsorpční vrstvě na povrchu půdních částic.

**Číslo hydroskopicity** - charakterizuje maximální množství hydroskopické vody v půdě.

**Bod vadnutí** - je dán vlhkostí půdy, kdy rostliny jsou trvale nedostatečně zásobeny půdní vláhou a ztrácejí turgor, tj. souvislé sloupce vzlínající vody jsou přerušeny.

**Retenční vodní kapacita přibližná 24 h** - je maximální množství vody, které je půda po nadměrném zavlažení schopná zadržet vlastními silami v téměř rovnovážném stavu. Voda v pórech je pod výhradním vlivem kapilárních sil, tedy

v kapilárních pórech. Proto tuto charakteristiku lze ztotožnit s obsahem kapilárních pórů. Měla by se optimálně rovnat asi 2/3 pórovitosti.

**Maximální kapilární vodní kapacita** - charakterizuje schopnost půdy zadržet vodu pro potřebu rostlin. Při této charakteristice voda v půdě není zcela ustálena, působením tíže se dále ustaluje. Používá se dosud jako hodnota vodní kapacity půdy všude tam, kde nemůže dojít z časových důvodů k ustálení vlhkosti. Neměla by být vyšší než 75-80 % pórovitosti (PAVEL ET AL., 1984).

**Vlhkost třicetiminutová** - je charakteristika sloužící ke klasifikaci půdních pórů, zavedená na základě studia odsávání vody z válečků na čtyřnásobném filtračním papíře v závislosti na čase. Bylo zjištěno, že po 15 (u lehkých) až 30 minutách (u středních a těžkých půd) dojde k rychlému poklesu vlhkosti, zřejmě z hrubých nekapilárních pórů.

**Polní vodní kapacita** - je ustálený stav vlhkosti přirozeného půdního profilu po nadměrném zavlažení při vyloučení vlivu srážek, výparu a podzemní vody.

**Nasáklivost** je charakteristika pro určení maximálního zaplnění pórů při kapilárním nasycování zeminy. Pro její neurčitost se nahrazuje výpočtem pórovitosti. U nebobtnavých půd by měla být trochu nižší než pórovitost. U bobtnavých půd pak nasáklivost zastupuje pórovitost.

Aktuální vlhkost můžeme zjistit v % objemových nebo v % hmotnostních. Momentní vlhkost ( $W_{mom}$ ) je vlhkost půdy v době odběru vzorku. Udává se v % objemových nebo hmotnostních. Pro pedologické účely se dává přednost objemovému vyjádření vlhkosti, poněvadž působení vody v půdě je především objemové. Pro určení momentální vlhkosti v % objemových je třeba odebrat vždy neporušený vzorek a zvážit jej ihned po odběru, nebo ji lze stanovit přímo v terénu pomocí vlhkoměrů různé konstrukce (VALLA ET AL., 1980).

Vlhkost v % hmotnostních se stanovuje, je-li k dispozici jen porušený vzorek. Vyjádření vlhkosti v % relativních je vztahován k objemu pórů a ne k objemu celého vzorku. Toto vyjádření znamená vlastně stupeň zaplnění pórů vodou. Je velmi vhodné pro možnost srovnávání vlhkosti půdy, mění-li se její pórovitost, např. v hloubce půdního profilu či při porovnávání různých půd (VALLA ET AL., 1980).

Různí autoři porovnávali rozdíly ve vlhkosti půdy mezi jednotlivými technologiemi zpracování půdy. Hlavní přínosy půdoochranných technologií shrnují SPRAGUE A TRIPLETT (1986) do konstatování, že snižují ztráty vody v půdě zanecháním posklizňových zbytků na povrchu a nepřerušují mikropóry a makropóry,



kteřé vedou k setřovému lůžku. Výsledkem je nižší evaporace, roste povrchové vsakování vody nerovnostmi povrchu půdy, zpomaluje se odtok, netvoří se půdní škraloup, zlepšuje se celkově zásobenost vodou pro rostliny a zmiřňuje se letní přísušek, což bylo základním důvodem, proč farmáři začali používat půdoochranné zpracování půdy v aridních oblastech USA.

MIKULKA ET AL. (2006) se zabývali sledováním průběhu změn vlhkosti půdy v průběhu roku v celém orničním profilu při uplatňování konzervačních technologií (mělkého kypření) v porovnání s konvenční variantou zpracování půdy (orbou). Shledali, že v období nedostatku srážek byla vlhkost půdy na konzervačních technologiích statisticky významně vyšší než na konvenční variantě.

Pohyb vody v půdě vzhledem k jejímu zpracování shrnul ve své práci THOMAS A PHILLIPS (1981). Podle něho obecně pozorované efekty orby na pohyb vody ukazují, že ornice zpracovaná orbou je vlhčí ve zpracovaném profilu než nezpracovaná půda v době během deště a ihned po dešti. Evaporace bude také nejdříve vyšší na orané půdě, protože zde bude větší vlhkost. Podorničí při orbě nepřijme tak velké množství vody jako půda nezpracovávaná a strukturní. Výsledkem těchto efektů je, že obsah vody se orbou bude více měnit než obsah vody ve stejných hloubkách na neorané půdě. Příznivější vlhkostní poměry při bezorebném založení porostů brambor zjistili v půdním profilu HORÁČEK ET AL. (1999).

### 2.3.6 Konzistence půdy, konzistenční meze

Konzistenci půdy lze definovat jako „odraz působení fyzikálních sil adheze a koheze v půdní mase při různém obsahu vody“. Pojem adheze (lepivost, přilnavost) vyjadřuje přilnavost (lepení) půdní hmoty na cizí těleso. Koheze (soudržnost) charakterizuje schopnost půdy odolávat vnikání cizích těles do půdy. Stupeň konzistence půdy závisí na obsahu vody v půdě a schopnosti koloidních částic vázat vodu. Při stejné vlhkosti mají zrnitostně odlišné půdy odlišnou konzistenci a při stejné konzistenci mohou mít odlišnou vlhkost. Proto je konzistence charakteristická pro určité půdní druhy a pro různé genetické horizonty půdních typů (LEDVINA ET AL., 2000).

Většinou se vyčleňuje 4-5 konstant (mezí konzistence), které vyjadřují obsah vody v zemině a odpovídající konzistenci (LEDVINA ET AL., 1988).

**Mez lepivosti** představuje normální konzistenci zeminy s takovým obsahem vody, při kterém se zemina nelepí ani na ruce, ani na kov a je tedy nejvhodnější pro zpracování. Čím je nižší hodnota meze lepivosti (tj. vlhkost půdy), tím nepříznivější vlastnosti zemina má, protože už při nízkém obsahu vody se stává lepkavou (nejnižší hodnotu mají jíly).

**Mez plasticity (vláčnosti)** odpovídá takovému obsahu vody, při kterém zemina ztrácí schopnost vytvářet určité formy (váleček) a začíná se rozpadávat. Tento obsah vody odpovídá přibližně bodu vadnutí rostlin. Hodnota meze plasticity slouží k posouzení tvárlivosti zemin.

**Mez soudržnosti** odpovídá obsahu vody, při kterém zemina už není schopna další agregace, ale naopak, začíná se drobit a při mísení se nedá tvarovat.

**Horní mez ztekucení** je vyjádřena stupněm vlhkosti, při kterém zemina začíná kašovatět až se roztéká. Tato konstanta vyjadřuje vlhkost zeminy, při které začíná přechod zeminy z kašovitě až tekuté konzistence do začínající tuhé konzistence.

**Dolní mez ztekucení** odpovídá obsahu vody, při kterém zemina přechází z kašovitě do těstovité konzistence (zemina se neslévá).

Uvedené konzistenční hodnoty ukazují obtížnost celkového zpracování půdy, zejména pak „číslo konzistence“, podle kterého můžeme posoudit technologické vlastnosti půdy. Vyjadřuje rozpětí mezi soudržností a horní mezí ztekucení, při které se zemina začíná rozplavovat a kdy se začíná drobit.  $ČK = \text{horní mez ztekucení} - \text{mez soudržnosti}$ . Udává se v procentech obsahu vody. Číslo konzistence je důležitou hodnotou pro posouzení zpracovatelnosti půd. S klesající hodnotou čísla konzistence se zmenšuje obtížnost zpracování půd a naopak (LEDVINA ET AL., 2000).

### 2.3.7 Struktura půdy a vodostálost agregátů

Struktura půdy je prvořadou půdní vlastností, která úzce spolurozhoduje o úrodnosti půdy a o fungování půdy v ekologické rovnováze krajiny. Je potřeba ji posuzovat vždy s ohledem na ostatní půdní vlastnosti (HLUŠIČKOVÁ, LHOTSKÝ, 1994). Je podmíněna strukturností, tj. schopnost spojovat minerální částice a vytvářet strukturní agregáty. Vysoká úroveň agregace je považována za projev dobré půdní struktury a ta pozitivně ovlivňuje růst rostlin (SPRAGUE A TRIPLETT, 1986).

Nestrukturní půda může být ve stavu slitém nebo elementárním. Slitý stav vzniká u hlinitých až jílovitých půd po rozplavení a rychlém vyschnutí rozbředlé hmoty, čímž se vytvoří slitá tenká povrchová vrstva, která tvoří tzv. půdní škraloup. Elementární stav může být buď volný, kdy půdní částice jsou volně uloženy vedle sebe, nebo stmelový, kdy jsou navzájem spojeny povlaky sesquoxidů, jílu nebo humusu. Strukturní půda je ve stavu agregátovém, tzn. že půdní hmota celá nebo její část se rozpadá samovolně nebo vnějším působením v agregáty různé velikosti, tvaru a stability (PAVEL ET AL., 1984).

Kvalita půdní struktury je rozhodující pro kvalitu vztahů mezi rostlinou, vodou, živinami a vzduchem. Po ekologické stránce imituje transportní a transformační procesy v půdě, což především ovlivní podíl povrchového a podpovrchového odtoku, biologickou aktivitu a procesy látkové přeměny v půdě (HLUŠIČKOVÁ, LHOTSKÝ, 1994).

#### Vytváření struktury

Vytváření struktury může postupovat dvojím způsobem. Rozpadem větších celků půdní hmoty, tzv. desagregací, při které se uplatňují hlavně objemové změny vyvolávané zvlhčováním a vysýcháním půdy, mrznutím vody v pórech, dále činností makroedafonu a mechanickým zpracováním půdy. Druhý způsob spočívá v postupném spojování a stmelování půdních částic čili v agregaci a zpevňování vzniklých agregátů. Uplatňují se při tom různé síly a jevy fyzikální, chemické, fyzikálně chemické a biologické (PAVEL, 1984).

Velký vliv na tvorbu a stabilitu půdní struktury má organická hmota. Jako tmely působí vedle polysacharidů i hemicelulózy nebo uronily, levany a četné další organické polymery. Agregují minerální částice půdy a modifikují aktivní povrch, čímž ovlivňují také hydrofyzikální a mechanické vlastnosti půd (HLUŠIČKOVÁ, LHOTSKÝ, 1994).

**Huminové kyseliny** obecně ovlivňují půdní prostředí vesměs příznivě, zvláště tehdy, jsou-li jejich kyselinové vlastnosti otupeny bazickými vícemocnými kationty. Jejich snížená pohyblivost, snadná koagulovatelnost a schopnost tvořit pestrou škálu vazeb s minerálním podílem je příčinou pozitivního vlivu na vytváření půdních agregátů formováním tmelu mezi jednotlivými texturními elementy. Relativní odolnost vůči mikrobiálnímu rozkladu je důvodem stálosti těchto tmelů a tím

i agregátů. Trvalejší spoje s minerálním podílem a tím stářejší agregáty vznikají při sorpci na vnitřní povrchy jílových minerálů, méně trvalé spoje a agregáty se tvoří tehdy, když se sorpce uskutečňuje na vnějším povrchu. Účastí na tvorbě agregátů nepřímo pozitivně ovlivňují vodní, vzdušné a tepelné vlastnosti půd i jejich technologické vlastnosti (VALLA ET AL., 2002). PUTSYKIN ET AL. (2004) charakterizují huminové kyseliny jako specifickou skupinu organominerálních polymerů schopných vratné polymerace a depolymerace. Zjistili, že za specifických podmínek dochází k tvorbě vodostálých komplexů huminových kyselin s jílovými minerály.

*Huminy* jsou součástí trvalého tmelu při tvorbě agregátů a ovlivňují rozhodující měrou i jejich stabilitu (KOLÁŘ, 1988).

Strukturotvorný proces je neoddělitelnou součástí půdotvorných procesů, a je proto ovlivňován faktory biotickými (povětrnostní vlivy, minerální látky, voda), biotickými (kořeny rostlin, kořenové extrakty, půdní fauna) a entropickými (zpracování půdy, způsob hospodaření na půdě) (KOSTELANSKÝ ET AL., 1997). Podle některých autorů (NĚMEČEK ET AL., 2001; NESVADBA, 1987) je vznik půdní struktury podmíněn abiotickými a biotickými činiteli. Jak uvádí CARTER (2004), biotičtí činitelé hrají významnější roli ve formování a ovlivňování půdní struktury než činitelé abiotičtí.

### Stabilita struktury

Je definována jako odolnost proti rušivým vlivům, především proti rozplavovacím účinkům vody. Je ovlivněna snadno mineralizovatelnými organickými látkami, které se do půdy dostávají jako součást organických hnojiv a rostlinných zbytků. Především tyto organické látky v půdě zvyšují mikrobiální aktivitu a tím se mimo jiné zvětšuje obsah polysacharidů a polyuronidů, které jsou obsaženy ve slizovitých obalech mikroorganismů a působí tmelivě (EDWARDS A BREMNER, 1967). Stabilita půdní struktury je silně ovlivněna obsahem a kvalitou organické hmoty (CHANEY A SWIFT, 1984).

Podle HAYNESE ET AL. (1991) extrahovatelné půdní cukry horkou vodou silně korelují se stabilitou agregátů, a to více než celkový obsah půdní organické hmoty. Jako extrakční činidlo se používá horká voda, která uvolňuje látky navázané uvnitř agregátů.

Podle jiných názorů dávají trvalejší stabilitu agregátům silněji humifikované organické látky typu huminových kyselin a huminů, zvláště jsou-li v organominerálních vazbách a jsou-li obsaženy uvnitř agregátů, kde jsou těžce přístupné pro mikroorganismy (SOTÁKOVÁ, 1982; KOLÁŘ, 1988)

Vliv způsobu zpracování půdy na stabilitu agregátů zkoumali KASPER ET AL. (2009). Na základě dlouhodobého výzkumu ve Fuchsenbiglu (Marchfeld, Rakousko), kde bylo využíváno konvenční, redukované a minimální zpracování půdy, došli k závěru, že půda, na niž se využívalo minimální technologie zpracování, měla přibližně dvakrát více stabilních agregátů oproti půdě obdělávané konvenčním či redukovaným způsobem.

### Rozrušování struktury

Nejvýznamnějším rušivým činitelem je voda a zpracování půdy. Dopadem dešťových kapek mohou být mechanicky rozbíjeny agregáty v povrchové vrstvě. Při pronikání vody do půdy dochází k rozplavování agregátů a dispergování mechanických elementů. Tyto negativní jevy jsou zvláště výrazné při prudkých vydatných srážkách a u půdy nekryté vegetací (PAVEL ET AL., 1984).

Voda působí dále nepříznivě vyplavováním koloidů minerálních a organických a vyluhováním  $Ca^{2+}$  jako účinného koagulótoru. Vliv struktury na vlastnosti půdy dokumentuje tabulka č.2, která porovnává dva krajní případy na jedné straně u půdy s ornicí v optimálním stavu drobtové struktury a na druhé straně u půdy s nestrukturní ornicí ve slitém stavu (LEDVINA ET AL., 2000).

Tabulka č. 2: Porovnání krajních případů strukturní a nestrukturní půdy (LEDVINA ET AL., 2000)

<b>Vlastnost</b>	<b>Strukturní půda (drobtová)</b>	<b>Nestrukturní půda (slitá)</b>
<i>Celkový stav</i>	kyprá	ulehlá
<i>Obdělavitelnost</i>	lehčí	těžší
<i>Pórovitost</i>	vyrovnaný poměr pórů kapilárních a nekapilárních	převaha pórů kapilárních
<i>Zasakování vody</i>	dobré	špatné, silný povrchový odtok
<i>Propustnost pro vodu</i>	přiměřená	příliš slabá, možnost zamáčení
<i>Vzlínání vody</i>	slabší	silné
<i>Provdzušnění</i>	dobré	omezené
<i>Vztah k teplu</i>	teplá, rychle se zahřívá	studená, pomalu se zahřívá
<i>Biologická činnost</i>	přiměřená a vyrovnaná	slabší, převažuje anaerobiosa
<i>Přeměny organických látek</i>	rovnováha mezi humifikací a mineralizací	omezení mineralizace, hromadění organické hmoty
<i>Sorpční schopnost</i>	přiměřená, plynulé uvolňování živin	příliš poutání vody a živin
<i>Výživa rostlin</i>	dobrá, vyrovnaný vodní, vzdušný a živinný režim	omezená, rozkolísaný vodní a vzdušný režim, nedostatečné uvolňování živin

### Vodostálost agregátů

Vodní a chemická stabilita agregátů ve vodě, tzv. vodostálost, je dle novějších názorů působena koloidně chemickými vlivy a vlivy biologickými. Nejstálější drobtý tvoří půdy s nasyceným sorpčním komplexem, tj. s nadbytkem Ca, Mg v sorpčním komplexu resp. v půdách s dostatečnou zásobou  $\text{CaCO}_3$ , např. v černozemích, slínovatkách a také v hnědozemích. Labilní drobtý nestálé jsou v půdách „nestrukturních“, kde sorpční komplex má nadbytek jednomocných kationtů, zvláště Na, např. ve slanci. Vodostálost a mechanická pevnost agregátů jsou rovněž závislé na obsahu vody v půdě (HASLBACH A VACULÍK, 1980).

Humínové kyseliny nasycené dvojmocným vápníkem a hořčíkem vytváří humáty vápenaté a hořečnaté. Tyto sloučeniny se podílejí na vodostálosti půdní struktury, tj. odolnosti půdy vůči rozplavování půdních drobtů. Dvojmocné kationty chrání půdní koloidy před peptizací a způsobují naopak jejich koagulaci (KOHOUT ET AL., 2002).

Různá intenzita zpracování půdy i hospodaření s posklizňovými zbytky rostlin se promítá nejen ve změnách základních fyzikálních vlastností půdy, ale i ve změnách struktury půdy. Strukturní stav půdy je významným prvkem půdní úrodnosti. Snížení hloubky a intenzity zpracování půdy a ponechání zbytků rostlin na jejím povrchu většinou vede ke zlepšení půdní struktury - k vyššímu zastoupení agronomicky cenných strukturních agregátů i ke zvyšování jejich vodostálosti (HŮLA, PROCHÁZKOVÁ ET AL., 2008).

Řada autorů (KLADIVKO, 2001; HERNANZ ET AL., 2002) uvádí pozitivní vliv snížené intenzity zpracování půdy na její strukturní stav a vodostálost půdních agregátů a s tím související zlepšení infiltrační schopnosti a snížení eroze půdy. HUSSAIN ET AL. (1998) ovšem uvádějí, že i použití minimalizačních technologií v nevhodných podmínkách může vést k poškození půdní struktury.

JAVŮREK ET AL. (2007) na základě svých studií dospěli k závěru, že mechanicky nezpracovávané půdy mohou být významně odolnější proti vodní erozi, než půdy obdělávané klasicky, protože obsahují téměř dvojnásobné množství stabilních a vodě odolných půdních agregátů. To svědčí o vyšší kvalitativní úrovni půdní struktury v mechanicky neobdělávané půdě. Mechanické kypření půd konvenčně obdělávaných působí částečnou destrukci půdních agregátů, čímž se ztrácí jejich schopnost odolávat účinkům vody.

### Zjišťování vodostálosti agregátů

Existuje mnoho metod stanovení stability agregátů, které se liší množstvím energie aplikovaným na rozbor vzorku. ROHOŠKOVÁ A VALLA (2004) se zabývali porovnáním dvou metod stanovení stability agregátů: metoda navržená autorem LE BISSONNAIS (1996) se skládá ze tří testů a dovoluje jednoznačně oddělit působení jednotlivých desagregačních mechanismů. Výsledek je vyjádřen koeficientem vulnerability ( $K_v$ ). Výsledek druhé metody, stanovení množství ve vodě stabilních agregátů (NIMNO A PERKINS, 2002), je vyjádřen indexem WSA (water stable aggregates). WSA nejvíce odpovídá výsledkům testu, jímž je hodnocen rozpad agregátů při prudkém ovlhčení. Byly zjištěny silné, statisticky průkazné závislosti mezi WSA a  $K_v$  pro všechny testy. Závěrem bylo, že výsledky obou metod jsou srovnatelné.

LEDVINA ET AL. (1988) uvádějí postup stanovení vodostálosti makrostruktury podle Savvinova. Metoda sestává ze dvou částí: frakcionace původního vzorku na sítích za sucha (suché prosévání) a frakcionace na sítích ve vodě (mokré prosévání). V prvním případě se získají velikostní frakce strukturních agregátů, ve druhém se stanoví množství vodostálých agregátů, tj. kvalita struktury vyjádřená vodostálostí agregátů. V poslední době jsou navrhovány rovněž metody na principu desagregace ultrazvukem ve vodním prostředí. Jedna z alternativ navržená MENTLEREM ET AL. (2004) byla použita i pro odhad vodostálosti agregátů v pokusu ve Studené.

#### 2.3.8 Kompakce (zhutnění) zemědělských půd

Zhutnění zemědělské půdy vzniká, jestliže dojde k zásadnímu narušení rovnovážného objemového stavu s kritickým poklesem podílu pórů. Kritický pokles objemu pórů při zhutnění se spojuje především s poklesem podílu hrubých, nekapilárních pórů, které jsou zodpovědné za rychlé vsakování vody do půdy, dobrou vnitropůdní drenáž a aeraci půdy (ZRUBEC, 1998). Hodnocením fyzikálních vlastností našich půd se zabývá ŠKODA (1997), který konstatuje, že nejsou na uspokojivé úrovni. Půdy jsou snadno uléhavé, mají sklon ke zhutňování nejen v orniční vrstvě, ale i v podorničí nejsou dostatečně rozdrobeny. To negativně ovlivňuje nejen vzájemný poměr mezi vodou a vzduchem v půdě, mikrobiální činnost půdy, ale i zdravotní stav porostu a výnosy plodin.

Rozlišují se dva základní typy zhutnění půdy - strukturní a texturní. Oba se vyskytují jak při přirozeném, tak při technologickém zhutnění půdy. Při strukturním zhutnění se vytváří změna uložení nebo uspořádání strukturních agregátů (LEDVINA ET AL., 2000). Při texturním zhutnění nastává narušení či destrukce strukturních agregátů rozpadem, což způsobí změnu uložení a uspořádání půdních částic. Při vratném zhutnění se půda lehce vrací do stavu před zhutněním, nebo existuje zhutnění nevratné, kdy poškozená půda není schopná zregenerovat do původního stavu vnitropůdními silami (ZRUBEC, 1998).

Se změnou fyzikálních vlastností půdy způsobenou nadměrným zhutněním se zásadně mění chování půdy a její reakce nejenom vůči působení mechanických sil aplikovaných zpracováním půdy, ale také vůči působení dešťových kapek. Mění se podmínky pro průběh ostatních fyzikálních, chemických a biologických procesů v půdě. Dochází k narušení základních ekologických a produkčních funkcí takto poškozených půd (DANFORS ET AL., 1992). Podle ŠIMONA A LHOTSKÉHO (1989) kritické hodnoty škodlivého zhutnění jsou následující (tabulka č.3):

Tabulka č. 3 : Kritické hodnoty škodlivého zhutnění (ŠIMON, LHOTSKÝ, 1989)

Kritická vlast.	Půdní druh (obsah částic < 0,01 mm v %)					
	<b>jíl</b> 75	<b>jílovitá až jílovitohlin.</b> 75 - 45	<b>hlinitá</b> 45 - 30	<b>písčito-hlinitá</b> 30 - 20	<b>hlinito-písčitá</b> 20 - 10	<b>písčitá</b> 10
Objemová hmotnost (red) (g.cm <sup>-3</sup> )	<b>1,35</b>	<b>1,4</b>	<b>1,45</b>	<b>1,55</b>	<b>1,6</b>	<b>1,7</b>
Penetrometr. odpor (MPa)	<b>2,8 - 3,1</b>	<b>3,2 - 3,7</b>	<b>3,8 - 4,2</b>	<b>4,5 - 5,0</b>	<b>5,5</b>	<b>6,0</b>
Při vlhkosti v (% hmot.)	<b>28 - 25</b>	<b>24 - 20</b>	<b>18 - 16</b>	<b>15 - 13</b>	<b>12</b>	<b>10</b>
Pórovitost (%)	<b>48</b>	<b>47</b>	<b>45</b>	<b>42</b>	<b>40</b>	<b>30</b>
Minimální vzdušná kapacita (%)	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>

#### Příčiny nadměrné kompakce půd

Primárními faktory je působení přírodních sil na půdu a jejich interakce s vnitropůdními silami. Jejich působením dochází k neustálým změnám půdního systému, přičemž se mění nejen objemový poměr mezi jednotlivými fázemi půdního



systemu, ale také vlastní objem půdy. Vlivem změn obsahu vody a vzduchu v půdě, změn teplot půdy a skupenství dochází z časového i prostorového hlediska k nerovnoměrným tlakům a k vytvoření vnitropůdních stresů, které vyvolávají objemové změny půdy. Přitom se často mění objemová hmotnost a forma uspořádání půdních částic a agregátů (ARVIDSSON A HAKANSSON, 1992).

