

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav agrosystémů a bioklimatologie



Vliv různé intenzity zpracování půdy na její fyzikální
a hydrofyzikální vlastnosti

Disertační práce

Vedoucí práce:

Ing. Blanka Procházková, CSc.

Vypracoval:

Ing. Martin Houšť

Brno 2014

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma „Vliv různé intenzity zpracování půdy na její fyzikální a hydrofyzikální vlastnosti“ vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval školitelce Ing. Blance Procházkové, CSc., za odborné vedení, velkou ochotu, trpělivost, kritičnost a pomoc po celou dobu mého studia. Dále bych rád poděkoval kolegům Ing. Luboši Neudertovi, Ph.D., Ing. Vojtěchu Lukasovi, Ph.D. a Ing. Tamaře Dryšlové, Ph.D. za pomoc při získávání a zpracovávání experimentálních dat.

Disertační práce vznikla za podpory řešení projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum č. QJ1210008, s názvem: „Inovace systémů pěstování obilnin v různých agroekologických podmínkách ČR“.

Abstrakt

Disertační práce je zaměřena na zhodnocení možností využití minimalizačních a konvenčních technologií zpracování půdy u kukuřice na zrno v systémech hospodaření na půdě a na jejich vliv na fyzikální a hydrofyzikální vlastnosti půdy. Sledování probíhalo v rámci stacionárního polního pokusu vedeného od roku 2001 na hlinité hnědozemní půdě v kukuřičné výrobní oblasti na pozemku zemědělského podniku Agroservis 1. zemědělská a.s. Višňové. Hodnoceny byly tři způsoby zpracování půdy: (1) orba na 0,22 m; (2) mělké zpracování půdy kypřením na 0,10–0,12 m; (3) setí do nezpracované půdy. Sledován byl vliv různého zpracování půdy na základní fyzikální vlastnosti, infiltraci vody, penetrometrický odpor půdy a na výnosy kukuřice na zrno při jejím opakovaném pěstování. Ze základních fyzikálních vlastností byly hodnoceny objemová hmotnost, celková pórovitost, minimální vzdušná kapacita a objemová vlhkost půdy. S klesající intenzitou zpracování půdy docházelo ke statisticky významnému zvyšování objemové hmotnosti a snižování celkové pórovitosti půdy. Nejvyšší hodnoty objemové hmotnosti půdy byly zjišťovány po setí do nezpracované půdy. Celková pórovitost byla nejvyšší u technologie zpracování půdy orbou. Nejnižší minimální vzdušná kapacita byla po setí do nezpracované půdy. Nejvyšší objemová vlhkost byla na variantě se setím do nezpracované půdy a nejnižší na variantě s orbou. Vliv různého zpracování na infiltraci vody do půdy byl (kromě extrémně vlhkého roku 2010) statisticky nevýznamný. Vliv různé intenzity zpracování půdy na infiltraci vody byl v jednotlivých letech rozdílný. V suchých letech (2008 a 2011) byla vyšší rychlost infiltrace na minimalizačních variantách, v extrémně vlhkém roce 2010 na variantě s orbou. V průměru sledování byla nejvyšší intenzita infiltrace na variantě s orbou a nejnižší na variantě s mělkým zpracováním půdy. Penetrometrický odpor půdy byl vždy vyšší pod zpracovávanou vrstvou půdy, kde se tvoří utuženější vrstva. Vliv různého zpracování půdy na výnosy kukuřice na zrno byl statisticky nevýznamný. V průměru byl dosažen nejvyšší výnos po orbě ($10,76 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), dále po mělkém zpracování půdy ($10,55 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a nejnižší po setí do nezpracované půdy ($9,76 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Výsledky sledování v daných podmínkách ukazují na možnost využití mělkého zpracování půdy ke kukuřici na zrno.

Klíčová slova: zpracování půdy, kukuřice na zrno, fyzikální vlastnosti půdy, infiltrace vody do půdy, penetrometrický odpor

Abstract

This thesis is aimed on evaluation of possibilities using both minimum and conventional soil tillage technologies in case of maize grain in systems of soil management and of its influence on physical and hydro-physical soil characteristics. Observation was made within stationary field experiment conducted from 2001 on loam Orthic luvisol in maize production region on the plot of agricultural company Agroservis 1. zemedelska Ltd., Visnove. There were evaluated three ways of soil tillage: (1) ploughing to the depth 0,22 m; shallow soil tillage by discs equipment till the depth 0,10–0,12 m; (3) direct sowing. Observed was influence of different soil tillage on basic physical soil properties, water infiltration, penetrometric soil resistance and on yields of corn maize grown repeatedly on the same place. From the basic physical properties were evaluated bulk density, total porosity, minimum soil air capacity and soil moisture content. The lower intensity of soil tillage was the more statistically significant increase of bulk density and lower total porosity were observed. The highest values of bulk density were observed after direct sowing. Total porosity was the highest in case of ploughing. The lowest minimum soil air capacity was observed after direct sowing. The highest soil moisture content was on variant with direct sowing and the lowest on ploughing variant. Influence of different soil tillage on water infiltration was not (except extremely wet year 2010) statistically significant. Influence of different intensity of soil tillage on water infiltration was different in each year. In dry years (2008 and 2011) was higher speed of infiltration on variants with minimum soil tillage and in extremely wet year 2010 on variant with ploughing. In average was the highest intensity of infiltration on variant with ploughing and the lowest on variant with shallow tillage. Penetrometric resistance of soil was always higher under the treated lay of soil where is made more solid lay. Influence of different soil tillage on maize grain yields was not statistically significant. In average was reached the highest yield after ploughing (10,76 t.ha⁻¹), followed by shallow soil tillage (10,55 t.ha⁻¹) and lowest yields were reached in case of direct sowing (9,76 t.ha⁻¹). Results show in the given conditions on possibility to use shallow sowing for maize grain.

Keywords: soil tillage, maize grain, soil physical properties, water infiltration into the soil, penetrometer resistance

Obsah

1	Úvod	9
2	Literární přehled	11
2.1	Půda a význam jejího zpracování	11
2.2	Volba způsobů zpracování půdy.....	11
2.2.1	Volba způsobů zpracování půdy podle půdních a klimatických podmínek.....	11
2.2.2	Vztah zpracování půdy k fyzikálnímu stavu půdy.....	12
2.3	Technologické postupy zpracování půdy.....	18
2.3.1	Rozdělení technologií zpracování půdy	18
2.3.2	Konvenční technologie zpracování půdy	20
2.3.3	Minimalizační technologie zpracování půdy	22
2.4	Zpracování půdy a fyzikální vlastnosti půdy.....	31
2.5	Zpracování půdy a penetrační odpor půdy	34
2.6	Infiltrace vody do půdy a eroze půdy.....	36
2.7	Pěstování kukuřice na zrno	43
3	Cíl práce	46
4	Materiál a metody	47
4.1	Charakteristika stanoviště pokusu	47
4.2	Varianty pokusu	50
4.3	Hnojení kukuřice na zrno	51
4.4	Použité hybridy kukuřice	52
4.5	Ochrana proti škůdcům	52
4.6	Ochrana proti plevelům.....	52
4.7	Sklizeň kukuřice na zrno	53
4.8	Sledování	53
4.8.1	Fyzikální vlastnosti půdy.....	54
4.8.2	Infiltrace srážkové vody do půdy.....	54
4.8.3	Penetrometrický odpor půdy.....	54
4.8.4	Výnosy kukuřice na zrno.....	54
4.8.5	Statistické hodnocení výsledků	55
5	Výsledky	56
5.1	Fyzikální vlastnosti půdy.....	56
5.1.1	Objemová hmotnost půdy.....	56
5.1.2	Celková pórovitost půdy.....	61
5.1.3	Minimální vzdušná kapacita půdy (MVK).....	63
5.1.4	Vliv různé intenzity zpracování půdy na objemovou vlhkost	64
5.2	Infiltrace srážkové vody do půdy.....	66
5.2.1	Infiltrace srážkové vody do půdy v roce 2008.....	67
5.2.2	Infiltrace srážkové vody do půdy v roce 2009.....	69
5.2.3	Infiltrace srážkové vody do půdy v roce 2010.....	71
5.2.4	Infiltrace srážkové vody do půdy v roce 2011.....	73
5.2.5	Infiltrace srážkové vody do půdy v roce 2012.....	75
5.2.6	Statistické vyhodnocení výsledků infiltrace srážkové vody do půdy	77
5.3	Penetrometrický odpor půdy.....	84
5.3.1	Penetrometrický odpor v roce 2008.....	84
5.3.2	Penetrometrický odpor v roce 2009.....	86
5.3.3	Penetrometrický odpor v roce 2010.....	87
5.3.4	Penetrometrický odpor v roce 2011.....	88
5.3.5	Penetrometrický odpor v roce 2012.....	89
5.3.6	Penetrometrický odpor v letech 2008 – 2012.....	91
5.4	Výnosy a vlhkost zrna kukuřice na zrno	93

6	Diskuse	95
6.1	Fyzikální vlastnosti půdy	95
6.2	Infiltrace srážkové vody do půdy.....	95
6.3	Penetrometrický odpor půdy.....	96
6.4	Výnosy kukuřice na zrno.....	97
7	Závěr.....	98
8	Seznam literatury	99
9	Seznam tabulek	108
10	Seznam obrázků.....	109

1 Úvod

Zemědělství se v posledních letech celosvětově dostává do nové situace související s výrazným růstem počtu obyvatel a nutností zvýšit zemědělskou produkci a výrobu potravin pro zabezpečení jejich výživy.

Hlavním hnacím motorem rostlinné produkce je ekonomika výroby. Ta do roku 2005 nebyla v České republice na takové úrovni, která by umožňovala potřebnou intenzifikaci. Pokud se pohybovaly výkupní ceny obilovin na předrevoluční úrovni 3000 Kč za tunu zrna, tak si téměř žádný podnik nemohl dovolit výrazněji intenzifikovat výrobu, neboť mu to finanční síla nedovolovala. Samozřejmě bez zvýšení vstupů do výroby můžeme jen stěží očekávat zvyšování výnosů pěstovaných plodin. V posledních letech se výkupní ceny obilovin zvýšily o několik desítek procent a aktuální výkupní cena je na úrovni cca 5000 Kč za tunu zrna. To skýtá předpoklad, že i při průměrných hektarových výnosech, lze dosáhnout dobrého ekonomického výsledku a zemědělské subjekty se rázem ocitají v jiné ekonomické situaci. Největším důkazem této skutečnosti je v posledních letech se stále více rozšiřující boj o půdu a investování zemědělských subjektů do jejího nákupu s vědomím vysokých hektarových zisků a vhodně investovaného kapitálu. Těžko říci, jestli toto zvýšení výkupních cen rostlinných produktů bylo iniciováno stále se zvyšujícím podílem komodit, které jsou určeny na energetické účely (MEŘO - methylesteru mastných kyselin řepkového oleje, bioplyn, biolih, atd.) nebo hrozbou stále se snižujících světových zásob potravin, a nebo jen investováním kapitálu do komodit na světových burzách. Vysoká výkupní cena rostlinných komodit je asi základním předpokladem pro možnost intenzifikace rostlinné produkce, a tím i zvyšování výnosů polních plodin. Navíc při vyšších výkupních cenách je rentabilita vložených nákladů do výroby vysoká, což je další důvod proč výrobu intenzifikovat. Rostlinná výroba má však svá specifika a každý odborník ví, že cca 60 % výnosu polních plodin tvoří ročník a lokalita. Toto jsou faktory výroby, které můžeme jen stěží ovlivnit. Ročník charakterizovaný průběhem počasí daného vegetačního období prakticky ovlivnit nemůžeme, ale lokalitu respektive půdní podmínky částečně ano. Nelze ovlivnit půdní typ a druh, ale fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy, které jsou důležitým faktorem tvorby výnosu polních plodin, už určitými zásahy částečně ovlivnit můžeme.

Půda patří mezi životně důležité a těžko obnovitelné přírodní zdroje. Je jednou ze základních složek životního prostředí. Její produkční a mimoprodukční funkce jsou nezastupitelné. Půda je vystavena rostoucímu antropogennímu zatížení, je proto nutné prohlubovat systém její ochrany. Za hlavní rizika pro půdu a její kvalitu jsou považovány: eroze, úbytek organické hmoty, omezení biologické aktivity půdy a zhutňování. Zpracováním se půda má upravit do stavu, kdy jsou plodinám poskytnuty dobré podmínky pro růst a vývoj a současně jsou minimalizovány negativní dopady na stanoviště. Právě zájem o důsledky hospodaření na půdě z dlouhodobého hlediska by měl být zájmem trvalým především toho, kdo na půdě hospodáří (Hůla a kol., 2010).

Ještě v nedávné době většinu agronomů nejvíce zajímalo jak nejrychleji zpracovat půdu za co nejnižší náklady. Nyní se situace změnila a velká většina podniků, a v nich působících manažerů, si velice dobře uvědomuje stále vzrůstající cenu půdy a potřebu její ochrany.

Názory na správné zpracování půdy procházejí neustálým vývojem. Proto se v mnoha výzkumných ústavech a na zemědělských univerzitách průběžně řeší problematika vhodné intenzity zpracování půdy v různých agroekologických podmínkách, a také u širokého spektra polních plodin.

Každá změna technologie zpracování půdy musí mít určitý důvod. Rozvoj minimalizačních systémů zpracování půdy (s vyloučením orby) v současné době je dán, kromě ekonomických důvodů, hlavně snahou zabránit degradaci půdního fondu, dále nutností dodržení legislativních požadavků na zpracování půdy a rovněž i vývojem mechanizační techniky.

Práce řeší problematiku zpracování půdy u plodiny kukuřice, která se stává v ČR stále významnější plodinou. Plochy i výnosy kukuřice na siláž i na zrno se v posledních letech zvyšují. To je dáno jednak zvyšujícím se množstvím bioplynových stanic a spotřebou silážní kukuřice pro jejich chod, a také vyšší rentabilitou produkce kukuřice na zrno a s tím souvisejícím jejím vysokým zastoupením v osevních postupech především v teplejších oblastech ČR.

Systém zpracování půdy a zakládání porostů je důležitou složkou pěstebních technologií kukuřice. Pro kukuřici je v současné době široký výběr technologických postupů zpracování půdy. Volbu technologie zpracování půdy a založení porostu je potřeba přizpůsobit konkrétním podmínkám pěstování - stanovištním podmínkám, zařazení kukuřice do osevního postupu včetně managementu posklizňových zbytků předplodiny, stavu půdy po sklizni předplodiny i dalším faktorům. Významnou úlohu při volbě technologického postupu zpracování půdy a založení porostu kukuřice hraje ochrana půdy před erozí.

Předložená disertační práce se zabývá aktuální problematikou vlivu různých způsobů zpracování půdy na fyzikální a hydrofyzikální vlastnosti půdy a výnosy kukuřice na zrno.

2 Literární přehled

2.1 Půda a význam jejího zpracování

Půda je neobnovitelným přírodním zdrojem a je charakteristickou složkou krajiny. Je to nejsvrchnější porézní vrstva pevné zemské kůry, složená z minerálních částic různé velikosti, živých organismů, odumřelých zbytků rostlin a organických látek v různém stupni rozkladu a syntézy. Je prostoupena vodou a vzduchem.

Půda je dynamickým otevřeným systémem, který se skládá ze tří fází: pevné, kapalné a plynné. Jejich vzájemný poměr závisí především na vlastnostech půdy, na způsobu jejího využití a na vývoji počasí. Vlastnosti systému se proto mění jak v prostoru, tak v čase (Kutílek, 2001).

Úkolem zpracování půdy je vytvořit vhodné podmínky pro založení porostů, pro růst, vývoj a tvorbu výnosů pěstovaných plodin i pro optimální průběh půdních procesů. Jedním z hlavních cílů zpracování půdy je úprava jejích fyzikálních vlastností, které patří k základním půdním charakteristikám. Přímou ovlivňují růst a vývoj kořenového systému rostlin, retenci, přístupnost a využitelnost půdní vody, ale i biologické a chemické poměry půdy (Procházková a kol.; 2000, Mašek, 2006; Hůla, Procházková a kol., 2008).

Zpracování půdy je z celého souboru agrotechnických opatření při pěstování rostlin ekonomicky nejvíce náročné. Představuje v závislosti na vlastnostech půdy a ročníku 35-50 % všech energetických nákladů rostlinné výroby a proto stále více nutí zemědělce přemýšlet o technologiích, které tyto náklady snižují (Hůla, Procházková a kol., 2002).

Rozvoj techniky a nová generace výkonných strojů na zpracování půdy umožnily v posledních letech širší uplatnění minimalizačních technologií včetně výsevu plodin do nezpracované nebo pouze povrchově zpracované půdy. To snižuje spotřebu pohonných hmot až o 35-75 % a zvyšuje produktivitu práce až o 40 % (Růžek a Hůla 2000; Hůla, Procházková a kol., 2008).

2.2 Volba způsobů zpracování půdy

Jedním z hlavních cílů zpracování půdy je vhodná úprava jejích fyzikálních vlastností. Na nich je závislé nejen dobré hospodaření s půdní vodou, ale i biologické a chemické poměry půdy.

Při volbě způsobů zpracování půdy je třeba postupovat diferencovaně podle půdních a klimatických podmínek a podle nároků pěstovaných plodin na půdní prostředí.

2.2.1 Volba způsobů zpracování půdy podle půdních a klimatických podmínek

Půdy ve vlhčích a chladnějších podmínkách, půdy druhově těžší a půdy s velkými objemovými změnami jsou mimořádně citlivé na udržení potřebné pórovitosti, zejména pak objemu hrubých nekapilárních pórů, které rozhodují o propustnosti a aerační schopnosti půdy.

Naopak v sušších a teplejších oblastech a na půdách druhově lehčích s vyšší propustností pro vodu je třeba vytvořit podmínky pro vyšší akumulaci a retenční schopnost půdy. Zde je proto velmi vhodné snížit hloubku a intenzitu zpracování půdy, případně ponechat část půdy bez zpracování v přirozeném uložení. S vyšší objemovou hmotností půdy při nižší intenzitě zpracování se zvyšuje podíl kapilárních pórů, mění se poměr mezi vodní a vzdušnou kapacitou půdy ve prospěch vodní kapacity. Při výběru způsobu zpracování půdy je nutné vycházet i z momentálních podmínek na jednotlivých pozemcích (Zrubec, 1984; Hůla, Procházková a kol., 2008).

2.2.2 Vztah zpracování půdy k fyzikálnímu stavu půdy

Z fyzikálních vlastností půdy ve vztahu k jejímu zpracování jsou důležité především zrnitostní složení půdy, základní fyzikální a hydrofyzikální vlastnosti a půdní struktura (Fulajtár, 1988).

2.2.2.1 Vztah zpracování půdy k zrnitostnímu složení

Problematiku zpracovatelnosti půd v závislosti na jejím zrnitostním složení souhrnně rozebírá Hůla (2000). Uvádí, že důležitým faktorem, který ovlivňuje zpracovatelnost půd, je půdní druh, který je dán zrnitostním složením půdy. Obtížnost zpracování půdy narůstá od lehkých písčitých a hlinitopísčitých půd přes střední půdy (písčitohlinité a hlinité půdy) až po půdy těžké (jílovitohlinité, jílovité půdy, jíly). Kromě zrnitostního složení půd závisí jejich zpracovatelnost zejména na momentální půdní vlhkosti a na stupni zhutnění půdního profilu. Rozmezí vlhkosti vhodné pro zpracování je u těžkých půd velmi úzké. S tím souvisí i často velmi krátký časový úsek s přijatelnou zpracovatelností těchto půd. Zpracování těžkých půd při nepříznivém vlhkovém stavu je spojeno s vysokou energetickou náročností, vyšším opotřebením strojů, sníženou výkonností, vysokými náklady a s rizikem opožděného zasetí plodiny, pro kterou je půda připravována.

S nárůstem obsahu jílnatých částic v půdě nabývají na aktuálnosti technologie s mělkým zpracováním půdy. Důvodem je podstatně vyšší plošná výkonnost mělkého zpracování půdy oproti orbě, čímž lze snáze zpracovat tyto půdy při relativně příznivé vlhkosti. Další významnou výhodou mělkého zpracování půdy je omezení tvorby velkých hrud, které se zejména po orbě k ozimům na těžkých půdách obtížně rozrušují.

Z celkové výměry zemědělské půdy v České republice představují skupiny půd podle zrnitostního složení a zpracovatelnosti: 19 % lehké půdy, 59 % střední půdy, 17 % těžké půdy. Zbývající část (5 %) připadá na půdy kamenité a silně šterkovité, s velmi nízkou úrodností, tedy na půdy nevhodné pro zemědělskou produkci.

Zpracování středně těžkých půd

Příznivé podmínky pro zpracování půdy jsou na středních půdách, tedy na půdách hlinitých a písčitohlinitých. Na těchto půdách se nesetkáváme se zásadnějšími omezeními při volbě technologií zpracování půdy. Rozhodnutí se pro konvenční zpracování půdy s orbou, redukované zpracování půdy či pro přímé setí do nezpracované půdy závisí na klimatických podmínkách, struktuře plodin, vybavenosti podniku technikou, úrovni hospodaření a dalších faktorech zemědělského podniku. Na středních půdách můžeme dosáhnout příznivé energetické náročnosti

a kvality zpracování půdy za předpokladu, že omezíme nežádoucí zhutňování půdy a vyhneme se orbě a dalším způsobům hlubšího zpracování půdy při nepříznivé vlhkosti půdy.

Zpracování lehkých půd

Lehké půdy jsou velmi dobře zpracovatelné, ovšem při jejich zpracování je nutné dbát zvýšené opatrnosti, abychom nepodpořili nežádoucí procesy v půdě, jejichž důsledkem by bylo snížení úrodnosti těchto půd. Pro lehké půdy s vysokým obsahem písčitých částic a nízkým obsahem částic jílnatých jsou typické tyto vlastnosti:

- malá sorpční kapacita
- vysoká propustnost pro vodu a nízká vododržnost (vysýchavé půdy)
- rychlá mineralizace organických látek, zpravidla nižší obsah humusu
- nízká odolnost vůči erozi, zejména erozi větrné.

Na lehkých půdách je nutné velmi obezřetně uplatňovat kypřicí zásahy, aby nadměrným provzdušením půdního profilu nedošlo k urychlení mineralizačních pochodů a ke snížení obsahu organických látek v půdě. Na lehkých půdách, zejména na exponovaných místech z hlediska větrné eroze, je vhodné přednostně uplatňovat technologie, při nichž jsou rostlinné zbytky předplodin nebo meziplodin ponechány na povrchu půdy. Omezí se tím odnos zeminy větrem, ale i vodou, chrání se povrch půdy před nárazy velkých dešťových kapek a snižuje se výpar vody. Pro písčité půdy lze doporučit ponechání strniště předplodiny bez zpracování půdy a uplatnit přímé setí.

Na písčitých půdách, zejména na vátých píscích, by se neměla používat orba. Výjimkou je zaorání vyšší dávky organických hnojiv. Na velmi lehkých půdách ohrožených erozí, zejména větrnou, je velké riziko rozprášení povrchu půdy při použití strojů s aktivně poháněnými pracovními nástroji s nadměrnou intenzitou působení na půdu. Závažné poškození půdní struktury hrozí i při použití kombinátorů, zejména při nižší vlhkosti půdy.

Pro podmínku velmi lehkých půd ohrožených erozí nelze doporučit talířové kypřiče, které se velmi osvědčují na středních i těžkých půdách. Důvodem je vyšší narušování posklizňových zbytků talířovými pracovními nástroji oproti podřezávacím radličkám. Na těchto půdách je vhodné využívat systémy ochranného zpracování půdy s mělkým kypřením nebo setí do nezpracované půdy. Dále je nutné dbát na to, aby tyto půdy zůstávaly co nejkratší dobu bez vegetačního krytu.

Zpracování těžkých půd

Zrnitostní složení těžkých půd je příčinou jejich obtížné zpracovatelnosti. Velmi úzké rozmezí vlhkosti vhodné pro zpracování je příčinou toho, že ve velké většině případů se tyto půdy zpracovávají mimo rozsah optimální vlhkosti. Při vyjádření vlhkosti procenty hmotnosti se pohybuje toto optimum u těžkých půd těsně kolem 28 až 29 % (Šimon, Lhotský, a kol., 1989).

Obtíže spojené se zpracováním těžkých půd jsou všeobecně známé. Zvláště výrazně se projevují při zpracování půdy k ozimům. Vzhledem k vysokému zastoupení ozimých obilnin v osevních postupech a ke skutečnosti, že k obilninám není nezbytně nutné půdu hlouběji zpracovávat, je výhodné na těžkých půdách využívat postupy

minimalizačního zpracování půdy. Náhrada orby podmínkou nebo opakovanou podmínkou má na těžkých půdách řadu provozních výhod spojených nejen s úsporou motorové nafty a nákladů, ale i s dodržением termínů pro setí ozimů (vysoká plošná výkonnost při mělkém kypření, omezená tvorba hrud). Při využití postupů minimalizačního zpracování půdy lze na těžkých půdách založit porosty ozimých obilnin i po plodinách, které se sklízí později (kukuřice na zrno, cukrovka).

Na těžkých půdách se pro základní zpracování půdy využívají radličkové a talířové kypřiče. Problémem může být zahlubování těchto kypřičů při tvrdém povrchu půdy, jestliže v době podmínky je půda vyschlá. V těchto podmínkách se osvědčily kypřiče se šípovitými podřezávacími radličkami, které mají navíc dobrý urovnávací účinek.

Pro setí obilnin a dalších plodin, u kterých není nutné přesné setí, se při využití minimalizačního zpracování těžkých půd s výhodou používají secí stroje, kterými lze kvalitně zaset i při větším výskytu rostlinných zbytků na povrchu půdy po mělkém kypření. Jedná se o stroje s kotoučovými botkami, u kterých můžeme seřídít vysokou přitlačnou sílu na botky - až 2500 N na jednu botku. Dále mohou být využity secí stroje se šípovitými podřezávacími radličkami i secí stroje s dlátovými botkami. Protože na zpracování těžkých půd si zemědělské podniky často pořizují stroje pro předseťové zpracování půdy s aktivními pracovními nástroji, využívají se pro setí secí stroje spojené s vířivými kypřiči nebo s kypřiči s příčným hřebovým či nožovým rotorem.

Výrobci pluhů nabízejí pro orbu těžkých půd páskové odhrnovačky, při jejichž použití na pluhu je předpoklad, že při orbě „lepivých“ půd, tedy těžkých půd při vyšší vlhkosti, se snižuje pracovní odpor pluhu.

Pokud se na těžkých půdách používá orba k ozimům, je vhodné doplnit pluh o těžký pěch a drtič hrud. Je výhodné rozrušovat hroudy při orbě, dříve než vyschnou. Pro zemědělské podniky hospodařící na těžkých půdách, pokud používají postupy zpracování půdy s orbou, jsou výhodné moderní oboustranné pluh s měnitelným pracovním záběrem. Při použití těchto pluhů na těžkých půdách je možné uspokojivě regulovat parametry orby a stupeň drobení skýv. Pro předseťovou přípravu těžkých půd po orbě jsou určeny kombinátory pro těžké půdy. Další skupinou strojů používaných k předseťové přípravě těžkých půd po orbě jsou kypřiče s příčným hřebovým rotorem a vířivé kypřiče. V zájmu snížení energetické náročnosti a urychlení zpracování těchto půd k ozimům lze využít již uvedené postupy bez orby, založené na mělkém kypření.

Předseťová příprava půdy k jařinám je na těžkých půdách usnadněna rozrušením hrud během zimního období vlivem opakovaného zmrznutí a rozmrznutí vody v hroudách. Po podzimní orbě k jařinám můžeme upravit povrch hrubé brázdy, čímž se usnadní předseťová příprava půdy na jaře. Velkým rizikem však může být použití drtičů hrud s pěchy - opožděné osychání půdy na jaře může výrazně oddálit setí.

2.2.2.2 Vztah zpracování půdy k základním fyzikálním vlastnostem

Půdu lze charakterizovat jejími fyzikálními, chemickými a biologickými vlastnostmi. Hlavním úkolem půdní fyziky je zkoumání fyzikálních vlastností, fyzikálních procesů a jevů, které mají významný vliv na pěstované plodiny. Ke zdárnému vývoji rostlin

je zapotřebí dobrých fyzikálních vlastností. Kromě zakořenění rostlin je důležitý poměr vody a vzduchu v půdě, dostatečná provzdušenost a dostupnost vody pro rostliny.

Ve skupině základních fyzikálních vlastností jsou jako reprezentativní ukazatelé změn orniční vrstvy zpracováním půdy označovány především objemová hmotnost, pórovitost, vzdušná a vodní kapacita. Tyto základní fyzikální vlastnosti velmi dobře odrážejí vliv každého mechanického zásahu do třífázového půdního systému (pevná půdní hmota, voda, vzduch). Zapomenout bychom neměli i na propustnost půdy, vzlínavost, výpar, barvu, tepelnou kapacitu, soudržnost a přilnavost, které jsou také velmi důležité. Způsob zpracování půdy by měl být v konkrétních stanovištních podmínkách volen s ohledem na vytvoření co nejvhodnějšího fyzikálního stavu půdy.

Jakým způsobem bude půda zpracovávána, aby bylo dosaženo optimálního stavu půdního prostředí pro danou plodinu, rozhodují právě fyzikální vlastnosti. Ovlivňují také dobu a způsob kultivačních zásahů i volbu mechanizačních prostředků. V neposlední řadě slouží také k posouzení úrodnosti půd a jsou pevně spjaty s racionálním využíváním, zúrodnováním a s ochrannou půdního fondu (Kostelanský a kol., 2001).

Objemová hmotnost půdy je jednou z nejdůležitějších půdních vlastností. Ovlivňuje celý komplex fyzikálních podmínek v půdě, které jsou určující pro růst a správný vývoj kořenové soustavy rostlin. Vyjadřuje hmotnost 1 mg na cm³ půdy v přirozeném stavu, včetně momentního obsahu vody a vzduchu. Její hodnota závisí na měrné hmotnosti, která je vždy větší než hmotnost objemová, protože i ve velmi ulehle půdě se určité volné póry nacházejí. Dále závisí i na podílu pórů a míře jejich zaplnění vodou, na hustotě tuhé fáze půdy, zrnitosti, struktuře a na způsobu vzájemného uložení mechanických elementů a agregátů. Lze tedy konstatovat, že je ovlivněna nakypřením půdy. Čím nižší je její hodnota, tím více je půda nakypřená a naopak. Objemová hmotnost půdy do značné míry indikuje kyprost nebo ulehlost půdy, proto se používá jako jedno z kritérií zhutnění (utužení) půdy. Je potřebná pro výpočet pórovitosti, používá se také při přepočtu obsahu různých látek v půdě z hmotnostního na objemové vyjádření (Ledvina a Horáček, 1997; Kostelanský a kol., 2001; Hůla, Procházková a kol., 2002).

Rostlinám škodí jak příliš kyprá, tak i příliš utužená půda. Příliš kyprá půda se vyznačuje nízkou objemovou hmotností, nízkým podílem pevné fáze půdy a tím i vody a živin a vysokým obsahem vzduchu. Příliš ulehle půda se vyznačuje vysokou objemovou hmotností, která klade růstu a rozvoji kořenů mechanický odpor.

Pro polní plodiny by se měla hodnota objemové hmotnosti v ornici pohybovat od 1,2 do 1,5 g.cm⁻³, ve spodních vrstvách od 1,6 do 1,8 g.cm⁻³. Objemová hmotnost kolem 1,8 g.cm⁻³ je hranicí biologické činnosti půdy a objemová hmotnost 2,0 g.cm⁻³ charakterizuje půdu bez života (Šimon, 1999).

Celková pórovitost půdy udává celkový objem pórů v % k celkovému objemu půdy v přirozeném uložení. Je odvislá od objemové hmotnosti, je jejím zrcadlovým obrazem. Význam pórovitosti v půdě je neobyčejně velký. Pórovitost půdy je vedle struktury hlavním znakem prostorového uspořádání půdního těla jako třífázového systému. Její hodnota udává, jakou část objemu půdy zabírají volné prostory nacházející se mezi pevnými částicemi půdy a jejich shluky. Jedná se o cesty, díky nimž

se do půdy dostává voda a vzduch, které vyvolávají zvětrávací a půdotvorné procesy, umožňující pronikání kořenů do půdy a pohyb edafonu i cirkulaci roztoků a plynů v půdě (Ledvina a kol., 2000; Miština a Kováč, 1993).

Objem, tvar a velikost pórů má vliv na vlastnosti vody obsažené v půdě, na rychlost pohybu vody a tím je kromě hydrologických vlastností půdy ovlivněna i intenzita migrace látek v půdě. Zároveň pórovitost podmiňuje nejen obsah vzduchu v půdě, ale také jeho složení, neboť rozhodujícím způsobem ovlivňuje difúzní výměnu CO₂ z půdního vzduchu do vzduchu atmosférického. V pórech se vyvíjí kořenový systém rostlin, nachází se tu voda, vzduch, půdní organismy, v pórech probíhá mobilizace živin a transport látek. Na množství a kvalitě pórů do značné míry závisí růst rostlin a úrodnost půdy. Optimální hodnoty celkové pórovitosti se pohybují v ornici v intervalu 45-55 % v závislosti na druhu půdy, klimatu a pěstované plodině. Všeobecně platí, že nižší optimální hodnoty mají lehčí půdy a půdy suchého klimatu a vyšší optimální hodnoty mají středně těžké půdy a půdy vlhkého klimatu. Celková pórovitost by neměla klesnout pod hranici 48 % na těžkých půdách, pod 45 % na středních půdách a pod 40 % na lehkých půdách. Z celkového objemu pórů by měly být cca 2/3 pórů kapilárních a 1/3 pórů nekapilárních (Kutílek, 1966; Procházková et al., 2000; Pokorný et al., 2001).

Velikost pórů ovlivňuje chování vody v nich. Jejich třídění je složité. Stanovuje se na základě velikosti a druhu sil působících na vodu obsaženou v pórech (Zbíral a kol., 2004)

Jemné (kapilární póry)

Voda v těchto pórech nepodléhá gravitaci. Je ovládána kapilárními silami zadržujícími a umožňujícími její pohyb proti působení gravitace. Vzduch se do nich dostává obtížně a jeho pohyb je značně omezený, neboť průměr pórů je menší než 0,2 mm. Při nadbytku snižují infiltraci vody do půdy a vyvolávají tak nebezpečí eroze. Naopak při nedostatku jsou pěstované plodiny nedostatečně zásobovány vodou především v sušších oblastech.

Hrubé (nekapilární póry)

Voda v těchto pórech volně proniká do spodiny na základě gravitace a na její místo se dostává volně vzduch. Jejich průměr je větší než 0,2 mm. Jsou nezbytné pro přívod vzduchu ke kořenům rostlin. Ale při jejich nadměrném množství může docházet ke ztrátám vody infiltrací z povrchové vrstvy půdy a ta se stává nepříjemnou pro kořeny rostlin.

Střední (semikapilární póry)

Tvoří přechod mezi póry kapilárními a nekapilárními. Umožňují snadné vnikání vody do půdy a tak zabraňují odtokům vody z pozemku a následné vodní erozi. Pro vodní a vzdušný režim půdy je důležitý zejména vzájemný poměr kapilárních (menších než 0,2 mm) a nekapilárních (nad 0,2 mm) pórů. Hlinité půdy (středně těžké půdy) mají cca 2/3 kapilárních pórů z celkového objemu pórovitosti. Jílovité půdy mají vysoký objem kapilárních a nízký objem nekapilárních pórů, u písčitých půd je tomu naopak.

Minimální vzdušná kapacita půdy je důležitá fyzikální charakteristika. Nízký obsah vzduchu v půdě je činitel, který nejvíc limituje rozvoj kořenového systému rostlin

a brání normálnímu průběhu biologických procesů v půdě. Z hlediska úrodnosti půdy a fyziologie rostlin je proto důležité znát vzdušnou kapacitu půdy, tj. objem pórů, které při kapilárním nasycení půdy vodou zůstávají vyplněné vzduchem. Minimální vzdušná kapacita udává tedy podíl nekapilárních pórů. Průměrná hodnota vzdušné kapacity v orných půdách je mezi 10-20 %, poměrně často se vyskytují hodnoty i pod mezní hodnotou 10 %. Pro zdárný růst rostlin je důležitý momentální obsah vzduchu tj. provzdušněnost půdy (rozdíl mezi pórovitostí a objemem vody v půdě). Optimální hodnoty se podle nároků jednotlivých plodin pohybují v rozmezí 15-24 %. Při nízké provzdušněnosti je nižší i výměna vzduchu v půdě a s tím souvisí i nižší rozvoj aerobních mikroorganismů. Přílišná provzdušněnost naopak znamená jejich zvýšenou činnost a rychlejší odbourávání půdních organických látek (Kutílek, 1966; Kostelanský a kol., 2001).

Maximální kapilární vodní kapacita je půdní hydrolimit udávající hodnotu maximálního nasycení půdních kapilárních pórů. Vyjadřuje schopnost půdy zadržet vodu pro potřeby vegetace, tedy pro tvorbu výnosu polních plodin. Udává objem kapilárních pórů v půdě. Kapilární póry mají značný význam pro vododržnost a retenční schopnost půdy. Představuje nejvyšší vlhkost, se kterou může půda ještě disponovat bez toho, aniž by v daném horizontu došlo k zamokření. Je-li objemová vlhkost vyšší než hodnota MKK, pak mluvíme o primárně zbahnělém či alespoň sekundárně zamokřeném stanovišti. Současně platí, že zamokřený půdní profil je charakterizován především trvalým nedostatkem půdního vzduchu (Kutílek, 1966; Titi, 2002; Hůla, Procházková a kol., 2008).

Tab. 1 Limitní hodnoty fyzikálních půdních vlastností pro jednotlivé půdní druhy (Lhotský a kol., 2000).

Půdní vlastnost	Půdní druh (obsah částic < 0,01 mm v %)					
	J	JV, JH	H	PH	HP	P
Objemová hmotnost v t.m-3	> 1,35	> 1,40	> 1,45	> 1,55	> 1,60	> 1,70
Pórovitost v % objemových	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38
Minim. vzdušnost v % obj.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Penetrační odpor v MPa	2,8-3,2	3,3-3,7	3,8-4,2	4,5-5,0	5,5	6,0
(při vlhkosti v % hmot.)	28-24	24-20	18-16	15-13	12	10

2.2.2.3 Vztah zpracování půdy ke strukturnímu stavu

Struktura půdy, kterou tvoří soubor agregátů různé velikosti a tvarů, je důležitou vlastností půdní úrodnosti. Každý agregát je komplex půdních částic hlavně minerálního, ale i organického původu, které jsou spojovány tmelícími látkami. Pevnost stmelení strukturních agregátů nazýváme stabilitou půdní struktury. Nejdůležitější vlastností půdní struktury je její vodostálost. Volný prostor mezi půdními částicemi a strukturními agregáty zaujímají půdní póry. Struktura půdy svojí stavbou a uspořádáním agregátů, spolu s mezičásticovými nebo meziagregátovými póry, určuje základní fyzikální vlastnosti půdy, které vlivem zpracování půdy podléhají dynamickým změnám. Z agronomického hlediska struktura půdy do značné míry určuje vodní, vzdušný, biologický a tím i živinný režim půdy. Půdní struktura integruje všechny

základní vlastnosti půdy, vymezuje a ohraničuje její reakci na působení vnějších sil. Kvalita struktury půdy na jedné straně ovlivňuje její zpracovatelnost a na druhé straně technologické postupy zpracování půdy a zakládání porostů plodin mají významný vliv na stav půdní struktury (Kutílek, 1966; Demo a kol., 1995; Hůla, Procházková a kol., 2008).

2.3 Technologické postupy zpracování půdy

Postupy zpracování půdy se liší podle jednotlivých skupin plodin, ke kterým se půda zpracovává, podle stavu půdy po předchozí plodině a samozřejmě podle podmínek stanoviště. V našich podmínkách se setkáváme s půdami s různou přirozenou úrodností, což se nutně odráží ve volbě způsobů zpracování půdy. Výběr technologií a strojů výrazně ovlivňuje zrnitostní složení půd. Velké problémy způsobuje zpracování těžkých, obtížně zpracovatelných půd, u nichž je velmi úzký rozsah vlhkosti, při kterém je lze dobře zpracovávat. Naopak lehké půdy lze zpracovat i při vyšší vlhkosti bez většího rizika poškození půdní struktury. Velmi obezřetně je však třeba přistupovat k jejich hlubšímu kypření i hlubší orbě. U lehkých půd je nebezpečí nadměrného urychlení mineralizačních procesů při jejich častém provzdušnění, a tím i úbytku půdní organické hmoty (Hůla et al., 1997; Hůla, Procházková a kol., 2008).

Na úseku zpracování půdy a péče o ní dochází v poslední době k pozitivním změnám spojeným s rostoucím zájmem o důsledky hospodaření na půdě z dlouhodobého hlediska. Využíváním minimalizačních technologií s vyloučením orby může být přínosem k efektivnímu hospodaření na půdě. Současně je třeba si uvědomovat i rizika spojená s využíváním těchto technologií v různorodých podmínkách hospodaření zemědělských podniků.

2.3.1 Rozdělení technologií zpracování půdy

2.3.1.1 Rozdělení technologií zpracování půdy v České republice

Pro označení pracovních postupů zpracování půdy, které zahrnují různou hloubku, intenzitu i odlišný způsob kypření půdy a zacházení s posklizňovými zbytky, se v nedávné minulosti používalo více termínů.

