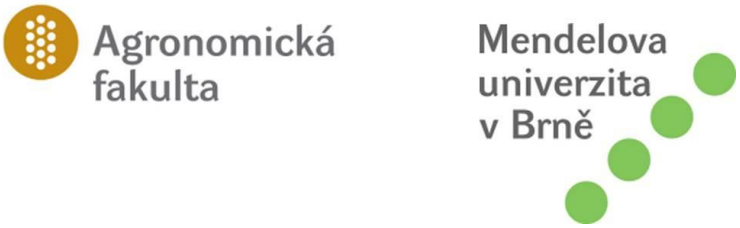
Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav agrosystémů a bioklimatologie



Minimalizační technologie zpracování půdy ke kukuřici na zrno

Diplomová práce

Vedoucí práce:
Ing. Lubomír Neudert, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. Josef Adámek

Brno 2017

Agronomická fakulta

Ústav agrosystémů a bioklimatologie
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel :	**Bc. Josef Adámek**
Studijní program:	Fytotechnika
Obor:	Fytotechnika
Název tématu:	**Minimalizační technologie zpracování půdy ke kukuřici na zrno**
Rozsah práce:	50-60 stran

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte odbornou literaturu zabývající se danou problematikou
2. Seznamte se s přírodními a výrobními podmínkami pokusné lokality
3. Vypracujte metodiku a vyberte vhodné varianty polních pokusů
4. Podílejte se na založení a vedení polních pokusů
5. Dle metodiky provádějte polní měření, odběr a analýzy vzorků
6. Získané hodnoty zhodnoťte a statisticky porovnejte
7. Proveďte celkové hodnocení a zjištěné závěry zpracujte v závěrečné práci

Mendelova univerzita v Brně

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem práci: MINIMALIZAČNÍ TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ PŮDY KE KUKUŘICI NA ZRNO vypracoval/a 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 a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom/a, 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 touto cestou poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Lubomíru Neudertovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, připomínky a ochotu v průběhu zpracování diplomové práce. Také chci poděkovat kolegům z Ústavu agrosystémů a bioklimatologie MENDELU v Brně za spolupráci při odběru a zpracování dat.

Děkuji rovněž vedení podniku AGROSERVIS, 1. zemědělská a. s. Višňové, že mi umožnili provedení měření na pozemku, a Ing. Františku Illkovi za poskytnutí podkladů a cenných rad při tvorbě práce. Největší dík patří mé rodině, která mě podporovala po celou dobu mého studia.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zaměřuje na porovnání vlivu různého zpracování půdy na výnosy kukuřice na zrno a změny půdních vlastností. Sledování probíhalo na pokusném stanovišti s monokulturou kukuřice v pokusu založeném v roce 2001 v kukuřičné výrobní oblasti na hlinité hnědozemní půdě. V práci byly zpracovány výsledky z roku 2015 a 2016.

Hodnoceny byly čtyři varianty zpracování půdy – konvenční zpracování s orbou (0,22 m), hluboké zpracování půdy kypřením (0,25 m), mělké zpracování půdy kypřením (0,12 m) a přímé setí do nezpracované půdy. Nejvyššího průměrného výnosu kukuřice bylo dosaženo v roce 2016 po hlubokém kypření (13,35 $t.ha^{-1}$), podobné hodnoty byly po mělkém kypření (13,23 $t.ha^{-1}$) a orbě (12,94 $t.ha^{-1}$), nejnižší byl výnos po přímém setí (12,35 $t.ha^{-1}$). Výnosy roku 2015 byly ovlivněny extrémními klimatickými podmínkami a byly zhruba o 50 % nižší než v roce 2016. Nejvyšší výnosy v roce 2015 byly naměřeny po hlubokém kypření (6,67 $t.ha^{-1}$) a nejnižší po orbě (5,63 $t.ha^{-1}$).

V diplomové práci byly také hodnoceny základní fyzikální vlastnosti půdy – objemová hmotnost, celková pórovitost, minimální vzdušná kapacita a objemová vlhkost. Ze statistického hodnocení vyplývá, že s klesající intenzitou zpracování půdy dochází ke statisticky významnému zvýšení hodnot objemové hmotnosti půdy a snížení celkové pórovitosti. U varianty přímého setí bylo dosaženo nejvyšších hodnot objemové hmotnosti půdy, nejnižších hodnot celkové pórovitosti a nejnižších hodnot minimální vzdušné kapacity. Tyto hodnoty naměřené u varianty přímého setí v hloubce 0,10-0,20 m překračovaly kritické limity zhutnění půd. Nejnižší objemová vlhkost byla u varianty s hlubokým kypření a nejvyšší u varianty přímého setí. Naměřený penetrometrický odpor půdy se vždy zvyšoval pod hloubkou zpracování půdy a zde se utvářela utuženější vrstva. Avšak pouze u varianty s orbou došlo k překročení kritického limitu udávajícího zhutnění půd a to v hloubce 0,25 m.

Z dlouhodobého hodnocení lze doporučit variantu mělkého kypřením půdy pro pěstování zrnové kukuřice v této oblasti. Tato varianta poskytuje kukuřici optimální podmínky pro růst a vývoj, a oproti variantě s orbou je šetrnější k půdě, rentabilnější a efektivněji využívá pracovní sílu. Zkušenosti z praxe i výsledky našeho pokusu potvrdily doporučení pravidelného zařazení hlubokého kypření při pěstování kukuřice na zrno.

Klíčová slova: kukuřice na zrno, výnosy, zpracování půdy, fyzikální vlastnosti půdy, zhutnění půdy

ABSTRACT

This diploma thesis is aimed at comparing the influence of various soil tillage alternatives on grain corn yield and the changes of soil properties. The observation was carried out at an experimental station with corn monoculture, in an experiment established in 2001 in a corn production area on loam Orthic Luvisol. The thesis compiles results from years 2015 and 2016.

Four basic examples of soil tillage were assessed – ploughing (0,22 m), deep loosening (0,25 m), shallow loosening (0,12 m) and direct sowing. The highest average grain corn yield was achieved in 2016 after deep loosening (13,35 $t.ha^{-1}$), similar values were after shallow loosening (13,23 $t.ha^{-1}$) and ploughing (12,94 $t.ha^{-1}$), the lowest yield was after direct sowing (12,35 t.ha-1). The yield in year 2015 was influenced by extreme climate conditions. It was approximately by 50% lower than in year 2016. The highest yield was after deep loosening (6,67 $t.ha^{-1}$) and the lowest after ploughing (5,63 $t.ha^{-1}$).

This diploma thesis also evaluates basic soil physics – bulk density, total porosity, minimum soil air capacity and soil moisture content. It follows from statistical assessment that when the intensity of soil tillage sinks, the values of bulk density raise statistically significantly and total porosity sinks. The alternative of direct sowing proved the highest values of bulk density, the lowest values of total porosity and the lowest values of minimum soil air capacity. The values measured during direct sowing in 0,10-0,20 m depth exceeded the critical limits of soil compaction. The lowest soil moisture content was shown during deep loosening and the highest during direct sowing. Measured penetrometric soil resistance always increased under the depth of soil tillage and there the more solid layer was formed. However, the critical limit indicating soil compaction was exceeded only during tillage. It was in depth 0,25 m.

From long-term evaluation, shallow loosening can be recommended to grow grain corn in this area. This alternative provides corn with optimal conditions for its growth and development. When compared to the alternative of ploughing it is more soil-friendly, more profitable and uses labour force more effectively. The experience from practice and the results of our experiment vindicated the recommendation of regular deep loosening inclusion when growing grain corn.

Keywords: maize grain, yield, soil tillage, soil physical properties, soil compaction

OBSAH

1 ÚVOD 9
2 LITERÁRNÍ PŘEHLED 10
2.1 Půda 10
2.1.1 Současný stav půdy v ČR 10
2.1.2 Degradace půdy 12
2.1.2.1 Zastavování území *14*
2.1.2.2 Eroze půdy *14*
2.1.2.3 Pedokompakce *16*
2.1.2.4 Acidifikace *16*
2.1.2.5 Kontaminace *17*
2.1.2.6 Dehumifikace *18*
2.1.3 Degradace půd v Evropě 19
2.2 Zpracování půdy 19
2.2.1 Volba způsobů zpracování půdy 20
2.2.2 Základní rozdělení způsobů zpracování půdy 21
2.2.3 Konvenční zpracování půdy 22
2.2.3.1 Členění konvenčního zpracování půdy *22*
2.2.3.2 Přednosti a nedostatky konvenčního zpracování půdy *23*
2.2.4 Minimalizační zpracování půdy 24
2.2.4.1 Důvody rozšíření a rozvoje minimalizačních technologií *25*
2.2.4.2 Členění minimalizačního zpracování půdy *26*
2.2.4.3 Přednosti a nedostatky minimalizačního zpracování půdy *27*
2.3 Kukuřice 29
2.3.1 Historie pěstování 29
2.3.2 Význam kukuřice 30
2.3.3 Pěstovaní kukuřice v ČR 31
2.3.4 Botanická charakteristika 32
2.3.5 Požadavky kukuřice na půdně klimatické podmínky 33
2.3.6 Zařazení do osevního postupu 34
2.3.7 Minimalizační technologie zpracování půdy ke kukuřice na zrno 35
2.3.8 Půdoochranné technologie zpracování půdy 36
3 CÍL PRÁCE 38

4 MATERIÁL A METODY 39
4.1 Charakteristika pokusného stanoviště 39
4.1.1 Půdní podmínky 39
4.1.2 Klimatické podmínky 40
4.2 Charakteristika pokusu 43
4.2.1 Varianty zpracování půdy 44
4.3 Hnojení 46
4.4 Založení porostu 46
4.5 Ochrana proti škůdcům 47
4.6 Ochrana proti plevelům 48
4.7 Sklizeň 48
4.8 Sledování vlivu různého zpracování půdy 49
4.8.1 Výnosy kukuřice na zrno 49
4.8.2 Penetrometrický odpor půdy 49
4.8.3 Fyzikální vlastnosti půdy 50
4.8.4 Stanovení struktury půdy 50
4.8.4.1 Koeficient strukturnosti 50
4.8.4.2 Stanovení vodostálosti půdních agregátů 51
4.9 Zpracování a hodnocení výsledků 52
5 VÝSLEDKY A DISKUZE 53
5.1 Výnosy a vlhkost zrna kukuřice 53
5.2 Penetrometrický odpor půdy 56
5.3 Fyzikální vlastnosti půdy 58
5.3.1 Objemová hmotnost půdy 59
5.3.2 Pórovitost půdy 61
5.3.3 Minimální vzdušná kapacita půdy 63
5.3.4 Vlhkost půdy – objemová 65
5.3.5 Celkové zhodnocení fyzikálních vlastností půdy 66
5.4 Strukturní stav půdy 67
5.4.1 Koeficient strukturnosti 68
5.4.2 Stanovení vodostálosti půdních agregátů 68
6 ZÁVĚR 71
7 POUŽITÁ LITERATURA 73
8 SEZNAM TABULEK 83
9 SEZNAM OBRÁZKŮ 84
10 PŘÍLOHY 85

1 ÚVOD

V současné době patří kukuřice k dominantním plodinám, které jsou pěstovány na českých polích. Je to způsobeno především jejím vysokým výnosovým potenciálem a také díky jejímu všestrannému využití. Produkce kukuřice se využívá jak v krmivářském a potravinářském průmyslu, tak i v průmyslu lihovarnické a škrobárenském.

Přestože po 90. letech došlo v České republice k výraznému snížení osevních ploch silážní kukuřice, což bylo spojeno se snížením stavů skotu, v posledních letech došlo k jejímu opětovnému navýšení. Hlavním důvodem pro tento nárůst bylo vysoce perspektivní využití biomasy silážní kukuřice jako obnovitelného zdroje pro výrobu elektrické energie – bioplynu a také využití kukuřičného zrna na výrobu bioetanolu. Je tedy zřejmé, že se v posledních letech pěstování kukuřice stává velmi dobře zpeněžitelnou činností, která přináší zemědělcům v jejich podnikání významný příjem.

S častějším zařazování kukuřice do osevních postupů však vznikají rizika na svažitých půdách, kde je zvýšené riziko ohrožení půd vodní erozí. Kukuřice patří mezi širokořádkové plodiny, a proto je její pěstování usměrněno zavedenými standardy DZES. To znamená, že se kukuřice nemůže pěstovat na silně erozně ohrožených půdách, na půdách mírně erozně ohrožených ji lze pěstovat pouze s využitím půdoochranných technologií. Proto je tak důležité zaměřit se na ochranu půdy, která je naším nejdůležitějším neobnovitelným přírodním bohatstvím, a také zabránit degradacím půd.

Z tohoto důvodu by se v současnosti měli zemědělci snažit o uplatnění šetrnějších metod zpracování půdy, protože při využití minimalizační a půdoochranné technologie zpracování půdy dochází nejen k ochraně půdy, ale také ke zvýšení úrodnosti, zlepšení biologických, chemických a fyzikálních vlastností a šetrnějšímu zacházení s vodou v sušším období. Přestože jsou tyto způsoby zpracování půdy časově i ekonomicky výhodné a zároveň šetrné k půdě, jejich využívání může přinášet jistá rizika. Proto je velmi důležité brát při volbě vhodné technologie zpracování půd v úvahu klimatické a půdní podmínky, ve kterých bude zemědělský podnik hospodařit.

2 LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1 Půda

Mezi nejdůležitější přírodní zdroje zcela jistě patří půda. Půda není jenom základním výrobním prostředkem v zemědělství, ale je i významnou součástí životního prostředí, ve kterém plní mnoho různých funkcí – je stanovištěm rostlin i živočichů, je velice důležitá pro akumulaci a filtraci vody, dále má i funkci asanační. Půda je systém, který není stabilní a neustále se vyvíjí. V našich podmínkách významně ovlivňována antropogenní činností, ať už přímo či nepřímo. Velmi důležitá je také úzká provázanost půdních funkcí díky čemuž jsou navzájem zranitelné různými formami degradace půd (Brtnický, 2012).

Důležitost správného hospodaření s půdou nelze brát na lehkou váhu, jak již řekl Franklin D. Roosevelt v roce 1937: „*Národ, který ničí půdu, ničí sebe*.“ Je tedy zřejmé, že člověk je už od nepaměti závislý na půdě, její kvalita je však přímo závislá na činnosti člověka. A právě s kvalitní půdou je spojen i vliv na kvantitu a kvalitu produkovaných potravin, krmiv pro hospodářská zvířata a v neposlední řadě i surovin využívaných v nepotravinářském průmyslu (Šarapatka et al., 2002).

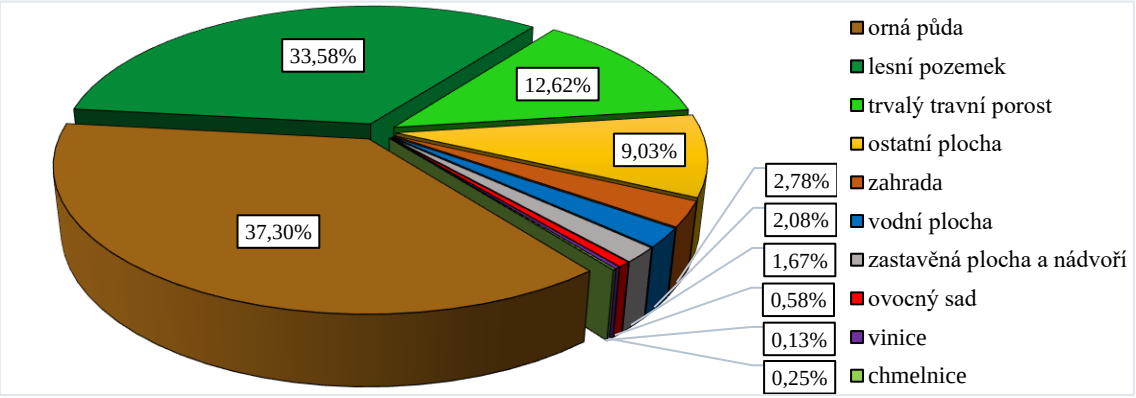
O důležitosti půdy by se dalo psát dlouze, na závěr bych jenom uvedl vyjádření o významu půdy od Friedricha Alberta Fallou z roku 1862: „*V celém komplexu přírody není nic důležitějšího a nezaslouží si větší pozornosti než půda. Skutečně je to půda, která činí svět přátelským prostředím pro lidstvo. Je to půda, která vyživuje a zásobuje; všechno stvoření závisí na půdě, která je základem naší existence.*“ (Šarapatka et al., 2002).

2.1.1 Současný stav půdy v ČR

V České Republice je celková výměra půdního fondu 7887 tis. ha, z toho 4216 tis. ha činí zemědělský půdní fond (ZPF), podíl zemědělské půdy zabírá 53,6 % z celkové rozlohy půdního fondu. Využití PF ČR je zobrazeno v přiloženém grafu (Obr. 1). V naší republice je typickým znakem vysoké procento zornění okolo 70 % a vysoký podíl pronajímané půdy okolo 74 % (Budňáková, 2017).

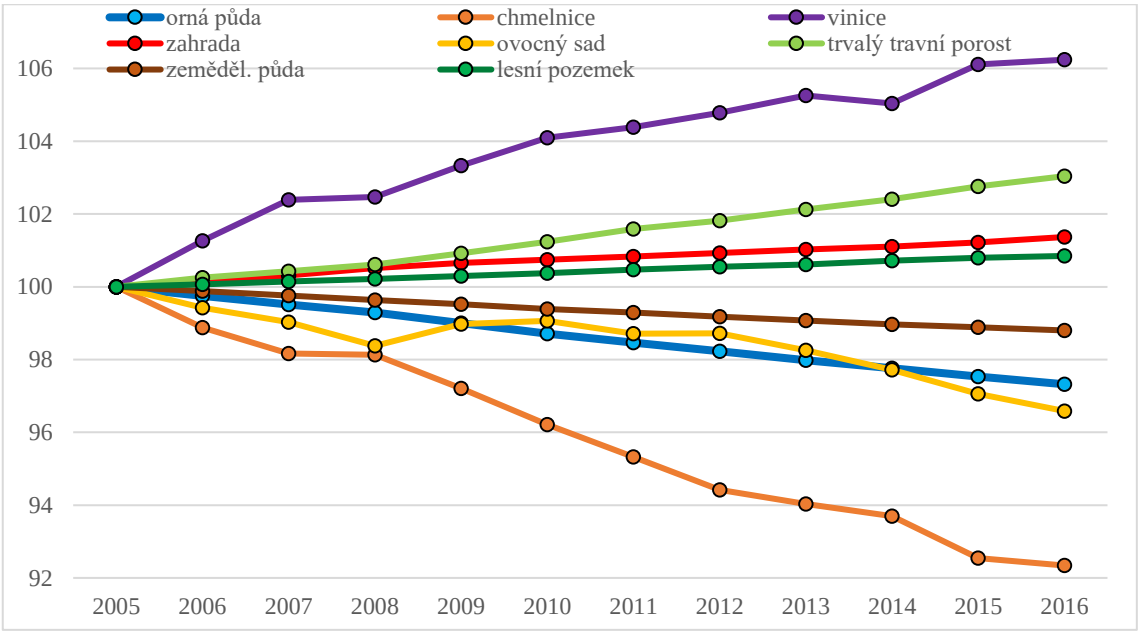
Podle Kratiny (2015) je zřetelným dlouhodobým trendem ve využívání území ČR pokles výměry orné půdy v letech 2000-2015 o 3,6 % (110,4 tis ha) a nárůst ploch s trvalými travními prosty (TTP) o 4,1 % (39,6 tis. ha) a to na úkor půdy orné. To je podpořeno především dotační politikou státu a využitím principů Společné zemědělské

politiky EU. Tento vývoj je pozitivní jak z pohledu zachování biodiverzity, tak ochrany životního prostředí, neboť se tím snižuje zátěž zemědělského hospodaření. Podle MZe (2015) je jen zhruba 40 % ZPF na půdách nadprůměrně úrodných, 60 % na méně až málo úrodných půdách. Přibližně 54 % orných půd je průměrných a podprůměrných a pro agroekosystémy je 6 % ploch zcela nevhodných.



Obr. 1: Rozdělení půdního fondu ČR [%], 2016 (Zdroj dat: ČSÚ; upravil: Adámek, 2017)

Z níže přiloženého grafu (Obr. 2) je zřejmé, že celková výměra zemědělské půdy s postupem času pozvolna klesá, v období 2000-2015 byl pokles o 67,9 tis ha. Pokles je způsoben například záborem půd v důsledku rozšiřování zastavěných ploch a ploch ostatních, v letech 200-2015 byl pokles o 67,9 tis. ha, čímž se rozsah zastavěných a ostatních ploch dostává na 841,2 tis. ha, což představuje 10,7 % území ČR. Další úbytek zemědělské půdy způsobuje pozvolný růst lesních a vodních ploch, v období 2000-2015 byl nárůst vodních ploch o 6,1tis. ha (Kratina, 2015).



Obr. 2: Vývoj využití území v ČR [Index, 2005=100], 2005-2016 (Zdroj dat: ČÚZK; upravil: Adámek, 2017)

2.1.2 Degradace půdy

V České republice dochází v současné době k velice vážným degradacím půd. Jde především o proces, při kterém dochází ke snižování úrodnosti půd a poškozováním jejich hlavních funkcí. Tento problém by neměl trápit pouze zemědělce, protože se týká všech. Jak již bylo zmíněno výše, půda je neobnovitelný přírodní zdroj, který vznikal stejně jako ropa či uhlí velmi dlouho dobu. Vznik jednoho centimetru půdy trvá stovky až tisíce let. Zarážejícím faktem ale je, jak rychle a jaké množství půdy z pole může odplavit jeden přívalový déšť (Nečanský, 2017).

Hlavní příčinou degradací půd jsou především negativní vlivy intenzivního a extenzivního zemědělství, lesnictví a činností lidské civilizace. Dalším významným problémem je provázanost jednotlivých degradačních procesů. (ASZ, 2015) Toto tvrzení podporuje i Vopravil (2016), který říká, že každý z jednotlivých degradačních procesů většinou způsobuje řetězovou reakci, a tak se postupně projevují další a další degradační procesy poškozující půdu. Příklad řetězové rekce degradačních procesů můžeme vidět na přiloženém obrázku (Obr. 3).

Obr. 3: Řetězová reakce degradačních procesů (Zdroj: Vopravil, 2016; upravil: Adámek, 2017)

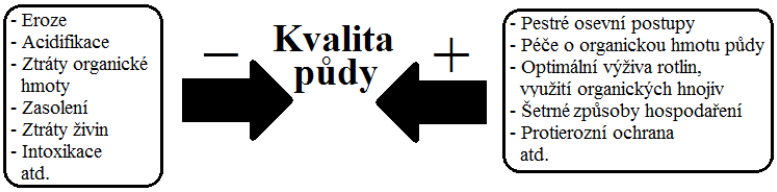
Dalším významným faktorem, který napomáhá degradaci půd, je to, že půdu v České republice drží ve vlastnictví velké množství drobných vlastníků, kteří ji zdědili od svých předků. Pro český venkov je dnes typický vztah pachtovatel-pachtýř, který vznikl kolektivizací zemědělství, jež odtrhla lidi od jejich půdy. Mnoho pachtovatelů již ani neví, kde jejich pozemky leží, a tím se jejich postavení stává velmi slabým. A to poskytuje pachtýřům velmi silné postavení, kterého velmi často zneužívají (Prokeš, Zeman, 2015).

Badalíková (2016) nazývá tento problém, kdy pachtýři zneužívají svého postavení, tzv. vybičováním půdy, jak z hlediska strukturního, tak i živinného stavu. Problémem jsou tedy tací „hospodáři“, kteří se v co nejkratší době snaží získat z půdy co největší zisky. Jakmile však půda přestane vynášet, je pozemek ponechán ladem, nebo se navrátí původnímu majiteli. Již dříve se vědělo o významném a ozdravujícím přínosu střídání plodin a úhorového hospodaření na kvalitu půdního prostředí. Nebude-li snaha o zachování pozitivních půdních vlastností půdy, bude docházet k umrtvování půdy bez naděje o navrácení do produkčního stavu a nás čeká nedostatek potravin a vody.

Mezi hlavní degradační procesy v České Republice řadíme podle *Situační a výhledové zprávy o Půdě* (MZe, 2015):

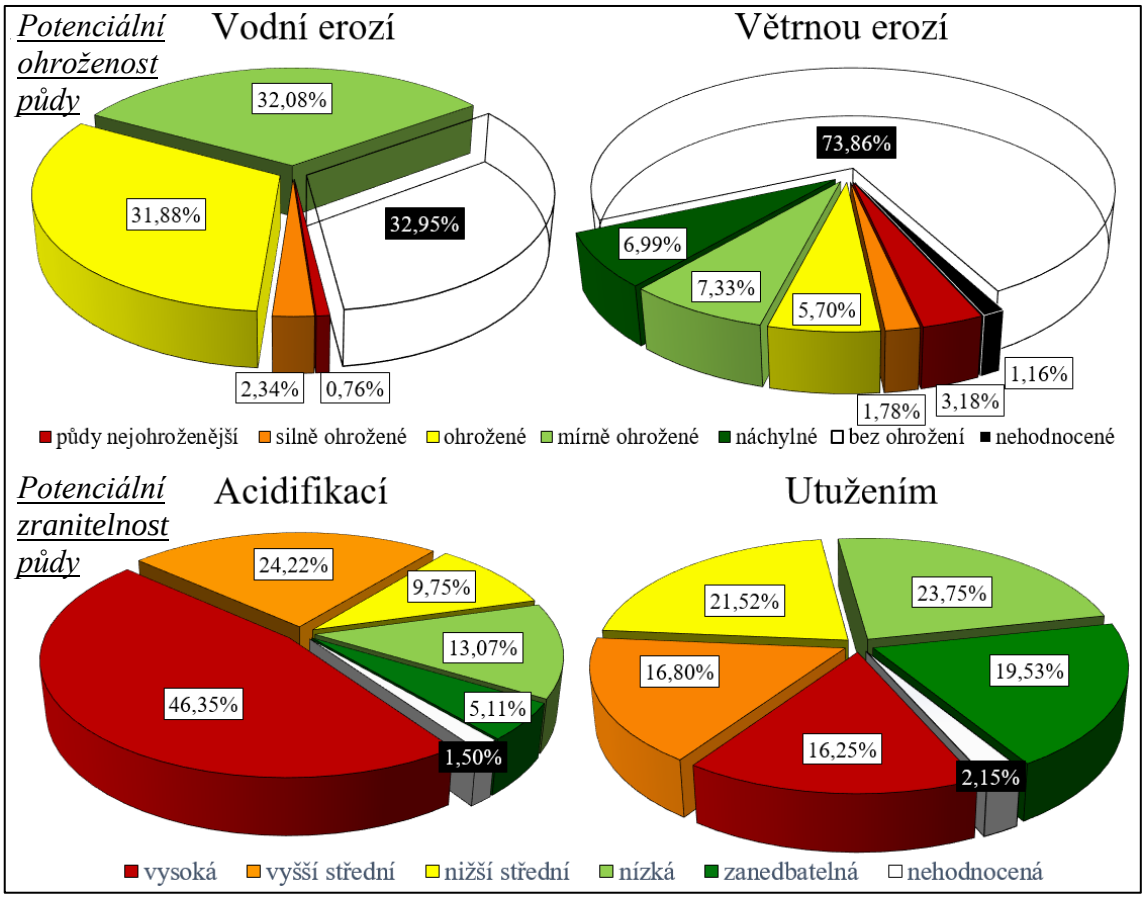
- ***zastavování území (soil sealing)***
- ***vodní a větrná eroze***
- ***utužení půd (pedokompakce)***
- ***okyselování půd (acidifikace)***
- ***úbytek organické hmoty (dehumifikace)***
- ***znečištění půd (kontaminace)***

Vliv degradačních procesů a ochranných zásahů na kvalitu půdy vidíme na Obr. 4.



Obr. 4: Ovlivnění kvality půd (Šarapatka et al., 2002)

Potenciální ohroženost půdy v ČR vlivem degradačních procesů jsou graficky zobrazeny na Obr. 5 dle údajů VÚMOP, v.v.i.



Obr. 5: Potenciální ohrožení půd v ČR degradačními procesy (Zdroj dat: VÚMOP, v.v.i.; upravil: Adámek, 2017)

2.1.2.1 Zastavování území

Zastavování půdy můžeme definovat jako zakrytí půdy nepropustnými materiály, díky čemuž půda ztrácí svůj potenciál. Zastavování půdy je kompletním ničení půd a jejich funkcí, jak produkčních, tak i neprodukčních – dochází k omezení infiltrace a retence vody. V zastavěných plochách tak dešťové srážky způsobují lokální povodně a také není v dostačující míře doplňována hladina podzemní vody (Martinovský, 2016).

Podle Hluška a Lošáka (2015) je zastavování půdy spojené s nekontrolovaným rozšiřováním sídel neboli suburbanizací, což je v současnosti společně s erozí největším problémem zemědělských půd. Pro investory je totiž cenově výhodnější stavět na zelené louce (greenfields). Z údajů MZe (2015) vyplývá, že v letech 2000-2015 ubylo v ČR 66825 ha zemědělské půdy (12,2 ha/den). Podle Budňákové (2017) ubylo v roce 2008 zhruba 5096 ha (14 ha/den). V současnosti je díky uplatnění novely zákona na ochranu půdního fondu redukován denní úbytek na 9 ha zemědělského půdního fondu. Srbek (2014) jako řešení proti dalšímu zastavování úrodných půd uvádí podporu využití ploch v zastavěném území měst nebo využití stávajících areálů a objektů (brownfields).

2.1.2.2 Eroze půdy

Jako eroze se označuje soubor procesů rozrušování a následného přenosu zvětralé horniny. Tyto procesy můžou být chemické nebo mechanické, na zemědělské půdě se výzkum zaměřuje spíše na ochranu opřed mechanickou vodní nebo větrnou erozí. Eroze je sice **přirozenou půdní geologickou silou**, bez které by nevznikla zemědělská půda, jak ji dnes známe, ale lidskou činností se eroze výrazně zrychlila (Martinovský, 2016).

Smrček (2011) popisuje **zrychlenou (nadměrnou)** erozi jako současný problém na zemědělské půdě, kdy dochází k povrchovému odnosu vrchních vrstev půdy vyšší rychlostí, než je rychlost přirozené tvorby půd půdotvornými procesy. A to způsobuje následné škody na pozemcích (ztráta úrodné vrstvy) i mimo nich (sedimentace ve vodních tocích nebo zanášení komunikací). Podle Šarapatky (2014) může při odstranění 5-15 cm ornice dojít k poklesu výnosů o 15-30 % a v případě odstranění celého humusového horizontu může být pokles až o ¾. Může tak docházet i k ovlivnění vlastností půdy. Z chemických vlastností dochází ke snížení obsahu půdní organické hmoty, ztrátou živin a obnažením podorničí může dojít ke zvýšení kyselosti půdy. Z fyzikálních vlastností dochází především ke změně textury a struktury půdy, infiltračních schopností, objemové hmotnosti půdy a její pórovitosti.