Nadměrné zhutňování půdy také přičítáme technologickým vlivům, které jsou spojené s nedostatky hospodaření na půdě, jako je jednostranná intenzifikace výrobního procesu, nevhodná struktura osevního postupu, a to hlavně nízký podíl plodin zlepšujících a stabilizujících strukturu půdy. Dále je to nedocnění významu organických hnojiv, nepříznivé působení aplikace nekvalitní kejdy a zanedbání udržovacího vápnění. Neméně závažné jsou nedostatky v organizačním uspořádání půdního fondu, nadměrná velikost a nevhodný tvar honů (ZRUBEC, 1998).

Příčiny zhutňování našich orných půd jsou vesměs vyvolané jednostrannou intenzifikací hospodaření na půdě (LHOTSKÝ ET AL., 1994). Asi nejzávažnější příčinou zhutnění půd z technologického pohledu jsou časté přejezdy těžkých mechanismů a hlavně dopravních prostředků po poli za nadměrné vlhkosti půdy, kdy některé plochy jsou přejeté až 9krát (ALBLAS ET. AL., 1994). Rozhodující je zde ale (kromě vlhkosti) měrný tlak na půdu, jehož snížení ve většině západních zemí je dosahováno dvoj či trojmontážemi flotačními pneumatikami nebo pásy, což v současných ekonomických podmínkách většiny českých zemědělských subjektů je nereálné (HORÁČEK ET AL., 2009). Zhutnění půdy vlivem tlaku kol těžkých mechanizačních a dopravních prostředků se soustřeďuje do hořejších vrstev půdy. Zapříčiňuje pokles povrchu půdy v koleji, vede k poklesu půdního objemu, snížení pórovitosti a naroste objemová hmotnost (ALBLAS ET. AL., 1994).

Na škodlivé zhutnění mají podstatný vliv i různé technologie zpracování půdy. Nekvalitně provedená orba za nadměrné vlhkosti nebo stejná hloubka orby může způsobit sekundární zhutnění podorničí s velmi nepříznivým dosahem na urychlení procesů zhutnění v ornici a v podorničí (ZRUBEC, 1998). JABRO ET AL. (2009) zkoumali vliv zpracování půdy na některé její fyzikální vlastnosti na dvou místech Great Plains. Srovnávali vliv konvenčního a pásového zpracování půdy (strip-tillage) zejména na objemovou hmotnost. Zatímco v místě s jílovitohlinitou půdou (Montana) způsob jejího zpracování objemovou hmotnost ovlivnil výrazně, v písčitohlinité půdě (Severní Dakota) nebyly rozdíly v hodnotách objemové

hmotnosti téměř patrné. Ovšem také došli k závěru, že operace konvenčního způsobu obdělávání zvýšily zhutnění podorničí.

Půdoochranným zpracování půdy a jeho vlivem na zhutnění se zabývali JAVŮREK A VACH (2003), kteří na základě osmiletých polních pokusů s půdoochrannými technologiemi ve VÚRV v Praze-Ruzyni (luvizem, půda jílovitohlinitá) konstatovali, že při jejich víceletém používání dochází ke snižování půdního zhutnění v podorniční vrstvě oproti technologii konvenční.

Právě problematice zhutnění podorničí se věnovali OLSEN A BØRRESEN (1997), kteří naměřili zhutnění půdy nejen v ornici, ale právě i v podorničí. Opakovaný přejezd se projevil podobně jako vyšší kontaktní tlak, ale až ve větší hloubce. Nadměrné zhutnění indikovali až do hloubky 0,6-0,7 m. Protože únosnost podorničí byla nižší než u ornice a byla mimo dosah běžné agrotechniky, nepříznivé vlivy zhutnění a jeho nežádoucí vlivy se zde akumulovaly. Pod vrstvou pravidelně kypřenou orbou bylo velmi málo makropórů a objemová hmotnost byla vyšší.

HORÁČEK ET AL. (2009) se zabývali sledováním kompakce půdy v redukováných systémech jejího zpracování, a to na kambizemi (Studená) a černozemi (Gross Enzersdorf). Shledali, že hodnoty objemové hmotnosti Or a penetrometrického odporu půdy korespondovaly obzvláště s hloubkou kultivace půdy. U černozemě byla hodnota Or při minimalizačním zpracování vyšší do hloubky 0,25 m než u varianty konvenčního zpracování, ale v hloubce 0,25–0,5 m byly její hodnoty nižší než u konvenčního zpracování. Kambizemě ukázaly vyšší hodnoty Or než černozemě v celém testovaném profilu. Výsledkem bylo, že hodnoty Or jsou příznivější v konvenční variantě zpracování půdy do hloubky 0,25 m, ovšem v hloubce vyšší než 0,25 m je hodnota Or naopak příznivější při minimalizačním zpracování půdy. V porovnání půdních typů je černozem jednoznačně odolnější vůči kompakci (ale i jiným degradačním vlivům) než kambizem.

#### Důsledky nadměrného zhutnění

Kritické zhoršení fyzikálních, chemických a biologických vlastností zhutněním půdy vede časem k degradaci půd a k ohrožení pozitivního vývoje půdní úrodnosti v budoucnosti. Zvýšená objemová hmotnost, snížená pórovitost, zhoršená skladba pórů s minimálním zastoupením hrubých nekapilárních pórů vede k snížení infiltrační schopnosti půdy a její aerační a vnitrodrenážní schopnosti. Půdy jsou

nadměrně tvrdé. Kladou vysoký mechanický odpor proti pronikajícím kořínkům rostlin nebo proti náradí při zpracování půdy (ALBLAS ET AL., 1994).

Nadměrné zhutnění půdy nepříznivě ovlivňuje hospodaření půdy s vodou. Na zhutněných půdách v rovinných oblastech a v depresivních polohách v době vydatných dešťů dochází k povrchovému zamokření (LOGSDON ET. AL., 1987). Zhutněná ornice ve svažitém terénu zvyšuje povrchový odtok vody z půdy a způsobuje její poškozování vodní erozí, obzvláště v místech mechanikou vyjetých kolejí (BATEY, 2009). Tímto se nejen zvyšuje deficit vody, ale spolu s vodou se odplavují humus, živiny, jíl a ostatní půdní složky (LOGSDON ET. AL., 1987).

Při konvenčním zpracování půdy je ve vrstvě pod oranou vrstvou přerušen tok vody. Půdní voda vzlíná na povrch přímo úměrně hydraulické vodivosti. Takže tok půdní vody je rychlý až do místa, kde začíná zhutněná vrstva pod ornici. Zde je tok zbrzděn vzhledem k nízké hydraulické vodivosti této vrstvy. Naopak při půdoochranném zpracování neroste půdní zhutnění úměrně podle hloubky zpracování půdy a není přerušena kapilární vodivost (OLSEN A BØRRESEN, 1997).

Nadměrné zhutnění půdy má i podstatný vliv na růst rostlin, avšak jednotlivé plodiny reagují na zhutnění půdy velmi rozdílně. Velmi citlivé na zhutnění jsou okopaniny (cukrovka, brambory). Také kořeny kukuřice a technických plodin se nemohou dobře rozvinout v nadměrně zhutněných půdách. Méně citlivé na zhutnění jsou ozimé obiloviny, více jařiny (ZRUBEC, 1998).

#### Odstranění zhutnění půd

Preventivní půdoochranná opatření proti nadměrnému zhutnění půd spočívají v odlehčení pojezdových mechanismů používaných na půdě, snížení počtu přejezdů, uplatnění bezpojezdových technologií a technologií s řízenými přejezdy po poli a vyloučení, nebo alespoň omezení dopravy po poli. Především je to však dodržování technologické disciplíny při zpracování půdy, což znamená zpracovávat půdu ve vhodném vlhkostním stavu (ZRUBEC, 1998).

Obecně se uvádí několik doporučení, jak odstranit zhutnění půd. Jedním z nich je odstranit nebo zmírnit deficitní vlastnosti půdy nebo bariéry v půdním profilu, které způsobují omezení produkčních nebo reprodukčních funkcí půdy. Tento požadavek zajišťují při půdoochranném zpracování půdy vyšší populace

hlubokožijících žížal, které vytváří kanálky ve zhutnělé vrstvě mezi ornici a podornicím (EKEBERG, 1992; HORSCH, 1990).

Další možností je zlepšení vsakování vody do půdy, zabezpečení jejího rovnoměrného rozdělení v půdním profilu a lepší akumulaci vody v půdě, což při půdoochranném zpracování půdy zajišťuje povrchový mulč. Podmínkou je však nezhutnělá vrstva v podornici. Zvýšení vlhkosti v povrchové vrstvě může znamenat růst výnosu (VARSA ET AL., 1997).

SÁŇKA A MATERNA (2004) navrhují tyto preventivní a nápravné prostředky pro omezování degradace půd zhutněním:

- zpracování půdy ve vhodném vlhkostním stavu,
- omezení přejezdů těžkých mechanismů, počtu přejezdů, pojezdů na jaře a po orbě, ježdění v téže koleji, rozložení hmotnosti pojezdových vozidel,
- vhodná protierozní ochrana půd,
- dostatečné organické hnojení a vápnění, zlepšování podmínek pro biologické procesy v půdě,
- vhodné ovlivňování vodního režimu (infiltrace a akumulace vody v půdě – spojitost s protierozními opatřeními)
- vyvážené osevní postupy.

Mezi chemické příčiny zhutňování patří také např. nevhodná skladba průmyslových hnojiv s vysokým podílem jednomocných kationtů způsobujících peptizaci půdních koloidů ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) či nedostatečné vápnění. Další opatření proti zhutnění půd lze tedy vidět v udržování příznivé půdní reakce. Účinnou cestou ke snížení stability koloidních systémů a k podpoření koagulace je obecně zvýšení koncentrace zásaditých iontů v půdě, především  $\text{Ca}^{2+}$  event.  $\text{Mg}^{2+}$  (vápnění kyselých půd) (LEDVINA, 2000).

#### Měření kompakce

Osvědčeným indikátorem zhutnění půd je výskyt dočasně zamokřených míst se stagnující vodou na povrchu půdy po vydatných deštích (na rovinách) nebo výskyt půd s nadměrnou erozí (na svazích), plochy se špatným vzcházením rostlin, zažloutlé a nevyrovnané porosty, silný přísušek na povrchu půdy či široké půdní trhliny v době sucha (ZRUBEC, 1998). Obecně lze určit zhutnění půdy také na základě hodnot celkové pórovitosti a objemové hmotnosti redukované ve vztahu k zrnitosti,

respektive ke kritickým hodnotám celkové pórovitosti a objemové hmotnosti redukované u daného půdního druhu. Rychlejší a méně pracnou možností zjištění nadměrné kompakce půdy je měření penetrometrického odporu půdy pomocí ručních či mobilních penetrometrických sond (HORÁČEK ET AL., 1999). Ovšem i při prováděné korekci na vlhkost by pro větší objektivitu výsledků bylo třeba dále zpřesnit korekční mechanismy (HORÁČEK ET AL., 2009).

Vlastní penetrometrické měření se vykonává na základě vytyčené sítě měřících stanovišť. Rozpětí těchto stanovišť se určí na základě homogenity nebo heterogenity půdních podmínek a reliéfu daného území. Pohybuje se v rozmezí 50-150 m. Horní hranice se vztahuje na plochy s jednoduchým, vyrovnaným reliéfem a s homogenním půdním pokryvem. Dolní hranice platí pro plochy s členitým reliéfem a s heterogenním půdním pokryvem. Vytyčená místa se vyznačí na mapě. Počet měřících vpichů na jednom stanovišti je 3-10 v závislosti na půdních podmínkách. Požadovaná rychlost vpichu je  $30 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Vzhledem k tomu, že mechanický odpor půdy oproti vnikající penetrometrické jehle je výrazně ovlivňován vlhkostí půdy, pak se současně s těmito měřeními musí zjistit vlhkost půdy (ZRUBEC, 1998).

Důležitá je dynamika penetrometrického odporu v průběhu roku a v celém půdním profilu, která se však ve vztahu k různým způsobům zpracování půdy podstatně liší (HORÁČEK ET AL., 1999). Např. ŠABATKA (1998) zjistil, že hodnota penetrometrického odporu po zasetí na neorané variantě je 2-3krát vyšší, ale nepřesahuje kritické hodnoty. V průběhu roku se však rozdíl snižují. Dále porovnával vliv různého zpracování půdy na odolnost půdy proti stlačování při přejezdu traktoru. Přejezd pneumatik traktoru se u orané parcely výrazně projevil od hloubky 0,175 m, kdy došlo k vyššímu stlačení než na parcele mělce zpracované. Posledním zjištěním bylo, že při dlouhodobém vynechání orby nedocházelo k nebezpečnému utužování půdy. Naopak u varianty s vynecháním orby od roku 1992 dochází od hloubky 0,32 m ke snížení utužení. U varianty, kdy bylo kontinuálně oráno každý rok byl zřetelný nárůst penetrometrického odporu s hloubkou v celém profilu ornice s výraznou změnou v hloubce  $>0,24 \text{ m}$ .

### 2.3.9 Eroze

Eroze značí činnost vody, větru a ledu, která způsobuje rozrušování půdního povrchu a přemísťování uvolněné hmoty do jiných poloh, kde se ukládají ve formě nánosu. Vodní a větrná eroze patří u nás mezi nejškodlivější přírodní jevy (HŮLA, PROCHÁZKOVÁ ET AL., 2008). Na území naší republiky je cca 50 % orné půdy ohroženo vodní erozí a téměř 10 % větrnou. Na převážné ploše erozí ohrožených půd není prováděna systematická ochrana, která by omezovala ztráty půdy na stanovené přípustné hodnoty, tím méně na úroveň, která by bránila dalšímu snižování mocnosti půdního profilu a ovlivňování kvality vod v důsledku pokračujícího procesu eroze (JANEČEK ET AL., 2007).

Vodní eroze je vyvolávána destrukční činností dešťových kapek a povrchového odtoku a následným transportem uvolněných půdních částic povrchovým odtokem. Intenzita vodní eroze je dána charakterem srážek a povrchového odtoku, půdními poměry, morfologií území (sklonem, délkou a tvarem svahů), vegetačními poměry a způsobem využití pozemků, včetně používaných agrotechnologií. Uvolňování a transport půdních částic může být vyvolán i odtokem z tajícího sněhu (JANEČEK ET AL., 2007). Vodní eroze má za následek odnos nejkvalitnějších vrchních částí půdního profilu, čímž se snižuje mocnost orní vrstvy, obsah humusu, zhoršují se fyzikální a chemické vlastnosti půd a celková jejich úrodnost. Smyté částice půdy současně zanášejí odvodňovací odpady, vodní toky a nádrže, znečišťují vodní zdroje, intravilány a celkově nepříznivě ovlivňují životní prostředí (JEŽEK, 1987).

Větrná eroze je přírodní jev, při kterém vítr působí na půdní povrch, svou mechanickou silou rozrušuje půdu a uvolňuje půdní částice, které uvádí do pohybu a přenáší je na různou vzdálenost, kde se po snížení rychlosti větru ukládají. Rozhodující složkou větrné eroze je vítr, jeho unášecí síla je závislá na rychlosti větrného proudu, době trvání a četnosti i výskytu větrů. Důležitým faktorem ovlivňujícím průběh větrné eroze je stav a povaha půdy a odpor půdních částic. Ten je dán, kromě velikosti a tvaru částic, především strukturou půdy, vlhkostí půdy, drsností půdního povrchu a rostlinným krytem (JANEČEK ET AL., 2007). Větrná eroze odnáší nejjemnější části, odkrývá kořínky mladých rostlin, poškozují je a zanáší příkopy a komunikace. Přitom erozně jsou nejvíce poškozovány především naše

nejkvalitnější půdy vzniklé na spraších, na sprašových hlínách a na svahovinách (JEŽEK, 1987).

Pro snížení rizika působení eroze je třeba provádět protierozní ochranu půdy. Protierozní ochrana je soubor opatření k zeslabení nebo zamezení účinku eroze na půdu, půdní vláhu a povrchovou vodu pěstované plodiny (HŮLA, PROCHÁZKOVÁ ET AL., 2008). Základním principem protierozní ochrany je pěstování plodin s vysokým protierozním účinkem na sklonitých a erozí ohrožených pozemcích. Erozně ohrožená půda by neměla po delší dobu zůstat bez vegetačního pokryvu (KVÍTEK, TIPPL, 2003). O použití jednotlivých způsobů ochrany ovšem rozhoduje jejich účinnost, požadované snížení smyvu půdy a nutná ochrana objektů při respektování zájmů vlastníků a uživatelů půdy, ochrany přírody, životního prostředí a tvorby krajiny. Ve většině případů jde o komplex organizačních, agrotechnických a technických opatření, vzájemně se doplňujících a respektujících současné základní požadavky a možnosti zemědělské výroby (JANEČEK ET AL., 2007).

## **2.4 Fyzikálně-chemické vlastnosti půdy**

### **2.4.1 Půdní reakce**

Půdní reakce je významným agrochemickým ukazatelem půdní úrodnosti, protože přímo ovlivňuje chemické, biologické a mnohé fyzikální vlastnosti půd. Je v úzkém vztahu s obsahem rostlinám přístupných živin v půdě, s kvalitou humusu a půdní strukturou. Má vliv i na vznik, hromadění a mobilizaci toxických látek v půdě (ČURLÍK ET AL., 2003).

Reakce půdy je dána přítomností a koncentrací (přesněji aktivitou) vodíkových iontů. Ty se ve vodných roztocích spojují s molekulou vody a tvoří s ní hydroxoniové ionty  $H_3O^+$ . Pro snazší vyjádření koncentrace hydroxoniových iontů byl zaveden pojem pH jako záporně vzatý dekadický logaritmus této koncentrace, respektive aktivity (PAVEL, 1984).

V půdním roztoku rozpuštěné kyseliny a koloidní acidoidy uvolňují vodíkové ionty (disociace), rozpuštěné zásady (báze) a koloidní bazidoidy se s nimi slučují (asociace). Půdní reakce je tedy dána rovnovážným stavem mezi disociací a asociací  $H^+$  resp.  $H_3O^+$  iontů. Reakce půdy ovlivňuje v rozhodující míře vývoj půdy –

zvětrávání půdotvorných minerálů, translokaci produktů hydrolyzy, biologickou činnost v půdě, přeměny organické hmoty, humifikaci a dostupnost živin. Půdní reakce může být kyselá, neutrální nebo alkalická. (LEDVINA ET AL., 2000).

Aktivní kyselost půdy je způsobena rozpuštěnými volnými ionty vodíku v půdním roztoku, uvolněnými disociací z minerálních i organických kyselin, kyselých solí i koloidních acidoidů. Zjišťuje se nejčastěji potenciometricky měřením koncentrace iontu  $H^+$  v izolovaném půdním roztoku, nasycené půdní pastě, nebo v půdní suspenzi (VALLA, 1980).

Výměnnou kyselost půd způsobují adsorbované ionty H a Al (Fe), jež se uvolňují do půdního roztoku nebo extraktu při výměně za bazické kationty solí obsažených v roztoku. Výměnná kyselost se zjišťuje buď nejčastěji měřením koncentrace  $H^+$  ve výluhu půdy roztokem KCl, určité, většinou 1M koncentrace, příp. 0,5M  $CaCl_2$ , nebo v nasycené půdní pastě, připravené ze zeminy a roztoku soli. Vyjadřuje se jako reakce  $pH_{KCl}$  půdy (PAVEL, 1984).

Orientačně lze pH roztoků (suspenzí) zjistit i pomocí reagenčních pH papírků různé citlivosti resp. půdních testů, či čidel různé konstrukce, resp. přenosných pH metrů (HORÁČEK ET AL., 1994).

#### Příčiny kyselosti půdy

Mezi hlavní zdroje kyselosti patří složení a vlastnosti geologicko-petrografického substrátu, oxid uhličitý, fyziologicky kyselá hnojiva a v půdě vznikající soli a kyseliny, oxidace sloučenin síry a také humusové a jiné organické kyseliny.

**Půdotvorný substrát** je výchozím materiálem, ze kterého půda vzniká, a předmětem přeměn probíhajících v půdě. Petrologické složení substrátu ovlivňuje rychlost tvorby půdy (zvětrávání pevných hornin), s tím související hloubku půdy a její zrnitostní složení, na kterém závisí fyzikální, fyzikálně-chemické, biologické i další půdní vlastnosti. Chemismus se při vývoji půd nejvýrazněji uplatňuje v souvislosti s obsahem bází, zejména vápníku a hořčíku, na jejichž množství závisí rychlost vyluhování půdy (TOMÁŠEK, 2007).

**Oxid uhličitý** je produkován v biologicky činných půdách ve velkém množství, rozpouští se v půdním roztoku podle jeho parciálního tlaku v půdním vzduchu a vzniká  $HCO_3^-$  a  $H^+$ . Oxid uhličitý v půdním roztoku rozpuštěný ( kyselina



uhličitá) je jedním z hlavních zdrojů slabé kyselosti půd v rozmezí pH 5-7. CO<sub>2</sub> vzniká v půdě dýcháním mikroorganismů, edafonu a rostlinných kořínků a je také produktem biochemické dekarboxylace organických karbonových kyselin (MARENDIAK ET AL., 1987).

**Hnojiva a v půdě vznikající soli a kyseliny** mění půdní reakci v důsledku nerovnoměrné absorpce kationtů a aniontů hnojiv mikroorganismy a rostlinami. Příkladem mohou být síran amonný, draselná hnojiva a superfosfáty. Nejvýrazněji fyziologicky kyselým hnojivem je síran amonný, jehož kationt je dusíkatou živinou a aniont dává vznik silně disociované kyseliny sírové (MATULA, 1987).

Kyselost půdy, kterou způsobuje **oxidace sloučenin síry**, vzniká především oxidací pyritu (FeS<sub>2</sub>) a jiných sulfidů, které jsou v půdotvorných sloučeninách obsaženy jako akcesorické minerály. V průmyslových oblastech dochází k akumulaci SO<sub>2</sub> v půdě, kam se dostává z exhalací deštěm a je rovněž oxidován na kyselinu sírovou (TESAŘ ET AL., 1992).

Poslední příčinou jsou **humusové a jiné organické kyseliny**, které se hromadí v povrchové vrstvě půdy, tvoří se v půdě činností mikroorganismů a jsou vylučovány edafonem a kořínky rostlin do půdy, takže mohou způsobovat i silnou kyselost půdy. Při omezené mineralizaci (těžší a vlhké půdy) se tvoří vrstva netransformované organické hmoty, která obsahuje mnoho disociovaných organických kyselin, jež se rozpouštějí v dešťové vodě a zasakují se s ní do půdy. Zdrojem H<sup>+</sup> iontů jsou především silné vysokomolekulární organické kyseliny ze skupiny fulvolátek (KOLÁŘ, 1988). Jejich tvorba však záleží i na charakteru primární organické hmoty, respektive pěstované plodiny. Např. kukuřice poskytuje při transformaci posklizňových zbytků více fulvokyselin nežli víceleté pícniny (HORÁČEK, 1995).

Kyselost půdy vzniká snadno v humidním klimatu, při převaze srážek nad evaporací, za takových podmínek převažuje pohyb vody od povrchu do větší hloubky. Perkolace vody profilem půdy je spojena s vyluhováním i málo rozpustných solí (např. CaCO<sub>3</sub>) a desorbovaných kationtů ze svrchních vrstev půdy (LEDVINA ET AL., 2000).

### Vliv technologie zpracování půdy na půdní reakci

Cílem jednotlivých autorů, kteří zkoumali vliv půdoochranného zpracování půdy na půdní reakci, bylo popsat změny hodnot pH v půdním profilu a faktory, které tyto změny způsobují. Podle BLEVINSE ET AL. (1977) a DICKA (1983) byla půdní reakce velmi ovlivněna kontinuálním půdoochranným zpracováním půdy hlavně v povrchové vrstvě (0-50 mm), kde byl zaznamenán pokles pH až o 0,24 jednotky oproti orbě. Důvodem zvýšené kyselosti bylo nemixování půdního profilu, povrchové hnojení N a zvýšení obsahu půdní organické hmoty, a to zejména jejích kyselých frakcí (fulvokyselin). Obecně byl zjištěn větší pokles půdní reakce na lehkých půdách ve srovnání s těžkými. Důvodem měla být nižší pufrovitost lehkých půd.

Velmi významné pro změnu půdní reakce je především hnojení dusíkem a jeho přeměny. SALINAS-GARCIA ET AL. (1997) konstatovali, že při intenzivním zemědělství velmi silně ovlivňuje reakci půdy hnojení dusíkem, kdy vysoké dávky N výrazně snižují půdní pH. Avšak neprokázaly se významné rozdíly půdní reakce mezi různými technologiemi zpracování půdy ani mezi jednotlivými hloubkami půdy. Naopak BLEVINS ET AL. (1977) zaznamenali v Kentucky malý pokles půdního pH po pětiletém kontinuálním pěstování kukuřice půdoochrannou i konvenční technologií o 0,02-0,03 jednotky pH na každý g aplikovaného  $N \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$  v hloubce 0-0,05 m a v hloubce 0,05-0,15 m, ale tento efekt nebyl již zjištěn v hloubce 0,15-0,3 m.

Dalším agronomickým opatřením, které může způsobit změnu půdní reakce, je spálení strniště, což je způsob odstranění strniště při půdoochranných technologiích v Austrálii. Při spálení strniště odstraníme půdní organickou hmotu, která má většinou kyselý charakter a vrátíme alkalické minerály do půdy, takže můžeme očekávat vyšší pH v povrchové vrstvě (HEENAN A TAYLOR, 1995). Naopak ponechané strniště zapříčiňuje vyšší mineralizaci a nitrifikaci. Vznikající nitráty se mohou vyplavit s bazickými kationty a následně může poklesnout i půdní reakce (HEENAN A CHAN, 1992).

#### 2.4.2 Pufrovací schopnost půd

Pufrování čili ústojná schopnost půd je schopnost bránit se změnám pH, tedy udržovat víceméně stálou koncentraci  $H^+$  v půdním roztoku (KOLÁŘ, 1987).

