

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta tropického zemědělství

Katedra udržitelných technologií



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta tropického
zemědělství**

Bakalářská práce

Ekologické aspekty moderní zemědělské techniky

Praha 2014

Vedoucí práce:

Ing. Patrik Prikner Ph.D.

Vypracoval:

Petr Sojka

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra udržitelných technologií

Fakulta tropického zemědelství

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Sojka Petr

Trvale udržitelný rozvoj tropů a subtropů

Název práce

Ekologické aspekty moderní zemědělské techniky

Anglický název

Ecological aspects of modern machinery in agriculture

Cíle práce

Cílem práce je podat sofistikovaný souhrn poznatků zaměřených na ekologické dopady těžké moderní zemědělské techniky na škodlivé zhutnění půdního profilu.

Metodika

- | | | | | |
|----|----------------------------------|---------|-------------|-------------|
| 1. | Studium | světové | vědecké | literatury, |
| 2. | Specifikace | | konkrétních | parametrů. |
| 3. | Rozbor | všech | dílčích | činitelů. |
| 4. | Vyhodnocení dosažených poznatků. | | | |

Harmonogram zpracování

1. Souhrn základních poznatků od 90.let minulého století do současnosti v oblasti sledování vlivu zemědělské techniky na škodlivé zhutnění půdy.
2. Rozbor konkrétních parametrů a jejich vyhodnocení.
3. Specifikace a zhodnocení kompakce z hlediska terramechaniky.
4. Vytvoření uceleného přehledu a publikování konkrétních závěrů.
5. Závěr

Rozsah textové části

35 stran včetně obrazové přílohy

Klíčová slova

zemědělská technika, půda, škodlivé zhutnění, půdní profil

Doporučené zdroje informací

1. Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering (Second Edition)
Terrain Behaviour, Off-Road Vehicle Performance and Design.
Copyright © 2009 Elsevier Ltd.
J.Y. Wong, Ph.D., D.Sc.
ISBN: 978-0-7506-8561-0
 2. Grečenko A, Prikner P. Progress in tire rating based on soil compaction potential. J Terramech 2009; 46: 211-216.
 3. van den Akker J J H. SOCOMO: a soil compaction model to calculate soil stresses and the subsoil carrying capacity. Soil Till. Res. 2004; 79: 113-127.
 4. Keller T, De´ fossez P, Weisskopf P, Arvidsson J, Richard G. SoilFlex: a model for prediction of soil stresses and soil compaction due to agricultural field traffic including a synthesis of analytical approaches. Soil Tillage Res. 2007; 93: 391-411.
 5. Hakansson I, Liepiec J. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. Soil Till Res. 2000; 53: 71-85.
 6. Hakansson I, Reeder R.C. Subsoil compaction by vehicles with high axle load—extent, persistence and crop response. Soil Till. Res. 1994; 29: 277-304.
 7. van den Akker J J H, Soane B. Compaction. Encyclopedia of Soils in the Environment. pp 285-293.
Copyright © 2005 Elsevier Ltd. All rights reserved.
Editor-in-Chief: Daniel Hillel
ISBN: 978-0-12-348530-4
-

Vedoucí práce

Prikner Patrik, Ing., Ph.D.

Konzultant práce

Patrik Prikner

Elektronicky schváleno dne 28.3.2014

doc. Ing. Jan Banout, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28.3.2014

doc. Ing. Jan Banout, Ph.D.

Děkan fakulty

Čestné prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem tuto práci na téma „Ekologické aspekty moderní zemědělské techniky“ vypracoval samostatně a všechny použité literární prameny jsem řádně uvedl v referencích.

V Praze dne 23. 4. 2014

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Patriku Priknerovi Ph.D. za poskytnuté rady, dostatečné zajištění studijních materiálů a především za trpělivost a věnovaný čas. V neposlední řadě za podporu ze strany rodiny, přátel a spolužáků.