V současné době lze akceptovat následující základní rozdělení způsobů zpracování půdy (Hůla, Procházková a kol., 2008, Hůla a kol., 2010):

- Technologie s orbou (konvenční, tradiční zpracování půdy) – půda je každoročně zpracovávána radličným pluhem, rostlinné zbytky předplodin, biomasa meziplodin a nadzemní části plevelů jsou zapravovány do půdy,
- Technologie bez orby (minimalizační).
- Pro podmínky České republiky můžeme pod pojem minimalizační technologie zařadit následující postupy:
- Minimalizace s kypřením půdy do zvolené, zpravidla malé hloubky, v případě potřeby lze ornici jednorázově hlouběji prokypřit bez obracení,

- Půdoochranné zpracování – způsoby zpracování půdy, u kterých zůstává nejméně 30 % povrchu po zasetí plodiny pokryto rostlinnými zbytky předplodiny nebo meziplodiny (doplňkový údaj: hmotnost této biomasy na povrchu půdy je nejméně 1,2 t.ha⁻¹ v suché hmotě),
- Přímé setí (setí do nezpracované půdy) – půda se po sklizni nezpracovává, seje se speciálními secími stroji do rýh nebo pruhů, přičemž většina povrchu půdy není mechanicky zasažena.

Můžeme se však setkat s výjimkami z tohoto rozdělení technologií zpracování půdy. Půdoochrannou funkci mohou plnit i technologie založené na zasetí kukuřice, slunečnice nebo cukrové řepy do vymrzající meziplodiny i tehdy, jestliže meziplodina byla vyseta bezprostředně po orbě a urovnání povrchu půdy koncem léta. Důležité je, aby meziplodina vytvořila dostatek biomasy.

Důležité je využívání meziplodin a nakládání s posklizňovými zbytky tak, aby byly příspěvkem k ochraně půdy především před erozí. Při dlouhém meziorostním období, například při zařazení kukuřice po obilnině, je ochranná funkce meziplodiny vítaným přínosem.

2.3.1.2 Rozdělení minimalizačních technologií zpracování půdy v USA

Terminologie hlavních skupin minimalizačních technologií zpracování půdy vychází z klasifikace Americké půdoznalecké společnosti - Soil Science Society of America (Cannel a Hawes, 1994; Köller a Linke, 2006; Miština, Kováč a kol., 1993).

Půdoochranné zpracování půdy (*Conservation – tillage*)

Tento termín zahrnuje různé způsoby zpracování půdy bez orby i přímé setí do nezpracované půdy. Významným znakem je, že nejméně 30 % povrchu půdy je pokryto rostlinnými zbytky.

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.

Technologie setí do hrůbků (*Ridge-tillage*)

Širokořádkové plodiny jsou vysévány speciálními secími stroji do hrůbků, které se vytvářejí na podzim nebo zároveň při setí. Vytvořené hrůbky mohou zůstat na pozemku i několik let, v jiném případě jsou každoročně obnovovány. Při setí zůstává 40 - 70 % povrchu půdy pokryto posklizňovými zbytky.

Pásové zpracování půdy (*Strip-tillage*)

Je to označení technologií, u kterých se půda zpracovává jen v úzkých pásech, do nichž se ukládá osivo. Mezi jednotlivými pásy zůstává půda nezpracována.

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 šípovými radličkami. Po setí zůstává 30 - 60 % povrchu půdy pokryto rostlinnými zbytky.

Redukované zpracování půdy (*Reduced-tillage*)

Vyznačuje se minimalizací operací při zpracování půdy. Základem této technologie je redukce počtu mechanických zásahů a intenzity zpracování půdy.

2.3.1.3 Rozdělení technologií zpracování půdy v Německu

V Německu se používá následující rozdělení způsobů zpracování půdy (Köller, 1989; Cannel a Hawes, 1994; Brunotte et al., 1996; Sommer, 1997; Köller a Linke, 2006).

Konvenční zpracování půdy

Půda se zpracovává radličným pluhem, kdy dochází k zapravení rostlinných zbytků a plevelů do půdy. Půda se pluhem drobí, mísí, kypří a obrací. Předseťová příprava a setí se uskutečňuje buď v oddělených operacích, nebo se operace předseťové přípravy a setí spojují. Při oddělených operacích se pro předseťovou přípravu půdy využívají především kombinátory. Pro spojené operace předseťové přípravy půdy převládá využívání strojů s poháněnými pracovními nástroji ve spojení se secím strojem.

Konzervační zpracování půdy

Je to způsob bez použití pluhu a orba je nahrazena kypřením do zvolené hloubky bez obracení půdy. Základním strojem je zde kypřič, u kterého mohou být voleny různé pracovní nástroje v závislosti na různém stupni zapravení rostlinných zbytků či jejich ponechání na povrchu půdy. Rostlinné zbytky zůstávají na povrchu půdy a v povrchové vrstvě. Povrch půdy by měl být pokud možno celoročně pokryt rostlinnými zbytky. Při tomto způsobu zpracování půdy se neuskutečňuje orba radličnými pluhy.

Přímé setí

Zpracování půdy je vynecháno a setí se uskuteční přímo po sklizni hlavní plodiny. K zakládání porostů se používají speciální secí stroje, které jsou schopny zapravit osivo do nezpracované půdy. Při přímém setí se také v daleko větší míře využívají herbicidy k boji proti plevelům.

2.3.2 Konvenční technologie zpracování půdy

Pro konvenční zpracování půdy je typické každoročně opakované kypření a obracení ornice radličným pluhem. Jedná se o tradiční postupy založené na využívání časového odstupu mezi operacemi základního a předseťového zpracování půdy k plnění agrotechnických požadavků na zpracování půdy (potlačování plevelů, dostatečné přirozené sléhávání půdy v době mezi orbou a setím).

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. Orba zajišťuje vlastně generální úklid, zapravení rostlinných zbytků předplodiny i vytvořené rostlinné hmoty meziplodin. Tím, spolu se zaklopením vzešlých plevelů a vzešlého výdrolu obilnin či řepky se připraví podmínky pro bezproblémové setí,

ovšem ne vždy. Problémy se setím do hrudovité ornice po seťové orbě k ozimům na těžkých, obtížně zpracovatelných půdách již byly uvedeny výše (Hůla et al., 1997).

Orba se nejčastěji používá po sklizni plodin za nevhodného počasí, kdy dochází k vytvoření hlubokých stop (nerovností) a velkému zhutnění po přejezdech mechanizační techniky. Za cenu vysoké spotřeby energie se však vytvoří situace, která přispívá k rychlému návratu půdy do nepříznivého stavu, pokud nedodržíme zásadu minimalizace přejezdů po nakypřené půdě, nebo ji zpracováváme při vysoké vlhkosti. Proto je třeba orbu používat až po důkladném zvážení veškerých dopadů na ornici a to především v humidních oblastech.

S orbou za nepříznivých podmínek je spojena vysoká spotřeba nafty a ztráta času, což společně představuje nežádoucí růst nákladů. Při orbě za vlhka se zhutňuje dno brázd, a to přispívá k tvorbě zhutnělé vrstvy s nepříznivými fyzikálními vlastnostmi půdy v podornici. Zaklopení rostlinných zbytků do půdy zvětšuje riziko eroze nakypřené půdy. Postupy s orbou jsou dlouhodobě prověřeny, v současnosti se stále zdokonalují pluky z hlediska požadované kvality práce, snižování nákladů na opravy i z hlediska komfortu obsluhy. Orba je tradičně chápána jako symbol práce zemědělce. Patří k nejdůležitějším agrotechnickým opatřením v konvenčním zemědělství. Orba má svoji bohatou tradici. Lze však předpokládat, že podíl takto obhospodařovaných ploch se bude postupně snižovat (Hůla et al., 1997; Hůla, Procházková a kol., 2010; Kováč, Nozdrovický, Macák a kol., 2010).

Suškevič a Procházková (2000) uvádí hlavní výhody a nevýhody konvenčního zpracování půdy.

Výhody konvenčních technologií zpracování půdy:

- kvalitní zapravení posklizňových zbytků a statkových hnojiv do půdy
- regulace plevelů nechemickou cestou
- využití splavených živin, zejména dusíku
- hubení hlodavců
- odstranění povrchového utužení půdy
- odbourávání reziduí chemických prostředků jejich rozptýlením v orničním profilu
- vyžaduje jednodušší řízení
- zemědělci již mají stroje a zařízení

Nevýhody konvenčních technologií zpracování půdy:

- většinou nedovoluje dodržení agrotechnických termínů
- vyšší potřeba lidské práce a tím i zvýšení mzdových nákladů
- vyšší spotřeba pohonných hmot
- zvyšuje se utužení půdy v důsledku většího množství přejezdů po půdě
- vyšší potřeba traktorů
- způsobuje větší erozi půdy

V současné době na celém světě nenávratně větrnou a vodní erozí ročně mizí zhruba 6– 7 mil. ha zemědělské půdy. Důležitou příčinou je intenzivní zpracování půdy s využitím orby (Köller a Linke, 2006).

2.3.3 Minimalizační technologie zpracování půdy

Jak vyplývá z výše uvedeného třídění technologií zpracování půdy, za minimalizační technologie jsou považovány technologie bez použití orby. Podle Šimona (1992) se minimalizační technologie vyznačují dvěma základními znaky:

- redukcí intenzity základního zpracování půdy
- ponecháním zbytků rostlin mělce zapravených nebo na povrchu půdy.

Nejdůležitějším rozdílem od konvenčního zpracování půdy je, že se neprovádí orba tradičními pluhy. Základním strojem minimalizace je kypřič, který je volen podle nároků na zpracování hloubky a ukládání posklizňových zbytků do půdy. Dochází zde ke kypření půdy na požadovanou hloubku, drobení a následné zpětné utužení. Tyto operace jsou nejvíce spojovány ihned se setím .

Minimalizační technologie zpracování půdy a zakládání porostů jsou technologiemi především pro sušší a teplejší produkční oblasti, pro erozně ohrožené plochy a v neposlední řadě otevírají cestu k lepšímu hospodaření na těžších půdách, kde stav půdního prostředí mnohdy vylučuje kvalitní založení porostů ozimých plodin konvenčními technologiemi s orbou (Procházková et al., 2000; Kostelanský a kol., 2001; Hůla, Procházková a kol., 2002; Hůla, Procházková a kol., 2008).

Hůla a Mayer (1999) uvádí výhody a nevýhody minimalizačních technologií zpracování půdy.

Výhody minimalizačních technologií

- celková úspora nákladů na energii
- úspora pracovních nákladů
- výrazný protierozní účinek, zvláště při setí do mulče
- zlepšení biologických a fyzikálních vlastností půdy
- úspora půdní vláhy
- odstranění problému se sběrem kamenů
- urovnání povrchu pozemků
- ukládání semen plevelů pouze do povrchové vrstvy ornice

Nevýhody minimalizačních technologií

- vyšší výskyt vytrvalých plevelů
- vyšší riziko napadení houbovými chorobami
- vyšší výskyt posklizňových zbytků, který může bránit vzcházení osiva a okyselování povrchové vrstvy
- vyšší výskyt škůdců

Podmínkou pro používání minimalizačních technologií je vybavení podniku vhodnými stroji určenými pro tyto technologie. Strojní vybavení je u některých zemědělských podniků limitujícím faktorem, který brání rozvoji minimalizačních technologií zpracování půdy, protože dnešní ekonomická situace některých zemědělských podniků neumožňuje větší nákupy nové zemědělské techniky. Je nutno říci že moderní technika, která je v současné době na špičkové úrovni, je základem úspěšného zvládnutí minimalizačních postupů zpracování půdy.

V dnešní době se nejvíce používají talířové a radličkové podmiťáče, které se vyrábí v různých modifikacích. Zpravidla jsou tyto stroje vybaveny drobicím válcem, který má za úkol rozdrobit případné hroudy a zpětně utužit nakypřený pozemek a umožnit tak rychlé klíčení výdrolu předplodiny a plevelů, které pak následnou operací zlikvidujeme.

2.3.3.1 Současný stav používání minimalizačních technologií zpracování půdy

V současné době se používají minimalizační technologie v určitých modifikacích a s určitým rozsahem na celém světě.

Používání minimalizačních technologií ve světě

Volba způsobů zpracování půdy je ovlivňována nejen agroekologickými podmínkami, ale i používáním různých pěstitelských systémů, ekonomickými a kulturními bariérami v různých zemích. Minimalizační technologie zpracování půdy jsou v současné době považovány za významnou alternativu konvenčních technologií s orbou. Všeobecně jsou u minimalizačních technologií ceněny především nižší náklady, úspora času, příznivý vliv na půdní prostředí a omezení vodní a větrné eroze (Domzal, 1997; Hůla, Procházková a kol., 2008).

Jak již bylo výše uvedeno, technologie zpracování půdy bez použití orby jsou známy již desítky let, ale jejich největší rozvoj a uplatnění byly zaznamenány až v posledních dvaceti letech, kdy snižování výrobních nákladů, výkonná technika a účinné herbicidy byly hlavním impulzem pro jejich rozšíření. Podrobné údaje o rozšíření a uplatňování systémů zpracování půdy bez orby ve světě uvádí ve své práci Köller a Linke (2006).

Zatím co v Evropě je pluh s odhrnovačkou stále ještě dominujícím strojem pro zpracování půdy, na všech ostatních kontinentech hraje už jen malou roli.

V USA se bezorebné technologie rozšířily nejvíce. Snížení státních dotací, drahá pracovní síla, silná konkurence na trhu a problémy s větrnou a vodní erozí přinutily americké farmáře ke změně v systému zpracování půdy. Mělké zpracování půdy radličkovým nebo talířovým náradím je zde uplatňováno na více než 50-ti % půdy. Rozsah používání přímého setí plodin do nezpracované půdy se pohybuje kolem 20-ti %, podle oblastí je však rozdílný.

V Kanadě se zemědělci přiklánějí k redukci počtu zásahů při zpracování půdy a zakládání porostů plodin, ale přímé setí bez zpracování půdy zde není populární. Rovněž výsledky pokusů zde neukazují příznivý vliv přímého setí do nezpracované půdy na výnosy především teplomilných plodin (Arshad, 1999). Vy a Raimbault (1992) v dlouhodobém (patnáctiletém) pokusu zaznamenali nižší výnosy kukuřice o 16 %

po přímém setí ve srovnání s orbou. Krátká vegetační doba v této oblasti je obecně považována za bariéru uplatnění přímého setí do nezpracované půdy.

V Jižní Americe pluh hraje jen mizivou úlohu. I když na rozdíl od Severní Ameriky lze podíl jednotlivých systémů zpracování půdy jen odhadovat, má přímé setí v Jižní Americe ještě větší význam než v Severní. Bez optimální protierozní ochrany půdy při přímém setí se v Jižní Americe bohaté na srážky projevují výrazné ztráty na výnosech díky ztrátám živin. Kromě toho je při zpracování půdy její svrchní část během několika let zcela likvidována erozí. Není proto divu, že přímé setí patří v Jižní a ve Střední Americe k tradičním postupům.

V Africe je také podíl konvenční přípravy půdy pluhem velmi malý. Příčinou je především nedostatek pluhů s odhrnovačkou a vhodné tažné síly. V Africe se v současné době nakupuje jen asi 5 000 traktorů ročně, zatímco v Evropě je jich navzdory výrazně menší rozloze zemědělské půdy 170 000. Zvířecí potahy s dřevěnými nástroji kypří půdu zpravidla jen do hloubky v rozmezí 0,10–0,15 m a neobracejí ji. Proto je třeba tyto postupy přiřadit k minimalizační technologii. V Africe, stejně jako v Jižní Americe, navíc existují tradiční postupy přímého setí. Porost se zde však častěji odstraňuje vypalováním, takže ochrana proti erozi je výrazně nižší.

V Austrálii převažují půdoochranné systémy a přímé setí. Intenzivnější zpracování půdy, často však bez pluhu, se vyskytuje především ve vlhčích oblastech na východním pobřeží. V sušších obilnářských oblastech západu se většinou používá přímé setí plodin do nezpracované půdy.

Ve středoasijských oblastech někdejšího Sovětského svazu také získávají půdoochranné technologie a přímé setí na významu. Pěstební podmínky se v mnohém podobají podmínkám v Severní Americe nebo Austrálii. Většina ploch se však i nadále oře a intenzivně zpracovává. Příčinou je nedostatek herbicidů a vhodné techniky.

V Číně zhruba 100 milionů hektarů půdy živí více než 1,3 miliardu lidí. Čína v poslední době dokonce obiloviny vyváží. Relativně vysoké výnosy jsou dosahovány díky velmi intenzivnímu zpracování půdy. Následkem jsou však vážné problémy s půdní erozí.

Jak již bylo výše zmíněno, převažuje v Evropě využití pluhu. Avšak v posledních letech začal ve větších a profesionálně vedených podnicích růst zájem o minimalizační technologie.

V Německu se během posledních dvaceti let minimalizační technologie dále rozšiřovaly. V praxi přispívají k rozšíření minimalizačních systémů požadavky spolkového zákona na ochranu půdy, na udržení a zlepšování její struktury a na omezování eroze a zhutňování. V některých spolkových zemích jsou některá opatření finančně cíleně podporována. Výsledkem je, že např. v Sasku se asi 30 % ploch obdělává bez pluhu. Kromě zvláštních podpůrných programů pro zemědělství podporují některé spolkové země paralelně i výzkumné záměry orientované na praxi, zaměřené na vliv minimalizačních technologií na půdní erozi a na kvantifikování průniku hnojiv a ochranných prostředků do spodních vod. V současné době existuje mnoho podniků s dlouholetými zkušenostmi s nepřetržitou zemědělskou výrobou bez orby. V uplynulých deseti letech doznaly značného rozšíření zejména postupy půdoochranného obdělávání, přičemž těžiště tohoto vývoje spočívá v rozsáhlých oblastech východního Německa. Jsou tu k dispozici více než dvacetileté zkušenosti,

kteře potvrzují jak ekologické, tak i ekonomické přednosti oproti konvenčnímu způsobu zpracování půdy pluhem.

Poměrně velký rozvoj a rozšiřování minimalizačních technologií nastaly zejména v posledních patnácti až dvaceti letech v České republice, na Slovensku a v Maďarsku. Důvodem jsou lepší podmínky pro uplatnění těchto výkonných technologií ve větších podnicích, rozsáhlý výzkum a propagace a snaha zemědělců o snížení nákladů a celkově zlepšení ekonomiky rostlinné výroby (Hůla, Procházková a kol., 2008).

Celkově lze shrnout, že z celosvětového hlediska převažují minimalizační systémy ve všech různorodých formách. Rozhodující úlohu hraje pluh dosud především v Evropě, dále pak ve střeđoasijských oblastech bývalého Sovětského svazu a v Číně. Přímé setí plodin do nezpracované půdy patří v Jižní Americe a Austrálii ke standardním postupům (Köller a Linke, 2006, Hůla, Procházková a kol., 2008).

Používání minimalizačních technologií v České republice

V České republice je výzkum minimalizačních technologií zpracování půdy prováděn dlouhodobě již od šedesátých let. V pokusech v letech 1961-1967 vedených na černozemní půdě v kukuřičné výrobní oblasti byl vyhodnocen význam hloubky zpracování půdy pro plodiny a půdu. Byla zjištěna nevýrazná výnosová reakce většiny plodin na hloubku a intenzitu zpracování půdy (Nováček, 1970). Na tato sledování navázaly modelové pokusy, ve kterých byla zaznamenána pozitivní reakce obilnin na vyšší objemovou hmotnost půdy, odpovídající půdě přirozeně uložené, tedy nezpracované.

Na základě těchto zjištění byly v roce 1969 založeny na černozemní půdě v kukuřičné výrobní oblasti polní pokusy, kde byly do roku 1993 v rámci šestihonného a čtyřhonného osevního postupu zkoušeny tři systémy zpracování půdy. V prvním systému bylo ke všem plodinám oráno, v druhém systému bylo u obilnin prováděno mělké zpracování půdy a ve třetím systému byly obilniny sety do nezpracované půdy. Výsledky sledování uvádí Suškevič (1994, 1995, 2000). Mělké zpracování půdy i setí obilnin do nezpracované půdy zabezpečovalo obdobné výnosy a výrobnosti celých osevních postupů jako orba. Rovněž výsledky dalších pokusů vedených na černozemní půdě v kukuřičné výrobní oblasti (1989-1994) a řepařské výrobní oblasti (1989-2013) ukazují na vhodnost využití minimalizačních způsobů zpracování půdy u ozimé pšenice a jarního ječmene. V pokusech vedených v řepařské výrobní oblasti na hnědozemní půdě v letech 1996 - 2000 zaznamenali Rotrekl et al. (2000) příznivou výnosovou reakci ozimé pšenice, ozimé řepky, jarního ječmene a hrachu na sníženou intenzitu zpracování půdy.

Sedmileté polní pokusy, vedené na pokusných stanovištích v.v.i. Praha-Ruzyně s různými variantami využití organické hmoty a s přímým setím do nezpracované půdy ukázaly, že při pěstování hlavních obilnin na hlinitých, úrodných půdách v řepařské výrobní oblasti není významných rozdílů ve výnosu mezi konvenční a půdoochrannou technologií. Na lehkých, hlinitopísčítých půdách byly jak výnosové, tak i ekonomické výsledky u zkoušených obilnin průkazně lepší (Javůrek, 2001).

Výsledky dlouhodobých pokusů vedených na hnědé půdě v bramborářské výrobní oblasti ukazují, že v daných podmínkách (méně úrodná půda, vlhčí a chladnější klimatické podmínky) je u ozimé pšenice pěstované po dobrých předplodinách

(po jeteli lučním a bramborách) možná redukce intenzity zpracování půdy. Zejména je vhodné použití mělkého zpracování půdy. U jarního ječmene však zde vedlo použití mělkého zpracování půdy a zejména přímého výsevu do nezpracované půdy ke snížení výnosů. (Kňákal a Procházková, 1997). Možnost zpracovávat půdu mělce i v horších půdně klimatických podmínkách uvádí na základě výsledků pokusů na hnědé půdě kyselé v bramborářské výrobní oblasti Horáček et al. (1999).

Výsledky výzkumných pracovišť v ČR a získané poznatky se staly základem pro racionální postupy ve zpracování půdy a zakládání porostů polních plodin a pro rozšiřování minimalizačních technologií (Šimon et al., 1999; Hůla, Procházková a kol., 2008; Procházková a kol., 2011).

V České republice jsou minimalizační technologie používány především u úzkořádkových plodin (obilniny, ozimá řepka, mák, hrách), kde je nejvíce výzkumných výsledků i praktických zkušeností. Technologické postupy s vynecháním orby a se setím do vymrzajících meziplodin se začínají v posledním období uplatňovat i u plodin pěstovaných v širších řádcích, především u kukuřice.

Nejvhodnější podmínky pro uplatňování minimalizačních technologií jsou na středně těžkých půdách s vyšší přirozenou úrodností v sušších podmínkách kukuřičné a řepařské výrobní oblasti. Potvrzují to výsledky pokusů i zkušenosti zemědělské praxe.

V posledním období dochází k rozšiřování minimalizačních technologií zpracování půdy i do oblastí s horšími půdními a klimatickými podmínkami. Důvodem je především snaha zemědělců hospodařících ve vyšších polohách o snížení nákladů a zvýšení rentability výroby. Významné je zde rovněž omezení vodní eroze na svažitých pozemcích.

Minimalizační technologie jsou používány i na těžkých půdách, kde stav půdního prostředí mnohdy vylučuje kvalitní založení porostů ozimých plodin v požadovaných agrotechnických termínech při použití konvenční technologie s orbou. V takových případech je použití minimalizačních technologií jediným možným způsobem jak založit porost. Vhodná se ukazuje především náhrada orby mělkým kypřením a setí plodin secími stroji zajišťujícími dostatečnou kvalitu založení porostu. Vliv snížené hloubky a intenzity zpracování těžkých půd na růst a výnosy pěstovaných plodin do značné míry závisí na průběhu povětrnostních podmínek v době vegetace. Při vlhčích a chladnějších podmínkách je nebezpečí nedostatečné provzdušnosti půdy a zhoršení teplotních poměrů se všemi nepříznivými důsledky pro plodiny i půdní procesy.

Redukce hloubky a intenzity zpracování půdy je zcela nevhodná na zamokřených a nadměrně utužených půdách. Zde je potřeba pro vytvoření vhodných podmínek pro pěstované plodiny a průběh půdních procesů zajistit dostatečné nakypření a provzdušnění půdy (Procházková et al., 2000; Hůla, Procházková a kol., 2002; 2008).

Jak ukazuje celá řada výzkumů, vliv minimalizačních postupů zpracování půdy na půdní prostředí je většinou příznivý, zejména při jejich dlouhodobém používání dochází ke zlepšování stabilních prvků půdní úrodnosti a to především strukturního stavu půdy a stavu půdní organické hmoty. Při používání minimalizačních technologií zpracování půdy a zakládání porostů je nutné pro zajištění trvalé udržitelnosti tohoto systému hospodaření zabezpečit i určitou výnosovou úroveň pěstovaných plodin. Vliv technologických postupů s redukcí hloubky a intenzity zpracování půdy a výsevy plodin

do mělce zpracované, povrchově zpracované i nezpracované půdy se projevuje v závislosti na agroekologických podmínkách. Pro určité půdně klimatické podmínky je proto nutné ověřit vhodné technologické postupy zpracování půdy a zakládání porostů a těmto postupům uzpůsobit celou pěstební technologii jednotlivých plodin. Technologie zpracování půdy a zakládání porostů není možné přebírat z jiných podmínek. Naopak je potřebný výzkum a praktické ověření vhodných postupů pro konkrétní podmínky hospodaření (Hůla, Procházková a kol., 2002; Procházková a kol., 2011).

2.3.3.2 Důvody rozvoje a širšího používání minimalizačních technologií zpracování půdy

Hlavními důvody rozvoje a širšího používání zjednodušeného zpracování půdy jsou především v oblasti ekologické, ekonomické a technické (Hůla, Procházková a kol., 2008).

Důvody ekologické

Od minimalizačních a především od půdoochranných technologií se očekává, že přispějí ke zlepšení půdního a životního prostředí, zejména ke zlepšení strukturního stavu půdy, hospodaření s půdní vodou, stavu půdní organické hmoty, biologické činnosti půdy, k redukci eroze a ztuhnutí půdy a k omezení vyplavování živin.

Každá změna způsobu zpracování půdy nutně vede i ke změnám půdního prostředí. Rozsah těchto změn závisí na stupni redukce hloubky a intenzity zpracování půdy, na množství rostlinných zbytků ponechaných na povrchu nebo ve vrchní vrstvě půdy a na době po kterou změna technologie trvá. Změny půdního prostředí vlivem různého zpracování jsou rovněž rozdílné v závislosti na půdních a klimatických podmínkách hospodaření.

Způsob zpracování půdy a s ním související distribuce posklizňových zbytků ovlivňují celou řadu fyzikálních, chemických a biologických vlastností půdy.

Z fyzikálních vlastností se změny vyvolané různým zpracováním půdy nejvíce dotýkají objemové hmotnosti, která pak ovlivňuje celý komplex dalších fyzikálních vlastností půdy. S objemovou hmotností úzce koreluje pórovitost půdy. Objem a zastoupení jednotlivých velikostních skupin pórů významně ovlivňují vodní a vzdušný režim půdy. Obecně s nižší intenzitou zpracování dochází ke zvyšování objemové hmotnosti půdy a snižování celkové pórovitosti. Zvyšuje se poměr kapilárních a nekapilárních pórů. To se promítá ve zvyšování vododržnosti půdy, a tím i ve vyšším obsahu vody v půdě a ve snižování hodnot provzdušenosti půdy. Na uchování půdní vody má příznivý vliv rovněž mulč ze zbytků rostlin na povrchu půdy, především tím, že zmenšuje odtok vody z povrchu půdy a redukuje neproduktivní výpar (ztráty vody evapotranspirací). Snižování hloubky a intenzity zpracování půdy je z tohoto pohledu vhodné uplatňovat především v sušších a teplejších podmínkách a na půdách lehčího zrnitostního složení, kde je potřeba usilovat o zlepšení vodního režimu půdy a vláhového zabezpečení rostlin v průběhu vegetace. Naopak u půd druhově těžších a ve vlhčích a chladnějších podmínkách je potřebné usilovat o udržení potřebné pórovitosti, zejména pak objemu nekapilárních pórů, které rozhodují o propustnosti a aerační schopnosti půdy

(Zrubec, 1984; Sprague a Triplett, 1986; Miština, Kováč a kol., 1993; Lal et al., 1994; Moreno et al., 1997; Raus, 2000).

Strukturní stav půdy je významným prvkem půdní úrodnosti. Různá intenzita zpracování půdy i hospodaření s posklizňovými zbytky rostlin se promítá nejen ve změnách základních fyzikálních vlastností půdy, ale i ve změnách půdní struktury. Snížení intenzity zpracování půdy a ponechání zbytků rostlin na povrchu půdy většinou vede ke zlepšení půdní struktury (k vyššímu zastoupení agronomicky cenných strukturních agregátů i ke zvyšování jejich vodostálosti). Vhodné agregátové složení půdy a dostatečná vodoodolnost agregátů jsou základem pro optimalizaci půdní pórovitosti, vododržnosti půdy, areace, infiltrace vody do půdy a dostupnosti vody pro rostliny. Stabilita agregátů se zvyšuje se zvyšujícím se obsahem půdní organické hmoty a vlhkosti půdy. Vlhké agregáty jsou odolnější vůči jejich destrukci deštěm než agregáty vyschlé. U půd opakovaně zpracovávaných minimalizačními postupy (s příznivým vlivem na obsah humusu a vody v půdě) jsou půdní agregáty většinou stabilnější než u klasického zpracování půdy s orbou (Borresen, 1999; Cannel a Hawes, 1994; Pagliai et al., 1995; Domžal, 1997)

Infiltrace srážkové vody významně ovlivňuje erozi půdy. Změny fyzikálních vlastností půdy při jejím zpracování způsobují změny propustnosti půdy pro vodu a vzduch a vodivosti pro teplo. Na většině stanovišť vykazuje redukované zpracování půdy, zejména při jeho opakovaném používání, příznivou infiltraci srážkové vody do půdy a snížený povrchový odtok vody, s čímž souvisí i snížení rizika vodní eroze půdy. Změna půdní struktury po zpracování půdy přináší změnu vodivosti a propustnosti pro vodu, teplo a vzduch. Homogenní vrstva s horizontální strukturou vzniká při klasickém zpracování půdy, vertikální struktura převažuje při uplatnění redukovaného zpracování půdy. Tyto stavy se přímo odráží v rychlosti infiltrace a erozi půdy. Významný vliv na infiltraci má existence makropórů, které jsou tvořeny zejména aktivitou půdních organismů, která je vyšší v systému bezorebného zpracování půdy. Podle řady autorů je vyšší infiltrace u bezorebného zpracování půdy způsobena právě existencí makropórů. Významný vliv na velikost povrchového odtoku a ztrátu půdy má ponechání rostlinných zbytků na povrchu půdy ve formě mulče (Meek et al., 1990; Azooz a Arshad, 1996; Fabrizzi, 2005; Truman et al., 2005)

Stav půdní organické hmoty má velký význam pro půdní úrodnost i pro výživu rostlin má. Různá intenzita zpracování půdy má poměrně výrazný vliv na ukládání uhlíku (ve formě humusu) v půdě a jeho uvolňování (jako CO₂) do atmosféry. Po intenzivním zpracování půdy dochází většinou k většímu uvolňování CO₂ a nižšímu ukládání uhlíku v půdě. Vliv různého zpracování půdy na množství a složení půdní organické hmoty je však měřitelný až po dlouhodobějším používání, v krátkodobějším časovém horizontu nelze očekávat podstatnější změny. Dřívější informace o mechanismu koloběhu uhlíku však mohou poskytnout i krátkodobější výsledky uvolňování CO₂ z půdy do ovzduší (Horáček, 1995; Lukin et al., 1999; Köller a Linke, 2006; Hůla, Procházková a kol., 2008; Procházková a kol., 2011).

Dusík v půdě je ovlivňován intenzitou zpracování půdy. Technologie zpracování půdy významně ovlivňují využití dusíku z půdy (ale i z hnojiv) rostlinami a vytváří odlišné podmínky pro přeměny dusíku v půdě. Intenzivní kypření vytváří aerobní podmínky ve zpracovávané vrstvě půdy, a tak dochází k intenzivnějšímu uvolňování dusíku

z půdní zásoby a jeho přeměně na nitráty. Při používání minimalizačních technologií půdy probíhá mineralizace dusíku z půdní organické hmoty pozvolněji. Obecně se dá říci, že snížení intenzity zpracování půdy většinou vede k omezování tvorby nitrátového dusíku a jeho vyplavování do podzemních vod. K významnějšímu snížení ztrát živin vyplavováním ztrát živin vyplavováním dochází při používání půdoochranných technologií zpracování půdy s výsevy plodin do vymrzajících nebo i přezimujících (chemicky likvidovaných) meziplodin. Meziplodiny výrazně omezují ztráty živin vyplavováním, především dusíku, který vážou ve své biomase a zabraňují tak jeho transportu do hlubších půdních vrstev mimo kořenovou zónu, kde je pro rostliny nedosažitelný. Dochází tak k efektivnějšímu využití aplikovaného dusíku v hnojivech i dusíku z půdy pro rostlinnou produkci a k zabránění kontaminace podzemních vod. (Titi, 2002; Tebrügge, 1999; Hůla, Procházková a kol., 2008; Procházková a kol., 2011)

Biologická činnost půdy je významně ovlivňována zpracováním půdy. Změny ve fyzikálních a chemických vlastnostech půdy při jejím různém zpracování se promítají do změn biologické činnosti půdy. Změny stavu půdní organické hmoty probíhají, jak již bylo zmíněno, velmi pomalu. Rovněž tak aktivita mikroorganismů narůstá velmi pozvolna. Statisticky průkazné změny v biologické aktivitě půdy následující po změnách způsobu zpracování mohou nastat až po desetiletích. Změna klasického na redukované zpracování půdy většinou stimuluje populaci půdní fauny a aktivitu půdních mikroorganismů. Tato skutečnost je dávana do souvislosti především s nárůstem půdní vlhkosti a menším kolísáním půdních teplot. Významným přínosem pro rozvoj půdní bioty jsou půdoochranné technologie, kde je biomasa posklizňových zbytků rostlin (především strniskových meziplodin) mělce zapravená do půdy nebo ponechaná na povrchu půdy jako mulč (Hůla, Procházková a kol., 2008)

Zvláště výrazný je vliv snížení intenzity zpracování půdy na růst populace žížal. Nejen žížaly, ale i jiní živočichové, jako např. chvostoskoci a draví roztoči, se v oraných půdách rozmnožují mnohem lépe. Vyšší aktivita žížal působí příznivě na zlepšení půdní struktury. Žížaly promíchávají půdu, dopravují slámu a živiny do hlubších vrstev a kypří utuženou půdu. Jimi utvořené chodbičky tvoří vertikální stabilní systém pórů, procházející z povrchu do spodních vrstev půdy, který vyniká lepší propustností pro vzduch a zlepšuje vsakování nadměrných srážek. Malý počet žížal na oraných polích není způsoben jejich mechanickou likvidací při obdělávání půdy, ale tím, že je likvidován základ jejich výživy. Žížaly jsou odkázány na zbytky rostlin na povrchu. Pokud jsou tyto zbytky zapravovány do půdy, může se udržet jen malá populace. Při půdoochranném systému a při přímém setí mají žížaly významnou úlohu při kypření půdy a při její stabilizaci. Aby mohly tuto funkci plnit, potřebují odpovídající výživu. Proto hraje ponechávání posklizňových zbytků na povrchu půdy rozhodující úlohu. Při výrazném omezení intenzity obdělávání půdy však neroste jen počet žížal, ale i mnoho dalších organismů v půdě a na jejím povrchu. Zatímco při obdělávání pluhem půda obsahuje výrazně méně biomasy a mikroorganismů, vzniká při přímém setí podstatně bohatší a komplexnější systém (Titi, 2002; Eichhorn et al., 1991; Tebrügge, 1999).

Zhutnění půd je na mnohých stanovištích příčinou významného zhoršení produkční schopnosti půd. Stupeň a rozsah zhutnění významně závisí na místních podmínkách. Rozhodující význam mají nejen druh a stav půdy, ale i způsob obhospodařování půdy.

Mnohé výzkumy a praktické zkušenosti potvrzují, že omezení intenzity zpracování půdy omezuje nebezpečí zhutňování půd. Odpovídající měření ukazují, že nekypřená půda nebo půda kypřená neobracejícími kypřicími stroji má stabilnější strukturu a systém pórů, které jsou i za velkého vlhka méně citlivé na tlak než orané půdy. Redukce počtu přejezdů po poli a tím omezení mechanického působení traktorů a strojů na půdu. (Hůla, Procházková a kol., 2008; Hůla a kol., 2010).

Poznatky o vlivu různých způsobů zpracování půdy a managementu posklizňových zbytků na změny půdního prostředí jsou důležité pro optimalizaci technologií zpracování půdy a zakládání porostů plodin v různých produkčních podmínkách.

Důvody ekonomické

Tradiční zpracování půdy je energeticky a pracovně velmi náročné. Zjednodušené zpracování půdy, zejména jeho krajní varianta - setí plodin do nezpracované půdy, přináší značné úspory práce a energie, což se pak promítá i ve snížení celkových nákladů. Suškevič (1995) uvádí na základě výsledků dlouhodobých pokusů průměrnou úsporu nákladů při setí obilnin do nezpracované půdy (ve srovnání s tradičním zpracováním) 1 200 Kč a zvýšení hrubého zisku (tržby mínus přímé náklady) o 39 % na hektar.

Prvním směrem redukce nákladů na zpracování půdy je snižování potřeby pracovního času (pracovních nákladů) slučováním jednotlivých pracovních operací, využitím souprav strojů, které plní několik funkcí, a potřebného stavu půdy, respektive založení porostů je dosaženo nižším počtem pracovních operací nebo jen jedním pojezdem po poli. Další možností snižování pracovních nákladů je využívání strojů s větším záběrem a vyšší výkonností, což umožňují především kypřiče na rozdíl od pluhů, které již v tomto směru dosáhly svých limitů. Tímto je možno zredukovat počty pracovníků v podniku a ušetřit tak mzdové náklady.

Druhým směrem v úspoře nákladů je snižování energetických (materiálových) nákladů, tj. především výdajů za naftu. Hlavní způsobem jak tyto náklady ušetřit, je omezit hloubku a intenzitu zpracování půdy. Energeticky nejnáročnější zpracování půdy je orba, proto snížení její hloubky, nebo náhrada kypřením je jedna z hlavních alternativ jak snížit energetické náklady.

Nezbytným předpokladem pro dosažení úspor prostřednictvím snížení nákladů na zpracování půdy je podmínka, že výnosy plodin, a tím i tržby na jednotku plochy zůstanou zachovány nebo pokles příjmů bude nižší než ušetřené náklady.

Vesměs pozitivní efekty minimalizačních technologií na snížení nákladů jsou v plné výši realizovatelné v případech, že klimatické a půdní podmínky a aktuální stav na pozemcích umožňují využití minimalizačních technologií. Pokud tento předpoklad není zcela splněn a pro založení kvalitních porostů je nezbytné provádět další zásahy a opatření, je ekonomický efekt nižší (Hůla, Procházková a kol., 2008).

Důvody technické

Nová konstrukční řešení strojů a nářadí umožňují rozvoj a širší uplatnění zjednodušených postupů zpracování půdy. Vhodnou konstrukcí strojů se dají některé operace zcela vyloučit, nebo spojit s jinými operacemi. V současné době je na trhu

k dispozici celá řada strojů pro zjednodušené postupy zpracování půdy včetně setí plodin do nezpracované půdy.

Vzhledem k vysokému zastoupení obilnin v osevních postupech v České republice (cca 60 %) je dynamika nárůstu uplatnění minimalizačních technologií vysoká. Příznivým jevem je rozšiřování technologií pěstování kukuřice bez orby. Vývoj v oblasti secích strojů pro setí kukuřice a slunečnice do mulče z vymrzajících meziplodin přispívá k uplatnění postupů omezujících vodní erozi.

Velmi důležitým faktorem při výběrů strojů pro zpracování půdy je jejich plošná výkonnost, která má zásadní význam v provozních podmínkách. Právě faktor včasnosti operací je silnou stránkou minimalizačních způsobů zpracování půdy. Potřeba času pro postupy zpracování půdy bez orby je výrazně nižší, a tím nám umožňuje přípravu pozemků a setí v agrotechnických termínech, což je základ dobrého výnosu polních plodin. V současné době je na trhu mnoho strojů různých značek, které jsou konstruovány pro vysokou plošnou výkonnost a jejich záběry dosahují i 12 až 16 m. V agregaci s traktory o výkonu 500 koní dosahují vysokých denních výkonů a zajišťují precizní práci v agrotechnických termínech.

Na středně těžkých a těžkých půdách, kde konvenční zpracování půdy, zvláště na podzim, způsobuje velkou hrudovitost po orbě, může redukované zpracování půdy přispět nejen k úspoře času a nákladů, ale může zlepšit kvalitu přípravy půdy pro setí a vytvořit podmínky pro rovnoměrné vzcházení ozimů zejména při nedostatku vláhy.

V zemědělských podnicích je vítaným efektem minimalizačních technologií úspora nafty. Zpracování půdy patří k velmi náročným úsekům rostlinné výroby na spotřebu motorové nafty, a tak snížení hloubky a intenzity zpracování půdy vede k významným úsporám pohonných hmot (Hůla, Procházková a kol., 2008; Hůla a kol., 2010).

2.4 Zpracování půdy a fyzikální vlastnosti půdy

Vztah fyzikálního stavu půdy a zpracovatelských zásahů je oboustranný. Dobrá znalost fyzikálního stavu půdy v konkrétních podmínkách umožňuje vhodnou volbu technologie zpracování. Na fyzikální vlastnosti půdy se musíme dívat jako na soustavu dynamicky se vyvíjejících prvků, kdy změna jednoho prvku se okamžitě projevuje ve změně ostatních (Hůla, Procházková a kol., 2002; 2008).

Jak uvádí Zrubec (1984), udržování optimálního poměru mezi jednotlivými půdními vlastnostmi je třeba považovat v systému zpracování půdy za jeden z klíčových prostředků nejen pro zabezpečení dobrého hospodaření půdy s vodou, ale i jako prostředek pro regulaci a kontrolu základních podmínek úrodnosti půdy.