Ústojnost půdy spočívá podle LEDVINY ET AL. (2000) v přítomnosti ústojných systémů, které se skládají ze slabé kyseliny a její hydrolyzované soli. Jako kyselá složka ústojných systémů se v půdě uplatňují zejména huminové kyseliny, kyselina uhličitá, fosforečná a křemičitá a koloidní alumosilikáty acidoidní povahy. Nejvíce se podílí na ústojné schopnosti humózních půd adsorpčně nasycený humus. Je-li silně nasycen výměnnými bázemi, snadno odstraňuje vznikající kyselost výměnnou bází za  $H^+$  půdního roztoku, kde spolu s  $OH^-$  vytvoří málo disociovanou vodu. Podobně působí i jílové minerály, jejichž příspěvek k ústojnosti půd je menší a klesá s jejich výměnnou kapacitou (KOLÁŘ, 1987).

Vliv půdoochranného zpracování půdy na pufrovitost půd studoval například LAL (1982). Zjistil, že při dlouhodobém orebném zpracování půdy byla významně nižší pufrovitost půdy ve svrchní vrstvě půdy. Snížení pufrovitosti půd přisuzuje ztrátám půdní organické hmoty intenzivní mineralizací orbou. Naopak podle autorů CHAN ET AL. (1992) měla orba příznivý efekt na pufrovitost půd, protože zhomogenizovala půdu a obohatila svrchní vrstvy půdy jílovými částicemi z hlubších vrstev půdního profilu.

#### 2.4.3 Půdní sorpce

Podle způsobů zadržování látek v půdě jsou rozlišovány tyto hlavní mechanismy sorpce - mechanická, fyzikální, fyzikálně chemická výměnná, chemická a biologická (LEDVINA ET AL., 2000).

Nejvýznamnější z hlediska živinného režimu půd je fyzikálně chemická výměnná sorpce, která se projevuje výměnnou adsorbovaných kationtů a kationtů okolního půdního roztoku. Výměnnou sorpci kationtů vytváří sorpční komplex půdy, složený z minerální části (alumosilikátů) a organické části. Energie výměny kationtů je přímo úměrná jejich valenci a u kationtů stejné valence jejich atomové hmotnosti, iontovému poloměru, velikosti hydratačního obalu a jejich koncentraci respektive aktivitě (PAVEL ET AL., 1984).

VALLA ET AL., (1980) definoval iontovou výměnu jako reversibilní proces, při kterém jsou kationty a anionty vyměňovány mezi pevnou a kapalnou fází nebo mezi pevnými fázemi, jsou-li v těsném kontaktu. Maximální kationtová sorpční výměnná kapacita, která se zkratkovitě označuje KVK nebo písmenem T je definována jako celkové množství kationtů, které je schopna půda poutat a zároveň i uvolnit při pH 7 nebo jiném vhodném pH, a většinou se vyjadřuje v meq/100g zeminy, nebo též nověji v mmol.kg<sup>-1</sup> zeminy.

Výměna kationtů je důsledkem negativního elektrického náboje koloidních jílových a humusových částic. Existují dvě hlavní složky záporného náboje - konstantní (permanentní) náboj a variabilní, na pH závislý náboj. **Permanentní náboj** je způsoben isomorfní substitucí v krystalové mřížce jílových minerálů, a to zejména substitucí Al<sup>3+</sup> za Si<sup>4+</sup> ve vrstvě tetraedrů a Mg<sup>2+</sup> nebo Fe<sup>2+</sup> za Al<sup>3+</sup> ve vrstvě oktaedrů. **Variabilní náboj** vzniká na pH závislou disociací hydroxylových skupin. Při nízkém pH jsou silně sorbovány hydroxylové kationty Al, které „blokují“ negativní náboj. Při stoupajícím pH pak tyto kationty jsou sráženy jako hydroxid hlinitý a uvolňují tak záporný náboj. Záporný náboj je kompenzován adsorpcí kladně nabitých iontů, zejména Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> a Mn<sup>2+</sup> (PAVEL ET AL., 1984).

Problematikou kationtové výměnné kapacity (KVK) v souvislosti se zpracováním půdy se zabývali SALINAS-GARCIA ET AL. (1997). Podle jejich závěrů se KVK mění s půdní hloubkou, ale zpracováním půdy byla významně ovlivněna jenom ve svrchní vrstvě půdy 0-50 mm. Půdoochranné technologie, které nezapravují půdní zbytky a celkově nemixují půdu, snižují kationtovou výměnnou kapacitu povrchové vrstvy půdy. Průměrně poklesla KVK v této vrstvě při půdoochranných technologiích o 9,8 % oproti orbě. Efekt orby pro KVK byl v intenzivnějším míchání a obohacení povrchových vrstev půdou z nižších horizontů, které obsahovaly více jílu. Podobné výsledky byly dosaženy na těžkých molikových kalcerózních půdách, kde také půdoochranná technologie výrazně snižovala KVK v povrchové vrstvě (LAL ET AL., 1990).

Tyto výsledky se liší od zjištění CHANA ET AL. (1992) v dlouhodobé studii půdoochranné technologie, kde KVK v povrchové vrstvě půdy bylo výrazně vyšší než na orebné kontrole. Snížení KVK při konvenční technologii je způsobeno podle něho ztrátami půdní organické hmoty, které měly zřejmě větší význam než zvyšování

obsahu jílu z nižších vrstev. Toto potvrzují EKEBERG A RILEY (1997), kteří spojují vyšší KVK při půdoochranné technologii s vyšším obsahem půdní organické hmoty. Také HORÁČEK (2007) dospěl na základě dlouhodobého pokusu ve Studené k závěru, že celý bezorebný profil vykazuje v odpovídajících si hloubkách vyšší hodnoty sorpční kapacity (i když statisticky neprůkazné) než orba, což za předpokladu srovnatelné zrnitosti a obsahu jílových minerálů typu illitu ukazuje na kvalitnější HL v této variantě pokusu.

## **2.5 Půdní organická hmota**

### **2.5.1 Dělení půdní organické hmoty**

Půdní organická hmota je složitý, heterogenní, polydispersní soubor organických látek různého původu, s proměnlivým složením, stupněm dispersity, aktivity a tím i vztahem k ostatním složkám půdní hmoty (SOTÁKOVÁ, 1982).

V literatuře lze nalézt velké množství názvů a různé způsoby třídění půdní organické hmoty podle vývoje, kterým celá problematika humusu procházela. Komplikovanost půdní organické hmoty co do vzniku, dynamiky přeměn, složení apod. má za následek formulaci mnoha definic (HORÁČEK, 1995).

Z hlediska vyjasnění v práci používané terminologie i z hlediska logického a praktického zde bude respektováno základní třídění podle VALLY, (1980), kde půdní organická hmota je brána jako soubor neživých organických látek s následným dělením :

- 1) Humusotvorný materiál (zejména odumřelé zbytky rostlin, živočichů a mikroorganismů nepodléhající dosud transformačním pochodům).
- 2) Meziprodukty rozkladu a syntézy (mezistupně přeměn humusotvorného materiálu - látky nespecifické).
- 3) Humus (organická hmota prošlá humifikačními pochody - látky specificky půdní).

Další autoři používají i jiná třídění. Např. TATE (1987) dělí půdní organickou hmotu na dvě hlavní skupiny podle odolnosti k biologickému rozkladu a to na snadno metabolizovanou a velmi odolnou (humusové látky).

## 2.5.2 Funkce půdní organické hmoty

PRAX ET AL. (1995) shrnuli účinky organických látek na půdní úrodnost, s kterými se lze obecně ztotožnit, do následujících bodů:

1. Organické látky uvolňují při své mineralizaci nepřetržitě do půdy značná kvanta asimilovatelných rostlinných živin. Organická hmota v půdě tedy působí jako zásobárna rostlinných živin, které jsou plynule uvolňovány pro potřebu rostlin.

2. Humus se svými složkami aktivně spoluúčastní na stavbě sorpčního komplexu půdního. Zvýšení sorpční schopnosti půd se příznivě projevuje jednak v možnosti vytváření větší zásoby živin v půdě, jednak v omezení jejich ztrát, které mohou vzniknout vyplavením slabě poutaných živin do spodních vrstev půdy, mimo dosah kořenového systému rostlin.

3. Huminové látky podstatně ovlivňují agregační schopnost půd, čímž přímo ovlivňují jejich strukturní stav. To se projevuje v příznivějším vzdušném a vodním režimu, zvýšením vododržnosti u lehkých a zlepšením provětrávání a vedení vody u těžkých půd. Vytvořením drobtové struktury se zmenší neproduktivní výpar a tím se zvýší zásoba vody v půdním profilu.

4. U extrémních druhů půd (písčitých a jílovitých) se působením humusu značně zlepšují jejich fyzikálně-mechanické vlastnosti: snižuje se soudržnost těžkých půd a zvyšuje se naopak u půd lehkých.

5. Při rozkladu půdní organické hmoty se do půdního prostředí uvolňuje značné množství  $\text{CO}_2$ , organických kyselin a jiných látek, které urychlují a zintenzivňují zvětrávání minerální složky půdy a půda je tak obohacována o zásobu asimilovatelných živin.

6. Některé látkové skupiny humusu slouží jako energetický zdroj půdním mikroorganismům. Množstvím a kvalitou těchto látek je značně ovlivňováno složení půdní mikroflóry, rozvoj a působení biochemických procesů, zejména translokace a transformace živin, které jsou velmi důležité pro úrodnost půdy.

7. Některé huminové látky mají stimulační vliv na rozvoj kořenového systému rostlin i na růst celé rostliny.

### 2.5.3 Množství a kvalita půdní organické hmoty v půdě a její stanovení

V poslední době se zvyšuje význam hodnocení kvality organické hmoty v půdě. Kvalitu humusových látek můžeme posuzovat z celé řady hledisek, jako je poměr zhumifikované části půdní organické hmoty k celkovému Cox, vazby na minerální podíl půdy z pohledu dispersity humusových látek, jejich koagulačních vlastností, elementárního složení a z něho plynoucích poměrů základních prvků, množství a kvality funkčních skupin, stupně kondenzace aromatických jader humusových látek, zastoupení skupin určité relativní molekulové hmotnosti, sorpčně-iontovýměnných vlastností a koloidních vlastností (VALLA ET AL., 1980).

Pro hodnocení kvality půdní organické hmoty se u nás, ale i ve světě používají parametry stupeň humifikace (Sh), poměr huminových kyselin a fulvokyselin (HK:FK), barevný kvocient (Q 4/6) a poměr uhlíku a dusíku (C:N) (HŮLA, PROCHÁZKOVÁ ET AL., 2002).

Stupeň humifikace je nejčastěji definován jako poměr oxidovatelného uhlíku humusových látek, respektive humusových kyselin k celkovému uhlíku násobený stem, tedy  $Sh = \frac{Cox\ HK + Cox\ FK}{Cox\ celk.} \cdot 100$ , když někdy bývá v čitateli pouze Cox HK, někdy se naopak sem zahrnuje i Cox huminů (VALLA ET AL., 1980). Tento ukazatel jednoznačně lze doporučit podle HORÁČKA A LEDVINY (1993) pro praktické i výzkumné účely, neboť dobře koresponduje s ostatními kvalitativními parametry i ve složitějších půdních podmínkách. Jeho výhodou jsou i určené pevné kritériální hodnoty.

Nejpoužívanějším kvalitativním ukazatelem je však poměr huminových kyselin k fulvokyselinám, resp. poměr jejich oxidovatelného uhlíku. Podle PAVLA ET AL. (1984) je nutné poměr HK:FK vždy vztahovat pouze ke konkrétnímu půdnímu typu, neboť je jím více či méně charakterizován. Obecně lze říci, že čím je HK:FK vyšší, tím je vyšší i kvalita humusových látek, ale pevná kritériální stupnice zde chybí. Poměr HK:FK obecně vzrůstá s obsahem jílu a naopak se snižuje s klesajícím pH. Jak však zjistili KUBÁT ET AL. (2008), je tento poměr především funkcí stanoviště, resp. systému hospodářského využívání.

Druhým nejčastěji používaným kvalitativním kritériem půdní organické hmoty, resp. HL je tzv. barevný kvocient Q 4/6. Je to poměr absorbance alkalického výluhu humusových látek při většinou 465 a 65 nm. Obecně čím je jeho číselná hodnota nižší (obvykle se pohybuje v rozmezí 1-10), tím je v roztoku více

aromatických (a zároveň i kondenzovaných) systémů a tím usuzujeme i na vyšší kvalitu HL (HORÁČEK ET AL., 2008A). Zároveň je toto kritérium podobně jako poměr HK:FK využíváno v klasifikaci a oceňování půd pro charakteristiku zejména humusových horizontů (NĚMEČEK ET AL., 2001).

Dalším doporučovaným kritériem kvality organické hmoty je poměr C:N, a to buď celkový v půdě, nebo jen v humusových látkách. Jeho praktická využitelnost je v obou případech dobrá a primárně indukuje i stupeň humifikace, ale užívá se většinou jen v odborných pracích (HORÁČEK, 1995).

Nejvýznamnějším zjištěním z poslední doby je však to, že KUBÁT ET AL. (2008) došli na základě dlouhodobého výzkumu z množství stanovišť v ČR k závěru, že obsah půdní organické hmoty (organického C v půdě) není výrazně specifický pro jednotlivé půdní kategorie podle půdního typu ani podle půdního druhu. Stejně tak tomu je v případě členění sledovaných lokalit podle jejich nadmořské výšky. Neznamená to ovšem, že by vliv půdních a klimatických podmínek na utváření a stabilizaci organických látek v půdě byl nevýznamný. Je zřejmé, že obsah půdní organické hmoty v dané lokalitě ovlivňuje složitý komplex faktorů, který řídí procesy transformace organických látek v půdě.

#### 2.5.4 Vliv zpracování půdy na obsah a kvalitu POH

Základní rozdíl mezi půdoochranným a konvenčním zpracováním půdy je ve způsobu ukládání posklizňových zbytků a ve vytvořených podmínkách pro jejich rozklad (RAUS, 2000).

Podle KINSELLY (1998) zpracováním půdy a to hlavně orbou, která zapravuje posklizňové zbytky hlouběji, zrychlujeme rozklad organické hmoty - mineralizaci. Hlavní důvod je ve zvýšeném obsahu vzduchu v nakypřené ornici, který vytváří optimální podmínky pro mineralizaci organické hmoty v půdě. Výsledek je v momentálně větším množství uvolněných živin (hlavně dusíku) pro následující plodinu, ale zároveň vzrůstá degradace půdní organické hmoty. Velká část uvolněných živin, které jsou lépe přijatelné pro rostliny, je vyplavena nebo odnesena erozí.

HORÁČEK ET AL. (2001) porovnávali orbu a bezorebné zpracování v podrobné profilové studii v dlouhodobém polním pokusu (Schwandorf). V ornici do hloubky 0,3 m byl zaznamenán vyrovnaný obsah půdní organické hmoty, srovnatelný



s bezorebnou variantou. V hloubce pod 0,3 m však následuje strmý pokles jak obsahu organické hmoty, tak zhoršení jejích kvalitativních parametrů, takže v části profilu 0,3-0,55 m je obsah organické hmoty statisticky průkazně nižší proti stejné vrstvě u bezorebné technologie, a podobně je tomu u vybraných kvalitativních parametrů půdní organické hmoty. Z toho plyne, že i celý profil až do hloubky 0,55 m, zpracováváný orebně, má celkově nižší obsah organické hmoty proti bezorebné variantě.

Obdobné výsledky, ale s podstatně nižšími rozdíly mezi orbou a bezorebným zpracováním, byly zjištěny v dalších krátkodobých až střednědobých polních pokusech na kambizemích ČR (RAUS, 2000).

Při dlouhodobém zachování stejného vegetačního krytu (typu porostu) a stejného způsobu využití půdy se v půdě ustaví rovnovážný stav mezi přísunem a úbytkem organické hmoty. K hlavním příčinám, vedoucím k porušení této rovnováhy směrem ke snížení obsahu půdní organické hmoty a humusu, patří především snížený přísun humusotvorného materiálu (část je odebírána sklizněmi) a zpracování půdy, které mění dosavadní poměr mezi mineralizací a humifikací směrem ke zvýšené mineralizaci. Čím častěji se půda v průběhu roku zpracovává a čím více je při tom půda obracena orbou, zejména při pěstování okopanin, tím více se rovnováha posunuje směrem k nižšímu obsahu humusu. Tento nežádoucí trend je možno zmírnit nahrazením orby kypřícími zásahy při zpracování půdy (LEDVINA ET AL., 2000).

V přesném velkoparcelovém pokusu (černozem – Gross Enzersdorf) a ve střednědobém polním pokusu (kambizem – Studená) posuzovala ŠABATKOVÁ ET AL. (2006) kvantitativní změny půdní organické hmoty prostřednictvím určení obsahu Cox celkového, Cox HL a Chws při porovnání minimalizační technologie (MT) zpracování půdy s technologií konvenční (CT). U kambizemě nebyly v kvantitativních parametrech humusu zaznamenány v odpovídajících si hloubkách variant MT a CT žádné významné rozdíly, přesto nepatrně vyšší obsahy vykazuje varianta CT. U černozemě jsou rovněž hodnoty jednotlivých parametrů v odpovídajících si hloubkách podobné u obou variant. Ze srovnání půdních typů a většího rozptylu naměřených hodnot u kambizemě lze usuzovat na její větší „zranitelnost“ oproti černozemi.

### **3. CÍL PRÁCE**

Cílem této diplomové práce bylo porovnání vybraných fyzikálních a fyzikálně-chemických vlastností půdy, která je obdělávána konvenčním způsobem a té, na níž je využívána bezorebná technologie zpracování, a to na základě provozního pokusu na pozemcích zemědělského podniku STAGRA, s. r. o., Studená, kde se bezorebné zpracování půdy používá, kromě kontrolního konvenčně obdělávaného pokusného honu, kontinuálně již 16 let.

Zároveň byly hledány mezi jednotlivými půdními vlastnostmi korelační vztahy a jejich případné ovlivnění systémy zpracování půd.

### **4. MATERIÁL A METODIKA**

#### **4.1 Charakteristika stanoviště**

Vybraný pokusný hon stanoviště Olšany je součástí pozemků společnosti STAGRA, s. r. o., Studená v bramborářsko-ovesné výrobní oblasti a jeho nadmořská výška je kolem 600 m. Průměr srážek je 650 mm za rok, za vegetační období 413 mm a průměrná doba slunečního svitu za toto období je 1400 hodin. Půdním typem je kambizem, varianta arenická, hlinitopísčitého až písčitohlinitého zrnitostního složení dle Nováka (180-270 g.kg<sup>-1</sup> částic ≤0,01 mm).

#### **4.2 Použitá agrotechnika**

Ve vybrané lokalitě je kontinuálně od roku 1994 používáno půdoochranné zpracování půdy – systém HORSCH a na kontrolní části pozemku (cca 30 m široký pás) se od r. 1998 používala orba. Konvenční zpracování na tomto pásu pokračovalo až do r. 2009.

Systém bezorebného zpracování byl v první fázi, do r. 1996, realizován secím exaktorem SE 3 (Horsch) a v dalším období využitím radličkových secích strojů

Concord po předchozí mělké podmítce. V současnosti jsou používány kypřiče Horsch Terrano FX a Horsch Tiger MT a pro setí univerzální diskový secí stroj Horsch Pronto 8 DC.

Sled plodin v osevním postupu byl za posledních 8 let následující: 2002 – kukuřice, 2003 – bob s krycí plodinou, 2004 – jetel, 2005 – pšenice, 2006 – mák, 2007 – pšenice, 2008 – kukuřice, 2009 – pšenice, 2010 – mák, s organickým hnojením v dávce 20 t.ha<sup>-1</sup> pouze v r. 2002. V roce 2008 proběhlo v zájmové lokalitě vápnění vápencem v dávce 2 t.ha<sup>-1</sup>.

### **4.3 Odběr a úprava půdních vzorků**

Půdní vzorky byly odebrány neporušené (Kopeckého fyzikální válečky) a porušené pomocí kopaných sond z hloubek 0,05-0,10 m, 0,15-0,20 m a 0,25-0,30 m na bezorebně zpracované variantě (SH 5, SH 15 a SH 25) a na orebně zpracované variantě (SK 5, SK 15 a SK 25). Vzorky pro tuto práci byly odebrány na podzim 2009, těsně před sklizní plodin. Odběrová místa jsou pevně stanovena a situována v blízkosti rozhraní obou variant z důvodu omezení vlivu plošné heterogenity půdních vlastností pozemku, v pěti opakováních.

### **4.4 Metodiky stanovení fyzikálních vlastností půdy**

Z fyzikálních vlastností půdy byly stanoveny: zrnitost, měrná hmotnost (Mz), objemová hmotnost redukována (Or), celková pórovitost (Pc), kapilární pórovitost (Pk), provzdušněnost (Vz), vzdušná kapacita (KVz) a penetrometrický odpor půdy (p).

Pro charakteristiku půdní vody byly vybrány tyto hydrolimity - momentní vlhkost (Wmom), maximální kapilární vodní kapacita (MKK) a přibližná retenční vodní kapacita dvacetičtyřhodinová (RVK<sub>24</sub>).

Hodnoty podílů vodostálých agregátů byly převzaty z již řešených projektů Sekce agrochemie a pedologie katedry Agroekologie (nyní již nově Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií) ZF JU v Č. Budějovicích, která lokalitu dlouhodobě sleduje v rámci projektů MSM 600766 5806 a QD 57 042.

#### 4.4.1 Zrnitostní rozbor

Zrnitostní rozbor byl proveden pomocí hustoměrné metody (dle A. Casagrande), která je založena na následujícím principu: Speciálním hustoměrem se určuje pokles hustoty suspenze jako funkce času. Úbytek hustoty suspenze je způsoben postupným usazováním zeminných částic. Tato metoda patří do skupiny neopakované sedimentace, tj. všechna měření se konají během jednoho a téhož usazovacího procesu. Postup uvádí ve skriptech například HORÁČEK ET AL. (1994).

#### 4.4.2 Základní rozbor neporušeného půdního vzorku – hydrolimity

Rozborem neporušeného půdního vzorku získáme některé vodněvzdušné charakteristiky dané půdy v přirozeném stavu. Většinou to jsou  $W_{mom}$  (vlhkost momentní),  $N_s$  (nasákivost),  $W_{30'}$  (vlhkost třicetiminutová), MKK (maximální kapilární vodní kapacita),  $RVK_{24}$  (přibližná retenční vodní kapacita dvacetičtyřhodinová) a  $O_r$  (objemová hmotnost redukovaná). Pro účely této práce byly použity jen následující charakteristiky:  $W_{mom}$ , MKK,  $RVK_{24}$  a  $O_r$ . Rozbor odebíraných fyzikálních válečků o objemu  $100 \text{ cm}^3$  byl proveden podle běžné metodiky (VALLA, 1980).

#### 4.4.3 Půdní hmotnosti

##### **Objemová hmotnost redukovaná ( $O_r$ )**

Byla stanovena jako hmotnost objemu zeminy po vysušení fyzikálních válečků.

##### **Měrná hmotnost ( $M_z$ )**

Měrná hmotnost byla stanovena pyknometricky a poté určena pomocí následujících vztahů:

$$M_z = N / (P_v + N - P_s) \quad (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$$

$P_v$  - hmotnost pyknometru s destilovanou vodou (g)

$P_s$  - hmotnost pyknometru se suspenzí (g)

$N$  - navážka zeminy (g)

#### 4.4.4 Pórovitost půdy

**Pórovitost celková - (Pc)** - udává kolik procent z jednotkového objemu půdy v přirozeném uložení připadá na póry. Vypočítá se pomocí objemové hmotnosti redukované (Or) a měrné hmotnosti (Mz).

$$Pc = [(Mz - Or) / Mz] \cdot 100 \quad (\% \text{ obj.})$$

Bližší podrobnosti o kvalitě pórů podává jejich dělení na póry kapilární, semikapilární a nekapilární:

**Pórovitost kapilární - (Pk)** - je totožná s hodnotou přibližné retenční vodní kapacity RVK (nebo přibližné retenční vodní kapacity RVK<sub>24</sub>).

$$Pk = RVK \text{ (nebo RVK}_{24}\text{)} \quad (\% \text{ obj.})$$

#### 4.4.5 Vzdušné charakteristiky půdy

**Provzdušenost půdy - (Vz)** - je dána procentem pórů (P) vyplněných vzduchem při momentní vlhkosti (W<sub>mom</sub>).

$$Vz = P - W_{mom} \quad (\% \text{ obj.})$$

**Vzdušná kapacita půdy - (KVz)** - je dána procentem pórů vyplněných vzduchem při určité vodní kapacitě půdy, např. při maximální kapilární (MKK) nebo retenční vodní kapacitě (RVK<sub>24</sub>)

$$KVz = Pc - MKK \quad (\% \text{ obj.})$$

$$KVz = Pc - RVK_{24} \quad (\% \text{ obj.})$$

#### 4.4.6 Zhutnění půdy

Zhutnění půdy bylo stanoveno pomocí ručního digitálního penetrometru P-70 s následnou korekcí na půdní vlhkost. Penetrometrický odpor byl měřen do hloubky cca 0,4 m, v intervalech po 0,04 m, v těsné blízkosti odběrových sond v deseti opakováních pro každé odběrové místo s matematicko-statistickým vyloučením odlehlých hodnot.

Pro účely této práce bylo však nutno naměřené hodnoty upravit, resp. sdružit tak, aby je bylo možno porovnat a nakonec i početně korelovat se zjištěnými

hodnotami Or. Jelikož odpor půdy byl zaznamenáván v intervalech po 0,04 m, bylo dohodnuto pro varianty SH a SK 5 (odběrová hloubka 0,05 m) sdružit hodnoty penetrometru z hloubek 0,04-0,12 m, pro varianty SH a SK 15 údaje z hloubek 0,12-0,20 m a pro varianty SH a SK 25 zprůměrovat hodnoty penetrometrického odporu z hloubek 0,24-0,32 m.