Vodní erozi můžeme definovat jako komplexní proces, který zahrnuje rozrušování povrchu půdy, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic působením vody. Mezi hlavní příčiny vodní eroze patří vysoké procento zornění, velikosti půdních bloků, (jedny z největších v Evropě), nevhodné hospodaření a obdělávání půdy ve vztahu s vrstevnicemi, použití nevhodné skladby plodin na svažitých pozemcích, nedostatečný vegetační pokryv v průběhu roku. Významný je také vliv množství srážek a přívalové deště. Když úhrn srážek překročí 12,5 mm a intenzitu 24 mm/h můžeme jej považovat za erozně nebezpečný. Tyto deště se z 80 % vyskytují v období červen-srpen, v těchto měsících je důležitá ochrana vegetačním pokryvem půdy (Vráblíková, 2007; MZe, 2011).

Ochrana zemědělské půdy proti **vodní erozi** spočívá především v realizaci pozemkových úprav a použití vhodných protierozních opatření. O využití způsobu ochrany rozhoduje především jejich účinnost a vliv na snížení smyvu půdy. Dále je nutné respektovat zájmy vlastníků a uživatelů půdy, nutností je také ochrana objektů (vodních toků, zdrojů, nádrží atd.), životního prostředí, přírody a tvorby krajiny (Janeček, 2007). Popis jednotlivých protierozních opatření je velmi obsáhlým tématem, proto je vhodné využít publikace *Příručka ochrany proti vodní erozi* (MZe, 2011) k doplnění informací o komplexu organizačních opatření, agrotechnických opatření a technických opatření společně s implementací standardů GAEC (dnes DZES) na ochranu půdy před erozí.

Větrná eroze je přírodním procesem, kdy pomocí mechanické síly větru dochází k přesunu půdních částic z povrchu půdy na jiné místo a následně jejich usazování. Větrnou erozi můžeme rozdělit na *erozi saltací* – přenos a transport půdních částic jen na malé vzdálenosti; nebo na *prašné bouře* – půdní částice se volně vznáší ve vzduchu a jsou transportovány na velké vzdálenosti. Se vznikem větrné eroze souvisí nadměrná velikost půdního bloku s monokulturou, dalšími příčinami jsou chybějící větrolamy, remízky, aleje, ale i chybějící vegetační pokryv. Přestože je mechanismus působení větrné eroze odlišný od eroze vodní, dopady na půdu jsou velmi podobné (Hlušek a Lošák, 2015).

Vráblíková (2007) popisuje vliv **větrné eroze** na půdu podobně jako erozní smyv, dále dochází k obnažení kořenů vegetace, která následně usychá. Dalšími problémy jsou zavátí kultur nebo znečištění ovzduší (v 1 km^3 až 300 tun prašných částic). Jako protierozní opatření proti vlivům větrné eroze doporučuje Srbek (2014) úpravu velikosti a tvaru pozemků nebo ochranné zatravnění, zalesnění a pásové střídaní plodin. Vhodné je také vytvoření větrolamů a remízků ke snížení rychlosti větru. Pro rozšíření informací o větrné erozi je vhodná metodika *Ochrana zemědělské půdy před erozí* (2007).

2.1.2.3 Pedokompakce

Když mechanizace pojezdem po pozemku způsobí takový tlak na půdu, který je vyšší než její nosnost, dochází k utužení půdy. Bez ohledu na to je-li půda písčitá nebo jílovitá, může být každá půda utužena. U jílovitých půd se utužení projevuje rychleji. Na rozdíl od úrodné sprašové hlinité půdy, která je zdánlivě odolnější ale také může být utužena. Už nepatrný podíl jílu a siltu u písčitých půd zvyšuje citlivost k utužení (Berner, 2013).

Utužení půdy přímo souvisí s přípravou a zpracováním půdy, sklizní a především při využívání nadměrné mechanizace zvláště v nevhodných vlhkostních podmínkách a s managementem stád (McMahon et al., 2011) Podle MZe (2015) je utužení způsobeno také vysokou závlahou, osevními postupy s monokulturami bez víceletých pícnin, vysokým hnojením draselnými hnojivy, úbytkem organické hmoty a okyselováním půd.

Důsledkem utužení půdy pak může být degradace půdní struktury, která vyvolává změny objemové hmotnosti (↑), pórovitosti (↓) snížení infiltrace, propustnosti a retenční kapacity. Vlivem degradace fyzikálních vlastností půdy dochází k utužení podorničí a spodiny, nebo se vytváří krusty na povrchu půdy. Produkční a mimoprodukční funkce půdy jsou ovlivněny zvýšenou erozí – při snížení infiltrace je zrychlen povrchový odtok, nižší využitelná a retenční vodní kapacita se zmenšuje společně s nižší pórovitostí. Pro vzcházení a vývoj rostlin se tvoří horší podmínky – nedostatek vody, vzduchu a omezení hloubky půdního profilu. Se zhoršením vodního, vzdušného a termického režimu půdy souvisí i potlačení biologické aktivity v půdě (Hlušek a Lošák, 2015).

Utužení půdy můžeme omezit využíváním vhodné agrotechniky při optimálních vlhkostních poměrech, omezením pojezdů po pozemku a spojováním více operací do jedné. Další možností je používání precizního zemědělství, využití pevných kolejových řádků (CTF) nebo použití flotačních pneumatik. Dále je důležité využívání vhodné struktury plodin v osevním postupu a optimální hnojení a vápnění (Šarapatka, 2014).

2.1.2.4 Acidifikace

Acidifikace neboli okyselování půd, je přírodní degradační proces, který je definován snížením pufrační schopnosti půdy díky přísunu kyselin zvenčí, nebo jejich tvorbě v půdě. Acidifikace má vliv na uvolňování hliníku a železa, nebo na snížení obsahu bazických kationtů (K^+, Ca^{2+}, $Mg^{2+,}$ Na^+), dále má vliv na sorpční komplex půdy, kdy klesá saturace bázemi (Hlušek a Lošák, 2015).

K acidifikaci podle Kehla et al. (2011) dochází působením **přirozených půdních procesů,** např. illimerizací nebo podzolizací, ale též působením **antropogenně podmíněných procesů**, které souvisejí s kyselými dešti, kysele působícími hnojivy, odběrem bazických prvků (Ca) plodinami, intenzivní závlahou a vysokým zastoupením monokultur nebo malým zastoupením víceletých pícnin v osevním postupu.

Důsledkem acidifikace dochází k poklesu hodnoty půdní reakce (pH). Snížením pH dochází k destrukci půdní struktury, náchylnosti k erozi půdy a má i negativní vliv na výnos pěstovaných plodin, které potřebují optimální hodnoty pH (MZe, 2015). K omezení acidifikace navrhuje Šarapatka (2014) omezení monokultur a zařazení víceletých pícnin do OP, snížení kyselých vstupů do půdy a úpravu pH pravidelnou dávkou vápenatých hmot, kdy by podle Brtnického (2012) bylo třeba vápnit 73 % zemědělské půdy.

2.1.2.5 Kontaminace

Kontaminace půdy je, v důsledku více než 200 letům industrializace, rozšířeným a významným problémem po celé Evropské unii (3,5 mil. kontaminovaných lokalit). Nejčastěji je půda kontaminována těžkými kovy nebo minerálním (tzv. ropným) olejem (Jones et al., 2012). V ČR je kontaminace spíše lokálním problémem, který má většinou historický původ (průmyslová výroba, báňská činnost apod.). Příčinou mohou být i povodně, které vyplaví nebezpečné sklady chemikálií, protržení podzemních zásobníků, nebo prosakování chemikálií při nevhodném skladování (Hlušek a Lošák, 2015).

U zemědělské půdy může být kontaminace způsobena imisemi ze znečištěného ovzduší dopravou a průmyslem, použitím chemicky vyrobených hnojiv v nevhodnou dobu (hnojivo může být spláchnuto za deště), aplikací jejich nadměrného množství, nebo jejich nesprávného poměru. To samé platí i pro používání chemických postřiků k hubení škodlivých organismů – herbicidy, insekticidy, pesticidy a jiné (Ehlrich et al., 2013).

V ochraně před kontaminací se využívají legislativní limity ze zákona o ochraně zemědělského půdního fondu pro používání potenciálně rizikových materiálů v zemědělství, jako jsou hnojiva, půdní pomocné látky, sedimenty, nebo kaly. V současnosti mají velký význam i fytoremediační techniky zaměřené na odstranění kontaminantů z půdy, obnovu požadovaných funkcí půdy nebo omezení negativního vlivu kontaminace. (Čechmánková a Skála, 2011). Informace o kontaminovaných místech jsou přístupné v databázi Systému evidence kontaminovaných míst (http://www.sekm.cz/), nebo z mapových podkladů na http://kontaminace.cenia.cz/.

2.1.2.6 Dehumifikace

K hlavním příčinám ztráty půdní organické hmoty, především její humifikované nejcennější části – humusu, patří vliv vodní a větrné eroze, změny využívání půdy po vykácení lesa nebo rozorání luk a pastvin, zvýšené mineralizace při změně aeračních a hydrotermických podmínek po odvodnění půdy, nevhodné kultivace a nedostatečný vstup organické hmoty do půdy při intenzivní produkci. Důsledkem úbytku organické hmoty dochází k degradaci půd, která se může projevovat (Šarapatka, 2014):

- zvýšenou náchylností k utužení půd a vyšší zranitelností vodní a větrnou erozí
- ztrátou stability půdních agregátů – degradace fyzikální
- snížením pufrační schopnosti – náchylnost k acidifikaci a alkalizaci
- poklesem retenční a filtrační schopnosti půd
- zvýšením hladiny minerálního dusíku – vliv na vodní zdroje
- následným snížením biologické aktivity v půdě
- snížením sorpční schopnosti kontaminujících látek a zvýšením jejich mobility
- vlivem na produkční schopnosti půdy a snížením výnosů plodin

Intenzivní dehumifikace ohrožuje půdy v ČR spíše místně při intenzivní erozi, sledu více degradačních procesů, nebo neuváženém zásahu do rovnovážného vodního režimu půdy. Ke snížení humusu o 5-15 % v závislosti na půdním typu docházelo podle dosavadních zjištění na půdách po jejich odvodnění. Další úbytky byly zaznamenány také na intenzivně zavlažovaných půdách. Půdy vyvinuté na píscích a štěrkopíscích (zrnitostně lehkých substrátech) jsou náchylnější na dehumifikaci, na rozdíl od půd černozemního charakteru, kde nebyly zjištěny zásadní změny v obsahu humusu (MZe, 2015).

Srbek (2014) uvádí jako ochranu před dehumifikací podporu meziplodin a víceletých pícnin spojených s podporou živočišné výroby, dostatečné hnojení organickými nebo statkovými hnojivy, využití posklizňových zbytků, zeleného hnojení a kompostů. Vhodným způsobem zpracování půdy omezující rozklad půdní organické hmoty jsou půdoochranné technologie zvyšující množství organické hmoty v povrchové vrstvě půdy.

Více informací o ochraně před úbytkem organické hmoty nebo o dehumifikaci samotné můžeme najít na internetové stránce http://organickahmota.cz.

2.1.3 Degradace půd v Evropě

Škody způsobené degradací půd v EU jsou podle Jones et al. (2012) a Srbka (2014):

Zástavba (sealing) – 1990-2006 ztráta potenciální produkce = 6 milionů tun pšenice

Vodní eroze – 16 % zemědělské půdy (115 miliónů ha)
Větrná eroze – 42 miliónů ha
} 14 miliard Euro/rok

Pedokompakce – 36 % zemědělské půdy je vysoce ohroženo a 18 % ohroženo středně

Dehumifikace – 45 % zemědělské půdy } 5 miliard Euro/rok

Kontaminace – 3,5 miliónu kontaminovaných lokalit } 2,5 – 17 miliard Euro/rok

Celkové škody způsobené degradací půd v EU se pohybují okolo 38 miliard Euro/rok (s výjimkou utužení a acidifikace – škody nebyly vyčísleny).

2.2 Zpracování půdy

Hlavní funkcí zpracování půdy je její úprava do takového stavu, který poskytuje plodinám dobré podmínky pro růst a vývoj, ale současně i minimalizace negativních dopadů na stanoviště. Proto by ten, kdo na půdě hospodaří měl mít trvalý zájem, o dlouhodobé důsledky, které svým hospodařením na půdě způsobí (Smutný et al., 2015).

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, půda je nenahraditelným přírodním bohatstvím naší země, a proto je nutné zaměřit se na volbu vhodného zpracování půdy, aby nedocházelo k její degradaci. Vhodné agrotechnické zásahy mohou významně zvýšit potenciální úrodnost půdy, naopak při nevhodném zásahu dochází ke snížení nebo až ke zničení půdního stanoviště, devastaci půd a poškození životního prostředí. Zpracování a kultivace půdy tedy patří mezi faktory, které ovlivňují nejen půdní úrodnost, stabilizaci výnosu a kvality plodin, ale i celkovou úroveň zemědělství a ekologie (Škoda, 1996).

Kvalitní zpracování půdy vytváří vhodné seťové a sadbové lůžko pro zakládání porostů a též ruší staré porosty. Správnou kultivací půd můžeme dosáhnout zlepšení a udržení dobrého fyzikálního stavu půdy během vegetace, regulaci plevelů a udržení příznivého prostředí pro růst a vývoj plodin (Škoda a Cholenský, 2002). Podle Hůly et al. (1997) ale může nevhodný způsob zpracování půdy snížit účinnost hnojení a dalších opatření v pěstebních technologiích. Dále může docházet ke zhoršení podmínek pro založení vyrovnaných porostů plodin a ke snížení odolnosti půd vůči vodní a větrné erozi, které jsou hlavně ovlivněny zvolenými postupy zpracování půdy.

2.2.1 Volba způsobů zpracování půdy

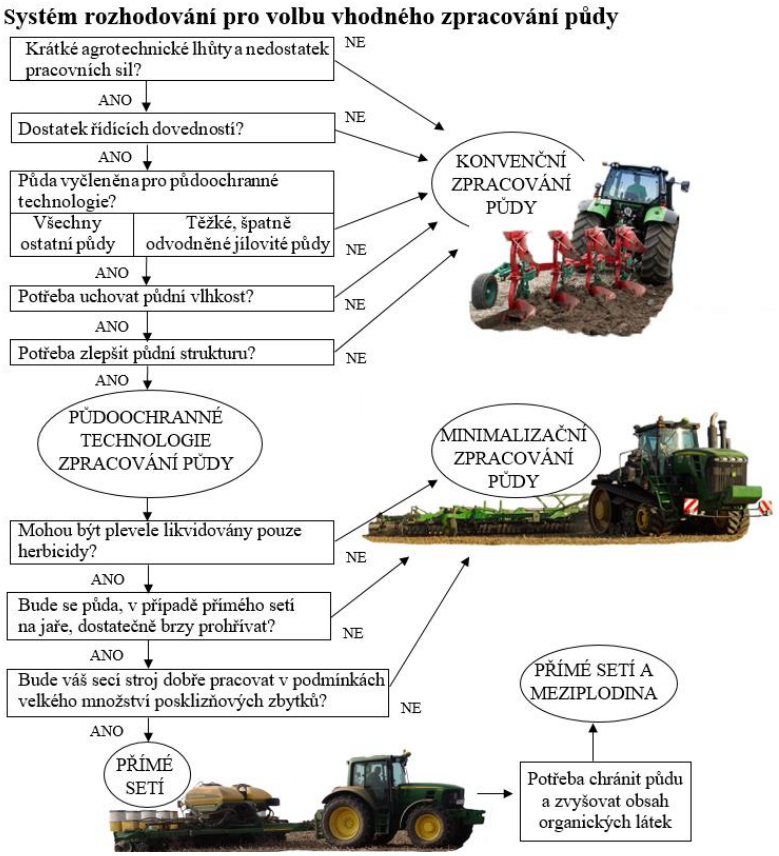
O volbě technologie zpracování půdy s orbou či bez ní, nebo volbou mezi mělkým a hlubším zpracováním půdy většinou rozhoduje více různých faktorů. Mezi tyto faktory řadíme především mocnost ornice, strukturu pěstovaných plodin, produkci statkových hnojiv ze živočišné výroby, svažitost pozemků, stav na povrchu půdy po sklizni a s tím spojený s managementem posklizňových zbytků včetně slámy. Dále sem také patří technologická vybavenost a celková koncepce zemědělského podniku či farmy s ohledem na počet pracovníků (Javorek, 2013).

Podle Hůly a Mayera (1999) je volba technologií a strojů pro zpracování půdy značně ovlivněna rozmanitostí půdních podmínek v ČR. Proto je také kvalita zpracování půdy a její energetická náročnost většinou předurčena zrnitostním složením půd. Volba zpracování půdy se tak především odvíjí od **půdních a klimatických podmínek**, **aktuálního stavu půdy** a **nároků pěstovaných plodiny na půdní prostředí**.

V ***teplejších a sušších oblastech***, kde jsou půdy druhově lehčí a více propouští vodu, je potřeba vytvoření podmínek pro vyšší retenční a akumulační schopnost půdy. Proto je vhodné snížení intenzity zpracování a hloubky půdy, v některých případech ponecháním části půdy bez zpracování. Díky nižší intenzitě zpracování a vyšší objemové hmotnosti se zvyšuje poměr kapilárních pórů, čímž se mění poměr mezi vzdušnou a vodní kapacitou půdy ve prospěch vodní kapacity – zlepšení vodního režimu (Hůla et al.,2004).

Naopak je tomu u půd v ***chladnějších a vlhčích podmínkách***, které jsou těžší a mají velké objemové změny, udržení jejich potřebné pórovitosti je totiž mimořádně náročné. Jedná se především o objem hrubých nekapilárních pórů, které rozhodují o aeračních schopnostech a propustnosti půdy. Těžké půdy jsou obtížně zpracovatelné díky velké soudržnosti půdních částic a těžkému rozpojení jejich agregátů, čímž vytváří odpor vůči mechanizačním prostředkům. Při zpracování za sucha tyto půdy kladou velký odpor při zpracování (orba a kypření), kdy se tvoří hroudy, které ztěžují další zpracování a přípravu půdy pro setí. Při zpracování během nadměrné půdní vlhkosti se půdy stlačují, mažou a lepí na pracovní tělesa mechanizace (těžší práce) (Hrubý, Procházková a Suskevič, 2000).

Při výběru vhodného zpracování půdy je tedy nutné se rozhodnout, které faktory je třeba zvážit a která rozhodnutí je třeba učinit. K tomu je možné využít rozhodovací mechanismus publikovaný firmou MONSANTO (2000), jenž je zobrazen na Obr. 6.



Obr. 6: Rozhodovací mechanismus pro volbu zpracování půdy (Zdroj: MONSANTO, 2000; upravil: Adámek, 2017)

2.2.2 Základní rozdělení způsobů zpracování půdy

Podle Hůly et al. (2010) lze rozdělit způsoby zpracování půdy podle podmínek hospodaření v České republice do následujících skupin:

Konvenční zpracování půdy (technologie s orbou, tradiční zpracování půdy)

Ke zpracování půdy se každoročně využívá radličný pluh, který zapravuje rostlinné zbytky z předplodin, biomasu meziplodin a plevelů do půdy.

Minimalizační zpracování půdy (technologie bez orby)

V ČR řadíme pod pojem minimalizační technologie následující postupy:

- ***Minimalizace s kypřením půdy do zvolené hloubky***

  v případě příznaků zhutnění lze využít hlubšího prokypření ornice bez obracení.

- ***Půdoochranné zpracování půdy***

  po zasetí zůstává nejméně 30 % povrchu půdy pokryto rostlinnými zbytky z předplodin nebo meziplodin.

- ***Setí do nezpracované půdy (přímé setí)***

  po sklizni je půda ponechána bez jakýchkoliv zásahů, k setí do nezpracované půdy se využívají speciální secí stroje, které sejí do rýh nebo pruhů.

2.2.3 Konvenční zpracování půdy

V našich podmínkách je pro konvenční zpracování půdy typické využití každoročního opakování kypření a obracení ornice pomocí radličného pluhu. Tyto tradiční postupy jsou založeny na použití časového odstupu mezi operacemi základního a předseťového zpracování půdy. Díky tomuto odstupu mezi orbou a setím je dostatek času na přirozené slehnutí půdy a dále na vhodnou regulaci plevelů. V současné době i v konvenčním zpracování půdy běžně dochází ke spojování pracovních operací, jako je například spojení orby s operací předseťové přípravy nebo s drcením hrud, či spojení setí s předseťovou přípravou půdy (Mašek, 2012).

Mezi dlouhodobě ověřený technologický postup zpracování půdy patří konvenční zpracování půdy s orbou. Pro orbu je charakteristické zapravení rostlinných zbytků předplodiny nebo meziplodiny, zaklápění vzešlých plevelů a výdrolu obilnin nebo řepky a zaorání organických hnojiv do půdy. Využití tohoto technologického postupu je však v posledních letech přehodnocováno díky některým nedostatkům, které budou popsány níže. V Podnicích, které mají ve svém osevním postupu okopaniny a některou zeleninu, orbu u těchto plodin zřejmě nevyloučí, ale minimalizačního zpracování mohou využít k obilninám, řepce i k dalším plodinám (nutné vhodné technologie) (Hůla a Mayer, 1999).

2.2.3.1 Členění konvenčního zpracování půdy

Podle Chloupka et al. (2009) se tradiční zpracování půdy člení na tři základní části:

Základní zpracování půdy

Mezi nejdůležitější úkoly základního zpracování půdy patří propracování orničního profilu půdy, úprava biologických, chemických a fyzikálních vlastností půdy a tím i vytvoření vhodných podmínek pro růst a vývoj pěstovaných rostlin. ***Pracovní operace:*** *podmítka, orba a operace vedoucí ke zvětšování orničního profilu – prohlubování ornice, podrývání, dlátování, hloubkové kypření a rigolování* (Křen et al., 2015).

Předseťová příprava půda

Předseťovou přípravu půdy tvoří obdělávací zásahy (do menší hloubky), které vytváří vhodné seťové lůžko pro kvalitní uložení osiva a sadby, vzcházení rostlin a jejich další vývoj. Mezi další úkoly předseťové přípravy patří urovnání povrchu půdy, upravení složení agregátů ve vrchní vrstvě ornice, odplevelování půdy, podpoření biologické činnosti půdy a zamezení neproduktivnímu výparu vody. ***Pracovní operace:*** *smykování, vláčení, kypření, válení půdy a sloučení setí s přípravou půdy* (Chloupek et al., 2009).

Zpracování půdy během vegetace

Kultivační zásahy neboli ošetření půdy za vegetace, se v povrchové vrstvě ornice provádí do takové hloubky, aby nedošlo k poškození kořenového systému rostlin. Hlavním cílem kultivačních zásahů je prokypření povrchu půdy (přívod vzduchu a výměna plynů v rhizosféře), zlepšení vsakování vody a omezení její evaporace z půdy, obnovení strukturního stavu v povrchu ornice, rozrušení škraloupu po deštích a také mechanická regulace zaplevelení porostů. ***Pracovní operace:*** *vláčení, válení, plečkování, oborávání (hrůbkování) a hlubší kypření mezi řádky* (Křen et al.,2015).

2.2.3.2 Přednosti a nedostatky konvenčního zpracování půdy

Mezi hlavní předností orby patří poskytnutí výnosové jistoty i v méně příznivém počasí. Také vytváří „čistý stůl“ při zapravení posklizňových zbytků plodin i vytvořené hmoty meziplodin, plevelů a vzešlého výdrolu předplodiny. Problémy s orbou vznikají na těžkých a obtížně zpracovatelných půdách, kde je obtížnější setí do hrudkovité ornice po seťové orbě. Další problémy vznikají při orbě v nepříznivých podmínkách, kdy za vlhka orba zhutňuje dno brázd a vytváří zhutnělé vrstvy se zhoršenými fyzikálními vlastnostmi v podorničí. Při orbě v nevhodných podmínkách také dochází k nežádoucímu zvýšení nákladů díky ztrátě času a nadměrnému spotřebování nafty (Mašek, 2004).

Mezi charakteristické znaky orby patří drobení, kypření, promíchávání a obracení půdy. A právě obracení půdy je efekt, kterým se orba liší od ostatních operací zpracování půdy srovnatelných s orbou z hlediska hloubky zpracování (kypření dlátovými kypřiči). Obracení půdy je zároveň důvodem, proč má orba své zastánce i odpůrce. Předností obracení je především zapravení rostlinné biomasy, tím se ale eliminuje ochranná funkce rostlinného pokryvu na povrchu půdy a zvýší se riziko eroze půdy (Hůla et al., 2009).

Orba stejně jako jiné operace hlubšího kypření půdy uvádí půdu do nestabilního stavu, kdy je zpracovaná část ornice náchylná na stlačování při přejezdech mechanizace po půdě. Tím se vytváří paradoxní situace: zhutnělá půda je po sklizni předplodiny nakypřena orbou. Za cenu vysoké spotřeby energie se vytvoří situace, která napomáhá rychlému návratu půdy zpět do nepříznivého stavu, když se nedodrží zásady minimalizace přejezdů po nakypřené půdě při vyšší půdní vlhkosti (Mašek et al., 2015).

Mezi další výhody a nevýhody konvenčního zpracování půdy s orbou můžeme podle autorů Buša, Hašana (2014), Beneše (2007), Neuderta a Procházkové (2009) zařadit:

Výhody	Nevýhody
• provzdušnění ornice • zapravení meziplodin na zelené hnojení a posklizňových zbytků • dokonalé zapravení organických hnojiv • podpora mineralizace živin • ničení trvalých plevelů • podpora fytosanitárního efektu půdy • využití v různých půdních podmínkách či různém množství rostlinných zbytků • mechanické regulace výdrolu, biotických činitelů a snížení nákladů za pesticidy • regulace výskytů škůdců a hrabošů • působením mrazu se vytváří vhodná struktura půdy – mrazové garé • při sklizni v nepříznivých podmínkách často jediná možností ke srovnání půdy • půda rychleji obsychá – možnost dřívější vstupu na pozemek	• vyšší pracovní a energetické náklady • výrazné ničení půdního edafonu • semena plevelů jsou orbou zapravena hlouběji a „konzervována“ • nebezpečí poškození půdní struktury stlačením a prokluzem • zvýšený rozklad humusu díky intenzivnější mineralizací • pro rozvoj mikroorganismů jsou změněné podmínky • riziko vzniku zhutnělého podbrázdí • riziko tvorby škraloupu a rozbahnění • povrch půdy není vůbec chráněn před vodní a větrnou erozí • časová náročnost operace • vysoké náklady a spotřeba energie • v suchých oblastech dochází v ornici ke snížení obsahu vody

2.2.4 Minimalizační zpracování půdy

Hlavním cílem minimalizačního (ochranného, konzervačního) způsobu zpracování půdy je udržet a rozvíjet v půdě takové procesy, které vedou k zabezpečení půdní úrodnosti a současně vytváří vhodné půdní prostředí pro růst a vývoj pěstovaných plodin. (Šimon, Škoda a Hůla, 1999). Podle autorů Sommera a Zacha (1992) se ochranné zpracování půdy především vyznačuje dvěma podstatnými znaky:

- ***Redukce intenzity základního zpracování půdy*** co do hloubky a počtu mechanických zásahů do půdy bez obracení zpracované ornice se snahou o stabilní půdní strukturu.
- ***Ponechání rostlinných zbytků*** předplodin a meziplodin na povrchu půdy nebo mělce zapravených do ornice. O výsevu do mulče se jedná až při cíleném použití většího množství rostlinných zbytků na povrchu půdy. Podle Hůly a Mayera (1999) při pokrytí povrchu půdy 20-30 % rostlinnými zbytky v době setí dochází ke snížení vlivu vodní eroze na půdu o 50-90 % než na půdě bez pokrytí rostlinnými zbytky.

Podle Skalického (2004) je ochranné zpracování půdy založeno na těchto principech:

- Ochrana půdy před větrnou a vodní erozí, neproduktivním výparem, přehříváním půdy v letním období a rozplavováním strukturních agregátů díky záměrnému využití rostlinných zbytků předplodin a biomasy meziplodin na povrchu půdy.
- Snížení rizika vyplavení pohyblivých forem živin hlavně dusíku do spodních vod díky prodlouženému období, kdy je půda pokryta rostlinným krytem.
- Omezení utužení půdy především redukcí počtů pojezdů po poli oproti konvenčnímu zpracování půdy. Podle Vacha a Javůrka (2010) je podíl kolejových stop na poli při minimalizaci zhruba o 50 % nižší než při konvenčním zpracování půdy.
- Zvýšení plošné výkonnosti a produktivity práce, čímž se sníží spotřeba nafty, práce a náklady na zpracování půdy.

2.2.4.1 Důvody rozšíření a rozvoje minimalizačních technologií

Největšího rozvoje a rozšíření dosáhly minimalizační technologie v posledních dvaceti letech, což souvisí s rozvojem a dostupností kvalitní mechanizace a možností využití této technologie u různých plodin (kukuřice, hustě seté obilniny, olejniny, luskoviny a cukrová řepa). Předpokládá se, že v ČR se zpracovává bez orby více než 40 % orné půdy. Důvody rozšíření a rozvoje těchto technologií můžeme hledat v oblasti ekonomické, ekologické a technické (Procházková, 2011).

Ekonomické důvody

V zemědělské praxi jsou velmi důležité dopady na ekonomiku vzhledem k využití způsobů zpracování půdy. Minimalizační zpracování půdy využívá vyšší výkonnosti a produktivity strojů, čímž se snižují počty pracovních operací, nároky na pracovní operace a s tím i spojené snížení počtů pracovníků v zemědělském podniku. To nám celkově přináší úspory finanční, časové i energetické. (Hůla, Procházková et al., 2008) Podle Křena et al. (2015) se při využití minimalizačních technologií spotřebuje až o 35-75 % pohonných hmot méně a dojde i ke zvýšení produktivity práce až o 40 %.

Technické důvody

Pro širší uplatnění minimalizačních technologií zpracování půdy je zcela zásadní vývoj nových konstrukčních řešení strojů a nářadí. V současné době je na trhu se zemědělskou technikou dostatek strojů a strojních linek, které nám umožňují volbu vhodné mechanizace a technologických postupů pro konkrétní podmínky a kvalitní založení porostů pěstovaných rostlin (Procházková, 2011).

Ekologické důvody

Minimalizační technologie mají velmi příznivý vliv na hospodaření s půdní vodou (zvyšuje se vododržnost půdy, snižují se ztráty při nižší intenzitě zpracování a za pomocí rostlinných zbytků využitých jako mulče na povrchu půdy se omezuje neproduktivní výpar vody). Dále se zlepšuje strukturní stav půdy (hlavně se zvyšuje vodostálost půdních agregátů) stav půdní organické hmoty (kvalita a obsah půdního humusu) a omezuje se vyplavování pohyblivých forem dusíku do spodních vod. Jsou také zásadní pro snížení rizika degradací půd vodní a větrnou erozí (Chloupek et al., 2009).