Fyzikálními vlastnostmi půd u bezorebných technologií se v obecném pojetí zabývá značný počet autorů. Odkazů na publikace se sledováním konkrétních fyzikálních parametrů u těchto technologií však není mnoho. Je to snad proto, že v dobrých půdních a klimatických podmínkách se tato záležitost nezdá mnohým autorům důležitá a větší rozšíření bezorebných technologií do vyšších poloh je záležitostí posledního desetiletí. Dalším důvodem může být i relativně pracné zjišťování řady fyzikálních charakteristik půdy (Horáček et al., 1999).

Změny vyvolané zpracováním půdy se nejvýrazněji dotýkají objemové hmotnosti, která ovlivňuje celý komplex fyzikálních vlastností půdy (Fulajtár, 1986).

Změny objemové hmotnosti způsobují jednak přirozené přírodní vlivy, jako je zvyšování obsahu vody, zamrzaní a rozmrzaní půdy, působení půdních organismů, kořenová soustava rostlin nebo zásahy člověka, mezi které patří především zpracování půdy, hnojení organickými hnojivy a vápnění. Agrotechnické zásahy mohou objemovou hmotnost půdy změnit až o 15 – 45 % (Rehák a Jánský, 2000).

Změny objemové hmotnosti a pórovitosti půdy vlivem různých způsobů zpracování jsou rozdílné v závislosti na půdních a klimatických podmínkách (Blevins et al., 1983; Douhla et al., 1980). Množství srážek ovlivňuje nejen objemovou hmotnost a obsah půdní vody, ale i hodnoty penetračního odporu půdy (Cassel et al., 1985).

Většina autorů uvádí, že s nižší intenzitou zpracování půdy dochází ke zvyšování objemové hmotnosti a snižování celkové pórovitosti půdy (Hůla, Procházková a kol., 2008). Na základě výsledků desetiletého výzkumu bezorebných technologií uvádí Horne et al. (1992) vyšší objemovou hmotnost půdy u bezorebných ve srovnání s konvenčními technologiemi. Také Alegre et al. (1991) uvádí na základě výsledků výzkumu v Latinské Americe, že používání bezorebného zpracování půdy zvyšuje objemovou hmotnost v blízkosti povrchu půdy a snižuje množství makropórů spojených s konvečním zpracováním půdy orbou.

Logspon a Karlen (2004) zpochybňují význam objemové hmotnosti půdy jako indikátoru kvality půdy při konverzi z konvenčního zpracování na no-tillage systém, kdy obvykle objemové hmotnosti půdy narůstají. Podle jejich výsledků se není potřeba obávat negativních dopadů na produkci, pokud se objemová hmotnost půdy pohybuje v rozmezí $0,8-1,6 \text{ g.cm}^{-3}$.

Sprague a Triplett (1986) ve své monografii shrnují výsledky sledování vlivu dlouhodobého používání bezorebných technologií na fyzikální vlastnosti půdy uváděnými více autory. Výsledky ukazují, že při kontinuálním používání půdoochranného zpracování půdy se hodnoty objemové hmotnosti postupně zlepšují, protože počáteční negativní vliv vyšší objemové hmotnosti pro růst kořenů a pohyb vody je kompenzován růstem velkých pórů. Makropóry jsou tvořeny kanálky žížal a kanálky po odumřelých kořenech.

Celková pórovitost v naprosté většině případů velmi úzce koreluje s objemovou hmotností půdy. Obecně nižší hodnoty celkové pórovitosti v půdním profilu u bezorebných technologií se ve větších hloubkách vyrovnávají s orbou a pod 0,3 m jsou srovnatelné, někdy u bezorebné technologie příznivější, podobně jako u objemové hmotnosti půdy. Většinou toto závisí na kontinuitě doby uplatňování bezorebných technologií (Hůla, Procházková a kol., 2002; 2008).

Zlepšení celkové pórovitosti ve větší hloubce půdy je u systémů bez orby přičítáno zejména rozvoji makropórů v souvislosti s větší aktivitou žížal (Lal a Ankiremi, 1983; Zachman et al., 1987; Horsch, 1990) a intenzivnějším růstem kořenů (Packej et al., 1992). Zvýšení kapilární pórovitosti u technologií bez orby uvádí Raus (2000), Azooz a Arshad (1996) a další. Zvýšení objemu semikapilárních pórů při používání bezorebné technologie zaznamenali Ekerbek a Riley (1997).

S vyšším objemem kapilárních pórů u bezorebných technologií souvisí vyšší vododržnost a retenční schopnost půdy a tím i většinou zjišťovaná vyšší momentální vlhkost půdy. Tato skutečnost, která se zdá být pro bezorebné technologie obecná, je kromě vyššího obsahu kapilárních pórů, přičítána i ke snížení ztrát vody zanecháním posklizňových zbytků rostlin na povrchu půdy. Tyto výsledky uvádí více autorů (Gantzer a Blake, 1978; Horsch, 1990; Šabatka, 1998; Horáček et al., 1999; Houšť et al., 2011 a další).

Azooz a Arshad (1996) hodnotili po patnáctiletém bezorebném zpracování půdy jeho vliv na rozdělení velikosti pórů. Na prachové hlíně byl u bezorebného zpracování, ve srovnání s konvenčním zpracováním, zaznamenán průkazně vyšší objem pórů < 14 μm . U pórů > 14 μm průkazný rozdíl nebyl zjištěn.

Chan a Mead (1989) zjistili, že půda, která se několik let zpracovává bezorebným způsobem měla o 30-180 % vyšší nasycenou hydraulickou vodivost než půdy orané. Na druhé straně Obi a Nabude (1988) a Heard et al. (1988) nezjistili na písčitéch půdách rozdíly v hydraulické vodivosti mezi bezorebně a klasicky zpracovávanými půdami.

Vliv ochranného obdělávání na fyzikální vlastnosti půdy a vlhkostní poměry studovali Moreno et al. (1997). Ve stacionárním pokusu na písčitohlinité půdě porovnával tradiční zpracování půdy s ochranným zpracováním (kypřením a použitím talířového podmítače). Na povrchu půdy byly ponechány rostlinné zbytky ve formě mulče. Objemová hmotnost půdy ve vrstvě 0-0,2 m u varianty s ochranným obděláváním byla průkazně vyšší (o 10-24 %) než u tradičně zpracovávané půdy. Po 3 letech systematického zpracovávání byla hydraulická vodivost povrchové vrstvy půdy vyšší při ochranném obdělávání ($124 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$) než při tradičním zpracování půdy ($66 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$).

Fabrizzi et al. (2005) porovnávali fyzikální vlastnosti a dynamiku půdní vody na pozemcích s mělkým zpracováním půdy a bez zpracování půdy. Pokus probíhal v porostech pšenice a kukuřice na úrodných černozemních půdách. Výsledky ukázaly, že objemová hmotnost a penetrační odpor byly nižší u mělkého zpracování půdy, vyšší zásoba vody během kritických růstových stádií plodin byla zjištěna na variantě bez zpracování půdy.

Všeobecně vyšší obsah vody při bezorebném zpracování půdy je považován za příznivý, avšak v některých případech může být nežádoucí, zejména na těžších, málo propustných půdách v humidnějších oblastech. Miština, Kováč a kol. (1993) tuto problematiku rozebírají a shrnují takto:

- u půd s nižší vsakovací schopností je riziko splachu hnojiv, pesticidů a mělce zasetého osiva;
- zvýšená vlhkost ve slabě drenážovaných, málo propustných půdách může podporovat denitrifikační procesy;
- lyzimerické pokusy ukazují na pohyb nitrátů do větších hloubek v bezorebných systémech; vyplavování nitrátů je podporováno větší kontinuitou půdních pórů v neporušené půdě, která umožňuje rychlejší pohyb vody a nitrátů přes makropóry;

- vlhčí půda při bezorebných systémech znamená vyšší obsah pórů vyplněných vodou, po srážkách zase větší množství vody pohybující se přes makropóry;
- pro těžké, zamokřené půdy se obecně minimalizační technologie nedoporučují.

Dlouhodobé bezorebné nebo naopak konvenční zpracování půdy může změnit objem pórů, stabilitu agregátů a obsah organické hmoty a tím změnit celou půdní strukturu (Drees et al. 1994; Lal et al. 1994; Singh et al., 1994).

Arshad et al. (1997) sumarizují data o vlivu konvenčních a minimalizačních technologií na půdní strukturu a na výnosy plodin v severní oblasti západní Kanady. Uvádí, že se snižující se intenzitou zpracování půdy se zvyšuje kvalita půdní struktury.

Pagliai et al. (1995) porovnávali strukturní stav půdy po desetiletém konvenčním a minimalizačním zpracování. Experimentováno bylo na hlinité a jílované půdě. U minimalizační technologie byla půda kypřena do hloubky 0,1 m a u konvenční technologie bylo oráno do 0,4 m. Pěstována byla kukuřice. Na hlinité půdě u pórů >50 µm nebyl ve vrstvě do 0,1 m průkazný rozdíl mezi způsoby zpracování. U minimalizačního zpracování byly tyto póry ve vrstvě do 0,1 m rovnoměrněji rozloženy, stejně jako ve vrstvě 0,2-0,3 m, kde se navíc pórovitost u konvenční varianty průkazně snížila. Na jílované půdě nebyly zjištěny průkazné rozdíly mezi oběma způsoby zpracování půdy.

Cannel a Hawes (1994) zaznamenali zvyšování pozitivního vlivu ochranného zpracování půdy na půdní strukturu při ponechání posklizňových zbytků na povrchu půdy.

Dexter a Birkás (2004) se zabývali půdní strukturou ve vztahu k hydraulické vodivosti. Zjistili, že vyšší hydraulická vodivost půdy je v podornici v důsledku četných biopórů v porovnání s ornici, kde během zpracování dochází k jejich destrukci. To za určitých podmínek ovlivňuje přístup vody ke kořenům. Autoři upozorňují na snižování hodnot tohoto parametru vlivem hloubkového kypření půdy.

2.5 Zpracování půdy a penetrační odpor půdy

Pro měření utužení půdy se používají metody přímé i nepřímé. Nejpoužívanější přímou metodou je měření objemové hmotnosti půdy vyjádřené v suchém stavu. Nejpoužívanější nepřímou metodou měření utužení půdy je měření penetračního odporu. Pro měření penetračního odporu se používají vertikální kuželové penetrometry.

Změny fyzikálních vlastností půdy, především ve směru nadměrného zvýšení objemové hmotnosti, snížení celkové pórovitosti a minimální vzdušné kapacity, jsou charakteristickým projevem nežádoucího zhutnění půdy.

Zhutnění půd je na mnohých stanovištích příčinou významného zhoršení produkční schopnosti půd. Příčin nežádoucího zhutňování půd je více, na některých stanovištích může zhutnění ornice souviset s orbou opakovaně na stejnou hloubku i s víceletým využíváním minimalizace zpracování půdy založené na mělkém kypření. Nadměrné utužení půdy má samozřejmě negativní dopad na růst a vývoj kořenového systému rostlin, a tím snižuje výnos polních plodin.

Zhutňování půdy se především negativně projevuje zvýšením objemové hmotnosti půdy a má za následek snížení objemu nekapilárních pórů v půdě, při vyšší intenzitě zhutnění i destrukci půdních agregátů. Snížení pórovitosti půdy se promítá do omezené propustnosti půdy pro vodu. To znamená, že nadměrné zhutnění způsobuje nejen změny v obsahu vody v půdě, ale také omezuje její pohyb v půdě. To snižuje dostupnost živin pro rostliny a ovlivňuje i relace mezi obsahem vzduchu (deficit kyslíku v kořenovém prostoru) a teplotou půdy (Hůla a kol., 2010).

Podle penetračního odporu lze dále usuzovat na odpor půdy proti vnikání pracovního nástroje, na stupeň obtížnosti kypření nebo pevnost půdních makroagregátů (Hůla et al., 1997). Půdní mechanický odpor je indikátorem mechanických vlastností půdy. Může být ovlivněn utužením, texturou půdy, obsahem vody a dalšími parametry (Adamchuk a Christenson, 2005).

Zhutnění půdy a vysoká relativní vlhkost půdy spojená se způsobem obdělávání pozemku, který může tyto půdní vlastnosti ovlivnit, zpomaluje nitrifikaci, brání aeraci půdy, brání rozkladu organické hmoty v půdě, má dopad na pohyb a mobilitu živin v půdě, omezuje kořenový růst a v konečné fázi má vliv na výnos plodiny (Lapen et al. 2001).

Podle Bechera (1998), roste penetrační odpor s hloubkou a s klesajícím obsahem vody nezávisle na půdním typu. V případě výskytu zhutnělé vrstvy, například zhutnělého podorničí, lze zjistit hloubku zhutnění, posoudit účelnost kypření zhutnělé vrstvy a vymezit na pozemku místa, která by se měla příslušným způsobem ošetřit.

Lhotský (2000) uvádí, že přibližně 45 % plochy zemědělské půdy v ČR je ohroženo nežádoucím zhutněním. Pouze 15 % těchto ploch je důsledkem genetických vlastností půdy. Zbytek je převážně důsledek neuvážené lidské činnosti a nevhodného zpracování půdy.

Těžší půdy jsou více náchylné na zhutnění, neboť obsahují více jílových minerálů než půdy lehčího druhu. Obhospodařované půdní bloky jsou často v podmínkách ČR značně variabilní a dost často se setkáváme s pozemky, na kterých se vyskytují všechny půdní druhy. Tato skutečnost značně komplikuje přístup ke kypření pozemku a rozrušování utužených vrstev. Na části pozemku kde se vyskytuje těžká půda by bylo zapotřebí z hlediska penetračního odporu půdy hlubší kypření, naopak na části kde je lehká půda by mohlo být zvoleno mělké zpracování půdy. Pokud musíme kypřit celý pozemek, tak nejen že vynaložíme zbytečné náklady na té části pozemku, kde to není zapotřebí, ale také hlubším kypřením na části pozemku kde se nachází lehká půda je možné tímto zásahem změnit poměr vody a vzduchu v půdě ve prospěch vzdušné kapacity půdy. Tento jev může způsobit v sušší kukuřičné a částečně řepařské výrobní oblasti, že bod vadnutí plodin, které jsou tam následně pěstovány přichází dříve než pokud bychom použili mělké zpracování půdy. Množství vody v půdě ve vegetačním období začíná být v sušších oblastech ČR stále častěji limitující prvek v tvorbě výnosu polních plodin. Zpracování půdy je jeden z mála možných zásahů, kterým můžeme množství vody v půdě ovlivnit. Proto by bylo zapotřebí přistupovat ke zpracování půdy v oblastech s vysokou půdní variabilitou heterogenně (Hůla a kol., 2010).

Javůrek a Vach (2003) uvádějí výsledky sledování změn ve zhutnění ornice a podorničí v osmiletých polních pokusech s různou intenzitou a hloubkou zpracování půdy. Výsledky potvrzují redukci zhutnění půdy (zejména v podorničí) na variantách s mělkým zpracováním a bez zpracování půdy v porovnání s orbou.

Agrotechnické možnosti prevence půdního zhutnění shrnují Hůla a kol. (2010). Jak autoři uvádí, agrotechnická opatření působí jednak preventivně a jednak přímo. Za nejvýznamnější lze považovat: dostatečné hnojení půdy organickými hnojivy, vápnění půdy a udržování optimální půdní reakce, omezení nadměrného používání fyziologicky kyselých minerálních hnojiv, vhodná skladba plodin, volba vhodných technologií zpracování půdy, optimalizace doby vstupů strojů na pozemky, omezování pojezdů strojů po poli a odstraňování zhutnění půdy. Velký význam má uplatňování vhodných technologií zpracování půdy. Jako alternativa konvenčních technologií s orbou se v zemědělské praxi stále více prosazují minimalizační technologie. Jejich vliv na snižování intenzity půdního zhutnění lze dát do souvislosti především s nižším počtem pracovních operací (nižší frekvencí pojezdů po poli) a zlepšováním stavu půdní organické hmoty.

Na půdách, kde nadměrné zhutnění zasahuje do podorničí, je nutno tento nepříznivý fyzikální stav odstranit především mechanickým zásahem. Podle hloubky a míry škodlivosti zhutnění se uplatňují následující mechanické zásahy:

- kypření dlátovým kypřičem do hloubky až 0,45 m;
- hloubkové meliorační kypření zhutnělých podorničních vrstev přesahujících hloubku 0,45 m;
- následná stabilizující opatření nakypřené zhutnělé vrstvy půdy.

Tato opatření mají za cíl stabilizovat stav nakypřené půdy v podorniční vrstvě po provedeném kypřícím zásahu. Nejčastěji se zařazují druhy plodin, které se vyznačují tzv. melioračním působením. Svým kořenovým systémem jsou rostliny schopné zpevnit strukturu půdy a pomoci k její přeměně na stabilnější sekundární strukturu prokořeněním nakypřeného prostoru.

2.6 Infiltrace vody do půdy a eroze půdy

Vsakování neboli infiltrace vody do půdy ovlivňuje značnou měrou vodní režim půdy a vodní bilanci, intenzitu povrchového odtoku a zásoby podzemní vody. Infiltrace vody do půdy má velký význam pro využití srážkové vody pro rostliny (Kutílek, 1966).

Výzkumem infiltrace srážkové vody do půdy, erozí a ochranou před ní se zabývají odborníci na celém světě.

Vliv půdní struktury na infiltraci vody a erozi půdy

Infiltrace vody do půdy je přímo úměrná stabilitě půdní struktury (Tisdall a Adem 1986), velikosti, objemu a struktuře pórů (Patel a Singh 1981; Ankeny et al., 1990).

Půda zadržuje vodu a umožňuje její pohyb půdním profilem. To má velký význam pro rostlinnou produkci a celé životní prostředí. Zachycení a pohyb vody jsou dány půdní strukturou, zejména stavem půdního povrchu. Především tvorba půdního škraloupu může utěšňovat povrch půdy, který se stává pro vodu méně propustný.

Struktura povrchové vrstvy podstatným způsobem ovlivňuje rychlost infiltrace vody do půdy a má tedy rozhodující vliv na vznik povrchového odtoku a tím i na erozi půdy (Tippl et al., 2005).

Také Mira a Rose (1995) uvádějí, že důležitým faktorem ovlivňujícím infiltraci vody do půdy je vznik půdní krusty na povrchu půdy, která se vytváří vyschnutím.

Tebrügge a Düring (1999) uvádějí vysokou závislost mezi tvorbou půdní krusty a energií deště, charakterizovanou hodnotami korelačního koeficientu v rozmezí 0,85-0,98. Závislost se měnila podle druhu půdy a stupně pokrytí půdy rostlinnými zbytky. Závěrem autoři konstatují, že stabilita půdních agregátů je především závislá na intenzitě zpracování půdy, především orbě.

Odolnost půdních agregátů proti dopadajícím kapkám deště je také určována počáteční vlhkostí půdy. Při dopadu kapek na vyschlou půdu dochází k většímu rozrušení půdních agregátů a k jejich rozplavení. To způsobuje jednak větší ztrátu půdy a jednak ucpání povrchu půdy. To následně vede ke snížení infiltrace vody do půdy a zvýšení povrchového odtoku (Loch a Foley, 1994; Roth a Eggert, 1994). Při silných srážkách vody na suchých půdách dojde k situaci, že vzduch zavřený v suchých půdních agregátech je pronikající vodou stlačován až dojde k malým explozím, které brání vsaku (Mc Guinness et al., 1971). Podobné výsledky uvádí také Kehl (1997).

Vliv půdní organické hmoty na infiltraci vody a erozi půdy

Půdní organická hmota zastává v půdě významnou funkci, podporující biologickou aktivitu v půdě. Má dopad na půdní agregáty a infiltraci. Půdní agregáty napomáhají při infiltraci vody do půdy, vytvářejí prostředí pro půdní organismy, zajišťují kořenům a půdním organismům přístup kyslíku a brání před vodní erozí. Stupeň zastoupení organické hmoty v půdě může být označen jako indikátor půdní kvality, protože povrchová organická hmota je hlavní prostředek při ochraně půdy před erozí, ovlivňuje infiltraci a zadržuje živiny (Kroulík, 2005).

Franzluebbbers (2002) uvádí, že klíčový faktor pro infiltraci vody do půdy je půdní organická hmota. Půdní organická hmota má dopad na půdní agregáty a infiltraci vody do půdy. Povrchová organická hmota ovlivňuje infiltraci a je hlavní prostředek při ochraně půdy před erozí.

Reicosky et al. (2005) spatřuje ve ztrátě půdního uhlíku a přemístování půdy při zpracování půdy příčinu degradace půdy a půdní eroze. Přímé spojení mezi zpracováním půdy ovlivňující ztrátu uhlíku a půdní erozí vyžaduje lepší pochopení pro minimalizaci dopadu zemědělské činnosti na životní prostředí.

Půda hraje významnou roli v zadržování uhlíku. Zpracování půdy, které způsobuje ztrátu uhlíku je přímo spojené s půdní produktivitou, půdními vlastnostmi a environmentálním problémem (Paustian et al. 1997).

Vliv zpracování půdy na infiltraci vody a erozi půdy

Způsob zpracování půdy podstatně ovlivňuje propustnost půdy pro vodu. Dlouhodobé redukované nebo naopak konvenční zpracování půdy může změnit objem pórů, stabilitu strukturních agregátů a obsah organické hmoty. Spolu s tím se mohou měnit půdní vlastnosti ovlivňující infiltrační schopnost půdy a pohyb půdní vody. (Drees et al., 1994; Lal et al., 1994; Singh et al., 1994).

Při konvenčním zpracování půdy sorbou je utužováno tzv. podorničí (zóna pod zoranou půdou), ničí se povrchové kapiláry, přibývá nerozložených rostlinných zbytků a vzrůstá utužení povrchové vrstvy (Roth et al., 1988).

Výsledky řady pokusů ukazují, že i když je objemová hmotnost vyšší a pórovitost nižší při redukovaném než při konvenčním zpracování, je infiltrace na redukovaně zpracovávaných půdách stejná nebo větší než na oraných půdách. Příčinu je možné hledat ve větší stabilitě půdní struktury při redukovaném zpracování půdy, ve vzrůstu počtu půdní organismů (zejména žížal), které vytvářeli kanálky spojené s povrchem půdy (Ehlers 1975; Sauer et al., 1990).

Větší infiltrace vody do půdy při jejím redukovaném zpracování lze dát do souvislosti s existencí makropórů a se snížením utužení půdního povrchu vlivem většího množství organické hmoty (Zuzel et al., 1990; Meek et al., 1990).

Akinyemi a Adedeji (2004) sledovali vliv různého zpracování půdy (setí do nezpracované půdy, redukované zpracování a klasické zpracování s orbou) na infiltraci vody do půdy. Výsledky ukázaly významné rozdíly v infiltraci. Nebyl pozorován významný rozdíl mezi redukovaným a klasickým zpracováním, ale technologie přímé setí do nezpracované půdy vykázala významné rozdíly v porovnání s redukovaným a klasickým zpracováním. Redukované zpracování půdy vykázalo nejvyšší infiltraci vody do půdy a přímé setí do nezpracované půdy nejnižší.

Vlivem způsobu hospodaření na povrchový odtok a ztrátu půdy se zabývali také Truman et al. (2005). Na fluvizemích porovnávali pomocí oscilačního simulátoru deště konvenční a bezorebný způsob zpracování půdy po dobu 10 let. Sledovali rovněž vliv posklizňových zbytků (varianty bez posklizňových zbytků a s ponecháním zbytků na poli). Největší odtok byl zaznamenán u varianty s konvenčním zpracováním půdy bez posklizňových zbytků. Nejmenší odtok vykazovala bezorebná varianta s ponechanými posklizňovými zbytky.

Rasmussen (1999) na základě šestiletých pokusů zjistil, že bezorebné zpracování půdy snižuje ztrátu půdy erozí o polovinu až dvě třetiny, podle druhu půdy.

Vliv dlouhodobého zpracování půdy a jeho vliv na infiltraci do půdy sledoval i Azooz a Arshad (1996). Porovnávali bezorebně a konvenčně zpracovávanou půdu po dobu šesti let. Porovnávání probíhalo ve dvou vegetačních sezónách po sobě. Konvenční zpracování bylo prováděno radličkovým kultivátorem do hloubky 0,12-0,15 m na podzim a dvěma operacemi s těžkým kultivátorem do hloubky 0,8-0,1 m na jaře. Na bezorebné variantě bylo prováděno přímé setí do nezpracované půdy s ponechanými rostlinnými zbytky v množství cca 70 % na povrchu půdy. Osetou plodinou byl jarní ječmen. Při stejných počátečních vlhkostních poměrech, které se pohybovaly od suché půdy až po vlhkost při polní kapacitě, byla při bezorebném zpracování půdy infiltrace průkazně vyšší (o 20 %) ve srovnání s konvenčním zpracováním. U obou variant zpracování půdy byla infiltrace vyšší u sušší půdy. Intenzita infiltrace se se zvyšující vlhkostí půdy snižovala pomaleji u bezorebné varianty.

Podobné výsledky zjistili Marshall a Holmes (1992). Uvádějí, že rozdíly v intenzitě infiltrace mezi konvenčně zpracovávanými půdami při porovnání s bezorebnými

variantami byly vyšší u sušších půd a rozdíl se snižoval se zvyšující se počáteční vlhkostí půdy.

Azooz a Arshad (1996) zjistili v pokusech po 15 letém bezorebném zpracování půdy jeho vliv na rozdělení velikosti pórů. Na prachové hlíně byl u bezorebného zpracování zaznamenán průkazně celkově vyšší průměr pórů $< 14 \mu\text{m}$. U pórů $> 14 \mu\text{m}$ průkazný rozdíl nebyl zjištěn. Vyšší infiltrace u bezorebného zpracování půdy je způsobena podle autorů touto skutečností, že nedojde k porušení a přerušení půdních pórů, což rovněž popisuje Prieksat et al. (1994).

Arshad a Mermut (1988) uvádějí, že nižší infiltrace u konvenčně zpracované půdy je způsobena destrukcí půdních agregátů, které jsou vlivem nižšího obsahu organické hmoty méně stabilní a následně tvorbou půdní krusty vlivem přímého dopadu dešťových kapek. Naopak dlouhodobé bezorebné zpracování půdy vedlo ke zvýšení hodnot infiltrace u půd s počáteční nízkou vlhkostí blízkou polní kapacitě a při vlhkosti na hodnotě polní kapacity, ale ne již při hodnotách blízkých nasycení půdy.

Tebrügge a Düring (1999) prováděli pokusy ve kterých porovnávali konvenční zpracování půdy orbou, dále redukované zpracování půdy s kypřením a bezorebného zpracování půdy. Hodnotili vliv různého zpracování půdy na velikost povrchového odtoku a erozi půdy. K experimentům použili parcely 200 m dlouhé a 12 m široké. Sled plodin byl: cukrovka, kukuřice a řepka. Byly vybrány písčitohlinité, hlinité a písčité půdy. Byl použit simulátor deště o zadešťované ploše 1,8 x 4,3 m na sklonu 12,75 %. Průměrná intenzita deště byla $63 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$. Jak autoři uvádějí byl povrchový odtok v písčitohlinité půdě při aplikaci konvenční varianty 39 mm a u bezorebné varianty 24 mm. U smyvu půdy byl rozdíl ještě větší. U konvenční varianty 6 400 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a 900 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ u bezorebné varianty. Nicméně se zvýšením obsahu jílovitých frakcí v půdě se rozdíly ve stabilitě agregátů mezi variantami snížily. Navíc byla zkoumána odolnost agregátů vůči dopadu dešťových kapek v různých vývojových fázích polních plodin.

U všech variant byla stabilita agregátů charakterizována velkým rozptylem v čase. I přes tento rozptyl bylo zřejmé zvýšení stability u bezorebně zpracovávané půdy.

Velmi významný vliv na infiltraci má existence makropórů. Makropóry jsou velká, prázdná místa v půdě vzniklá vlivem změny struktury půdy, staré kořenové systémy a kanálky, kudy se pohybují řížaly a hmyz. Makropóry jsou velmi důležité pro zvýšení infiltrace a tok živin půdním profilem. Větší objem makropórů v půdě, jak bylo již popsáno výše, se vyskytuje při bezorebném zpracování půdy než při konvenčním, protože makropóry v ornici nejsou rozbity orbou (Luxmoore, 1981; Beven a Germann, 1982; White, 1985; Tebrügge a Abelsova, 1999).

Mnoho výzkumů potvrdilo, že infiltrace vody do půdy je vyšší v systému bezorebného zpracování půdy ve srovnání s konvenčním systémem právě z důvodu existence makropórů (Ehlers 1975; Edwards 1988) a tím, že se netvoří půdní křusta dopadem dešťových kapek na povrch půdy (Burch et al., 1986; Freese et al., 1993).

Tebrügge a Düring (1999) prováděli pokusy na půdách, které byly dlouhodobě orány a neorány. U varianty s dlouhodobým přímým setím zjistili dva až pětkrát větší množství biopórů než na ploše zpracovávané orbou. Nejprůkaznější bylo zvýšení

množství biopórů o průměru nad 3 mm. U půd zpracovávaných orbou se pohybovala rychlost infiltrace kolem $9 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, u přímého setí kolem $19 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$.

Vliv zpracování půdy na infiltraci vody do půdy souhrnně rozebírají Hůla a kol. (2010). Jak uvádějí, zpracování půdy může v různé míře rozrušovat půdní agregáty, měnit velikost, distribuci a strukturu pórů. Půda se může intenzivním zpracováním přivést do nestabilního stavu. Na pórovitost působí další vlivy: objem pórů se může měnit v závislosti na vysychání či zvlhčování půdy, významný vliv mají biologické procesy v půdě, k redukci objemu pórů přispívají významnou měrou přejezdy po půdě při zajišťování agrotechnických zásahů. Změny fyzikálních vlastností půdy při jejím zpracování způsobují změny propustnosti půdy pro vodu a vzduch a vodivosti pro teplo. Na většině stanovišť vykazuje redukované zpracování půdy příznivou infiltraci srážkové vody do půdy a snížený povrchový odtok vody, s čímž souvisí i snížení rizika vodní eroze půdy.

Závažnost péče o schopnost půdy přijímat vodu z intenzivních srážek narůstá. Přívalové, erozně nebezpečné deště pochopitelně ohrožovaly půdu i v minulosti. V současnosti však vyvstávají nové kombinace rizikových faktorů – příkladem je soustředění plodin nedostatečně chránících půdu před erozí do velkých celků a používání technologií konvenčního zpracování půdy s orbou, zvláště na lehkých půdách.

Změna půdní struktury po zpracování půdy přináší změnu vodivosti a propustnosti pro vodu, teplo a vzduch. Výsledek ve změně transportních vlastností souvisí s výskytem makropórů a uplatněním prostorové heterogenity porézního materiálu. Homogenní vrstva s horizontální strukturou vzniká při klasickém zpracování půdy, vertikální struktura převažuje při uplatňování redukovaného zpracování. Tyto stavy se přímo odráží v rychlosti infiltrace, vyplavování živin a erozi.

Orbou se vytváří ve zpracované vrstvě půdy makropóry, jímavost půdy pro vodu z intenzivních srážek může být krátkodobě vyšší než v případě redukovaného zpracování půdy bez orby. Po delší době po zpracování půdy se však, zejména na lehčích půdách, situace mění, povrchový odtok vody při intenzivních srážkách je po konvenčním zpracování půdy vyšší než u variant s redukovaným zpracováním půdy, především tehdy, je-li redukované zpracování půdy kombinováno s využitím ochranné funkce odumřelé rostlinné biomasy, což je charakteristické pro půdoochranné zpracování půdy. Redukované zpracování půdy tedy nabízí zvýšení kapacity vodivosti a infiltrace a redukci povrchového odtoku a rizika eroze. Konzervační (půdoochranná) technologie může zvýšit pohyb vody ve směru působení gravitace a její zadržení ve větších hloubkách. Na druhou stranu však vyvstává obava, že upřednostňování odtoku velkými póry způsobuje pohyb nitrátů a pesticidních látek do hlubších částí půdního profilu.

Kvalitní půda s optimální zásobou půdní organické hmoty snižuje riziko eroze a vyplavování živin, zvyšuje infiltraci vody a příjem živin rostlinami a tak přispívá i k lepšímu hospodaření s vodou v krajině. Nejvíce je ohrožena půda na svazích, kterou je třeba chránit před účinky vodní eroze, nejlépe dobře zapojeným porostem. Nejúčinnější je takový vegetační pokryv, který je schopen chránit půdu po celý rok – to představuje dobře udržovaný trvalý travní porost. Protože však není možné veškerou ornou půdu na svazích zatravnit a současně je nutné pěstovat i plodiny méně

chránící půdu před erozí, musí být půda při pěstování těchto problematických plodin chráněna vhodnými protierozními opatřeními. Základním principem protierozní ochrany je pěstování plodin s vysokým protierozním ochranným účinkem na sklonitých pozemcích a osévání méně ohrožených pozemků plodinami s nízkým protierozním účinkem (širokořádkovými plodinami).

Eroze je další faktor, který negativně vstupuje do procesu tvorby výnosu polních plodin tím, že snižuje mocnost orničního profilu a odnáší z něho cenné prvky, které určují úrodnost půdy. Právě proto by se měly v současné situaci používat systémy zpracování půdy, které na erozně ohrožených pozemcích snižují erozi půdy na minimum. Neustále se zvyšující eroze půdy je globálním problémem dnešní doby s vysokým ekonomickým a environmentálním dopadem (Pimentel et al., 1995; Lal, 1995). Ekonomický dopad je vyvolán snížením výnosu a environmentální dopad je způsoben poškozením kvality (úrodnosti) půdy. Eroze vlivem lidské činnosti je problém také proto, že probíhá mnohem rychleji než proces tvorby půdy. Ztráta organické hmoty a přidružené biologické aktivity vyvolává nepříznivý dopad na fyzikální vlastnosti pro růst plodin, snížením pórovitosti a zvýšením objemové hmotnosti.

Eroze půdy je významný problém, především v oblastech s vyššími srážkami a svažitostí. Půdní eroze bude přetrvávat, dokud bude používána intenzivní zemědělská výroba (Reicosky et al., 2005). Pokračování půdní eroze vede k degradaci půdy a ztrátě kvality půdy na celém světě. Bylo zjištěno, že riziko eroze může být využito jako spolehlivý indikátor pro udržitelné hospodaření a efektivní opatření k ochraně půdy (Basic et al., 2004).

Existuje více způsobů jak zabránit vodní erozi. Jedním z hlavních je volba způsobu zpracování půdy. Redukované zpracování půdy nabízí zvýšení kapacity vodivosti a infiltrace a redukcí povrchového odtoku a rizika eroze. Na druhou stranu tradiční zpracování půdy vytváří homogenní vrstvu půdy, která může snížit vsakování vody (Titi, 2002). Konzervační technologie může redukovat povrchový odtok, ale zvyšuje infiltraci (Shipitalo et al., 2000).

Infiltrace srážkové vody do půdy je významný faktor v boji proti vodní erozi, a také v utváření zásoby vody v půdě, která začíná poslední dobou být limitující faktor v tvorbě výnosu polních plodin. Zabránění vodní erozi má pozitivní vliv na udržení půdní úrodnosti, řešení nedostatku vody, stoupají nároky na kvalitu a ochranu půdy, kvalitu a bezpečnost potravin a zemědělského hospodaření (Cox, 2002). Neustále se zvyšující eroze půdy je globálním problémem dnešní doby s vysokým ekonomickým (Pimentel et al., 1995) a environmentálním dopadem (Lal, 1995).

Vliv posklizňových zbytků na infiltraci vody a erozi půdy

Rostlinné zbytky na povrchu půdy účinně chrání půdu před erozí tím, že poskytují ochranu povrchu půdy proti přívalovým deštům a také proti odnosu částic větrem. Výsledkem je redukce půdní eroze. Eroze je snižována se zvyšujícím se pokrytím půdy mulčem. Při kompletním zakrytí půdy rostlinnými zbytky je možné odnos zeminy téměř eliminovat (Hůla, Procházková a kol., 2008).

Již Meyer et al. (1970) uvádějí, že pokrytí povrchu půdy mulčem ze slámy v množství $0,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ sníží ztrátu půdy o $1/3$ a množství mulče $5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ redukuje ztrátu půdy o 95 %.

Podobně Latanzzi et al. (1974) zjistil z pokusů, že aplikace mulče v množství $0,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ redukuje ztrátu půdy až o 40 % a $2,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ mulče o 80 %.

Bradford a Chi-Hua (1994) měřili ztrátu půdy, povrchový odtok a infiltraci pomocí simulátoru deště na vybraných plochách v porostech kukuřice seté klasicky a bezorebně. Při klasickém zpracování půdy provedli na podzim orbu otočnými pluhy a na jaře diskování a kultivátorování. U varianty bez orby byla půda 15 let zpracovávána bezorebně. Porovnávali varianty bezorebně zpracované půdy s ponechanými rostlinnými zbytky na povrchu půdy a bez nich a konvenční zpracování půdy rovněž s rostlinnými zbytky a bez nich. Intenzita simulovaného deště byla $70 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, doba trvání 90 min. U konvenční varianty s odstraněnými rostlinnými zbytky se snížila intenzita infiltrace z $62,10$ na $39,2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ a zvýšila se ztráta půdy z $0,13$ na $0,52 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ oproti variantě s ponechanými rostlinnými zbytky. U bezorebné varianty jak s ponechanými rostlinnými zbytky, tak bez nich, byly povrchový odtok a ztráta půdy téměř rovny nule. Půdní krusta u bezorebné varianty se nevytvořila, protože odolnost povrchu půdy byla větší než energie potřebná k rozbití půdní struktury, a proto byl i nízký transport sedimentů. U hodnot infiltrace byl velmi malý rozdíl mezi bezorebnou variantou ($6,5 \text{ cm} \cdot \text{h}^{-1}$) a konvenční variantou ($5,3 \text{ cm} \cdot \text{h}^{-1}$), oboje s ponechanými rostlinnými zbytky. U konvenční varianty bez ponechaných rostlinných zbytků se tvořila půdní krusta a transport sedimentů byl vyšší, protože půdní agregáty byly rozbity orbou. Podle měření byly 3x méně stabilní než u ezorebné varianty a na povrchu půdy zůstaly malé, uvolněné agregáty, které byly snadno odtransportovány.

K podobným závěrům týkajících se povrchového odtoku a ztráty půdy dospěli také Truman et al. (2005). Dle autorů odstranění posklizňových zbytků mělo za následek zvýšení odtoku o 18 % u bezorebného a o 25 % u konvenčního způsobu hospodaření a zvýšilo ztrátu půdy jedenapůlkrát.

Pozitivní vliv posklizňových zbytků na stabilitu půdních agregátů uvádí také Börresen (1999), který porovnával různé způsoby manipulace se slámou obilovin (rozřezání, spálení, odstranění, mělké zapravení, hluboké zapravení a použití dvojnásobného množství). Během 5 let trvajících pokusu se neprojevily významné rozdíly v objemové hmotnosti, pórovitosti ani velikosti pórů. Naopak stabilita agregátů byla statisticky významně vyšší u variant s ponechanou rozřezanou slámou a dvojnásobným množstvím rozřezané slámy.

Podobně Azooz a Arshad (1996) ponechali na povrchu půdy cca 70 % rostlinných zbytků a porovnávali velikost infiltrace s konvenčně zpracovávanou půdou, pokrytou cca 5 % povrchu rostlinnými zbytky. U varianty s ponechanými rostlinnými zbytky se infiltrace zvýšila v průměru o 20 %. Roth et al. (1988) zjistili, že půda, která obsahuje 100 % rostlinných zbytků po předchozích plodinách umožní infiltraci deště o srážkovém úhrnu až 60 mm, kdežto utužená půdy klasicky zpracovávaná infiltruje pouze 20 % stejného srážkového úhrnu.

Lueschen et al. (1991) porovnávali pokrytí povrchu půdy rostlinnými zbytky při různém zpracování půdy v porostech kukuřice. Při bezorebném zpracování půdy byl povrch půdy pokryt rostlinnými zbytky v rozmezí 69-82 %, při zpracování půdy kypřením 49 % a klasickém zpracování půdy orbou méně jak 10 %.

Baumhard a Jones (2002) představili ve své práci výsledky měření infiltrace na pozemcích s přímým setím a mulčovaných pozemcích. Sledovali rovněž vliv jednorázového hlubokého kypření parapluhem a radličkovým kypřičem na infiltraci dešťové vody do půdy. Rostlinné zbytky sice snižují odpar, ale na druhou stranu byl pozorován větší odtok vody zejména u technologie No-till v porovnání s mulčováním.

2.7 Pěstování kukuřice na zrno

V posledních letech prožívá kukuřice v podmínkách ČR velký rozvoj. Vzestup osevních ploch kukuřice v ČR je podmíněn více aspekty. Pokud se podíváme na vývoj osevních ploch ostatních plodin, tak je zřejmé že kukuřice vytlačí z osevních postupů ječmen jarní. Tento trend je asi nejvíce zřejmý a již vizuálně viditelný v sušších oblastech ČR především jižní a střední Moravy. V těchto podmínkách jarní ječmen, jakož to plodina typu C3, nedosahuje výnosy, které by zajišťovaly dostatečnou rentabilitu výroby. Toto je způsobeno, krátkou vegetační dobou jarního ječmene a pokud se do toho vloží nedostatek srážek v období produkčního růstu, tak za těchto předpokladů není jarní ječmen schopný vytvořit výnos zaručující dobrou rentabilitu. Naopak kukuřice na zrno je plodina typu C4. To znamená že má daleko výkonnější fotosyntézu, ale má také delší vegetační dobu a je schopna přijmout vodu v letním období, kdy přichází přivalové srážky a úhrn srážek v tomto období je v posledních letech dost vysoký. Toto jsou aspekty, proč dosahuje kukuřice vyšší výnosy než jarní ječmen. Pokud se má zemědělský podnik rozhodnout jestli bude pěstovat kukuřici, nebo jarní ječmen, samozřejmě ho nezajímá jen výnos plodiny, ale hlavní ukazatel je ekonomický přínos zisk, a nebo rentabilita výroby. Tam můžeme hledat právě příčinu velkého zvýšení ploch kukuřice na zrno v posledních letech, neboť se velice zvýšila výkupní cena zrna kukuřice a aktuálně je skoro na úrovni obilovin. Pokud si uvědomíme, že náklady na pěstování jsou u jarního ječmene a kukuřice na zrno obdobné, je zcela logické, že jarní ječmen s průměrným výnosem kolem $5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ nemůže ekonomicky konkurovat kukuřici na zrno, která má průměrný výnos $8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Tato situace je u kukuřice pěstované na zrno. Obdobné je to u kukuřice na siláž, která se pěstuje pro účely zajištění biomasy bioplynové stanice. Tam je ekonomika pěstování ještě daleko vyšší než u kukuřice pěstované na zrno.