#### 4.4.7 Stabilita půdních agregátů

Pro účely této práce byly hodnoty podílů vodostálých agregátů převzaty z již řešených projektů katedry (viz. kapitola 4.4.).

Stanovení vodostálosti půdních agregátů bylo provedeno na principu ultrazvukové desintegrace agregátů na zařízení částečně vyvinutém a upraveném na BOKU Wien (Institut für Bodenforschung). Ultrazvukové zařízení se sestává ze dvou základních částí – cylindrické titanové ultrazvukové sondy a zesilovače. Postup spočíval v ponoření ultrazvukové sondy do hloubky 1 cm do půdního roztoku, připraveného z 10 g zeminy (prosev 2 mm) a destilované vody, přičemž z volného, v suspenzi ponořeného konce sondy, byly vydávány akustické tlakové vlny, které vyvolaly tření, tlak a rozpad agregátů. Ihned po aplikaci ultrazvuku následovalo prosévání každého vzorku na automatickém prosévacím zařízení (2 min, vibrační amplituda 0,2 mm/min) za mokra přes tři síta o velikosti ok 63  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$ , 630  $\mu\text{m}$ . Hmotnostní frakce vodostálých agregátů byly stanoveny po vysušení vzorků při 105 °C po dobu 24 h.

### 4.5 Fyzikálně-chemické vlastnosti půdy

Fyzikálně-chemické vlastnosti půdy byly charakterizovány aktivním a výměnným pH a kationtovou výměnnou sorpční kapacitou půd (T) jako vlastnostmi, které velice úzce souvisí zvláště se zrnitostí a strukturou půdy.

#### 4.5.1 Stanovení aktivní a výměnné půdní reakce potenciometricky

Hodnota aktivní reakce byla stanovena změřením pH vodní suspenze zeminy. Výměnná reakce byla stanovena v suspenzi zeminy v roztoku 1M KCl v poměru 1:5.

Obě stanovení byla provedena potenciometricky přístrojem s kombinovanou skleněnou elektrodou dle běžných metodik (HORÁČEK ET AL., 1994).

#### 4.5.2 Stanovení kationtové sorpční kapacity půdy T konduktometricky podle Sandhofa

Půda převedená do tak zvaného  $H^+$  cyklu nahrazením výměnných bazických kationtů vodíkem (přebytek 0,1M HCl) se po zfiltrování a promytí suspenze titruje odměrným roztokem  $Ba(OH)_2$ . Přitom  $Ba^{2+}$  nahrazuje vodík v sorpčním půdním komplexu a vzniká málo disociovaná voda, takže vodivost systému se prakticky nemění. Před dosažením bodu ekvivalence vodivost již mírně stoupá, protože ji začínají ovlivňovat ionty  $Ba^{2+}$  slabě poutané v silně nasyceném sorpčním komplexu půdy. Po úplném nasycení (za bodem ekvivalence) se začínají uplatňovat volné ionty titračního roztoku a vodivost prudce a rovnoměrně stoupá, úměrně dávkám přidávaného roztoku  $Ba(OH)_2$  (HORÁČEK ET AL., 1994).

Hodnota T v mval.100 g<sup>-1</sup> půdy se vypočte ze vztahu :

$$T = (s \cdot n \cdot f \cdot 100) / N \quad (\text{mval. } 100 \text{ g}^{-1} \text{ půdy})$$

s - spotřeba roztoku  $Ba(OH)_2$  odečtená z titrační křivky (cm<sup>3</sup>)

n - normalita roztoku  $Ba(OH)_2$

f - faktor  $Ba(OH)_2$

N - navážka půdy (g)

Hodnocení maximální kationtové sorpční kapacity T

velmi vysoká	>30 mval. 100 g <sup>-1</sup>
vysoká	25-30 mval. 100 g <sup>-1</sup>
střední	13-24 mval. 100 g <sup>-1</sup>
nízká	8-12 mval. 100 g <sup>-1</sup>
velmi nízká	<8 mval. 100 g <sup>-1</sup>

## 4.6 Statistické zpracování výsledků

Pro statistické vyhodnocení výsledků byl použit program Microsoft Excel, pomocí něž byl pro jednotlivá stanovení vypočítán korelační koeficient., jehož význam je vyjádřen v tabulce č. 4. Kritické hodnoty korelačního koeficientu byly určeny z tabulky kritických hodnot nacházející se v odborné literatuře (PECHOČ, 1981; ČERMÁKOVÁ, STŘELEČEK, 2005).

Jak uvádí například PECHOČ (1981), korelační koeficient (koeficient korelace)  $-1 \leq r \leq +1$  nabývá hodnoty +1 pro přímou funkční závislost, -1 pro nepřímou funkční závislost a hodnoty 0 pro nezávislost. Stochastická závislost je charakterizována hodnotami  $0 < |r| < 1$ , přičemž tato závislost je tím těsnější, čím více se r blíží jedné.

Tabulka č. 4: Hodnota koeficientu korelace – interpretace těsnosti vazeb (ČERMÁKOVÁ, STŘELEČEK, 2005)

Hodnota	Stupeň korelační závislosti	Hodnota	Stupeň korelační závislosti
$ r  < 0,3$	<b>nízký</b>	$0,7 \leq  r  < 0,9$	<b>vysoký</b>
$0,3 \leq  r  < 0,5$	<b>mírný</b>	$0,9 \leq  r  < 1,0$	<b>velmi vysoký</b>
$0,5 \leq  r  < 0,7$	<b>střední</b>	$ r  = 1,0$	<b>matematická závislost</b>

## 5. VÝSLEDKY A DISKUSE

Diskutovány budou nejen vybrané fyzikální a fyzikálně-chemické vlastnosti půdy v demonstračním polním pokusu s půdoochranným zpracováním v porovnání s konvenčním, ale jelikož se jedná o komplexnější studii, budou diskutovány také některé důležité vztahy s vybranými parametry půd, resp. s jejich hodnotami, neboť jde o vzájemnou provázanost významných půdních ukazatelů. Nelze totiž striktně oddělit půdní vlastnosti fyzikální od fyzikálně-chemických, protože se ve většině případů vzájemně ovlivňují, a to i za působení všech ostatních vlivů (způsob zpracování, osevní postup, výživa a hnojení, změny klimatu, výkyvy počasí atd.).



## 5.1 Fyzikální vlastnosti půdy

### 5.1.1 Zrnitost

Na pokusném pozemku ve Studené bylo stanoveno zastoupení tří zrnitostních frakcí (kategorií), a to frakce >0,05 mm, 0,05-0,01 mm a frakce <0,01 mm. Jejich hodnoty jsou uvedeny v tabulkách č. 5, 6 a 7. V této kapitole však bude podrobněji diskutována pouze kategorie <0,01 mm, která je pro účely této práce nejvýznamnější. Ta bude dále také korelována s vybranými půdními charakteristikami.

U orané varianty pokusu je v prvních dvou odběrových hloubkách obsah zmíněné kategorie (*tabulka č. 7*) shodný a v podorničí následuje relativně velký nárůst. V bezorebné variantě je tento nárůst nižší a také v ornici (prvé dvě hloubky odběru) je zastoupení této zrnitostní frakce o něco nižší. To má za následek, jak uvidíme dále, i jisté ovlivnění některých dalších půdních vlastností. Vzájemný vztah a korelace ve variantách pokusu budou hodnoceny vždy u příslušné půdní vlastnosti.

Tabulka č. 5 : Zrnitost – frakce > 0,05 mm (%) – polní pokus, Studená (2009)

Varianta	1	2	3	4	5	Ø	rozptyl	sm.odchylka
SH 5	37,0	35,5	34,5	36,0	34,1	35,4	1,0856	1,042
SH 15	32,2	33,3	30,9	34,1	32,8	32,7	1,1624	1,078
SH 25	37,8	36,5	38,7	35,4	37,5	37,2	1,2856	1,134
SK 5	36,1	36,9	36,5	35,3	38,1	36,6	0,8576	0,926
SK 15	35,3	36,5	36,0	38,4	37,8	36,8	1,3080	1,144
SK 25	40,1	41,4	43,2	40,7	42,1	41,5	1,1720	1,083

Tabulka č. 6: Zrnitost – frakce 0,05 – 0,01 mm (%) – polní pokus, Studená (2009)

Varianta	1	2	3	4	5	Ø	rozptyl	sm.odchylka
SH 5	12,1	11,6	11,1	11,9	10,9	11,5	0,2096	0,458
SH 15	9,9	10,5	9,0	10,8	10,1	10,1	0,3784	0,615
SH 25	11,4	10,7	11,6	10,0	11,2	11,0	0,3296	0,574
SK 5	11,3	11,8	11,5	11,4	12,6	11,7	0,2216	0,471
SK 15	11,0	11,7	11,3	12,4	12,1	11,7	0,2600	0,510
SK 25	11,5	12,1	12,8	11,8	12,3	12,1	0,1960	0,443

Tabulka č. 7: Zrnitost – frakce < 0,01 mm (%) – polní pokus, Studená (2009)

Varianta	1	2	3	4	5	Ø	rozptyl	sm.odchylka
SH 5	24,9	23,9	23,4	24,1	23,2	23,9	0,3560	0,597
SH 15	22,3	22,8	21,9	23,3	22,7	22,6	0,2240	0,473
SH 25	26,4	25,8	27,1	25,4	26,3	26,2	0,3320	0,576
SK 5	24,8	25,1	25,0	24,9	25,5	25,1	0,0584	0,242
SK 15	24,3	24,8	24,7	26,0	25,7	25,1	0,4120	0,642
SK 25	28,6	29,3	30,4	28,9	29,8	29,4	0,4120	0,642

Průměrné zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí je graficky znázorněno na *grafu č. 1* v příloze.

### 5.1.2 Půdní hmotnosti

#### Měrná hmotnost Mz

Na pokusném pozemku ve Studené se pohybují hodnoty měrné hmotnosti (*tabulka č. 8*) v obvyklých mezích pro daný půdní typ a také vzhledem k obsahu celkového uhlíku Cox. Z hodnot měrné hmotnosti lze obecně usuzovat na vyšší či nižší zastoupení organického podílu v půdě a nebo také na přítomnost těžších minerálů. Průměrné hodnoty Mz (*graf č. 3*) jak u mělkého zpracování, tak u orby od povrchu do hloubky stoupají dle očekávání. Ovšem u orby v prvních dvou odběrových hloubkách, tj. ve zpracovávané (mísené) vrstvě by tomu tak být nemělo. Vysvětlením je však dobrá korelace k zjištěným hodnotám celkového oxidovatelného uhlíku Cox (hodnoty Cox jsou uvedeny v *tabulce č. 9*. *Tabulka č. 10* znázorňuje korelační závislost Mz a Cox ).

Tabulka č. 8: Měrná hmotnost Mz (g.cm<sup>-3</sup>) – polní pokus, Studená (2009)

Varianta	1	2	3	4	5	Ø	rozptyl	sm.odchylka
SH 5	<b>2,58</b>	<b>2,58</b>	<b>2,57</b>	<b>2,58</b>	<b>2,59</b>	<b>2,58</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,006</b>
SH 15	<b>2,60</b>	<b>2,61</b>	<b>2,60</b>	<b>2,62</b>	<b>2,61</b>	<b>2,61</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,007</b>
SH 25	<b>2,64</b>	<b>2,66</b>	<b>2,64</b>	<b>2,66</b>	<b>2,65</b>	<b>2,65</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,009</b>
SK 5	<b>2,58</b>	<b>2,59</b>	<b>2,59</b>	<b>2,59</b>	<b>2,60</b>	<b>2,59</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,006</b>
SK 15	<b>2,61</b>	<b>2,60</b>	<b>2,61</b>	<b>2,62</b>	<b>2,61</b>	<b>2,61</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,006</b>
SK 25	<b>2,65</b>	<b>2,65</b>	<b>2,66</b>	<b>2,67</b>	<b>2,67</b>	<b>2,66</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,009</b>

Tabulka č. 9: Celkový oxidovatelný uhlík Cox (%) – polní pokus, Studená (2009)

Varianta	1	2	3	4	5	Ø	rozptyl	sm.odchylka
SH 5	<b>2,35</b>	<b>2,32</b>	<b>2,31</b>	<b>2,25</b>	<b>2,17</b>	<b>2,28</b>	<b>0,0041</b>	<b>0,064</b>
SH 15	<b>1,53</b>	<b>1,58</b>	<b>1,70</b>	<b>1,55</b>	<b>1,41</b>	<b>1,55</b>	<b>0,0087</b>	<b>0,093</b>
SH 25	<b>0,57</b>	<b>0,54</b>	<b>0,62</b>	<b>0,56</b>	<b>0,51</b>	<b>0,56</b>	<b>0,0013</b>	<b>0,036</b>
SK 5	<b>1,93</b>	<b>1,85</b>	<b>1,70</b>	<b>1,86</b>	<b>1,84</b>	<b>1,84</b>	<b>0,0056</b>	<b>0,075</b>
SK 15	<b>1,48</b>	<b>1,55</b>	<b>1,61</b>	<b>1,49</b>	<b>1,53</b>	<b>1,53</b>	<b>0,0022</b>	<b>0,047</b>
SK 25	<b>0,47</b>	<b>0,48</b>	<b>0,58</b>	<b>0,48</b>	<b>0,51</b>	<b>0,50</b>	<b>0,0016</b>	<b>0,040</b>

Tabulka č. 10: Korelační závislost Mz a Cox

Varianta korelace	Korelační koeficient	Stupeň korel. závislosti	Kritická hodnota
Mz (SH) - Cox (SH)	<b>-0,9728</b>	<b>velmi vysoký</b>	<b>0,48</b>
Mz (SK) - Cox (SK)	<b>-0,9683</b>	<b>velmi vysoký</b>	<b>0,48</b>

## Objemová hmotnost redukována Or

Objemová hmotnost redukována je významný fyzikální ukazatel strukturního stavu půdy, resp. jejího nakypření či utužení a při využití kritériálních hodnot (ŠIMON, LHOTSKÝ, 1989) závislých na zrnitostním složení lze posoudit i případné utužení nadměrné. Na pokusném honu ve Studené ukazují průměrné hodnoty Or (*tabulka č. 11 a graf č. 2*) na vyšší utužení u mělce zpracovávané varianty SH ve vrstvě do 0,2 m. Toto potvrzují také CZYZ A DEXTER (2009), kteří zkoumali vliv způsobu zpracování půdy na vybrané fyzikální vlastnosti v Polsku, kde porovnávali konvenční zpracování půdy s půdoochrannými technologiemi (redukována a no-till zpracování).

Ve vrstvě do 0,2 m zároveň hodnoty stoupají rovnoměrněji do hloubky oproti orbě SK. V této konvenčně zpracovávané variantě jsou si hodnoty Or v odpovídající vrstvě (SK 5 a SK 15) dosti blízké a příznivější než ve variantě neorané (SH). Ovšem v hloubce větší než 0,25 m jsou již u orby (SK 25) hodnoty Or vyšší, tedy méně příznivé než u bezorebného zpracování. Navíc se blíží ke kritické hodnotě nadměrného utužení pro daný půdní druh, neboť je zde spodina zrnitostně těžší. Tímto je i na pokusném pozemku potvrzeno vytváření utuženého rozhraní pod hloubkou orby. K tomuto závěru dospěli také JABRO ET AL. (2009). Podle některých dalších autorů (HŮLA, PROCHÁZKOVÁ ET AL., 2008) jde o tzv. podlahu, což nevyhovuje většině hlouběji kořenících plodin, neboť se zde výrazně mění odpor pro prorůstání kořenů. Nutno však podotknout, že i spodinu varianty bezorebné lze při přísnějším posouzení také hodnotit jako nadměrně kompaktnou. V tomto případě se dá říci, že je to jednoznačný důsledek nepřilíš dobrého zajištění dostatečného přísunu kvalitní organické hmoty a nedostatečného korigování kyselé půdní reakce vápněním (viz. kap. Metodika, část 4.2 Použitá agrotechnika).

Tabulka č. 11: Objemová hmotnost redukována Or ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) – polní pokus, Studená (2009)

Varianta	1	2	3	4	5	Ø	rozptyl	sm.odchylka
SH 5	<b>1,35</b>	<b>1,36</b>	<b>1,35</b>	<b>1,38</b>	<b>1,39</b>	<b>1,37</b>	<b>0,0003</b>	<b>0,016</b>
SH 15	<b>1,52</b>	<b>1,52</b>	<b>1,50</b>	<b>1,53</b>	<b>1,47</b>	<b>1,51</b>	<b>0,0005</b>	<b>0,021</b>
SH 25	<b>1,59</b>	<b>1,58</b>	<b>1,57</b>	<b>1,56</b>	<b>1,58</b>	<b>1,58</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,010</b>
SK 5	<b>1,34</b>	<b>1,33</b>	<b>1,33</b>	<b>1,34</b>	<b>1,32</b>	<b>1,33</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,007</b>
SK 15	<b>1,47</b>	<b>1,47</b>	<b>1,43</b>	<b>1,42</b>	<b>1,43</b>	<b>1,44</b>	<b>0,0005</b>	<b>0,022</b>
SK 25	<b>1,61</b>	<b>1,62</b>	<b>1,59</b>	<b>1,61</b>	<b>1,58</b>	<b>1,60</b>	<b>0,0002</b>	<b>0,015</b>

### 5.1.3 Pórovitost

#### Pórovitost celková Pc

Hodnoty celkové pórovitosti zjištěné v r. 2009 na pokusném honu ve Studené jsou uvedeny v *tabulce č. 12* a znázorněny v *grafu č. 4* v příloze.

Tabulka č. 12: Pórovitost celková Pc (%) – polní pokus, Studená (2009)

Varianta	1	2	3	4	5	Ø	rozptyl	sm.odchylka
SH 5	<b>47,7</b>	<b>47,3</b>	<b>47,5</b>	<b>46,5</b>	<b>46,3</b>	<b>47,06</b>	<b>0,2856</b>	<b>0,534</b>
SH 15	<b>41,5</b>	<b>41,8</b>	<b>42,3</b>	<b>41,6</b>	<b>43,7</b>	<b>42,18</b>	<b>0,6359</b>	<b>0,797</b>
SH 25	<b>39,8</b>	<b>40,6</b>	<b>40,5</b>	<b>41,4</b>	<b>40,4</b>	<b>40,53</b>	<b>0,2560</b>	<b>0,506</b>
SK 5	<b>48,1</b>	<b>48,6</b>	<b>48,6</b>	<b>48,3</b>	<b>49,2</b>	<b>48,57</b>	<b>0,1603</b>	<b>0,400</b>
SK 15	<b>43,7</b>	<b>43,5</b>	<b>45,2</b>	<b>45,8</b>	<b>45,2</b>	<b>44,67</b>	<b>0,8618</b>	<b>0,928</b>
SK 25	<b>39,2</b>	<b>38,9</b>	<b>40,2</b>	<b>39,7</b>	<b>40,8</b>	<b>39,77</b>	<b>0,4825</b>	<b>0,695</b>

Posouzení hodnot této půdní charakteristiky poukazuje na podobné, resp. téměř shodné závěry, jako při hodnocení objemové hmotnosti redukované. To znamená, že nejpříznivější hodnoty jsou ve svrchní vrstvě půdy, resp. ve vrstvě, která je zpracovávána a to u obou srovnávaných technologií. V redukovaném systému zpracování je to tedy pouze hloubka 0,05-0,1 m (var. SH 5). Lze však spekulovat i o částečném ovlivnění půdních vlastností v odběrové hloubce 0,15-0,2 m. U orby jsou obě předchozí hloubky ovlivněny zpracováním zcela jednoznačně. Ovšem i zde je možno spekulativně uvažovat také o částečném zásahu do hloubky 0,25-0,3 m. Některé předchozí práce na katedře (HORÁČEK ET AL., 2009) totiž dokazují, že se v praxi mnohdy oře hlouběji, než je uváděno. V hloubce, kam ani u jednoho z porovnávaných systémů pracovní části strojů nezasahují (0,25-0,3 m), jsou v obou variantách pokusu hodnoty Pc dosti nízké, blíží se též kritickým hodnotám pro daný půdní druh. Příznivější trend však podobně jako Or vykazuje bezorebný systém zpracování půdy. Potvrzuje se tím již výše uvedené konstatování, že v konvenčním zpracování klasickou orbou bývá spodina utuženější, než v déle uplatňovaném systému bezorebném, jak uvádějí např. HŮLA, PROCHÁZKOVÁ ET AL. (2008) nebo HORÁČEK ET AL. (2009). Obecně lze dodat, že celková pórovitost a objemová hmotnost suché půdy jsou si nepřímo úměrné s vysokým korelačním koeficientem, což je vzhledem k získání hodnot Pc pochopitelné (výpočetem z Or a Mz). Z provedeného výpočtu korelačního koeficientu (*tabulka č. 13*) sice vyplývá dobrá shoda, přesto ale lze pozorovat náznak možného ovlivnění výpočtu Pc určitou

experimentální nepřesností stanovení  $M_z$ . Pro objektivní posouzení fyzikálního stavu půd totiž velmi závisí na způsobu vzorkování a počtu opakování odběrů zejména fyzikálních válečků, stejně jako na opakováních laboratorních testů.

Tabulka č. 13: Korelační závislost mezi Or a Pc

Varianta korelace	Korelační koeficient	Stupeň korel. závislosti	Kritická hodnota
Or (SH) - Pc (SH)	<b>-0,9951</b>	<b>velmi vysoký</b>	<b>0,48</b>
Or (SK) - Pc (SK)	<b>-0,9976</b>	<b>velmi vysoký</b>	<b>0,48</b>

### Pórovitost kapilární

Kapilární pórovitost je důležitým indikátorem možnosti zásobování rostlin podzemní vodou. Obecně by měla zaujímat cca 2/3 z pórovitosti celkové, i když optimální hodnoty jsou většinou zpřesňovány pěstovanou plodinou a zrnitostním složením půdy (LEDVINA ET AL., 2000). V případě pokusu ve Studené byly hodnoty Pk (*tabulka č. 14*) ve všech sledovaných hloubkách vyšší, i když vcelku nepatrně ve variantě zpracovávané bezorebně oproti variantě konvenčně obdělávané.

Tabulka č. 14: Pórovitost kapilární Pk (%) – polní pokus, Studená (2009)

Varianta	1	2	3	4	5	Ø	rozptyl	sm.odchylka
SH 5	<b>30,21</b>	<b>29,26</b>	<b>27,51</b>	<b>28,63</b>	<b>29,11</b>	<b>28,94</b>	<b>0,7770</b>	<b>0,881</b>
SH 15	<b>27,38</b>	<b>27,21</b>	<b>28,01</b>	<b>27,13</b>	<b>28,66</b>	<b>27,68</b>	<b>0,3365</b>	<b>0,580</b>
SH 25	<b>25,23</b>	<b>23,29</b>	<b>24,78</b>	<b>24,89</b>	<b>24,78</b>	<b>24,59</b>	<b>0,4523</b>	<b>0,673</b>
SK 5	<b>27,34</b>	<b>27,92</b>	<b>28,52</b>	<b>28,79</b>	<b>26,94</b>	<b>27,90</b>	<b>0,4824</b>	<b>0,695</b>
SK 15	<b>27,02</b>	<b>27,77</b>	<b>26,59</b>	<b>27,53</b>	<b>26,67</b>	<b>27,12</b>	<b>0,2168</b>	<b>0,466</b>
SK 25	<b>23,59</b>	<b>24,17</b>	<b>24,05</b>	<b>23,57</b>	<b>24,17</b>	<b>23,91</b>	<b>0,0746</b>	<b>0,273</b>

Tabulka č. 15: Podíl kapilární pórovitosti z celkového objemu pórů 100.Pk/Pc (%) – polní pokus, Studená (2009)

Varianta	1	2	3	4	5	Ø	rozptyl	sm.odchylka
SH 5	<b>63,4</b>	<b>61,9</b>	<b>58,0</b>	<b>61,6</b>	<b>62,8</b>	<b>61,52</b>	<b>3,5981</b>	<b>1,897</b>
SH 15	<b>65,9</b>	<b>65,2</b>	<b>66,2</b>	<b>65,2</b>	<b>65,6</b>	<b>65,62</b>	<b>0,1627</b>	<b>0,403</b>
SH 25	<b>63,4</b>	<b>57,4</b>	<b>61,1</b>	<b>60,2</b>	<b>61,4</b>	<b>60,70</b>	<b>3,9054</b>	<b>1,976</b>
SK 5	<b>56,9</b>	<b>57,4</b>	<b>58,6</b>	<b>59,7</b>	<b>54,7</b>	<b>57,46</b>	<b>2,7995</b>	<b>1,673</b>
SK 15	<b>61,9</b>	<b>63,9</b>	<b>58,8</b>	<b>60,1</b>	<b>59,0</b>	<b>60,73</b>	<b>3,6777</b>	<b>1,918</b>
SK 25	<b>60,1</b>	<b>62,2</b>	<b>59,8</b>	<b>59,4</b>	<b>59,2</b>	<b>60,13</b>	<b>1,1546</b>	<b>1,075</b>

Trend příznivější kapilarity v redukováném zpracování je ještě výraznější při výpočtu podílu kapilární pórovitosti z celkového objemu pórů 100.Pk/Pc (*tabulka č.15*) a to zvláště v prvních dvou odběrových hloubkách (SH 5 a SH 15 vers. SK 5

a SK 15). Je to určitý předpoklad lepšího zásobení kořenové zóny vodou u bezorebného systému zpracování půdy.

#### 5.1.4 Půdní voda a vzduch

Rozborem fyzikálního (Kopeckého) válečku získáme řadu půdních charakteristik, mezi něž patří rovněž vodněvzdušné poměry v půdě nazývané též aplikované hydrolimity. Jsou to kromě momentní vlhkosti charakteristické obsahy vody v půdě odpovídající určitým podmínkám a zejména strukturnímu uspořádání půdy. Protože struktura půdy je dána především objemem pórů, resp. nakypřením či utužením, budou z vlhkostí popsány dále jen ty nejdůležitější.