2.2.4.2 Členění minimalizačního zpracování půdy

Podle Hůly (1999) se v dnešní době používají pojmy k označení skupin ochranných technologií zpracování půdy, které vznikly z klasifikace Americké půdoznalecké společnosti (Soil Science Society of Amerika 1987). Rozdělení a definici těchto pojmů uvádí autoři Baker, Saxton et al. (2007):

Conservation-tillage (ochranné zpracování půdy)

Ochranné zpracování půdy se používá jako zastřešujícího termínu, pod který patří různé systémy zpracování půdy bez orby i přímé setí do půdy bez zpracování. Tato technologie se vyznačuje tím, že je po zasetí nejméně 30 % povrchu půdy pokryto zbytky z rostlin. Mezi další charakteristické znaky jistě patří úspora času, snížení spotřeby motorové nafty, zlepšení hospodaření s půdní vodou a mnoho dalších (Hůla, 1999).

Strip tillage/zone tillage (pásové zpracování půdy)

Hlavním znakem této technologie je pásové zpracování půdy jenom v místech, kde se bude provádět setí následné plodiny a je zde i možnost využití cílené aplikace živin. Půda v meziřádku není zasažena mechanickými zásahy do půdy a díky přítomnosti posklizňových zbytků v meziřadí je u tohoto systému zpracování půdy sníženo riziko vzniku vodní a větrné eroze (Brant, 2016).

Ridge-tillage/ridge-till (zpracování půdy s vytvořením hrůbků)

Zpracování půdy do hrůbků se většinou využívá pro širokořádkové plodiny (sója, kukuřice). Hrůbky z půdy jsou vysoké zhruba 15 centimetrů, vytváří se zároveň při setí speciálním secím strojem a mohou být využívány více sezón. Mezi hlavní výhody setí do hrůbků patří rychlejší vyhřívání a vysoušení půdy v hrůbku, je zde také výrazná redukce pohybu vody a ztrát půdy (Scheaffer, Moncada, 2012). Podle Hůly, Procházkové et al. (2002) je posklizňovými zbytky pokryto až 40-70 % povrchu půdy.

Mulch-tillage / mulch-till (technologie zpracování půdy s využitím mulče)

Před setím se půda zpracuje tzv. podřezáním strniště. Při této pracovní operaci se nadzvedává zemina, ale podřezané strniště a rostlinné zbytky zůstávají na povrchu půdy. Pro setí je nutné využít speciální secí stroje se šípovými radličkami. Po zasetí je posklizňovými zbytky pokryto 30-60 % povrchu půdy (Hůla, Procházková et al., 2008). Podle Vacha a Javůrka (2010) mulč sehrává stejnou úlohu v ochraně půdy jako zapojený porost plodiny, kdy se tvoří „stínového garé", které má pozitivní vliv na půdní vlastnosti.

Minimum-tillage/min-till/reduced tillage (minimální/redukované zpracování půdy)

Při minimálním zpracování půdy jsou redukovány počty mechanických zásahů do půdy a intenzita zpracování je zredukována na minimum, které je potřebné pro založení nových porostů, regulaci plevelů a hnojení. Tato technologie leží někde mezi ochranným zpracování a technologií bez zpracování půdy (Baker, Saxton et al. 2007).

No-tillage/no-till (systémy bez zpracování půdy)

Termín no-tillage se využívá především v Severní Americe, méně používaným synonymem je zero-tillage. V Anglii se využívá direct-drilling (přímé setí) (Hůla, 1999) Podle Šimona a Lhotského (1989) je pro tuto technologii hlavním znakem nulový zásah do půdy před setím, proto se někdy označuje jako krajní varianta minimálního zpracování půdy. Seje se přímo do nezpracované půdy do vytvořené úzké rýhy za pomocí speciálního secího stroje. Po zasetí zůstává 80-100 % rostlinných zbytků na povrchu půdy.

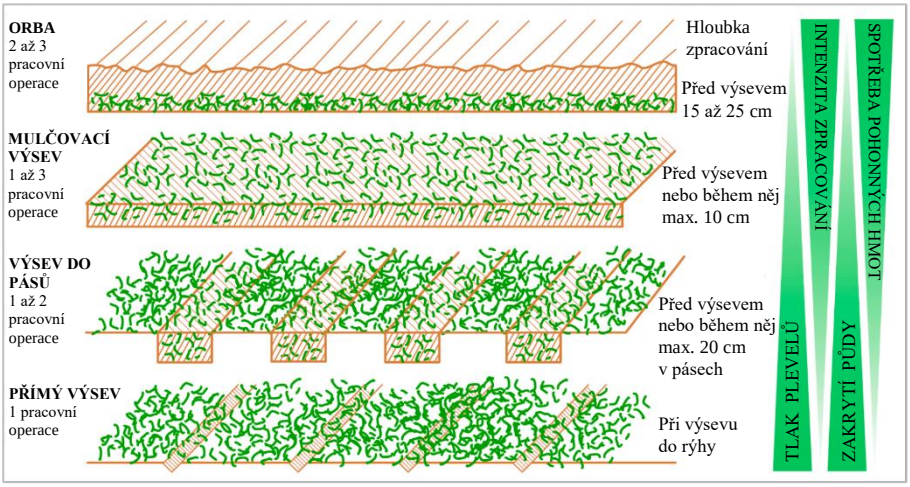
2.2.4.3 Přednosti a nedostatky minimalizačního zpracování půdy

Přestože je v dnešní době více jak 50 % orné půdy kultivováno jinak než s využitím orby, je pomocí technologie bez orby pěstováno zhruba 70 % ploch pšenice, 40 % kukuřice, 40 % řepky olejné, 30 % ječmene jarního, 10 % ploch slunečnice a 10 % cukrovky. Ne všechny minimalizační technologie mají půdoochrannou funkci. Zde nastává jistá rezerva pro zlepšení, neboť jen něco kolem jedné třetiny z celkového rozsahu minimalizačních technologií tvoří technologie půdoochranné (Köller a Linke, 2006).

Mezi přednosti minimalizace zpracování půdy patří zabezpečení stability výnosů plodin a velmi pozitivní dopad na snížení nákladů na zpracování půdy, úspory pohonných hmot, pracovních sil, pracovního času a snížení pořizovacích nákladů na nářadí a stroje pro zpracování půdy (Václavík, 1996). Podle Šimona, Škody a Hůly (1999) je úspora pracovního času při zakládání porostů, při využití minimalizačního zpracování půdy zhruba 30-40 % a při využití přímého setí až 75 % oproti konvenčnímu zpracování půdy.

S využitím minimalizačních technologií tedy dosahujeme úspor přímých nákladů. Při zakládaní porostů by však měla být úspora nákladů druhořadá, v první řadě musí být provedeno co nejkvalitnější založení porostů. Zkušenosti z praxe totiž ukazují, že při nekvalitním založení porostu dochází ke snížení výnosu, což způsobuje ekonomický propad tržeb, který je obvykle vyšší než navýšení přímých nákladů (Bauer, 2014).

Rozdíly mezi přednostmi a nedostatky u různých zpracování půdy vidíme na Obr. 7.



Obr. 7: Porovnání různých způsobů zpracování půdy (Zdroj: Hegglin et al., 2015; upravil: Adámek, 2017)

Mezi další výhody a nevýhody minimalizačního zpracování půdy s orbou můžeme podle autorů Neuderta, Procházkové (2009), Hůly (1999) a Stach (2001) zařadit:

Výhody	Nevýhody
• lepší hospodaření s půdní vodou • silné omezení větrné a vodní eroze – při setí do mulče • postupné obnovení půdní struktury • udržení úrodnosti po dlouhou dobu • pomalá mineralizace • rychlý ekonomický efekt (zvýšení zisku) – úspora práce, energie a času • podmínky pro rozvoj mikroorganismů • vhodné podmínky pro rozvoj půdního edafonu – žížaly • znatelné zlepšení biologických a fyzikálních vlastností půdy • ochrana půdy před zhutněním • ochrana vod před znečištění nitráty	• vyšší náklady na pesticidy a opravné zásahy při nevhodné regulaci výdrolu • rozšiřování víceletých plevelů • vhodné podmínky pro hraboše • zvyšující se nároky na agrotechniku • vyžadují se moderní a kvalitní stroje • při setí do nezpracované půdy se zvyšuje výpar vody • zhoršení vzdušného režimu ve vlhkých letech, příliš utužená půda • zvýšení nákladů na hnojení a ochranu rostlin • nadměrný pokryv posklizňovými zbytky brání vzcházení osiva a okyseluje povrch půdy

2.3 Kukuřice

Kukuřice je v současnosti pěstována ve více státech než kterákoli jiná plodina. Nejvyšší světová produkce kukuřice je v USA, Číně, Brazílii, Mexiku a Francii. Polovina veškeré roční produkce se vypěstuje v USA, což je více než je roční objem produkce pšenice, rýže, ovsa, žita, čiroku a krup dohromady. Dnes se pěstuje skoro ve všech půdně-klimatických podmínkách od 56° severní šířky až po 40° jižní šířky (Kintl a Elbl, 2014).

Při porovnání třech světově nejdůležitějších plodin (pšenice, rýže a kukuřice) jejich osevních ploch, celkové sklizně a výnosů zjistíme, že kukuřice je nejproduktivnější a zároveň má velmi vysoký potenciál pro další růst svých výnosů. Při použití umělých závlah při pěstování kukuřice, jako je tomu u rýže, by to znamenalo přibližně dvojnásobný nárůst celkové sklizně (Zimolka, 2008a).

2.3.1 Historie pěstování

Kukuřice pochází z tropických a subtropických oblastí Jižní a Severní Ameriky a její „vznik“ se odhaduje mezi lety 4000-3000 př.n.l. S pěstováním kukuřice začínali Aztékové, Mayové a Inkové, ale to, jak probíhala její domestikace je stále jednou z největších záhad genetiky. V současnosti se vedou spory o to, zda byl vznik kukuřice postupným procesem nebo šlo jen o „šťastnou událost“. U kukuřice totiž nejsou na rozdíl od ostatních kulturních plodin známy žádné mezistupně mezi kulturní plodinou a jejím divokým předchůdcem (Prugar, 2008). Podle Sheaffera a Moncady (2012) by mohly být nejbližšími příbuznými kukuřice divoké trávy – *Tripsacum* nebo *teosinte* (*Zea mexicana*).

Do Evropy byla kukuřice přivezena Kolumbem v roce 1493 z jedné z jeho prvních cest do Ameriky. Na našem území se kukuřice objevuje v 17. století, kdy ji sem údajně přivezli Rómové z Turecka a Rumunska. Proto se jí také říkalo turecká pšenice nebo turecké žito. Na Moravě se vžil dodnes používaný krajový název „turkyně“. Kukuřice byla pěstována spíše jako zvláštnost, protože mlynáři neměli zkušenosti a zařízení na mletí kukuřice. Až počátkem 20. století se pěstování kukuřice rozšířilo (Strnadová, 2012).

Kukuřice to neměla na českých polích snadné K jejímu rozšíření došlo až v 60. letech, kdy se začalo s jejím pěstováním na zelené krmení a siláž. Oproti tomu se zrnová kukuřice pěstovala do konce 80. let pouze na jižní Moravě, neboť její výnosy byly nižší než u pšenice ozimé. Plochy kukuřice na zrno se postupně zvyšovaly v 90. letech, kdy se s úbytkem stavů skotu snížily i plochy kukuřice na siláž. U kukuřice na zrno se díky

příchodu kvalitních hybridů výrazně zvýšily průměrné výnosy zrna až na 7-8 t/ha a ve vhodných podmínkách nejsou výjimkou výnosy nad 10 t/ha (Prokeš, Zeman, 2013).

Význam kukuřice v posledních sedmdesáti letech tak výrazně vzrostl, až se stala jednou z nejproduktivnějších a nejprogresivnějších kulturních plodin, především díky nárůstu výnosového potenciálu. Není totiž mnoho plodin, u kterých bychom zaznamenali až tak rychlý šlechtitelský boom. V roce 1982 mohli českoslovenští zemědělci použít pouze 17 hybridů tuzemského a 13 zahraničního původu (Prugar, 2008), k 8. 12. 2016 bylo v ČR registrováno 391 hybridů od 16 udržovatelů, z nichž bylo 31 hybridů geneticky modifikovaných proti zavíječi kukuřičnému (MON 810) (Povolný a Vacek, 2016).

2.3.2 Význam kukuřice

Na celosvětové výživě obyvatelstva se zrnová kukuřice podílí ze 40 % a je tedy v tomto ohledu nejvýznamnější plodinou, až druhou plodinou je pšenice. Ale v České Republice, stejně jako v Evropské unii, je postavení kukuřice úplně jiné, Prvenství totiž náleží pšenici, která u nás zaujímá výměru desetkrát větší, než je plocha zrnové kukuřice. Zrnová kukuřice má však v posledních 5 letech, kromě roku 2015 (nevhodné rozložení srážek) výnosy o 20 až 30 % vyšší něž pšenice, také je o ní větší poptávka než po pšenici. Tento nárůst významu zrnové kukuřice je jistě k zamyšlení (Venclová, 2017).

V ČR se většina kukuřice pěstuje na produkci siláže, která tvoří základ krmné dávky pro skot ve většině podniků. Proto je také u nás kukuřice v současnosti nejvýznamnější jednoletou pícninou. Silážní kukuřice je oblíbená díky vysokému výnosu živin z jedné sklizně, snadné silážovatelnosti a vysoké koncentraci energie v píci (Skládanka, 2014).

Dále se kukuřičná siláž využívá v bioplynových stanicích k produkci bioplynu. Tento způsob využití produkce je velmi efektivní, protože poměr investované energie na 1 ha a energie získané z 1 ha je 1:8. Tržba z 1 ha kukuřice při výnosu 20 tun sušiny se při využití bioplynové stanice pohybuje kolem 80-100 tis. Kč (Prokeš a Zeman, 2013).

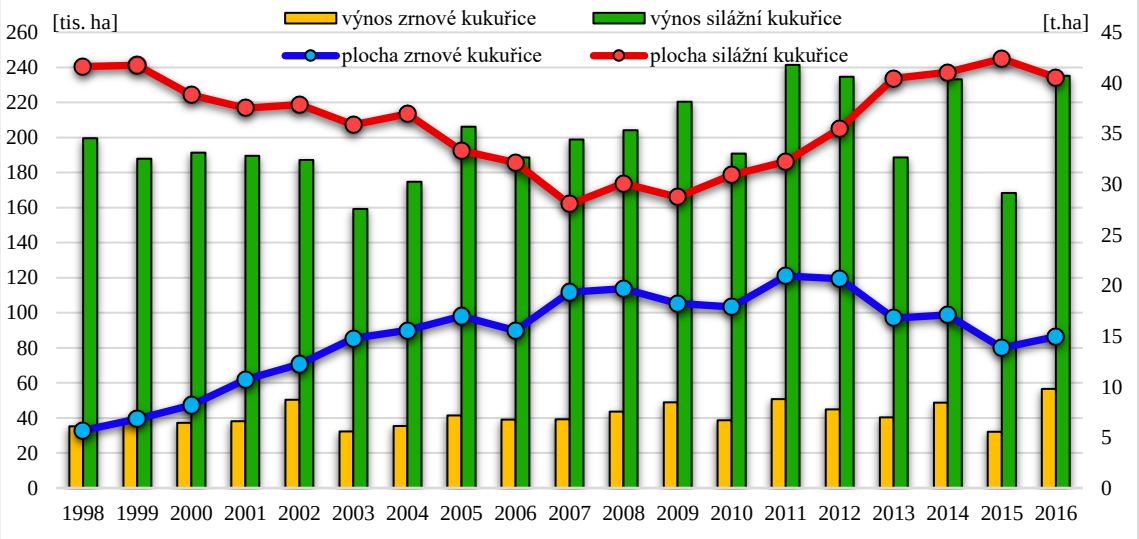
Zrnová kukuřice poskytuje energeticky vysoce koncentrované krmivo vhodné ke krmení hospodářských zvířat, převážně jako jadrné krmivo nebo jako jeden z hlavních komponentů krmných směsí pro prasata a drůbež. Zkrmovat můžeme také silážovanou drť směsi palic s vřeteny bez listenů (CCM) anebo silážovanou směs hrubě pošrotovaných palic s vřeteny a listeny (LKS). Obsah vlákniny u CCM je 6-7 % - vhodná pro monogastry (prasata) a u LKS je 10-15 % - vhodná více pro polygastry (Uher, 2012).

Význam kukuřice pro lidskou výživu v posledních letech narůstá. Rozšiřuje se především používání pukancové kukuřice na výrobu pop-cornu. Dále se z kukuřice vyrábí krupice s vysokým obsahem vlákniny a mouka (bezlepková), které se používají na výrobu bílého pečiva, sušenek a cornflakes (Šroller, 1997). Urban a Vašák (2016) uvádí jako velmi cenný výrobek z kukuřice olej, který je získán z kukuřičných klíčků, obsahující velký obsah nenasycených mastných kyselin. Významná je kukuřice i pro výrobu whisky.

Podle Urbana a Vašáka (2016) je kukuřice také velmi významnou průmyslovou surovinou především v lihovarnickém, chemickém a škrobárenském průmyslu. Velkého využití má kukuřičný škrob ve výrobě biodegradabilních plastů (kelímky, tašky atd.). Jako další významný průmyslový výrobek uvádí Serna-Saldívar (2010) kukuřičný sirup („corn syrup“), který je v americkém nápojovém průmyslu hlavním sladidlem, tento sirup je až 1,7krát sladší než sacharóza ve stejné koncentraci.

2.3.3 Pěstovaní kukuřice v ČR

V níže přiloženém grafu (Obr. 8.) můžeme vidět vývoj ploch kukuřice pěstované v ČR v letech 1998-2016 a jejich průměrné výnosy. Od roku 1998-2007 byl zřetelný pokles ploch kukuřice pěstované na zeleno spojený s redukcí stavu skotu a od roku 2007 je zřetelný opětovný nárůst ploch spojený s rozvojem bioplynových stanic. U kukuřice pěstované na zrno se plochy od roku 1998-2011 zvětšily 4x. Od roku 2012 však dochází k mírnému poklesu ploch. Podle „Zelené zprávy“ (MZe, 2016) se v roce 2015/2016 výměry sklizňové plochy kukuřice pěstované na zrna meziročně snížily o 19 % (na 86 tis ha) a v roce 2015 bylo kvůli špatným klimatickým podnikám dosaženo nízkého průměrného výnosu 5,54 t/ha (oproti 2014 nižší o 34,3 %) a propadu produkce meziročně



Obr. 8: Vývoj ploch a výnosu kukuřice v ČR v letech 1998-2016 (Zdroj dat: ČSÚ; upravil: Adámek, 2017)

2.3.4 Botanická charakteristika

Z hlediska botanického zařazení je kukuřice charakterizována jako rostlina jednoletá, jednodomá, jednoděložná cizosprašná a různopohlavní z typu rostlin diklinických s květy samčími (prašníkovými) a samičími (pestíkovými), které jsou rozděleny do zvláštních květenství – laty a palice (Urban a Vašák, 2014).

Latinským názvem *Zea Mays* pojmenoval a zařadil kukuřici a rody s ní příbuzné do botanické nomenklatury Carl Linné v roce 1753 (Hruška, 1962). Kukuřice patří podle taxonomického řazení do čeledi lipnicovitých (Poaceae) a do skupiny kukuřicovitých (Maydeae). Do této skupiny patří i výše zmíněné rostliny *teosinte* a *Tripsacum* (Húska et al., 1997). Přes to, že kukuřice patří mezi trávy, se její pěstování blíží spíše k způsobu pěstování okopanin (široké řádky a organické hnojení) (Skládanka, 2014).

Podle Zimolky et al. (2008b) se kukuřice dělí podle tvaru a barvy zrna a podle charakteru endospermu na nižší systémové jednotky neboli convariety:

Kukuřice obecná – tvrdá (*Zea mays convar. indurata, syn vulgaris*) – je ranější s nižším výnosem, zrno je lesklé, tvrdé a okrouhlé, s moučnatým endospermem přecházejícím na okraji ve sklovitý.

Kukuřice koňský zub *(Zea mays convar. indentata, syn dentiformis)* – je pozdnější, ale výnosnější, hospodářsky nejdůležitější, zrno je klínovité, má sklovité boční okraje a moučnatý endosperm proniká až k vrcholu. Jamka, díky které připomíná zub, je vytvořena nerovnoměrným sesycháním sklovité a moučnaté části.

Kukuřice polozubovitá (*Zea mays convar. aorista, syn semiindentata*) – je přechodem mezi kukuřicí tvrdou a koňským zubem, zrno má sklovitější endosperm a méně zřetelnou jamku na vrchu, než je tomu u koňského zubu.

Kukuřice cukrová (*Zea mays convar. saccharata)* – zrno je charakteristicky svraštělé se sklovitým endospermem. Obsahuje amylodextriny, které jsou rozpustné ve vodě. Využívá se především jako zelenina na vaření a konzervování.

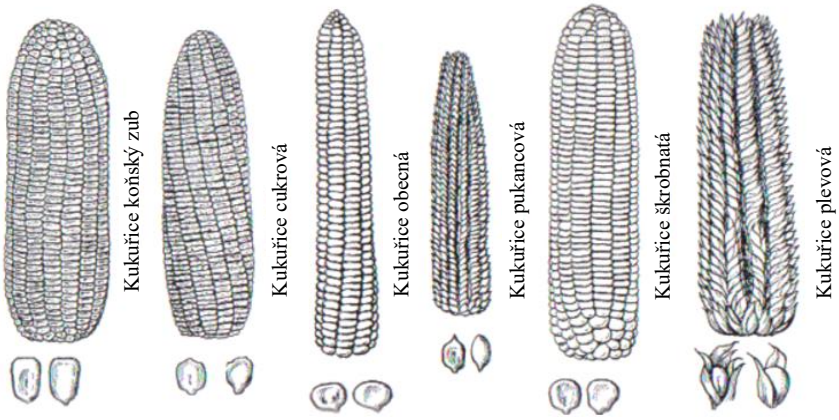
Kukuřice pukancová *(Zea mays convar. everta syn. microsperma)* – má menší zrno se sklovitým a tvrdým endospermem. Rozděluje se podle tvaru na kukuřici rýžovou a perlovou. Největšího využití má při přípravě pop-cornu, používá se i k výrobě vloček.

Kukuřice plevnatá *(Zea mays convar. tunicata, syn. cryptosperma)* – nemá hospodářský význam. Je to primitivní forma kukuřice, která má zrna kryta v plevách.

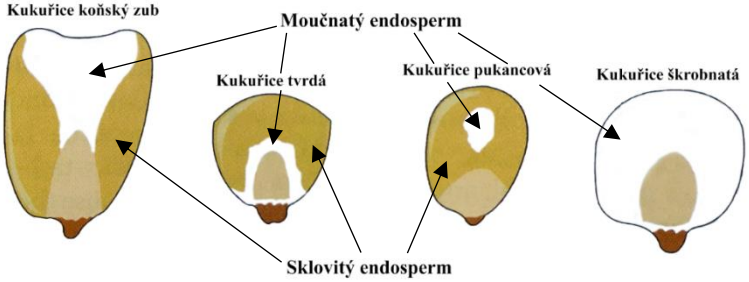
Kukuřice škrobnatá *(Zea mays convar. amylacea)* – má zrno moučnatého charakteru s matným povrchem. Nejčastěji se využívá v škrobárenském a lihovarnickém průmyslu díky vysokému obsahu škrobu v zrnu.

Kukuřice vosková *(Zea mays convar. ceratina)* – má podobná zrna jako kukuřice obecná, její povrch však není průhledný ale matný opticky připomínající vosk. Pěstuje se pro technické účely, kvůli obsahu dextrinů.

Kukuřice **koňský zub, tvrdá (obecná) a polozubovitá** mají pro nás největší hospodářský význam, kdy se pěstují jak na siláž i zrno, tak i na dělenou sklizeň (CCM a LKS). Na Obr. 9 a 10. můžeme vidět rozdíly mezi zmíněnými varietami kukuřice, a to jak velikostně tvarově, tak i vzhledem zrna, či obsahu endospermu. Dále sem patří i zvláštní variety kukuřice – kukuřice **pestrá** (*Z. mays convar. japonica*), která je pěstována jako okrasná rostlina díky svým červeně nebo světležlutě pruhovaným listům, a **kukuřice škrobocukrová** (*Z. mays convar amyleasaccharata*) (Zimolka et al., 2008a).



Obr. 9: Rozdíli mezi varietami kukuřice (Zdroj: http://www.robinsonlibrary.com/agriculture/plant/field/corn.htm; upravil: Adámek, 2017)



Obr. 10: Rozdíly velikostí a obsažených endospermů mezi varietami kukuřice (Zdroj: Shaeffer a Moncada, 2012; upravil: Adámek, 2017)

2.3.5 Požadavky kukuřice na půdně klimatické podmínky

Kukuřice je teplomilná rostlina, která má specifické požadavky na teplotu, množství srážek a intenzitu slunečního záření. Nejvhodnější lokality pro pěstování kukuřice na zrno jsou takové, které mají průměrnou roční teplotu 9-10 °C a 16-17 °C během vegetačního období (duben-září) a průměrné roční srážky musí být nad 500 mm a během vegetace alespoň 300 mm (Zimolka et al., 2008a).

Když půda dosáhne teploty 7-8 °C začíná klíčení. Teplota 12-15 °C je optimální pro klíčení, pro růst a vývoj generativních orgánů je to 20-24 °C. Když ale teplota poklesne na 5-6 °C, kukuřice zastavuje svůj růst. Proto je zřejmé, že pro setí a vzcházení je mnohem důležitější teplo než voda. Největší potřeba dostatečné vláhy je v období prodlužovacího růstu, kvetení, metání a nalévání zrn. Což spadá do období od července do srpna. V této době kukuřice potřebuje úhrn srážek 80-120 mm měsíčně. S krátkými přísušky si kukuřice velmi dobře poradí díky dobrému hospodaření s vodou a bohatě rozvinutému kořenovému systému. Pokud se však sejde sucho s vysokými teplotami v době metání a nalévání, stejně jako v roce 2015, může tak být důsledkem žádné, nebo špatné opylení, neozrnění palic (prázdné špičky nebo celý klas) a pokles podílu palic pod 50 % hmotnosti celé rostliny. A to se s nedostatečným nárůstem hmoty projeví jak na kvalitě, tak i výnosech (Zimolka et al., 2008b; Kačicová et al., 2016).

Kukuřici lze pěstovat skoro na všech půdách, které mají správný vzdušný a vodní režim, dostatečnou hloubku, neutrální až slabě kyselé pH (6,5-7), dobrou zásobu humusu a živin, jsou biologický činné a nezaplevelené. Celkové nároky kukuřice na půdu jsou však mnohem menší než na teplo. Podmínkou pro pěstování kukuřice na lehkých půdách je dostatek vláhy a vyšší hnojení. Nevhodné jsou pouze půdy, které neumožnují včasné setí, tedy půdy chladné a těžké. Erozně ohrožené půdy a mrazové kotliny jsou také považovány za nevhodné pro pěstování kukuřice (Štolcová, 2009; Uher, 2012).

2.3.6 Zařazení do osevního postupu

Jak již bylo zmíněno, kukuřice má požadavky na agrotechniku a nároky na hnojení podobné jako okopaniny, proto také velmi dobře snáší organické hnojení. Pro kukuřici by byly nejideálnější předplodiny jeteloviny a luskoviny. Tyto luxusní předplodiny obohacují půdu o dusík a také zanechávají velké množství kvalitních posklizňových zbytků. V chladnější a vlhčích oblastech se spíše využívá jetele lučního, oproti teplejším oblastem, kde je vhodnější využití vojtěšky jako předplodiny. Další výbornou předplodinou je organicky hnojená okopanina, vhodné jsou také olejniny. V současnosti se kukuřice zařazuje mezi dvě obilniny jako zlepšující plodina, která je přerušovačem obilných sledů. Z obilnin je vhodnější předplodinou pšenice ozimá, něž ječmen jarní. Důvodem zařazení kukuřice jako náhradní plodiny do osevního postupu v případě vymrznutí ozimů je její pozdní setí, kdy máme dostatek času po vymrznutí na následné zpracování půdy a setí v agrotechnickém termínu (Zimolka et al.,2008a).

Kukuřici je také možné pěstovat několik let po sobě, tím se nám však zvyšují nároky na hnojení a agrotechniku. Při využití podzimního organického hnojení je dvou až tříleté pěstování po sobě účelné i v sušších podmínkách, a to na všech půdách. Pěti až více leté pěstování po sobě se nedoporučuje ani na velmi úrodných půdách, protože kromě zvýšeného nároku na hnojení zde vzniká problém s rozšiřováním škůdců – především zavíječ kukuřičný a bázlivec kukuřičný (Truksa a Šikra, 1982).

2.3.7 Minimalizační technologie zpracování půdy ke kukuřice na zrno

Procházková et al. (2005) uvádí následující typy minimalizačních technologií zpracování půdy pro pěstování kukuřice:

KUKUŘICE JE PĚSTOVANÁ PO KUKUŘICI A OKOPANINÁCH

Technologie 1:
- mělké zpracování půdy kypřením do 0,12 – 0,15 m (podzim)
- předseťová příprava půdy
- setí kukuřice (bezorebný secí stroj)

Technologie 2:
- aplikace neselektivního herbicidu (jaro)
- přímé setí kukuřice do nezpracované půdy společně s podpovrchovým zapravením minerálních hnojiv

KUKUŘICE JE PĚSTOVANÁ PO OBILNINÁCH

Technologie 1:
- mělké zpracování půdy kypřením do 0,12 – 0,15 m (podzim)
- předseťová příprava půdy
- setí kukuřice (bezorebný secí stroj)

Technologie 2:
- podmítka
- likvidace plevelů a vzešlého výdrolu neselektivním herbicidem (podzim)
- předseťová příprava půdy
- setí kukuřice (bezorebný secí stroj)

Technologie 3:
- likvidace plevelů a vzešlého výdrolu neselektivním herbicidem (podzim, případně i jaro)
- přímé setí kukuřice do nezpracované půdy (bezorebný secí stroj)

Technologie 4:
- podmítka
- náhrada orby kypřením – hloubka kypření podle půdních podmínek (podzim)
- urovnání povrchu půdy – podle stavu půdy (podzim)
- předseťová příprava půdy
- setí kukuřice (bezorebný secí stroj)

Technologie 5 (na erozně ohrožených půdách):
- podmítka
- mělké zpracování půdy kypřením do 0,12 – 0,15 m (podzim)
- výsev přezimující nebo vymrzající meziplodiny
- aplikace neselektivního herbicidu (jaro)
- setí kukuřice do umrtveného porostu meziplodiny (bezorebný secí stroj)

Technologie 6 (na erozně ohrožených půdách):
- podmítka
- náhrada orby kypřením – hloubka kypření podle půdních podmínek (podzim)
- výsev přezimující nebo vymrzající meziplodiny
- aplikace neselektivního herbicidu (jaro)
- setí kukuřice do umrtveného porostu meziplodiny (bezorebný secí stroj)

Při využívání minimalizačních technologií zpracování půdy ke kukuřici pěstované na zrno převládají takové postupy, které zpracovávají půdu mělkým nebo i středně hlubokým kypřením na podzim pomocí talířového nebo radličkového nářadí a před setím se využívá postupů s mělkým kypřením. Setí kukuřice se většinou provádí speciálními secími stroji, které nám poskytují možnost použití aplikace minerálního hnojiva pod povrch půdy, tzv. hnojení pod patu (Procházková et al. 2010).