Jak již bylo výše uvedeno kukuřice se pěstuje v podmínkách ČR především v sušších oblastech, a tak není sporu o tom, že limitujícím prvkem v tvorbě výnosu je bezesporu úhrn srážek za vegetační období a množství vody v půdě, kterou může rostlina využít k vytvoření biomasy. Úhrn srážek za vegetační období ovlivnit nelze, ale infiltraci srážkové vody do půdy a následnou schopnost půdy vodu poutat a poskytovat ji rostlinám můžeme ovlivnit právě zvolenou technologií a intenzitou zpracováním půdy a managementem posklizňových zbytků.

Ze 140 milionů hektarů kukuřice pěstované na celém světě, připadá přibližně 96 milionů hektarů území rozvojových zemí. Z toho čtyři země tvoří více než polovinu plochy pěstované kukuřice, Čína (26 mil. ha), Brazílie (12mil. ha), Mexiko (7,5 mil. ha) a Indie (6 mil. ha). Přestože 68 % z celkové plochy pěstované kukuřice se nachází na území rozvojových zemí, jejich podíl na světové produkci kukuřice činí pouze 48 %. Průměrný výnos kukuřice ve vyspělých zemích je více než $8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, zatímco v rozvojových je menší než $3 \text{ t}/\text{ha}$. Značné rozdíly v klimatických podmínkách

a úrovních zemědělských technologií tak tvoří až $5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ výnosové odchylky mezi rozvinutými a vyspělými zeměmi (Pinkali a Pandey, 2000). Hlavní posun globální poptávky má vzestupnou tendenci. Do roku 2020 předčí poptávka po kukuřici v rozvojových zemích poptávku po pšenici i rýži. Což je 50 % nárůst globální poptávky po kukuřici ve srovnání s rokem 1995. Ačkoli lze očekávat zvýšený dovoz kukuřice, a to zejména v rozvojových zemích s vyššími příjmy, je třeba mít na paměti, že mezinárodní obchod dodává méně než 10 % z požadavků rozvojových zemí. Na globální úrovni se však neočekávají změny v podílu dovozu poptávaného množství kukuřice a nárůst obchodovatelného množství tak nepočítá s navýšením o více než 90 mil. tun v roce 2020, což je v porovnání s rokem 1995 i tak o 67 % více (Pinkali a Pandey, 2000).

Zatímco významný pokrok byl učiněn při zvyšování výnosového potenciálu tropické kukuřice, je podstatné směřovat výzkum k přizpůsobení genetických materiálů ekologickým podmínkám. Dokonce i ty nejlepší genetické materiály často nejsou natolik tolerantní a odolné k překonání biofyzikálního stresu, s nimiž se zemědělci setkávají v jednotlivých geografických regionech. I přesto, že některé kultivary byly podrobeny specifickému namáhání, rozdílným postupem pěstování, jsou jejich vlastnosti neuspokojivé. Je třeba naléhavě zlepšit situaci týkající se inovací úrodnosti půdy, udržitelného hospodaření s půdou, zlepšení vodohospodářských technik, a udržet růst produktivity napříč všech kukuřičných oblastí (Ernani et al., 2004). Spoluúčast zemědělců je považována za účinný nástroj posílení zemědělského výzkumu, především proto, že jsou technologie vyvíjeny v úzkém sepětí s vyjádřenými připomínkami a podmínkami zemědělců, čímž jsou výsledky široce přijaty. Projekty, které se snaží rozvíjet kukuřičné hybridy, které budou odolné vůči stresu ze sucha a nízké úrodnosti půdy, již existují. Nyní musí vědci ověřit jejich výkon a přijetí ze strany zemědělců a jejich podmínek (Bellon, 2001).

Většina produkce kukuřice je vyráběna v oblastech, kde je sucho považováno za nejdůležitější abiotický faktor snižující výnos. Stresem ze sucha trpí více než jedna pětina produkce kukuřice světových ploch produkce rozvojových zemí (Heisey a Edmeades, 1999). Sucho v jakékoli fázi vývoje plodin ovlivňuje produkci, avšak k největším ztrátám na výnosu dochází v období kvetení. Další překážkou v pěstování kukuřice může být nízká úrodnost půdy. Deficit dusíku a fosforu je limitujícím biofyzikálním faktorem pro drobnou produkci, a to se odráží v potravinové bezpečnosti dlouhodobě chudých zdrojů v jižní a východní Africe (Sanchez et al., 1997). Kyselé půdy se vyznačují nízkým pH, nedostatkem fosforu, vápníku, hořčíku a toxickou hladinou hliníku. Nejpoužívanějším prostředkem na vysokou kyselost půdy je aplikace vápna, především ve státech jako je Brazílie a Spojené státy, ale pro zemědělce je tato varianta finančně neúnosná a v tom případě tedy nemůže být považována za schůdné řešení problému (Tang et al., 2002).

Nevhodná intenzifikace pěstebních technologií kukuřičných výrobních systémů, zejména na svazích tropických nížin a v oblastech středních nadmořských výšek, má za následky vysokou míru eroze půdy. Půdní eroze a degradace jsou nejčastěji pozorovány v oblastech s vysokým populačním růstem, špatně definovanými vlastnickými právy v kombinaci s nevhodnou politickou situací. Nedostatek investic do protierozní ochrany a rozšířené používání orby jsou hlavní příčinou půdní eroze

(Pingali, 2001). Redukované zpracování půdy minimalizuje dopady půdní eroze a zvyšuje efektivitu využití půdní vody za předpokladu přítomnosti zbytků na povrchu půdy, což často vede k chladnější a vlhčí půdě než po klasické orbě (Jones et al., 1969; Blevins et al., 1971). Pomaleji vysychající půda v jarním období má za následek zpoždění setí a pomalejší mineralizaci, tudíž pomalejší příjem živin kukuřice v porovnání s klasickou orbou (Al-Derby a Lowery, 1987). Technologie zpracování půdy mohou ovlivnit nejen hydraulické vlastnosti půdy, ale i dynamické procesy v čase a prostoru ovlivňující chemické pochody a růst rostlin. Carter (1988) uvádí, že mezi jednotlivými druhy zpracování půdy jsou rozdíly v pórovitosti nejmarkantnější v hloubce 0,08 m od povrchu půdy. Osubitan et al. (2005) zjišťoval dopad různých způsobů zpracování půdy na objemovou hmotnost půdy a zjistil, že bezorebné zpracování půdy zvyšuje objemovou hmotnost o 48 %, manuální okopávka motykou o 61 %, talířové zpracování půdy o 55 % a podmítka o 57%.

V dnešní době se bezorebné technologie používají v celém světě na 111 milionech hektarů. Je to jeden z finančně nejefektivnějších způsobů, jak chránit a zlepšovat půdu. Tato technologie zlepšuje úrodnost půdy zvyšováním biologické aktivity, snižuje potřebu hnojení a výskyt eroze a v neposlední řadě snižuje pracovní a potažmo finanční náklady hospodaření (Buffett, 2012). Po 26-ti letech výzkumu na hlinité a jílovito-hlinité půdě, Miller et al. (1998) formulovali závěr, že při dlouhodobém používání bezorebných technologií klesá hydraulická vodivost půdy. Avšak k přesně opačnému závěru na stejných půdách přišli ve svém výzkumu Wu et al. (1995). Stabilita půdních agregátů je při používání bezorebných technologií vyšší, což má samozřejmě přímý dopad na odolnost půdy vůči vodní erozi (Strudley et al., 2008).

Další technologií zpracování půdy, která se objevila v roce 1998, je pásové zpracování půdy. K zpracování půdy dochází jen v ohraničené zóně, proto se mu taky říká zónové, nebo vertikální. Touto metodou půdoochranného zpracování půdy se odstraňují posklizňové zbytky jen v malé zóně a zároveň připravují tuto část půdy pro výsev. Tato zóna je obvykle 0,20–0,30 m široká a 0,05–0,35 m hluboká, záleží na nastavení stroje na pásové zpracování půdy. Samozřejmostí je možnost aplikace hnojiv do různých hloubek. Dalšími pozitivy je významně menší množství prachu vzniklého při zpracování, nižší dopad na populaci žížal v půdě a tvorba makropórů. V dnešní době se toto zpracování půdy uplatňuje hlavně na východě Colorada, v západní Nebrasce, na západě Oregonu a v Texasu. Využití pásového zpracování půdy bude zřejmě nabírat na významu, protože finanční náklady jsou o 54 % nižší, jako při klasickém konvenčním zpracování půdy (Mitchel et al., 2009).

Výsledky polních i laboratorních experimentů se v dopadu managementu na vlastnosti půdy v různých ohledech neshodují. Porovnávání různých způsobů obhospodařování půdy se vyskytují napříč všemi zemědělskými studiemi (Strudley et al., 2008).

3 Cíl práce

Cílem disertační práce je vyhodnocení vlivu různé intenzity zpracování půdy na fyzikální a hydrofyzikální vlastnosti půdy a výnosy kukuřice na zrno při jejím opakovaném pěstování na středně těžké hnědozemní půdě v podmínkách kukuřičné výrobní oblasti.

4 Materiál a metody

Sledování probíhalo v rámci dlouhodobého stacionárního polního pokusu s variantními způsoby zpracování půdy a zakládání porostu kukuřice na zrno při jejím opakovaném pěstování. Polní pokus byl založen v roce 2001 a je dosud veden. Pokusný pozemek byl rozdělen na tři části, kde jsou uplatňovány tři různé technologické postupy zpracování půdy. Hodnocen je vliv různého zpracování půdy na fyzikální a hydrofyzikální vlastnosti půdy a výnosy kukuřice na zrno. V letech 2002 – 2008 byla na pokusném pozemku opakovaně pěstována kukuřice na zrno. V roce 2009 byla monokultura kukuřice přerušena pěstováním jarního ječmene (z důvodu prevence proti rozšíření bázlivce kukuřičného - *Diabrotica virgifera*). Od roku 2010 je opět pěstována kukuřice na zrno.

4.1 Charakteristika stanoviště pokusu

Pokusné stanoviště se nachází v katastrálním území obce Višňové (na pozemcích zemědělského podniku Agroservis 1. zemědělská a.s. Višňové) v kukuřičné výrobní oblasti, v nadmořské výšce 288 m. Stanoviště pokusu je půdně poměrně homogenní, má výměru 21,83 ha.

Půdní podmínky: hlinitá hnědozemí půda s neutrální půdní reakcí (pH 6,7) a obsahem humusu 2,2 %. Zásoba fosforu a draslíku je dobrá, hořčíku a vápníku velmi vysoká.

Klimatické podmínky:

Průměrná roční teplota vzduchu je 8,48 °C a průměrný roční úhrn srážek činí 487 mm (třicetiletý průměr).

Tab. 2 Úhrn srážek a průměrné teploty za sledované období (ČHMÚ)

Rok	Veličina	Kalendářní měsíce												Průměr	Úhrn
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
2002	°C	-1,0	3,7	4,9	8,2	15,8	18,8	20,8	20,2	14,1	8,1	6,1	-2,5	9,77	
	mm	5	18	33	39	14	113	91	112	103	73	50	40		691
2003	°C	-1,9	-3,1	5,0	8,6	17,1	21,4	21,0	23,2	15,2	6,7	5,8	0,1	9,93	
	mm	32	1	9	17	75	58	40	26	31	51	27	36		403
2004	°C	-2,6	1,6	3,7	10,7	13,3	17,2	19,4	20,5	14,9	10,7	4,7	0,3	9,53	
	mm	45	29	59	34	42	87	31	40	46	59	31	13		516
2005	°C	0,6	-2,5	2,8	10,9	15,1	18,0	19,7	17,9	15,7	10,4	3,4	-0,3	9,31	
	mm	21	29	4	42	59	25	116	117	44	6	9	30		502
2006	°C	-4,9	-2,1	1,7	10,5	13,8	18,1	23,1	16,7	17,1	11,7	7,0	2,7	9,62	
	mm	32	14	61	58	66	100	6	118	19	9	12	6		501
2007	°C	4,2	3,5	6,4	12,3	15,8	19,9	20,6	19,8	12,9	8,3	2,1	-0,5	10,44	
	mm	34	29	55	0,1	46	60	46	38	118	41	30	16		513

Rok	Veličina	Kalendářní měsíce												Průměr	Úhrn
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
2008	°C	1,5	3,3	4,8	10,0	15,4	19,4	20,0	20,0	13,6	9,2	5,4	1,5	10,34	
	mm	15	7	29	25	59	84	70	39	47	18	30	22		445
2009	°C	-2,7	-0,3	4,4	13,4	15,2	16,7	20,6	20,7	17,3	3,5	6,2	0,3	9,61	
	mm	18	37	77	10	69	153	55	78	32	23	47	28		627
2010	°C	-3,3	-0,3	4,9	9,6	12,9	17,9	21,3	18,6	13,0	7,0	6,1	-3,5	8,68	
	mm	60	21	12	70	106	109	156	116	81	17	43	35		826
2011	°C	-0,4	-0,8	5,6	12,2	15,1	18,7	18,5	20,0	16,9	9,3	2,8	2,7	10,05	
	mm	15	4	38	27	56	40	58	52	35	29	4	16		374
2012	°C	1	-3,5	7,0	9,9	16,0	18,8	20,2	20,4	15,2	8,7	5,7	-1,6	9,82	
	mm	27	12	8	36	25	88	81	71	33	35	17	32		465
2013	°C	-1,3	-0,4	0,6	9,9	13,4	17,2	21,2	19,9	13,6	10	5	1,6	9,23	
	mm	35,7	50,2	47,9	27,4	85,5	128,3	20,1	59,2	42,2	30,9	12,8	8,9		549
Normál	°C	-2,3	-0,7	3,4	8,6	13,4	16,7	18,5	18,0	14,2	8,9	3,4	-0,3	8,48	Průměr
	mm	22	23	26	33	56	80	66	58	36	29	33	25	487	Úhrn

4.2 Varianty pokusu

Varianty zpracování půdy:

1. Zpracování půdy orbou (PL)

- po sklizni kukuřice mělké zpracování půdy, následně středně hluboká orbou na 0,22 m;
- na jaře smykování na koso, před setím mělké kypření půdy na hloubku setí;
- k výsevu kukuřice je využíván přesný secí stroj s možností aplikace hnojiva pod patu;
- případná úprava povrchu půdy válením.

2. Mělké zpracování půdy kypřením (ST)

- po sklizni kukuřice mělké zpracování půdy talířovým nářadím na hloubku 0,12 m;
- na jaře před setím mělké kypření na hloubku setí;
- k výsevu kukuřice je využíván přesný secí stroj s možností aplikace hnojiva pod patu;
- případná úprava povrchu válením.

3. Přímé setí do nezpracované půdy (NT)

- přímé setí do nezpracované půdy secím strojem s možností aplikace hnojiva pod patu.

Tab. 3 Přehled pracovních operací a jejich technické zajištění při pěstování kukuřice s využitím konvenční technologie s orbou

Pracovní operace	Charakteristika operace
Mělké kypření půdy	Talířový podmítač RABE WERK (0,12 m)
Orba	Oboustranný pluh RABE WERK (0,22 m)
Hnojení	JD - 8200 + Rozmetadlo BOGBALLE, 30 m
Smykování	Smykobránový agregát 10 m
Předseťová příprava	Kypřič HORSCH PHANTOM FG, záběr 6 m
Setí	Secí stroj KINZE 3500 8 RN (8 řádků) (2002-2005) Secí stroj JOHN DEERE 1770 NT (2006-2012)
Válení	Cambridge válce
Ochrana	Postřikovač ALFA TWIN, záběr 30 m
Sklizeň	Sklízeč mlátička JOHN DEERE 2264 (2002-2004) Sklízeč mlátička JOHN DEERE STS 9880 (2005- 012)

Tab. 4 Přehled pracovních operací a jejich technické zajištění při pěstování kukuřice s využitím mělkého kypření půdy

Pracovní operace	Charakteristika operace
Mělké kypření půdy	Talířový podmítač RABE WERK (0,12 m)
Hnojení	JD - 8200 + Rozmetadlo BOGBALLE, 30 m
Předseťová příprava	Kypřič HORSCH PHANTOM FG, záběr 6 m
Setí	Secí stroj KINZE 3500 8 RN (2002-2005) Secí stroj JOHN DEERE 1770 NT (2006-2012)
Válení	Cambridge válce
Ochrana	Postřikovač ALFA TWIN, záběr 30 m
Sklizeň	Sklízeč mlátička JOHN DEERE 2264 (2002-2004) Sklízeč mlátička JOHN DEERE STS 9880 (2005-2012)

Tab. 5 Přehled pracovních operací a jejich technické zajištění při pěstování kukuřice technologií bez zpracování půdy

Pracovní operace	Charakteristika operace
Hnojení	JD - 8200 + Rozmetadlo BOGBALLE, 30 m
Setí	Secí stroj KINZE 3500 8 RN (2002-2005) Secí stroj JOHN DEERE 1770 NT (2006-2012)
Ochrana	Postřikovač ALFA TWIN, záběr 30 m
Sklizeň	Sklízeč mlátička JOHN DEERE 2264 (2002-2004) Sklízeč mlátička JOHN DEERE STS 9880 (2005-2012)

4.3 Hnojení kukuřice na zrno

Na všech variantách zpracování půdy je aplikována jednotná dávka živin. Před založením pokusu na podzim v roce 2001 bylo provedeno zásobní hnojení v dávce 100 kg P₂O₅ a 60 kg K₂O na hektar. V letech 2002–2005 byl při setí kukuřice aplikován fosfor v dávce 30 kg P₂O₅ na hektar podpovrchově (tzv. pod patu). Hnojení dusíkem

v dávce 160 kg na hektar je prováděno jednorázově před započítáním předsetřové přípravy půdy.

4.4 Použité hybridy kukuřice

- v roce 2002 Reseda (FAO 400), výsevek 70 000 zrn.ha⁻¹
- v letech 2003-2005 Suarta (FAO 400), výsevek 70 000 zrn.ha⁻¹
- v letech 2006-2008 Ribera (FAO 420), výsevek 70 000 zrn.ha⁻¹
- v letech 2010-2012 DKC 3511 (FAO 300), výsevek 70 000 zrn.ha⁻¹

4.5 Ochrana proti škůdcům

Nejvýznamnější hospodářské škody u kukuřice na zrno v současné době způsobuje zavíječ kukuřičný (*Ostrinia nubilalis*). Monitoring tohoto škůdce se provádí pomocí světelných lapačů, přičemž údaje z nich jsou i rozhodujícím kritériem pro stanovení optimálního termínu chemického ošetření. Vhodný termín chemického ošetření je především v době, kdy se z nakladených vajíček líhnou housenky. Pro zajištění dobré účinnosti a zamezení případného vzniku rezistence je velmi výhodné střídat insekticidy s různým mechanismem účinku.

Biologická ochrana využívá v boji proti housenkám zavíječe kukuřičného nejčastěji vosiček rodu *Trichogramma evanescens* a *Trichogramma pintoi*, jenž se aplikují do porostu kukuřice těsně před počátkem kladení vajíček.

Rychle šířícím se škůdcem kukuřice posledních let je i bázlivec kukuřičný (*Diabrotica virgifera*). Jeho výskyt sleduje Státní rostlinolékařská správa pomocí feromonových lapáků.

Účinná je ochrana především pomocí moření osiva a aplikací tekutých insekticidů. Insekticidní přípravky se aplikují dle výskytu.

4.6 Ochrana proti plevelům

Základem ochrany porostů kukuřice proti plevelům je preemergentní aplikace herbicidů s dlouhodobou reziduální účinností přes půdu. V případě nedostatečného účinku na druhové spektrum plevelů jsou prováděny v nutných případech opravné aplikace postemergentními herbicidy.

Rok 2002

30. 4.	Gardoprim Plus Gold 500 SC	4,0 l.ha ⁻¹
	+ Roundup Forte	0,6 kg. ha ⁻¹

Rok 2003

17. 4.	Atranex 50 SC	1,5 l.ha ⁻¹
	+ Guardin Save Max	2,5 l.ha ⁻¹

Rok 2004

16. 4.	Atranex 50 SC	1,5 l.ha ⁻¹
	+ Guardin Save Max	2,5 l.ha ⁻¹

Rok 2005

28. 4.	Gardoprim Plus Gold	4,0 l.ha ⁻¹
28. 5.	Lontrel 300 (opravný zásah na pcháč oset)	0,35 l.ha ⁻¹

Rok 2006

25. 4.	Gardoprim Plus Gold 500 SC	4,0 l.ha ⁻¹
25. 5.	Callisto 480 SC + Atplus 463 (opravný zásah proti jednoletým plevelům)	0,25 l.ha ⁻¹ 1,5 l.ha ⁻¹

Rok 2007

20. 4.	Clik 500 SC + Guardin Save Max	1,5 l.ha ⁻¹ 2,5 l.ha ⁻¹
--------	-----------------------------------	--

Rok 2008

18. 4.	Guardin Extra	3,5 l.ha ⁻¹
16. 5.	Arrat	0,15 kg.ha ⁻¹
25. 5.	Lontrel 300 (opravný zásah na pcháč oset)	0,40 l.ha ⁻¹

Rok 2010

19. 5.	Galera	0,35 l.ha ⁻¹
6. 6.	Maister 150 g.ha-1 + Mero 33528	2,0 l.ha ⁻¹

Rok 2011

23. 5.	Maister 150 g.ha-1 + Mero 33528	2,0 l.ha ⁻¹
22. 6.	Galera	0,4 l.ha ⁻¹
2. 7.	Integro	0,7 l.ha ⁻¹

Rok 2012

23. 5.	Maister 150 g.ha-1 + Mero 33528	2,0 l.ha ⁻¹
22. 6.	Galera	0,4 l.ha ⁻¹
2. 7.	Integro	0,7 l.ha ⁻¹

4.7 Sklizeň kukuřice na zrno

Sklizeň všech variant probíhala jednotně ve stejný den ve fázi plné zralosti kukuřice. Pro vlastní výnosové hodnocení byl z každé varianty pokusu odebrán vzorek pro stanovení vlhkosti zrna, přičemž byl výnos následně přepočten na t.ha⁻¹ při vlhkosti zrna 14 %.

Vlastní sklizeň byla prováděna klasickou sklízecí mlátičkou typu John Deere 2264, avšak z důvodů urychlení sklizně a dosažení nižší úrovně ztrát byl tento stroj od roku 2005 nahrazen výkonnější mlátičkou John Deere STS 9880.

4.8 Sledování

V rámci mé disertační práce jsem se věnoval především sledování fyzikálních vlastností půdy, infiltrace vody do půdy a měření penetrometrického odporu půdy v letech 2008–2012.

- fyzikální vlastnosti půdy
- infiltrační schopnost půdy
- penetrometrický odpor půdy
- výnosy kukuřice na zrno

4.8.1 Fyzikální vlastnosti půdy

Pro hodnocení základních fyzikálních vlastností byly v letech 2008–2012 každoročně na začátku vegetace a po sklizni plodin (2008, 2010–2012 kukuřice na zrno, 2009 jarního ječmene) u všech variant zpracování půdy odebrány Kopeckého fyzikální válečky vždy ve třech hloubkách (0–0,10 m; 0,10–0,20 m; 0,20–0,30 m) v pěti opakováních.

Ze sledovaných fyzikálních vlastností půdy byly jako reprezentativní ukazatele změn orniční vrstvy zpracováním půdy vybrány - objemová hmotnost půdy (OH), celková pórovitost (P) a minimální vzdušná kapacita (MVK). Tyto hlavní fyzikální vlastnosti půdy velmi dobře odrážejí každý mechanický zásah do třífázového půdního systému (pevná půdní hmota, voda a vzduch). Dále byly zjišťovány vlhkostní poměry půdy (objemová vlhkost půdy).

K analýzám bylo použito modifikované metody Kopeckého-Nováka používané na Ústavu agrosystémů a bioklimatologie Mendelovy univerzity v Brně (Kostelanský, 1980).

4.8.2 Infiltrace srážkové vody do půdy

Současně s odběrem půdních vzorků pro stanovení fyzikálních vlastností bylo prováděno měření infiltrační schopnosti půdy dvouválcovými infiltrometry o průměru 0,28 a 0,54 m. Vnější válec eliminuje roztékání vody v půdě do stran, ve vnitřním válci probíhá měření, jehož principem je sledování úbytku objemu vody v čase. Měření bylo prováděno vždy po dobu 120 minut ve třech opakováních na každé variantě zpracování půdy. Místa měření na pozemku jsou lokalizovaná pomocí GPS. Z naměřených hodnot kumulativní infiltrace byla následně vypočtena rychlost infiltrace vody vyjádřena v $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ($\text{dm}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$) jako průměrná hodnota ve sledovaných časových intervalech za danou variantu.

4.8.3 Penetrometrický odpor půdy

Ve stejných termínech bylo prováděno měření penetrometrického odporu půdy (utužení půdy) přístrojem Penetrologger (Eijkelkamp, Nizozemí) do hloubky 0,80 m. Součástí přístroje je sonda pro měření vlhkosti půdy Theta-probe. Na každé variantě bylo provedeno 5 vpichů (opakování).

4.8.4 Výnosy kukuřice na zrno

Výnos zrna kukuřice z pokusných parcel byl přepočítán na výnos v tunách na hektar při 14-ti % vlhkosti zrna.

4.8.5 Statistické hodnocení výsledků

Ke statistickému hodnocení byl použit program Statistica CZ 12. Výsledky byly vyhodnoceny analýzou rozptylu s následným testováním podle Tukeye na hladině významnosti 95 %.

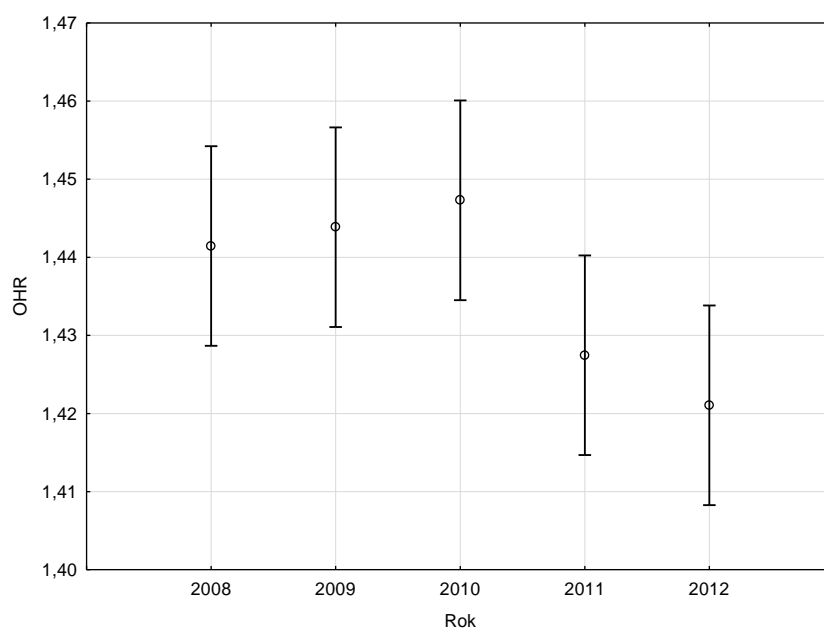
5 Výsledky

5.1 Fyzikální vlastnosti půdy

V práci je hodnocen vliv variantních technologií zpracování půdy na její fyzikální stav. Sledovány byly změny objemové hmotnosti, celkové pórovitosti, minimální vzdušné kapacity a objemové vlhkosti půdy.

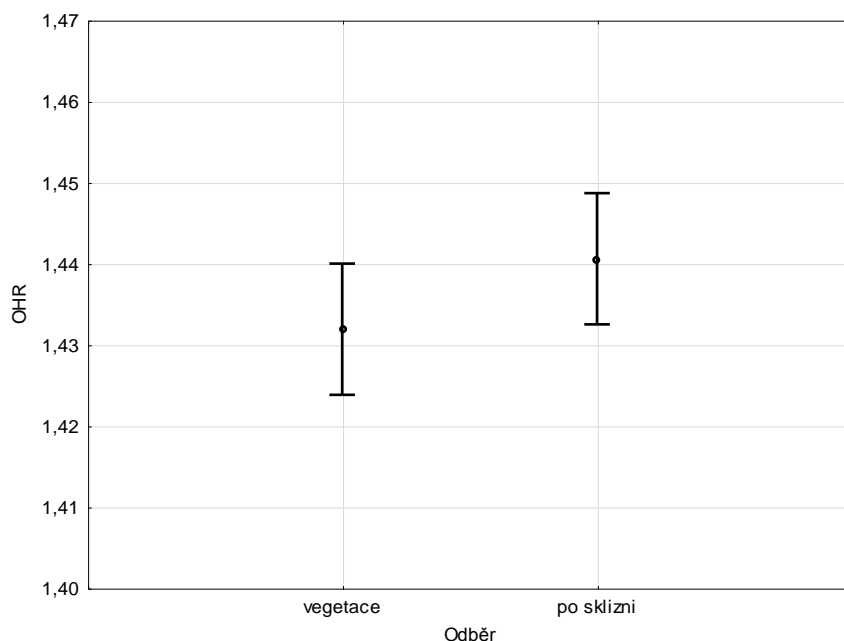
5.1.1 Objemová hmotnost půdy

Výsledky hodnocení vlivu různého zpracování půdy v kombinaci s vlivem ročníku, termínem a hloubkou odběru jsou uvedeny v následujících obrázcích (obr. 1 – 8).



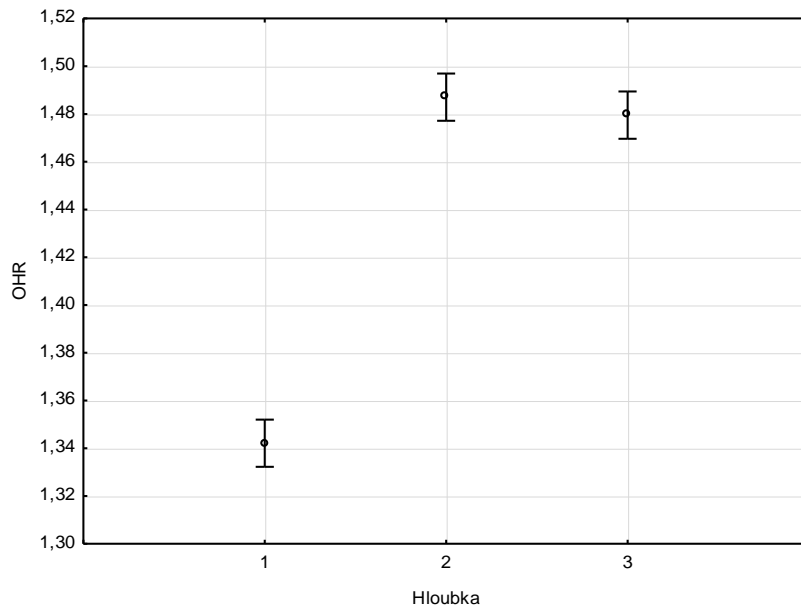
Obr. 1 Vliv ročníku na objemovou hmotnost půdy ($g.cm^{-3}$)

Výsledky sledování ukazují na určitý vliv ročníku na objemovou hmotnost půdy. Nejvyšší hodnoty objemové hmotnosti byly zaznamenány ve srážkově nadprůměrném roce 2010 a naopak nejnižší v suchém roce 2012. Avšak rozdíly v objemové hmotnosti půdy mezi jednotlivými ročníky byly statisticky neprůkazné.



Obr. 2 Vliv termínu odběru na objemovou hmotnost půdy (g.cm⁻³)

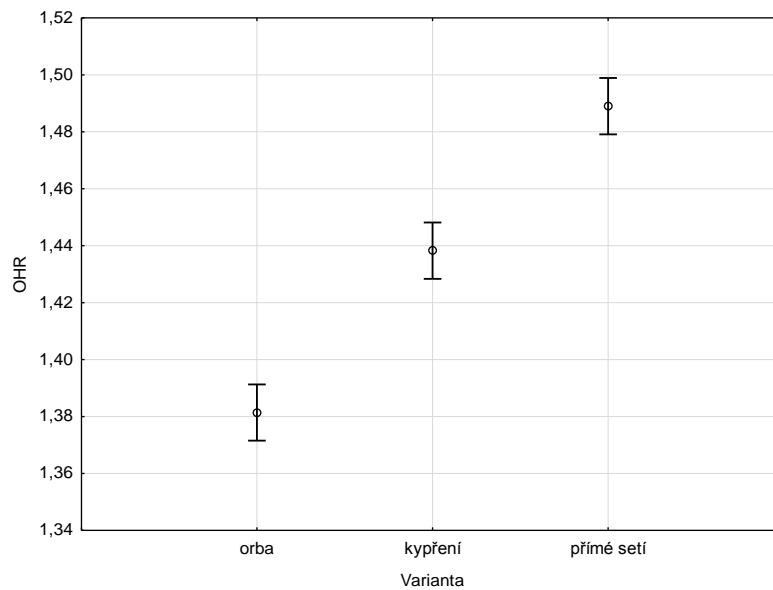
V průběhu vegetace se přirozeným sléháním půdy objemová hmotnost půdy v průměru zvyšovala. Po sklizni byla zaznamenána vyšší objemová hmotnost než na začátku vegetace. Rozdíl byl však malý, statisticky nevýznamný.



Obr. 3 Vliv hloubky odběru na objemovou hmotnost půdy (g.cm⁻³)

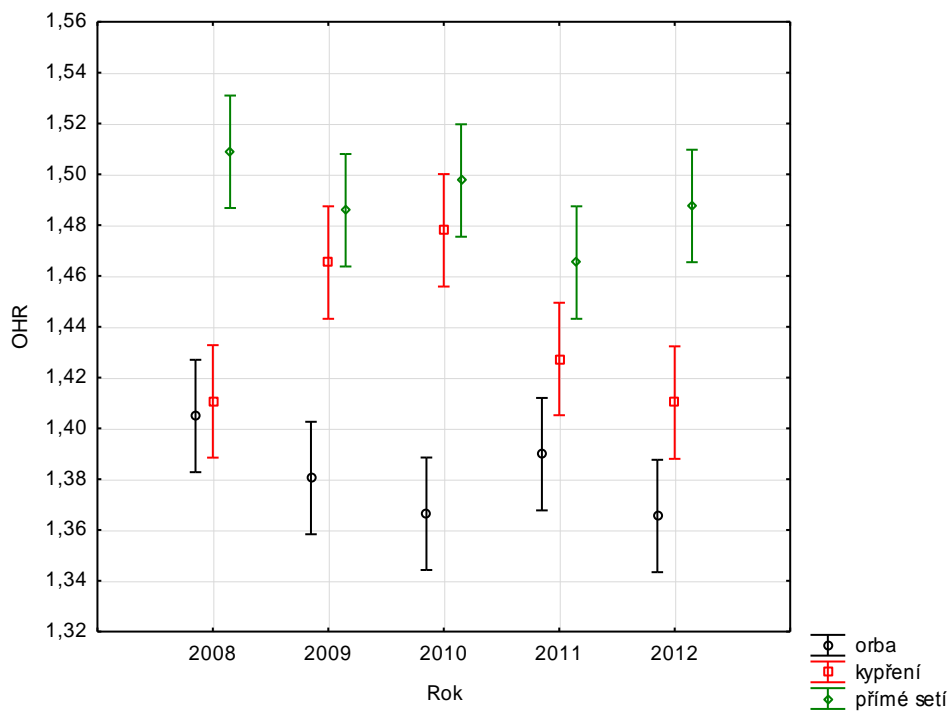
Nejnižší objemová hmotnost půdy byla v průměru souboru pokusu zaznamenána v hloubce 0–0,10 m. Naopak výrazně, statisticky významně, vyšší objemovou hmotnost vykazovala půda v hloubce 0,10–0,20 m a 0,20–0,30 m (obr. 3). Velký rozdíl v objemové hmotnosti ve vrchní a spodních vrstvách půdy lze dát do souvislosti

s nakypřením vrchní vrstvy půdy prováděnými zpracovatelskými zásahy a naopak přítomností utužených vrstev pod hloubkou zpracování půdy.



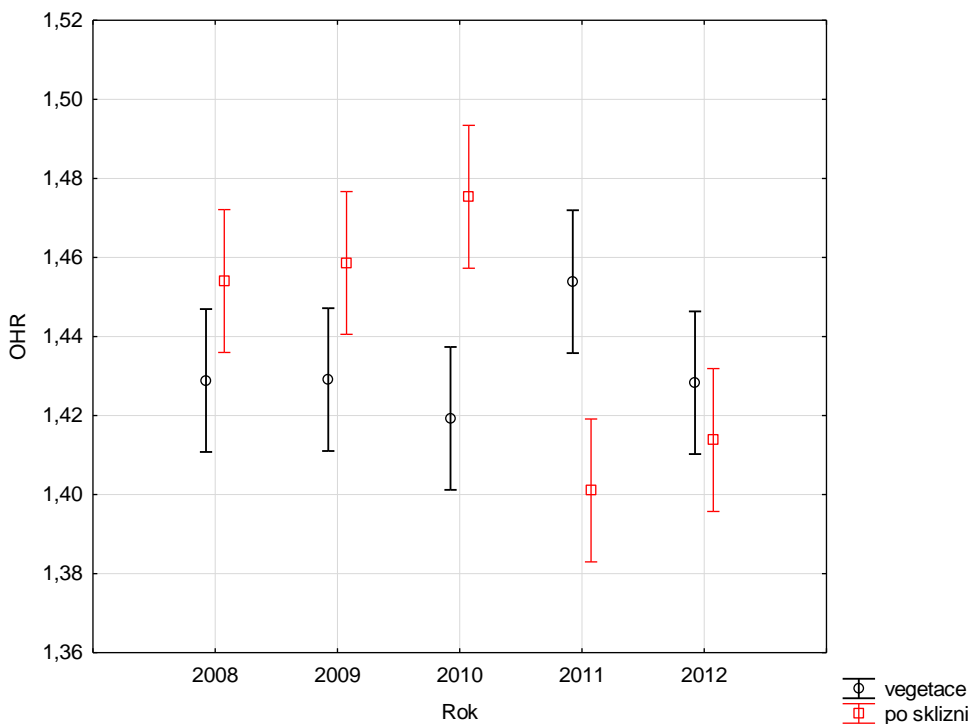
Obr. 4 Vliv různého zpracování půdy na objemovou hmotnost půdy ($g.cm^{-3}$)

Jak ukazují výsledky sledování, s klesající intenzitou zpracování půdy se zvyšuje její objemová hmotnost. Nejvyšší objemová hmotnost půdy byla zaznamenána na variantě s přímým setím do nezpracované půdy, nejnižší po orbě. Mělké kypření půdy zaujímalo střední postavení. Rozdíly v hodnotách objemové hmotnosti mezi variantami zpracování půdy byly velké, statisticky významné (obr. 4).



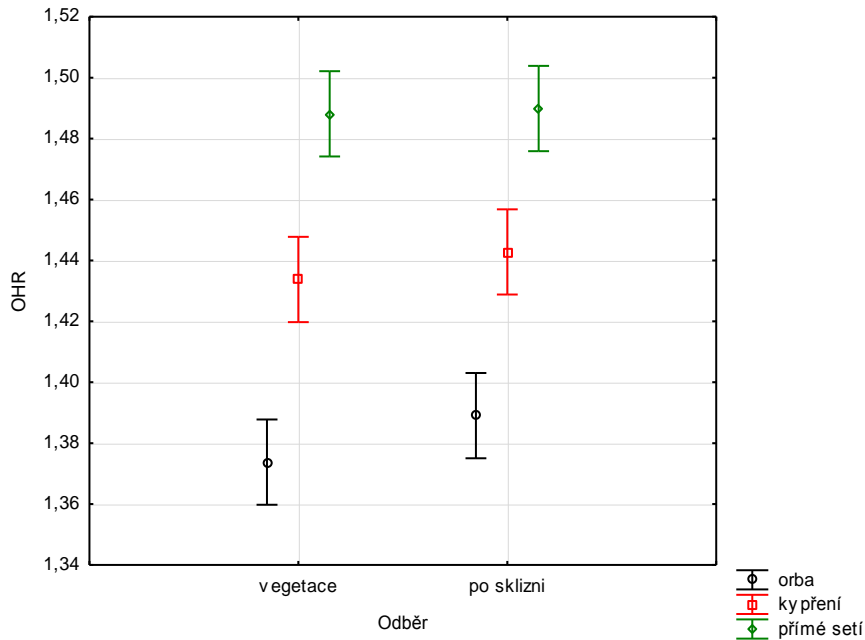
Obr. 5 Vliv různého zpracování a ročníku na objemovou hmotnost půdy ($g.cm^{-3}$)

Ve všech letech byl zaznamenán statisticky významný rozdíl v hodnotách objemové hmotnosti půdy mezi variantou s orbou a přímým setím do nezpracované půdy. Varianta s kypřením půdy se v roce 2008 a 2012 více přibližovala variantě s orbou a v letech 2009 a 2010 naopak variantě s přímým setím (obr. 5).