#### Momentní vlhkost $W_{mom}$

Tento hydrolimit je jediným, jak je výše naznačeno, který závisí převážně na průběhu počasí. Jeho praktický význam je značný, neboť rozhoduje v podstatě o tom, mohu-li na pole vjet či nikoliv a o případné kvalitě zpracování půdy. Odborný význam tohoto hydrolimitu však vyniká především ve srovnávacích pokusech (hodnocení různých agronomických zásahů na jednom pozemku). Hodnocení profilového průběhu momentní vlhkosti je však ještě komplikovanější. Případné srážky, které tento hydrolimit mohou ovlivnit nejvíce, mohou totiž být různě intenzivní a nemusí vždy projít celým půdním profilem. Pro objektivní posouzení by proto bylo nutné uskutečnit několik odběrů v časové řadě, a teprve tyto hodnotit. V mém případě se ovšem jedná o jednorázové šetření, a proto bude hodnocení  $W_{mom}$  pouze orientační.

Tabulka č. 16: Momentní vlhkost  $W_{mom}$  (% obj.)– polní pokus, Studená (2009)

Varianta	1	2	3	4	5	Ø	rozptyl	sm.odchylka
SH 5	<b>36,59</b>	<b>35,81</b>	<b>34,17</b>	<b>35,38</b>	<b>35,62</b>	<b>35,51</b>	<b>0,6162</b>	<b>0,785</b>
SH 15	<b>36,47</b>	<b>36,38</b>	<b>36,96</b>	<b>35,07</b>	<b>37,59</b>	<b>36,49</b>	<b>0,6919</b>	<b>0,832</b>
SH 25	<b>31,05</b>	<b>29,37</b>	<b>30,4</b>	<b>30,52</b>	<b>30,36</b>	<b>30,34</b>	<b>0,2963</b>	<b>0,544</b>
SK 5	<b>35,96</b>	<b>35,29</b>	<b>33,75</b>	<b>34,81</b>	<b>35,07</b>	<b>34,98</b>	<b>0,5213</b>	<b>0,722</b>
SK 15	<b>34,03</b>	<b>33,17</b>	<b>31,82</b>	<b>32,74</b>	<b>32,96</b>	<b>32,94</b>	<b>0,5071</b>	<b>0,712</b>
SK 25	<b>31,89</b>	<b>31,02</b>	<b>29,74</b>	<b>30,58</b>	<b>30,77</b>	<b>30,80</b>	<b>0,4819</b>	<b>0,694</b>

Momentní vlhkost na pokusném pozemku ve Studené (tabulka č. 16) byla v době odběru relativně vysoká a od povrchu do hloubky se snižovala. Výjimkou je

pouze střední odběrová hloubka ve variantě bezorebné (SH 15), která je o procento vyšší než v povrchové vrstvě. Zdůvodnění bylo naznačeno již výše. V tomto případě nižší průsak než u orby může být způsoben nezpracovanou částí půdního profilu. Při srovnání variant pokusu na celkovou zásobu půdní vody by lépe vycházelo minimální zpracování oproti orbě. Z výše popsaných důvodů však nelze tento závěr zobecnit. Průměrné hodnoty W<sub>mom</sub> jsou znázorněny v grafu č. 9 v příloze.

### Maximální kapilární vodní kapacita MKK

Dosahuje-li půdní vlhkost hodnot kolem stanovené MKK, pak jsou vytvořeny optimální fyziologické podmínky příjmu vody (a tím i živin rostlinami). Zároveň je MKK ovlivněna již výhradně strukturním stavem půdy. Z výsledků (*tabulka č. 17*) je patrné, že hodnota MKK je na bezorebné variantě relativně vyšší. Tím by tedy zde pěstované rostliny nemusely nijak vlhkostně strádat.

Tabulka č. 17: Maximální kapilární vodní kapacita MKK (%) – polní pokus, Studená (2009)

Varianta	1	2	3	4	5	Ø	rozptyl	sm.odchylka
SH 5	<b>34,05</b>	<b>33,37</b>	<b>31,64</b>	<b>32,89</b>	<b>33,17</b>	<b>33,02</b>	<b>0,6254</b>	<b>0,791</b>
SH 15	<b>31,04</b>	<b>30,95</b>	<b>31,59</b>	<b>30,72</b>	<b>32,38</b>	<b>31,34</b>	<b>0,3541</b>	<b>0,595</b>
SH 25	<b>28,71</b>	<b>26,89</b>	<b>28,07</b>	<b>28,14</b>	<b>27,96</b>	<b>27,95</b>	<b>0,3503</b>	<b>0,592</b>
SK 5	<b>31,17</b>	<b>31,85</b>	<b>32,34</b>	<b>32,61</b>	<b>30,78</b>	<b>31,75</b>	<b>0,4750</b>	<b>0,689</b>
SK 15	<b>30,72</b>	<b>31,44</b>	<b>30,29</b>	<b>31,30</b>	<b>30,29</b>	<b>30,81</b>	<b>0,2372</b>	<b>0,487</b>
SK 25	<b>27,09</b>	<b>27,67</b>	<b>27,61</b>	<b>27,14</b>	<b>27,56</b>	<b>27,41</b>	<b>0,0611</b>	<b>0,247</b>

Profilový průběh hodnot maximální kapilární kapacity (*graf č. 10*) je velmi podobný průběhu hodnot retenční vodní kapacity resp. kapilární pórovitosti. To znamená, že rozdíl mezi povrchovou vrstvou a vrstvou střední je u minimálního zpracování větší než u orby, kde jsou si obě hloubky velmi blízké. V největší hloubce je hodnota MKK již výrazně nižší u obou technologií a je i číselně srovnatelná (u orby jen nepatrně nižší). Celkově příznivější hodnoty tohoto hydrolimitu u bezorebné technologie si ale opět netroufám zobecnit.

### Retenční vodní kapacita přibližná dvacetičtyřhodinová RVK<sub>24</sub>

Tento aplikovaný hydrolimit je velmi významný nejen teoreticky, ale i prakticky. Protože však jeho experimentální určení je zároveň i usanačním stanovením kapilárních pórů, jsou hodnoty RVK<sub>24</sub> (P<sub>k</sub>) diskutovány výše v podkapitole „Pórovitost kapilární“ (viz *tabulka č. 14*).

## Vzdušné charakteristiky půdy

Na základě celkové pórovitosti a výše uvedených hydrolimitů byla stanovena provzdušňenost Vz a vzdušná kapacita půdy Kvz (při MKK). Hodnoty těchto charakteristik jsou zaznamenány v *tabulkách č. 18 a 19* a shrnuty pomocí *grafu č. 11 a 12*.

Tabulka č. 18: Provzdušňenost Vz (%) – polní pokus, Studená (2009)

Varianta	1	2	3	4	5	Ø	rozptyl	sm.odchylka
SH 5	<b>11,1</b>	<b>11,5</b>	<b>13,3</b>	<b>11,1</b>	<b>10,7</b>	<b>11,54</b>	<b>0,8329</b>	<b>0,913</b>
SH 15	<b>5,1</b>	<b>5,4</b>	<b>5,3</b>	<b>6,5</b>	<b>6,1</b>	<b>5,68</b>	<b>0,2934</b>	<b>0,542</b>
SH 25	<b>8,7</b>	<b>11,2</b>	<b>10,1</b>	<b>10,8</b>	<b>10,0</b>	<b>10,19</b>	<b>0,7370</b>	<b>0,858</b>
SK 5	<b>12,1</b>	<b>13,4</b>	<b>14,9</b>	<b>13,5</b>	<b>14,2</b>	<b>13,59</b>	<b>0,8650</b>	<b>0,930</b>
SK 15	<b>9,6</b>	<b>10,3</b>	<b>13,4</b>	<b>13,1</b>	<b>12,3</b>	<b>11,73</b>	<b>2,2411</b>	<b>1,497</b>
SK 25	<b>7,4</b>	<b>7,8</b>	<b>10,5</b>	<b>9,1</b>	<b>10,1</b>	<b>8,97</b>	<b>1,4722</b>	<b>1,213</b>

Tabulka č. 19: Vzdušná kapacita půdy Kvz (při MKK) (%) – polní pokus, Studená (2009)

Varianta	1	2	3	4	5	Ø	rozptyl	sm.odchylka
SH 5	<b>13,62</b>	<b>13,92</b>	<b>15,83</b>	<b>13,62</b>	<b>13,16</b>	<b>14,03</b>	<b>0,8681</b>	<b>0,932</b>
SH 15	<b>10,50</b>	<b>10,81</b>	<b>10,72</b>	<b>10,88</b>	<b>11,30</b>	<b>10,84</b>	<b>0,0688</b>	<b>0,262</b>
SH 25	<b>11,06</b>	<b>13,71</b>	<b>12,46</b>	<b>13,21</b>	<b>12,42</b>	<b>12,57</b>	<b>0,8048</b>	<b>0,897</b>
SK 5	<b>16,89</b>	<b>16,80</b>	<b>16,31</b>	<b>15,65</b>	<b>18,45</b>	<b>16,82</b>	<b>0,8579</b>	<b>0,926</b>
SK 15	<b>12,96</b>	<b>12,02</b>	<b>14,92</b>	<b>14,50</b>	<b>14,92</b>	<b>13,86</b>	<b>1,3710</b>	<b>1,171</b>
SK 25	<b>12,16</b>	<b>11,20</b>	<b>12,62</b>	<b>12,56</b>	<b>13,26</b>	<b>12,36</b>	<b>0,4630</b>	<b>0,680</b>

Z uvedených hodnot provzdušňenosti lze vidět, že profilový průběh této charakteristiky je v obou porovnávaných systémech poněkud odlišný. Zatímco u orby klesá dle očekávání s hloubkou (odpovídající je i jen malý pokles v hloubce 0,15-0,2 m oproti povrchu), v bezorebné variantě tomu tak není. Zaznamenáváme zde naopak jistý extrém v hloubce 0,15-0,2 m velmi nízké provzdušňenosti, který je způsoben nižší celkovou pórovitostí v této vrstvě než u orby a současnou vyšší momentální vlhkostí – viz výše. V nejhlouběji odebírané vrstvě je však již provzdušňenost jednoznačně příznivější u minimálního zpracování.

Maximální vzdušná kapilární kapacita má již obvyklý profilový průběh, v největší odběrové hloubce jsou její hodnoty prakticky totožné u obou variant pokusu, v humusovém horizontu (prvé dvě odběrové hloubky), jsou příznivější u orby.



### 5.1.5 Zhutnění půdy

Jednodušší a rychlejší metodou posouzení strukturního stavu půdy resp. přesněji jejího případného nadměrného utužení by mohla být penetrometrie, tedy měření odporu (tlaku v MPa), který klade půda při rovnoměrném zatlačování ocelového kužele přesně stanovených rozměrů. Jak však ukazují některé předchozí práce na katedře (HORÁČEK ET AL., 2008B), tato metoda je do určité míry použitelná jen při „optimální“ vlhkosti půdy v závislosti na zrnitostním složení. Pro univerzální použití by bylo nutno zpřesnit některé korekční mechanismy. I při vlhkovní korekci nižší či vyšší než optimální vlhkosti totiž klesá korelační koeficient s objemovou hmotností redukovanou, jejíž stanovení lze hodnotit jako „objektivnější“ (HORÁČEK ET AL., 2009). Jak autor dále uvádí, v extrémních vlhkovních poměrech, a to zejména při velkém suchu tato metoda prakticky selhává (ruční penetrometry nelze zatlačit do požadované hloubky).

Přes výše uvedené výhrady byl penetrometrický odpor na pokusném pozemku v Studené změřen a vyhodnocen. Pro toto vyhodnocení bylo však nutno naměřené hodnoty upravit, resp. sdružit tak, aby je bylo možno porovnat a nakonec i početně korelovat se zjištěnými hodnotami Or. Takto sdružené výsledky (dle kapitoly Metodika, část 4.4.6 Zhutnění půdy) jsou uvedeny v *tabulce č. 20* a shrnuty v *grafech č. 5 a 6* v příloze.

Tabulka č. 20: Penetrometrický odpor p (MPa) – polní pokus, Studená (2009)

Varianta	1	2	3	4	5	Ø	rozptyl	sm.odchylka
SH 5	<b>3,1</b>	<b>3,1</b>	<b>2,8</b>	<b>2,7</b>	<b>2,9</b>	<b>2,9</b>	<b>0,0256</b>	<b>0,160</b>
SH 15	<b>6,5</b>	<b>7,0</b>	<b>7,2</b>	<b>7,4</b>	<b>6,6</b>	<b>6,9</b>	<b>0,1184</b>	<b>0,344</b>
SH 25	<b>6,8</b>	<b>8,1</b>	<b>8,2</b>	<b>7,0</b>	<b>6,9</b>	<b>7,4</b>	<b>0,3800</b>	<b>0,616</b>
SK 5	<b>3,0</b>	<b>2,7</b>	<b>2,9</b>	<b>2,7</b>	<b>2,6</b>	<b>2,8</b>	<b>0,0216</b>	<b>0,147</b>
SK 15	<b>7,2</b>	<b>6,1</b>	<b>6,1</b>	<b>7,0</b>	<b>6,6</b>	<b>6,6</b>	<b>0,2040</b>	<b>0,452</b>
SK 25	<b>8,9</b>	<b>8,6</b>	<b>8,0</b>	<b>8,4</b>	<b>8,7</b>	<b>8,5</b>	<b>0,0936</b>	<b>0,306</b>

Při posuzování těchto zjednodušených výsledků lze zaznamenat, že průměrné hodnoty odporu jsou ve var. SH 5 a SK 5, tedy prakticky v povrchu vrstvy, srovnatelné. Varianta SH 15, tedy bezorebná, má v této hloubce o něco vyšší (0,3 MPa) odpor než orba (SK 15). V nejhlubší sledované vrstvě (SH a SK 25) je průměrný penetrometrický odpor půdy naopak o 1,1 MPa vyšší u konvenční varianty. Tento závěr je ve shodě s již diskutovanými výsledky hodnot Or a Pc, kdy se jeví pod ornicí neorané varianty jako méně utužené oproti orbě. V naprosté většině

případů je však toto statisticky neprůkazné. V této souvislosti lze ještě podotknout, že při porovnání korelačních koeficientů penetrometrického odporu a hodnot objemové hmotnosti redukované, resp. celkové pórovitosti (*tabulka č. 21 a 22*), je vztah užší pro penetrometrii a Or než pro penetrometrii a Pc. Jak uvádí HORÁČEK ET AL. (2008B), lze z tohoto usuzovat, že stanovení Mz, které je používáno spolu s Or právě k výpočtu celkové pórovitosti Pc, může být zatíženo jistou nepřesností, způsobenou nejspíše plošnou heterogenitou pozemku. Nebo naopak, po případném důkladném prozkoumání by Mz mohla být zahrnuta do korekčních mechanismů pro posuzování ulehlosti či nakypřenosti půdy.

Tabulka č. 21: Korelační závislost mezi penetrometrickým odporem p a Or

Varianta korelace	Korelační koeficient	Stupeň korel. závislosti	Kritická hodnota
p (SH) - Or (SH)	<b>0,9385</b>	<b>velmi vysoký</b>	<b>0,48</b>
p (SK) - Or (SK)	<b>0,9432</b>	<b>velmi vysoký</b>	<b>0,48</b>

Tabulka č. 22: Korelační závislost mezi penetrometrickým odporem p a Pc

Varianta korelace	Korelační koeficient	Stupeň korel. závislosti	Kritická hodnota
p (SH) - Pc (SH)	<b>-0,9439</b>	<b>velmi vysoký</b>	<b>0,48</b>
p (SK) - Pc (SK)	<b>-0,9433</b>	<b>velmi vysoký</b>	<b>0,48</b>

#### 5.1.6 Vodostálost agregátů

K tomuto půdnímu parametru se pozornost začíná obracet v poslední době zejména proto, že se množí případy extrémních výkyvů počasí, zvláště přívalových srážek často místního charakteru. V takovém případě nabývá odolnost půdy proti rozplavení zvláště na významu neboť právě na vodostálosti agregátů záleží, jaké budou erozní ztráty způsobené případným smyvem z daného pozemku. Dalším důvodem pozornosti je však i to, že původní velmi pracné metody stanovení jsou nahrazovány jednoduššími, většinou na bázi ultrazvuku. Na školícím pracovišti jsou k dispozici výsledky získané nově vyvíjenou ultrazvukovou metodou na BOKU Vídeň také z lokality Studená, které byly získány v průběhu studijního pobytu Ing. O. Šabatkové spolu s Ing. J. Kopečnou (doktorandek vedoucího této práce) na vídeňské Bodenkultur Universität.

I když byly původně určeny pro jiný účel, jsou se souhlasem autorek použity v této práci, neboť velmi vhodně doplňují ostatní fyzikální vlastnosti pokusného pozemku a vzhledem k cílům práce by měly vysokou vypovídací schopnost. Předchozí formulace má své oprávnění, neboť jak uvádí HORÁČEK ET AL. (2009),

jedná se o metodu ve stadiu ověřování technických parametrů přístrojového zařízení a jistý problém je možno vidět i v ne právě vysokých koeficientech korelace se současně prováděným klasickým stanovením ve speciálních Petriho miskách. V opakováních stanovení tak lze najít některé odlehlejší hodnoty od průměru, které v tomto případě záměrně nebyly vylučovány Grubsovým testem pro statistické zpracování. Zároveň nutno dodat, že bylo respektováno zrnitostně-velikostní rozdělení obvyklé pro anglosaskou oblast. To znamená, že bylo stanoveno procentické zastoupení vodostálých agregátů o rozměrech 2000-630  $\mu\text{m}$ , 630-250  $\mu\text{m}$ , 250-63  $\mu\text{m}$  a podíl <63  $\mu\text{m}$ . Z výše uvedených důvodů budou diskutovány průměrné hodnoty zastoupení uvedených velikostních skupin vodostálých agregátů pro jednotlivé hloubky a varianty pokusu.

Tabulka č. 23: Zastoupení vodostálých agregátů – polní pokus, Studená (2009)

varianta	vel.sít ( $\mu\text{m}$ )	agregáty (%)					průměr	rozptyl	sm.odch.
SH 5	2000-630	28,6	31,7	29,6	28,9	32,2	30,2	2,172	1,474
	630-250	16,3	15,4	13,8	17,3	14,0	15,4	1,786	1,337
	250-63	24,2	20,6	19,8	22,1	21,2	21,6	2,282	1,510
	<63	30,9	32,3	36,8	31,7	32,5	32,8	4,230	2,057
SH 15	2000-630	32,2	36,7	34,1	38,4	31,9	34,7	6,426	2,535
	630-250	16,7	14,1	16,6	13,4	16,5	15,5	2,002	1,415
	250-63	21,7	20,4	18,5	17,5	19,7	19,6	2,134	1,461
	<63	29,4	29,8	30,8	30,7	31,7	30,5	0,654	0,808
SH 25	2000-630	47,3	52,5	45,8	51,3	49,3	49,2	6,094	2,469
	630-250	17,9	18,3	15,7	16,3	14,3	16,5	2,144	1,464
	250-63	13,5	10,4	14,3	11,8	12,8	12,6	1,842	1,357
	<63	21,3	18,8	24,2	20,6	23,6	21,7	3,928	1,982
SK 5	2000-630	28,8	30,7	29,1	31,5	34,5	30,9	4,202	2,050
	630-250	16,2	17,0	16,4	14,5	13,6	15,5	1,630	1,277
	250-63	24,2	22,3	21,6	22,1	21,9	22,4	0,846	0,920
	<63	30,8	30,1	32,9	32,0	29,7	31,1	1,420	1,192
SK 15	2000-630	33,0	34,1	35,3	34,9	31,3	33,7	2,082	1,443
	630-250	15,2	16,5	13,6	14,1	13,5	14,6	1,286	1,134
	250-63	20,8	19,2	21,2	19,8	20,8	20,4	0,550	0,742
	<63	31,0	30,2	29,9	31,2	34,4	31,3	2,574	1,604
SK 25	2000-630	36,4	43,9	33,5	41,0	37,3	38,4	13,246	3,639
	630-250	15,9	17,7	16,2	12,9	14,5	15,4	2,646	1,627
	250-63	14,3	14,9	14,7	13,1	13,4	14,1	0,506	0,711
	<63	33,4	23,5	35,6	33,0	34,8	32,1	19,198	4,382

Výsledky rozdělení vodostálých agregátů pokusného pozemku ve Studené byly zpracovány do *tabulky č. 23*, a dále jsou shrnuty v *grafu č. 7* v příloze. Z něj je patrné, že první dvě odběrové hloubky mají co do zastoupení jednotlivých

velikostních skupin obdobný profilový průběh. Průměry jejich procentického zastoupení se v odpovídajících si hloubkách nijak výrazně neliší, rozdíly jsou malé, statisticky neprůkazné a možno i uvažovat, že se pohybují v mezích chyby použité metody stanovení.

Poněkud jiné je však rozdělení velikostních skupin vodostálých agregátů v třetí sledované hloubce (0,25-0,3 m). V této části půdního profilu je zastoupení agregátů rozměru 2,0-0,63 mm výrazně a statisticky průkazně vyšší u bezorebného způsobu zpracování oproti orbě a činí prakticky polovinu všech vodostálých agregátů. V našem případě je to na úkor nejmenší velikostní skupiny rozměru větší 0,063 mm, jejíž zastoupení u orby (SK) je naopak přibližně o 10 % vyšší než u bezorebné technologie (SH). Lze tedy říci, že agregace je v této hloubce ve srovnání s orbou příznivější v bezorebné variantě. U zbývajících dvou velikostních skupin (0,63-0,25 mm a 0,25-0,063 mm) statisticky významný rozdíl již nebyl nalezen. V obou technologiích je ještě v této vrstvě (0,25-0,3 m) zjištěno nižší zastoupení vodostálých agregátů velikostních skupiny rozměru 0,25-0,063 mm, než v prvních dvou odběrových hloubkách, což nelze v tomto případě nijak uspokojivě vysvětlit. Rozdíl však není příliš velký a tato frakce není pro půdní vlastnosti svým procentickým zastoupením nijak důležitá.

Vztahy resp. korelace zastoupení jednotlivých velikostních skupin vodostálých agregátů se zrnitostí, případně objemovou hmotností redukovanou nelze nijak zodpovědně komentovat z důvodů, které jsou uvedeny dále u kationtové výměnné sorpční kapacity (kapitola 5.2.2). Korelace s Or (*tabulka č. 25*) má totiž prakticky shodný průběh jako s KVK a vztah se zrnitostní frakcí <0,01mm (*tabulka č. 24*) lze hodnotit jako velice nekonzistentní.

Tabulka č. 24: Korelační závislost mezi zastoupením vodostálých agregátů (dle velikosti sít v  $\mu\text{m}$ ) a zrnitostní frakcí < 0,01 mm

Varianta korelace	Korel. koef.	Stupeň korel. závislosti	Krit.hodnota
2000-630 (SH) - fr. < 0.01 mm (SH)	<b>0,7242</b>	<b>vyšoký</b>	<b>0,48</b>
2000-630 (SK) - fr. < 0.01 mm (SK)	<b>0,6634</b>	<b>střední</b>	<b>0,48</b>
630-250 (SH) - fr. < 0.01 mm (SH)	<b>0,2651</b>	<b>nížký</b>	<b>0,48</b>
630-250 (SK) - fr. < 0.01 mm (SK)	<b>0,0847</b>	<b>nížký</b>	<b>0,48</b>
250-63 (SH) - fr. < 0.01 mm (SH)	<b>-0,6742</b>	<b>střední</b>	<b>0,48</b>
250-63 (SK) - fr. < 0.01 mm (SK)	<b>-0,9229</b>	<b>velmi vysoký</b>	<b>0,48</b>
< 63 (SH) - fr. < 0.01 mm (SH)	<b>-0,7388</b>	<b>vyšoký</b>	<b>0,48</b>
< 63 (SK) - fr. < 0.01 mm (SK)	<b>0,2042</b>	<b>nížký</b>	<b>0,48</b>

Tabulka č. 25: Korelační závislost mezi zastoupením vodostál. agregátů (dle velikosti sít v  $\mu\text{m}$ ) a Or

Varianta korelace	Korel. koef.	Stupeň korel. závislosti	Krit.hodnota
2000-630 (SH) - Or (SH)	<b>0,8519</b>	<b>vysoký</b>	<b>0,48</b>
2000-630 (SK) - Or (SK)	<b>0,7795</b>	<b>vysoký</b>	<b>0,48</b>
630-250 (SH) - Or (SH)	<b>0,2376</b>	<b>nízký</b>	<b>0,48</b>
630-250 (SK) - Or (SK)	<b>0,0667</b>	<b>nízký</b>	<b>0,48</b>
250-63 (SH) - Or (SH)	<b>-0,8051</b>	<b>vysoký</b>	<b>0,48</b>
250-63 (SK) - Or (SK)	<b>-0,9473</b>	<b>velmi vysoký</b>	<b>0,48</b>
< 63 (SH) - Or (SH)	<b>-0,8204</b>	<b>vysoký</b>	<b>0,48</b>
< 63 (SK) - Or (SK)	<b>0,0827</b>	<b>nízký</b>	<b>0,48</b>

## 5.2 Fyzikálně–chemické vlastnosti půdy

### 5.2.1 Půdní reakce

Na úvod hodnocení půdní reakce na pokusném pozemku je nutné uvést, že hodnoty jak její aktivní (*tabulka č. 26*), tak výměnné formy (*tabulka č. 27*) jsou zde velmi nízké vzhledem k půdnímu typu i druhu. To bylo překvapením také pro vedení podniku, kterému byla tato skutečnost sdělena, ale vzhledem k agrotechnickým zásahům a osevnímu postupu (viz kap. Metodika, část 4.2 Použitá agrotechnika), výsledky nakonec zapadají do celkového okyselujícího trendu půd ČR. Diskutovány budou dále jen hodnoty  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , neboť rozdíly mezi ním a  $\text{pH}$  aktivním jsou standardní ve všech hloubkách a odpovídají (číselně) danému rozmezí půdní reakce.