Po celém světě se sleduje vliv různého zpracování půdy na změny půdního prostředí a na výnosy kukuřice. Většina autorů, kteří se touto problematikou zabývají, se shodují na tom, že redukce intenzity zpracování půdy má pozitivní vliv na kvalitu půdního prostředí (Zimolka et al. 2008a). Proto je v dnešní době používání minimalizačních technologií zpracování půdy u kukuřice velmi žádoucí jako ochrana životního a půdního prostředí. Významná je především redukce rizika eroze půdy a vyplavení pohyblivých forem dusíku do spodních vod. Při využití technologie s výsevem kukuřice do meziplodiny dochází k obohacení půdy o snadno rozložitelnou organickou hmotu z meziplodin (zvýšená mikrobiální aktivita) a dochází také ke zlepšení fyzikálního (hlavně strukturního) stavu půdy díky hmotě z nadzemních částí meziplodin a jejich kořenů (Houšť et al. 2014).

Významný vliv na účinnost minimalizačních technologií mají především půdně-klimatické podmínky. Stejných nebo dokonce i vyšších výnosů bylo dosaženo při využití minimalizace v teplejších a sušších podmínkách. Ve vlhčích a chladnějších podmínkách většinou nemělo snížení intenzity zpracování a hloubky tak příznivý vliv na výnosovou reakci kukuřice. K poklesu výnosu kukuřice při využívání minimalizace může dojít v chladnějších jarních měsících kvůli nedostatečně prohřáté půdě, která oddaluje termín výsevu, zpomaluje vzcházení a počáteční růst. Tyto problémy v chladnějším období nebo na těžších půdách lze do jisté míry omezit hlubším kypřením bez obracení půdy na podzim, eventuálně lze použít technologie setí kukuřice do hrůbků (Smutný et al., 2014).

2.3.8 Půdoochranné technologie zpracování půdy

Půdoochranné technologie zpracování půdy při pěstování kukuřice je nutné použít především na pozemcích, které jsou erozně ohrožené. Zde musíme upustit od využívání tradičních (konvenčních) způsobů zpracování půdy a snažit se uplatnit ochranné technologie obdělávání s maximálním využitím posklizňových zbytků a předplodin. Posklizňové zbytky neposkytují pouze ochranu před erozí, mají také pozitivní vliv na snížení výparu, lepší provzdušnění a propustnost půdy, zvýšení vlhkosti půdy a omezení vzniku půdního škraloupu (celkové zlepšení půdních vlastností) (Srbek et al., 2015).

V současné době se při pěstování kukuřice využívají tyto půdoochranné technologie:

Zakládání porostů kukuřice do meziplodin

Je to jedna z možností, jak snížit riziko vodní a větrné eroze na půdách, které jsou erozně ohrožené. Kukuřice se vysévá do přezimujících (chemicky likvidovaných) nebo vymrzajících předplodin, které byly zasety na podzim po sklizni předplodiny. Rostlinné zbytky nám poskytují jistý ochranný efekt, kdy významně ovlivňují vodní režim půdy a poskytují protierozní ochranu (Hrubý a Badalíková, 2007). Podle Hůly a Procházkové et al. (2008) však může větší množství rostlinných zbytků na povrchu zhoršit regulaci plevelů, zpomalit prohřívání půdy na jaře a tím oddálit termín výsevku, nebo zpomalit počáteční růst kukuřice. Při zakládání porostů kukuřice do meziplodiny se využívají tyto postupy:

- přímé setí do vymrzlé nebo chemicky zlikvidované meziplodiny secím strojem
- prokypření půdy pouze ve výsevním řádku – využití secího stroje s výsevem do pásů
- celoplošné mělké zpracování půdy, předseťová příprava a setí

Pásové zpracování půdy (strip tillage)

Technologie využívá úzce zpracovaných pásů, což znamená, že se půda kypří obvykle do hloubky 25 cm pouze v řádcích, kam se bude kukuřice sít. Meziřádky jsou ponechány bez zpracování a na povrchu jsou ponechány rostlinné zbytky, které poskytují protierozní ochranu a omezují nebo snižují růst plevelů. Hnojivo se ukládá do jedné nebo dvou vrstev přímo pod osivo (ne stranou), čímž se maximálně využijí dodané živiny, i při snížení dávky o 20-30 % nedochází k omezení výnosu. Bez využití plošného zpracování půdy tak dochází k omezení velkých výparům vody a díky rostlinným zbytkům se také brání vysoušení půdy, což celkově napomáhá k zachování půdní vlhkosti a vláhy, která je potřebná pro klíčení a růst osiva, zůstává tedy v místě seťového lůžka (Srbek et al., 2015).

Setí kukuřice do úzkých řádků

V posledních letech se také ověřuje technologie úzkých řádků (37,5 cm) se setím kukuřice do nezpracované půdy nebo do půdy, která je zpracována radličkovým podmítačem. Tento způsob pěstování kukuřice je velmi rozšířený v USA, kde dosahuje v průměru o 7-9 % vyšších výnosů. Podobných výsledků je dosahováno i v pokusech prováděných u nás. Kukuřice je seta v trojúhelníkovitém sponu (zhruba 85-110 tis. jedinců na hektar). Předpokládá se, že díky užší rozteči řádků dochází k lepšímu zapojení porostu (o 10 % vyšší počet jedinců), který poskytuje částečnou ochranu půdy před její erozí a také dochází k omezení síly soustředěného povrchového odtoku (Nerušil et al. 2015; Srbek et al., 2015).

3 CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce je porovnání a zhodnocení výsledků, které byly získány z porovnání vlivů různého zpracování půdy na změny půdních vlastností a výnosů kukuřice pěstované na zrno při jejím opakovaném pěstování na středně těžké hnědozemní půdě v kukuřičné výrobní oblasti. Na základě zjištěných výsledků a jejich zhodnocení navrhnout doporučení pro zemědělskou praxi.

4 MATERIÁL A METODY

V diplomové práci je popisován dlouhodobý poloprovozní pokus, kde byl sledován vliv různého zpracování půdy na výnosy zrnové kukuřice a fyzikální vlastnosti půdy při opakovaném pěstování monokultury zrnové kukuřice.

4.1 Charakteristika pokusného stanoviště

Stanoviště, na kterém se poloprovozní pokus provádí, se nazývá **Loučky** a nachází se v katastrálním území městyse Višňového v Jihomoravském kraji. Tento pozemek patří zemědělskému podniku AGROSERVIS, 1. zemědělská a. s. Višňové.

Pozemek je půdně homogenní a patří do kukuřičné výrobní oblasti. Celková výměra tohoto stanoviště je 21,83 ha, z toho 6,7 ha připadá na souvratě, na 2,65 ha se provádí orba, na 5,3 ha hluboké kypření, na 6,23 ha mělké kypření a na 0,95 ha je půda bez zpracování. Nadmořská výška, ve které se pokusné stanoviště nachází, je 287,41 m a jeho průměrná sklonitost je 1,28°.

Bližší informace o pokusném stanovišti lze také nalézt na stránkách pLPIS (http://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny2/plpis/), kde čtverec parcely je **630-1180** a zkrácený kód je **2202/10**.

4.1.1 Půdní podmínky

Půda pokusného stanoviště je hlinitá hnědozemní s neutrální půdní reakcí (pH 6,7) a obsah humusu se pohybuje okolo 2,2 %. Z výsledků agrochemického zkoušení půd z roku 2011, jejichž průměrné hodnoty jsou uvedeny níže přiložené tabulce (Tab. 1), získáme orientační přehled o zásobenosti půd fosforem, draslíkem, vápníkem a hořčíkem.

Tab. 1: Obsah přístupných živin podle hodnot AZZP 2011

Přístupné živiny [mg.kg^{-1} půdy]	**P**	**K**	**Mg**	**Ca**
Průměrné hodnoty AZZP	152	271	362	3 465
Obsah přístupných živin	*Vysoký*	*Dobrý*	*Velmi vysoký*	*Vysoký*

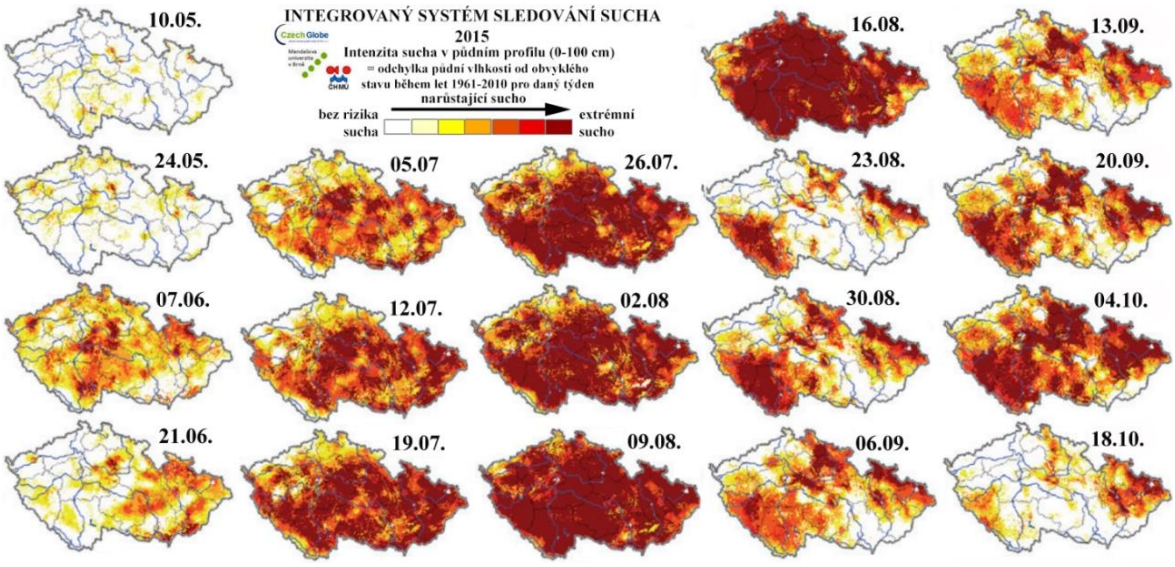
Kritéria hodnocení obsahu přístupných živin byla použita z *Rámcové metodiky výživy rostlin a hnojení* (Klír et al., 2008).

4.1.2 Klimatické podmínky

V lokalitě pokusného stanoviště je průměrná roční teplota 8,5 °C a průměrný roční úhrn srážek 470,7 mm. Tato data byla získána z 30letého průměru naměřeném v nedaleké meteostanici provozované ČHMÚ v obci Kuchařovice (vzdálené 12,5 km). Data získána z meteostanice městyse Višňového provozovanou základní školou Višňové, jsou zobrazena v níže přiložených tabulkách (Tab. 2 a 3). Zde jsou zaznamenány průběhy počasí (průměrné roční teploty a úhrn srážek za rok) z uplynulých pěti let. Dále je přiložen kumulativní graf srážek za rok 2012-2016 v porovnání s průměrnými ranními teplotami v 5denních intervalech (Obr. 12) naměřenými každý den v 6 hodin ráno.

Vegetačním období roku **2015** se vyznačovalo vysokými teplotami vzduchu a velmi malým úhrnem srážek v porovnání s 30letým průměrem i v porovnání s rokem **2016**, který byl, co se počasí i výnosu týče, nejlepším za sledovaných 5 let. Špatnou situaci roku **2015** ještě podtrhuje fakt, že třeba dva až tři měsíce spadlo pouze minimální množství srážek, pak se ale během několika hodin pomocí nárazových srážek měsíční průměr téměř dorovnal. Proto se mohou průměrné měsíční hodnoty srážek zdát dobré, ale takovéto množství vody se nestačí vsakovat, odteče nebo se vypaří.

Sucho je pro kukuřici velmi kritické hlavně ve fázi vzejití, metání a nalévání zrn. V roce **2015** byl první průběh fáze byl celkem bezproblémový díky dostatku vláhy. Když však bylo sucho i dva měsíce po vzejití, kdy nastávala fáze metaní, mohlo dojít ke snížení výnosu zhruba o 50 %. Nejkritičtější měsíce byly červenec a hlavně začátek srpna, což se projevilo snížením nalévání zrn a jejich zrání. To mělo za následek snížení výnosů zrna, ale i snížení obsahu nutričních hodnot, především škrobu (Loučka, 2015). Průběh sucha je zaznamenán na níže přiloženém obrázku ze stránek www.intersucho.cz (Obr. 11).



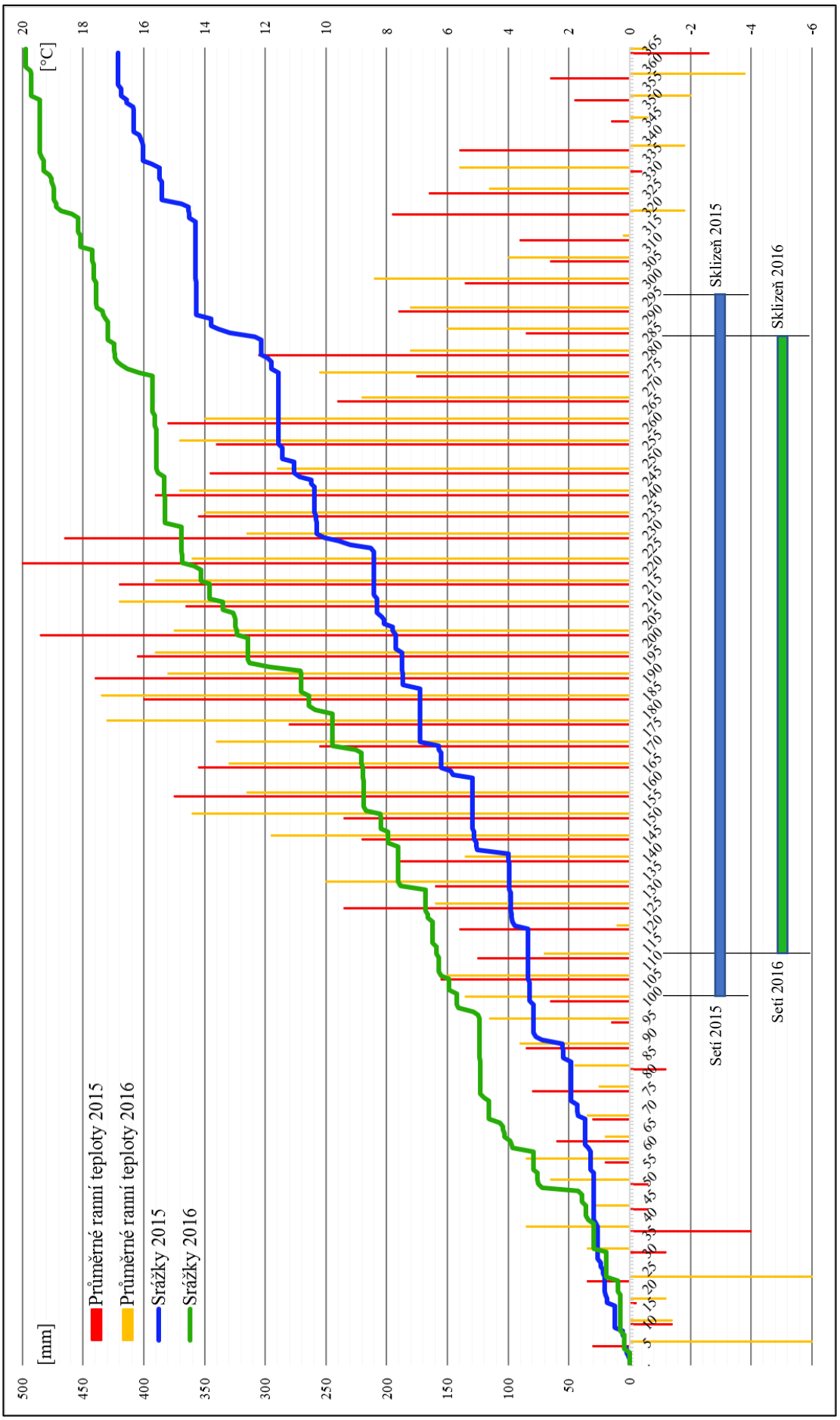
Obr. 11: Intenzita sucha v půdním profilu 0–1,0 m v roce 2015 od 10.5. do 18.10. (Zdroj: www.intersucho.cz; upravil Adámek, 2017)

Tab. 2: Průměrné teploty v letech 2012-2016 (°C)

Rok	Měsíc												Průměr
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X	XI.	XII.	
2012	1	-4,4	7,1	9,6	16,1	18,6	20,8	21,1	15,7	9,4	6	-1,5	***10,0***
2013	-2,4	-0,1	1,1	9,9	13,9	17,9	21,2	20,4	14,1	10,3	5,2	1,7	***9,4***
2014	0,9	2,7	8,2	10,8	14	16	21,2	18,2	13,3	11,4	7,2	-0,7	***10,3***
2015	1,7	1,6	5,6	9,3	14,2	18,6	23,5	24,0	16,5	9,2	6,7	2,4	***11,1***
2016	-0,8	4,1	5,3	9,8	15,5	20,4	22,0	20,6	19,5	8,9	3,2	-0,1	***10,7***
Průměr za 5 let	0,08	0,78	5,45	9,87	14,74	18,29	21,74	20,88	15,80	9,85	5,67	0,36	***10,3***
Dlouhodobý průměr 1961 - 1990	-2,4	-0,5	3,6	8,6	13,5	16,7	18,5	18	14,3	9	3,3	-0,6	***8,5***

Tab. 3: Množství srážek v letech 2012-2016 (mm)

Rok	Měsíc												Suma
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X	XI.	XII.	
2012	32,7	8,1	6,9	22,8	24	81,3	64,5	55,2	18,3	37,2	18,3	21,6	***390,9***
2013	12,3	15,6	19,5	24	65,1	115,2	7,5	49,8	47,1	38,1	13,8	13,5	***421,5***
2014	14,7	9,3	17,1	19,5	64,2	20,1	91,2	43,2	100,8	39,6	23,4	15	***458,1***
2015	26,4	5,7	40	11,6	46	43,1	34,9	52,1	29,6	68	36	27,6	***421***
2016	19,3	77,2	27,3	38,3	42,9	53,6	87	37,7	9,4	48,5	41	14,7	***496,9***
Průměr za 5 let	21,08	23,18	22,16	23,24	48,44	62,66	57,02	47,60	41,04	46,28	26,50	18,48	***437,68***
Dlouhodobý průměr 1961 - 1990	20,8	23,9	25,1	32,9	59,8	74,9	60,3	53,4	36,7	28,2	33,7	21	***470,7***



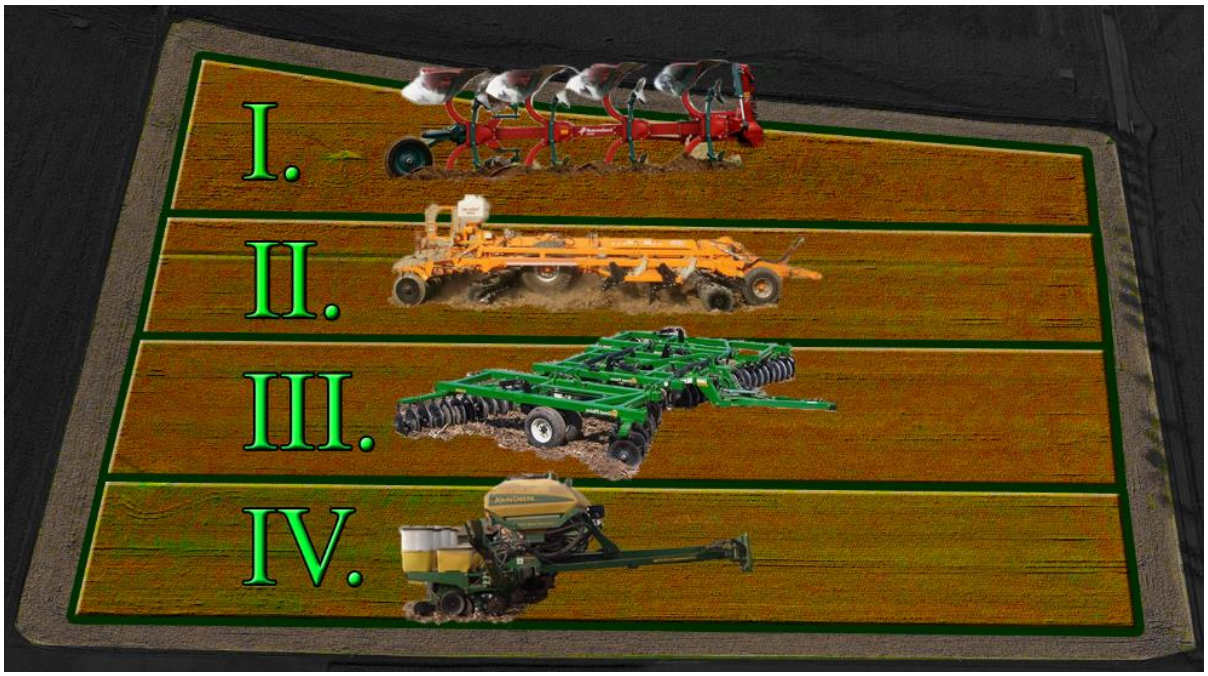
Obr. 12: Kumulativní graf srážek v letech 2015-2016

4.2 Charakteristika pokusu

Pozemek je rozdělen do čtyř pokusných parcel, na každé pokusné parcele se využívá jiný technologický postup zpracování půdy. Jedna parcela je zpracována konvenčním způsobem zpracování půdy a na zbylých třech se využívá minimalizační zpracování půdy. Rozdělení stanoviště a přidělená technika, která charakterizuje zpracování půdy, je zobrazeno na Obr. 13.

Poloprovozní pokus byl zahájen v roce 2001, kdy se pole připravovalo na provádění pokusu a bylo provedeno zásobní hnojení minerálními hnojivy. V roce 2001 byl pozemek rozdělen na tři pokusné parcely – konvenční zpracování půdy s orbou, mělké zpracování půdy kypřením a přímé setí do nezpracované půdy. S pěstováním kukuřice na zrno se začalo v roce 2002, byla zde opakovaně pěstována až do roku 2008. K přerušení opakovaného pěstování kukuřice došlo v roce 2009 z důvodu prevence před rozšiřováním škůdce bázlivce kukuřičného (*Diabrotica virgifera*), kdy byl pozemek oset ječmenem jarním. Od roku 2010 je zde opět pravidelně pěstována kukuřice na zrno.

Na podzim roku 2014 byla přidána do poloprovozního pokusu další varianta (čtvrtá) zpracování půdy– hluboké zpracování půdy kypřením.



Obr. 13: Rozdělení pokusného stanoviště se zobrazením zpracování půdy

4.2.1 Varianty zpracování půdy

I. Konvenční zpracování půdy orbou

- po sklizni mělké zpracování půdy talířovým podmítačem na hloubku 0,12 m
- na podzim středně hluboká orba na 0,22 m
- na jaře příprava kompaktorem, předseťová příprava kypřičem na hloubku setí
- k setí se využívá přesný secí stroj

II. Hluboké zpracování půdy kypřením

- po sklizni mělké zpracování půdy talířovým podmítačem na hloubku 0,12 m
- zpracování půdy hloubkovým kypřičem na hloubku 0,25 m
- na jaře předseťová příprava kypřičem na hloubku setí
- k setí se využívá přesný secí stroj

III. Mělké zpracování půdy kypřením

- po sklizni mělké zpracování půdy talířovým podmítačem na hloubku 0,12 m
- na jaře předseťová příprava kypřičem na hloubku setí
- k setí se využívá přesný secí stroj

IV. Přímé setí do nezpracované půdy

- po sklizni kukuřice se půda se zanechá bez jakéhokoliv zásahu
- secím strojem provádíme přímé setí do nezpracované půdy

Při výše zmíněných variantách zpracování půdy bylo využíváno různých pracovních operací a mechanizace, jejichž přehled je v níže uvedených tabulkách (Tab. 4-7).

Tab. 4: Přehled pěstebních technologií u varianty konvenční zpracování půdy orbou

Pracovní operace	**Mechanizace**
Mělké kypření (0,12 m)	Talířové podmítací disky Harrow
Orba (0,22 m)	Oboustranný pluh KVERNELAND 150 B
Hnojení	JD 4930 – Samochodné rozmetadlo, 36 m
Příprava kompaktorem	FARMET Kompaktomat K 1000 PS, 9,8 m
Předseťová příprava	JD 9630T + JD MULCH FINISHER 2310, 14 m
Setí	Secí stroj JOHN DEERE 1770 NT, 12 řádků (2015) Secí stroj JOHN DEERE 1770 NT, 24 řádků (2016)
Válení	Cambridge válce
Ochrana	JD 4930 Samochodný postřikovač, 36 m
Sklizeň	Sklízecí mlátička JOHN DEERE STS 9880

Tab. 5: Přehled pěstebních technologií u varianty hluboké zpracování půdy kypřením

Pracovní operace	Mechanizace
Mělké kypření (0,12 m)	Talířové podmítací disky Harrow,
Hluboké kypření (0,25 m)	Simba Great Plains SL 700, (2015) Horsch Tiger 8 MT, (2016)
Hnojení	JD 4930 – Samochodné rozmetadlo, 36 m
Předseťová příprava	JD 9630T + JD MULCH FINISHER 2310, 14 m
Setí	Secí stroj JOHN DEERE 1770 NT, 12 řádků (2015) Secí stroj JOHN DEERE 1770 NT, 24 řádků (2016)
Válení	Cambridge válce
Ochrana	JD 4930 Samochodný postřikovač, 36 m
Sklizeň	Sklízecí mlátička JOHN DEERE STS 9880

Tab. 6: Přehled pěstebních technologií u varianty mělké zpracování půdy kypřením

Pracovní operace	Mechanizace
Mělké kypření (0,12 m)	Talířové podmítací disky Harrow
Hnojení	JD 4930 – Samochodné rozmetadlo, 36 m
Předseťová příprava	JD 9630T + JD MULCH FINISHER 2310, 14 m
Setí	Secí stroj JOHN DEERE 1770 NT, 12 řádků (2015) Secí stroj JOHN DEERE 1770 NT, 24 řádků (2016)
Válení	Cambridge válce
Ochrana	JD 4930 Samochodný postřikovač, 36 m
Sklizeň	Sklízecí mlátička JOHN DEERE STS 9880

Tab. 7: Přehled pěstebních technologií u varianty přímé setí do nezpracované půdy

Pracovní operace	Mechanizace
Hnojení	JD 4930 – Samochodné rozmetadlo, 36 m
Setí	Secí stroj JOHN DEERE 1770 NT, 12 řádků (2015) Secí stroj JOHN DEERE 1770 NT, 24 řádků (2016)
Ochrana	JD 4930 – Samochodný postřikovač, 36 m
Sklizeň	Sklízecí mlátička JOHN DEERE STS 9880

4.3 Hnojení

U sledovaného pokusu byly ve všech variantách způsobu zpracování půdy použity stejné dávky minerálních i organických hnojiv. Zásobní hnojení minerálními hnojivy bylo provedeno na podzim roku 2001 před založením pokusu dávkou 100 kg.ha^{-1} P_2O_5 a 60 kg.ha^{-1} K_2O. Další přihnojení fosforem bylo provedeno minerálním hnojením pod patu v letech 2002–2005 v dávce 30 kg.ha^{-1} P_2O_5.

Každoročně se kukuřice před začátkem předseťových příprav přihnojuje jednorázovou dávkou dusíku pro zlepšení výnosů. Jako hnojivo se k tomuto účelu využívá močovina, která je ihned po aplikaci zapravena do půdy. Od roku 2015 se dále ke hnojení využívá organického hnojiva – aplikace prasečí kejdy.

ROK 2015

8. 4.	Močovina	0,34 t.ha^{-1}
24. 4.	Kejda	20 t.ha^{-1}

ROK 2016

15. 4.	Močovina	0,35 t.ha^{-1}
27. 5.	Kejda	20 t.ha^{-1}

4.4 Založení porostu

Založení porostu kukuřice všech čtyř variant zpracování půdy se provádí během jednoho dne. K založení porostu byly použity hybridy od firem KWS a PIONEER.

ROK 2015

Datum setí	10. 4.
Výsevek	80 000 zrn.ha^{-1}
Hybrid OSCARRO	FAO 300/290, (KWS)

ROK 2016

Datum setí	21. 4.
Výsevek	80 000 zrn.ha^{-1}
Hybrid P9241	FAO 320, (PIONEER)

4.5 Ochrana proti škůdcům

Na sledovaném stanovišti byla provedena ochrana proti škůdcům jak formou biologické, tak chemické ochrany. Chemickou ochranu tvoří především využívání tekutých insekticidů a moření osiva. Biologická ochrana je založená na využití záporných vztahů mezi populacemi, například alelopatie, parazitismus, predace a konkurence. Další variantou ochranou by mohla být geneticky modifikovaná Bt-kukuřice.

Dalším důležitým prvkem ochrany proti škůdcům je jejich monitoring. Díky tomu máme přehled, jací škůdci se na sledovaném stanovišti vyskytují a jakou ochranu proti nim můžeme použít. K monitoringu můžeme využít např. odchyt do světelných nebo feromonových lapačů. Dále můžeme použít výsledků letových aktivit škůdců, získaných pomocí světelných lapačů, které najdeme v mapách výskytu škodlivých organismů na Rostlinolékařském portálu ÚKZUZ.

Zavíječ kukuřičný (*Ostrinia nubilalis*) je jedním z nejvýznamnějších škůdců při pěstování kukuřice na zrno. Monitoring se provádí pomocí světelných lapačů. Housenky vyžírají pletivo uvnitř stébla a v palici kukuřice. Typickými symptomy při napadení jsou otvory, kupky drti v jejich blízkosti a přelámaná stébla. V místě žíru vznikají sekundární infekce houbovými a bakteriálními patogeny. Biologická ochrana se provádí v době kladení vajíček zavíječe kukuřičného za pomoci parazitoida vosičky rodu *Trichogramma*. Chemická ochrana se provádí na počátku líhnutí housenek schválenými insekticidy.

Bázlivec kukuřičný (*Diabrotika virgifera*) významný škůdce vyskytující se v ČR od roku 2002. Monitoring se provádí feromonovými lapači. Jeho larvy ožírají kořeny, čímž dochází k vyvrácení a schnutí rostlin. Vyvrácené rostliny se po dešti napřimují a vytváří „husí krky“. Dospělci ožírají květy a zrna v mléčné zralosti a na listech tvoří čárkovité požerky.

ROK 2015

10. 4.	Force 1,5 G	8,7 kg.ha^{-1}	Bázlivec kukuřičný
10. 7.	Integro	0,7 l. ha^{-1}	Zavíječ kukuřičný
15. 7.	Nurelle D	0,6 l. ha^{-1}	Mšice

ROK 2016

21. 4.	Force 1,5 G	11 kg.ha^{-1}	Bázlivec kukuřičný
19. 6.	TrichoLet	200 000 ks.ha^{-1}	Zavíječ kukuřičný
28. 6.	TrichoLet	200 000 ks.ha^{-1}	Zavíječ kukuřičný

4.6 Ochrana proti plevelům

Ochrana proti plevelů v kukuřici se na celém pokusném stanovišti zajišťuje celoplošnou základní postemergentní aplikací herbicidů. V případě nedostatečného účinku první aplikace, se provádí celoplošně opravné zásahy přesně zaměřené na přítomné plevele.