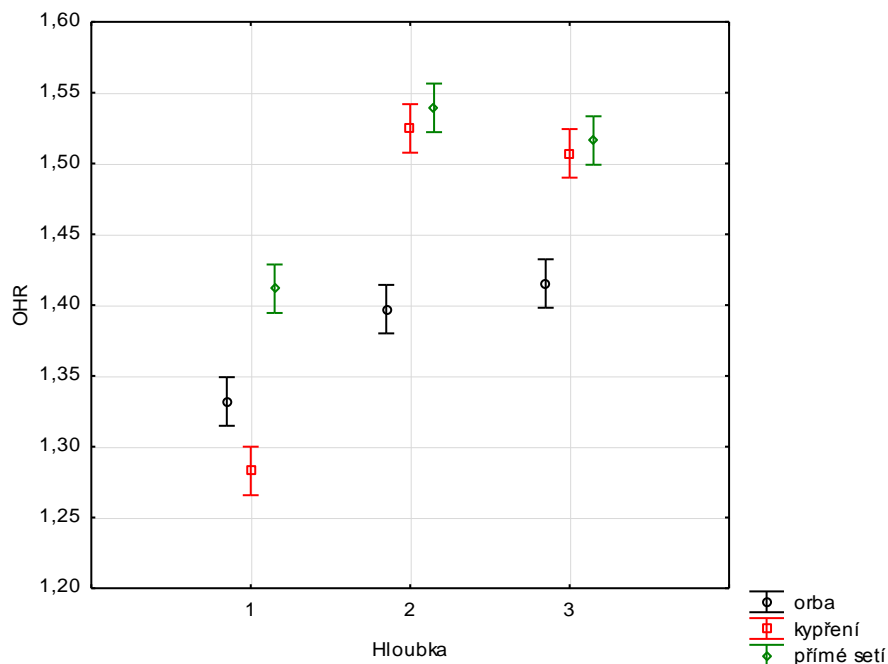
Obr. 6 Vliv termínu odběru a ročníku na objemovou hmotnost půdy ($g.cm^{-3}$)

V letech 2008, 2009 a 2010 byla objemová hmotnost půdy vyšší po sklizni, naopak v letech 2011 a 2012 v začátku vegetace. Statisticky významný rozdíl v hodnotách objemové hmotnosti půdy mezi termíny odběru (začátek vegetace a po sklizni) byl zaznamenán v letech 2010 a 2011.



Obr. 7 Vliv termínu odběru a zpracování půdy na objemovou hmotnost půdy ($g.cm^{-3}$)

V obou termínech sledování docházelo se snižováním intenzity zpracování půdy ke zvyšování objemové hmotnosti půdy. Vliv zpracování půdy na objemovou hmotnost byl v obou termínech sledování výrazný, statisticky významný (obr. 7). Objemová hmotnost půdy se v průběhu roku mírně zvyšovala, více na variantě s orbou a mělkým kypřením než na variantě bez zpracování půdy (s přímým setím do nezpracované půdy).

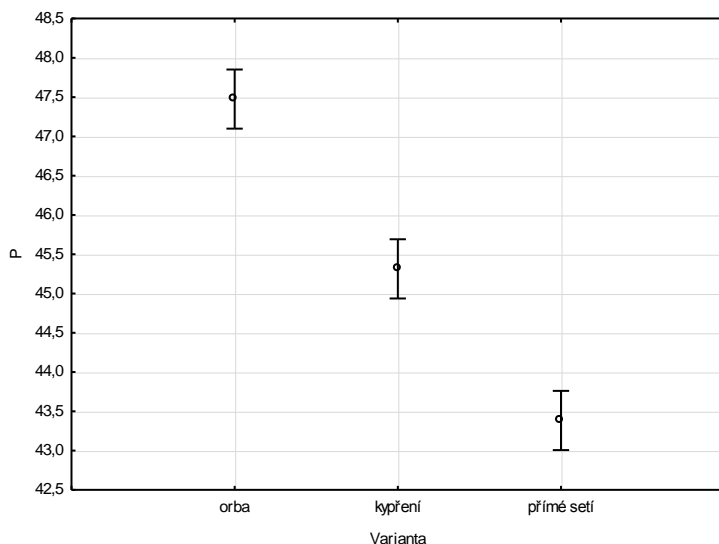


Obr. 8 Vliv zpracování půdy a hloubky odběru na objemovou hmotnost půdy ($g.cm^{-3}$)

Ve vrchní vrstvě půdy (0 - 0,10 m) byl statisticky významný rozdíl v hodnotách objemové hmotnosti mezi všemi variantami zpracování půdy. Nejvyšší hodnotu vykazovala varianta s přímým setím, dále varianta s orbou a nejnižší objemová hmotnost byla na variantě s mělkým kypřením. V půdních vrstvách 0,10-0,20 a 0,20-0,30 m došlo celkově ke zvýšení objemové hmotnosti. Statisticky významně vyšší hodnoty oproti orbě byly zaznamenány na minimalizačních variantách (mělké kypření a setí do nezpracované půdy), viz obr. 8.

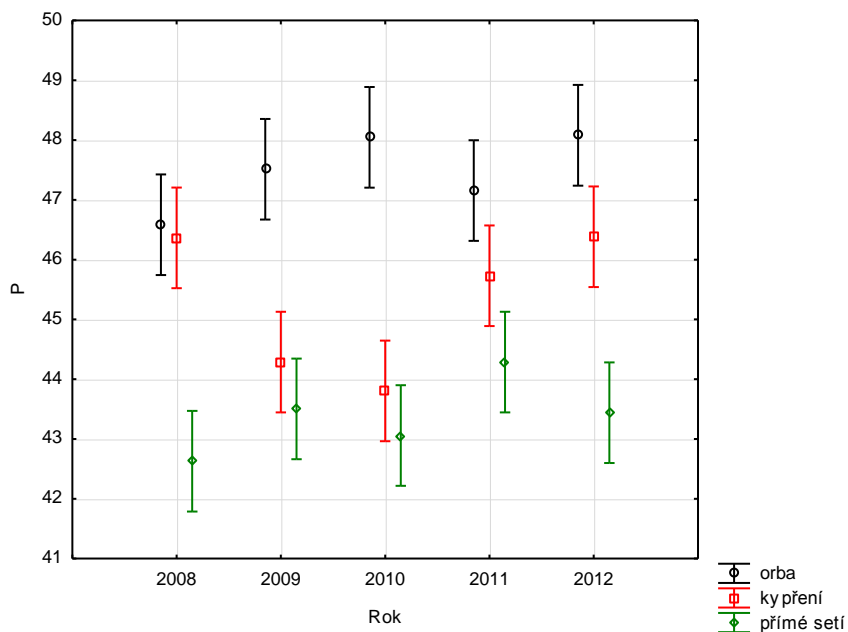
5.1.2 Celková pórovitost půdy

Výsledky hodnocení vlivu různého zpracování půdy na celkovou pórovitost jsou uvedeny na obr. 9–10.



Obr. 9 Vliv různého zpracování na celkovou pórovitost (% objemová)

Pórovitost půdy je zrcadlovým obrazem objemové hmotnosti. Se zvyšující se intenzitou zpracování půdy celková pórovitost výrazně stoupala. Mezi jednotlivými variantami zpracování půdy byly v hodnotách celkové pórovitosti zaznamenány statisticky významné rozdíly (obr. 9).



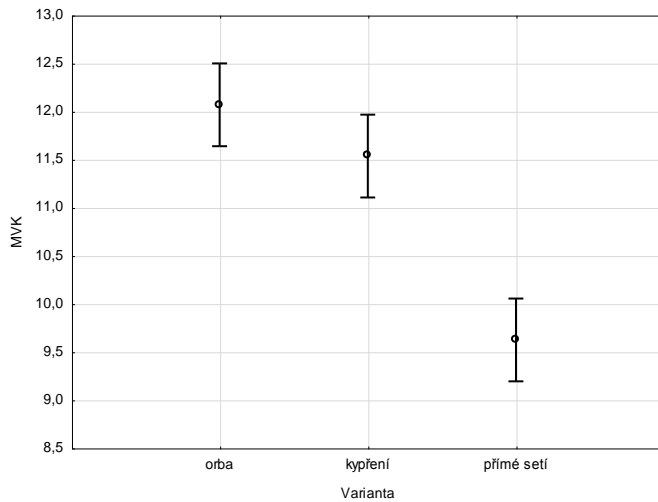
Obr. 10 Vliv různého zpracování a ročníku na celkovou pórovitost (% objemová)

Ve všech letech sledování vykazovala varianta s orbou nejvyšší hodnoty celkové pórovitosti, naopak varianta s přímým setím hodnoty nejnižší. Mezi těmito variantami zpracování půdy byl ve všech letech zaznamenán statisticky významný rozdíl. Hodnoty pórovitosti u varianty s mělkým kypřením půdy byly v letech 2008, 2011 a 2012 spíše

vyšší, naopak v letech 2009 a 2010 spíše nižší, blíží se variantě zpracování půdy orbou (obr. 10).

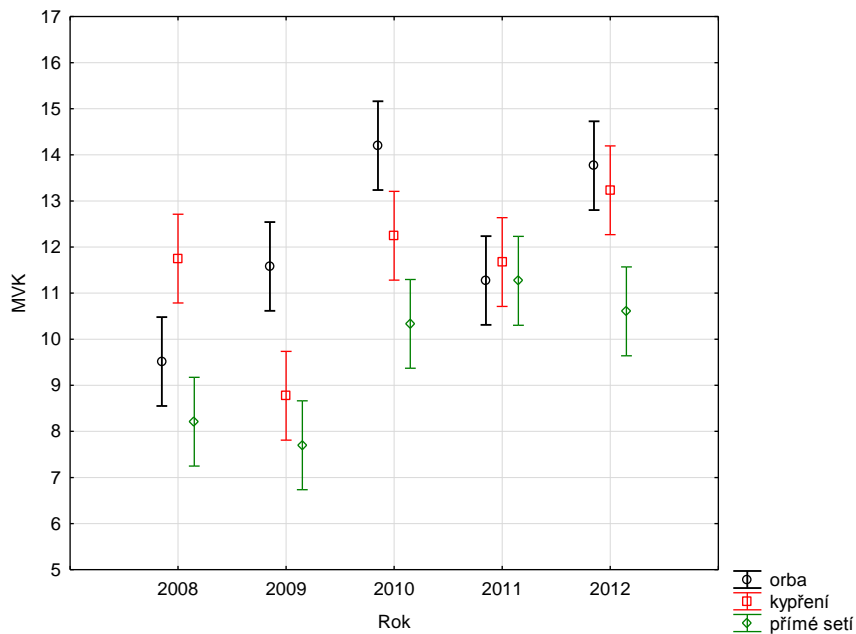
5.1.3 Minimální vzdušná kapacita půdy (MVK)

Výsledky hodnocení vlivu různého zpracování půdy na minimální vzdušnou kapacitu jsou uvedeny na obr. 11 -12.



Obr. 11 Vliv různého zpracování na minimální vzdušnou kapacitu půdy (% objemová)

Se snižující se intenzitou zpracování půdy klesaly hodnoty minimální vzdušné kapacity. Statisticky významný rozdíl byl zaznamenán mezi variantami s minimalizačními technologiemi (přímé setí a mělké kypření půdy) a klasickou technologií s orbou (obr. 11).

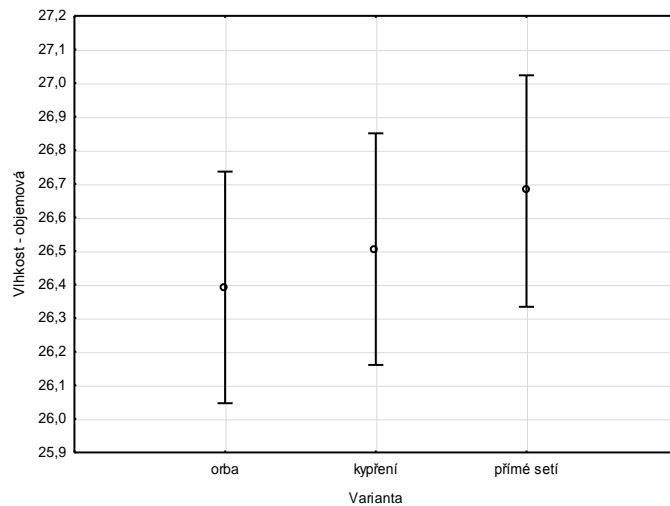


Obr. 12 Vliv různého zpracování a ročníku na minimální vzdušnou kapacitu půdy (% objemová)

Ve všech letech sledování byly zjištěny nejnižší hodnoty minimální vzdušné kapacity půdy u varianty bez zpracování půdy (přímé setí). V roce 2008 a 2011 byly zaznamenány nejvyšší hodnoty minimální vzdušné kapacity na variantě s mělkým kypřením půdy. V letech 2009, 2010 a 2012 na variantě s orbou. Statisticky významné byly rozdíly v jednotlivých letech mezi variantami zpracování půdy (obr. 12).

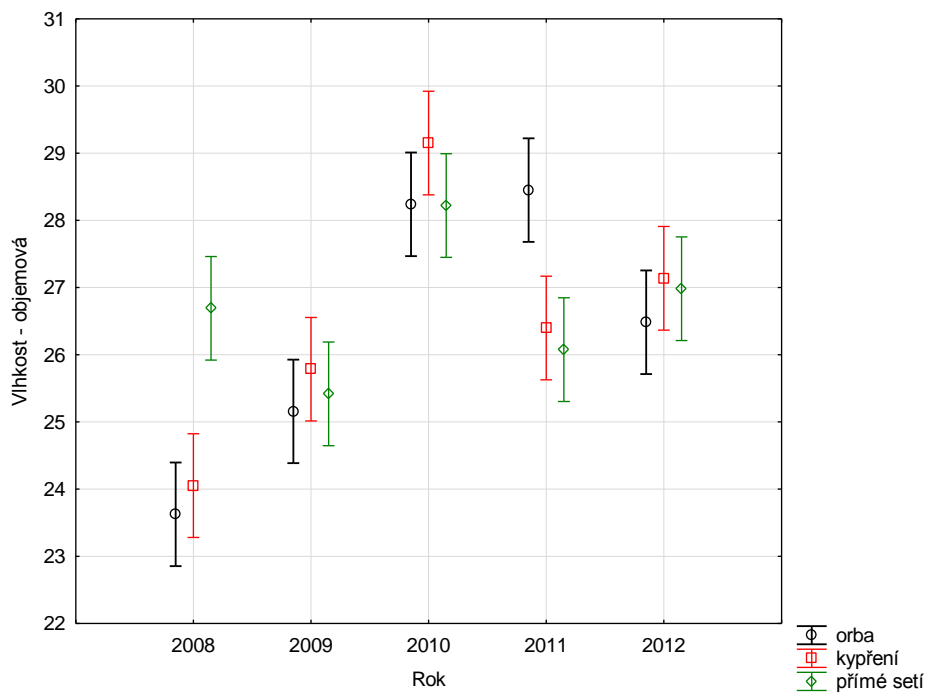
5.1.4 Vliv různé intenzity zpracování půdy na objemovou vlhkost

Výsledky sledování vlivu různého zpracování půdy na objemovou vlhkost jsou uvedeny na obr. 13–14.



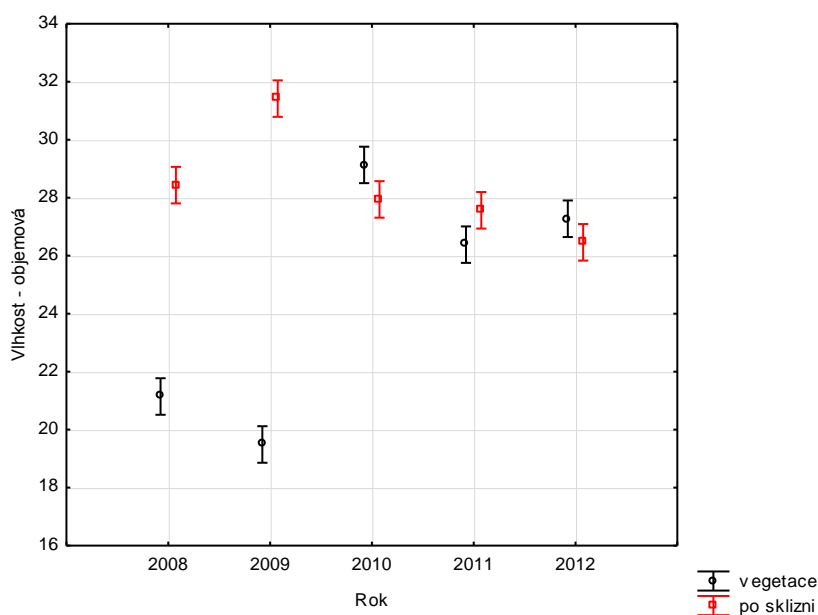
Obr. 13 Vliv různého zpracování půdy na její objemovou vlhkost (% objemová)

Výsledky sledování ukazují na určitou tendenci ke zvyšování objemové vlhkosti půdy se snižující se intenzitou jejího zpracování (obr. 13).



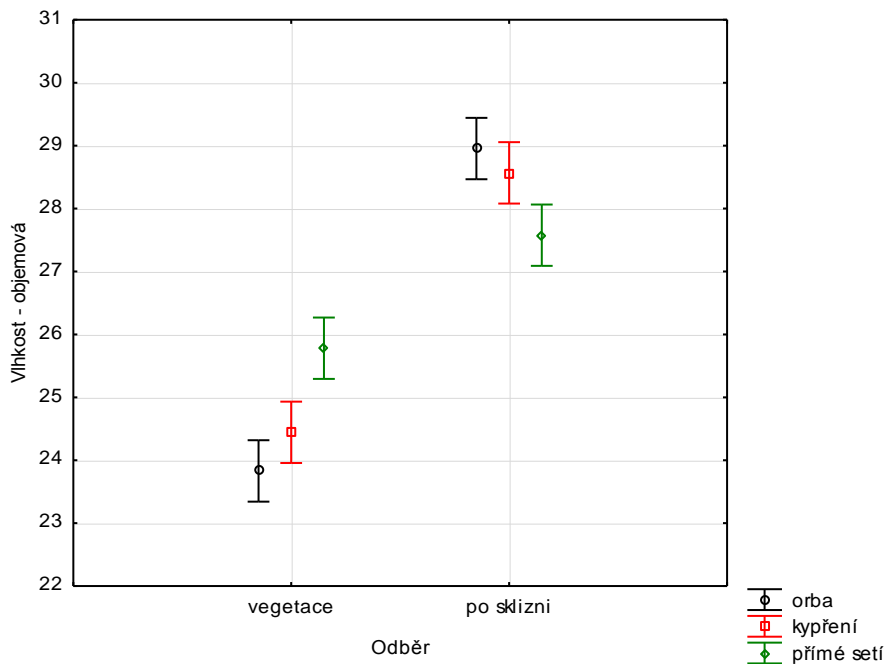
Obr. 14 Vliv různého zpracování půdy a ročníku na objemovou vlhkost půdy (% objemová)

Vliv různého zpracování půdy na její objemovou vlhkost byl v jednotlivých letech rozdílný (obr. 14). V roce 2008 byly zaznamenána výrazně (statisticky významně) vyšší objemová vlhkost půdy na variantě s přímým setím do nezpracované půdy. V letech 2009, 2010 a 2012 byly rozdíly v objemové vlhkosti mezi jednotlivými variantami zpracování půdy malé, statisticky nevýznamné. V roce 2011 bylo zaznamenáno statisticky významné zvýšení objemové vlhkosti půdy na variantě s orbou.



Obr. 15 Vliv termínu odběru a ročníku na objemovou vlhkost půdy (% objemová)

V letech 2008 a 2009 byla objemová vlhkost půdy průkazně vyšší po sklizni. V letech 2010, 2011 a 2012 byly rozdíly mezi termíny měření malé, statisticky nevýznamné (obr. 15).



Obr. 16 Vliv různého zpracování půdy v jednotlivých termínech odběru na objemovou vlhkost půdy (% objemová)

V začátku vegetace byla statisticky významně vyšší objemová vlhkost půdy na variantě s přímým setím do nezpracované půdy. Po sklizni byla zaznamenána nejvyšší objemová vlhkost půdy na variantě s orbou a nejnižší na variantě s přímým setím do nezpracované půdy. Rozdíl v hodnotách objemové vlhkosti půdy byl mezi těmito dvěma krajními variantami statisticky významný.

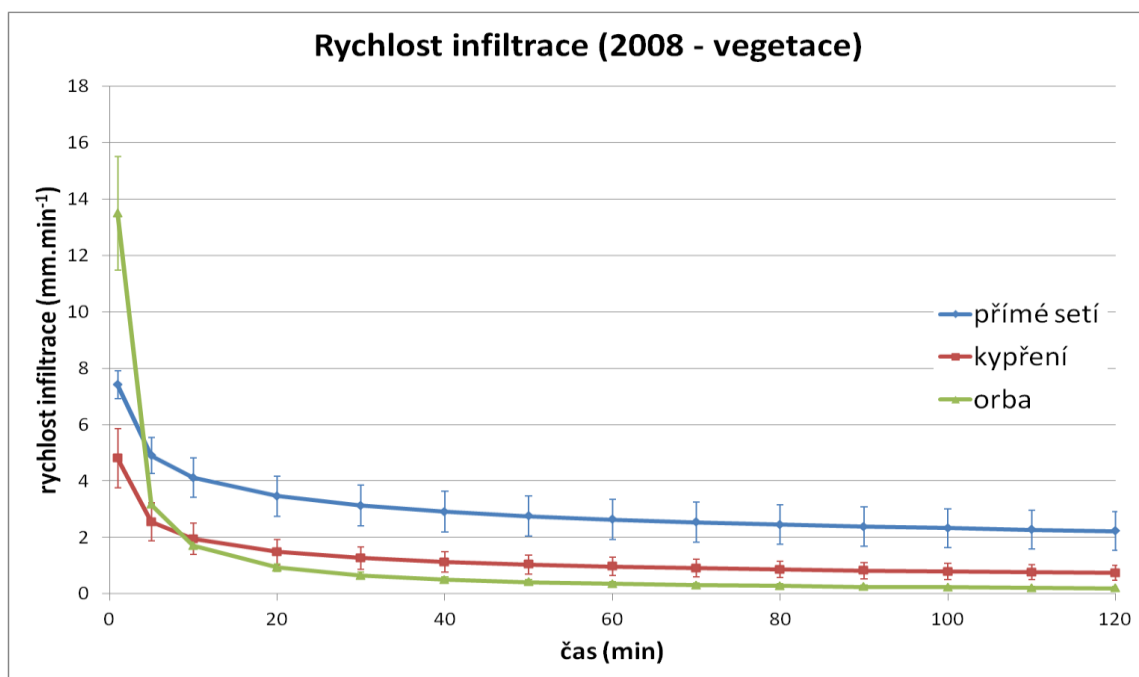
5.2 Infiltrace srážkové vody do půdy

V práci je hodnocen vliv variantních technologií zpracování půdy na infiltrační schopnost půdy. Výsledky sledování jsou uvedeny v tab. 6–15 a na obr. 15–24.

5.2.1 Infiltrace srážkové vody do půdy v roce 2008

Tab. 6 Infiltrace srážkové vody do půdy na začátku vegetace v roce 2008

Průměrná intenzita infiltrace			
čas	rychlost infiltrace (mm.min-1)		
	orba	kypření	přímé setí
1	13,48	4,80	7,41
5	3,16	2,55	4,90
10	1,71	1,94	4,11
20	0,93	1,48	3,46
30	0,65	1,27	3,13
40	0,50	1,13	2,91
50	0,42	1,04	2,76
60	0,35	0,97	2,64
70	0,31	0,91	2,54
80	0,28	0,86	2,46
90	0,25	0,83	2,39
100	0,23	0,79	2,33
110	0,21	0,76	2,27
120	0,19	0,74	2,23



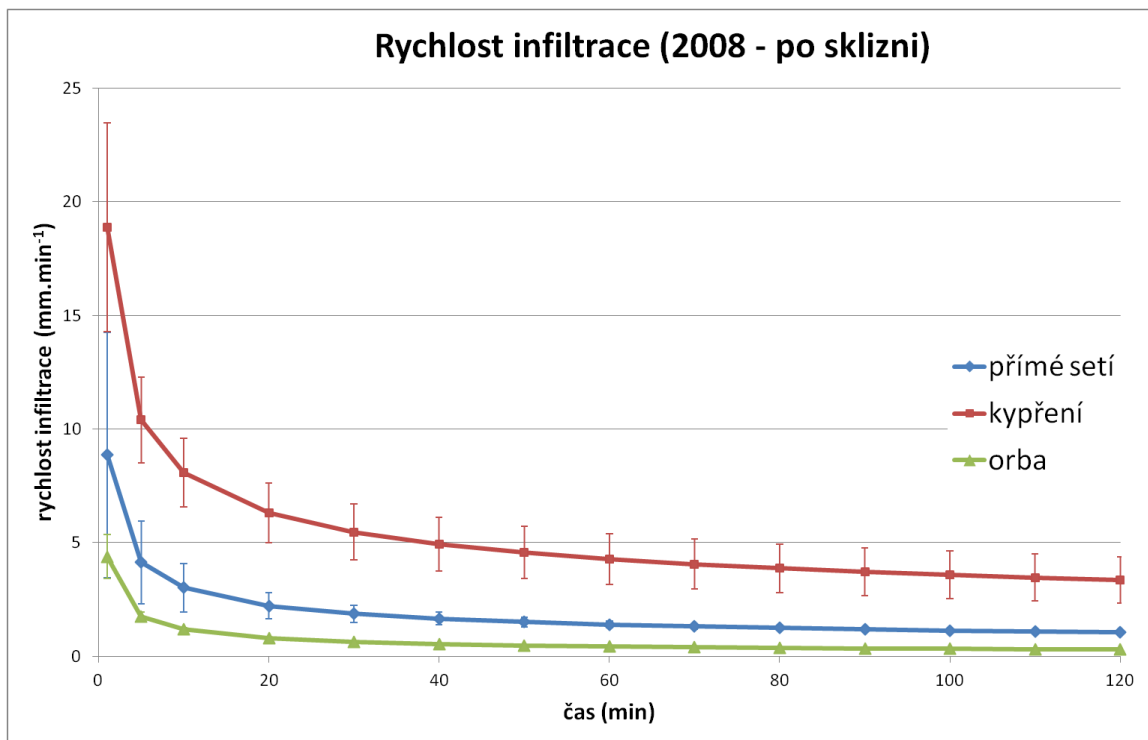
Obr. 17 Infiltrace srážkové vody do půdy na začátku vegetace v roce 2008

V roce 2008 byla na začátku vegetace kukuřice zaznamenána nejvyšší rychlost infiltrace vody do půdy na variantě s přímým setím do nezpracované půdy. Naopak nejnižší

rychlost infiltrace vykazovala varianta s orbou. Varianta s mělkým zpracováním půdy zaujímala střední postavení. Viz tab. 6 a obr. 17.

Tab. 7 Infiltrace srážkové vody do půdy po sklizni kukuřice v roce 2008

Průměrná intenzita infiltrace			
čas	rychlost infiltrace (mm.min ⁻¹)		
	orba	kypření	přímé setí
1	4,39	18,88	8,86
5	1,76	10,40	4,14
10	1,19	8,09	3,02
20	0,81	6,31	2,23
30	0,65	5,46	1,87
40	0,55	4,94	1,66
50	0,49	4,57	1,51
60	0,44	4,28	1,40
70	0,41	4,06	1,31
80	0,38	3,87	1,24
90	0,35	3,72	1,19
100	0,33	3,59	1,14
110	0,32	3,47	1,09
120	0,30	3,37	1,06



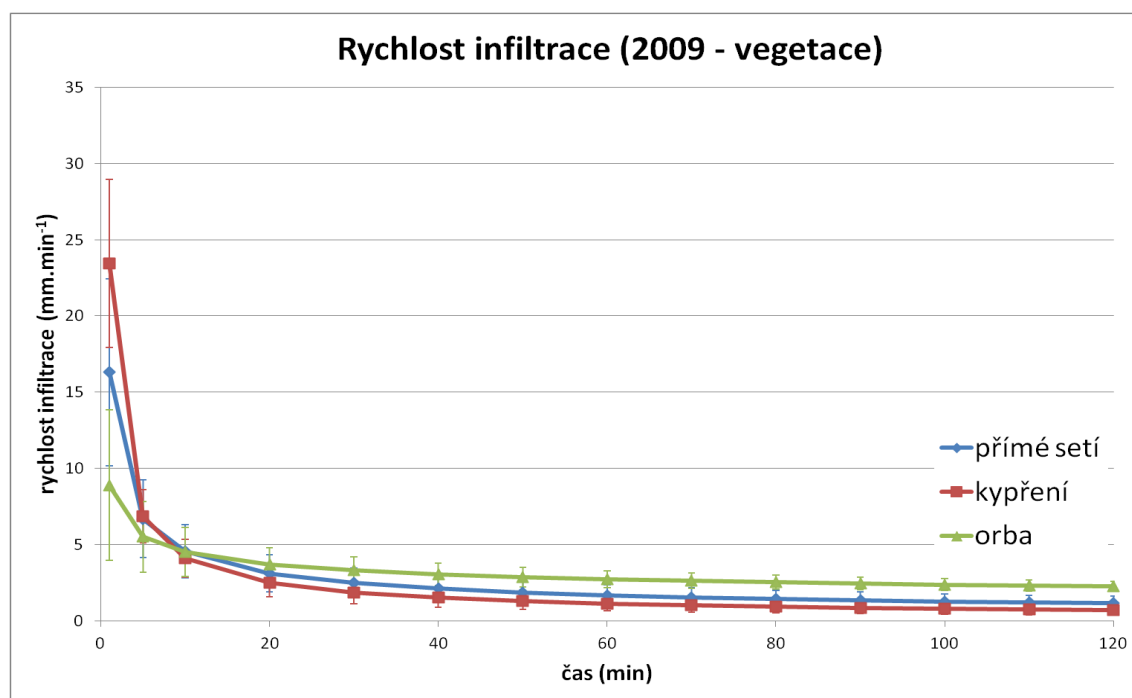
Obr. 18 Infiltrace srážkové vody do půdy po sklizni kukuřice na zrno v roce 2008

Po sklizni kukuřice na zrno v roce 2008 byla naměřena nejvyšší rychlost infiltrace vody do půdy na variantě s mělkým kypřením půdy a nejnižší na variantě s orbou. Viz tab. 7 a obr. 18.

5.2.2 Infiltrace srážkové vody do půdy v roce 2009

Tab. 8 Infiltrace srážkové vody do půdy na začátku vegetace v roce 2009

Průměrná intenzita infiltrace			
čas	rychlost infiltrace (mm.min ⁻¹)		
	orba	kypření	přímé setí
1	8,90	23,44	16,31
5	5,52	6,86	6,69
10	4,52	4,11	4,56
20	3,71	2,49	3,11
30	3,31	1,86	2,48
40	3,05	1,52	2,12
50	2,87	1,29	1,87
60	2,73	1,14	1,69
70	2,62	1,02	1,55
80	2,52	0,93	1,44
90	2,44	0,86	1,35
100	2,38	0,80	1,28
110	2,31	0,74	1,21
120	2,26	0,70	1,15

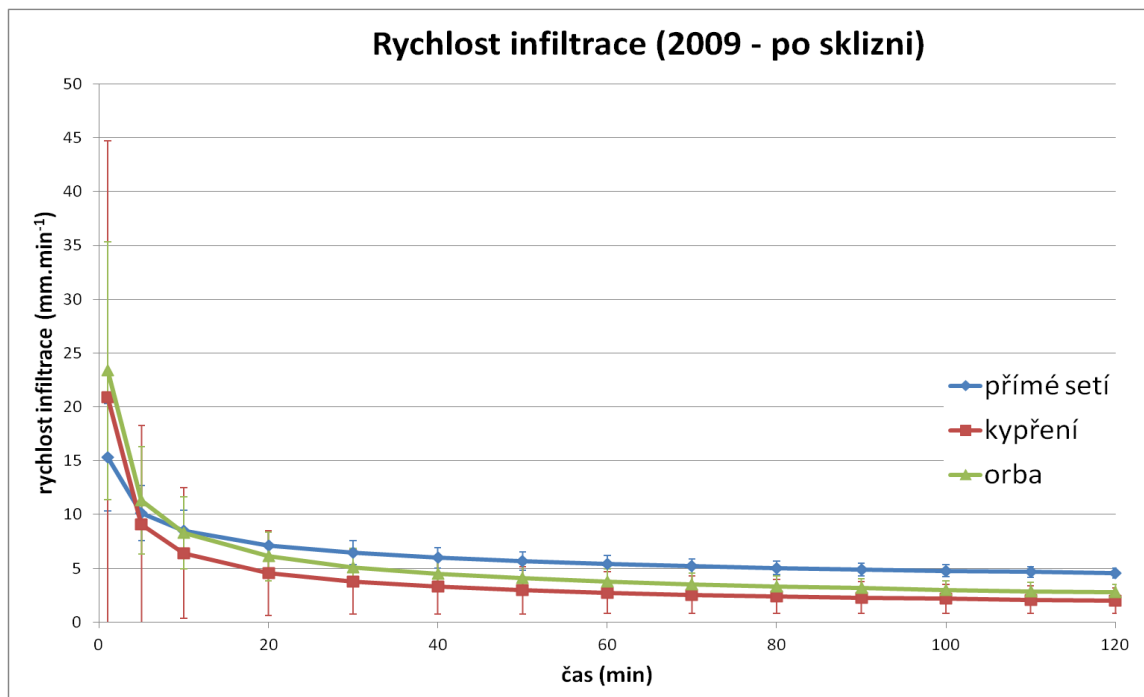


Obr. 19 Infiltrace srážkové vody do půdy na začátku vegetace v roce 2009

V roce 2009 nebyly zaznamenány v rychlosti infiltrace vody do půdy mezi variantami zpracování půdy velké rozdíly. Mírně vyšší rychlost infiltrace vykazovala varianta s orbou. Nižší (téměř shodné) hodnoty rychlosti infiltrace byly naměřeny na variantě s přímým setím do nezpracované půdy a s mělkým kypřením půdy. Viz tab. 8 a obr. 19.

Tab. 9 Infiltrace srážkové vody do půdy po sklizni jarního ječmene v roce 2009

Průměrná intenzita infiltrace			
čas	rychlost infiltrace (mm.min ⁻¹)		
	orba	kypření	přímé setí
1	23,37	20,89	15,33
5	11,32	9,08	10,14
10	8,31	6,41	8,50
20	6,10	4,57	7,13
30	5,10	3,76	6,44
40	4,49	3,29	5,99
50	4,07	2,96	5,67
60	3,75	2,73	5,41
70	3,51	2,54	5,21
80	3,31	2,39	5,04
90	3,14	2,27	4,89
100	3,00	2,17	4,77
110	2,88	2,08	4,65
120	2,77	2,00	4,56



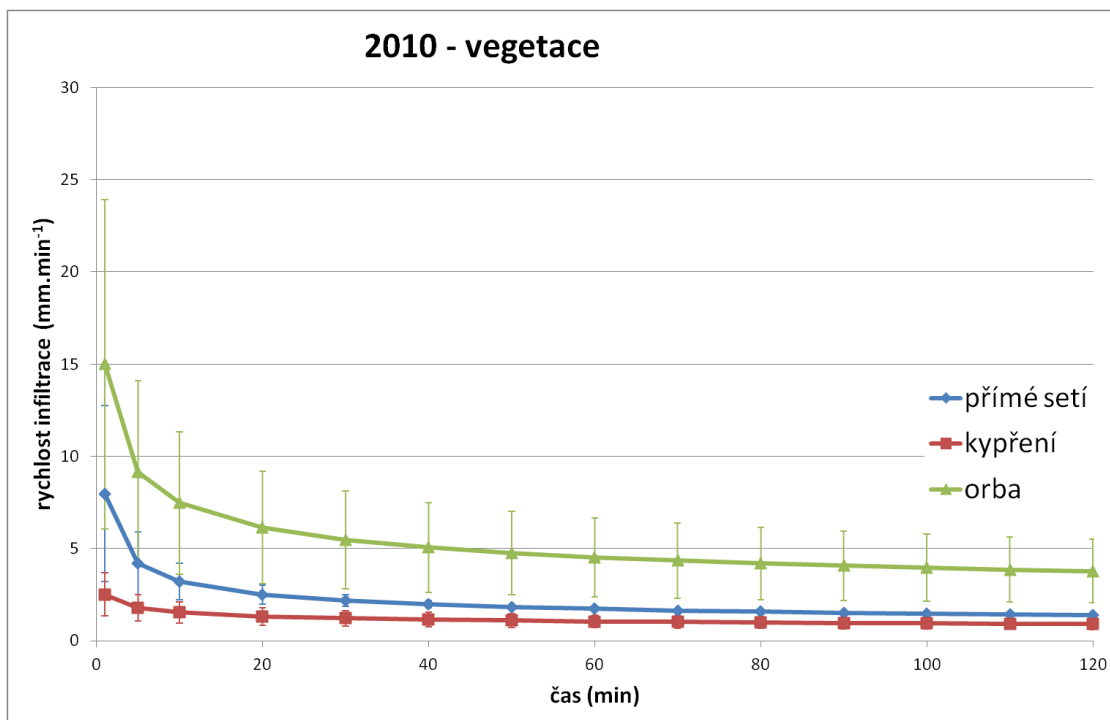
Obr. 20 Infiltrace srážkové vody do půdy po sklizni jarního ječmene v roce 2009

I po sklizni jarního ječmene nebyly zaznamenány velké rozdíly v infiltraci vody do půdy mezi variantami zpracování půdy. Na rozdíl od jarního období (začátku vegetace) mírně vyšší hodnoty rychlosti infiltrace vykazovala varianta s přímým setím do nezpracované půdy, následovala varianta s orbou a nejnižší hodnoty byly naměřeny u varianty s kypřením půdy. Viz tab. 9 a obr. 20.

5.2.3 Infiltrace srážkové vody do půdy v roce 2010

Tab. 10 Infiltrace srážkové vody do půdy na začátku vegetace v roce 2010

Průměrná intenzita infiltrace			
čas	rychlost infiltrace (mm.min-1)		
	orba	kypření	přímé setí
1	15,00	2,52	7,98
5	9,16	1,78	4,19
10	7,47	1,53	3,22
20	6,13	1,32	2,51
30	5,47	1,22	2,18
40	5,05	1,14	1,98
50	4,75	1,09	1,83
60	4,53	1,05	1,73
70	4,34	1,02	1,64
80	4,19	0,99	1,58
90	4,06	0,97	1,52
100	3,95	0,95	1,47
110	3,85	0,93	1,43
120	3,77	0,91	1,39

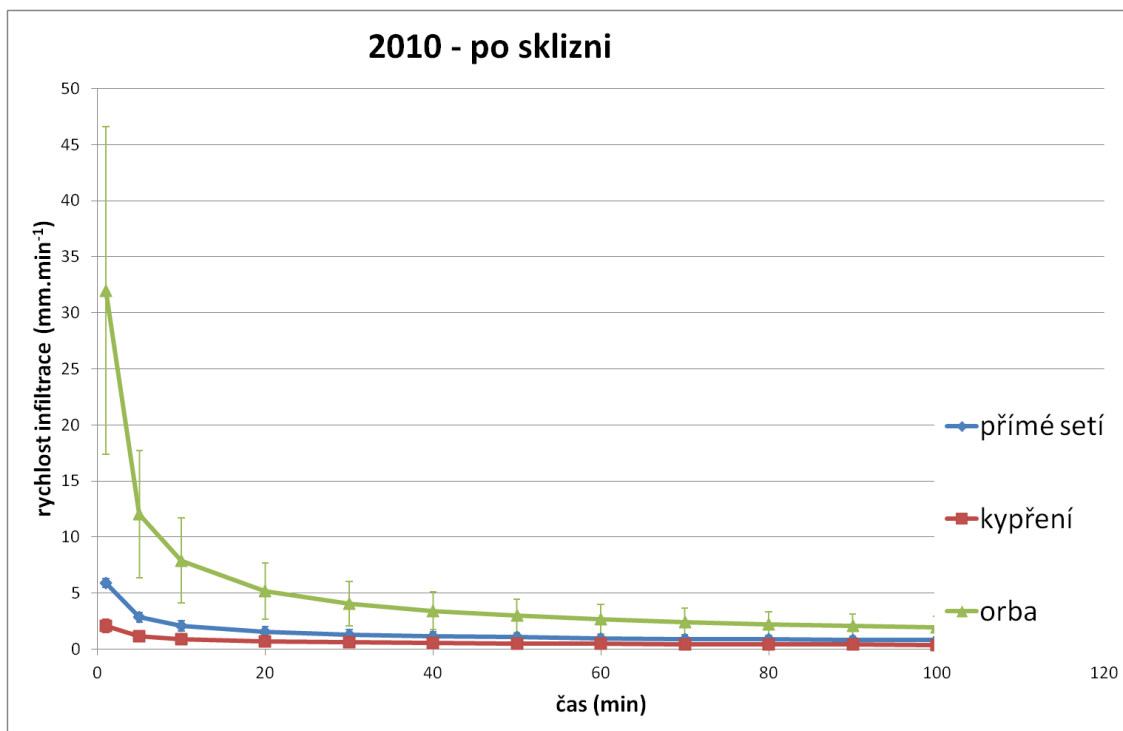


Obr. 21 Infiltrace srážkové vody na začátku vegetace kukuřice na zrno v roce 2010

V roce 2010 byla rychlost infiltrace vody do půdy v začátku vegetace kukuřice výrazně vyšší u varianty s orbou než u minimalizačních variant s přímým setím a mělkým kypřením půdy. Viz tab. 10 a obr. 21.