V humusovém horizontu (prvé dvě odběrové hloubky) je výměnná půdní reakce poněkud příznivější u orby proti stejné části horizontu varianty bezorebné. U obou technologií lze však zaznamenat poněkud atypický mírný pokles v hloubce 0,15-0,2 m oproti svrchní vrstvě (a některým údajům z literatury pro minimální zpracování). Tento pokles pak pokračuje u orby ještě v hloubce 0,25-0,3 m, kdežto ve variantě s jejím vynecháním je možno zjistit vzestup dokonce až na vyšší hodnotu než v jejím humusovém horizontu. Tímto profilovým průběhem půdní reakce lze pak vysvětlit i některé odchylky jiných půdních ukazatelů. V této práci se to týká zejména KVK, která je diskutována dále.

Je ale nutné dodat, že zjištěné hodnoty (zvláště při jejich dalším případném poklesu) jsou již vážným nebezpečím pro agregaci půdní struktury. Půdní koloidy

totiž mohou být při těchto hodnotách půdní reakce již snadno peptizovány a způsobit tak snadnější rozplavení agregátů.

Tabulka č. 26:  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  – polní pokus, Studená (2009)

Varianta	1	2	3	4	5	Ø	rozptyl	sm.odchylka
SH 5	<b>5,81</b>	<b>5,82</b>	<b>5,79</b>	<b>5,83</b>	<b>5,78</b>	<b>5,81</b>	<b>0,0003</b>	<b>0,019</b>
SH 15	<b>5,68</b>	<b>5,69</b>	<b>5,67</b>	<b>5,72</b>	<b>5,70</b>	<b>5,69</b>	<b>0,0003</b>	<b>0,017</b>
SH 25	<b>6,02</b>	<b>6,03</b>	<b>5,98</b>	<b>5,99</b>	<b>6,01</b>	<b>6,01</b>	<b>0,0003</b>	<b>0,019</b>
SK 5	<b>5,89</b>	<b>5,86</b>	<b>5,85</b>	<b>5,87</b>	<b>5,90</b>	<b>5,87</b>	<b>0,0003</b>	<b>0,019</b>
SK 15	<b>5,68</b>	<b>5,66</b>	<b>5,67</b>	<b>5,70</b>	<b>5,59</b>	<b>5,66</b>	<b>0,0014</b>	<b>0,037</b>
SK 25	<b>5,75</b>	<b>5,72</b>	<b>5,73</b>	<b>5,71</b>	<b>5,74</b>	<b>5,73</b>	<b>0,0002</b>	<b>0,014</b>

Tabulka č. 27:  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  – polní pokus, Studená (2009)

Varianta	1	2	3	4	5	Ø	rozptyl	sm.odchylka
SH 5	<b>4,70</b>	<b>4,73</b>	<b>4,68</b>	<b>4,71</b>	<b>4,69</b>	<b>4,70</b>	<b>0,0003</b>	<b>0,017</b>
SH 15	<b>4,52</b>	<b>4,51</b>	<b>4,50</b>	<b>4,54</b>	<b>4,53</b>	<b>4,52</b>	<b>0,0002</b>	<b>0,014</b>
SH 25	<b>4,78</b>	<b>4,81</b>	<b>4,77</b>	<b>4,79</b>	<b>4,80</b>	<b>4,79</b>	<b>0,0002</b>	<b>0,014</b>
SK 5	<b>4,83</b>	<b>4,78</b>	<b>4,76</b>	<b>4,78</b>	<b>4,81</b>	<b>4,79</b>	<b>0,0006</b>	<b>0,025</b>
SK 15	<b>4,58</b>	<b>4,56</b>	<b>4,57</b>	<b>4,59</b>	<b>4,58</b>	<b>4,58</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,010</b>
SK 25	<b>4,50</b>	<b>4,48</b>	<b>4,49</b>	<b>4,47</b>	<b>4,49</b>	<b>4,49</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,010</b>

### 5.2.2 Kationtová výměnná sorpční kapacita půdy

Tento půdní parametr se uplatňuje v hodnocení zejména produkční schopnosti půd již dosti dlouho. Zároveň je to také ukazatel, který má vysokou vypovídací schopnost i při posuzování ostatních environmentálních, resp. mimoprodukčních funkcí půdy. Při sledování dopadu dvou odlišných způsobů zpracování na tento parametr ve zvolených třech hloubkách půdního profilu bylo zjištěno, že kationtová výměnná sorpční kapacita (označovaná též někdy jako hodnota T, anebo i v naší literatuře přejímaná zkratka CEC z angličtiny) je v celém vyšetřovaném profilu, tedy ve všech třech odebíraných hloubkách, vyšší oproti orbě. Tento výsledek však není ani v jedné hloubce statisticky průkazný. Nutno však zároveň dodat, že ani u jedné varianty nezaznamenáváme očekávaný profilový průběh. Hodnoty KVK zjištěné při polním pokusu ve Studené v r. 2009 jsou uvedeny v *tabulce č. 28*. Průměrné hodnoty KVK jsou vyobrazeny na *grafu č. 8* v příloze.

Tabulka č. 28: Kationtová výměnná sorpční kapacita půdy KVK ( $\text{mmol.kg}^{-1}$ ) – polní pokus, Studená (2009)

Varianta	1	2	3	4	5	Ø	rozptyl	sm.odchylka
SH 5	<b>79,5</b>	<b>79,7</b>	<b>79,1</b>	<b>78,3</b>	<b>78,5</b>	<b>79,02</b>	<b>0,2976</b>	<b>0,546</b>
SH 15	<b>67,7</b>	<b>69,2</b>	<b>68,3</b>	<b>67,9</b>	<b>68,6</b>	<b>68,34</b>	<b>0,2824</b>	<b>0,531</b>
SH 25	<b>61,5</b>	<b>60,3</b>	<b>59,8</b>	<b>61,1</b>	<b>62</b>	<b>60,94</b>	<b>0,6344</b>	<b>0,796</b>
SK 5	<b>78</b>	<b>77,9</b>	<b>78,5</b>	<b>78,8</b>	<b>77,5</b>	<b>78,14</b>	<b>0,2104</b>	<b>0,459</b>
SK 15	<b>71,8</b>	<b>72</b>	<b>70,2</b>	<b>71,4</b>	<b>72,1</b>	<b>71,50</b>	<b>0,4800</b>	<b>0,693</b>
SK 25	<b>57,6</b>	<b>58,3</b>	<b>58,5</b>	<b>57,8</b>	<b>59,2</b>	<b>58,28</b>	<b>0,3176</b>	<b>0,564</b>

U bezorebné varianty je relativně vysoká hodnota KVK v povrchové vrstvě půdy (0,05-0,1 m) oproti následující hloubce (0,15-0,2 m). V tomto případě to znamená, že použitou metodou stanovení (viz kap. Metodika, část 4.5.2 Stanovení kationtové sorpční kapacity půdy T konduktometricky podle Sandhofa), byla zachycena navíc nějaká ionto-výměnná složka primární organické hmoty. Naopak u konvenčního zpracování orbou by si měly být obě první hloubky hodnotou sorpční kapacity bližší vzhledem k předpokládané větší homogenitě ornice, resp.humusového horizontu. V tomto případě mohou být částečným zdůvodněním i poměrně velké rozdíly v množství a kvalitě POH (HORÁČEK ET AL., 2008A), což ale není předmětem této práce.

Hodnoty KVK, uvedené v tabulce č. 28, které byly zjištěny na základě polního pokusu ve Studené, jsou tedy v rozporu s některými autory (SALINAS-GARCIA ET AL., 1997; LAL ET AL., 1990). Podle jejich závěrů se sice KVK mění s půdní hloubkou, ale zpracováním půdy byla významně ovlivněna jenom ve svrchní vrstvě půdy 0-50 mm. Tito autoři zaznamenali u půdoochranných technologií výrazný pokles v této vrstvě. Opačného názoru jsou například EKEBERG A RILEY (1997), kteří zjistili, že KVK v povrchové vrstvě půdy bylo výrazně vyšší než na orebné kontrole. Tento fakt spojují s vyšším obsahem půdní organické hmoty.

Kationtová výměnná sorpční kapacita byla zařazena do souboru sledovaných parametrů půdy, resp.jejich případných změn v důsledku rozdílného způsobu zpracování, ještě z dalšího důvodu. Tím je ověření a případné potvrzení šíře korelačních vztahů k dalším důležitým půdním vlastnostem. Nutno však připustit, že hodnocené soubory nejsou velké a tak případné zobecnění některých vztahů je nutno brát s určitou rezervou. V tomto případě je však ještě dalším komplikujícím prvkem následující skutečnost. Základ posuzování vlivu rozdílných technologií totiž sice spočívá v porovnávání půdních vlastností v odpovídajících si hloubkách variant

pokusu, ale současně jsou hodnoceny i změny v celkových půdních profilech, které již vykazují primárně rozdílné fyzikální a chemické vlastnosti v posloupnosti jednotlivých vrstev.

Dokladem této úvahy je např. již následné hodnocení vztahu sorpční kapacity (KVK) a zrnitosti půdy ve zkoumaných profilech pokusného pozemku. Pro posouzení těsnosti vztahu byla u zrnitosti vybrána zrnitostní kategorie frakce <0,01mm, tedy dle Kopeckého částice jílnaté či zrna tzv. I kategorie, používaná u nás hlavně pro určení půdního druhu dle Nováka (LEDVINA, 2000). Pro tuto kategorii zrn byl nalezen silný korelační vztah. Pro bezorebnou technologii je tento vztah již na hranici významnosti a pro konvenční zpracování je potom poněkud překvapivě hodnota korelačního koeficientu velmi vysoká (*tabulka č. 29*). Odůvodněním je skutečnost, že v neorané variantě obsahuje prostřední sledovaná hloubka (0,15-0,2 m) této zrnitostní kategorie nejméně, kdežto v konvenčním zpracování naopak množství částic jílnatých stoupá s hloubkou téměř rovnoměrně. Protože ale v bezorebné variantě klesá kationtová sorpční kapacita přibližně stejně jako u orby (vzájemný vztah sorpce a zrnitosti je nepřímo úměrný), je nutno uvažovat, že na vyšší sorpční kapacitě v bezorebném zpracování v hloubce 0,15-0,2 m se podílí více organická než minerální část sorpčního komplexu půdy.

Tabulka č. 29: Korelační závislost mezi KVK a zrnitostní frakcí < 0,01 mm

Varianta korelace	Korel. koef.	Stupeň korel. závislosti	Krit.hodnota
KVK (SH) - frakce < 0.01 mm (SH)	<b>-0,5102</b>	<b>střední</b>	<b>0,48</b>
KVK (SK) - frakce < 0.01 mm (SK)	<b>-0,9077</b>	<b>velmi vysoký</b>	<b>0,48</b>

Vzájemný vztah kationtové sorpční kapacity a velikostních skupin vodostálých agregátů je v tomto případě obtížné hodnotit (*tabulka č. 30*). Těsný vztah mezi KVK a největší velikostní skupinou u obou variant pokusu lze zdůvodnit snad jen vyšší kvalitou humusových látek v nich obsažených, což ale není předmětem této práce. Za zmínku stojí i velmi úzká korelace s velikostní skupinou vodostálých agregátů o rozměru 63-250  $\mu\text{m}$ , která již může mít vztah k zrnitosti. Nejasný je ale vztah KVK k nejmenším agregátům (nezdůvodnitelný rozdíl mezi technologiemi), kde lze snad uvažovat s ještě ne zcela přesnými výsledky nově zkoušené metody.



Tabulka č. 30: Korelační závislost mezi KVK a zastoupením vodostálých agregátů (dle velikosti sít v  $\mu\text{m}$ )

Varianta korelace	Korel. koef.	Stupeň korel. závislosti	Krit.hodnota
KVK (SH) - agregáty 2000-630 (SH)	<b>-0,8823</b>	<b>vysoký</b>	<b>0,48</b>
KVK (SK) - agregáty 2000-630 (SK)	<b>-0,7845</b>	<b>vysoký</b>	<b>0,48</b>
KVK (SH) - agregáty 630-250 (SH)	<b>-0,3104</b>	<b>mírný</b>	<b>0,48</b>
KVK (SK) - agregáty 630-250 (SK)	<b>-0,0142</b>	<b>nízký</b>	<b>0,48</b>
KVK (SH) - agregáty 250-63 (SH)	<b>0,8563</b>	<b>vysoký</b>	<b>0,48</b>
KVK (SK) - agregáty 250-63 (SK)	<b>0,9650</b>	<b>velmi vysoký</b>	<b>0,48</b>
KVK (SH) - agregáty < 63 (SH)	<b>0,8562</b>	<b>vysoký</b>	<b>0,48</b>
KVK (SK) - agregáty < 63 (SK)	<b>-0,1234</b>	<b>nízký</b>	<b>0,48</b>

## 6. ZÁVĚR

Vliv půdoochranných technologií, resp. systému s využitím minimálního zpracování půdy s vynecháním klasické podzimní hluboké orby byl zjišťován v provozním pokusu ve Stagře, s. r. o., Studená jako jednorázové šetření odběrem neporušených půdních vzorků formou fyzikálních (Kopeckého) válečků těsně před sklizní, a následným laboratorním stanovením vybraných charakteristik, doplněným terénním měřením penetrometrického odporu půdy.

Zrnitostní složení pokusného pozemku, které rozhodujícím způsobem ovlivňuje ostatní fyzikální vlastnosti půdy se ukázalo jako nevyrovnané jak profilově, tak plošně a poněkud zkomplikovalo hodnocení některých dalších půdních parametrů. Silné korelační vztahy s většinou ostatních vlastností půdy vykazala pouze zrnitostní frakce <0,01 mm.

Z aplikovaných hydrolimitů byla hodnocena jen momentální vlhkost  $W_{mom}$  a maximální kapilární kapacita MKK. V obou případech byly hodnoty těchto vlhkostí celkově mírně příznivější v bezorebné variantě (bez statistické průkaznosti).

Z pórovitostí byly posuzovány dvě nejvýznamnější a to pórovitost kapilární a pórovitost celková. Kapilární pórovitost je ve Studené vyšší u bezorebné varianty ve všech třech odebíraných hloubkách oproti orbě, i když nijak výrazně. Důležitější je ale skutečnost, že v neorané variantě je mnohem příznivější podíl kapilárních pórů z celkového objemu pórů, zvláště v prvních dvou hloubkách odběru, což naznačuje předpoklad lepšího zásobení kořenové zóny vodou. Hodnoty celkové pórovitosti jsou jednoznačně ovlivněny hloubkou zpracování. Nevyšší (nejpříznivější) jsou v povrchové vrstvě u obou technologií a ve střední odběrové hloubce (0,15-0,2 m) u orby. V největší zkoumané hloubce (0,25-0,3 m) se hodnoty  $P_c$  v obou variantách sobě blíží, ale příznivější jsou již u bezorebného zpracování. V obou případech se však číselně blíží hodnotám, indikujícím nadměrné utužení pro daný půdní druh, ale kritické hodnoty nebyly překročeny.

Objemová hmotnost redukována na pokusném honu ve Studené má obdobný profilový průběh jako pórovitost celková. To znamená, že méně příznivé hodnoty (vyšší utužení) vykazují první dvě hloubky u mělkého zpracování, u orby jsou lepší. Naopak pod hloubkou zpracování (0,25-0,3 m) je Or již nižší (příznivější) u mělké (bezorebné) technologie oproti orbě, kde se i nalezené hodnoty více blíží údajům pro

nadměrné utužení a byla i na tomto pozemku dokázána tvorba „podlahy“, charakteristické pro konvenční technologii zpracování půdy.

Měření penetrometrického odporu půdy na pokusném pozemku prakticky potvrdila předchozí závěry z hodnocení objemové hmotnosti redukované a pórovitosti celkové o profilovém průběhu strukturního stavu resp. utužení půdy na pokusném pozemku i s výhradami k této metodě, uvedenými v diskusi.

Ze stanovení množství vodostálých agregátů lze vybrat jen poznatek, že mnohem vyšší podíl nejednodušší velikostní skupiny vodostálých agregátů je v bezorebné variantě oproti konvenčnímu zpracování v největší odběrové hloubce a významný je i jejich těsný korelační vztah k zrnitostní frakci částic jílnatých.

Jako velký handicap pokusné lokality se ukázala její velmi kyselá půdní reakce, která již umožňuje přechod půdních koloidů ze stavu gel do stavu sol a tím usnadňuje porušení stability agregátů resp. půdní struktury.

Kationtová výměnná sorpční kapacita jako doplňkové stanovení prokázala při vyšetřování jejího vztahu k zrnitosti úzkou korelaci pouze k zrnitostní frakci <0,01 mm a vzhledem k porovnávaným technologiím neočekávaně těsněji k orbě. To lze v tomto případě vysvětlit pouze ve vztahu k půdní organické hmotě, což překračuje rámec této práce.

Závěrem lze shrnout, že fyzikální vlastnosti půdy jsou zásadním způsobem ovlivňovány hloubkou, do které až zasahují pracovní části strojů a ani střednědobé kontinuální využívání bezorebné technologie v horších půdně klimatických podmínkách je nijak podstatně nezhoršuje. Dokonce pod hloubkou zpracování je tomu naopak. Proto lze bezorebné systémy při dodržení potřebné technologické kázně doporučit i do vyšších a členitějších poloh i v komplexních pozemkových úpravách, neboť mohou plnit i významnou půdoochrannou funkci.

## 7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ALBLAS, J., WANINK, F., VAN DEN AKKER, J. VAN DER WERF, H.M.G. (1994): Impact of traffic-induced compaction of sandy soils on the yield of silage maize in The Neutherlands. *Soil Tillage Res.*, Vol. 29, pp. 157-165.

ARVIDSSON, J., HAKANSSON, I. (1992): Estimated crop yield losses caused by soil compaction; examples using a Swedish model. In: *Proc. Int. Soil Compaction Conf.*, Tallinn, Estonia , 8-12 June 1992, pp. 150-153.

BARLEY, K.P. (1954): The root growth of irrigated perennial pastures and its effect on soil structures. *Aust. J. Agric. Res.*, n.4, pp. 283-291.

BATEY, T. (2009): Soil compaction and soil management – a review. *Soil use and managemant*, Vol. 25, pp. 335-345.

BENOIT, G.R., LINDSTROM, M.J. (1987): Interpreting tillage residue management effects. *J. Soil Water Conserv.*, Vol. 42, pp. 87-90.

BLEVINS, R.L., THOMAS, G.W., CORNELIUS, P.L. (1977): Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continous corn. *Agronomy J.*, Vol. 69, pp. 383-396.

CARTER, M.R. (2004): Researching structural complexity in agricultural soils. *Soil and Tillage Res.*, Vol. 79, pp. 1-6.

CHAN, K.Y., ROBERTS, W.P., HEENAN, D.P. (1992): Organic carbon and associated soil properties of a red earth after 10 years of rotation under different stubble and tillage practices. *Aust. J. Soil Res.*, Vol. 30, pp. 71-83.

CHANEY, K., SWIFT, R.S. (1984): The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. *J. Soil Sci.*, Vol. 35, pp. 223-230.

CRUZ, J.C. (1982): Effect of Crop Rotation and Tillage systems on Some Soil Properties, Root distribution and Crop Production. Ph.D. Thesis, Purdue University, W.Lafayette, pp. 125-129.

CZYZ, E.A., DEXTER, A.R. (2009): Soil physical properties as affected by traditional, reduced and no-tillage for winter wheat. *International agrophysics*, Vol. 23, pp. 319-326.

ČERMÁKOVÁ, A., STŘELEČEK, F. (2005): *Statistika I*. JU ZF České Budějovice, 167 s.

ČURLÍK, J. a kol. (2003): *Pôdna reakcia a jej úprava*. Jaroslav Suchoň – Suma print, Bratislava, 250 s.

DANFORS, B., ILSKOG, E., HAKKANSSON, I., ARVIDSSON, J. (1992): Analyses of agricultural field equipment systems with respect to soil compaction effects. In: *Proc. AgEng `92*, 1-4 June 1992, Swedish Institute of Agricultural Engineering, Uppsala, Sweden, pp. 481-483.

DICK, W.A. (1983): Organic carbon, nitrogen and phosphorous and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol. 47, pp. 102-106.

DRBAL, J. (1969): *Meliorační pedologie*. SPN Praha, 348 s.

- EDWARDS, A.D., BREMNER, J.M. (1967): Microaggregates in soil. *J. Soil Sci.*, n. 18, pp. 64-73.
- EKEBERG, E. (1992): Reduced tillage on loam soil. Soil investigation (in Norwegian with English summary), *Norw. Agric. Res.*, n. 6, pp. 223-224.
- EKEBERG, E., RILEY, H.C.F. (1997): Tillage intensity effects on soil properties and crop yields in a long-term trial on morainic loam soil in southeast Norway. *Soil and Tillage Res.*, Vol. 42, pp. 277-293.
- HASLBACH, J., VACULÍK, R. (1980): Půdoznalství. Vysoká škola zemědělská v Brně, 159 s.
- HAYNES, R.J., SWIFT, R.S., STEPHEN, R.C. (1991): Influence of mixed cropping rotations (pasture-arable) on organic matter content, water stable aggregation and clod porosity in a group of soil. *Soil and Tillage Res.*, Vol. 19, pp. 77-87.
- HEENAN, D.P., CHAN, K.Y. (1992): The long-term effects of rotation, tillage and stubble management on soil mineral nitrogen supply to wheat. *Aust. J. Soil Res.*, Vol. 30, pp. 977-988.
- HEENAN, D.P., TAYLOR, A.C. (1995): Soil pH decline in relation to rotation, tillage and stubble management on wheat production in south-easter Australia. *Soil Use Manage.*, n. 11, pp. 4-9.
- HERNANZ J.L., LÓPEZ, R., NAVARRETE, L., SÁNCHEZ-GIRÓN, V. (2002): Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil and Tillage Res.*, Vol. 66, pp. 129 – 141.
- HLUŠIČKOVÁ, J., LHOTSKÝ, J. (1994): Ochrana půdní struktury před technogenní degradací. Praha, Ústav zemědělských a potravinářských informací, 40 s.
- HOLEMAN, J. (1980): Erosion rates in the United States. Press Release December 10, USDA, SCS, Washington, D.C.
- HOLÝ, J. (1997): Technologie pro další tisíciletí. *Úroda*, 3, s. 52-53.
- HORÁČEK, J. (1995): Studie vlastností a přeměn organické hmoty v půdě. Docentská habilitační práce, JU ZF České Budějovice.
- HORÁČEK, J. (2007): Hodnocení bezorebného systému hospodaření na orné půdě v podmínkách se zvýšenými nároky na ochranu životního prostředí v provozním pokusu ve Studené. In: Redakčně upravená roční zpráva za rok 2007. MZe ČR, NAZV (projekt 1G57042), Praha, s. 68-78.
- HORÁČEK, J., LEDVINA, R. (1993): Sborník ZF JU Č. Budějovice, ř. FYTO, s. 13-26.
- HORÁČEK, J., LEDVINA, R., KOUBALÍKOVÁ, J. (1994): Geologie a půdoznalství. JU ZF České Budějovice, 110 s.
- HORÁČEK, J., LEDVINA, R., STACH, J., ŠABATKA, J., RAUS, A. (1999): Posouzení fyzikálních vlastností půd při klasické a bezorebné technologii pěstování brambor. *Zemědělská technika*, 45, s. 81-86.
- HORÁČEK, J., LEDVINA, R., RAUS, A. (2001): The content and quality of organic matter in cambisol in a long-term no-tillage system. *Rostl. Výr.*, 47, s. 205-210.

- HORÁČEK, J., KOLÁŘ, L., ČECHOVÁ V., HŘEBEČKOVÁ J. (2008a): Phosphorus and carbon fraction concentrations in a cambisol soil as affected by tillage. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Vol. 39, n. 13 & 14, pp. 2032-2045.
- HORÁČEK, J., LIEBHARD, P., LEDVINA, R., STACH, J. a kol. (2008b): Technogenní kompakce v systému minimálního zpracování půdy v rozdílných půdně-klimatických podmínkách. Půda v moderní informační společnosti. Sb. příspěvků české a slov. pedol. společnosti, Bratislava, s. 141-147.
- HORÁČEK, J., LIEBHARD, P., ČECHOVÁ, V., HŘEBEČKOVÁ, J. (2009): Kompakce půdy v redukováných systémech zpracování. Sb. 13. Pedologické dny, Ostrava, s. 79-84.
- HORSCH, D. (1990): Reduzierte Bodenbearbeitung, angepasste Saattechnik und Unkrautbekämpfung nach dem System Horsch. *Integrierter Landbau*, BLV Vorlagsges, München, 420 s.
- HŮLA, J. (2000): Půdoochranné technologie zakládání porostů plodin (Technika v půdoochranných technologiích). Praha, ÚZPI, Stud. Inform., Ř. Zeměd. Techn., 3, 46 s.
- HŮLA, J. a kol. (2004): Minimalizační a půdoochranné technologie. Praha, VÚZT, 59 s.
- HŮLA, J., ABRHAM, Z., BAEUR, F. (1997): Zpracování půdy. Praha, Nakladatelství Brázda, 144 s.
- HŮLA, J., PROCHÁZKOVÁ, B. a kol. (2002): Vlivy minimalizačních a půdoochranných technologií na plodiny, půdní prostředí a ekonomiku. *Zem. inf.*, 3, 103 s.
- HŮLA, J., PROCHÁZKOVÁ, B. a kol. (2008): Minimalizace zpracování půdy. Praha, Profi Press, 248 s.
- HUSSAIN, I., OLSON, K.R., SIEMENS, J.C. (1998): Long-term tillage effects on physical properties of eroded soil. *Soil Sci.*, 163, pp. 970 – 981.
- JABRO, J.D., STEVENS, W.B., EVANS, R.G., IVERSEN, W.M. (2009): Tillage effects on physical properties in two soils of the northern Great Plains. *Applied engineering in agriculture*, Vol. 25, pp. 377-382.
- JANEČEK, M. a kol. (2007): Ochrana zemědělské půdy před erozí – metodika. Praha, VÚMOP, v.v.i., 76 s.
- JAVOREK, F. (2006): Technika pro půdoochranné systémy. *Zemědělec*, 6, Profi Press, Praha, s. 15-17.
- JAVŮREK, M. (2005): Orebné nebo bezorebné technologie zakládání porostů polních plodin. *Agro*, 8, s. 14-18.
- JAVŮREK, M., VACH, M., MIKANOVÁ, O. (2003): Změny fyzikálních a biologických vlastností půdy po osmileté aplikaci půdoochranné technologie zpracování. In: Sb. Fyzikální vlastnosti půdy a jejich interakce s půdními organismy a kořeny rostlin. ÚPB AV ČR v Českých Budějovicích, s. 141-146.
- JAVŮREK, M., VACH, M., ŠÁRA, M. (2007): Hodnocení vlivu vybraných variant půdoochranného zpracování půdy na fyzikální vlastnosti půdy a na stabilitu půdních

agregátů. In: Redakčně upravená roční zpráva za rok 2007. MZe ČR, NAZV (projekt 1G57042), Praha, s. 87 – 94.