ROK 2015

ZÁKLADNÍ POST. APLIKACE

19. 4.	Adengo	0,44	$l.ha^{-1}$	

OPRAVNÝ ZÁSAH

31. 5.	Nicogan	1	$l.ha^{-1}$	Plevele lipnicovité
	+ Story	0,3	$l.ha^{-1}$	Dvouděložné plevele
	+ Šaman	0,2	$l.ha^{-1}$	smáčedlo

ROK 2016

ZÁKLADNÍ POST. APLIKACE

2. 5.	Adengo	0,44	$l.ha^{-1}$	

OPRAVNÝ ZÁSAH

4. 6.	Equip Ultra	1,5	$l.ha^{-1}$	Pýr plazivý, ježatka kuří noha
	+ Šaman	0,2	$l.ha^{-1}$	smáčedlo

OPRAVNÝ ZÁSAH

9. 6.	Galera	0,35	$l.ha^{-1}$	Pcháče

Bližší informace k přípravkům na ochranu proti plevelů a ochranu proti škůdcům můžeme najit na stránkách **AGROMANUÁL** (https://www.agromanual.cz/cz/pripravky).

4.7 Sklizeň

Na pokusném stanovišti byl porost kukuřice sklizen ve fázi plné zralosti během jednoho dne. U všech variant byla sklizeň provedena sklízecí mlátičkou John Deere STS 9880i.

ROK 2015

22. 10.

ROK 2016

11. 10.

4.8 Sledování vlivu různého zpracování půdy

V letech 2015-2016 jsem se v rámci mé diplomové práce na všech čtyřech variantách věnoval sledování a hodnocení vlivu různého zpracování půdy na:

- Výnosy kukuřice na zrno
- Penetrometrický odpor půdy
- Fyzikální vlastnosti půdy
- Strukturální stav půdy

4.8.1 Výnosy kukuřice na zrno

Hodnocení výnosů kukuřice pěstované na zrno při využívání různých zpracování půdy bylo provedeno kalibrovanou sklízecí mlátičkou, data ze sklizně každé parcely pokusu nám sloužila k výnosovému hodnocení různého způsobu zpracování půdy a pro stanovení vlhkosti. Toto hodnocení probíhalo v letech 2015-2016. Výnos zrna kukuřice byl poté přepočítán a vyjádřen v $t.ha^{-1}$ při vlhkosti zrna 14 %. K údajům naměřených z let 2015-2016 byly přidány i hodnoty získané z let 2012-2014 (Adámek, 2015) z důvodu dlouhodobého porovnání vlivu zpracování půdy na výnosy zrnové kukuřice.

4.8.2 Penetrometrický odpor půdy

Ke zhodnocení možného utužení půdy v letech 2015-2016 bylo využito měření penetrometrického odporu půdy. Měření probíhalo ve stejných termínech jako odběry vzorků půdy pro hodnocení fyzikálních vlastností půdy. Měřilo se za pomoci ručního kuželového penetrometru s digitálním záznamníkem PENETROLOGGER od firmy Eijkelkamp do hloubky 0,80 m. Toto zařízení odpovídá standardu S313.3 (1999a) od ASAE (American Society of Agricultural Engineers). Pro měření byl vybrán hrot o průměru 1 cm^2, 60° a rychlost, kterou vnikal hrot do půdy, byla nastavena na 3 $cm.s^{-1}$. Součástí tohoto přístroje byla také sonda na měření vlhkosti půdy Theta-probe. U každé varianty bylo provedeno 10 vpichů (opakování).

K vyhodnocení naměřených dat, která odpovídala standardu EP 542 (1999b) od ASAE, byl využit software PenetroViewer verze 5.08. Dále byl stanoven Cone index (CI), což je průměrná hodnota naměřených dat z hloubky 0,01 m; 0,15 m; 0,30 m a 0,45 m. Naměřená data byla využita k vytvoření grafů průběhů penetrometrického odporu a ke srovnání Cone indexu u každé varianty (Neudert a Smutný, 2012).

4.8.3 Fyzikální vlastnosti půdy

Pro zhodnocení fyzikálních vlastností půdy, byly po sklizni v letech 2015-2016 odebrány z každé varianty zpracování půdy Kopeckého fyzikální válečky, které byly odebírány vždy ve třech hloubkách (0-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,30 m) v 5 opakováních. K rozboru půdních vzorků, byla použita metoda podle **Kopeckého-Nováka** (1954), která byla upravena dle **Kostelanského** (1980), tj. ***metoda přímého rozboru vzorků půdy v přirozeném uložení,*** která se používaná na Ústavu agrosystémů a bioklimatologie Mendelovy univerzity v Brně.

Z pozorovaných fyzikálních vlastností byly vybrány jako reprezentativní ukazatelé změn orniční vrstvy vlivem různého zpracování půdy ***objemová hmotnost půdy*** (OH), ***celková pórovitost*** (P) ***a minimální vzdušná kapacita*** (MVK). Změny těchto tří hlavních fyzikální vlastností půdy (OH, P, MVK) velmi dobře odráží každý mechanický zásah do třífázového půdního systému (pevná půdní hmota, voda a vzduch). Dále byla také sledována ***objemová vlhkost půdy***, která udává vlhkostní poměry v půdě. Ke stanovení možného utužení půdy z fyzikálních vlastností půd bylo použito limitních hodnot kritických vlastností zhutnělých půd (Tab. 10) od Lhotského (2000). Tato tabulka je přiložena ve výsledcích v kapitole 5.3.

Obr. 14 Odběr Kopeckého fyzikálních válečků (foto: Petr Vrtílek)

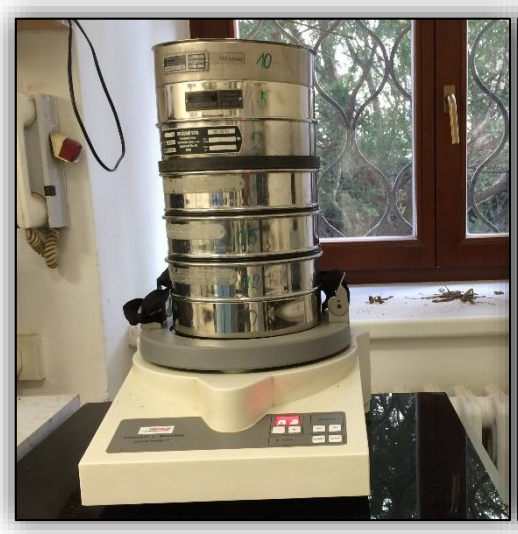
Obr. 15: Měření penetrometrického odporu (foto: Petr Vrtílek)

4.8.4 Stanovení struktury půdy

Pro stanovení půdní struktury, byly po sklizni v letech 2015-2016, ve stejný den jako měření penetrometrického odporu, odebrány z každé varianty zpracování půdy vozky půd, které byly odebírány vždy ve dvou hloubkách (0-0,15 m; 0,15-0,30 m) ve 3 opakováních.

4.8.4.1 Koeficient strukturnosti

Stanovení koeficientu strukturnosti se provádí tzv. ***suchou cestou***, kdy jednotlivé proschlé vzorky zeminy přesejeme na sítech s průměry ok 10, 5, 2, 1, 0,5 a 0,25 mm. (Javorský et al., 1987). Prosévalo se prosévačkou FRITSCH Analysette 3 SPARTAN (Obr. 16).



Obr. 16: Stroj sítovací FRITSCH Analysette 3 SPARTAN (Foto: Josef Adámek)

Obr. 17: Půdní vzorky frakce (1-2 mm) ke stanovení vodostálosti půdních agregátů (Foto: Josef Adámek)

Po prosévání zvážíme půdu z jednotlivých sít a půdy ze dna. Z těchto hodnot získáme procentické zastoupení jednotlivých velikostních frakcí půdy, které jsou stabilní za sucha. Tyto hodnoty dále využijeme k vypočítání ***koeficientu strukturnosti*** (KS). Podle Procházkové et al. (2004) nám **koeficient strukturnosti** udává poměr mezi agronomicky cennými (tzv. agregáty o průměru 0,25 – 10 mm) a méně cennými strukturními agregáty Se zvyšujícím se podílem agronomicky hodnotných agregátů se nám tedy zvýší i koeficient strukturnosti.

$$\textit{Koeficient strukturnosti (KS)} = \frac{\sum \%\ \text{zastoupení agregátů } 10 - 0{,}25\ \text{mm}}{\sum \%\ \text{zastoupení agregátů} > 10\ \text{mm} + < 0{,}25\ \text{mm}}$$

4.8.4.2 Stanovení vodostálosti půdních agregátů

Metodika měření vodostálosti půdních agregátů, tedy schopnost půdní struktury odolávat eroznímu vlivu vody, se zakládá na principu konstrukce dispergačního přístroje dle Kemper a Rossenau (1986). Byla využita metoda používaná v Německu a Rakousku, která je publikována jako německá norma č. **DIN 19683-16**. Tato metoda je modifikací metody (Kemper a Koch 1966; Murer et al. 1993). Přesný popis metodiky využité v této diplomové práci byl sepsán **Kandelerem** (1993) v odborné knize *Methods in soil biology*.

Z půdního vzorku vyschlého při laboratorní teplotě se na sítech oddělí frakce 1-2 mm. Do předem vysušených a zvážených odpařovacích misek (M1) se naváži 4 g (W) vzorku půdy (s přesností na 0,01 g). Půdní vzorek promýváme na sítech po dobu 5 minut (42 zdvihů za minutu). Poté vzorky sušíme při 105 °C do konstantní hmotnosti. Po vychladnuti v exsikátoru vážíme (M_2). Poté je vzorek po dobu 2 hodin zalit 50 ml roztoku pyrofosforečnanu sodného, čímž

dochází k rozložení zbylých stabilních agregátů. Poté vzorky opět promýváme tak, aby byly vyplaveny všechny jílové částice. Zůstanou tedy jen částice nad 0,25 mm, které jsou vysušeny při 105 °C a po vychladnuti v exsikátoru zváženy (M3). Misky se po vysušení a vychladnutí opět váží s přesnosti na 0.0001 g. Vodostálost půdních agregátů se vyjadřuje jako procento stabilních agregátů z celkového množství agregátů po odečtení obsaženého písku podle vzorce:

$$\% SAS = ((M2 - M3) / W - (M3 - M1)). 100$$

Legenda:

% SAS	*procento stabilních půdních agregátů*	(M2 – M3)	*hmotnost stabilních agregátů*
M1	*hmotnost misky (g)*	(M3 – M1)	*hmotnost písku*
M2	*hmotnost misky, stabilních agregátů a písku (g)*	W	*navážka vzorku (4 g)*
M3	*hmotnost misky a písku (g)*	100	*přepočítávací faktor*

K hodnocení kvality struktury půdy z dat vodostálosti, byla použita klasifikační stupnice (Tab. 27) podle Bartlové (2015), která udává kvalitu struktury půdy podle procentického zastoupení vodostálosti půdních agregátů. Tabulka je přiložena ve výsledcích v kapitole 5.4.

Obr. 18: Promývačka půdních vzorků (Foto: Milan Novák)

Obr. 19: Zalití půdních vzorků roztokem pyrofosforečnanem sodným (Foto: Milan Novák)

4.9 Zpracování a hodnocení výsledků

Výsledky, které byly laboratorně stanovené, byly zpracovány k základním výpočtům za pomocí programu Microsoft Excel 2016. Zjištěné hodnoty fyzikálních vlastností půd, penetrometrického odporu půdy a vodostálosti půdních agregátů byly zpracovány pomocí programu STATISTICA CZ 12 ke statistickému zhodnocení a grafickému vyjádření. Výsledky byly vyhodnoceny analýzou variance (tzv. ANOVA) s následným testováním průkaznosti metodou minimální průkazné diference (LSD test). Statisticky průkazné rozdíly, které byly stanoveny při hladině významnosti 95 % ($P \leq 0,05$), značí v tabulkách rozdílná písmena (a,b,c…). Tyto údaje jsou uvedené v tabulkách a následně jsou také graficky znázorněné.

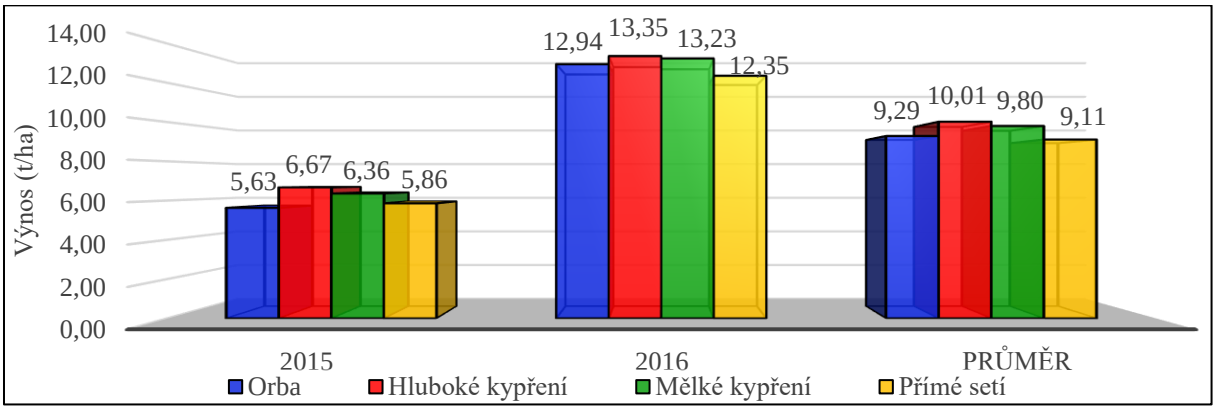
5 VÝSLEDKY A DISKUZE

5.1 Výnosy a vlhkost zrna kukuřice

Výsledky sledování vlivu různého zpracování půdy na výnosy a vlhkosti zrna kukuřice v letech 2015-2016 jsou zaznamenány v níže přiložených tabulkách (Tab. 8-9) a také v grafech (Obr. 20-22). Pro dlouhodobé porovnání byly použity hodnoty z let 2012-2014.

Tab. 8: Průměrné výnosy zrna při 14 % vlhkosti v letech 2015–2016

Varianty zpracování půdy	Roky				Průměr	
	2015	%	2016	%		
Orba	5,63	91,84	12,94	99,79	**9,29**	97,24
Hluboké kypření	***6,67***	108,81	***13,35***	102,95	***10,01***	104,83
Mělké kypření	6,36	103,75	13,23	102,02	**9,80**	102,58
Přímé setí	5,86	95,60	12,35	95,24	**9,11**	95,35
Průměr	**6,13**	**100 %**	**12,97**	**100 %**	**9,55**	**100 %**



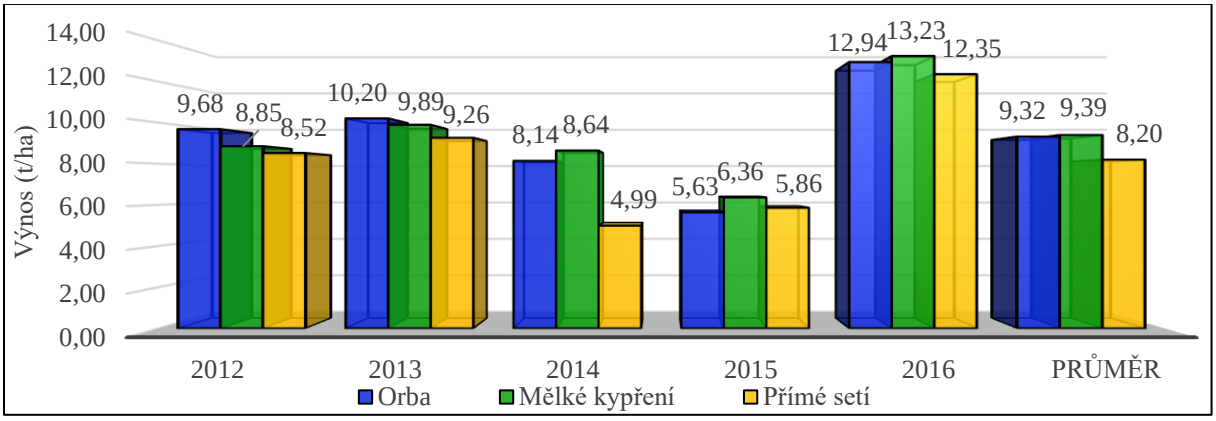
Obr. 20: Srovnání výnosů v letech 2015–2016

V roce **2015** bylo dosaženo nejvyššího výnosu při 14 % vlhkosti u varianty zpracování půdy s hlubokým kypření (6,67 $t.ha^{-1}$). Mezi touto variantou a variantou zpracování půdy mělkým kypřením byl pouze nepatrný rozdíl. Výrazně nižších výnosů bylo dosaženo u varianty přímého setí do nezpracované půdy a nejnižších po klasickém zpracování půdy orbou. Z výše přiloženého grafu (Obr. 20) můžeme vidět, že v roce **2015** byly výnosy zhruba o 50 % nižší než v roce **2016**. V tomto roce bylo dosaženo nejnižšího průměrného výnosu za posledních 5 let (Tab. 9). Hlavní příčinou nízkých výnosů byl především vliv klimatických podmínek, jak bylo popsáno v kapitole 4.1.2. Podle Vaňatové (2015) se tento rok vyznačoval velmi dlouhými obdobími bez srážek a mimořádně vysokými teplotami vzduchu v období od poloviny června až do konce srpna (Obr. 11). Právě v těchto měsících má kukuřice největší nároky na vodu a živiny, a proto silný výskyt sucha způsobil dlouhodobé vadnutí, zastavení růstu a vývoje kukuřice, což se projevilo na vysokém snížení výnosu kukuřice na zrno i siláž.

Naopak tomu bylo v roce **2016**, kdy měla kukuřice velmi vhodné klimatické podmínky a dosáhla tak průměrně nejvyšších výnosů za posledních 5 let (Tab. 9). Nejvyššího výnosu bylo opět dosaženo u varianty s hlubokým kypřením (13,35 t.ha^{-1}) a u varianty s mělkým kypřením. Nižších výnosů bylo dosaženo u varianty s orbou a nejnižšího u varianty po přímém setí.

Tab. 9: Průměrné výnosy zrna při 14 % vlhkosti v letech 2012–2016 (Zdroj dat: Adámek, 2015)

Varianty zpracování půdy	Roky					Průměr
	2012	2013	2014	2015	2016	
Orba	***9,68***	***10,20***	8,14	5,63	12,94	**9,32**
Mělké kypření	8,85	9,89	***8,64***	***6,36***	***13,23***	***9,39***
Přímé setí	8,52	9,26	4,99	5,86	12,35	**8,20**
Průměr	**9,02**	**9,78**	**7,26**	**6,13**	**12,97**	**9,03**



Obr. 21: Srovnání výnosů v letech 2012–2016

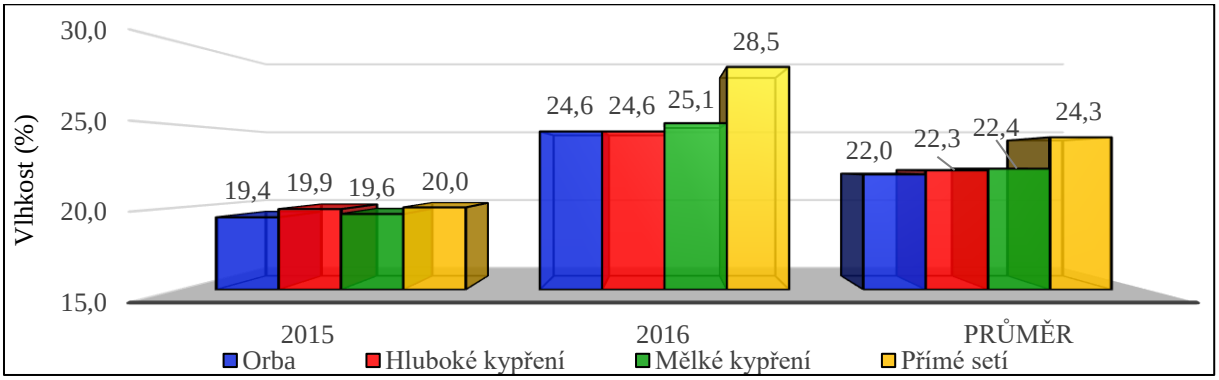
V dlouhodobém sledování vyjádřeném za posledních 5 let (Obr. 21), nebyl zaznamenán významný rozdíl mezi průměrnými výnosy varianty zpracování půdy s orbou a variantou zpracování půdy mělkým kypřením. Nejvyšších průměrných výnosů bylo dosaženo u varianty mělkého kypření (9,39 t.ha^{-1}) a po variantě s orbou (9,32 t.ha^{-1}).

Podle Procházkové et al. (2010) můžou být v teplejších a sušších podmínkách výnosy po ***minimalizačních technologiích*** stejné dokonce i větší než po zpracování půdy orbou. Je tedy zřejmé, že vlivy různého zpracování půdy na výnosy zrnové kukuřice a hospodaření s posklizňovými zbytky, jsou významně ovlivněny půdně klimatickými podmínkami. Jelikož varianta mělkého kypření dosáhla podobných výsledků a v posledních třech letech dokonce i nepatrně vyšších výnosů díky šetrnějšímu zacházení s půdou, úsporami času a energie, může být minimalizační technologie považována, jako vhodná náhrada konvenčního zpracování půdy s orbou. Tento závěr potvrzují autoři odborných článků po celém světě, např. Cannel a Hawes (1994), Kapusta et al. (1996), Lal (1997) Hnát (2009) Rátonyi et al. (2015), Seddaiu et al. (2016).

Z dlouhodobého porovnávání výnosů kukuřice (Obr. 21) je zřejmé, že nejnižšího průměrného výnosu bylo dosaženo u varianty s ***přímým setím do nezpracované půdy***. V příloze (Příloha 1, 6 a 10) je patrné, že u této varianty vznikaly problémy se založením porostu (mezerovitost porostu), dále u této varianty docházelo k pozdnějšímu vzcházení kukuřice a k vyššímu výskytu plevelů – velká ohniska kopřiv, ježatky kuří nohy a pcháčů.

Procházková et al. (2011) uvádí, že se ***přímého setí do nezpracované půdy*** využívá v pěstování kukuřice po kukuřici, pouze jako krajní varianta. V důsledku velkého množství posklizňových zbytků na povrchu půdy, které způsobují problémy s kvalitním založením porostu, snižují se účinek preemergentní aplikace herbicidů, dále dochází pomalejšímu prohřívání půdy na jaře a zvýšení míry zaplevelení. K podobným závěrům dospěli Vyn a Rainbault (1992), kteří zaznamenali po opakovaném pěstování kukuřice nižší výnosy o 12 % u varianty přímého setí ve srovnání s orbou. Výraznějších rozdíly zaznamenal Chen et al. (2011) v dlouholetém šestiletém pokusu, kdy byly výnosy u přímého setí sníženy o 28,4 % oproti orbě.

Z dlouhodobého hodnocení lze doporučit variantu ***mělkého kypřením půdy*** pro pěstování zrnové kukuřice v této oblasti. Tato varianta poskytuje kukuřici optimální podmínky pro růst a vývoj. Oproti variantě s orbou je šetrnější k půdě, rentabilnější a efektivněji využívá pracovní sílu. Zkušenosti z praxe i výsledky (Tab. 8) našeho pokusu potvrdily doporučení pravidelného zařazení ***hlubokého kypření*** při pěstování kukuřice na zrno. Mezi hlavní klady hloubkového kypření při opakovaném pěstování kukuřice (pokus 2009-2012) uvádí Hongguang et al. (2014) pozitivní vliv na rozvoj kořenového systému a zvýšení výnosů kukuřice o 12,8 % oproti orbě.

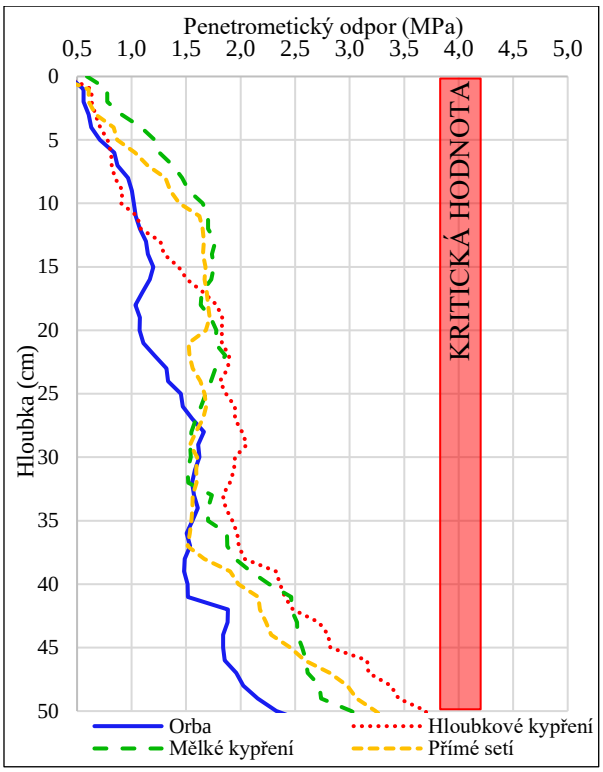


Obr. 22: Srovnání vlhkosti zrna v letech 2015-2016

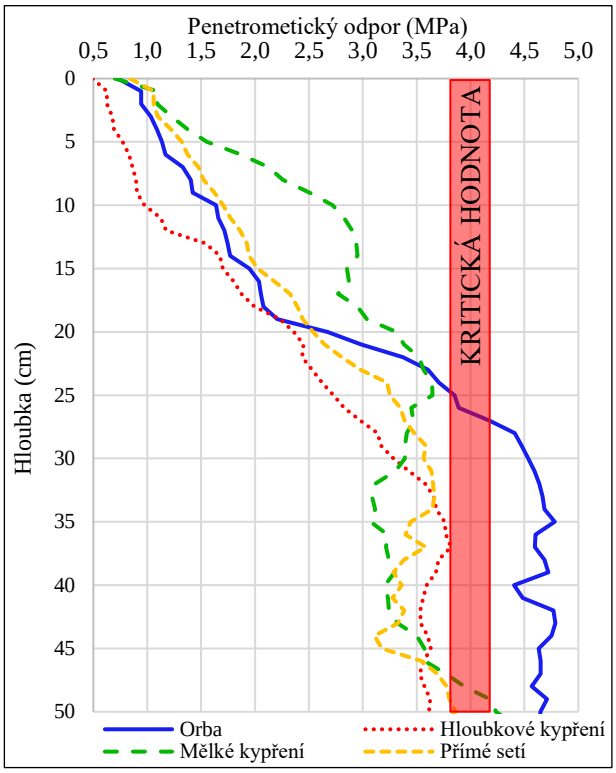
Využití různých způsobů zpracování půdy má také vliv na vlhkost zrna při sklizni kukuřice, což je zřejmé z výše přiloženého grafu (Obr. 22). Naměřené hodnoty naznačují, že s klesající intenzitou zpracování půdy dochází ke zvýšení vlhkosti zrna. Nejvyšších hodnot vlhkosti zrna bylo dosaženo u varianty přímého setí do nezpracované půdy a nejnižších u varianty s orbou.

5.2 Penetrometrický odpor půdy

Vliv různého zpracování půdy na penetrometrický odpor půdy je graficky znázorněn na Obr. 23-26. Pro penetrační odpor na hlinité půdě jsou podle Javůrka a Vacha (2008) limitní hodnoty zhutnělé půdy **3,8-4,2** MPa.



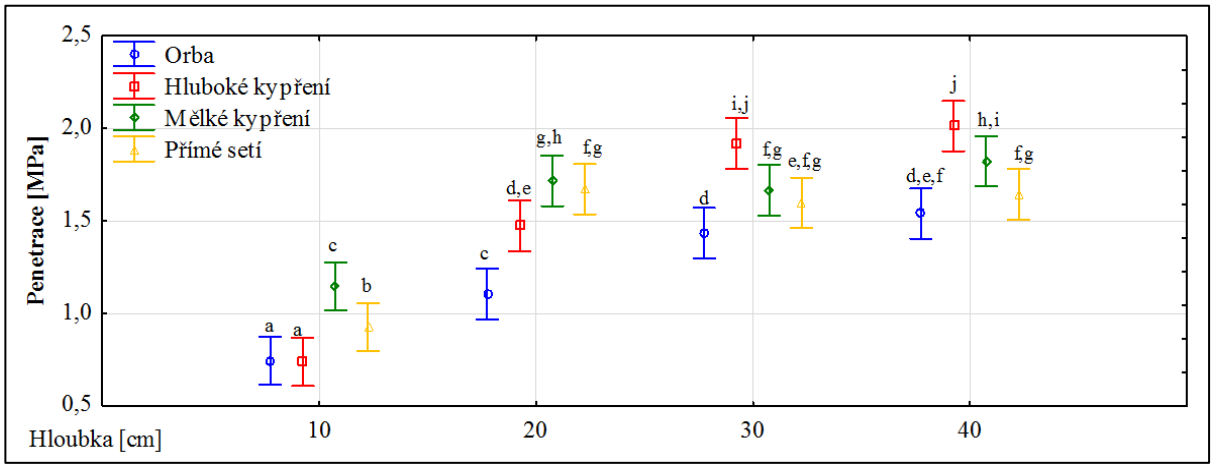
Obr. 23: Penetrometrický odpor půdy v roce 2015



Obr. 24: Penetrometrický odpor půdy v roce 2016

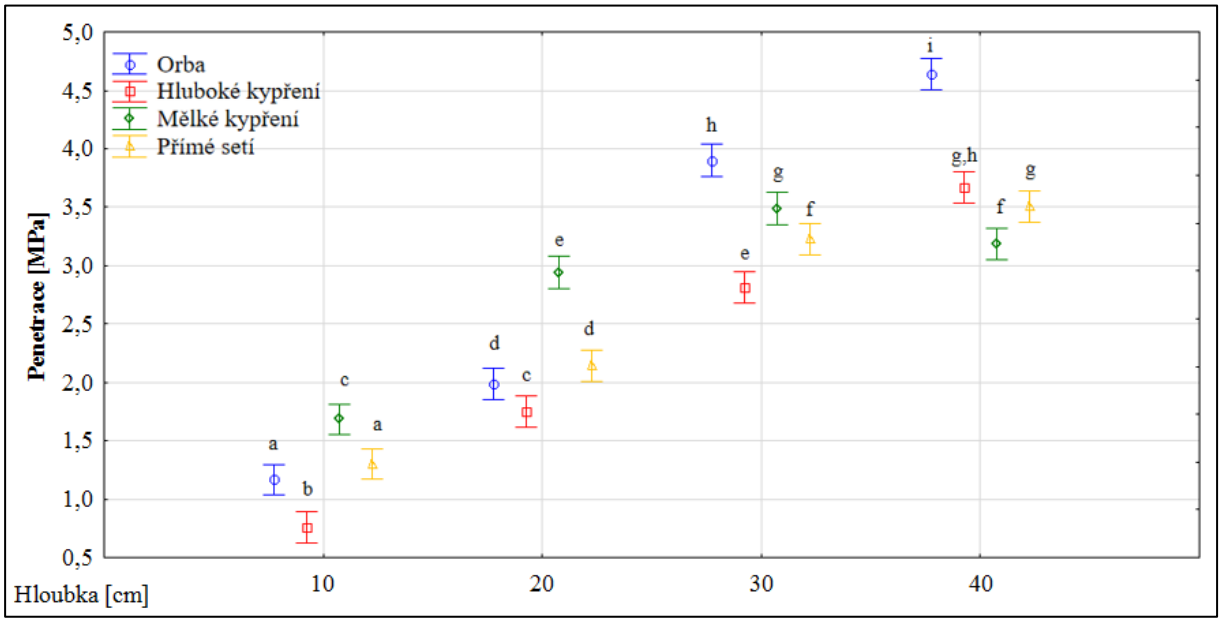
V roce **2015** byly naměřené hodnoty penetrometrického odporu půdy celkově nižší než v roce 2016. Nejnižších hodnot penetrometrického oporu v hloubce 0,20 m dosahovala varianta s orbou. K výraznějšímu navýšení odporu došlo u této varianty až po hloubce, na kterou se půda zpracovává (0,22 m). K navýšení penetrometrického odporu došlo u variant s mělkým a hlubokým kypřením a bez zpracování v hloubce okolo 0,30 m.