Tab 11 Infiltrace srážkové vody do půdy po sklizni kukuřice na zrno v roce 2010

Průměrná intenzita infiltrace			
čas	rychlost infiltrace (mm.min-1)		
	orba	kypření	přímé setí
1	31,98	2,09	5,91
5	12,03	1,15	2,84
10	7,90	0,89	2,09
20	5,18	0,69	1,55
30	4,05	0,59	1,30
40	3,40	0,53	1,16
50	2,97	0,49	1,05
60	2,66	0,46	0,97
70	2,42	0,43	0,91
80	2,23	0,41	0,86
90	2,08	0,39	0,82
100	1,95	0,38	0,79
110	1,84	0,36	0,76
120	1,75	0,35	0,73



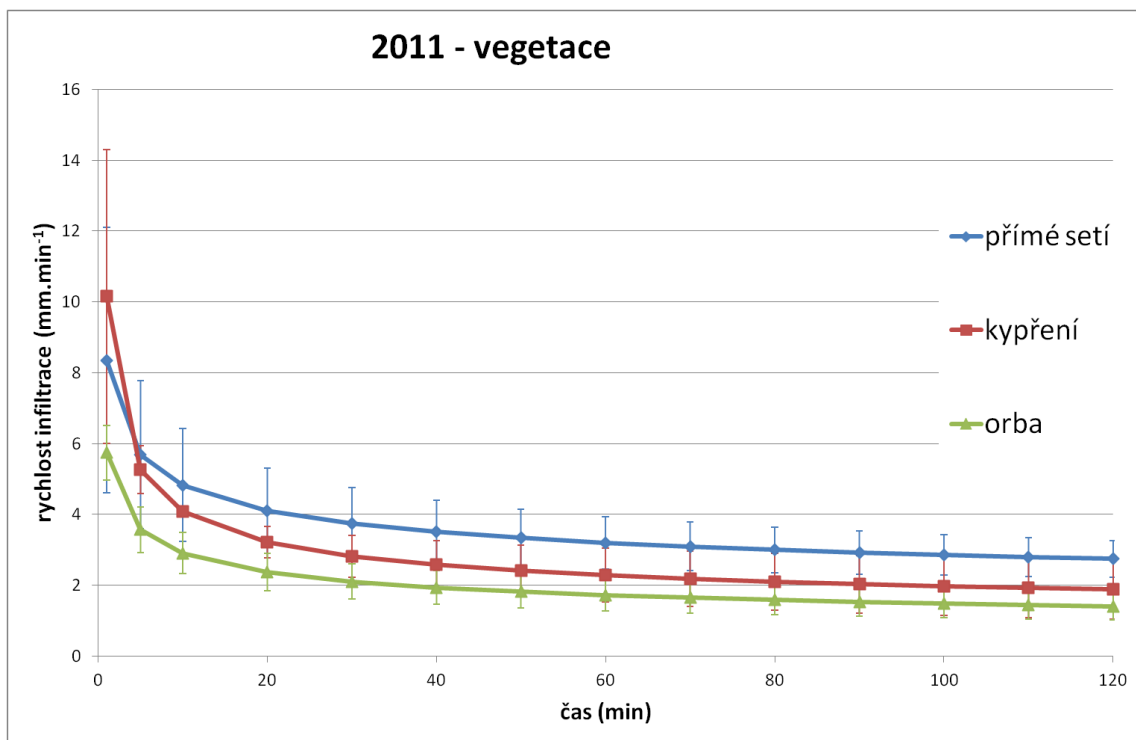
Obr. 22 Infiltrace srážkové vody do půdy po sklizni kukuřice na zrno v roce 2010

I po sklizni kukuřice byla zaznamenána nejvyšší intenzita infiltrace vody do půdy na variantě s orbou. Nižší, téměř shodné hodnoty, intenzity infiltrace byly naměřeny u varianty s přímým setím a mělkým kypřením. Viz tab. 11 a obr. 22.

5.2.4 Infiltrace srážkové vody do půdy v roce 2011

Tab. 12 Infiltrace srážkové vody do půdy v průběhu vegetace v roce 2011

Průměrná intenzita infiltrace			
čas	rychlost infiltrace (mm.min-1)		
	orba	kypření	přímé setí
1	5,74	10,16	8,35
5	3,57	5,27	5,68
10	2,91	4,08	4,83
20	2,37	3,22	4,11
30	2,11	2,82	3,75
40	1,94	2,58	3,51
50	1,82	2,41	3,34
60	1,72	2,28	3,20
70	1,65	2,18	3,09
80	1,58	2,10	3,00
90	1,53	2,03	2,92
100	1,48	1,97	2,86
110	1,44	1,92	2,80
120	1,41	1,88	2,74

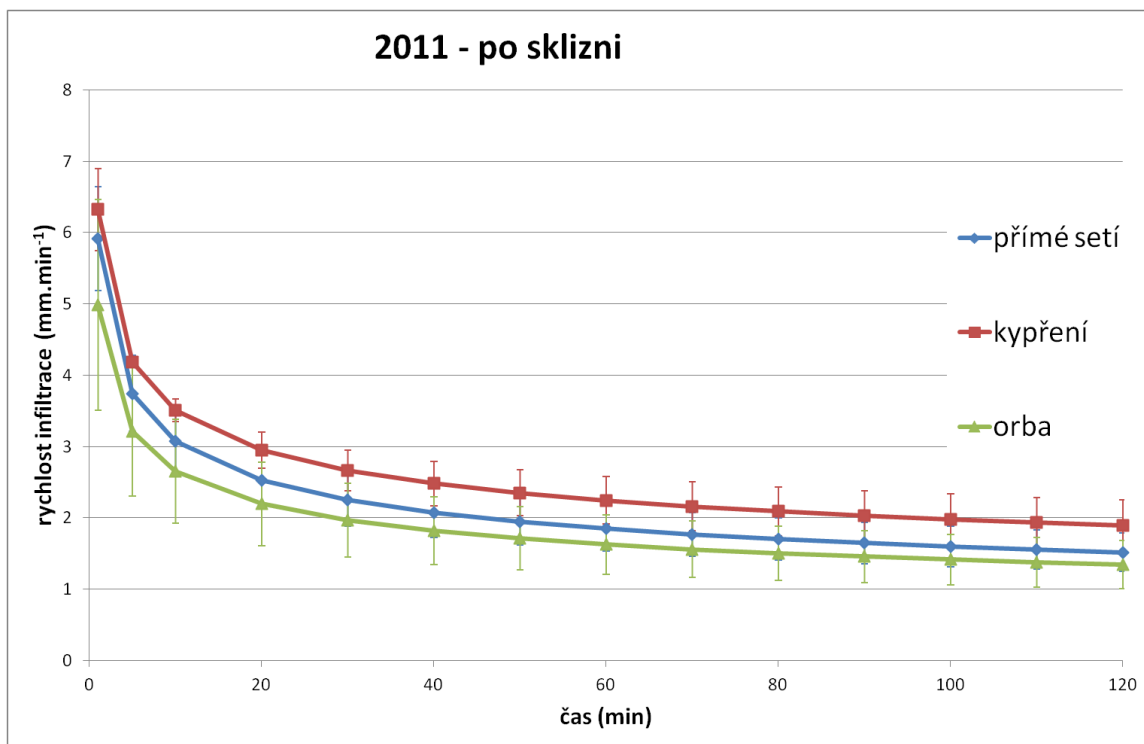


Obr. 23 Infiltrace srážkové vody do půdy v průběhu vegetace v roce 2011

V roce 2011 v začátku vegetace kukuřice byly hodnoty intenzity infiltrace vody do půdy nejvyšší na variantě s přímým setím do nezpracované půdy. Nejnižší intenzita infiltrace byla zaznamenána na variantě s orbou. Mělké kypření půdy zaujímal střední postavení. Viz tab. 12 a obr. 23.

Tab. 13 Infiltrace srážkové vody do půdy po sklizni kukuřice na zrno v roce 2011

Průměrná intenzita infiltrace			
čas	rychlost infiltrace (mm.min ⁻¹)		
	orba	kypření	přímé setí
1	4,98	6,32	5,92
5	3,21	4,18	3,74
10	2,65	3,51	3,07
20	2,20	2,95	2,52
30	1,97	2,66	2,25
40	1,82	2,48	2,07
50	1,71	2,35	1,95
60	1,63	2,25	1,85
70	1,56	2,16	1,77
80	1,50	2,09	1,70
90	1,46	2,03	1,65
100	1,41	1,98	1,60
110	1,38	1,94	1,56
120	1,35	1,90	1,52



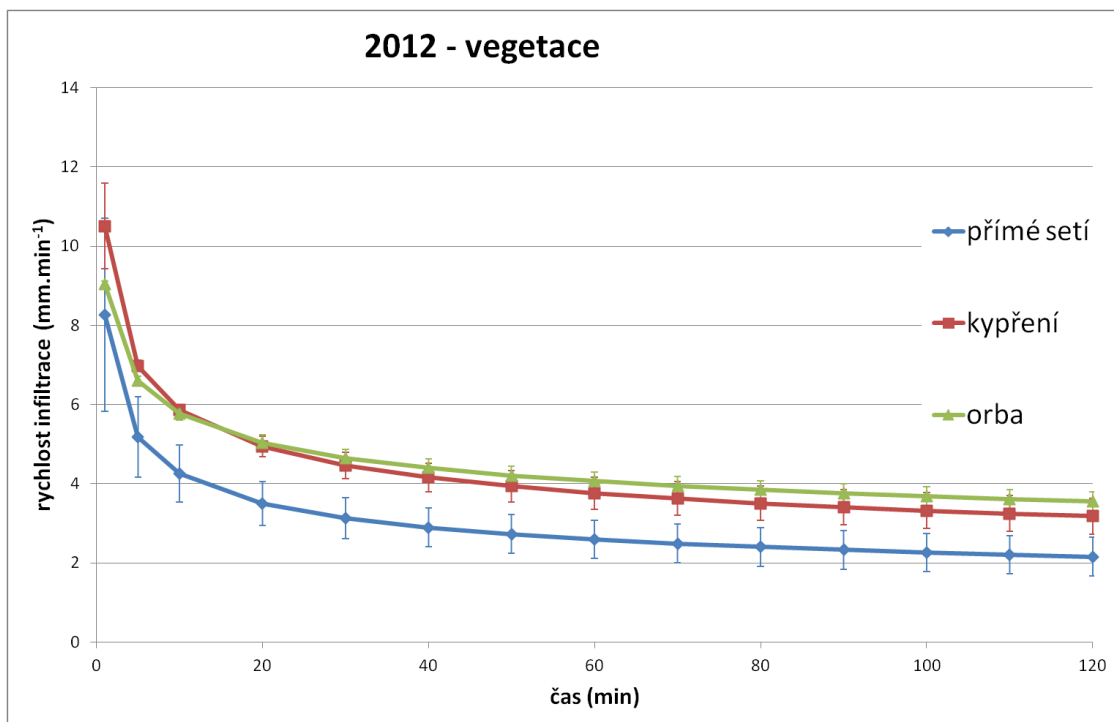
Obr. 24 Infiltrace srážkové vody do půdy po sklizni v roce 2011

Po sklizni zrnové kukuřice byla nejvyšší intenzita infiltrace vody do půdy na variantě s mělkým kypřením. Nejnižší hodnoty vykazovala varianta s orbou. Viz tab. 13 a obr. 24.

5.2.5 Infiltrace srážkové vody do půdy v roce 2012

Tab. 14 Infiltrace srážkové vody do půdy v průběhu vegetace kukuřice na zrno v roce 2012

Průměrná intenzita infiltrace			
čas	rychlost infiltrace (mm.min ⁻¹)		
	orba	kypření	přímé setí
1	9,05	10,51	8,26
5	6,60	6,98	5,18
10	5,76	5,86	4,25
20	5,03	4,93	3,50
30	4,65	4,46	3,13
40	4,40	4,16	2,90
50	4,21	3,93	2,73
60	4,06	3,76	2,59
70	3,94	3,62	2,49
80	3,84	3,51	2,40
90	3,75	3,41	2,33
100	3,68	3,32	2,26
110	3,61	3,24	2,20
120	3,55	3,18	2,15

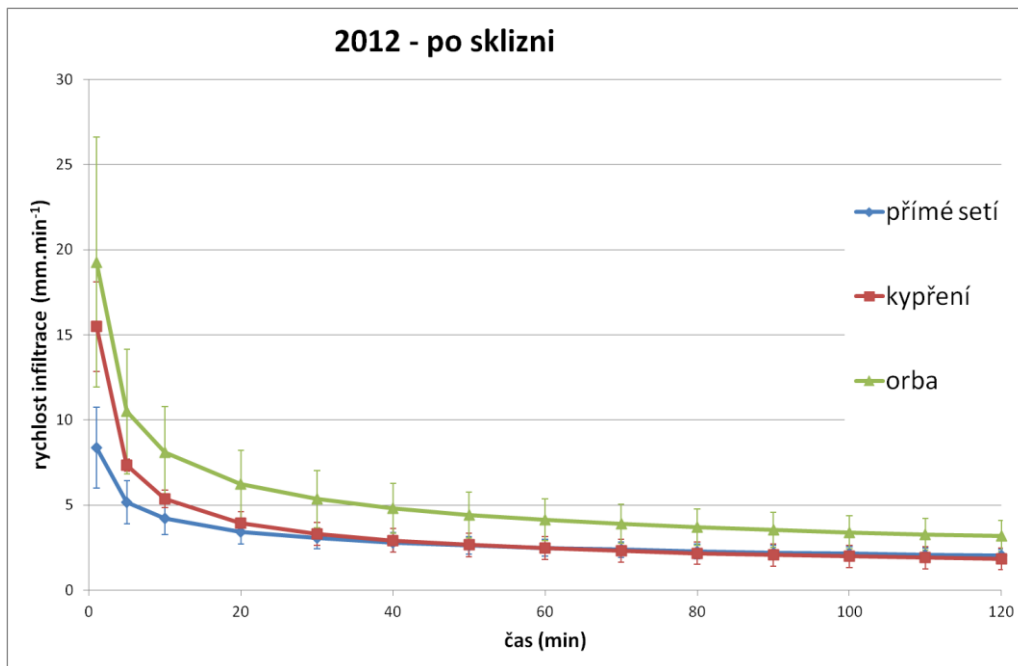


Obr. 25 Infiltrace srážkové vody do půdy v průběhu vegetace v roce 2012

V roce 2012 v začátku vegetace byly naměřeny nejvyšší hodnoty intenzity infiltrace vody do půdy na variantě s orbou, jen mírně nižší hodnoty byly zjištěny na variantě s mělkým kypřením. Nejnižší intenzitu infiltrace vykazovala varianta s přímým setím. Viz tab. 14 a obr. 25.

Tab. 15 Infiltrace srážkové vody do půdy po sklizni kukuřice na zrno v roce 2012

Průměrná intenzita infiltrace			
čas	rychlost infiltrace (mm.min ⁻¹)		
	orba	kypření	přímé setí
1	19,26	15,48	8,36
5	10,49	7,35	5,17
10	8,08	5,37	4,21
20	6,23	3,95	3,43
30	5,34	3,31	3,05
40	4,80	2,92	2,80
50	4,41	2,65	2,62
60	4,12	2,45	2,49
70	3,89	2,30	2,38
80	3,70	2,17	2,29
90	3,54	2,06	2,21
100	3,40	1,97	2,14
110	3,28	1,90	2,09
120	3,17	1,83	2,03

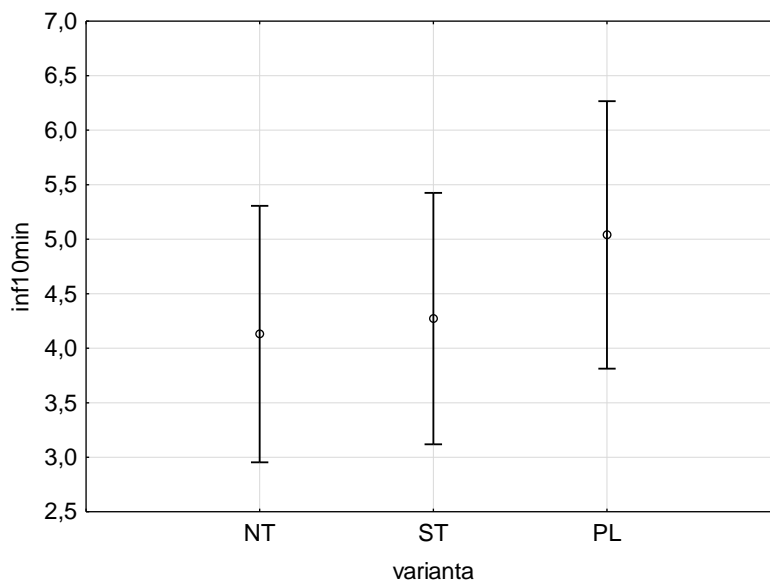


Obr. 26 Infiltrace srážkové vody do půdy v po sklizni v roce 2012

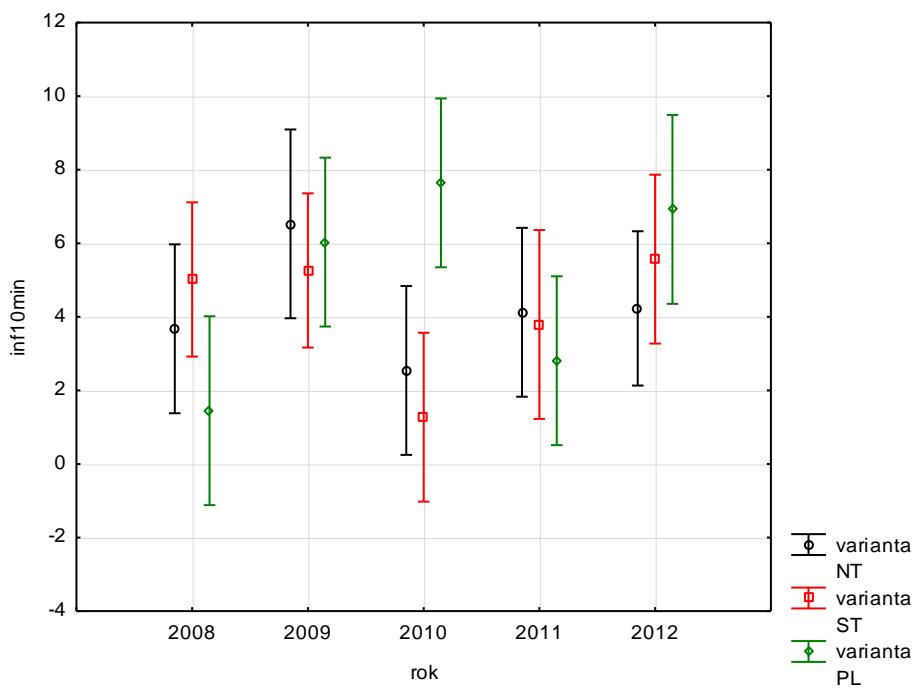
I po sklizni zrnové kukuřice byla nejvyšší intenzita infiltrace vody do půdy na variantě s orbou. Nižší, téměř shodné hodnoty, byly zaznamenány na variantě s mělkým kypřením půdy a přímým setím. Viz tab. 15 a obr. 26.

5.2.6 Statistické vyhodnocení výsledků infiltrace srážkové vody do půdy

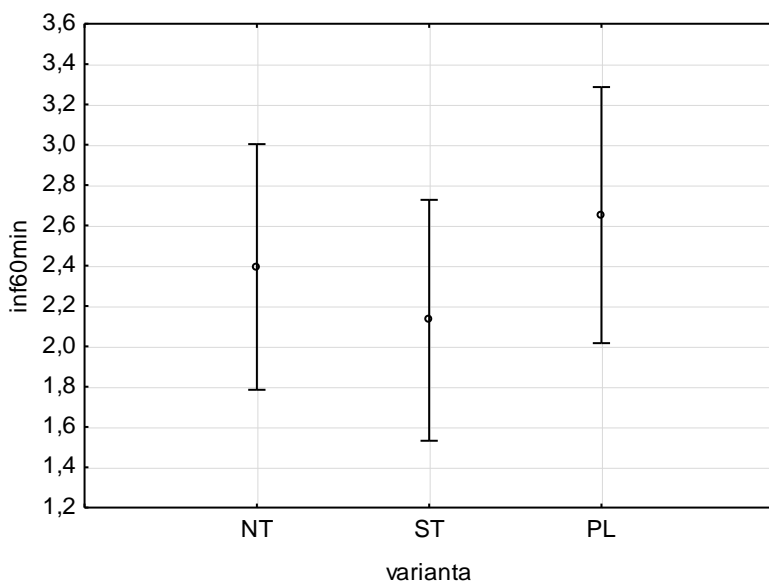
5.2.6.1 Vliv různého zpracování půdy na infiltraci srážkové vody do půdy



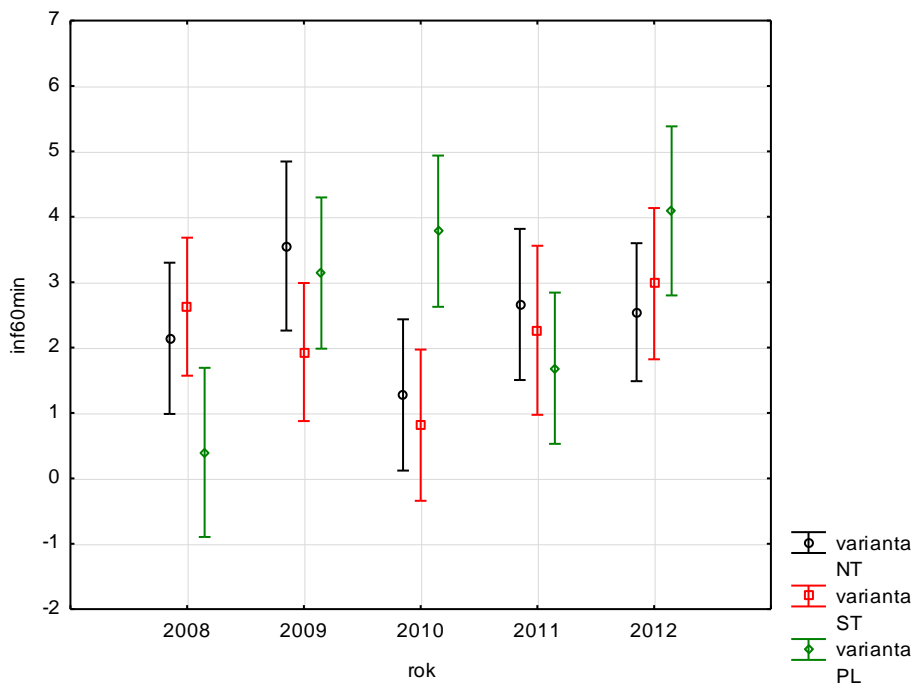
Obr. 27 Vliv různého zpracování půdy na infiltraci vody do půdy po 10 minutách



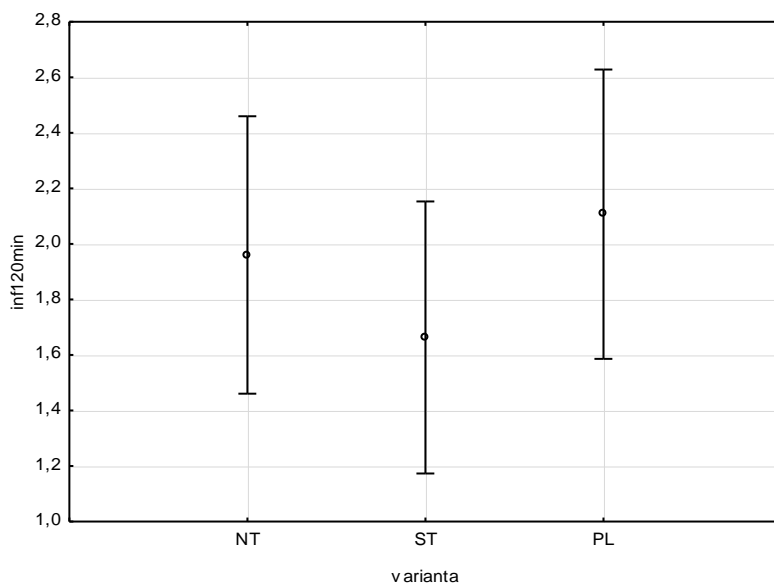
Obr. 28 Vliv různého zpracování půdy a ročníku na infiltraci vody do půdy po 10 minutách



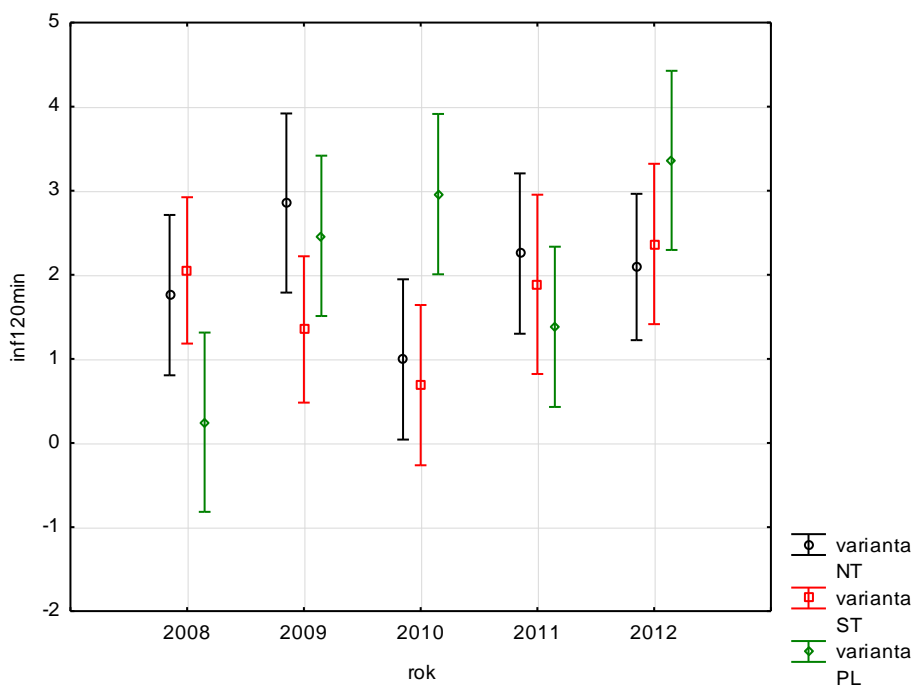
Obr. 29 Vliv různého zpracování půdy na infiltraci vody do půdy po 60 minutách



Obr. 30 Vliv různého zpracování půdy a ročníku na infiltraci vody do půdy po 60 minutách



Obr. 31 Vliv různého zpracování půdy na infiltraci vody do půdy po 120 minutách



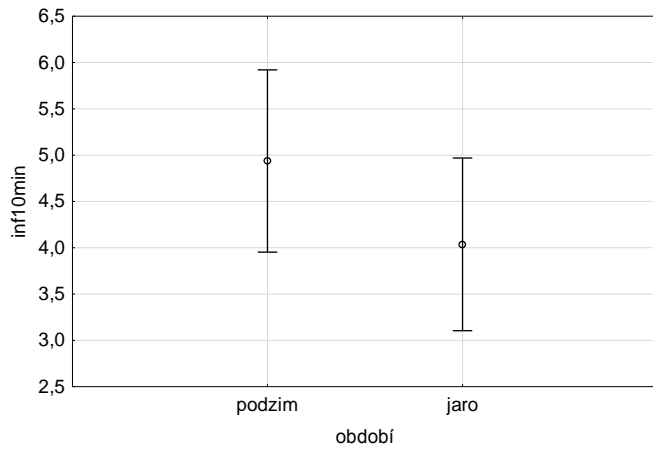
Obr. 32 Vliv různého zpracování půdy a ročníku na infiltraci vody do půdy po 120 minutách

Vliv různého zpracování půdy na intenzitu infiltrace vody do půdy po 10 minutách měření nebyl statisticky významný. Nejvyšší hodnoty intenzity infiltrace vykazovala varianta s orbou. následovalo mělké zpracování půdy a přímé setí do nezpracované půdy. Nejnižší infiltraci po přímém setí lze dát do vztahu s utuženějším povrchem půdy, který zpočátku měření brání rychlejšímu vsakování vody.

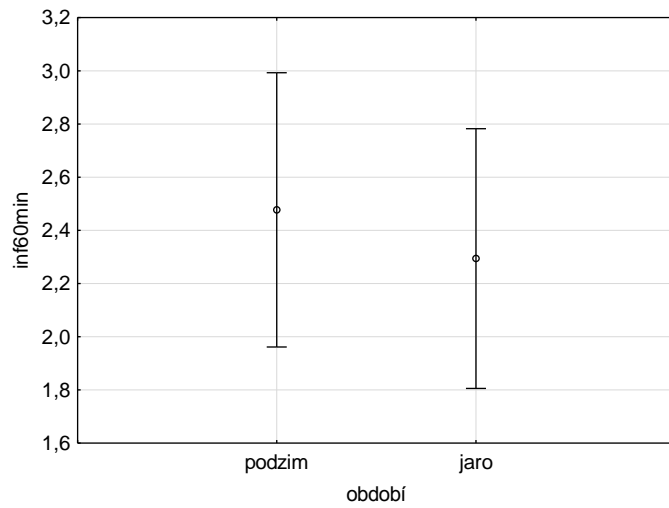
Také rozdíly v rychlosti infiltrace vody do půdy mezi variantami zpracování půdy nebyly po 60 a 120 minutách statisticky významné. Nejvyšší intenzita infiltrace byla zaznamenána na variantě s orbou, následovala varianta s přímým setí a nejnižší infiltrace byla naměřena po mělkém zpracování půdy.

Rychlost infiltrace závisí na utužení půdy, objemové hmotnosti, pórovitosti i na dalších faktorech. Vyšší hodnoty intenzity infiltrace vody do půdy na variantě s orbou lze dát do souvislosti s rychlejším vsakováním vody nakypřenou vrstvou půdy po orbě a následným vsakováním vody do hlubších vrstev půdy póry, které v půdě vznikají objemovými změnami a působením kořenů rostlin. Druhá nejvyšší rychlost infiltrace byla zaznamenána na variantě s přímým setím do nezpracované půdy. Důvod je možné hledat v absenci utuženějších vrstev v půdním profilu na této variantě (což názorně ukazují výsledky měření penetrometrického odporu půdy) a také ve výskytu přirozených makropórů, které se na této variantě vyskytují. Nejnižší rychlost infiltrace byla zaznamenána na variantě s mělkým kypřením půdy. Tato skutečnost může mít příčinu v přítomnosti utužené vrstvy půdy pod hloubkou jejího zpracování. Při měření penetrometrického odporu půdy byla tato utuženější vrstva viditelná (popsána v další části práce, kap. č. 5.3).

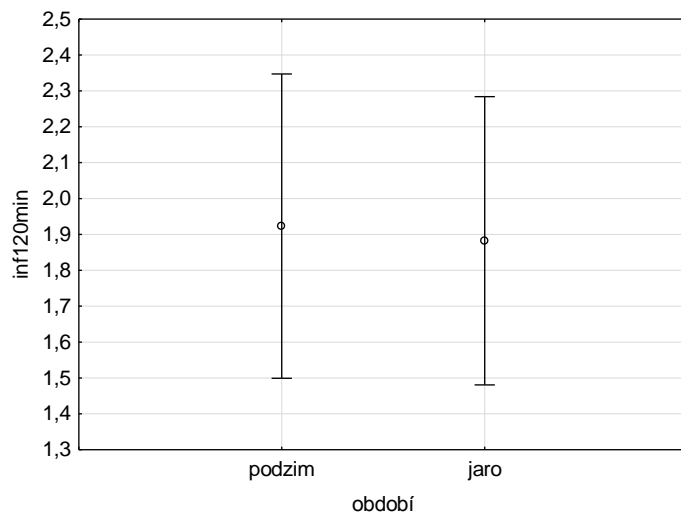
5.2.6.2 Vliv termínu měření na infiltraci srážkové vody do půdy



Obr. 33 Vliv termínu měření na intenzitu infiltrace vody do půdy po 10 minutách



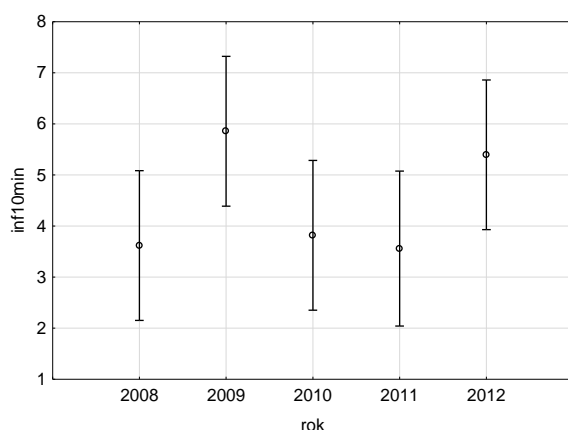
Obr. 34 Vliv termínu měření na intenzitu infiltrace vody do půdy po 60 minutách



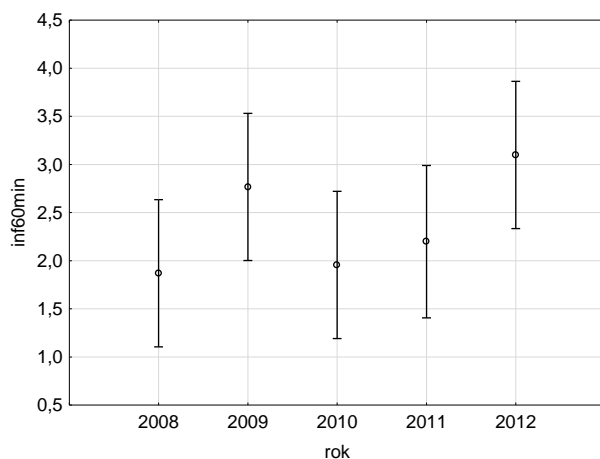
Obr. 35 Vliv termínu měření na intenzitu infiltrace vody do půdy po 120 minutách

Vliv termínu měření na infiltraci srážkové vody do půdy nebyl statisticky významný. Vyšší hodnoty intenzity infiltrace vody do půdy byly zjišťovány v podzimním období po sklizni kukuřice na zrno. Nejvyšší rozdíl mezi termíny měření byl zaznamenán po 10 minutách. Tento rozdíl může mít souvislost s půdní krustou, která se většinou v jarním období na půdě vytváří a brání určitou dobu vsakování vody do půdy. Z celkového pohledu, v jarním období, je většinou po zimě půda více zásobena vodou a to může mít za následek nižší infiltrační schopnost. Na podzim se v půdě, vlivem objemových změn během vegetace kukuřice vytváří různé trhliny a póry, kterými může voda rychleji odtékat. Určitý vliv lze rovněž přisuzovat makropórům po kořenech rostlin a žížalách.

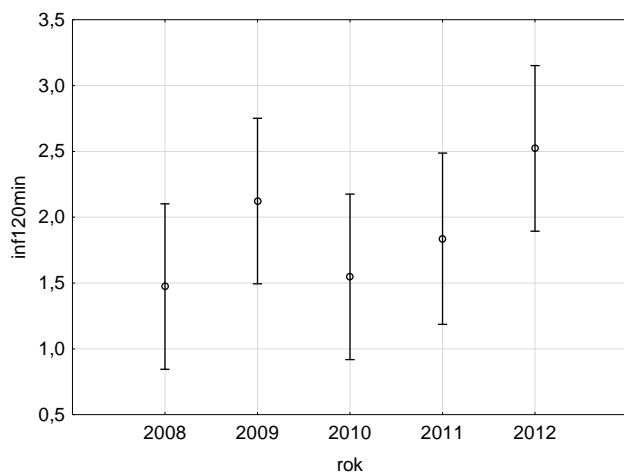
5.2.6.3 Vliv ročníku na infiltraci srážkové vody do půdy



Obr. 36 Vliv ročníku na intenzitu infiltrace vody do půdy po 10 minutách



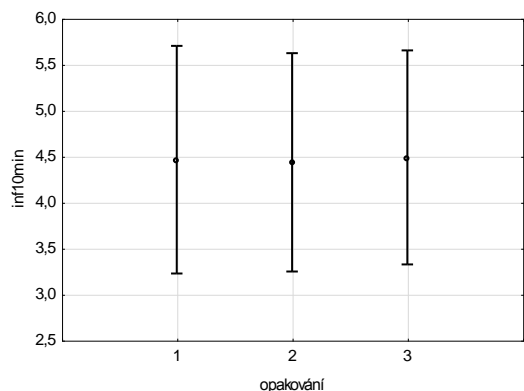
Obr. 37 Vliv ročníku na intenzitu infiltrace vody do půdy po 60 minutách



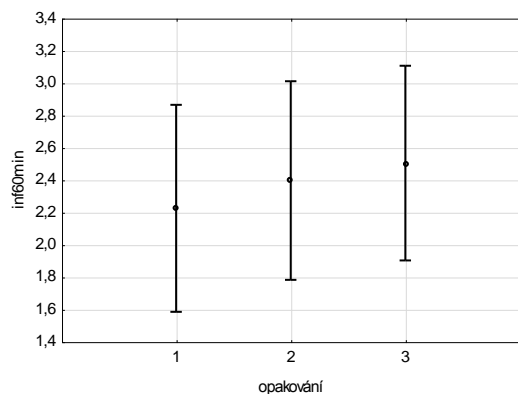
Obr. 38 Vliv ročníku na intenzitu infiltrace vody do půdy po 120 minutách

Rychlost infiltrace srážkové vody do půdy se v jednotlivých letech sledování lišila. Rozdíly nejsou statisticky významné. V každém ročníku je v půdě rozdílné množství vody a to má samozřejmě za následek rozdílné výsledky infiltrace vody do půdy. Také se vlivem objemových změn půdy tvoří rozdílné množství a struktura pórů, což se promítá v rychlosti infiltrace vody do půdy.

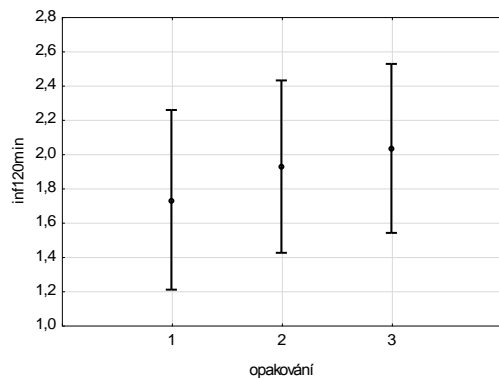
5.2.6.4 Vliv opakování na infiltraci srážkové vody do půdy



Obr. 39 Vliv opakování na intenzitu infiltrace vody do půdy po 10 minutách



Obr. 40 Vliv opakování na intenzitu infiltrace vody do půdy po 60 minutách

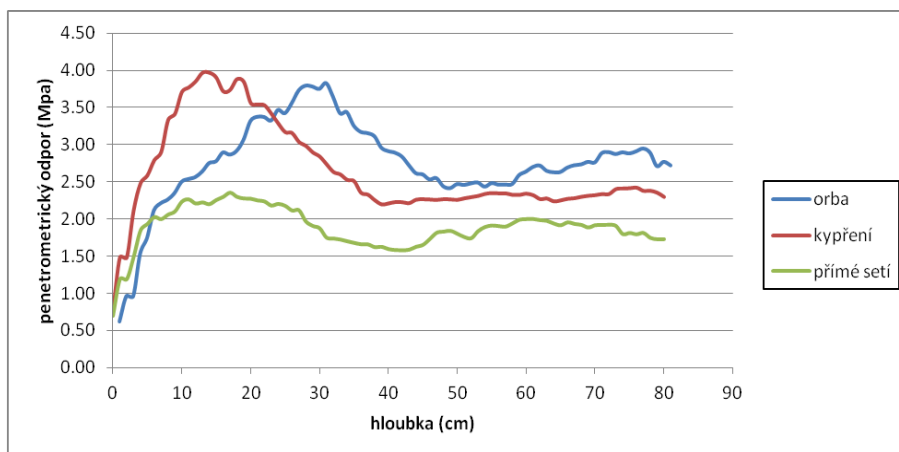


Obr. 41 Vliv opakování na intenzitu infiltrace vody do půdy po 120 minutách

Infiltrace vody do půdy byla vždy měřena ve třech opakování. Rozdíly v intenzitě infiltrace mezi opakováními nebyly statisticky významné.

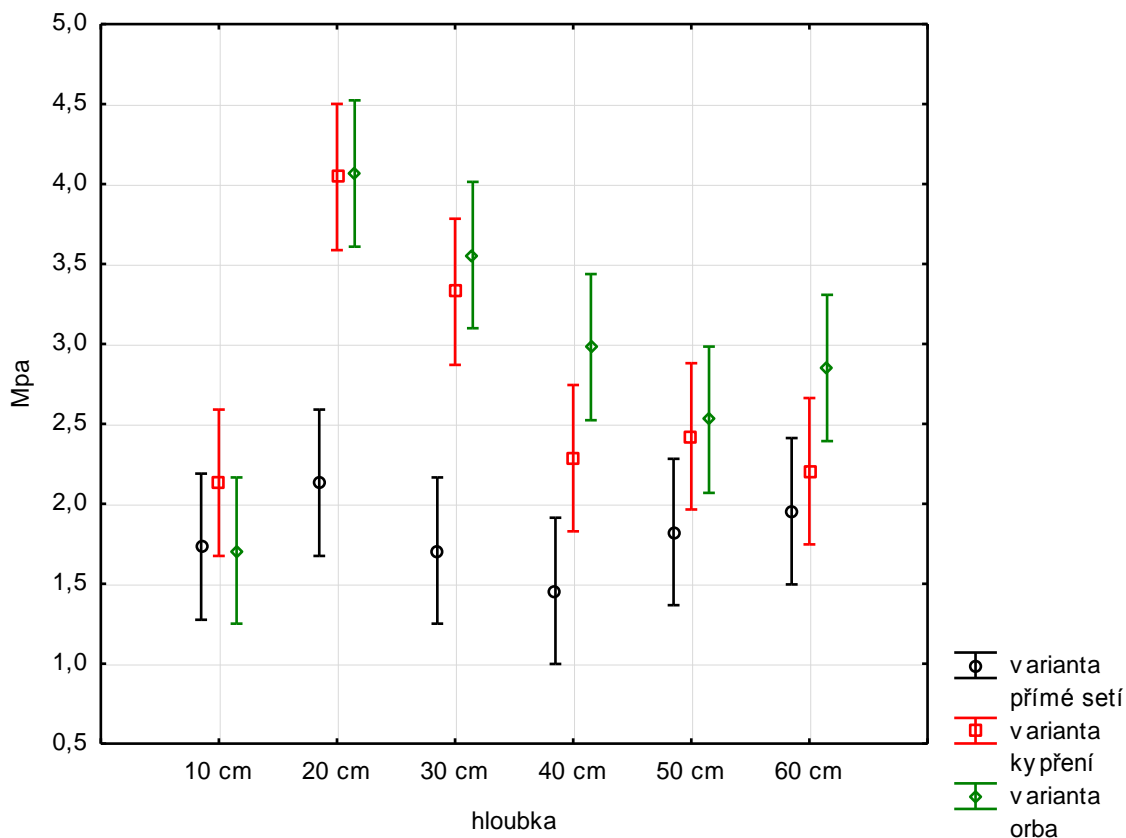
5.3 Penetrometrický odpor půdy

5.3.1 Penetrometrický odpor v roce 2008



Obr. 42 Penetrometrický odpor půdy při různém zpracování půdy v roce 2008

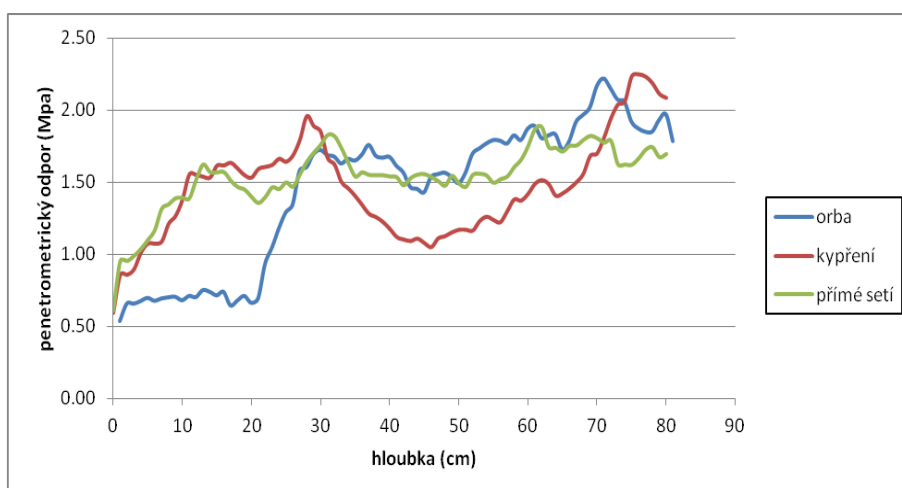
V roce 2008 byl penetrometrický odpor půdy do hloubky 0,05 m obdobný u všech variant zpracování půdy. Pod touto hloubkou penetrometrický odpor půdy nejvíce stoupal na variantě s mělkým kypřením a nejvyšší hodnoty dosáhl v hloubce pod zpracovávanou vrstvou půdy okolo 0,15 m. Na variantě s orbou bylo zaznamenáno zvýšení penetrometrického odporu půdy v hloubce okolo 0,30 m. Nejnižší hodnoty penetrometrického odporu v hloubce od 0,10 do 0,80 m vykazovala varianta s přímým setím do nezpracované půdy. Viz obr. 42.