JEŽEK, S. (1987): Protierozní ochrana zemědělských půd. Praha, SMS, 144 s.

KASPER, M., BUCHAN, G.D., MENTLER, A., BLUM, W.E.H. (2009): Influence of soil tillage systems on aggregate stability and the distribution of C and N in different aggregate fractions. *Soil and Tillage Res.*, Vol. 105, pp. 192-199.

KAYAMBO, B., LAL, R., MREMA, G.C. (1986): Traffic-induced compaction in maize, cowpea and soya bean production on a tropical Alfisol after ploughing and no-tillage: Crop growth. *J. Sci. Food Agric.*, Vol. 37, pp. 1139-1154.

KINSELLA, J. (1998): Agriculture's role in protecting the environment. Agricultural Technology Center Lexington, Illinois, (lecture).

KLADIVKO, E.J. (2001): Tillage systems and soil ecology. *Soil and Tillage Res.*, Vol. 61, pp. 61 – 76.

KOHOUT, V. a kol. (2002): Zemědělské soustavy. ČZU Praha, 80 s.

KOLÁŘ, L. (1987): Organické hnojení a humus. VŠZ Praha, 105 s.

KOLÁŘ, L. (1988): Výživa rostlin a hnojení (zvláštnosti vyšších poloh). VŠZ Praha, 42 s.

KOLÍNSKÝ, J. (1994): Technologie setí při ponechání rostlinných zbytků na povrchu. *Mechanizace zemědělství Speciál*, 1, s. 2-10.

KOPECKÝ, J. (1928): Půdoznalství. Praha, 287 s.

KOSIL, V. (1973): Půdoznalectví. VŠZ Praha, s. 56.

KOSTELANSKÝ, F. a kol. (1997): Obecná produkce rostlinná. MZLU Brno, 212 s.

KOVÁČ, K., KUBINEC, K. (1998): Pestovanie ozimnej pšenice a podoochránárske technológie pestovania obilnín. VÚRV a SPPK, Piešťany, 66 s.

KÖLLER, K., LINKE, CH. (2006): Úspěch bez pluhu. Praha, Vydavatelství ZT, 191 s.

KUBÁT, J., CERHANOVÁ, D., MIKANOVÁ, O., ŠIMON, T. (2008): Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách. VÚRV, v.v.i., Praha, 34 s.

KVÍTEK, T., TIPPL, M. (2003): Ochrana povrchových vod před dusičnany z vodní eroze a hlavní zásady protierozní ochrany v krajině. *Zem. Inform.*, 10, Praha, ÚZPI, 47 s.

LAL, R. (1982): No-till Farming. IITA Monograph, No 2, IITA, Ibadan, Nigérie, pp. 68.

LAL, R., LOGAN, T.J., FAUSEY, N.R. (1990): Long-term tillage effects on a Mollic Ochraqualf in Northwest Ohio. III. Soil nutrient profile, *Soil and Tillage Res.*, Vol. 15, pp. 371-382.

LE BISSONNAIS, Y. (1996): Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 47, pp. 425-437.

LEDVINA, R., VÁCHAL, J., HORÁČEK, J., DRBAL, K. (1988): Pedologie. VŠZ Praha, 130 s.

- LEDVINA, R., HORÁČEK, J., ŠINDELÁŘOVÁ, M. (2000): Geologie a půdoznalství. JU ZF České Budějovice, 203 s.
- LHOTSKÝ, J. a kol. (1994): Kultivace a rekultivace půd. VÚMOP Praha, 198 s.
- LOGSDON, S.D., RENEAU, R.B., PARKER, J.C. (1987): Corn seedling root growth as influenced by soil physical properties. *Agron. J.*, Vol. 79, pp. 221-224.
- MARENDIAK, D., KOPČANOVÁ, L., LEITBEG, S. (1987): Poľnohospodárska mikrobiológia. *Príroda Bratislava*, s. 131-235.
- MAŠÁT, K., NĚMEČEK, J., TOMIŠKA, Z. (2002): Metodika vymezení a mapování bonitovaných půdně ekologických jednotek. VÚMOP Praha, 113 s.
- MATULA, J. (1987): *Agrochemie*. VŠZ Praha, s. 53-86.
- MCCONKEY, B.G., CAMPBELL, C.A., ZENTNER, R.P., DYCK, F.B., SELLES, F. (1996): Long-term tillage effects on spring wheat production on three soils textures in Brown soil zone. *Canadian journal of plant science*, pp. 747-755.
- MENTLER, A., MAYER, H., STRAUß, P., BLUM, W.E.H. (2004): Characterisation of soil aggregate stability by ultrasonic dispersion. *Int. Agrophysics*, 18, pp. 39-45.
- MIKULKA, J., CHODOVÁ, D. (2000): Long-term study on the occurrence of weeds resistant to herbicides in the Czech Republic. *Zeitschrift Fur Pflanzenkrankheiten Und Pflanzenschutz, Journal of Plant Diseases and Protection*, 107, pp. 373-376.
- MIKULKA, J., ŠKODA, V. (2002): Vliv mělkého zpracování půdy na některé fyzikální vlastnosti půdy a výnos pšenice. In: *Sborník - Setrvalý rozvoj rostlinné a živočišné produkce - cesta k rozvoji českého venkova*. ČZU Praha, s. 122.
- MIKULKA, J., ŠKODA, V., HORÁK, L. (2006): Vliv konzervačního zpracování na fyzikální vlastnosti písčito-hlinité půdy. *Collection of Scientific Papers, JU ZF České Budějovice, Series for Crop Sciences*, 1, s. 11-19.
- MIŠTINA, T. (2000): Súčasný stav a perspektívy využívania bezorbových technológií v Slovenskej republike. In: *Sb. Využití různých systémů zpracování půdy při pěstování rostlin*. Praha, s. 15-18.
- MIŠTINA, T., KOVÁČ, K. a kol. (1993): *Ochranné obrábanie pod*. VÚRV Piešťany, 167 s.
- MOORHOUSE, L.A. (1909): Some problems in Oklahoma in No-tillage and Surface Tillage agriculture. John Wiley & Sons, Canada, p. 7.
- NĚMEČEK, J. et al. (2001): Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. ČZU, VÚMOP Praha, 78 s.
- NESVADBA, R. (1987): *Zemědělské soustavy – kultivace půdy*. VŠZ v Brně, 141 s.
- NIMNO, J.R., PERKINS, K.S. (2002): Aggregate stability and size distribution. In: Dane J. H., Topp, G.C. [ed.]: *Methods of Soil Analysis, Part 4 - Physical Methods*. Soil Science Society of America, Inc. Madison, USA, pp. 317-328.
- OLSEN, P.A., BØRRESEN, T. (1997): Measuring differences in soil properties in soils with different cultivation practices using computer tomography. *Soil and Tillage Res.*, Vol. 44, pp. 1-12.
- PAVEL, L. a kol. (1984): *Geologie a půdoznalství*. VŠZ Praha, 280 s.



- PECHOČ, V. (1981): Vyhodnocování měření a početní metody v chem. inženýrství. SNTL Praha, 228 s.
- PRAX, A., JANDÁK, J., POKORNÝ, E. (1995): Půdoznalství. MZLU Brno, 156 s.
- PRCHAL, L. (1992): Bezorebné setí Secími exaktory HORSCH. Úroda, s. 340-341.
- PROCHÁZKOVÁ, B., HRUBÝ, J., SUŠKEVIČ., M. (2000): Volba způsobů zpracování půdy podle stanovištních podmínek. Farmář, 2, s. 39-41.
- PUTSYKIN, YU.G., SHAPOVALOV, A.A., STEPANOV, A.L., BODOEV, N.V., KOSTRIKOVA, T.V. (2004): Humic acids as a specific class of organomineral polymers. Phytopedon (Bratislava), Vol. 3, pp. 63-66.
- RASMUSSEN, P.E, PARTON, W.J. (1994): Long-term effects of residue management in wheat-fallow. Soil Sci. Soc. Am. J., n. 58, pp. 523-530.
- RAUS, A. (2000): Vliv půdoochranného zpracování půdy na vybrané fyzikální, fyzikálněchemické a biologické vlastnosti kambizemě. Disertační práce, JU ZF České Budějovice, 165 s.
- ROHOŠKOVÁ, M., VALLA, M. (2004): Comparison of two methods for aggregate stability measurement. Plant Soil Environ., Vol. 50, pp. 379-382.
- SALINAS-GARCIA, J.R., MATOCHA, J.E., HONS, F.M. (1997): Long-term tillage and nitrogen fertilization effects on soil properties of an Alfisol under dryland corn / cotton production. Soil and Tillage Res., Vol. 42, pp. 79-93.
- ŠÁŇKA, M., MATERNA, J. (2004): Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. MŽP Praha, 84 s.
- SOMMER, C., ZACH, M. (1990): Langfristige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit durch konservierende/schonende Bodenbearbeitung. Feldwirtschaft, 8, s. 340-342.
- SOTÁKOVÁ, S. (1982): Organická hmota a úrodnost půdy. Příroda, Bratislava, s. 123-126.
- SPRAGUE, M.A., ALDRICH, R.D., ILNICKI, R.D., KATES, A.H., EVRARD, T.O., CHASE, R.W. (1962): Pasture improvement and seedbed preparation with herbicides. N.J.Agric.Exp. Stn. Bull., p. 803.
- SPRAGUE, M.A., TRIPLETT, G.B. (1986): No-tillage and surface-tillage agriculture: the tillage revolution. John Wiley & Sons Inc., New York, 467 p.
- ŠABATKA, J. (1998): Zkušenosti s mělkým zpracováním půdy, Úroda, 1., s. 18-20.
- ŠABATKA, J. (2000): Obdělávání půdy bez orby. Akce Zelená laguna, JU ZF České Budějovice.
- ŠABATKOVÁ, O., HORÁČEK, J., LIEBHARD, P., KOPEČNÁ, J., ČECHOVÁ, V. (2006): Vliv minimalizačních technologií na kvantitativní parametry půdní organické hmoty kambizemě a černozemě. In: Sb. abstr. z 11. Pedologických dnů, Kouty nad Desnou, s. 69.
- ŠIMON, J., LHOTSKÝ, J. a kol. (1989): Zpracování a zúrodnování půd. SZN Praha, 317 s.
- ŠIMON, J., ŠKODA, V., HŮLA, J. (1999): Zakládání porostů hlavních polních plodin novými technologiemi. SZN Praha, 78 s.

- ŠKODA, V. (1997): Klasická předseťová příprava půdy. Farmář, 11, Profi Press, Praha, 24 s.
- ŠKODA, V., CHOLENSKÝ, J., PROCHÁZKA, O. (2002): Konvenční a perspektivní způsoby zpracování a kultivace půdy. ÚZPI, Praha, 64 s.
- TATE, R.L. (1987): Source and transformations of readily metabolized organic matter. In: Soil Organic Matter, Biological and Ecological Effects, Wiley, pp. 69-94.
- TESAŘ, S. a kol. (1992): Výživa rostlin a hnojení. VŠZ Praha, 151 s.
- THOMAS, G.W., PHILLIPS, R.E. (1979): The effect of macro-pores on movement on solutes in soils. J. Environ. Quali., n. 8, pp. 149-152.
- THOMAS, G.W., PHILLIPS, R.E. (1981): Modeling soil water contents and their effect on stream flow in Kentucky, Research Report No. 128. Water Resources Research Institute, University of Kentucky.
- TOMÁŠEK, M. (2007): Půdy České Republiky. Česká geologická služba, Praha, 68 s.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, SOIL CONSERVATION SERVICE (1980): America's soil and water Conditions and Trends, Superintendent of Documents, Washington, DC.
- VALLA, M. (1984): Půdní organická hmota. In: Pavel, L. : Geologie a půdoznalectví. VŠZ Praha, 280 s.
- VALLA, M., KOZÁK, J., DRBAL, J. (1980): Cvičení z půdoznalectví – II. VŠZ Praha, 280 s.
- VALLA, M., KOZÁK, J., NĚMEČEK, J. (2002): Pedologické praktikum. ČZU Praha, 151 s.
- VARSA, E.C., CHONG, S.K., ABOLAJI, J.O., FARQUHAR, D.A., OLSEN, F.J. (1997): Effect of deep tillage on soil characteristics and corn (*Zea mays* L.) root growth and production. Soil and Tillage Res., Vol. 43, pp. 219-228.
- VOORHEES, W.B., EVANS, S.D., WARNES, D.D. (1985): Effect of preplant wheel traffic on soil compaction, water use, and growth of spring wheat. Soil Soc. Am. J., Vol. 49, pp. 215-220.
- ZRUBEC, F. (1998): Metodika zúrodnenia zhutněných půd. Edičné stredisko Výzkumného ústavu pôdnej úrodnosti, Bratislava, s. 6-12.

## 8. PŘÍLOHY

### Seznam příloh:

Příl. č. 1: Seznam použitých zkratk

Příl. č. 2: Zobrazení zájmové lokality a míst odběru vzorků na mapě

Obr. č. 1: Zobrazení zájmové lokality na mapě

Obr. č. 2: Zobrazení míst odběru vzorků na mapě

Příl. č. 3: Grafy znázorňující hodnoty vybraných půdních charakteristik

Graf č. 1: Průměrné zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí

Graf č. 2: Objemová hmotnost redukováná  $O_r$  – průměrné hodnoty

Graf č. 3: Měrná hmotnost  $M_z$  – průměrné hodnoty

Graf č. 4: Zastoupení pórovitosti celkové a kapilární – průměrné hodnoty

Graf č. 5: Penetrometrický odpor  $p$

Graf č. 6: Penetrometrický odpor  $p$  – průměrné hodnoty

Graf č. 7: Rozdělení velikostních skupin vodostálých agregátů

Graf č. 8: Kationtová výměnná sorpční kapacita KVK – průměrné hodnoty

Graf č. 9: Momentní vlhkost  $W_{mom}$  – průměrné hodnoty

Graf č. 10: Maximální kapilární vodní kapacita MKK – průměrné hodnoty

Graf č. 11: Provdzdušněnost  $V_z$  – průměrné hodnoty

Graf č. 12: Vzdušná kapacita půdy (při MKK) – prům. hodnoty

## **Příl. č. 1: Seznam použitých zkratk**

CEC	cation exchange capacity (kationtová výměnná sorpční kapacita)
C <sub>hws</sub>	horkorozpustný uhlík
C <sub>ox</sub>	celkový oxidovatelný uhlík
CT	conventional tillage (konvenční zpracování půdy)
ČK	číslo konzistence
FK	fulvokyseliny
HK	huminové kyseliny
HL	humusové látky
K <sub>v</sub>	koeficient vulnerability
KVK	kationtová výměnná sorpční kapacita
KVz	vzdušná kapacita
MKK	maximální kapilární kapacita
MT	minimum tillage (minimální zpracování půdy)
Mz	měrná (specifická) hmotnost
N	navážka zeminy
Ns	nasákivost
Or	objemová hmotnost redukováná
p	penetrometrický odpor
pH	půdní reakce
pH <sub>H2O</sub>	aktivní půdní reakce
pH <sub>KCl</sub>	výměnná půdní reakce
P <sub>c</sub>	pórovitost celková
P <sub>k</sub>	pórovitost kapilární
P <sub>n</sub>	pórovitost nekapilární
P <sub>s</sub>	pórovitost semikapilární
POH	půdní organická hmota
Q 4/6	barevný kvocient
r	korelační koeficient
RVK	retenční vodní kapacita
RVK <sub>24</sub>	přibližná retenční vodní kapacita dvacetičtyřhodinová
Sh	stupeň humifikace

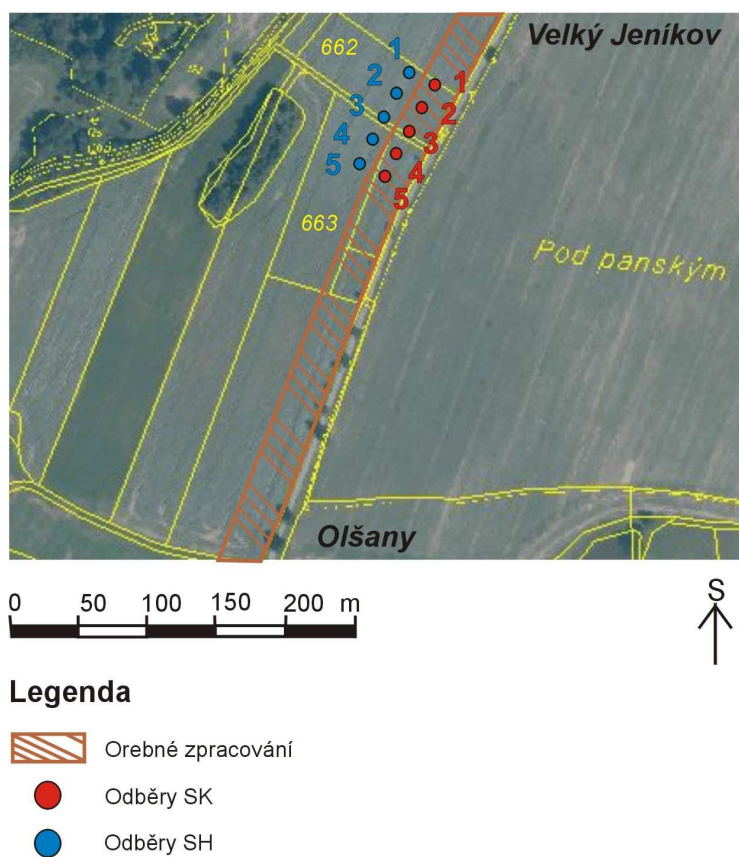
SH 5	bezorebně zpracovaná varianta – hloubka 0,05-0,10 m
SH 15	bezorebně zpracovaná varianta – hloubka 0,15-0,20 m
SH 25	bezorebně zpracovaná varianta – hloubka 0,25-0,30 m
SK 5	orebně zpracovaná varianta – hloubka 0,05-0,10 m
SK 15	orebně zpracovaná varianta – hloubka 0,15-0,20 m
SK 25	orebně zpracovaná varianta – hloubka 0,25-0,30 m
T	kationtová výměnná sorpční kapacita
Vz	provzdušněnost
W30'	vlhkost třicetiminutová
Wmom	vlhkost momentní
WSA	water stable aggregates index (index vodostálých agregátů)

## Příl. č. 2: Zobrazení zájmové lokality a míst odběru vzorků na mapě

Obr. č. 1: Zobrazení zájmové lokality na mapě – Studená, Olšany (okres Jindřichův Hradec)

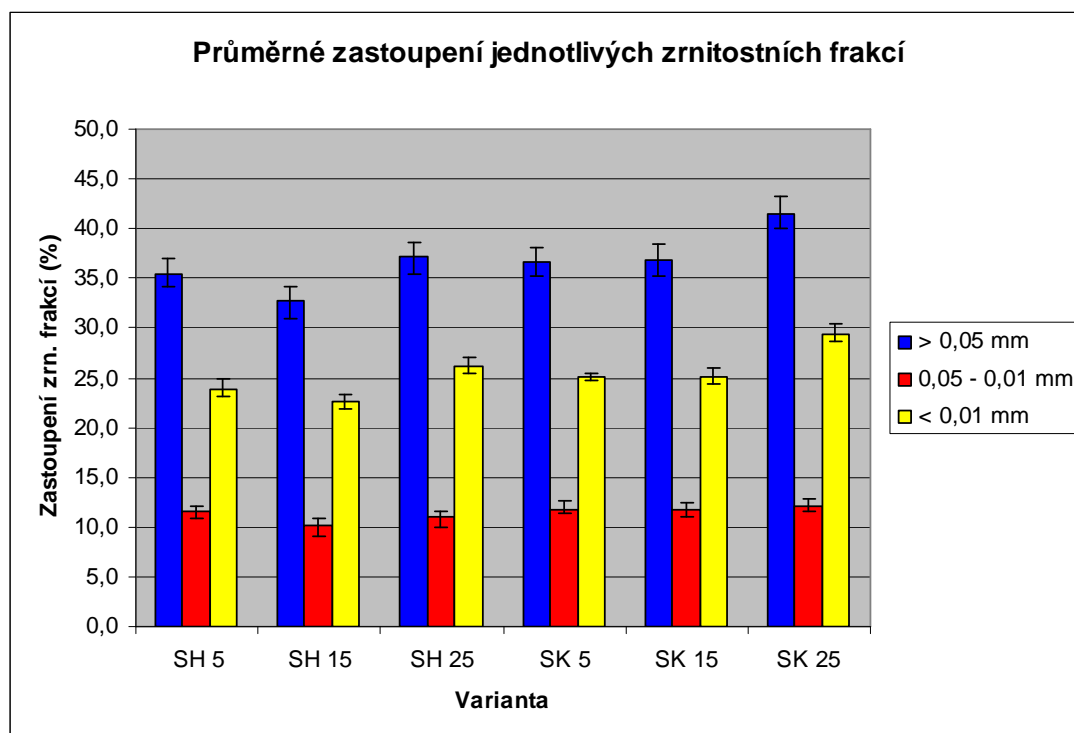


Obr. č. 2: Zobrazení míst odběru vzorků na mapě (k.ú. Olšany u Dačic 711071)

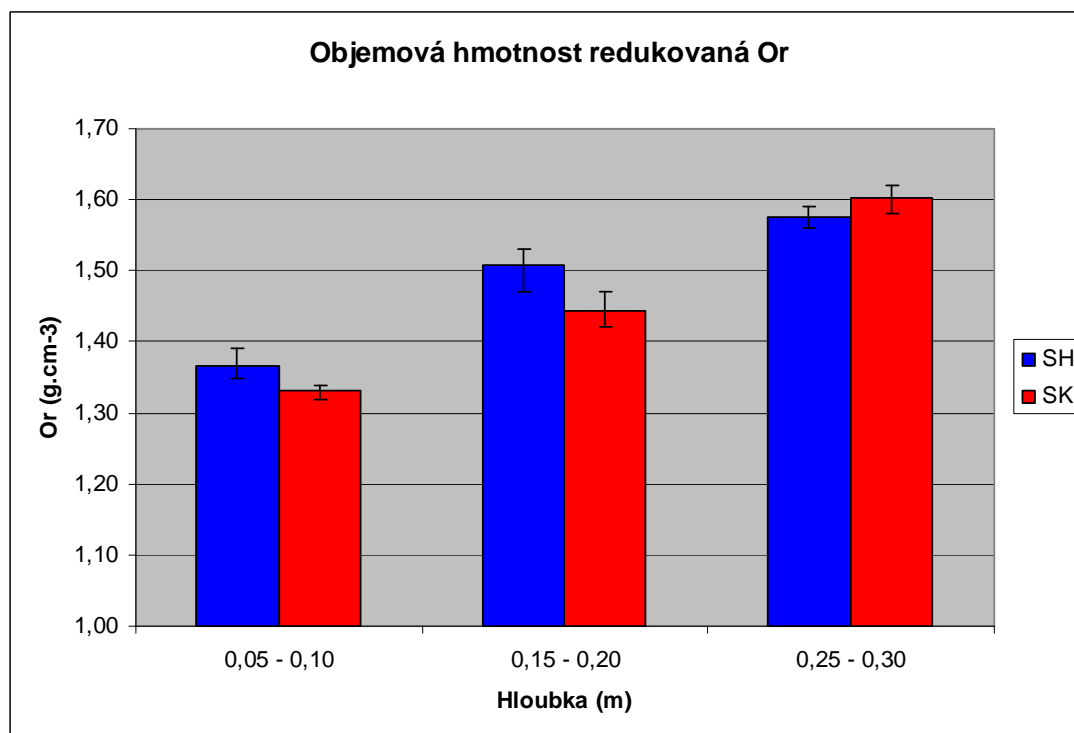


### Příl. č. 3: Grafy znázorňující hodnoty vybraných půdních charakteristik

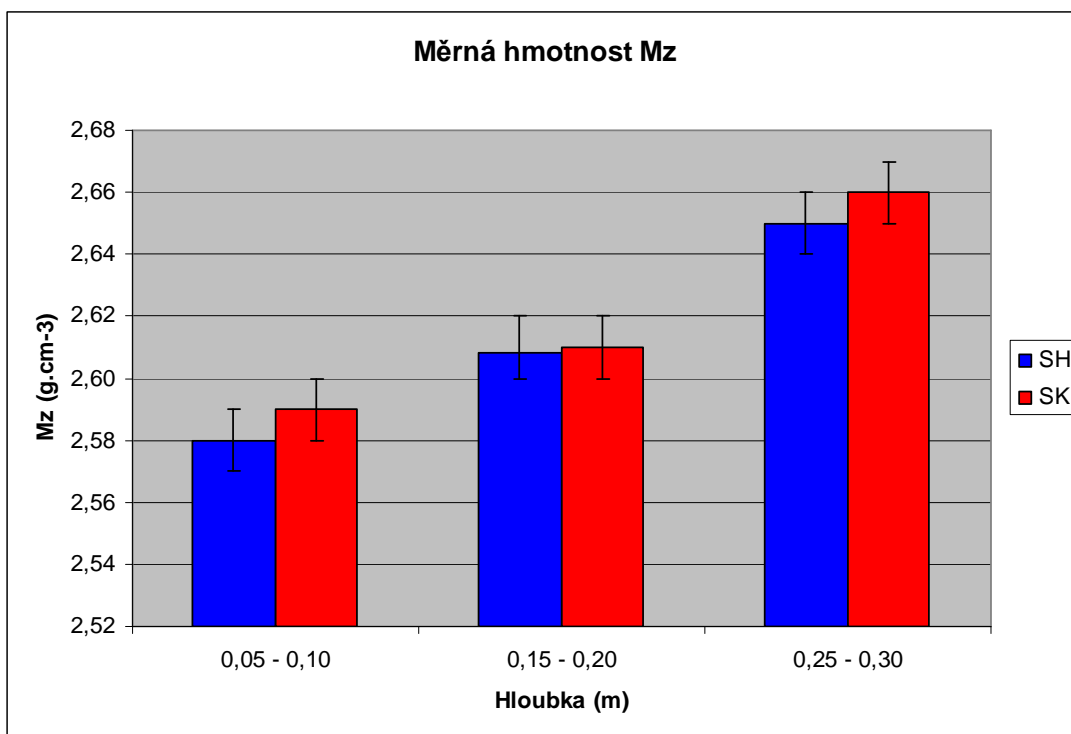
Graf č. 1: Průměrné zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí (%) – polní pokus, Studená (2009)