V roce **2016** bylo dosaženo nejvyšších hodnot penetrometrického odporu ve svrchní vrsvě (0-0,20 m) u varianty mělkého kypření. U ostatních variant penetrační odpor ve svrchní vrstvě pozvolna narůstal až do hloubky 0,20 m, kdy došlo k rychlému nárůstu odporu u varianty s mělkým kypřením až do hloubky 0,25 m. To naznačuje utuženější podbrázdí, jako pozůstatek orby, poté docházelo k poklesu odporu půdy. Odpor půdy u variant hlubokým kypřením a přímým setím pozvolně nárůstal až do hloubky 0,35 m. U varianty s orbou opět došlo k vyššímu nárůstu odporu půdy po překročení hloubky 0,20 m. Varianta s orbou jako jediná překročila kritickou hranici v hloubce **0,25 m**, což naznačuje zhutnění podbrázdí, a v hloubce **0,35 m** dosáhla nejvyššího penetrometrického odporu **4,78 MPa**.



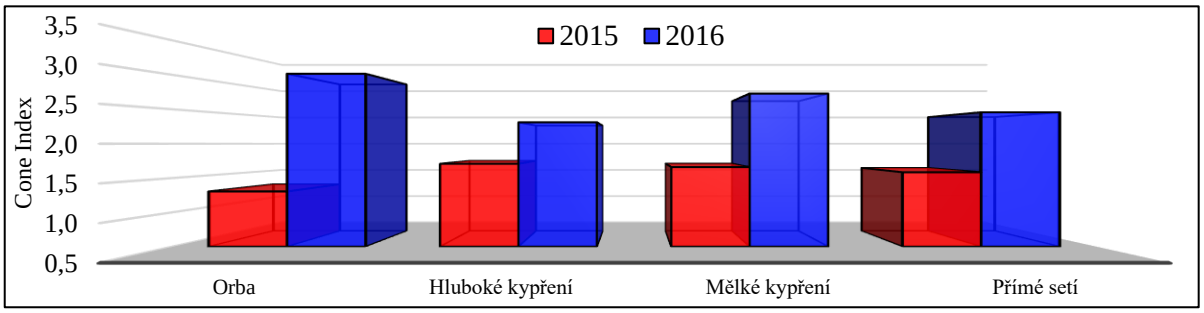
Obr. 25: Vliv různého zpracování půdy na penetrometrický odpor půdy v půdním profilu v roce 2015
Legenda: Rozdílná písmena (a,b,c…) značí průkazný rozdíl v hladině významnosti P≤0,05

Ze statistického hodnocení v roce **2015** byl v hloubce 0,10 m významný statistický rozdíl mělkého kypření od ostatních variant zpracování půdy. V hloubce 0,20 m byl zaznamenám významný statistický rozdíl mezi orbou a ostatními variantami a také mezi hlubokým kypřením a ostatními variantami. V hloubce 0,30 m byl zaznamenán významný statistický rozdíl hlubokého kypřením a také orby od zbylých variant. Významný statistický rozdíl byl zjištén v hloubce 0,40 m u hlubokého kypření a také u mělkého kypření mezi ostatními variantami.



Obr. 26: Vliv různého zpracování půdy na penetrometrický odpor půdy v půdním profilu v roce 2016
Legenda: Rozdílná písmena (a,b,c…) značí průkazný rozdíl v hladině významnosti P≤0,05

V roce **2016** (Obr. 26) byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantou mělkého kypření a ostatními variantami a také hlubokým kypřením a ostatními variantami v hloubce 0,10 a 0,20 m. V hlobce 0,30 m byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi všemi variantami. Mezi orbou a ostatními variantami zpracování půdy a také mezi mělkým kypřením a ostatními variantami zpracování půdy byl zjištěn statistický významný rozdíl v hloubce 0,40 m.



Obr. 27: Penetrometrický odpor (Cone index) v roce 2015 a 2016

Při porovnávání Cone indexu (CI) v roce 2015 byly mezi hodnotami zpracování půd pouze nepatrné rozdíly. V roce 2016 byly rozdíly mezi variantami patrné o něco více. Nejvyšších hodnot dosahovala orba, poté mělké kypření a přímé setí. Nejnižší hodnoty CI dosahovalo hlubokého kypření. Podle Neuderta et al. (2017) je příčinou zvýšení hodnot CI u varianty přímého setí ponechání půdy v jejím původním stavu, jako po sklizni. V jejich pokusu se dále také vyskytovalo vyšší utužení půdy v hloubce 0,20-0,25 m naznačující utuženější podbrázdí, což je pozůstatkem orby. Proto také doporučují hloubkové kypření, které tuto zhutnělou vrstvu podbrázdí eliminují účinkem hlubšího kypření na hloubku 0,30 m.

Přestože varianta s mělkým kypření vykazovala nižší hodnoty CI než orba v roce 2016, tak docházelo u této varianty k největšímu nárůstu odporu půdy v hloubce 0-0,25 m. O podobných výsledcích hovoří Materechera, Mloza-Banda (1997), Birkás et al. (2000) a Hůla et al. (2010), kteří popisují pravidelné využívání minimalizačních technologií zpracování půdy s mělkým kypřením jako jeden z následků nežádoucího zhutnění půdy pod hloubkou zpracování. Podle Javůrka a Vacha (2008) může mít toto nadměrné zhutnění půdy negativní vliv na kořenový systém plodiny, což může mít u kukuřice za následek snížení výnosů až o 10-15 %.

5.3 Fyzikální vlastnosti půdy

O vlivu různého způsobu zpracování půdy na základní fyzikální vlastnosti půdy při pěstování kukuřice na zrno pojednávají následující kapitoly 5.3.1, 5.3.2, 5.3.3, 5.3.4 a 5.3.5. Naměřené hodnoty z období 2015-2016 byly vyhodnoceny analýzou variance (ANOVY) s následným testováním (LSD test). Ke stanovení možného utužení půdy bylo použito limitních hodnot kritických vlastností zhutnělých půd pro půdu hlinitou (Tab. 10).

Tab. 10: Limitní hodnoty kritických vlastností zhutnělých půd (Lhotský, 2000, upravil Adámek, 2017)

Půdní druh	Objemová hmotnost [g.m^{-3}]	Celková pórovitost [% obj.]	Minimální vzdušná kapacita [% objem.]
Půda hlinitá	> 1,45	< 45	< 10

5.3.1 Objemová hmotnost půdy

Z výsledků testování analýzy variance (ANOVA) je zřejmé, že byly zjištěny statistické rozdíly u varianty zpracování půdy, hloubky i u jejich vzájemné interakce (Tab. 11).

Tab. 11: Testy významnosti pro objemovou hmotnost (g.cm-3)

EFEKT	SČ.	Stupně volnosti	PČ	F	P
Varianta	0,3102	3	0,1034	5,82	0,000999
Hloubka	0,2372	2	0,1186	6,68	0,001839
Varianta*Hloubka	0,2434	6	0,0406	2,28	0,040842

Legenda: P značí hladinu významnosti P≤0,05

Dále bylo provedeno následné testování pomocí LSD testu, podle výše zmíněného testování analýzy variance. Výsledky následného testování ukazují tabulky 12-14.

Tab. 12: LSD test pro efekt zpracování půdy

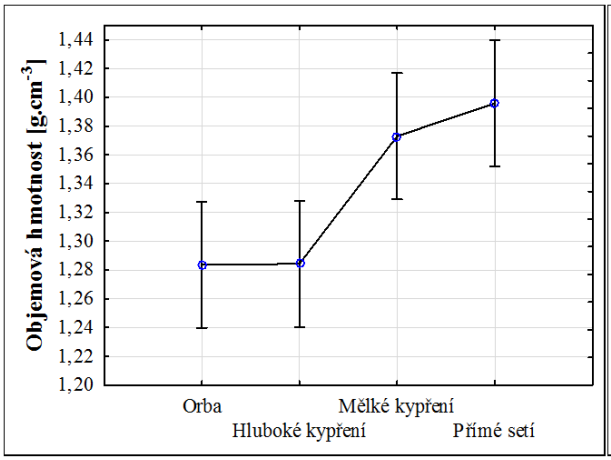
Varianty	OH (g.cm^{-3})
Orba	1,28^{a}
Hluboké kypření	1,28^{a}
Mělké kypření	1,37^{b}
Přímé setí	1,39^{b}

Legenda: Rozdílná písmena (a,b,c…) značí průkazný rozdíl v hladině významnosti P≤0,05

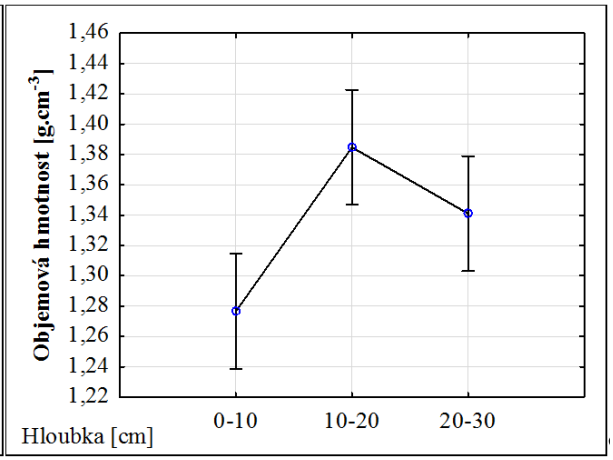
Tab. 13: LSD test pro efekt hloubka (cm)

Hloubky	OH (g.cm^{-3})
0-0,10 m	1,28^{a}
0,10-0,20 m	1,34^{b}
0,20-0,30 m	1,38^{b}

Legenda: Rozdílná písmena (a,b,c…) značí průkazný rozdíl v hladině významnosti P≤0,05



Obr. 28: Vliv různého zpracování na OH



Obr. 29: Vliv různého hloubky odběru na OH

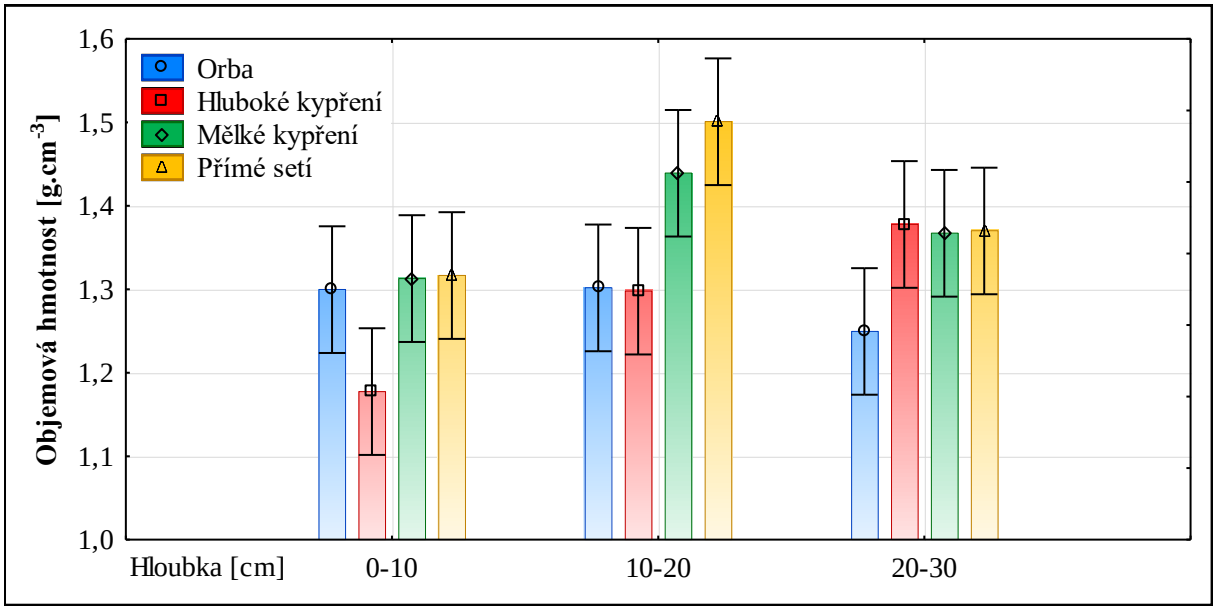
Následným testováním pomocí LSD testu (Tab. 12) byl zjištěn statistický významný rozdíl mezi intenzivnějším zpracováním půdy (orba a hluboké kypření) a extenzivnějším zpracováním půdy (mělké kypření a přímé setí). Dále je také zřejmé (Obr. 28), že s klesající intenzitou zpracování půdy narůstá objemová hmotnost půdy.

LSD test pro efekt hloubka (Tab. 13) a graf (Obr. 29) zobrazují statisticky významně nižší hodnoty ve vrchní vrstvě půdy (0-0,10 m) oproti hloubkám 0,10-0,20 a 0,20-0,30 m.

Tab. 14: LSD test pro efekt zpracování půdy v jednotlivých hloubkách (cm)

Objemová hmotnost (g.cm^{-3})	**Varianty zpracování půdy**			
	Orba	Hloubkové kypření	Mělké kypření	Přímé setí
0-0,10 m	1,30^{a}	1,18^{a}	1,31^{a}	1,32^{a}
0,10-0,20 m	1,30^{a}	1,30^{a}	1,44^{b}	1,50^{b}
0,20-0,30 m	1,25^{a}	1,38^{a}	1,37^{a}	1,37^{a}

Legenda: Rozdílná písmena (a,b,c…) značí průkazný rozdíl v hladině významnosti P≤0,05



Obr. 30: Vliv způsobu zpracování a hloubky odběru na objemovou hmotnost půdy

Následným testováním pro efekt varianty zpracování půdy v jednotlivých hloubkách nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantami zpracování v hloubce 0-0,10 m a 0,20-0,30 m. V hloubce 0,10-0,20 je statisticky významný rozdíl mezi intenzivním zpracováním půdy (orba a hluboké kypření) a extenzivním zpracováním půdy (mělké kypření a přímé setí), což již bylo potvrzeno u následného testování pro efekt varianty zpracování půdy.

K překročeních limitních hodnot kritických vlastností zhutnělých půd došlo pouze u varianty přímého setí do nezpracované půdy v hloubce 0,10-0,20 m. Z průměrných hodnot bylo nejvyšších objemové vlhkosti půdy dosaženo právě u této varianty. Dále bylo podobných hodnot dosaženo i varianty s mělkým kypřením. Také Raus (2000), Hůla, Procházková et.al (2002), Houšť et al. (2014) a Smutný et al. (2015) potvrzují fakt, že se snižující se intenzitou zpracování půdy dochází ke zvyšování její objemové hmotnosti.

Nejnižších hodnot objemové vlhkosti půdy bylo dosaženo u varianty s orbou a hlubokým kypřením. Šimon a Lhotský (1989) potvrzují fakt, že s kypřícími zásahy a především s využitím orby dochází k výraznému snižování hodnot objemové hmotnosti půd, která se pak pohybuje v rozmezí 0,8-1,1 g.cm^{-3}. Objemová hmotnost se zvyšuje po nakypření, avšak do jednoho roku se vrátí do přirozené ulehlosti, proto sama o sobě vykazuje objemová hmotnost stupeň ulehlosti.

5.3.2 Pórovitost půdy

Na základě testování analýzy variance (ANOVA) jsou v níže přiložené tabulce (Tab. 18) vidět statistické rozdíly u varianty zpracování půdy, hloubky i u jejich vzájemné interakce.

Tab. 15: Testy významnosti pro celkovou pórovitost (%)

EFEKT	SČ.	Stupně volnosti	PČ	F	P
Varianta	448,4	3	149,5	5,82	0,000999
Hloubka	342,9	2	171,5	6,68	0,001839
Varianta*Hloubka	351,9	6	58,6	2,28	0,040842

Legenda: P značí hladinu významnosti P≤0,05

K ověření statistických rozdílů bylo použito následné testování (LSD test), výsledky z tohoto testování jsou zobrazeny v přiložených tabulkách (Tab. 16-18).

Tab. 16: LSD test pro efekt zpracování půdy

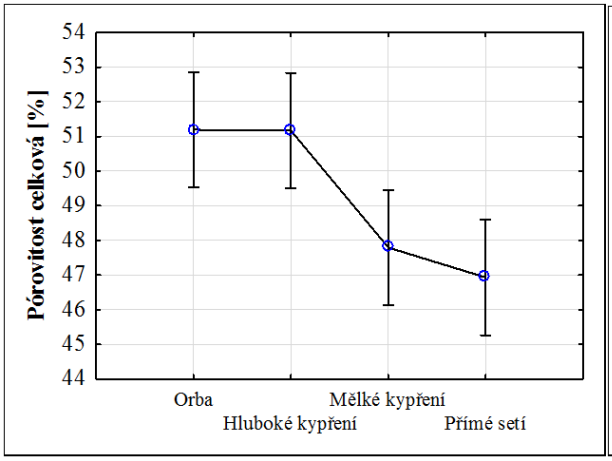
Varianty	P (%)
Orba	51,19[a]
Hluboké kypření	51,17[a]
Mělké kypření	47,80[b]
Přímé setí	46,93[b]

Legenda: Rozdílná písmena (a,b,c…) značí průkazný rozdíl v hladině významnosti P≤0,05

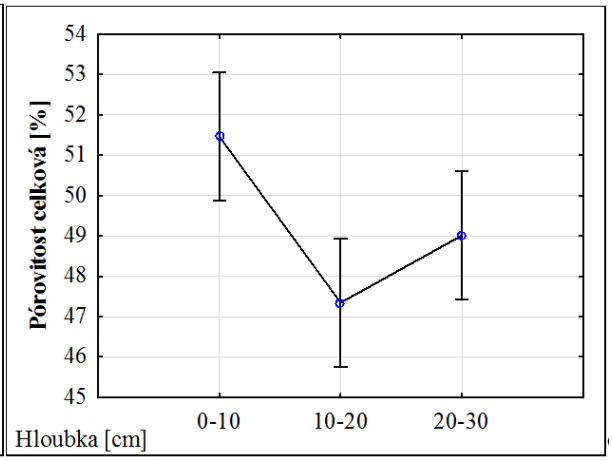
Tab. 17: LSD test pro efekt hloubka (cm)

Hloubky	P (%)
0-0,10 m	51,46[a]
0,10-0,20 m	47,35[b]
0,20-0,30 m	49,01[b]

Legenda: Rozdílná písmena (a,b,c…) značí průkazný rozdíl v hladině významnosti P≤0,05



Obr. 31: Vliv různého zpracování na P



Obr. 32: Vliv různé hloubky odběru na P

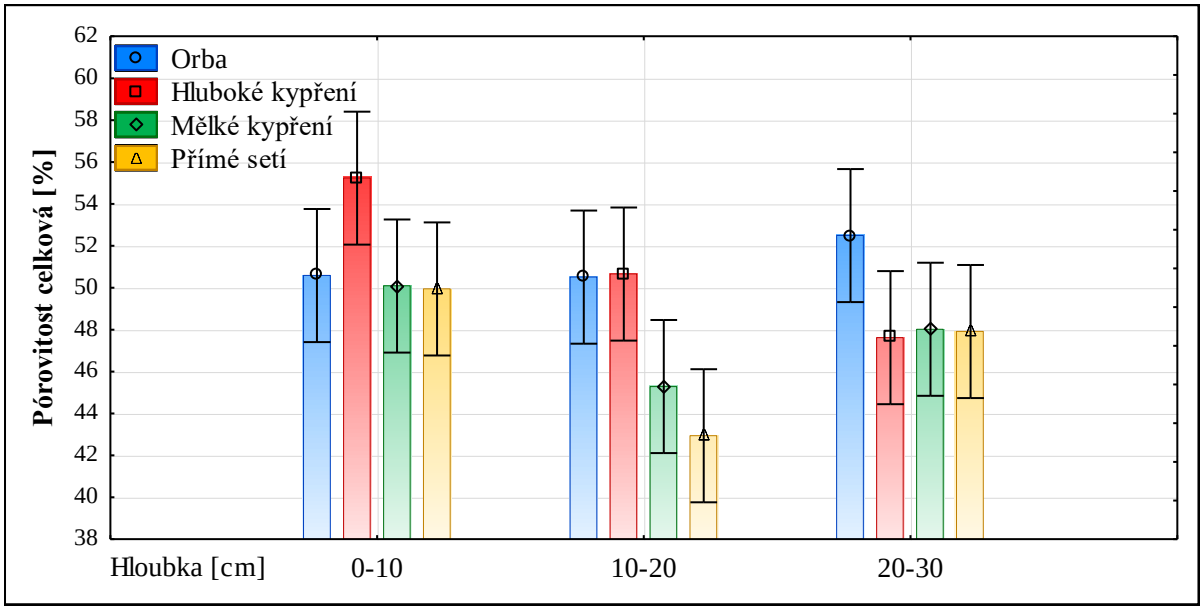
Celková pórovitost půdy je zrcadlovým odrazem objemové hmotnosti půdy, proto také byl opět zjištěn následným testováním statisticky významný rozdíl mezi intenzivním (orba a hluboké kypření) a extenzivním zpracováním půdy (mělké kypření a přímé setí). Se zvyšující se intenzitou zpracování půdy narůstá celková pórovitost půdy, což je vidět v grafu (Obr. 31).

Statisticky významně vyšší hodnoty byly následným testování pro efekt hloubka (Tab. 17) zjištěny v hloubce 0,10 m (vrchní vrstva) oproti hloubkám 0,10-0,20 a 0,20-0,30 m. Nejvyšších hodnot bylo dosaženo u povrchu ornice

Tab. 18: LSD test pro efekt zpracování půdy v jednotlivých hloubkách (cm)

Celková pórovitost (%)	Varianty zpracování půdy			
	Orba	Hloubkové kypření	Mělké kypření	Přímé setí
0-0,10 m	50,59[a]	55,23[b]	50,08[a]	49,95[a]
0,10-0,20 m	50,50[a]	50,65[a]	45,28[b]	42,94[b]
0,20-0,30 m	52,49[a]	47,62[a]	48,02[a]	47,91[a]

Legenda: Rozdílná písmena (a,b,c…) značí průkazný rozdíl v hladině významnosti P≤0,05



Obr. 33: Vliv způsobu zpracování a hloubky odběru na celkovou pórovitost půdy

Podle výše přiložené tabulky (Tab. 18) byl následným testováním pro efekt varianty zpracování půdy v jednotlivých hloubkách zjištěn statisticky významný rozdíl mezi hlubokým kypřením a ostatními variantami zpracování půdy v hloubce 0-0,10 m. V hloubce 0,10-0,20 m je statisticky významný rozdíl mezi intenzivním zpracováním půdy (orba a hluboké kypření) a extenzivním zpracováním půdy (mělké kypření a přímé setí). V hloubce 0,20-0,30 m nebyly následným tetováním zjištěny statisticky významné rozdíly.

Jak již bylo zmíněno, celková pórovitost je zrcadlovým opakem objemové hmotnosti půdy, proto bylo dosaženo nejnižších hodnot a také překročení limitních hodnot kritických vlastností zhutnělých půd opět u varianty přímého setí do nezpracované půdy, protože se zvyšující se intenzitou zpracování půdy dochází ke zvýšení celkové pórovitosti. Tento fakt, kdy pórovitost půdy velice úzce koreluje s objemovou hmotností, potvrzují Hůla a Procházková et al. (2008)

Průměrně nejvyšších hodnot dosahovaly varianty s orbou a hlubokým kypřením. Podle Hůly et al. (1997) má různý způsob zpracování vliv na pórovitost půdy převážně při využití orby a také při kypření, které zvyšuje podíl nekapilárních pólů, čímž dochází ke zvýšení celkové pórovitosti. V případě snižování pórovitost může docházet k utužování půdy.

5.3.3 Minimální vzdušná kapacita půdy

Výsledky testování analýzy variance (ANOVA), které jsou zobrazeny v tabulce (Tab. 19), ukazují, že byly zjištěny statistické rozdíly pouze u varianty zpracování půdy. Mezi hloubkou a její interakcí s variantou zpracování půdy nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly.

Tab. 19: Testy významnosti pro minimální vzdušnou kapacitu (%)

EFEKT	SČ.	Stupně volnosti	PČ	F	P
Varianta	569,09	3	189,70	7,914	0,000081
Hloubka	51,45	2	25,72	1,073	0,345527
Varianta*Hloubka	226,79	6	37,80	1,577	0,160751

Legenda: P značí hladinu významnosti P≤0,05

V níže přiložených tabulkách (Tab. 20-23) jsou zobrazeny výsledky následného testování k ověření statistických rozdílů.

Tab. 20: LSD test pro efekt zpracování půdy

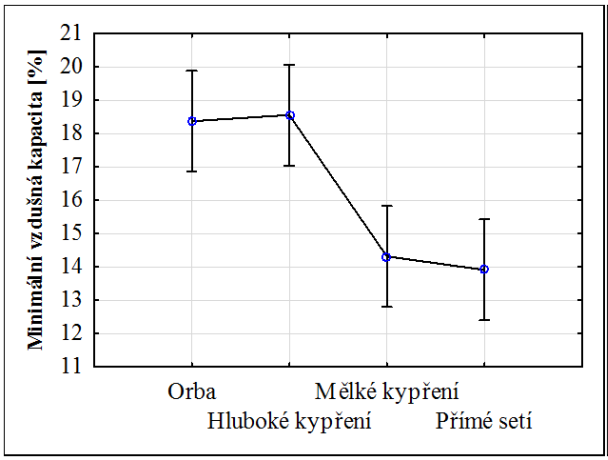
Varianty	MVK (%)
Orba	18,37[a]
Hluboké kypření	18,55[a]
Mělké kypření	14,32[b]
Přímé setí	13,92[b]

Legenda: Rozdílná písmena (a,b,c…)
značí průkazný rozdíl v hladině významnosti P≤0,05

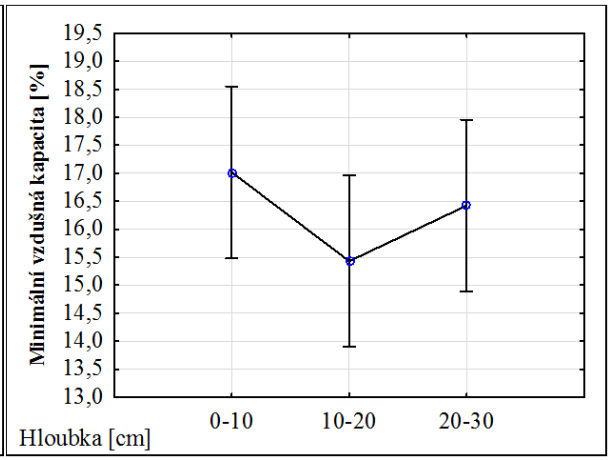
Tab. 21: LSD test pro efekt hloubka (cm)

Hloubky	MVK (%)
0-0,10 m	17,02[a]
0,10-0,20 m	15,43[a]
0,20-0,30 m	16,42[a]

Legenda: Rozdílná písmena (a,b,c…)
značí průkazný rozdíl v hladině významnosti P≤0,05



Obr. 34: Vliv různého zpracování na MVK



Obr. 35: Vliv různé hloubky odběru na MVK

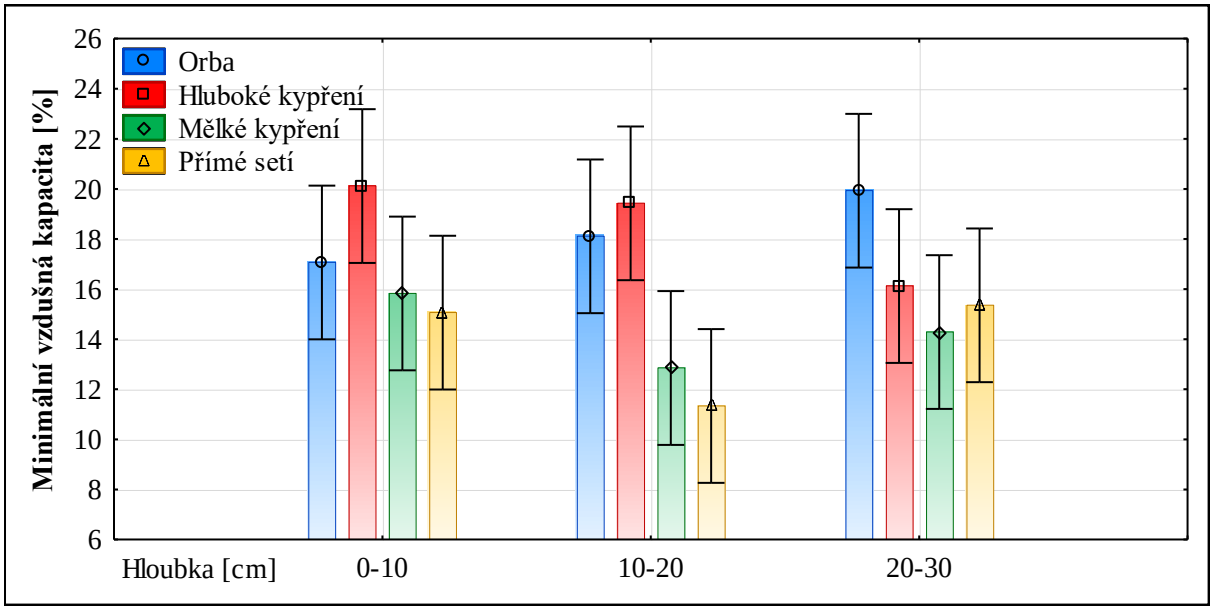
Následným testováním pro efekt varianty zpracování půdy (Tab. 20) byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi intenzivním zpracováním (orba hluboké kypření) a extenzivním zpracováním půdy (mělké kypření a přímé setí). Z výše přiloženého grafu (Obr. 34) je zřejmé, že průběh minimální vzdušné kapacity odpovídá celkové pórovitosti, protože při zvýšení intenzity zpracování půdy opět dochází ke zvýšení hodnot minimální vzdušné kapacity.