Obr. 43 Vliv různého zpracování půdy na penetrometrický odpor půdy v půdním profilu

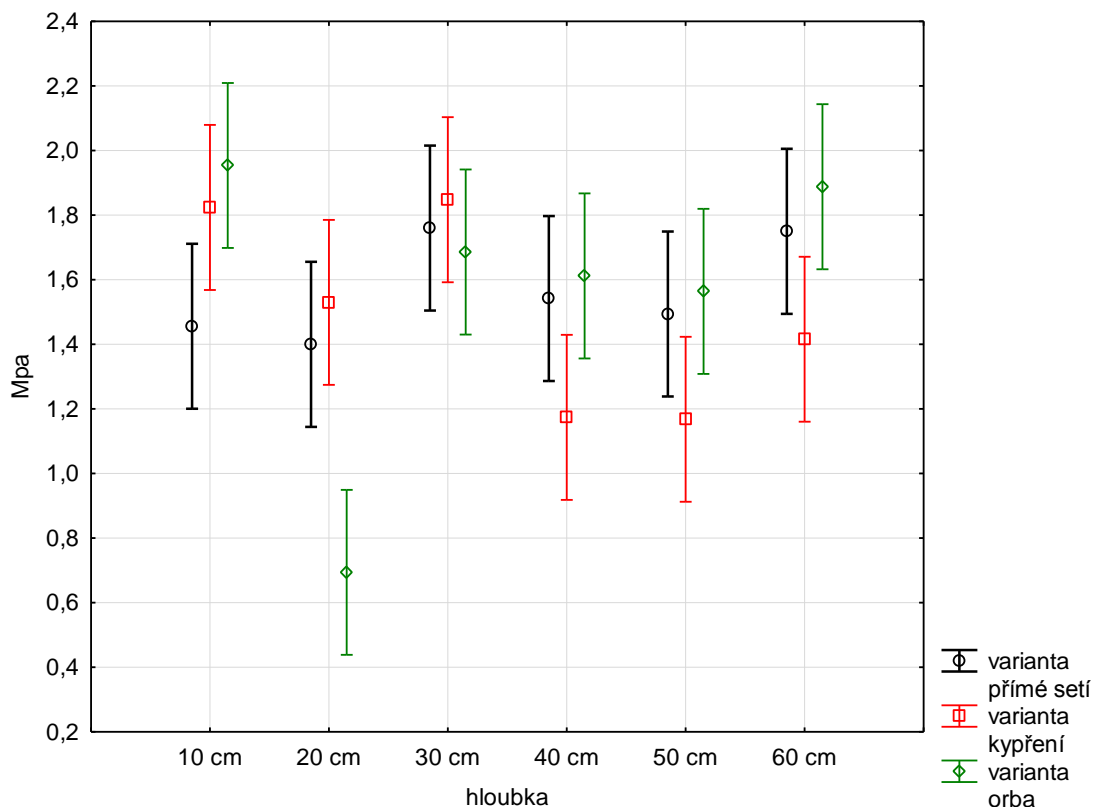
Varianta s přímým setím do nezpracované půdy vykazovala v hloubce měření 0,20 a 0,30 m oproti variantám s mělkým kypřením a orbou statisticky významně nižší hodnoty penetrometrického odporu půdy. V hloubce měření 0,40 m bylo zaznamenáno po přímém setí ve srovnání s orbou statisticky významně snížení penetrometrického odporu.

5.3.2 Penetrometrický odpor v roce 2009



Obr. 44 Penetrometrický odpor půdy při různé intenzitě zpracování půdy v roce 2009

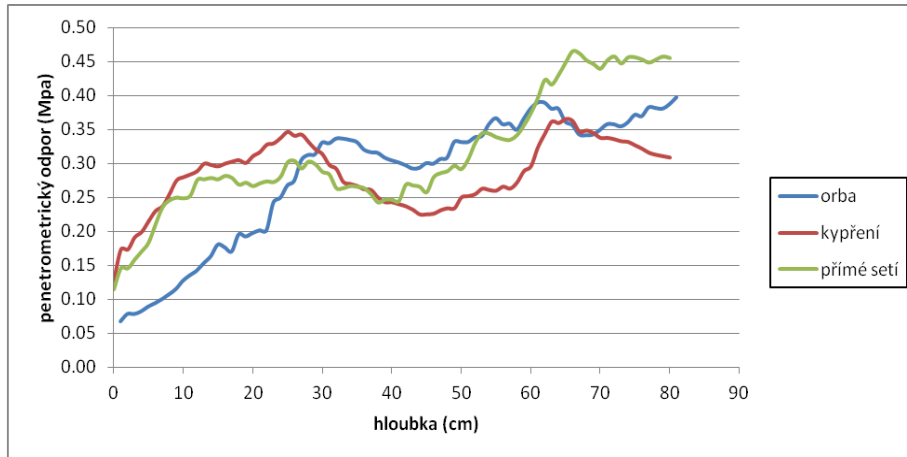
V roce 2009 byly celkově naměřeny nízké hodnoty penetrometrického odporu půdy. Nejnižší penetrometrický odpor v hloubce 0,00–0,20 m vykazovala varianta s orbou. U všech variant zpracování půdy došlo k navýšení penetrometrického odporu v hloubce okolo 0,30 m. U varianty s orbou a přímým setím bylo toto navýšení patrné až do hloubky 0,80 m. Na variantě s mělkým kypřením půdy bylo v hloubce půdy 0,40 – 0,70 m zaznamenáno snížení penetrometrického odporu.



Obr. 45 Vliv různého zpracování půdy na penetrometrický odpor půdy v půdním profilu

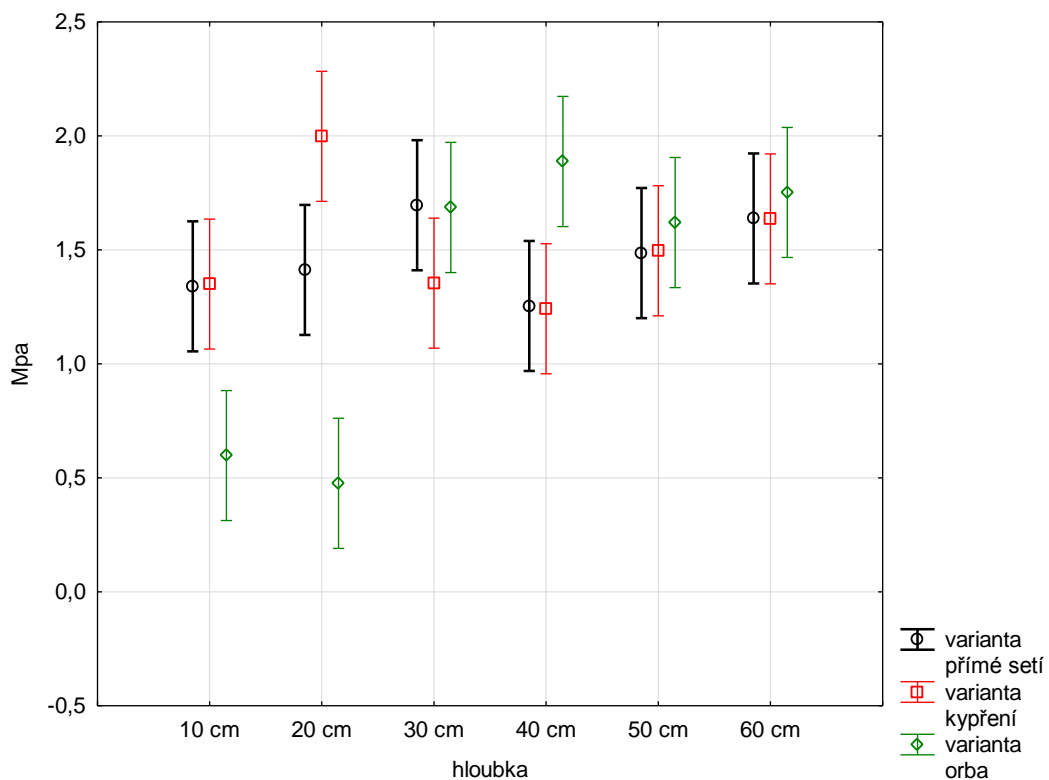
Statisticky významný rozdíl v hodnotách penetračního odporu půdy byl zaznamenán pouze v hloubce měření 0,20 m a to mezi variantou s orbou a variantami s mělkým kypřením půdy a přímým setím do nezpracované půdy.

5.3.3 Penetrometrický odpor v roce 2010



Obr. 46 Penetrometrický odpor půdy při různé intenzitě zpracování půdy v roce 2010

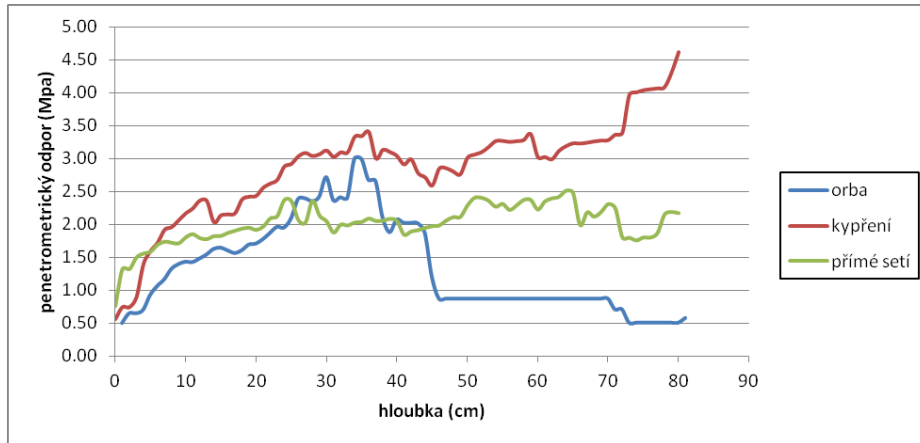
Hodnoty penetrometrického odporu v roce 2010 byly na velmi nízké úrovni. Ve vlivu zpracování půdy na penetrometrický odpor se zde projevily obdobné tendence jako v roce 2009.



Obr. 47 Vliv různého zpracování půdy na penetrometrický odpor půdy v půdním profilu

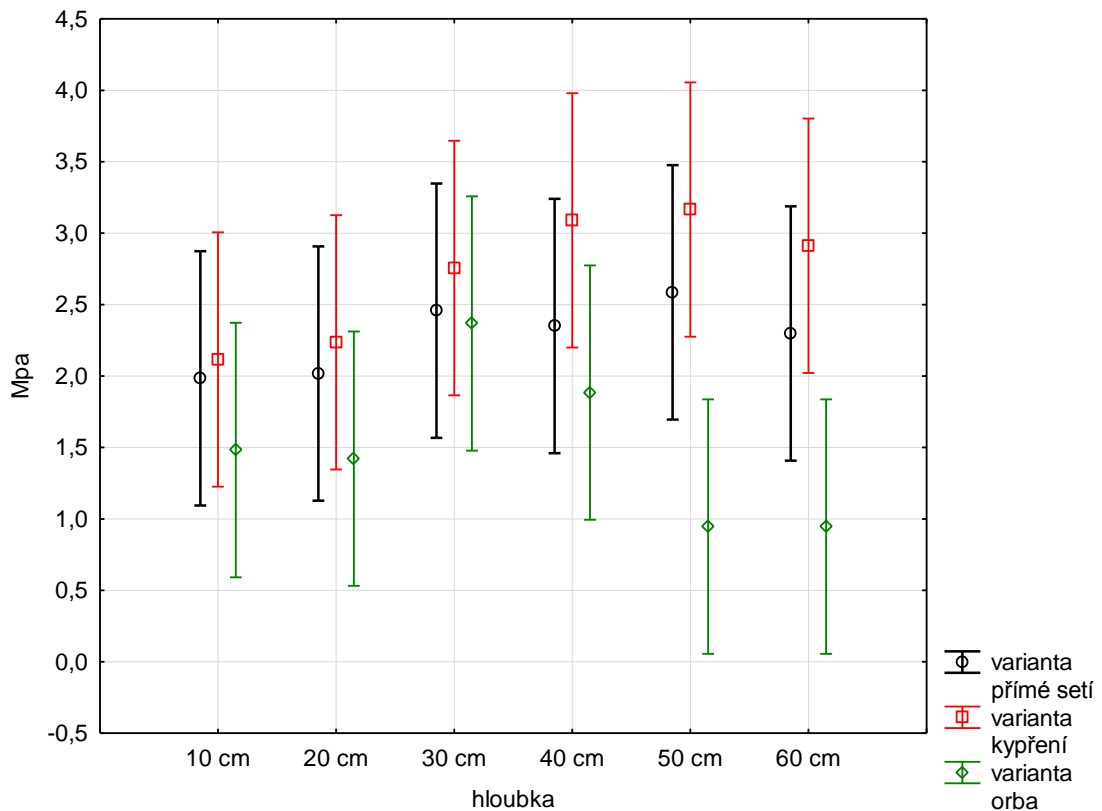
V hloubce měření 0,10, 0,20 a 0,40 m byl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl v penetrometrickém odporu mezi variantou s orbou a variantami s mělkým kypřením a přímým setím do nezpracované půdy.

5.3.4 Penetrometrický odpor v roce 2011



Obr. 48 Penetrometrický odpor půdy při různé intenzitě zpracování půdy v roce 2011

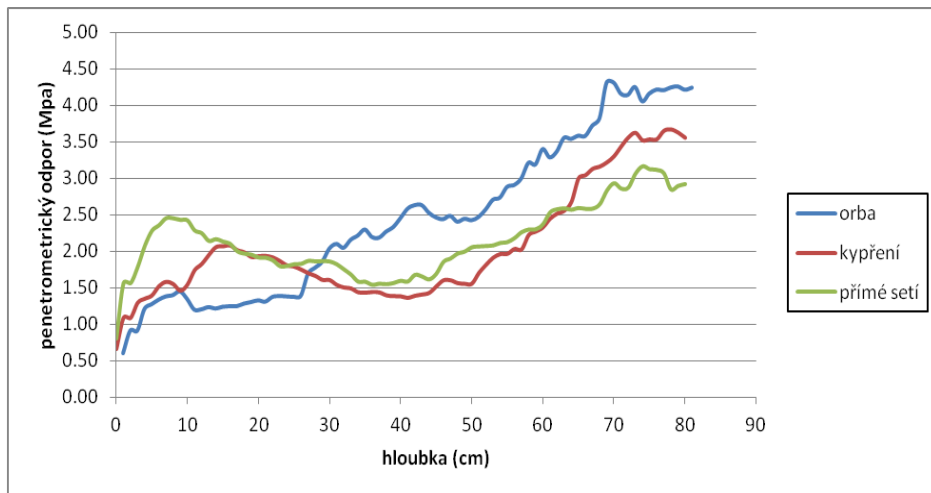
Nejvyšší penetrometrický odpor půdy v půdní vrstvě od 0,05 do 0,80 m vykazovala varianta s mělkým kypřením půdy. Nižší hodnoty penetrometrického odporu vykazovala varianta s orbou a přímým setím do nezpracované půdy. U varianty s orbou je patrné určité navýšení odporu půdy v půdní hloubce 0,25 – 0,35 m.



Obr. 49 Vliv různého zpracování půdy na penetrometrický odpor půdy v půdním profilu

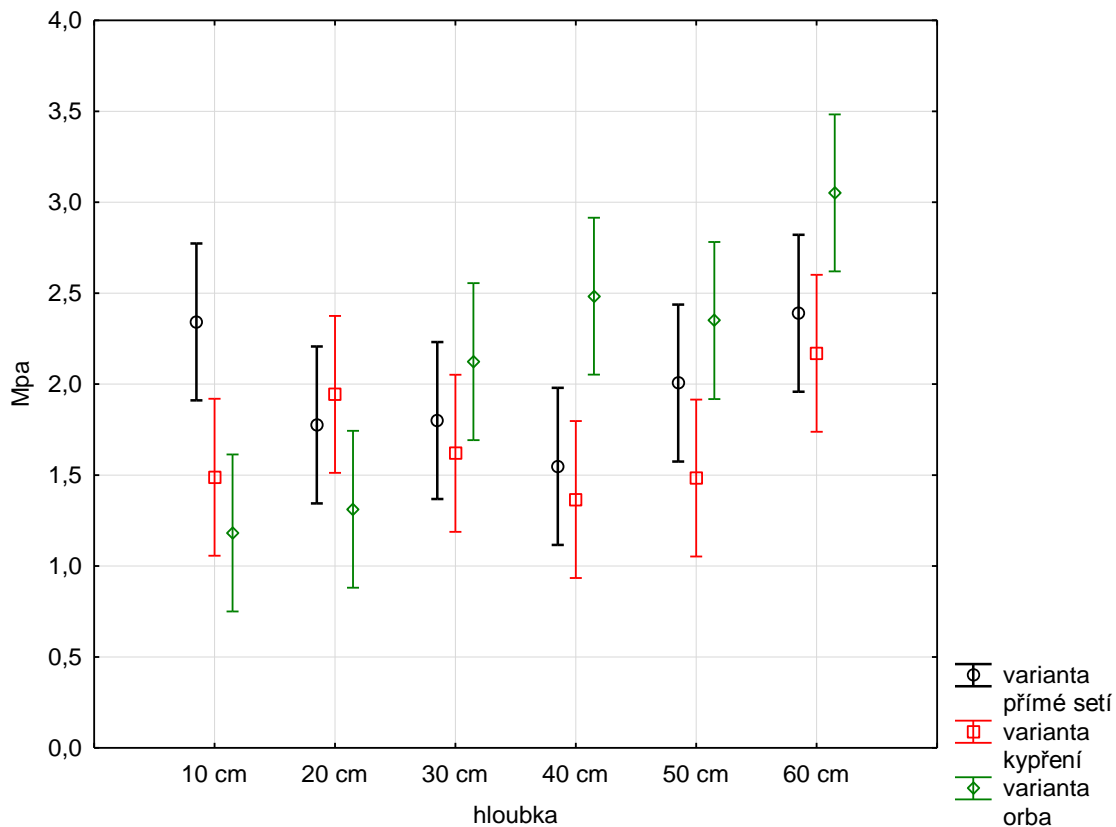
V roce 2011 byl zjištěn statisticky významný rozdíl v penetrometrickém odporu mezi variantami zpracování půdy pouze v hloubce 0,50 a 0,60 m, kdy varianta s orbou vykazovala oproti variantě s mělkým kypřením půdy statisticky významně nižší hodnoty penetrometrického odporu půdy. V hloubce měření 0,50 m byl statisticky významný rozdíl mezi variantami orba a kypření. V hloubce měření 0,60 m byl statisticky významný rozdíl také mezi variantami zpracování půdy orbou a kypřením.

5.3.5 Penetrometrický odpor v roce 2012



Obr. 50 Penetrometrický odpor půdy při různé intenzitě zpracování půdy v roce 2012

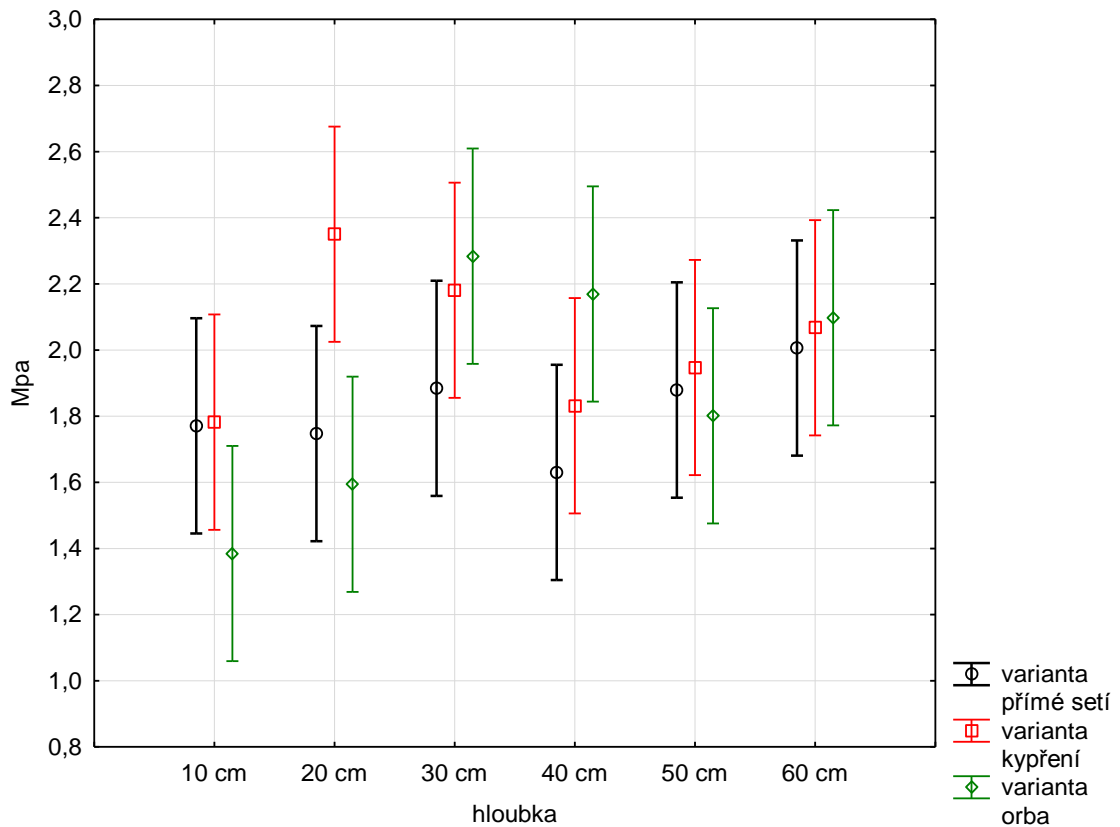
U varianty bez zpracování půdy byl v roce 2012 zaznamenán ve vrchní vrstvě půdy vyšší penetrometrický odpor ve srovnání orbou a mělkým kypřením. U varianty s mělkým kypřením půdy bylo zjištěno zvýšení půdního odporu v hloubce 0,10–0,20 m. U varianty s orbou docházelo od hloubky 0,25 m do hloubky 80 cm k postupnému navýšování penetrometrického odporu.



Obr. 51 Vliv různého zpracování půdy na penetrometrický odpor půdy v půdním profilu

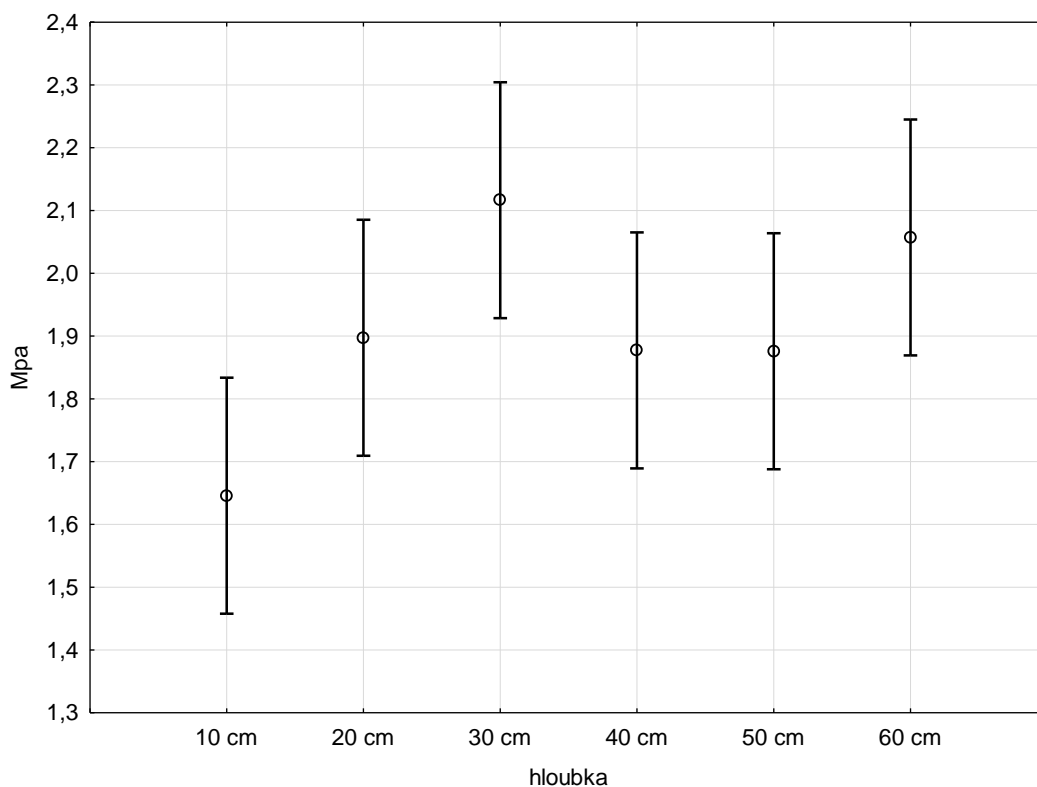
V roce 2012 byl v hloubce půdy 0,10 m zaznamenán statisticky významný rozdíl v penetrometrickém odporu mezi variantou s přímým setím a orbou. V hloubce měření 0,40 m byl statisticky významný rozdíl mezi variantou s orbou a variantami s přímým setím a mělkým kypřením půdy.

5.3.6 Penetrometrický odpor v letech 2008 – 2012



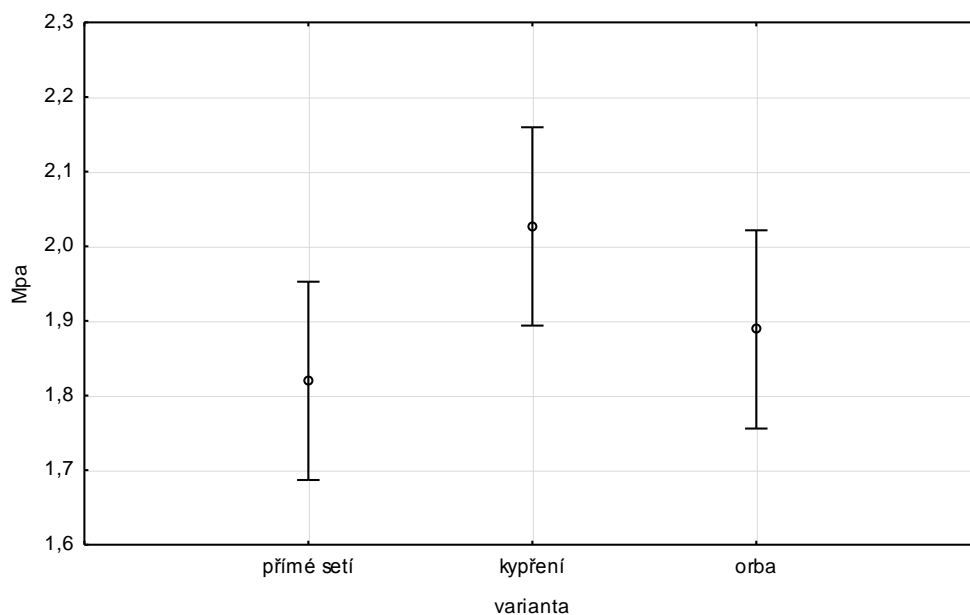
Obr. 52 Vliv různého zpracování půdy na penetrometrický odpor půdy v půdním profilu v letech 2008 - 2012

Statisticky průkazný rozdíl mezi variantami zpracování půdy v průměru za všechny roky měření je pouze v hloubce měření 0,20 m, a to mezi variantou s mělkým kypřením a orbou. Varianta s mělkým kypřením půdy vykazuje v této půdní vrstvě vyšší hodnoty penetrometrického odporu. Vyšší penetrometrický odpor je to logické, neboť v této hloubce ornice na variantě zpracování půdy kypřením, se půda již nezpracovává a navíc je to vrstva, která je právě pod zpracovávanou vrstvou ornice kypřením, kdežto na variantě orba je tato vrstva půdy ještě intenzivně kypřena.



Obr. 53 Vliv hloubky měření na penetrometrický odpor půdy v letech 2008-2012

Nejvyšší penetrometrický odpor půdy byl zaznamenán v hloubce půdy 0,30 a 0,60 m. V hloubce 0,30 m je to z důvodu hloubky, která je pod zpracovávanou vrstvou orbou 0,22 m a kypřením 0,12 m. V hloubce 0,60 m dochází k nárůstu penetrometrického odporu z hlediska dlouhodobé absence jakéhokoliv kypření do takové hloubky, a také přejezdy těžkou mechanizační technikou, která utužuje půdu ve větších hloubkách.



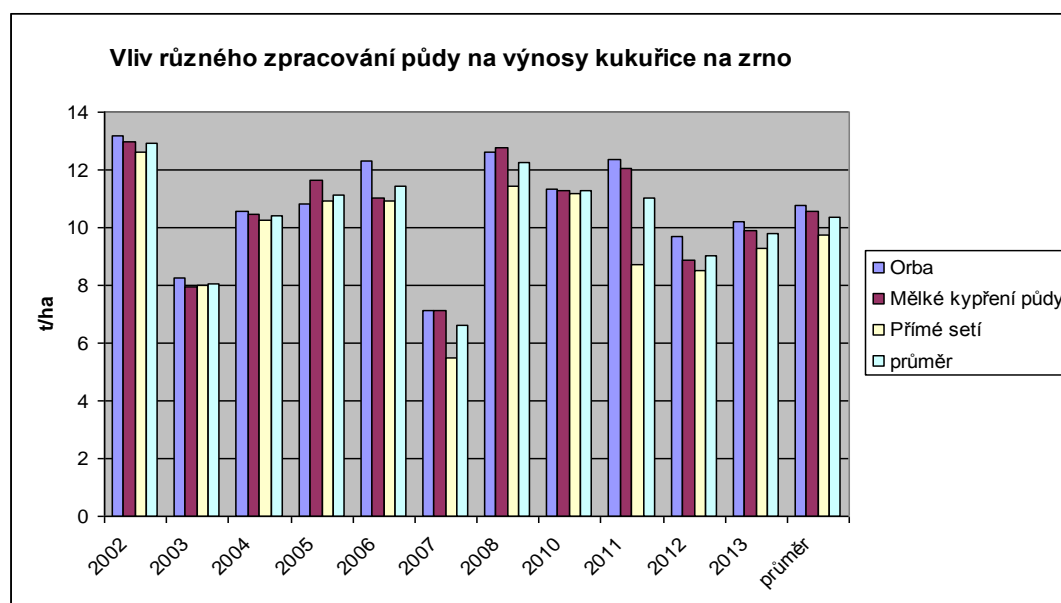
Obr. 54 Vliv různého zpracování půdy na penetrometrický odpor půdy v letech 2008 - 2012

V průměru celého půdního profilu je průměrný penetrometrický odpor půdy nejvyšší na variantě s mělkým kypřením půdy a nejnižší na variantě s přímým setím do nezpracované půdy. To je způsobeno asi tím, že se na této variantě půda vůbec nekypří a čím méně je půda nakypřená, tím méně je náchylná na následné zhutnění a vytvoření utužených vrstev s vyšším penetrometrickým odporem. Průměrné hodnoty penetrometrického odporu půdy jsou na všech třech variantách zpracování půdy nízké. Většinou se pohybují kolem 2 Mpa. Takové hodnoty utužení půdy by neměly negativně působit na tvorbu výnosu polních plodin.

5.4 Výnosy a vlhkost zrna kukuřice na zrna

Tab. 16 Výnosy kukuřice na zrna 2002–2013 ($t \cdot ha^{-1}$)

Varianta/rok	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2013	Průměr
Orba	13,17	8,24	10,56	10,8	12,32	7,13	12,62	11,31	12,35	9,68	10,2	10,76
Mělké kypření půdy	12,98	7,97	10,44	11,65	11,03	7,15	12,77	11,26	12,05	8,85	9,89	10,55
Přímé setí	12,61	7,99	10,27	10,94	10,91	5,5	11,44	11,2	8,71	8,52	9,26	9,76
Průměr	12,92	8,07	10,42	11,13	11,42	6,59	12,28	11,26	11,04	9,02	9,78	10,36



Obr. 55 Výnosy kukuřice na zrna ($t \cdot ha^{-1}$)

V průměru za jedenáct let sledování byl rozdíl ve výnosu kukuřice na zrna mezi variantami se zpracováním půdy orbou na 0,22 m a mělkým zpracováním půdy talířovým nářadím na 0,10-0,12 m malý, statisticky nevýznamný. Po orbě byl dosažen výnos $10,76 t \cdot ha^{-1}$ a po mělkém zpracování půdy $10,55 t \cdot ha^{-1}$. Nejnižší průměrný výnos byl po přímém setí do nezpracované půdy ($9,76 t \cdot ha^{-1}$). Větší pokles výnosů na této

variantě (ve srovnání s orbou a mělkým zpracováním půdy) byl zaznamenán v roce 2007 a 2011. Tuto skutečnost lze dát do souvislosti s nadprůměrnými srážkami v době zakládání porostu a počátečního růstu kukuřice v těchto letech a s tím související nadměrnou půdní vlhkostí na variantě bez zpracování půdy. Za této situace je v půdě nedostatek vzduchu a půda se pomalu prohřívá, což následně negativně ovlivňuje řadu dalších procesů, které mají úzkou vazbu k růstu rostlin. Při přímém setí do nezpracované půdy vznikají, v souvislosti s vyšším množstvím organických zbytků na povrchu půdy, rovněž problémy s kvalitou založení porostu kukuřice a s účinností herbicidů. Výsledky sledování v daných podmínkách celkově ukazují na možnost využití mělkého zpracování půdy ke kukuřici na zrno při jejím opakovaném pěstování.

Tab. 17 Vlhkost kukuřice na zrno 2002–2013 (%)

Rok	Orba	Mělké kypření půdy	Přímé setí	Průměr
2002	27,7	31,0	31,3	30,0
2003	18,5	18,6	22,0	19,7
2004	29,9	31,0	32,0	31,0
2005	24,6	27,7	30,5	27,6
2006	27,1	27,6	30,4	28,4
2007	23,0	30,4	36,5	30,0
2008	24,2	25,1	28,2	25,8
2010	28,1	28,5	27,7	28,1
2011	25,3	26,0	29,5	26,9
2012	21,5	21,9	27,3	23,6
2013	27,5	29,2	32,9	29,9
průměr	25,2	27,0	29,8	27,4

Volba způsobu zpracování půdy má vliv i na vlhkost zrna při sklizni zrnové kukuřice. Naměřené hodnoty ukazují, že minimalizační způsoby zpracování půdy zvyšují vlhkost zrna kukuřice. Nejnižší vlhkost zrna byla naměřena na variantě s orbou, naopak nejvyšší vlhkost byla zjištěna na variantě s přímým setím do nezpracované půdy.

6 Diskuse

6.1 Fyzikální vlastnosti půdy

Vztah fyzikálního stavu půdy a zpracovatelských zásahů je oboustranný. Dobrá znalost fyzikálních poměrů půdy v konkrétních podmínkách umožňuje vhodnou volbu technologie jejího zpracování (Hůla, Procházková a kol., 2008).

Změny vyvolané zpracováním půdy se nejnápadněji dotýkají objemové hmotnosti, která ovlivňuje celý komplex fyzikálních vlastností půdy (Fulajtár, 1986). Celková pórovitost půdy je zrcadlovým obrazem objemové hmotnosti. V naprosté většině případů s objemovou hmotností půdy velmi úzce koreluje. Většina autorů uvádí, že se snižováním intenzity zpracování půdy dochází ke zvyšování objemové hmotnosti a snižování celkové pórovitosti půdy (Sprague a Triplett, 1986; Azooz a Arshad, 1997; Raus, 2000; Hůla, Procházková a kol., 2002; 2008 a další).

S vyšším objemem kapilárních pórů u bezorebných technologií souvisí vyšší vododržnost a retenční schopnost půdy a tím i většinou zjišťovaná vyšší momentální vlhkost půdy. Tato skutečnost, která se zdá být pro bezorebné technologie obecná, je kromě vyššího obsahu kapilárních pórů přičítána i ke snížení ztrát vody zanecháním posklizňových zbytků rostlin na povrchu půdy. Tyto výsledky uvádí více autorů (Gantzer a Blake, 1978; Philips, 1980; Horsch, 1990; Šabatka, 1998; Horáček et al., 1999; Houšť et al., 2011 a další). Všeobecně vyšší obsah vody při bezorebném zpracování půdy je považován za příznivý, avšak v některých případech může být nežádoucí, zejména na těžších, málo propustných půdách v humidnějších oblastech (Miština, Kováč a kol., 1993).

Výsledky našich sledování potvrzují zvyšování objemové hmotnosti a snižování celkové pórovitosti půdy s klesající intenzitou jejího zpracování. Nejvyšší objemová hmotnost a nejnižší celková pórovitost byly zaznamenány na variantě s přímým setím do nezpracované půdy. Naopak varianta s orbou vykazovala nejnižší objemovou hmotnost a nejvyšší celkovou pórovitost. Rozdíly v hodnotách objemové hmotnosti a celkové pórovitosti půdy mezi těmito krajními variantami byly ve všech sledovaných letech statisticky významné. Varianta s přímým setím do nezpracované půdy vykazovala oproti variantě s orbou a mělkým kypřením půdy i významné snížení hodnot minimální vzdušné kapacity půdy. Výsledky také ukazují na určitou tendenci ke zvyšování objemové vlhkosti půdy se snižující se intenzitou jejího zpracování. V daných suchých a teplých podmínkách kukuřičné výrobní oblasti, kde se obsah půdní vody stává limitujícím faktorem výše a stability výnosů, je každé opatření vedoucí ke zvýšení obsahu vody v půdě přínosné.

6.2 Infiltrace srážkové vody do půdy

Výzkumem infiltrace srážkové vody do půdy, erozí a ochranou před ní se zabývají odborníci na celém světě. Vsakování neboli infiltrace vody do půdy ovlivňuje značnou měrou vodní režim půdy, intenzitu povrchového odtoku a zásoby podzemní vody. Infiltrace vody do půdy má velký význam pro využití srážkové vody pro rostliny (Kutílek, 1966).

Infiltrace vody do půdy je přímo úměrná stabilitě půdní struktury (Tisdall a Adem 1986), velikosti, objemu a struktuře pórů (Patel a Singh 1981; Ankeny et al., 1990). Struktura povrchové vrstvy podstatným způsobem ovlivňuje rychlost vsakování vody do půdy a má tedy rozhodující vliv na vznik povrchového odtoku a tím i na erozi půdy (Tippl et al., 2001).

Způsob zpracování půdy podstatně ovlivňuje propustnost půdy pro vodu. Dlouhodobé redukované nebo naopak konvenční zpracování půdy může změnit objem pórů, stabilitu strukturních agregátů a obsah organické hmoty. Spolu s tím se mohou měnit půdní vlastnosti ovlivňující infiltrační schopnost půdy a pohyb půdní vody (Drees et al., 1994; Lal et al., 1994; Singh et al., 1994).

Většina autorů uvádí pozitivní vliv minimalizačních technologií na infiltraci srážkové vody do půdy (Shipitalo et al., 2000; Truman et al., 2005; Tippl et al., 2001; Rasmussen, 1999; Azooz a Arshad, 1996). Výsledky řady pokusů ukazují, že i když je objemová hmotnost vyšší a pórovitost nižší při redukovaném než při konvenčním zpracování, je infiltrace na redukovaně zpracovávaných půdách stejná nebo větší než na oraných půdách. Příčinu je možné hledat ve větší stabilitě půdní struktury při redukovaném zpracování půdy, ve vzrůstu počtu půdních organismů (zejména žížal), které vytvářeli kanálky spojené s povrchem půdy a s existencí makropórů po kořincích rostlin (Ehlers, 1975; Sauer et al., 1990; Meek et al., 1990).

V našich sledováních byl (kromě extrémně vlhkého roku 2010) vliv různého zpracování půdy na rychlost infiltrace vody do půdy statisticky nevýznamný. V průměru byla infiltrace vody do půdy nejvyšší na variantě s orbou a dále na variantě s přímým setím do nezpracované půdy. Nejnižší rychlost infiltrace vykazovala varianta s mělkým zpracováním půdy. Tato skutečnost může mít příčinu v přítomnosti utuženější vrstvy půdy pod hloubkou jejího zpracování.