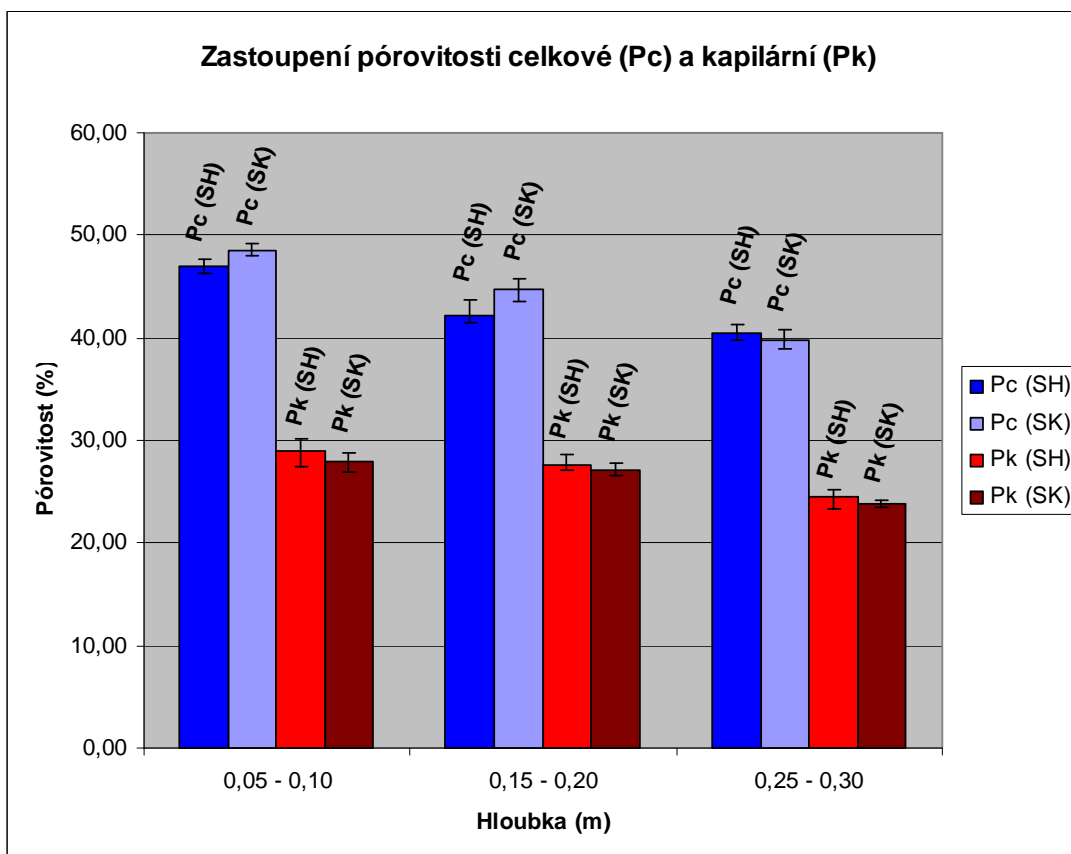
Graf č. 2: Objemová hmotnost redukovaná Or ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) – průměrné hodnoty – polní pokus, Studená (2009)



Graf č. 3: Měrná hmotnost  $M_z$  ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) – průměrné hodnoty – polní pokus, Studená (2009)

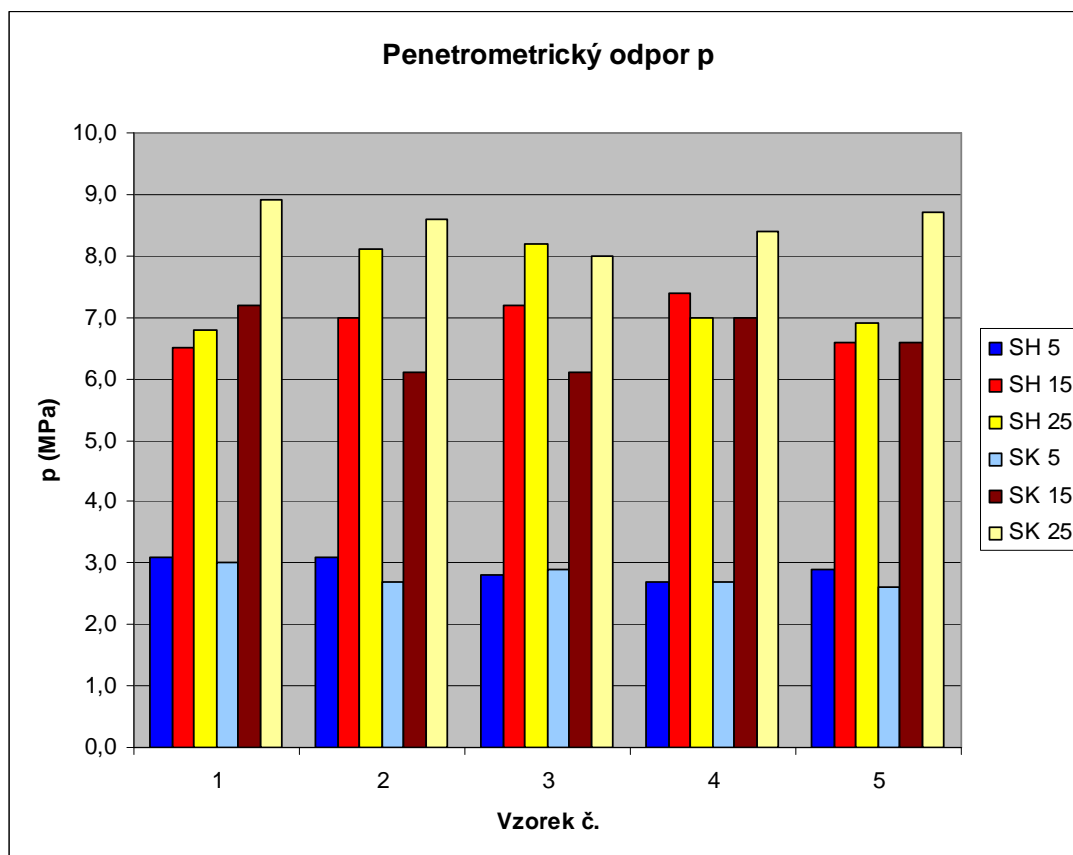


Graf č. 4: Zastoupení pórovitosti celkové a kapilární (%) – průměrné hodnoty – polní pokus, Studená (2009)

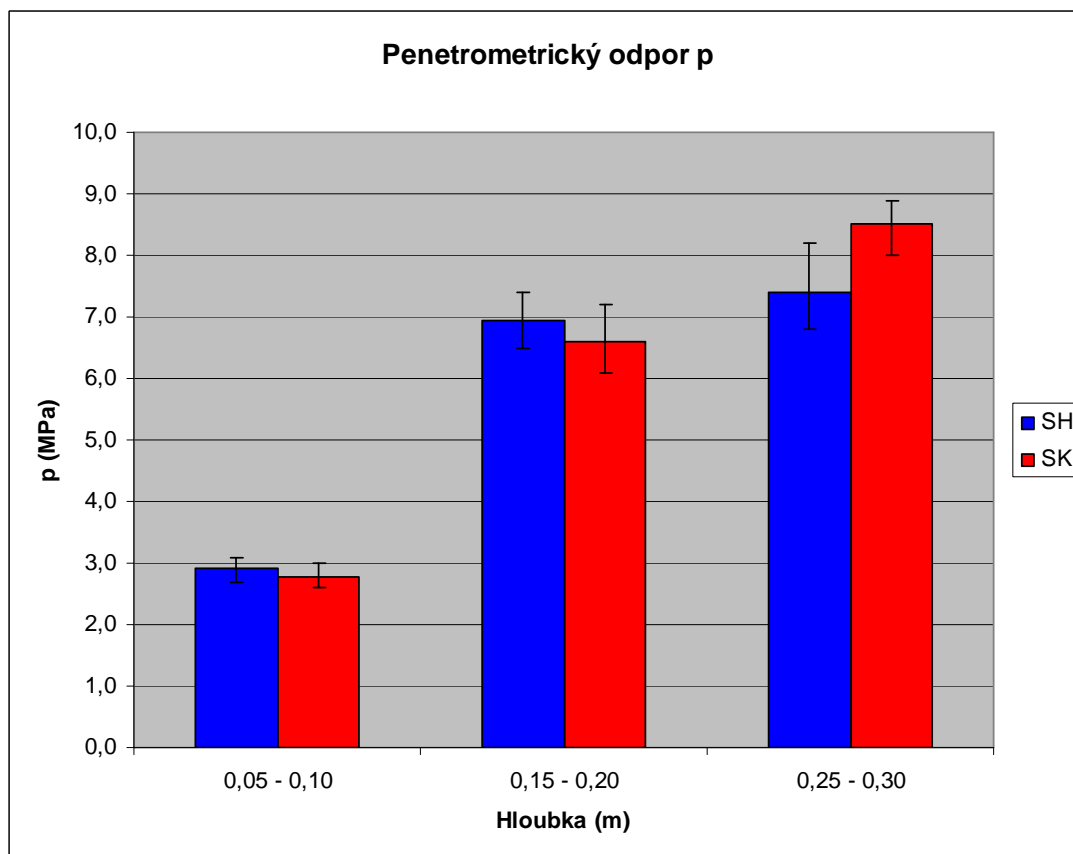




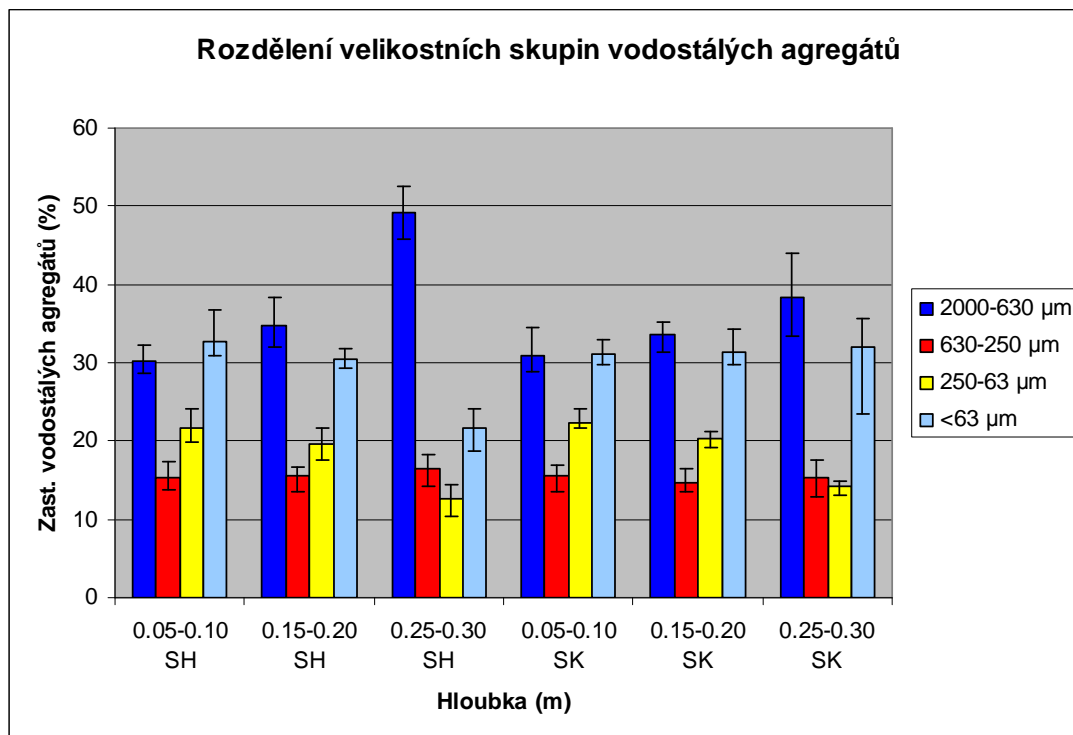
Graf č. 5: Penetrometrický odpor p (MPa) – polní pokus, Studená (2009)



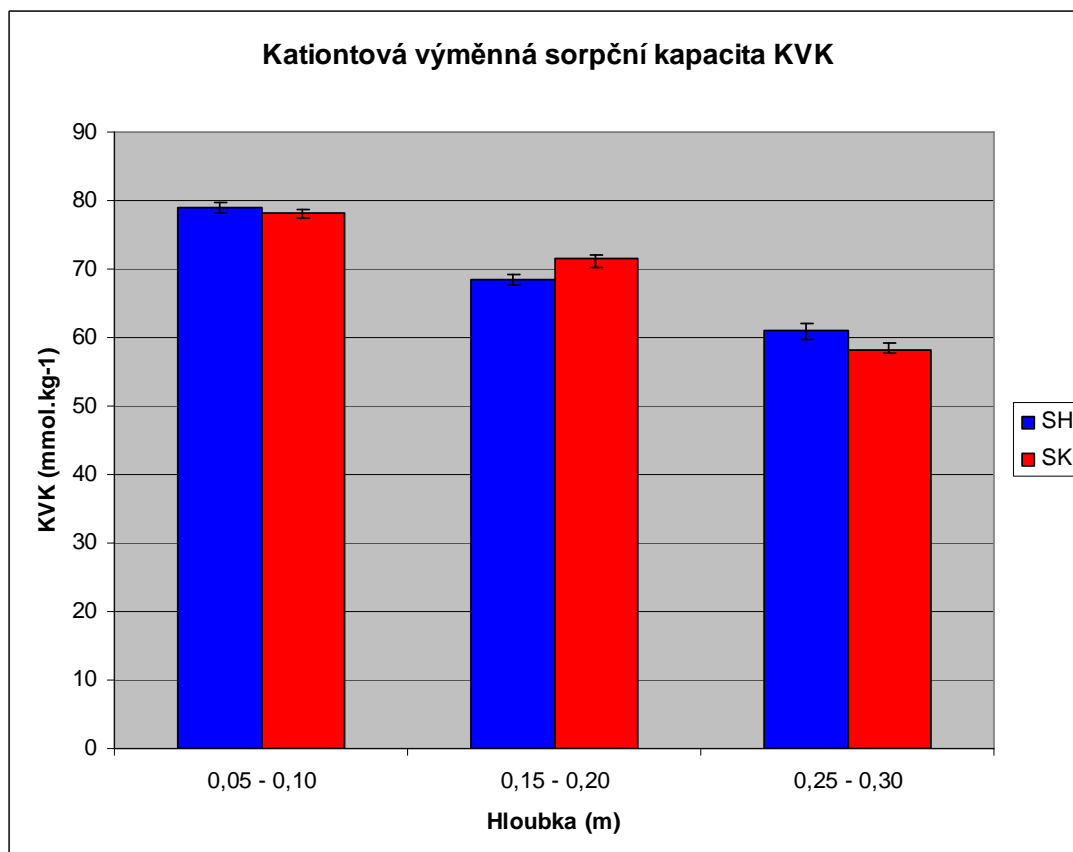
Graf č. 6: Penetrometrický odpor p (MPa) – průměrné hodnoty – polní pokus, Studená (2009)



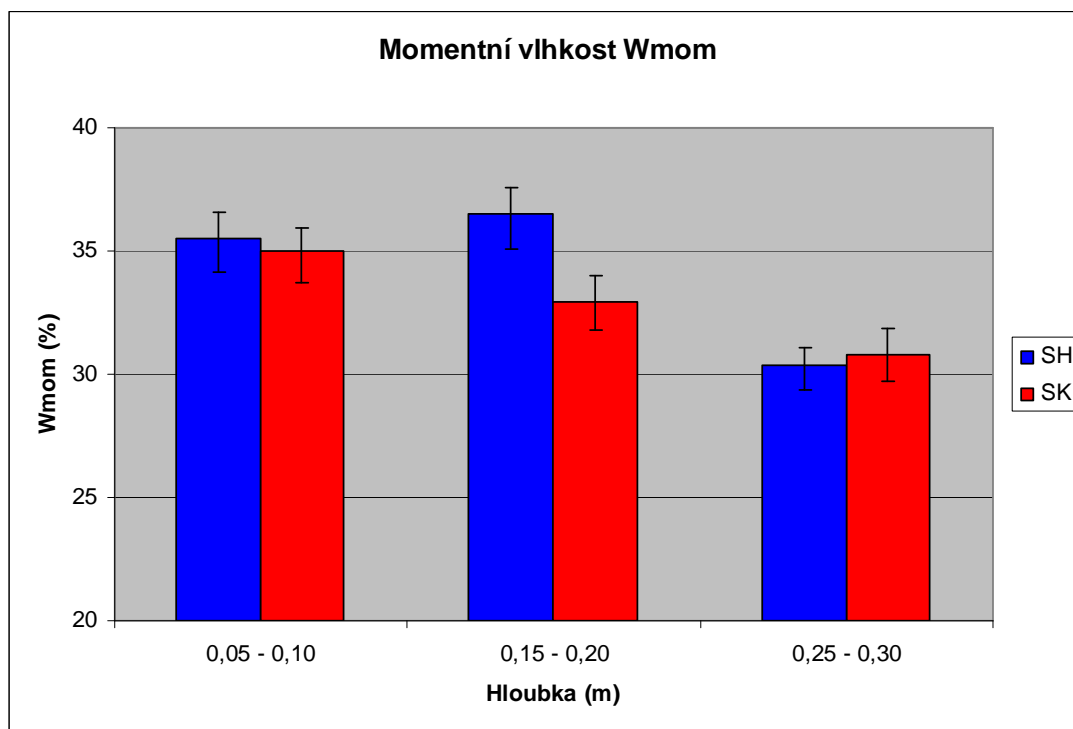
Graf č. 7: Rozdělení velikostních skupin vodostálých agregátů (%) – průměrné hodnoty – polní pokus, Studená (2009)



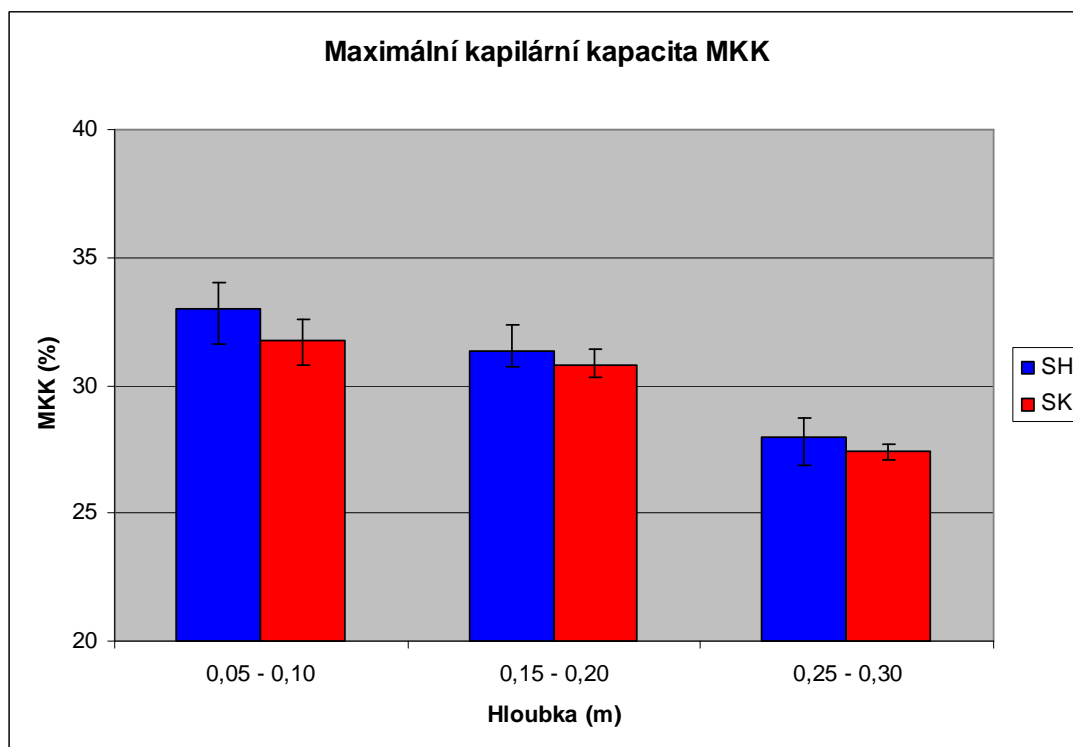
Graf č. 8: Kationtová výměnná sorpční kapacita KVK (mmol.kg<sup>-1</sup>) – průměrné hodnoty – polní pokus, Studená (2009)



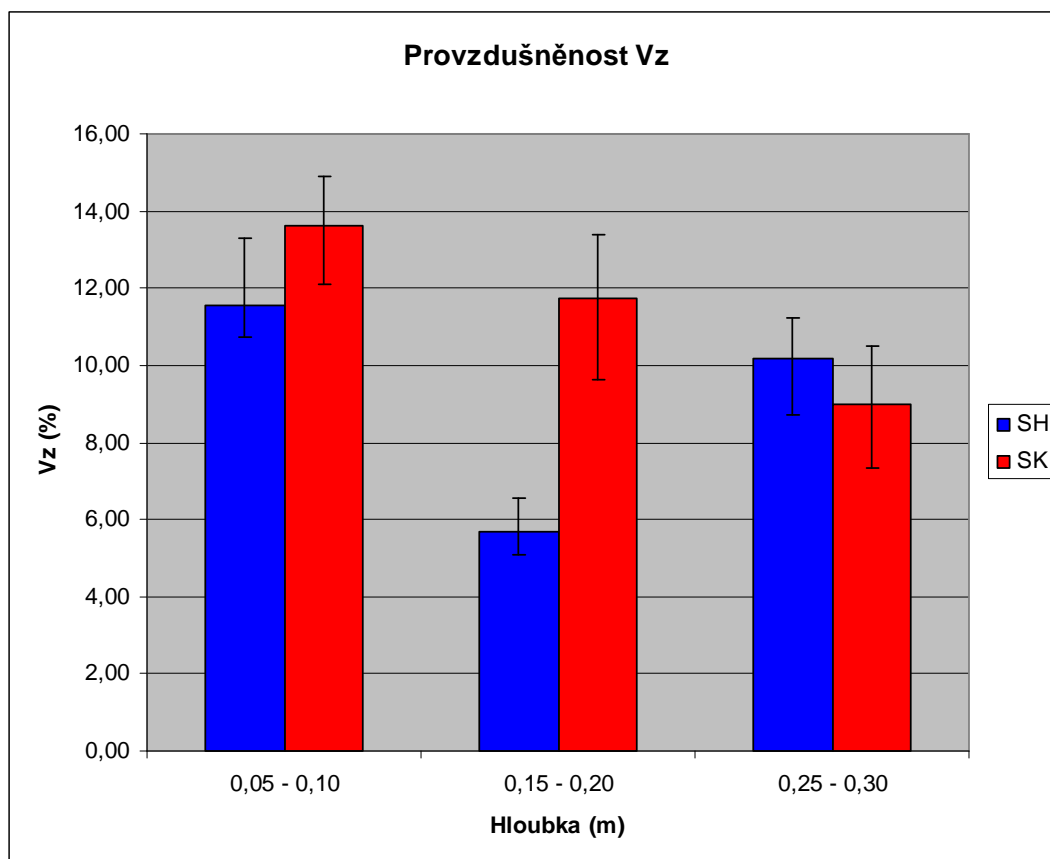
Graf č. 9: Momentní vlhkost  $W_{mom}$  (% obj.) – průměrné hodnoty – polní pokus, Studená (2009)



Graf č. 10: Maximální kapilární vodní kapacita MKK (%) – průměrné hodnoty – polní pokus, Studená (2009)



Graf č. 11: Provdzušňnosť Vz (%) – průměrné hodnoty - polní pokus, Studená (2009)



Graf č. 12: Vzdušná kapacita půdy (při MKK) (%) – prům. hodnoty – polní pokus, Studená (2009)