Pro efekt hloubky nebyly následným testováním zjištěny statisticky významné rozdíly.

Tab. 22: LSD test pro efekt zpracování půdy v jednotlivých hloubkách (cm)

Minimální vzdušná kapacita (%)	Varianty zpracování půdy			
	Orba	Hloubkové kypření	Mělké kypření	Přímé setí
0-0,10 m	17,03^{a,b}	20,12^{b}	15,82^{a}	15,06^{a}
0,10-0,20 m	18,11^{a}	19,43^{a}	12,85^{b}	11,33^{b}
0,20-0,30 m	19,93^{a}	16,12^{a,b}	14,28^{b}	15,35^{b}

Legenda: Rozdílná písmena (a,b,c…) značí průkazný rozdíl v hladině významnosti P≤0,05



Obr. 36: Vliv způsobu zpracování a hloubky odběru na minimální vzdušnou kapacitu

U efektu varianty zpracování půdy v jednotlivých hloubkách byl následným testováním zjištěn statisticky významný rozdíl hlubokého kypření od variantami mělkého kypření a přímého setí. Dále byl také zjištěn statisticky významný rozdíl mezi intenzivním zpracováním půdy (orba a hluboké kypření) a extenzivním zpracováním půdy (mělké kypření a přímé setí) v hloubce 0,10-0,20 m. V hloubce 0,20-0,30 m byl významný statistický rozdíl mezi orbou a variantami mělkého kypření a přímého setí.

U varianty přímého setí bylo dosaženo průměrně nejnižších hodnot minimální vzdušné kapacity, které se přibližovaly kritickým hodnotám. Podle Šimona a Lhotského (1989) by totiž minimální vzdušná kapacita neměla klesnout pod 10 %. Pokorný et al. (2007) uvádí, že při překročení této hranice je půda v kritickém stavu a je nutné provést agromeliorační zásahy do půdy, aby se zvýšila výměna vzduchu v půdě a zlepšily se podmínky pro aerobní organismy.

Z výše přiložené tabulky (Tab. 22) je zřejmé, že minimální vzdušná kapacita byla nejvyšší u hlubokého kypření a také u orby. Podle Procházkové et.al. (2010) je to způsobeno především tím, že vzdušná kapacita souvisí s objemovou hmotností a celkovou pórovitostí, protože se snižující se intenzitou zpracování se snižovuje i minimální vzdušná kapacita.

5.3.4 Vlhkost půdy – objemová

Z výsledků testování analýzy variance (ANOVA) byly zjištěny statistické rozdíly jen u hloubky. Mezi variantami zpracování půdy a jejich interakcí s hloubkou nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly. Výsledky jsou zobrazeny v níže přiložené tabulce (Tab. 23).

Tab. 23: Testy významnosti pro objemovou vlhkost (%)

EFEKT	SČ.	Stupně volnosti	PČ	F	P
Varianta	30,55	3	10,18	1,39	0,250623
Hloubka	49,63	2	24,81	3,38	0,037665
Varianta*Hloubka	8,89	6	1,48	0,20	0,975556

Legenda: P značí hladinu významnosti P≤0,05

K ověření statistických rozdílů bylo použito následné testování (LSD test). Výsledky následného testování ukazují tabulky 24-26.

Tab. 24: LSD test pro efekt zpracování půdy

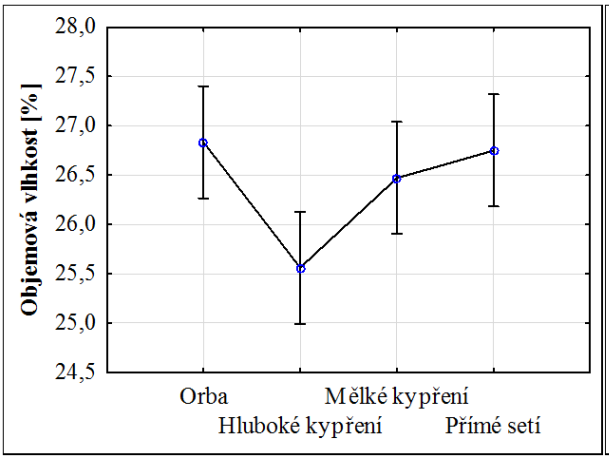
Varianty	Objemová vlhkost (%)
Orba	26,83[a]
Hluboké kypření	25,56[a]
Mělké kypření	26,47[a]
Přímé setí	26,75[a]

Legenda: Rozdílná písmena (a,b,c…) značí průkazný rozdíl v hladině významnosti P≤0,05

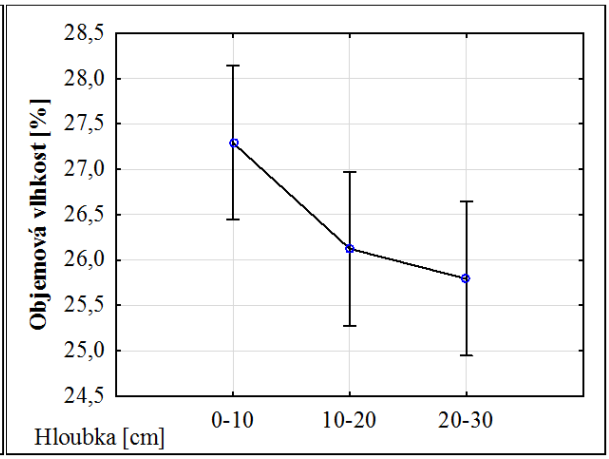
Tab. 25: LSD test pro efekt hloubka (cm)

Hloubky	Objemová vlhkost (%)
0-0,10 m	27,29[a]
0,10-0,20 m	26,12[a,b]
0,20-0,30 m	25,79[b]

Legenda: Rozdílná písmena (a,b,c…) značí průkazný rozdíl v hladině významnosti P≤0,05



Obr. 37: Vliv různého zpracování půdy na objemovou vlhkost



Obr. 38: Vliv různé hloubky na objemovou vlhkost

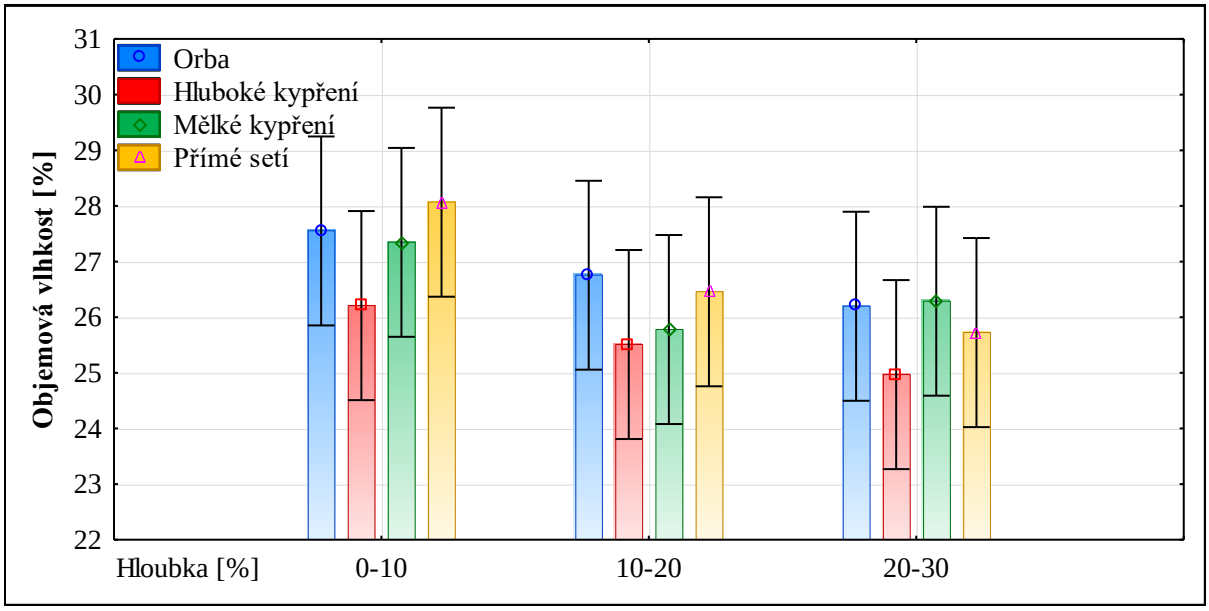
U následného testování pro efekt varianty zpracování půdy (Tab. 37) nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly.

Následným testováním pro efekt hloubka (Tab. 25) byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi hloubkou odběru 0-0,10 m a hloubkou 0,20-0,30 m. Podle výše přiloženého grafu (Obr. 38) je zřejmé, že objemová vlhkost půdy klesá s rostoucí hloubkou.

Tab. 26: LSD test pro efekt zpracování půdy v jednotlivých hloubkách (cm)

Objemová vlhkost (%)	Varianty zpracování půdy			
	Orba	Hloubkové kypření	Mělké kypření	Přímé setí
0-0,10 m	27,55[a]	26,21[b]	27,35[a,b]	28,07[a]
0,10-0,20 m	26,75[a]	25,51[a]	25,78[a]	26,46[a]
0,20-0,30 m	26,20[a]	24,97[a]	26,29[a]	24,97[a]

Legenda: Rozdílná písmena (a,b,c…) značí průkazný rozdíl v hladině významnosti P≤0,05



Obr. 39: Vliv způsobu zpracování a hloubky odběru na objemovou vlhkost

Následným testováním pro efekt varianty zpracování půdy v jednotlivých hloubkách byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantou s hlubokým kypřením půdy a variantami s orbou a přímým setím v hloubce 0-0,10 m. V hloubce 0,10-0,20 m a 0,20-0,30 m nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantami zpracování půdy.

Nejvyšší objemové vlhkosti půdy dosahovala ve vrchní vrstvě (hloubka 0-0,10 m) varianta s přímým setím do nezpracované půdy. Podle Smutného et.al. (2015) to může být zapříčiněno snížením ztrát vody díky ponechaným posklizňovým zbytkům na povrchu půdy, nebo nepřerušenými kapilárními póry, které k seťovému lůžku přivádí vodu. Právě šetrné zacházení s vláhou především v suchých letech je pro tuto variantu charakteristické.

5.3.5 Celkové zhodnocení fyzikálních vlastností půdy

Výsledky hodnocení ukazují, že se minimalizační technologie zpracování půdy (varianta s mělkým kypřením půdy a přímé setí do nezpracované půdy) vyznačovaly vyššími hodnotami objemové hmotnosti půdy oproti variantě s orbou a hlubokým kypřením. Hodnoty celkové pórovitosti půdy byly nižší u variant mělkého kypření a přímého setí oproti variantě s orbou a

hlubokým kypřením. U minimální vzdušné kapacity, která souvisí s objemovou hmotností a pórovitostí, docházelo se snižující se intenzitou zpracování ke snížení minimální vzdušné kapacity. Nejnižších hodnot minimální vzdušné kapacity bylo dosaženo u varianty přímého setí do nezpracované půdy. Výrazný vliv mělo zpracování půdy také na objemovou vlhkost půdy, kdy bylo dosaženo nejvyšší vlhkosti u varianty přímého setí v hloubce 0-0,10 m.

Jak již bylo zmíněno výše, varianta přímého setí do nezpracované půdy je v této oblasti používána pouze jako krajní varianta. Toto tvrzení také podporují výsledky základních fyzikálních vlastností, kdy byly v hloubce 0,10-0,20 m překročeny limitní hodnoty kritických vlastností zhutnělých půd jak u objemové hmotnosti, tak i u celkové pórovitosti. U této varianty se také minimální vzdušná kapacita blížila kritické hodnotě 10 %.

Z celkového hodnocení fyzikálních vlastností půd je patrné, že nejlepších hodnot dosahovaly konvenční zpracování půdy s orbou (0,22 m) a hluboké zpracování půdy s kypřením (0,25 m). Proto lze také uvažovat o zařazení pravidelného hlubokého kypření při pěstování kukuřice na zrno jako náhrada za konvenční zpracování půdy s obou. Toto doporučení potvrzuje také Chaudhary et al. (1985).

5.4 Strukturní stav půdy

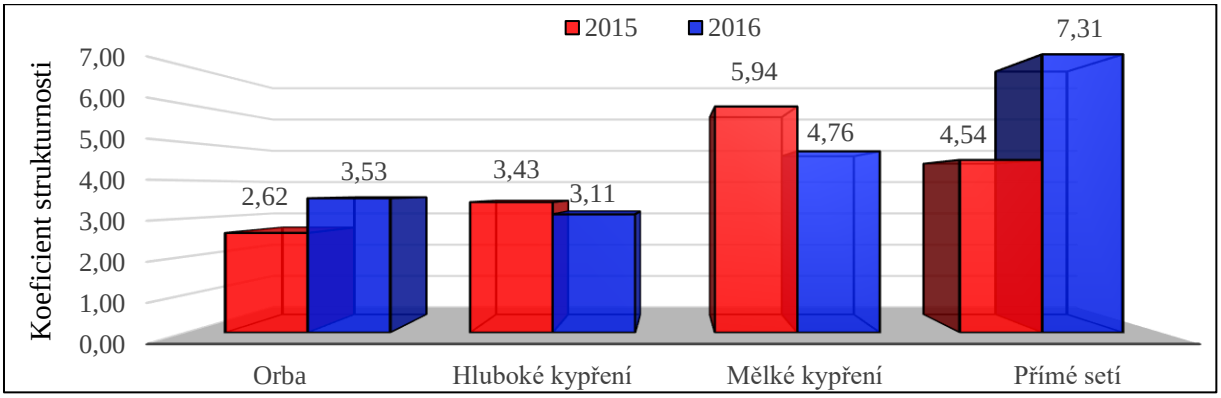
O vlivu různého způsobu zpracování půdy na strukturní stav při pěstování kukuřice na zrno pojednávají následující kapitoly 5.4.1 a 5.4.2. Naměřené hodnoty z období 2015-2016 byly vyhodnoceny pomocí analýzy variance (ANOVY) s následným testováním průkaznosti diference (LSD test). Kvalita struktury půdy byla hodnocena podle klasifikační stupnice kvality struktury půdy (Tab. 27) podle Bartlové (2015), která udává kvalitu struktury půdy podle procentického zastoupení vodostálosti půdních agregátů.

Tab. 27: Stanovení kvality struktury půdy podle procentického zastoupení vodostálosti půdních agregátů (Bartlová (2015)

SAS (%)	Kvalita struktury
< 18	Velmi nízká
18.1–34.0	Nízká
34.1–50.0	Střední
50.1–66.0	Vysoká
> 66.1	Velmi vysoká

5.4.1 Koeficient strukturnosti

Na základě naměřených hodnot koeficientu strukturnosti (Obr. 40), který vyjadřuje vztah mezi agronomicky hodnotnými a méně hodnotnými agregáty, můžeme posoudit strukturu půd, kdy při zvyšování koeficientu strukturnosti dochází ke zlepšení struktury půdy.



Obr. 40: Koeficient strukturnosti 2015-2016

Z výše přiloženého obrázku je zřejmé, že v roce **2015** bylo dosaženo nejvyšších hodnot koeficientu strukturnosti u varianty s mělkým kypřením a dále u varianty přímého setí o nezpracované půdy. Nejnižší naměřené hodnoty byly u varianty s orbou. V roce **2016** byly zjištěny nejvyšší hodnoty koeficientu strukturnosti u varianty s přímým setím, a poté u varianty s mělkým kypřením. Nejnižší hodnoty byly naměřeny u hlubokého kypření.

Z toho vyplývá fakt, že lepší strukturní stav vykazovaly půdy, na kterých byly využity varianty s minimalizačními technologiemi zpracování půdy (přímé setí do nezpracované půda a varianta s mělkým kypřením) především díky nižší intenzitě zpracování půdy těchto technologií. Tento fakt potvrzuje ve svých výsledcích také Procházková et al. (2010).

5.4.2 Stanovení vodostálosti půdních agregátů

V této kapitole byla hodnocena vodostálost (stabilita) půdních agregátů, která udává odolnost agregátů proti rozplavování vodou.

Z výsledků testování analýzy variance (ANOVA) je patrné, že byly zjištěny statistické rozdíly u varianty zpracování půdy, hloubky i u jejich vzájemné interakce (Tab. 28).

Tab. 28: Testy významnosti pro vodostálost půdních agregátů (%)

EFEKT	SČ.	Stupně volnosti	PČ	F	P
Varianta	403,0	1	403,0	8,805	0,003587
Hloubka	1435,9	3	478,6	10,458	0,000003
Varianta*Hloubka	555,6	3	185,2	4,046	0,008715

Legenda: P značí hladinu významnosti P≤0,05

Následným testováním byly ověřeny statistické rozdíly, podle výše zmíněné analýzy variance. Výsledky z tohoto testování jsou zobrazeny v přiložených tabulkách (Tab. 29-31).

Tab. 29: LSD test pro efekt zpracování půdy)

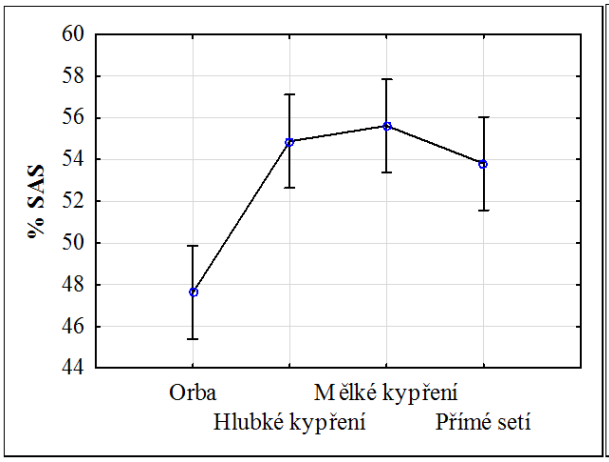
Varianty	SAS (%)
Orba	47,63[a]
Hluboké kypření	54,87[b]
Mělké kypření	55,62[b]
Přímé setí	53,80[b]

Legenda: Rozdílná písmena (a,b,c…) značí průkazný rozdíl v hladině významnosti P≤0,05

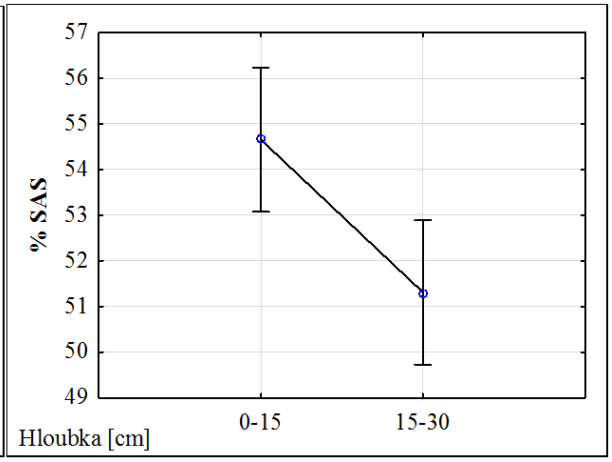
Tab. 30: LSD test pro efekt hloubka (cm)

Hloubky	SAS (%)
0-0,15 m	54,65[a]
0,15-0,30 m	51,30[b]

Legenda: Rozdílná písmena (a,b,c…) značí průkazný rozdíl v hladině významnosti P≤0,05



Obr. 41: Vliv různého zpracování půdy na vodostálost



Obr. 42: Vliv různé hloubky odběru na vodostálost

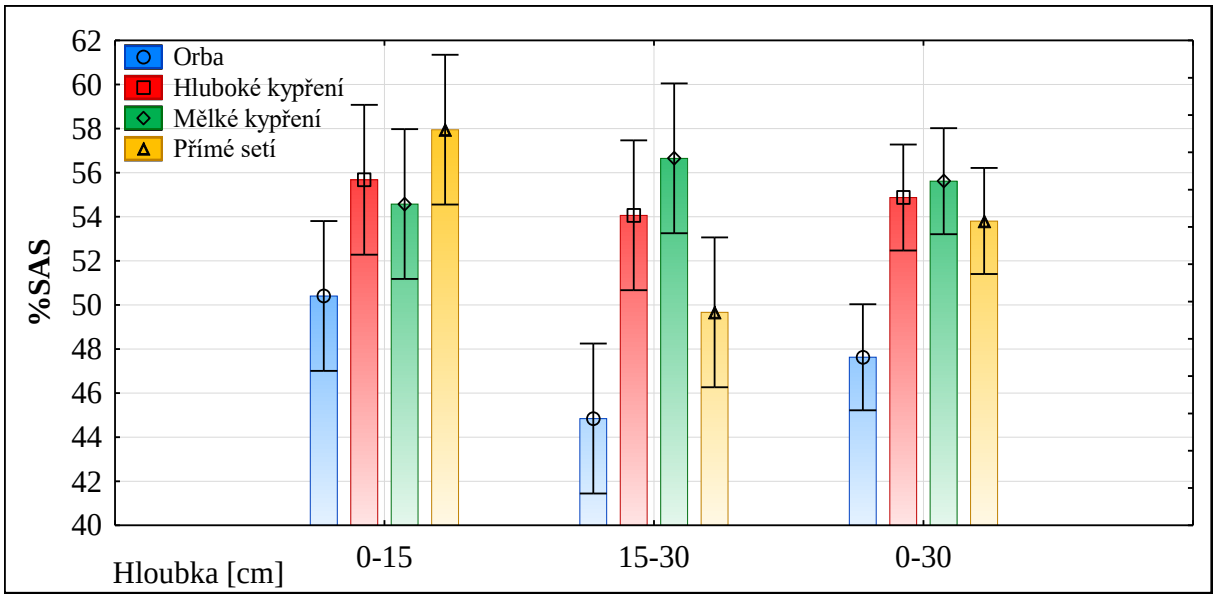
Následným testováním pro efekt varianty zpracování půdy (Tab. 29) byly zjištěny statisticky významně nižší hodnoty vodostálosti půdních agregátů u varianty s orbou oproti ostatním variantám zpracování půdy, což také potvrzuje výše přiložený graf (Obr. 41).

Pro efekt hloubky byl následným testováním zjištěn statisticky významný rozdíl mezi hloubkou 0-0,15 m a 0,15-0,30 m. Z výše přiloženého grafu (Obr. 42) je zřejmé, že jsou hodnoty vodostálosti půdních agregátů v hloubce 0,15-0,30 m statisticky významně nižší.

Tab. 31: LSD test pro efekt zpracování půdy v jednotlivých hloubkách (cm)

SAS (%)	Varianty zpracování půdy			
	Orba	Hloubkové kypření	Mělké kypření	Přímé setí
0-0,15 m	50,41[a,b]	55,68[b]	54,58[b,c]	57,95[b]
0,15-0,30 m	44,85[d]	54,07[a,b,c]	56,65[b]	49,67[a]

Legenda: Rozdílná písmena (a,b,c…) značí průkazný rozdíl v hladině významnosti P≤0,05



Obr. 43: Vliv způsobu zpracování a hloubky odběru na vodostálost agregátů

Následným testováním pro efekt varianty zpracování půdy v jednotlivých hloubkách nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantami zpracování půdy v hloubce 0-0,15 m. V hloubce 0,15-0,30 m byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi variantou s orbou a ostatními variantami zpracování půdy. V této hloubce byl také statisticky významný rozdíl mezi mělkým kypřením a variantou s přímým setím do nezpracované půdy.

Z výše přiloženého grafu (Obr. 43) je zřejmé, že nejvyšších hodnot vodostálosti ve svrchní vrstvě ornice dosahovala varianta s přímým setí. Nejvyšší průměrné vodostálosti půdních agregátů dosahovala varianta s mělkým kypřením a nejnižší varianta s orbou.

Podle klasifikační stupnice kvality struktury půdy (Tab. 27) dosahují půdy, které byly zpracovány variantami s hlubokým a mělkým kypřením a také přímým setím do nezpracované půdy vysoké kvality struktury. U varianty s orbou byla zjištěna střední kvalita struktury půdy.

Také Eperlein (2003), Kasper et al. (2009) a Hůla et al. (2010) došli k podobným výsledkům u varianty s orbou, kdy po víceletém využívání této varianty dochází k negativnímu ovlivnění stability půdních agregátů Také byla zjištěna horší struktura půdy u konvenčního zpracování půdy s orbou oproti použití minimalizačních technologií zpracování půdy.

Stejně jako u koeficientu strukturnosti, tak i vodostálost půdních agregátů vykazovala lepší strukturní stav půdy u varianty s mělkým kypřením a přímým setím oproti klasickému zpracování půdy s orbou. Podobných výsledků dosahovaly pokusy Procházkové et al. (2011) a Bartlové et al. (2015), kdy půda dosahovala lepší struktury po minimalizačních technologiích.

6 ZÁVĚR

V diplomová práci byly zhodnoceny a porovnány vlivy různého zpracování půdy na výnosy kukuřice pěstované na zrno a změny půdních vlastností. Sledování probíhalo na pokusném stanovišti s monokulturou kukuřice v dlouhodobém poloprovozním pokusu založeném v roce 2001. Pokusné stanoviště se nachází v katastrálním území městyse Višňového na Znojemsku, na hlinité středně těžké hnědozemní půdě v kukuřičné výrobní oblasti. V práci byly zpracovány výsledky z let 2015 a 2016.

V práci byly hodnoceny čtyři varianty zpracování půdy:

I. *Konvenční zpracování půdy orbou (0,22 m)*
II. *Hluboké zpracování půdy kypřením (0,25 m)*
III. *Mělké zpracování půdy kypřením (0,12 m)*
IV. *Přímé setí do nezpracované půdy*

Z výsledků získaných ze sledování vlivu různé intenzity a hloubky zpracování půdy na výnos zrnové kukuřice a změny půdních vlastnosti lze uvést tyto závěry:

- Při využití ***konvenčního zpracování půdy s orbou*** a ***minimalizačním zpracování půdy*** s ***hlubokým*** a ***mělkým kypření*** se ve výnosech zrna kukuřice neprojevily výrazné rozdíly.

- Ve sledovaném období 2015-2016 bylo dosaženo u varianty ***hlubokého zpracování půdy kypřením*** nejvyššího průměrného výnosu (10,01 $t.ha^{-1}$), následovala varianta ***mělkého zpracování půdy kypřením*** (9,80 $t.ha^{-1}$) a ***konvenčního zpracování půdy orbou*** (9,29 $t.ha^{-1}$). Nejnižšího výnosu bylo dosaženo u varianty přímého setí do nezpracované půdy (9,11 $t.ha^{-1}$). Průměrný výnos v tomto období byl **9,80 $t.ha^{-1}$**.

- Největších výnosů bylo dosaženo v roce **2016** díky optimálnímu rozložení srážek i teplot během vegetace. Výnosy v roce **2015** byly ovlivněny extrémními klimatickými podmínkami, a byly zhruba o 50 % nižší než v roce 2016.

- Ze statistického hodnocení základních fyzikálních vlastností vyplývá, že s klesající intenzitou zpracování půdy dochází ke statisticky významnému zvýšení hodnot objemové hmotnosti půdy a snížení celkové pórovitosti. U varianty ***přímého setí*** bylo dosaženo nejvyšších hodnot objemové hmotnosti půdy, nejnižších hodnot celkové pórovitosti a nejnižších hodnot minimální vzdušné kapacity. Tyto hodnoty naměřené u varianty přímého setí do nezpracované půdy v hloubce 0,10-0,20 m překračovaly kritické limity zhutnění půd. Nejnižší objemová vlhkost půdy byla u varianty s ***hlubokým kypření*** a nejvyšší u varianty ***přímého setí***.

- Naměřený penetrometrický odpor půdy se vždy zvyšoval pod hloubkou zpracování půdy zde se utvářela utuženější vrstva. Pouze u varianty ***konvenčního zpracování půdy s orbou*** došlo k překročení kritického limitu udávajícího zhutnění půd, a to v hloubce 0,25 m.

- Lepší strukturní stav vykazovala půda, na které byly využity varianty s minimalizačními technologiemi zpracování půdy – ***přímé setí do nezpracované půdy*** a varianta ***mělkého zpracování půdy kypřením,*** oproti půdě zpracované ***konvenčně s orbou***.

- Pouze jako ***krajní variantu*** pro pěstování kukuřice na zrno můžeme zvolit v našich klimatických podmínkách variantu ***přímého setí do nezpracované půdy***. Protože u této varianty zpracování půdy bylo dosaženo nejnižších výnosů a také výsledky základních fyzikálních vlastností v hloubce 0,10-0,20 m naznačovaly zhutnění půdy. Dalším významným problémem přímého setí do nezpracované půdy bylo vyšší množství posklizňových zbytků, díky kterým bylo obtížnější založení kvalitního porostu, nedocházelo k dostatečnému prohřátí půdy na jaře a byla snížena účinnost preemergentních pesticidů.

<u>Závěrečné doporučení:</u>

Z dlouhodobého hodnocení vlivu různého zpracování půdy při pěstování kukuřice na zrno lze v této oblasti doporučit variantu ***mělkého zpracování půdy kypřením (0,12 m)***. Tato varianta zpracování půdy poskytuje kukuřici optimální podmínky pro její růst a vývoj a oproti variantě s orbou je šetrnější k půdě (díky půdoochranným vlastnostem), je rentabilnější a efektivněji využívá pracovní sílu.

Zkušenosti z praxe i výsledky vlivu různého zpracování půdy na výnosy a vlastnosti půdy našeho pokusu potvrdily doporučení pravidelného zařazení ***hlubokého zpracování půdy kypřením (0,25 m)*** při pěstování kukuřice na zrno. Při využití této varianty zpracování půdy dochází ke zlepšení základních fyzikálních vlastností a oproti orbě má tato varianta pozitivní vliv na kořenový systém a lépe brání utužení půd.

Po ověření pozitivního vlivu varianty zpracování půdy hlubokým kypřením také dochází od letošního roku v zemědělskému podniku AGROSERVIS, 1. zemědělská a. s. Višňové k většímu rozvoji využívání této technologie zpracování půdy pro pěstování kukuřice na zrno.

7 POUŽITÁ LITERATURA

ADÁMEK J., 2015: *Minimalizační a půdoochranné technologie uplatněné při pěstování kukuřice na zrno*. Brno, Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně.

ASAE Standards, 1992b: ASAE Engineering Practice EP542, *Procedures for using and reporting data obtained with the soil cone penetrometer*, ASAE.

ASAE Standards, 1999a: ASAE Standard S313.3, *Soil cone penetrometer*, ASAE.

ASZ, 2015: *Mezinárodní rok půdy: 2015*. Praha: Asociace soukromého zemědělství ČR. ISBN 978-80-260-9180-6.

BADALÍKOVÁ B., 2016: Půda to nejcennější, co máme. In: *Vesmír* [online]. [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: http://vesmir.cz/2016/11/29/puda-nejcennejsi-mame/

BAKER C. J., SAXTON K. E., 2007: *No-tillage seeding in conservation agriculture*. 2nd ed. Cambridge, MA: Published jointly by Food and Agriculture Organization of the United Nations and Cabi Pub., ISBN 978-1-84593-116-2.

BARTLOVÁ J., BADALÍKOVÁ B., POSPÍŠILOVÁ L., POKORNÝ E. a ŠARAPATKA B., 2015: Water stability of soil aggregates in different systems of tillage. *Soil and Water Research*, 10 (3), 147-154. ISSN 18015395.