Vliv různé intenzity zpracování půdy na infiltraci vody do půdy byl v jednotlivých letech rozdílný. V suchém roce 2008 i 2011 byla na minimalizačních variantách (po mělkém zpracování a po setí do nezpracované půdy) ve srovnání s orbou zaznamenána vyšší rychlost infiltrace vody do půdy. Naopak v extrémně vlhkém roce 2010 byla zjišťována po celou dobu měření statisticky významně vyšší rychlost infiltrace na variantě s orbou. Na základě těchto zjištění lze předpokládat určitý vztah mezi vlhkostními poměry půdy (provlhčením celého půdního profilu) a vlivem různé intenzity jejího zpracování na rychlost infiltrace vody do půdy.

6.3 Penetrometrický odpor půdy

Zhutňování půdy se především negativně projevuje zvýšením objemové hmotnosti půdy a má za následek snížení objemu nekapilárních pórů v půdě, při vyšší intenzitě zhutnění i destrukci půdních agregátů. Snížení pórovitosti půdy se promítá do omezené propustnosti půdy pro vodu. To znamená, že nadměrné zhutnění způsobuje nejen změny v obsahu vody v půdě, ale také omezuje její pohyb v půdě. To snižuje dostupnost živin pro rostliny a ovlivňuje i relace mezi obsahem vzduchu (deficit kyslíku v kořenovém prostoru) a teplotou půdy (Hůla a kol., 2010).

Zhutnění půd je na mnohých stanovištích příčinou významného zhoršení produkční schopnosti půd. Příčin nežádoucího zhutňování půd je více, na některých stanovištích může zhutnění ornice souviset s orbou opakovaně na stejnou hloubku i s víceletým využíváním minimalizace zpracování půdy založené na mělkém kypření. Nadměrné utužení půdy má samozřejmě negativní dopad na růst a vývoj kořenového systému rostlin, a tím snižuje výnos polních plodin. Lhotský (2000) uvádí, že zhruba 45 % plochy zemědělské půdy v ČR je ohroženo nežádoucím zhutněním. Pouze 15 % těchto ploch je důsledkem genetických vlastností půdy. Zbytek je převážně důsledek neuvážené lidské činnosti a nevhodného zpracování půdy.

V našich sledováních bylo po 11-ti letech opakovaném používání technologií zpracování půdy zaznamenáno zvýšení penetračního odporu půdy pod hloubkou jejího zpracování. Na variantě s mělkým kypřením půdy v hloubce 0,10-0,20 m, na variantě s orbou byl ve srovnání s minimalizačními technologiemi penetrometrický odpor půdy do hloubky 0,30 m nejnižší a v půdní vrstvě 0,30-0,80 nejvyšší. V průměru za všechny roky sledování (2008-2012) byl zaznamenán statisticky významný rozdíl v hodnotách penetrometrického odporu pouze v hloubce měření 0,20 m a to mezi variantou s mělkým kypřením půdy a orbou. Zvýšení penetrometrického odporu půdy u varianty s mělkým kypřením lze zde dát do souvislosti s vyšším utužením půdy pod hloubkou jejího zpracování. Zjišťované nižší hodnoty penetračního odporu půdy od hloubky 0,30 m na variantách s mělkým zpracováním půdy a s přímým setím do nezpracované půdy v porovnání s orbou odpovídají výsledkům Javůrka a Vacha (2003), kteří uvádí redukci zhutnění půdy v podorničí při víceletém opakovaném používání minimalizačních technologií.

6.4 Výnosy kukuřice na zrno

Minimalizační technologie zpracování půdy a zakládání porostů jsou významnou alternativou konvenčního zpracování půdy s použitím orby. Vliv různé intenzity zpracování půdy a managementu posklizňových zbytků na výnosy kukuřice na zrno je do značné míry závislý na půdních a klimatických podmínkách. V suchých a teplých podmínkách jsou při používání minimalizačních technologií dosahovány stejné nebo i vyšší výnosy. Naopak v chladnějších a vlhčích povětrnostních podmínkách je výnosová reakce kukuřice na redukci hloubky a intenzity zpracování půdy spíše negativní (Cox et al., 1990; Cannel a Hawes, 1994; Carter et al., 2002 a další).

Výsledky našich sledování celkově ukazují na možnost využití mělkého zpracování půdy ke kukuřici na zrno při jejím opakovaném pěstování na úrodné hnědozemí půdě v kukuřičné výrobní oblasti. Při přímém setí do nezpracované půdy vznikají v souvislosti s vyšším množstvím organických zbytků na povrchu půdy problémy s kvalitou založení porostu kukuřice i s vyšším zaplevelením porostů.

7 Závěr

Cílem disertační práce bylo vyhodnocení vlivu variantních technologických postupů zpracování půdy na fyzikální a hydrofyzikální vlastnosti půdy a na výnosy kukuřice na zrno. Sledování probíhalo v rámci dlouhodobého stacionárního polního pokusu vedeného od roku 2001 na hlinité hnědozemní půdě v kukuřičné výrobní oblasti na pozemku zemědělského podniku Agroservis 1. zemědělská a.s. Višňové. Hodnoceny byly tři způsoby zpracování půdy: (1) orba na 0,22 m; (2) mělké zpracování půdy talířovým nářadím na 0,10–0,12 m (kypření); (3) setí do nezpracované půdy.

Sledován byl vliv různého zpracování půdy na základní fyzikální vlastnosti, infiltraci vody, penetrometrický odpor půdy a na výnosy kukuřice na zrno při jejím opakovaném pěstování.

Ze základních fyzikálních vlastností byly hodnoceny objemová hmotnost, celková pórovitost, minimální vzdušná kapacita a objemová vlhkost půdy. S klesající intenzitou zpracování půdy docházelo ke statisticky významnému zvyšování objemové hmotnosti a snižování celkové pórovitosti půdy. Nejvyšší hodnoty objemové hmotnosti půdy byly zjišťovány po setí do nezpracované půdy. Celková pórovitost byla nejvyšší u technologie zpracování půdy orbou. Nejnižší minimální vzdušná kapacita byla zaznamenána po přímém setí do nezpracované půdy. Nejvyšší objemová vlhkost byla na variantě se setím do nezpracované půdy a nejnižší na variantě s orbou.

Vliv různého zpracování na infiltraci vody do půdy byl (kromě extrémně vlhkého roku 2010) statisticky nevýznamný. V jednotlivých letech se projevoval rozdílně. V suchých letech (2008 a 2011) byla vyšší rychlost infiltrace na minimalizačních variantách, v extrémně vlhkém roce 2010 na variantě s orbou. V průměru sledování byla nejvyšší intenzita infiltrace na variantě s orbou a nejnižší na variantě s mělkým zpracováním půdy.

Penetrometrický odpor půdy byl vždy vyšší pod zpracovávanou vrstvou půdy, kde se tvoří utuženější vrstva. Na minimalizačních variantách byly, v porovnání s orbou, od hloubky půdy 0,30 m zaznamenávány nižší hodnoty penetračního odporu půdy.

Vliv různého zpracování půdy na výnosy kukuřice na zrno byl statisticky nevýznamný. V průměru byl dosažen nejvyšší výnos po orbě ($10,76 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a dále po mělkém zpracování půdy ($10,55 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Nejnižší výnos byl po přímém setí kukuřice do nezpracované půdy ($9,76 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Výsledky sledování v daných podmínkách ukazují na možnost využití oproti orbě ekonomicky výhodnějšího mělkého zpracování půdy ke kukuřici na zrno. Při opakovaném mělkém zpracování půdy je však potřeba počítat s eliminací vznikající utuženější vrstvy půdy pod hloubkou jejího zpracování hlubším prokypřením.

8 Seznam literatury

- ADAMCHUK V.I., CHRISTENSON, P.T., 2005: An integrated system for mapping soil physical properties on-the-go: the mechanical sensing component. In Stafford J. (Ed.) *Precision Agriculture: Papers from the Fifth European Conference on Precision Agriculture*, (Uppsala, Sweden, June 2005). Wageningen, The Netherlands: Wageningen Academic Publishers: 449-456.
- AKINYEMI J.O., ADEDEJI A.O., 2004: Water Infiltration Under No-tillage, Minimum Tillage and Conventional Tillage Systems on a Sandy Loam Alfisols. *ASAE/CSAE Annual International Meeting, Paper Number: 042111*.
- AL-DARBY M.A., LOWERY B. (1987): *Seed zone soil temperature and early corn growth with three conservation tillage systems. Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51: 768-774.
- ALEGRE J.C., CASSEL D.K., AMEZQUITA E. (1991): Tillage systems and soil properties in Latin America. *Soil & Tillage Research*, 20: 147-163.
- ANKENY M.D., KASPAR T.C., HORTON R., 1990: Charakterization of tillage and traffic effect on unconfined infiltration measurements. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54: 837-840.
- ARSHAD M.A., FRANZLUEBBERS A.J., AZOOZ R.H., 1997: Long-term tillage effects on soil structure, hydraulic properties and organic matter in Northwestern Canada. In *Proc. 14th ISTRO Conf.*, Pulawy: 43-46.
- ARSHAD M.A., 1999: Tillage practices for sustainable agriculture and environmental quality in different agroecosystems. *Soil & Tillage Research*, 53: 1-3.
- AZOOZ R.H., ARSHAD M.A., 1996: Soil infiltration and hydraulic conductivity under long-term no-tillage and conventional tillage systems. *Can. J. Soil Sci.*, 76: 143-152.
- BASIC F., KISIC I., MESIC M., NESTROY O., BUTORAC A., 2004: Tillage and crop management effects on soil erosion in central Croatia. *Soil & Tillage Research*, 78: 197-206.
- BAUMHARD R.L., JONES O.R., 2002: Residue management and paratillage on some soil properties and rain infiltration. *Soil & Tillage Research*, 65: 19-27.
- BECHER H.H., 1998: Resistances to penetration of aggregates from loess-derived topsoils at different water tensions. *Soil & Tillage Research*, 47(1-2): 73-81.
- BEVEN K., GERMANN P., 1982: Macropores and water flow in soils. *Water Resources Research*, 18: 1311-1325.
- BLEVINS R.L., COOK D., PHILLIPS S.H., PHILLIPS R.E. (1971): Influence of no-tillage on soil moisture. *Agronomy Journal*, 63: 593-596.
- BLEVINS R.L., THOMAS G.W., SMITH M.S., FRYE W.W., CORNELIUS P.L., 1983: Changes in soil properties after ten years continuous non-tilled and conventionally tilled corn. *Soil & Tillage Research*, 3(2): 135-146.
- BØRRESEN T., 1999: The effect of straw management and reduced tillage on soil properties and crop yields of spring-sown cereals on two loam soils in Norway. *Soil & Tillage Research*, 51: 91-102.

- BRADFORD J.M., CHI-HUA H., 1994: Interrill soil erosion as affected by tillage and residue cover. *Soil & Tillage Research*, 31: 353-361.
- BRUNOTTE J., HOLLMANN P., SOMMER C., ROTH CH., 1996: Nutzen-Kosten-Vergleich zum Erosionsschutz mit Mulchsaatverfahren. *Landtechnik*, 51(1): 12-13.
- BUFFETT H.G., 2012: Reaping the benefits of no-tillage farming. *Nature*, 484: 455.
- BURCH G.J., MASON I.B., FISCHER R.A., 1986: Tillage effect on soils: physical and hydraulic responses to direct drilling. *Australian Journal of Soil Research*, 24: 377-391.
- CANNEL R.Q., HAWES J.D., 1994: Trend in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil & Tillage Research*, 30(2-4): 245-282.
- CARTER M.R., 1988: Temporal variability of soil macroporosity in a fine sandy loam under mouldboard ploughing and direct drilling. *Soil & Tillage Research*, 12: 37-51.
- CARTER M.R., SANDERSON J.B., IVANY J.A., WHITE R.P., 2002: Influence of rotation and tillage on forage maize productivity, weed species, and soil quality of a fine sandy loam in the cool-humid climate of Atlantic Canada. *Soil & Tillage Research*, 67(1): 85-98.
- CASSEL D.K., WENDROTH O., NIELSEN D.R., 1985: Assessing spatial variability in an agricultural experiment station field: opportunities arising from spatial dependence. *Agron. J.*, 92: 706-714.
- COX S., 2002: Information technology: the global key to precision agriculture and sustainability. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36: 93-111.
- DEMO M., a kol., 1995: *Obrábánie pôdy*. Nitra: VŠP, 315 s. ISBN 80-7137-255-2
- DEXTER A.R., BIRKÁS M., 2004: Prediction of the soil structure produced by tillage. *Soil & Tillage Research*, 79: 233-238.
- DOMZAL H., 1997: Foreward the 14th Conference of the International Soil Tillage Research Organization. In *Proc. 14th ISTRO Conf.*, Pulawy: 9-10.
- DOUGLAS E., MCKYES E., TAYLOR F., NEGI S., RAGHAVAN G.S.V., 1980: Unsaturated hydraulic conductivity of a tilled clay soil. *Can. Agric. Eng.*, 22(2): 153-161.
- Drees L.R., Karathanasis A.D., Wilding L.B., Blevins R.L., 1994: Micromorphological characteristic of long-term no-tillage and conventionally tilled soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58: 508-517.
- EDWARDS C.A., 1988: The importance of integration in sustainable agricultural systems. In Edwards c.a., Lal r., Madden p., Miller r.h., House, g. (Eds.) *Sustainable agricultural systems*. Soil and water conservation society: 249-64.
- EHLERS W., 1975: Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soils. *Soil Sci.*, 199: 242-249.
- EICHHORN H., TEBRÜGGE F., FREDE H.G., HARRACH T., 1991: Assessment of soil cultivation systems with regard to their performance and their long-term results on the soil ecosystem BMFT-interdiscipline research. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung*, 32(2): 65-70.

- EKERBEK 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 & Tillage Research*, 42(4): 277-293.
- ERNANI P.R., RIBEIRO M.F.S., BAYER C., 2004: Chemical modifications caused by liming below the limed layer in a predominantly variable charge acid soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 35: 889-901.
- FABRIZZI K.P., a kol., 2005: Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil & Tillage Research*, 81: 57-69.
- FRANZLUEBBERS A.J., 2002: Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil & Tillage Research*, 66(2): 197-205.
- FREESE R.C., CASSEL D.K., DENTON H.P., 1993: Infiltration in a piedmont soil under three tillage systems. *Journal of Soil and Water Conservation*, 48: 214-218.
- FULAJTÁR E., 1986: Fyzikálne vlastnosti pôd Slovenska, ich úprava a využitie. Bratislava: Veda, 156 s.
- GANTZER J.C., BLAKE G.R., 1978: Physical characteristic of Le Sueur clay loam soil following no-till and conventional tillage. *Agron. J.*, 70: 853-857.
- HEARD J.R., KLADIVKO E.J., MANNERING J.V., 1988: Soil macroporosity, hydraulic conductivity and air permeability of silty soils under long-term conservation tillage in Indiana. *Soil & Tillage Research*, 11: 1-18.
- HORÁČEK J., 1995: *Studie vlastností a přeměn organické hmoty v půdě*. [Docentská habilitační práce]. České Budějovice: ZF JU v Českých Budějovicích, 218 s.
- HORÁČEK J., LEDVINA R., STACH J., ŠABATKA J., RAUS A., 1999: Posouzení fyzikálních vlastností půdy při klasické a bezorebné technologii pěstování brambor. *Zem. Tech.*, 45: 81-86.
- HORSCH D., 1990: Reduzierte Bodenbearbeitung, angepasste Saattechnik und Unkrautbekämpfung nach dem System Horsch. Integrierter Landbau, BLV Vorlagsges, München: 273-281.
- HOUŠŤ M., NEUDERT L., PROCHÁZKOVÁ B., 2011: Vliv různé intenzity zpracování půdy na její fyzikální vlastnosti. *Úroda*, 59(12): 351-354.
- HORNE D.J., ROSS C.W., HUGHES K.A., 1992: 10 years of a maize oats rotation under three tillage systems on a silt loam in New Zealand. A comparison of some soil properties. *Soil & Tillage Research*, 22: 131-143.
- HŮLA J., ABRHÁM Z., BAUER F., 1997: *Zpracování půdy*. Praha: Brázda s.r.o., 144 s. ISBN 80-209-0265-1
- HŮLA J., MAYER V., 1999: *Technologické systémy a stroje pro zpracování půdy*. 1. vyd. Praha: IVV MZe ČR, 35 s.
- HŮLA J., 2000: Možnosti zohlednění stanovištních podmínek při výběru a využívání strojů na zpracování půdy a setí. *Farmář*, 6 (2): 35-38.

- Hůla J., Procházková B., a kol., 2002: *Vliv minimalizačních a půdoochranných technologií na plodiny, půdní prostředí a ekonomiku*. Zemědělské informace, č. 3/2002. Praha: ÚZPI, 103 s. ISBN 80-7271-106-7
- HŮLA J., PROCHÁZKOVÁ B., a kol., 2008: *Minimalizace zpracování půdy*. 1. vyd. Praha: Profi Press, s. r. o., 248 s. ISBN 978-80-86726-28-1
- HŮLA J., a kol., 2010: *Dopad netradičních technologií zpracování půdy na půdní prostředí*. Uplatněná certifikovaná metodika. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 58 s. ISBN 978-80-86884-53-0
- CHAN K., MEAD J., 1989: Water movement and macroporosity of an Australian Alfisol under different tillage and pasture conditions. *Soil & Tillage Research*, 14: 301-310.
- JAVŮREK M., 2001: Půdoochranné a produkční aspekty způsobů zakládání porostů polních plodin. *Agromagazín*, 8: 22-25.
- JAVŮREK M., VACH M., 2003: Long term effect of soil protection technology of field crops stand establishment on their production and on soil profile compaction. In *Proc. of Int. Conf. „Sustainable Agriculture and Rural Development“*. SPU Nitra, Slovakia: 48-51.
- JONES J.N., MOODY J.E., LILLARD J.H., 1969: Effect of tillage, no tillage and mulch on soil water and plant growth. *Agron Journal*, 61: 719-721.
- KEHL M., 1997: Experimentelle Laboruntersuchungen zur Dynamik der Wassererosion verschieden texturierter Ackerböden Nordrhein-Westfalens. *Bonner Bodenkundl. Abh.*, Band 21: 120.
- KŇÁKAL Z., PROCHÁZKOVÁ B., 1997: Soil tillage systems under different agroecological conditions of the Czech Republic. In *Proc. 14th ISTRO Conf., Pulawy*: 379-382.
- KÖLLER K., 1989: Bodenbearbeitungs - verfahren heute. *DLG-Merkblatt.*, 275: 12.
- KÖLLER K., LINKE CH., 2006: *Úspěch bez pluhu*. Praha: Vydavatelství ZT, 191 s. ISBN 80-87002-00-8
- KOSTELANSKÝ F., 1980: *Spolehlivost metod zjišťování fyzikálního stavu půdy*. [Kandidátská disertační práce.] Brno: VŠZ v Brně, 137 s.
- KOSTELANSKÝ F., a kol., 2001: *Obecná produkce rostlinná*. Brno: MZLU v Brně, 212 s.
- KOVÁČ K., NOZDROVICKÝ L., MACÁK M., a kol., 2010: *Minimalizačné a pôdoochranné technológie*. Piešťany: CVRV, Piešťany, 142 s. ISBN 978-80-7139-139-5
- KROULÍK M., 2005: Infiltrace srážkové vody do půdy, s. 83-92. In Hůla J., a kol., 2005: *Redakčně upravená zpráva projektu MZe ČR 1G57042 „Péče o půdu v podmínkách se zvýšenými nároky na ochranu životního prostředí“*. Praha: VÚZT, prosinec 2005, 198 s.
- KUTÍLEK M., 1966: *Vodohospodářská pedologie*. Praha: SNTL, 275 s.
- KUTÍLEK M., 2001: Půda a bilance CO₂ v ovzduší. *Vesmír*, 80(3): 153-155.
- LAL R., ANKIREMI O.O., 1983: Physical properties of earthworm casts and surface soil as influenced by management. *Soil Sci*, 135: 114-122.

- LAL R., MAHBOUBI A.A., FAUSEY N.R., 1994: Long-term tillage and rotation effects on properties of a central Ohio soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58: 517-522.
- LAL R., 1995: Global soil erosion by water and carbon dynamics. In Reicosky D.C., Lindstrom M.J., Schumacher T.E., Lobb D.E., Malo D.D., 2005: Tillage-induced CO₂ loss across an eroded landscape. *Soil & Tillage Research*, 81: 183-194.
- LATTANZI A.R., MEYER I.D., BAUGARDNER M.F., 1974: Influence of mulch rate and slope steepness of interrill erosion. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38: 946-950.
- LEDVINA R., HORÁČEK J., 1997: Negativní vliv antropologické činnosti na fyzikální režim půdy. In *Sborník z mezinárodní vědecké konference České půdoznalecké společnosti* (Milovy - Devět Skal, 5.-8. 10.), ČPS: 17-18.
- LEDVINA R., a kol., 2000: *Geologie a půdoznalství*. České Budějovice: ZF JU v Českých Budějovicích, 114 s.
- LHOTSKÝ J., 2000: *Zhutňování půd a opatření proti němu*. Studijní informace. Praha: ÚZPI, 61 s. ISBN 80-7271-067-2
- LOGSDON S.D., KARLEN D.L., 2004: Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage. *Soil & Tillage Research*, 78 (2): 143-149.
- LOCH R.J., FOLEY J.L., 1994: Measurement of Aggregate Breakdown under rain: comparison with tests of water stability and relationships with field measurements of infiltration. *Australian Journal of Soil Research*, 32: 701-720
- LUESCHEN W.E., FORD J.H., EVANS S.D., KANNE B.K., HOVERSTAD T.R., RANDALL G.W., ORF J.H., HICKS D.R., 1991: Tillage, row spacing, and planting date effects on soybean following corn or wheat. *J. Prod. Agric.*, 5(2): 254-260.
- LUKIN L.Y., DUBANINA G.V., KOSILOVA A.N., 1999: The effect of long-term fertilization on the humus status of a typical chernozem and the winter wheat yield. *Agrokhimiya*, 12: 36-40.
- LUXMOORE R.J., 1981: Micro, meso and makroporosity of soils. *Soil Sci. Soc. of Am. J.*, 45: 71.
- MARSHALL T.J., HOLMES J.W., 1992: *Soil physics*. New York: Cambridge university press.
- MAŠEK J., 2006: Zakládání porostů při soudobých technologiích zpracování půdy. *Farmář*, 12(7): 49-51.
- MEYER L.D., WISCHMEIER W.H., FOSTER G.R., 1970: Mulch rates required for erosion control on steep slopes. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 34: 982-991.
- Mc GUINNESS J.L., HARROLD L.L., EDWAERS W.M., 1971: Relation of rainfall energy streamflow to sediment yield from small and large watersheds. *Journal of Soil and Water Conservation*, 6: 233-235.
- MEEK B.D., DETAR W.R., ROLPH D., RECHEL E.R., CARTER L.M., 1990: Infiltration rate as affected by an alfalfa and no-till cotton cropping system. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54: 505-508.
- MILLER J.J., KOKKO E.G., KOZUB G.C., 1998: Comparison of porosity in a Chernozemic clay loam soil under long-term conventional tillage and no-till. *Canadian Journal of Soil Science*, 78: 619-629.

- MISRA R.K., ROSE C.W., 1995: An examination of the relationship between erodibility-parameters and soil strength. *Aust. J. Soil Res.*, 3: 715-732.
- Mišťina T., Kováč K., a kol., 1993: *Ochranné obrábání půdy*. Piešťany: VÚRV Piešťany, 167 s. ISBN 80-7137-125-4
- MITCHEL J., SHRESTHA A., CAMPBELL-MATHEWS M., GIACOMAZZI D., GOYAL S., BRYANT D., HERERRA I., 2009: *Strip-tillage in California's Central Valley*. University of California, ANR publication 8361.
- MORENO F., PELEGRÍN F., FERNANDÉZ J.E., MURILLO J.M., 1997: Soil physical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southern Spain. *Soil & Tillage Research*, 41: 24-42.
- NOVÁČEK J., 1970: Studie o významu různé hloubky orby pro plodiny a půdu. I. Pěstitelské závěry. *Rostl. Výr.*, 16(3): 235-242.
- OBI M.E., NNABUDE P.C., 1981: The effect of different management practices on the physical properties of a sandy loam soil in southern Nigeria. *Soil & Tillage Research*, 12: 81-90.
- OSUNBITAN J.A., OYEDELE D.J., ADEKALU K.O., 2005: Tillage effects on bulk density, hydraulic conductivity and strength of a loamy sand soil in southwestern Nigeria. *Soil & Tillage Research*, 82: 57-64.
- PACKER I.J., HAMILTON G.J., KOEN T.B., 1992: Runoff, soil loss and soil physical property changes of light textured surface soil from long-term tillage treatment. *Aust. J. Soil Res.*, 30: 789-806.
- PAGLIAI M., RAGLIONE M., PANINI T., 1995: The structure of two alluvial soils in Italy after 10 years of conventional and minimum tillage. *Soil & Tillage Research*, 34: 209-223.
- PATEL M.S., SINGH N.T., 1981: Changes in bulk density and water intake rate of a coarse textured soil in relation to different levels of compaction. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 29: 110-112.
- PAUSTIAN K., COLLINS H.P., PAUL E.A., 1997: Management controls on soil carbon. In: Reicosky D.C., Lindstrom M.J., Schumacher T.E., Lobb D.E., Malo D.D., 2005: Tillage-induced CO₂ loss across an eroded landscape. *Soil & Tillage Research*, 81: 183-194.
- PIMENTEL D., HARVEY C., RESOSUDARMO P., SINCLAIR K., KURZ D., McNAIR M., CRIST S., SPHRITZ L., FITTON L., SAFFOURI R., BLAIR R., 1995: Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267: 1117-1123.
- PINGALI L.P., PANDEY S., 2000: Technological Opportunities and Priorities for the Public Sector. In *Proc. of Meeting World Maize Needs*, Mexico, CIMMYT:1-5.
- PINGALI P.L., 2001: *Population and technological change in agriculture*. International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences. London: Pergamon, s. 33.
- POKORNÝ E., STŘELKOVÁ R., PODEŠVOVÁ J., 2001: Fyzikální charakteristiky půdy: Vybrané kapitoly z metodiky. *Obilnářské listy*, 9(5): 101-104.
- PRIEKSAT M.A., KASPAR T.C., ANKENY M.D., 1994: Positional and temporal changes in ponded infiltration in a corn field. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58(1): 181-184.

- PROCHÁZKOVÁ B., HRUBÝ J., SUŠKEVIČ M., 2000: Volba způsobů zpracování půdy podle stanovištních podmínek. *Farmář*, 6(2): 39-41.
- PROCHÁZKOVÁ, B., a kol., 2011: *Minimalizační technologie zpracování půdy a možnosti jejich využití při ochraně půdy a krajiny*. Uplatněná certifikovaná metodika. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 39 s. ISBN 978-80-7375-524-9
- RASMUSSEN K.J., 1999: Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. *Soil & Tillage Research*, 53(1): 3-14.
- RAUS A., 2000: Konzervační zpracování půdy a půdní organická hmota kambizemě. *Collection of Scientific Papers Faculty of Agriculture in Ceske Budejovice Series for Crop Sciences*, 17(1): 71-82.
- REHÁK Š., JÁNSKÝ L., 2000: *Fyzika pôdy I. Základné fyzikálne vlastnosti pôdy*. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislavě.
- REICOSKY D.C., LINDSTROM M.J., SCHUMACHER T.E., LOBB D.E., MALO D.D., 2005: Tillage-induced CO₂ loss across an eroded landscape. *Soil & Tillage Research*, 81: 183-194.
- ROTH C.H., MEYER B., FREDE H.G., DERPSCH R., 1988: Effect of mulch rates and tillage systems on infiltrability and other soil physical properties of an Oxisol in Parana, Brazil. *Soil & Tillage Research*, 11(1): 81-91.
- ROTH C.H., EGGERT T., 1994: Mechanismus of aggregate breakdown involved in surface sealing, runoff generation and sediment concentration on loess soils. *Soil & Tillage Research*, 32: 253-268.
- ROTREKL J., KŇÁKAL Z., BADALÍKOVÁ B., HRUBÝ J., 2001: *Nové systémy zakládání a ochrany vybraných plodin*. Zemědělské informace, č. 17/2001. Praha: ÚZPI Praha, 32 s.
- RŮŽEK P., HŮLA J., 2000: Zpracování půdy v různých agroekologických podmínkách. *Farmář*, 6 (2) 26-27.
- SANCHEZ P.A., SHEPHERD K.D., SOULE M.J., PLACE F.M., BURESH R.J., IZAC A.M.N., MOKWUNYE A.U., KWESIGA C.G., WOOMER P.L., 1997: *Soil fertility replenishment in Africa: An investment in natural resource capital*. Madison, Wisconsin: SSSA, Spec. Publ.: 1-46.
- SAUER T.J., CLOTHIER B.E., DANIEL T.C., 1990: Surface measurements of the hydraulic character of tilled and untilled soil. *Soil & Tillage Research*, 15(4): 359-269.
- SHIPITALO M.J., DICK W.A., EDWARDS W.M., 2000: Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. *Soil & Tillage Research*, 53(3-4): 167-183.
- SINGH B., CHANASYK D.S., MCGILL W.B., NYBORG M.P.K., 1994: Residue and tillage management effects on soil properties of a typic Cryoboroll under continuous barley. *Soil & Tillage Research*, 32(2-3): 117-133.
- SOMMER C., 1997: Bodenbearbeitung. In KELLER E.R., at al: *Grundlagen der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion*. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer, 242-276. *Research*, 53: 1

- SPRAGUE G.B., TRIPLETT M.A., 1986: *No-tillage and surface-tillage agriculture*. Canada: John Wiley & Sons.
- STRUDLEY W.M., GREEN T.R., ASCOUGH II J.C., 2008: Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. *Soil & Tillage Research*, 99: 4-48.
- SUŠKEVIČ M., 1994: Dlouhodobé působení minimálního zpracování půdy k jarnímu ječmeni a ozimé pšenici na výnosy a výrobnost osevního postupu. *Rostl. Výr.*, 40(9): 817-823.
- SUŠKEVIČ M., 1995: Dlouhodobý vliv různého zpracování půdy na výnosy zrna kukuřice a ozimé pšenice. *Rostl. Výr.*, 41(2), 55-58.
- SUŠKEVIČ M., 2000: Minimalizační technologie zpracování půdy k obilninám. *Úroda*, 3: 28-29.
- SUŠKEVIČ M., PROCHÁZKOVÁ B., 2000: Konvenční technologie zpracování půdy k obilovinám. *Úroda*, 48(2):28-29.
- ŠABATKA J., 1998: Zkušenosti s mělkým zpracováním půdy. *Úroda*, 46(1): 18-20.
- Šimon J., Lhotský J., a kol., 1989: *Zpracování a zúrodňování půd*. Praha: SZN, 320 s.
- ŠIMON J., ŠKODA V., HŮLA J., 1999: *Zakládání porostů hlavních polních plodin novými technologiemi*. Praha: Agrospoj, 78 s.
- ŠIMON J., JAVŮREK M., HŮLA J., ŠKODA V., 2001: Zakládání porostů obilnin novými (zjednodušenými) technologiemi. *Zemědělské informace č. 11/2001*. Praha: ÚZPI Praha, 25 s.
- TANG C., RENGEL Z., ABRECHT D., TENNANT D., 2002: Aluminium tolerant wheat uses more water and yields higher than aluminium-sensitive one on a sandy soil with subsurface acidity. *Field Crops Research*, 78: 93-103.
- TEBRÜGGE F., BØHRENSSEN A., 1995: Direktsaat. Auswirkungen auf bodenökologische Faktoren und Ökonomie. *Landtechnik*, 50(1): 6-7.
- TEBRÜGGE F., ABELSOVA J., 1999: Bioporen fördern die Versickerung. *Landtechnik*, 1/99: 13-16.
- TEBRÜGGE F., DÜRING R.A., 1999: Reducing tillage intensity - a review of results from a long-term study in Germany. *Soil & Tillage Research*, 53(1): 15-28.
- TEBRÜGGE F., 1999: Opinions on No-Tillage. *Agrifuture*, 99(Spring):, 28-29.
- TIPPL M., JANEČEK M., BOHUSLÁVEK J., PIVCOVÁ J., 2001: Vliv půdní krusty na povrchový odtok a erozi. *Vědecké práce VÚMOP Praha*, 12: 127-136
- TIPPL M., JANEČEK M., KAČER M., 2005: Vliv zpracování půdy na velikost povrchového odtoku a ztrátu půdy erozí, s. 63-82. In Hůla J., a kol., 2005: *Redakčně upravená zpráva projektu MZe ČR 1G57042 „Péče o půdu v podmínkách se zvýšenými nároky na ochranu životního prostředí“*. Praha: VÚZT, prosinec 2005, 198 s.
- TISDALL J.M., ADEM H.H., 1986: Effect of water content of soil and tillage on size-distribution of aggregates and infiltration. *Aust. J. Exp. Agric.*, 26: 193-195.
- TITI E.A., 2002: *Soil Tillage in Agroecosystems*. The U.S.A.: CRC Press, 367 s.

- TRUMAN C.C., SHAW J.N., REEVES D.W., 2005: Tillage effects on rainfall partitioning and sediment yield from an ultisol in central Alabama. *Journal of Soil and Water conservation*, 60(2): 89-98.
- WHITE R.E., 1985: The influence of macropores on the transport of dissolved and suspended matter through soil. In *Advances in Soil Science*, vol. 2, New York: Springer Verlag.
- WU L., SWAN J.B., ALLMARAS R.R., LONGSDON S.D., 1995: Tillage and traffic influences on water and solute transport in corn–soybean systems. *Soil Sci. Soc. of Am. J.*, 59: 185–191.
- VYN T.J., RAIMBAULT B.A., 1992: Evaluation of strip tillage systems for corn production in Ontario. *Soil & Tillage Research*, 23: 163-173.
- ZACHMANN J.E., LINDEN D.R., CLAPP C.E., 1987: Macroporous infiltration and redistribution as affected by earthworms. Tillage and residue. *Soil Sci. Soc. of Am. J.*, 51: 1580-1586.
- ZRUBEC F., 1984: Pedologické aspekty spracovania pôdy. *Úroda*, 9: 413-415.
- ZUZEL J.F., PIKUL J.L., RASMUSSEN P.E., 1990: Tillage and fertilizer effects on water infiltration. *Soil Sci. Soc. of Am. J.*, 54: 205-208.

9 Seznam tabulek

Tab. 1 Limitní hodnoty fyzikálních půdních vlastností pro jednotlivé půdní druhy (Lhotský a kol., 2000).	17
Tab. 2 Úhrn srážek a průměrné teploty za sledované období (ČHMÚ)	48
Tab. 3 Přehled pracovních operací a jejich technické zajištění při pěstování kukuřice s využitím konvenční technologie s orbou	51
Tab. 4 Přehled pracovních operací a jejich technické zajištění při pěstování kukuřice s využitím mělkého kypření půdy	51
Tab. 5 Přehled pracovních operací a jejich technické zajištění při pěstování kukuřice technologií bez zpracování půdy	51
Tab. 6 Infiltrace srážkové vody do půdy na začátku vegetace v roce 2008.....	67
Tab. 7 Infiltrace srážkové vody do půdy po sklizni kukuřice v roce 2008.....	68
Tab. 8 Infiltrace srážkové vody do půdy na začátku vegetace v roce 2009.....	69
Tab. 9 Infiltrace srážkové vody do půdy po sklizni jarního ječmene v roce 2009.....	70
Tab. 10 Infiltrace srážkové vody do půdy na začátku vegetace v roce 2010.....	71
Tab. 11 Infiltrace srážkové vody do půdy po sklizni kukuřice na zrno v roce 2010	72
Tab. 12 Infiltrace srážkové vody do půdy v průběhu vegetace v roce 2011	73
Tab. 13 Infiltrace srážkové vody do půdy po sklizni kukuřice na zrno v roce 2011	74
Tab. 14 Infiltrace srážkové vody do půdy v průběhu vegetace kukuřice na zrno v roce 2012 ...	75
Tab. 15 Infiltrace srážkové vody do půdy po sklizni kukuřice na zrno v roce 2012	76
Tab. 16 Výnosy kukuřice na zrno 2002–2013 (t.ha ⁻¹).....	93
Tab. 17 Vlhkost kukuřice na zrno 2002–2013 (%).....	94

10 Seznam obrázků

Obr. 1 Vliv ročníku na objemovou hmotnost půdy ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	56
Obr. 2 Vliv termínu odběru na objemovou hmotnost půdy ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	57
Obr. 3 Vliv hloubky odběru na objemovou hmotnost půdy ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	57
Obr. 4 Vliv různého zpracování půdy na objemovou hmotnost půdy ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	58
Obr. 5 Vliv různého zpracování a ročníku na objemovou hmotnost půdy ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	59
Obr. 6 Vliv termínu odběru a ročníku na objemovou hmotnost půdy ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	59
Obr. 7 Vliv termínu odběru a zpracování půdy na objemovou hmotnost půdy ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	60
Obr. 8 Vliv zpracování půdy a hloubky odběru na objemovou hmotnost půdy ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	61
Obr. 9 Vliv různého zpracování na celkovou pórovitost (% objemová)	62
Obr. 10 Vliv různého zpracování a ročníku na celkovou pórovitost (% objemová)	62
Obr. 11 Vliv různého zpracování na minimální vzdušnou kapacitu půdy (% objemová)	63
Obr. 12 Vliv různého zpracování a ročníku na minimální vzdušnou kapacitu půdy (% objemová)	63
Obr. 13 Vliv různého zpracování půdy na její objemovou vlhkost (% objemová)	64
Obr. 14 Vliv různého zpracování půdy a ročníku na objemovou vlhkost půdy (% objemová) ...	65
Obr. 15 Vliv termínu odběru a ročníku na objemovou vlhkost půdy (% objemová)	65
Obr. 16 Vliv různého zpracování půdy v jednotlivých termínech odběru na objemovou vlhkost půdy (% objemová)	66
Obr. 17 Infiltrace srážkové vody do půdy na začátku vegetace v roce 2008	67
Obr. 18 Infiltrace srážkové vody do půdy po sklizni kukuřice na zrno v roce 2008	68
Obr. 19 Infiltrace srážkové vody do půdy na začátku vegetace v roce 2009	69
Obr. 20 Infiltrace srážkové vody do půdy po sklizni jarního ječmene v roce 2009	70
Obr. 21 Infiltrace srážkové vody na začátku vegetace kukuřice na zrno v roce 2010	72
Obr. 22 Infiltrace srážkové vody do půdy po sklizni kukuřice na zrno v roce 2010	73
Obr. 23 Infiltrace srážkové vody do půdy v průběhu vegetace v roce 2011	74
Obr. 24 Infiltrace srážkové vody do půdy po sklizni v roce 2011	75
Obr. 25 Infiltrace srážkové vody do půdy v průběhu vegetace v roce 2012	76
Obr. 26 Infiltrace srážkové vody do půdy v po sklizni v roce 2012	77
Obr. 27 Vliv různého zpracování půdy na infiltraci vody do půdy po 10 minutách	77
Obr. 28 Vliv různého zpracování půdy a ročníku na infiltraci vody do půdy po 10 minutách	78
Obr. 29 Vliv různého zpracování půdy na infiltraci vody do půdy po 60 minutách	78
Obr. 30 Vliv různého zpracování půdy a ročníku na infiltraci vody do půdy po 60 minutách	79
Obr. 31 Vliv různého zpracování půdy na infiltraci vody do půdy po 120 minutách	79
Obr. 32 Vliv různého zpracování půdy a ročníku na infiltraci vody do půdy po 120 minutách .	80
Obr. 33 Vliv termínu měření na intenzitu infiltrace vody do půdy po 10 minutách	81

Obr. 34 Vliv termínu měření na intenzitu infiltrace vody do půdy po 60 minutách	81
Obr. 35 Vliv termínu měření na intenzitu infiltrace vody do půdy po 120 minutách	81
Obr. 36 Vliv ročníku na intenzitu infiltrace vody do půdy po 10 minutách	82
Obr. 37 Vliv ročníku na intenzitu infiltrace vody do půdy po 60 minutách	82
Obr. 38 Vliv ročníku na intenzitu infiltrace vody do půdy po 120 minutách	83
Obr. 39 Vliv opakování na intenzitu infiltrace vody do půdy po 10 minutách	83
Obr. 40 Vliv opakování na intenzitu infiltrace vody do půdy po 60 minutách	83
Obr. 41 Vliv opakování na intenzitu infiltrace vody do půdy po 120 minutách	84
Obr. 42 Penetrometrický odpor půdy při různém zpracování půdy v roce 2008	84
Obr. 43 Vliv různého zpracování půdy na penetrometrický odpor půdy v půdním profilu	85
Obr. 44 Penetrometrický odpor půdy při různé intenzitě zpracování půdy v roce 2009	86
Obr. 45 Vliv různého zpracování půdy na penetrometrický odpor půdy v půdním profilu	86
Obr. 46 Penetrometrický odpor půdy při různé intenzitě zpracování půdy v roce 2010	87
Obr. 47 Vliv různého zpracování půdy na penetrometrický odpor půdy v půdním profilu	87
Obr. 48 Penetrometrický odpor půdy při různé intenzitě zpracování půdy v roce 2011	88
Obr. 49 Vliv různého zpracování půdy na penetrometrický odpor půdy v půdním profilu	88
Obr. 50 Penetrometrický odpor půdy při různé intenzitě zpracování půdy v roce 2012	89
Obr. 51 Vliv různého zpracování půdy na penetrometrický odpor půdy v půdním profilu	90
Obr. 52 Vliv různého zpracování půdy na penetrometrický odpor půdy v půdním profilu v letech 2008 - 2012	91
Obr. 53 Vliv hloubky měření na penetrometrický odpor půdy v letech 2008-2012	92
Obr. 54 Vliv různého zpracování půdy na penetrometrický odpor půdy v letech 2008 - 2012	92
Obr. 55 Výnosy kukuřice na zrno ($t \cdot ha^{-1}$)	93