BAUER F., 2014: Zpracování půdy. In: *Farmář*. Praha: Profi Press, 20 (7): 42-44. ISSN 1210-9789.

BENEŠ P., 2007: Znamená pluh plýtvání energií? In: *Zemědělec* Praha: Profi Press, 15 (23): 41-42. ISSN 1211-3816.

BERNER A., 2013: *Základy půdní úrodnosti: utváření vztahu k půdě*. Olomouc: Praktická příručka (Bioinstitut). ISBN 978-80-87371-22-0.

BIRKÁS M., SZALAI T., GYURICZA C., GECSE M. a BORDÁS, K., 2002: Effects of disk tillage on soil condition, crop yield and weed infestation. *Rostlinná výroba*, 48 (1): 20-26. ISSN 0370-663X

BRANT V., BEČKA D., CIHLÁŘ P. et al., 2016: *Pásové zpracování půdy (strip tillage): klasické, intenzivní a modifikované*. Praha: Profi Press. ISBN 978-80-86726-76-2.

BRTNICKÝ M., 2012: *Degradace půdy v České republice*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. ISBN 978-80-87361-20-7.

BUDŇÁKOVÁ, M., 2017: Aktuální stav půdy v ČR. In: *Úroda*. Praha: Profi Press, 65 (1): 65-66. ISSN 0139-6013.

BUŠO R. a HAŠANA R., 2014: Obrábanie – za a proti. In: *Roľnícke noviny.* Bratislava: Profi Press, (15): 16. ISSN 1335-440 X.

CANNELL, R.Q., HAWES J.D., 1994: Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. In: *Soil and Tillage Research*, 30 (2–4): 245–282. ISSN 0167-1987.

ČECHMÁNKOVÁ J. a SKÁLA J., 2011: Kontaminace půd. In: *Úroda*. Praha: Profi Press, 59 (3): 82. ISSN 0139-6013.

ČHMÚ*: Český hydrometeorologický ústav*. [online]. [cit. 201-02-20]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data

ČSÚ*, 2017: Definitivní údaje o sklizni zemědělských plodin – 2016*. Český statistický úřad [online]. [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/czso/definitivni-udaje-o-sklizni-zemedelskych-plodin-2016

ČÚZK, 2017: Souhrnné přehledy o půdním fondu z údajů katastru nemovitostí České republiky. Praha: Český úřad zeměměřický a katastrální. [online]. 2017 [cit. 2017-02-15] Dostupné z: http://www.cuzk.cz/Periodika-a-publikace/Statisticke-udaje/Souhrne-prehledy-pudniho-fondu/Rocenka_pudniho_fondu_2017.aspx. ISBN 978-80-86918-98-3.

EHRLICH P. et al., 2013: Kontaminace půdy. In: Vítejte na Zemi. [online]. [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=kontaminace_pudy&site=puda

EPPERLEIN J. Development of the biological activity in different tillage systems. In: GARCÍA-TORRES L. et al. (eds): *Conservation Agriculture: Environment, Farmers Experiences, Innovations, Socio-Economy, Policy. Dordrecht, Springer-Science + Business Media*, s. 387–393.

HEGGLIN D., CLERC M. a DIERAUER H., 2015: *Redukované zpracování půdy: možnost využití v ekologickém zemědělství*. Přeložil Radomil HRADIL. Olomouc: Praktická příručka (Bioinstitut). ISBN 978-80-87371-26-8.

HLUŠEK J a LOŠÁK T., 2015: *Půda – svěřené dědictví otců nebo předmět snadného zisku?* In: PROKEŠ, Karel, Ladislav ZEMAN, et al. *Kukuřice v praxi 2015: sborník z mezinárodní konference*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-179-6.

HNÁT A. 2009: The dependence of grain maize yield (Zea Mays L.) from different soil tillage and meteorological conditions. *Pol'nohospodárstvo*, 55 (3): 148-155.

HONGGUANG C., MA W., 1, ZHANG X, PING J., YAN X., LIU J, YUAN J., WANG L. a REN J., 2014: Effect of subsoil tillage depth on nutrient accumulation, root distribution, and grain yield in spring maize. *The Crop Journal*, 2(5): 297-307.

HOUŠŤ M., SMUTNÝ V., PROCHÁZKOVÁ B., NEUDERT L. a LUKAS V., 2014: *Vliv agrotechnických zásahů na udržení půdní úrodnosti.* In: PROKEŠ, Karel, Ladislav ZEMAN, et al. *Kukuřice v praxi 2014: sborník z mezinárodní konference pořádané k 95. výročí založení univerzity v Brně*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7375-937-7.

HRUBÝ J. a BADALÍKOVÁ B., 2007: Meziplodiny proti erozi při pěstování kukuřice. In: *Farmář*. Praha: Profi Press, 13 (1) 26-27. ISSN 1210-9789.

HRUBÝ J., PROCHÁZKOVÁ B. a SUSKEVIČ M., 2000: Volba způsobů zpracování půdy podle stanovištních podmínek. In: *Farmář*. Praha: Profi Press, 6 (2): 39-41. ISSN 1210-9789.

HRUŠKA J., STEHLÍK V., 1962: *Monografie o kukuřici*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. Zemědělská výroba.

HŮLA J. a MAYER V., 1999: *Technologické systémy a stroje pro zpracování půdy*. Praha: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, Mechanizace (modrá ř.). ISBN 80-7105-187-x.

HŮLA J. a PROCHÁZKOVÁ B., 2002: *Vliv minimalizačních a půdoochranných technologií na plodiny, půdní prostředí a ekonomiku*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací. Zemědělské informace. ISBN 80-7271-106-7.

HŮLA J. et al., 2010: *Dopad netradičních technologií zpracování půdy na půdní prostředí: uplatněná certifikovaná metodika*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky. ISBN 978-80-86884-53-0.

HŮLA J., 1999: *Půdoochranné technologie zakládání porostů plodin: technika v půdoochranných technologiích: studijní zpráva*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací. Studijní informace. ISBN 80-7271-060-5.

HŮLA J., ABRHAM Z. a BAUER F., 1997: *Zpracování půdy*. Praha: Brázda. ISBN 80-209-0265-1.

HŮLA J., KOVAŘÍČEK P. a VLAŠKOVÁ M., 2009: Orba a alternativní způsoby hlubšího zpracování půdy. In: *Farmář*. Praha: Profi Press, 15 (9): 42-46. 2009. ISSN 1210-9789.

HŮLA J., PROCHÁZKOVÁ B. a KOVAŘÍČEK P., 2004: *Minimalizační a půdoochranné technologie*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky. ISBN 80-86884-01-5.

HŮLA, J. a PROCHÁZKOVÁ B., 2008: *Minimalizace zpracování půdy*. 1. vyd. Praha: Profi Press. ISBN 978-80-86726-28-1.

CHAUDHARY M.R., GAJRI P.R., PRIHAR S.S. a KHERA R., 1985: Effect of deep tillage on soil physical properties and maize yields on coarse textured soils. *Soil and Tillage Research*, 6 (1): 31-44.

CHEN Y., LIU S., LI H., LI X.F., SONG C.Y., CRUSE R.M. a ZHANG X.Y., 2011: Effects of conservation tillage on corn and soybean yield in the humid continental climate region of Northeast China. *Soil and Tillage Research*, 115-116: 56-61

CHLOUPEK O., PROCHÁZKOVÁ B. a HRUDOVÁ E., 2009: *Pěstování a kvalita rostlin*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. ISBN 978-80-7157-897-0.

IN-POČASÍ, 2017: [online]. [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: http://www.in-pocasi.cz/meteostanice/stanice.php?stanice=visnove

JAVOREK F., 2013: Různé způsoby zpracování. In: *Farmář*. Praha: Profi Press, 19 (7): 52-56. ISSN 1210-9789.

JAVORSKÝ, P. et al., 1987: *Chemické rozbory v zemědělských laboratořích* – I. Díl, 2.vydání, Praha: MZV ČSR.

JAVŮREK M. a VACH M., 2008: *Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. ISBN 978-80-87011-57-7.

JONES A. et al., 2012: *The State of Soil in Europe*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN 9789279228063.

KAČICOVÁ L., ROMÁNKOVÁ Z., MAŇÁSEK J. a PROKEŠ K., 2016: *Vliv ročníku na růst a vývoj kukuřice.* In. PROKEŠ, Karel, Ladislav ZEMAN, et al. *Kukuřice v praxi 2016: sborník z mezinárodní konference*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-179-6.

KANDELER E., 1996: *Aggregate stability*. In: Schiner et al. (Eds.): Methods in Soil Biology. Berlin, Springer-Verlag. ISBN 3-540-59055-2

KAPUSTA G., KRAUSZ R. a MATTHEWS J.L., 1996: Corn Yield is Equal in Conventional, Reduced, and No Tillage after 20 Years. In: *Agronomy Journal*, 1996. 88 (5): 812-817. ISSN 1435-0645

KASPER M., BUCHAN G.D., MENTLER A. BLUM W.E.H., 2009: Influence of soil tillage systems on aggregate sability and the distribution of C and N in different aggregate fractions. *Soil and Tillage Research*, 105 (2): 192–199.

KHEL T., VOPRAVIL J. a NOVÁK P., 2011: Okyselování (acidifikace) půdy. In: *Úroda*. Praha: Profi Press, 59 (2): 78. ISSN 0139-6013.

KINTL A. a ENTL J., 2014: Jak změnit pověst kukuřici? - I. In: *Farmář*. Praha: Profi Press, 20 (2) 38-40. ISSN 1210-9789.

KLÍR J., KUNZOVÁ E. a ČERMÁK P., 2008: *Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení*. 2., aktualiz. vyd. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. ISBN 978-80-87011-61-4.

KÖLLER K. a LINKE C., 2006: *Úspěch bez pluhu*. Praha: Zemědělský týdeník. ISBN 80-87002-00-8.

KRATINA, J., et al., 2015: *Zpráva o životním prostředí České republiky*. Ministerstvo životního prostředí, Praha: CENIA, česká informační agentura životního prostředí. ISBN 978-80-87770-10-8.

KŘEN J., NEUDERT L., PROCHÁZKOVÁ B., SMUTNÝ V. a HŮLA J., 2015: *Obecná produkce rostlinná - 2. část: zpracování půdy, herbologie*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-327-1.

LAL R., 1997: Long-term tillage and maize monoculture effects on a tropical Alfisol in western Nigeria. I. Crop yield and soil physical properties. *Soil and Tillage Research,* 42(3): 145-160.

LHOTSKÝ J., 2000: *Zhutňování půd a opatření proti němu: (studijní zpráva)*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací. Studijní informace. ISBN 80-7271-067-2.

LOUČKA R., 2015: Strategická rozhodnutí pro pěstitele. In: *Zemědělec* Praha: Profi Press, 23 (47): 16-28. ISSN 1211-3816.

LPIS, 2017: *Veřejný registr půdy* [online]. [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny2/plpis/

MARTINOVSKÝ P., 2016: *Environmentální bezpečnost v České republice*. Brno: Masarykova univerzita, Fakulta sociálních studií, Mezinárodní politologický ústav. ISBN 978-80-210-8191-8.

MAŠEK J., 2004: Hospodaření s půdou. In: *Farmář*. Praha: Profi Press, 10 (7): 55-60. ISSN 1210-9789.

MAŠEK J., 2012: O půdu je třeba řádně pečovat. In: *Farmář*. Praha: Profi Press, 18 (8): 54-85. ISSN 1210-9789.

MAŠEK J., 2015: Vliv technologie zpracování půdy na její vlastnosti. *AGROjournal* [online]. [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: https://www.agrojournal.cz/clanky/vliv-technologie-zpracovani-pudy-na-jeji-vlastnosti-43

MATERECHERA S.A. a MLOZA-BANDA H.R., 1997: Soil penetration resistance, root growth and yield of maize as influenced by tillage system on ridges in Malawi. *Soil and Tillage Research*, **41**(1-2): 13-24.

MCMAHON M., HARTMANN H.T., KOFRANEK A.M. a RUBATZKY V.E., 2011: Plant science: growth, development, and utilization of cultivated plants. 5th ed. Boston: Prentice Hall. ISBN 978-0-13-501407-3.

METEO*: meteoserver při ZŠ Višňové* [online]. [cit. 2015-02-19]. Dostupné z: http://moje.meteo-pocasi.cz/zsvisnove/

MONSANTO, 2000: *Systémy zpracování půdy* [online]. [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: http://docplayer.cz/351630-Systemy-zpracovani-pudy.html#show_full_text

MZe, 2011: *Příručka ochrany proti vodní erozi*. Praha: Ministerstvo zemědělství. ISBN 978-80-7084-996-5.

MZE, 2015: *Situační a výhledová zpráva: Půda*. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky ISBN 978-80-7434-252-3.

MZE, 2016: *Zpráva o stavu zemědělství ČR za rok 2015: zelená zpráva*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2016. ISBN 978-80-7084-940-8.

NĚMČANSKÝ T., 2017: Půda a její degradace. *Ochrana půdy* [online]. [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: http://www.ochrana-pudy.cz/hrozby-pro-pudu/puda-a-jeji-degradace/2017/02/07/

NERUŠIL P., KOHOUTEK A., ODSTRČILOVÁ V., VACH M., JAVŮREK M. a STRAŠIL Z., 2015: *Využití minimalizačních a půdoochranných technologií pro snížení účinků vodní eroze na obdělávaných půdách*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. ISBN 978-80-7427-180-9.

NEUDERT L. a PROCHÁZKOVÁ B., 2009: Orba a minimalizační technologie. In: *Zemědělec* Praha: Profi Press, 17 (26): 11-14. ISSN 1211-3816.

NEUDERT L. a SMUTNÝ V., 2012: *"MendelAgro 2012.": sborník odborných příspěvků a sdělení: Žabčice, 14. červen 2012*. Brno: Mendelova univerzita. ISBN 978-80-7375-623-9

NEUDERT L., SMUTNÝ V. a LUKAS V., 2017: *Diferenciované zpracování půdy ke kukuřici a změny vlastností půdy.* In *Úroda*. Praha: Profi Press, 65 (1) 18-21. ISSN 0139-6013.

PETR, J. a HÚSKA J., 1997: *Speciální produkce rostlinná*. Praha: Česká zemědělská univerzita. ISBN 80-213-0152-x.

POKORNÝ E., ŠARAPATKA B. a HEJÁTKOVÁ K., 2007: *Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku: metodická pomůcka*. Náměšť nad Oslavou: ZERA – Zemědělská a ekologická regionální agentura. ISBN 978-80-903548-5-2.

POVOLNÝ M. a VACEK E., 2016: *Odrůdy 2016: Přehled odrůd kukuřice*. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. ISBN: 978-80-7401-133-7

PROCHÁZKOVÁ B. et al., 2004: Impact of the different straw management upon yields of cereal crops and upon the modification of soil environment parameters. In Proc. *Agroenviron,* Italy, Univ. Udine.

PROCHÁZKOVÁ B., et al. 2011: *Minimalizační technologie zpracování půdy a možnosti jejich využití při ochraně půdy a krajiny: uplatněná certifikovaná metodika*. V Brně: Mendelova univerzita. ISBN 978-80-7375-524-9.

PROCHÁZKOVÁ B., HARTMAN I., DOVRTĚL J. a ILLEK F., Minimalizace zpracování půdy a zakládání porostů kukuřice. In: *Úroda*. Praha: Profi Press, 53 (3): 19-21. ISSN 0139-6013.

PROCHÁZKOVÁ B., SMUTNÝ V., NEUDERT L., LUKAS V. a DRDLOVÁ T., 2010: Technologie zpracování půdy a zakládání porostů kukuřice. In: PROKEŠ, Karel, Ladislav ZEMAN, et al. *Kukuřice v praxi 2010: sborník z mezinárodní konference*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7375-371-9.

PROKEŠ K., ZEMAN L. et al., 2013: *Kukuřice v praxi 2013: sborník z mezinárodní konference*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7375-691-8.

PROKEŠ K., ZEMANL. et al., 2015: *Kukuřice v praxi 2015: sborník z mezinárodní konference*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-179-6.

PRUGAR J., 2008: *Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí*. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský ve spolupráci s komisí jakosti rostlinných produktů ČAZV. ISBN 978-80-86576-28-2.

RÁTONYI T., SZÉLES A., HARSÁNYI E. et al., 2015 Long-term effects of conventional and reduced tillage systems on soil condition and yield of maize. *EGU General Assembly*, 17.

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.

SEDDAIU, G., IOCOLA I., FARINA R., ORSINI R., IEZZI G. a ROGGERO P.R., 2016: Long term effects of tillage practices and N fertilization in rainfed Mediterranean cropping systems: durum wheat, sunflower and maize grain yield. *European Journal of Agronomy*, 77:166-178

SERNA-SALDÍVAR S.R.O., 2010: *Cereal grains: properties, processing, and nutritional attributes*. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis. ISBN 978-1-4398-1560-1.

SHEAFFER G.C. a MONCADA K.M., 2012: *Introduction to agronomy: food, crops, and environment*. 2nd ed. Clfton Park, NY: Delmar Cengage Learning. ISBN 978-1-1113-1233-6.

SKALICKÝ V., 2004: Hospodaření s půdou. *Mechanizace zemědělství* [online]. [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: http://mechanizaceweb.cz/hospodareni-s-pudou/

SKLÁDANKA J., 2014: *Pícninářství*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-111-6.

SMRČEK L., 2011: *Eroze půdy a protierozní ochrana půdy: sborník ze semináře*. Praha: Institut vzdělávání v zemědělství. ISBN 978-80-87262-11-5.

SMUTNÝ V., 2015: *Význam technologií zpracování půdy a dalších agrotechnických opatření při pěstování obilnin: certifikovaná metodika*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-369-1.

SMUTNÝ V., Houšť M., PROCHÁZKOVÁ B., NEUDERT L., LUKAS V., DRYŠLOVÁ T. a ILLEK F.,2014: Pěstování kukuřice na zrno při různých způsobech zpracování půdy. In: *Úroda*. Praha: Profi Press, 62 (2): 12-16. ISSN 0139-6013.

SOMMER C. a ZACH M., 1992: Managing traffic-induced soil compaction by using conservation tillage. *Soil and Tillage Research*, 24: 319-336.

SRBEK J., 2014: *Degradace půd v ČR a současné technologie základní agrotechniky, změny půdních vlastností na intenzivně zemědělsky využívaném území za posledních 20 let.* Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd, v.v.i. [online]. [cit. 2017-02-23] Dostupné z: http://www.zeraagency.eu/dokumenty/008009001/srbek_jan_vumop_praha.pdf

SRBEK J., KINCL D., PROCHÁZKOVÁ E. a VOPRAVIL J., 2015: Půdoochranné technologie u kukuřice. In: *Úroda*. Praha: Profi Press, 63 (1): 12-14. ISSN 0139-6013.

STACH J., 2001: Minimalizace zpracování půdy ve vyšších polohách. In: *Úroda*. Praha: Profi Press, 49 (7): 10-11 ISSN 0139-6013.

STRNADOVÁ D., 2012: Kukuřice – dar bohů. In: IVANEGA, Jan. *Z historie zemědělství*. Praha: Národní zemědělské muzeum Praha, s. 6-16. ISBN 978-80-86874-40-1.

ŠARAPATKA B., 2014: *Pedologie a ochrana půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-3736-1.

ŠARAPATKA B., DLAPA P. a BEDRNA Z., 2002: *Kvalita a degradace půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého. ISBN 80-244-0584-9.

ŠIMON J. a LHOTSKÝ J., 1989: *Zpracování a zúrodňování půd*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. ISBN 80-209-0048-9.

ŠIMON J., ŠKODA V. a HŮLA J., 1999: *Zakládání porostů hlavních polních plodin novými technologiemi*. Praha: Agrospoj. ISBN 80-239-4240-9.

ŠKODA V. a CHOLENSKÝ J., 2002: *Konvenční a perspektivní způsoby zpracování a kultivace půdy*. 2. upr. vyd. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací. ISBN 80-7271-125-3.

ŠKODA V., 1996: Současné a alternativní trendy ve zpracování půdy. In: *Úroda*. Praha: Profi Press, 44 (1): 19-21. ISSN 0139-6013.

ŠROLLER J., 1997: *Speciální fytotechnika: Rostlinná výroba*. Praha: ČZU. ISBN 80-86119-04-1.

ŠTOLCOVÁ M., 2009: *Speciální fytotechnika*. Praha: Česká zemědělská univerzita, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. ISBN 978-80-213-1893-9.

TRUKSA J. a ŠIKRA J., 1982: *Pěstování kukuřice na zrno.* Praha: Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství. Metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do zemědělské praxe.

UHER A., 2012: *Poľné a záhradné plodiny*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita. ISBN 978-80-552-0824-4.

URBAN J. a VAŠÁK J., 2014: *Zemědělské systémy II.: (rostlinná produkce)*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta. ISBN 978-80-213-2464-0.

VÁCLAVÍK F.,1996: Minimalizace zpracování půdy – základ prosperity rostlinné výroby v České republice. *Zamyšlení nad rostlinou výrobou* [online]. [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: http://www.agris.cz/Content/files/main_files/62/140462/VACLAV96.pdf

VACH M. a JAVŮREK M., 2010: *Předpoklady pro netradiční technologie zakládání porostů polních plodin*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. ISBN 978-80-7427-050-5.

VAŇATOVÁ P., 2015: Co naznačil rok 2015 u kukuřice. *Úroda* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: http://uroda.cz/co-naznacil-rok-2015-u-kukurice/

VENCLOVÁ B., 2017: Nedoceněná plodina českých polí. *Úroda* [online]. [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: http://uroda.cz/nedocenena-plodina-ceskych-poli/

VOPRAVIL J., 2016: *Půda a nové nástroje.* Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd, v.v.i. [online]. [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: http://aa.ecn.cz/img_upload/5c056690afe4c19cfc7c7c1869565537/janvopravil_slunakov_1.-12.-2016.pdf

VRÁBLÍKOVÁ J., 2007: *Možnosti trvale udržitelného hospodaření v antropogenně postižené krajině: metodika pro praxi*. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí. ISBN 978-80-7044-935-6.

VÚMOP, v.v.i., 2015*: Statistická ročenka půdní služby – 2015*. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd, v.v.i. [online]. [cit. 2017-02-16] Dostupné z: http://statistiky.vumop.cz/.

VYN T.J. a RAIMBAULT B.A., 1992: Evaluation of strip tillage systems for corn production in Ontario. *Soil and Tillage Research*, 23(1-2): 163-176.

ZIMOLKA J. et al., 2008a: *Kukuřice: hlavní a alternativní užitkové směry*. 1. vyd. Praha: Profi Press. ISBN 978-80-86726-31-1.

ZIMOLKA J. et al., 2008b: *Speciální produkce rostlinná – rostlinná výroba: (polní a zahradní plodiny, základy pícninářství)*. 2., nezměn. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. ISBN 978-80-7375-230-9.

8 SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Obsah přístupných živin podle hodnot AZZP 2011 39
Tab. 2: Průměrné teploty v letech 2012-2016 (°C) 41
Tab. 3: Množství srážek v letech 2012-2016 (mm) 41
Tab. 4: Přehled pěstebních technologií u varianty konvenční zpracování půdy orbou 44
Tab. 5: Přehled pěstebních technologií u varianty hluboké zpracování půdy kypřením 45
Tab. 6: Přehled pěstebních technologií u varianty mělké zpracování půdy kypřením 45
Tab. 7: Přehled pěstebních technologií u varianty přímé setí do nezpracované půdy 45
Tab. 8: Průměrné výnosy zrna při 14 % vlhkosti v letech 2015–2016 53
Tab. 9: Průměrné výnosy zrna při 14 % vlhkosti v letech 2012–2016 54
Tab. 10: Limitní hodnoty kritických vlastností zhutnělých půd 58
Tab. 11: Testy významnosti pro objemovou hmotnost (g.cm-3) 59
Tab. 12: LSD test pro efekt zpracování půdy 59
Tab. 13: LSD test pro efekt hloubka (cm) 59
Tab. 14: LSD test pro efekt zpracování půdy v jednotlivých hloubkách (cm) 60
Tab. 15: Testy významnosti pro celkovou pórovitost (%) 61
Tab. 16: LSD test pro efekt zpracování půdy 61
Tab. 17: LSD test pro efekt hloubka (cm) 61
Tab. 18: LSD test pro efekt zpracování půdy v jednotlivých hloubkách (cm) 62
Tab. 19: Testy významnosti pro minimální vzdušnou kapacitu (%) 63
Tab. 20: LSD test pro efekt zpracování půdy 63
Tab. 21: LSD test pro efekt hloubka (cm) 63
Tab. 22: LSD test pro efekt zpracování půdy v jednotlivých hloubkách (cm) 64
Tab. 23: Testy významnosti pro objemovou vlhkost (%) 65
Tab. 24: LSD test pro efekt zpracování půdy 65
Tab. 25: LSD test pro efekt hloubka (cm) 65
Tab. 26: LSD test pro efekt zpracování půdy v jednotlivých hloubkách (cm) 66
Tab. 27: Stanovení kvality struktury půdy podle procentického zastoupení vodostálosti 67
Tab. 28: Testy významnosti pro vodostálost půdních agregátů (%) 68
Tab. 29: LSD test pro efekt zpracování půdy) 69
Tab. 30: LSD test pro efekt hloubka (cm) 69
Tab. 31: LSD test pro efekt zpracování půdy v jednotlivých hloubkách (cm) 69

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Rozdělení půdního fondu ČR [%], 2016 11
Obr. 2: Vývoj využití území v ČR [Index, 2005=100], 2005-2016 11
Obr. 3: Řetězová reakce degradačních procesů 12
Obr. 4: Ovlivnění kvality půd 13
Obr. 5: Potenciální ohrožení půd v ČR degradačními procesy 13
Obr. 6: Rozhodovací mechanismus pro volbu zpracování půdy 21
Obr. 7: Porovnání různých způsobů zpracování půdy 28
Obr. 8: Vývoj ploch a výnosu kukuřice v ČR v letech 1998-2016 31
Obr. 9: Rozdíli mezi varietami kukuřice 33
Obr. 10: Rozdíly velikostí a obsažených endospermů mezi varietami kukuřice 33
Obr. 11: Intenzita sucha v půdním profilu 0–1,0 m v roce 2015 od 10.5. do 18.10. 40
Obr. 12: Kumulativní graf srážek v letech 2015-2016 42
Obr. 13: Rozdělení pokusného stanoviště se zobrazením zpracování půdy 43
Obr. 14 Odběr Kopeckého fyzikálních válečků 50
Obr. 15: Měření penetrometrického odporu 50
Obr. 16: Stroj sítovací FRITSCH Analysette 3 SPARTAN 51
Obr. 17: Půdní vzorky frakce (1-2 mm) ke stanovení vodostálosti půdních agregátů 51
Obr. 18: Promývačka půdních vzorků 52
Obr. 19: Zalití půdních vzorků roztokem pyrofosforečnanem sodným 52
Obr. 20: Srovnání výnosů v letech 2015–2016 53
Obr. 21: Srovnání výnosů v letech 2012–2016 54
Obr. 22: Srovnání vlhkosti zrna v letech 2015-2016 55
Obr. 23: Penetrometrický odpor půdy v roce 2015 56
Obr. 24: Penetrometrický odpor půdy v roce 2016 56
Obr. 25: Vliv různého zpracování půdy na penetrometrický odpor půdy v roce 2015 57
Obr. 26: Vliv různého zpracování půdy na penetrometrický odpor půdy v roce 2016 57
Obr. 27: Penetrometrický odpor (Cone index) v roce 2015 a 2016 58
Obr. 28: Vliv různého zpracování na OH 59
Obr. 29: Vliv různého hloubky odběru na OH 59
Obr. 30: Vliv způsobu zpracování a hloubky odběru na objemovou hmotnost půdy 60
Obr. 31: Vliv různého zpracování na P 61
Obr. 32: Vliv různé hloubky odběru na P 61

Obr. 33: Vliv způsobu zpracování a hloubky odběru na celkovou pórovitost půdy 62
Obr. 34: Vliv různého zpracování na MVK 63
Obr. 35: Vliv různé hloubky odběru na MVK 63
Obr. 36: Vliv způsobu zpracování a hloubky odběru na minimální vzdušnou kapacitu 64
Obr. 37: Vliv různého zpracování půdy na objemovou vlhkost 65
Obr. 38: Vliv různé hloubky na objemovou vlhkost 65
Obr. 39: Vliv způsobu zpracování a hloubky odběru na objemovou vlhkost 66
Obr. 40: Koeficient strukturnosti 2015-2016 68
Obr. 41: Vliv různého zpracování půdy na vodostálost 69
Obr. 42: Vliv různé hloubky odběru na vodostálost 69
Obr. 43: Vliv způsobu zpracování a hloubky odběru na vodostálost agregátů 70

10 PŘÍLOHY

Příloha 1: Přímé setí do nezpracované půdy 86
Příloha 2: Setí do půdy zpracované mělkým kypřením 86
Příloha 3: Konvenční zpracování půdy orbou (0,22 m) - 22 dní od založení porostu 87
Příloha 4: Hluboké zpracování půdy kypřením (0,25 m) - 22 dní od založení porostu 87
Příloha 5: Mělké zpracování půdy kypřením (0,12 m) - 22 dní od založení porostu 88
Příloha 6:Přímé setí do nezpracované – půdy 22 dní od založení porostu 88
Příloha 7: Konvenční zpracování půdy orbou (0,22 m) - 45 dní od založení porostu 89
Příloha 8: Hluboké zpracování půdy kypřením (0,25 m) - 45 dní od založení porostu 89
Příloha 9: Mělké zpracování půdy kypřením (0,12 m) - 45 dní od založení porostu 90
Příloha 10: Přímé setí do nezpracované – půdy 45 dní od založení porostu 90

Příloha 1: Přímé setí do nezpracované půdy (Foto: Josef Adámek, 2015)

Příloha 2: Setí do půdy zpracované mělkým kypřením (Foto: Josef Adámek, 2015)

Příloha 3: Konvenční zpracování půdy orbou (0,22 m) - 22 dní od založení porostu (Foto: Josef Adámek, 2015)

Příloha 4: Hluboké zpracování půdy kypřením (0,25 m) - 22 dní od založení porostu (Foto: Josef Adámek, 2015)

Příloha 5: Mělké zpracování půdy kypřením (0,12 m) - 22 dní od založení porostu (Foto: Josef Adámek, 2015)

Příloha 6:Přímé setí do nezpracované – půdy 22 dní od založení porostu (Foto: Josef Adámek, 2015)

Příloha 7: Konvenční zpracování půdy orbou (0,22 m) - 45 dní od založení porostu (Foto: Josef Adámek, 2015)

Příloha 8: Hluboké zpracování půdy kypřením (0,25 m) - 45 dní od založení porostu (Foto: Josef Adámek, 2015)

Příloha 9: Mělké zpracování půdy kypřením (0,12 m) - 45 dní od založení porostu (Foto: Josef Adámek, 2015)

Příloha 10: Přímé setí do nezpracované – půdy 45 dní od založení porostu (Foto: Josef Adámek, 2015)