Abstrakt

S růstem lidské populace se kladou stále vyšší nároky na zemědělství a jeho intenzifikaci. Dochází k využívání nadměrně velké a výkonné zemědělské techniky, která způsobuje škodlivé poškození půdního profilu až do hloubky 100 cm. Zhutnění půdního profilu negativně ovlivňuje především fyzikální a produkční vlastnosti půdy. Cílem bakalářské práce bylo popsat prvotní dopad zhutnění na půdní vlastnosti. Stanovení preventivního opatření, možnosti omezení a odstranění půdního zhutnění. Dále jsou v práci popsány a porovnány orební postupy a jejich dopad na půdní vlastnosti a velikost zhutnění.

Klíčová slova: zhutnění půdy, půdní profil, orební postupy, zemědělská technika

Abstract

Due to population growth are increasing demands on agriculture and its intensification. Large and very efficient agricultural machinery is used, which causes harmful damage to soil profile up to 100 cm of depth. Compaction of soil profile has negative influence on physical and production properties of soil. The aim of this study was to describe the impact of compaction to soil properties, establish preventive precaution and to give possibilities of reduction and elimination of soil compaction. Next in this work was described and compared tillage systems and their influence on soil properties and size of compaction.

Keywords: soil compaction, soil profile, tillage, agricultural technology

OBSAH

1	Úvod.....	9
2	Cíle práce a metodika	11
2.1	Cíle práce	11
2.2	Metodika	11
3	Půda	12
3.1	Složení půdy.....	12
3.1.1	Pevná fáze	12
3.1.2	Kapalná fáze	12
3.1.3	Plynná fáze.....	13
4	Negativní vliv zemědělské techniky na zhutnění půdy	13
4.1	Příčiny vzniku zhutnění.....	14
4.2	Objemová hmotnost půdy	15
4.3	Pórovitost půdy	15
4.4	Eroze půdy	16
4.5	Infiltrace vody do půdy	17
4.6	Výměna a obsah živin v půdě	18
4.7	Deformace kořenového systému plodin.....	19
4.8	Kontaminace půdy	20
5	Orební postupy.....	21
5.1	Tradiční obdělávání půdy.....	21
5.2	Konvenční obdělávání půdy.....	22
5.3	Půdo-ochranné obdělávání půdy	22
5.3.1	Bezorebné obdělávání půdy.....	23
5.3.2	Minimalizační technologie zpracování půdy	24
5.3.3	Mulčování půdy	25
5.4	Obecné shrnutí	25
6	Prevence a odstranění škodlivého zhutnění	26
6.1	Agrobiologická opatření.....	26
6.2	Redukce půdního zhutnění	27
6.2.1	Vývoj pneumatik a zemědělské techniky	27

6.2.2	Doba a četnost pojezdů po poli.....	28
6.2.3	Řízený systém provozu zemědělské mechanizace.....	29
6.3	Odstranění zhutnění půdy	29
7	Závěr	31
8	Použitá literatura	32
9	Seznam tabulek	38
10	Seznam obrázků.....	38

1 ÚVOD

Půda patří mezi významnou složku životního prostředí. Zájem člověka o půdu a zemědělství s ní spojené vzniká již před 7 - 3,5 tisíc let př. n. l. při Neolitické revoluci. Od té doby ušlo zemědělství velký kus cesty. Se stále se zvyšující populací se rozrůstají i pole, která je potřeba obhospodařovat. Přibývají nároky na výnosy, velikost a rychlost produkce, mnohdy však za cenu poškození půdního profilu, které může být trvalého rázu nebo velmi těžce odstranitelné (Håkansson a Reeder, 1994).

Za posledních několik let se zhutnění půdního profilu v různém stádiu utužení velmi rozšířilo. Celosvětově je postiženo miliony hektarů úrodné půdy, nejvíce v zemích s vyspělým zemědělstvím. Jen v Evropě se v roce 2004 odhadovala velikost poškozené půdy na 33 Mha (Akker, 2005). Důvodem nadměrného utužení půdy je z největší části způsobeno využíváním zemědělské techniky, která prošla v posledních letech velkým vývojem. V 80. letech minulého století vážil průměrný traktor o výkonu motoru 35 kW 2 - 3 tuny, dnes se běžně setkáváme s traktory s hmotností 10 a více tun a výkony 150 - 400 kW. To samé platí i pro sklízecí mlátičky a další zemědělskou mechanizaci.

Větší hmotnost strojů má za následek zvýšený kontaktní tlak mezi pneumatikami a půdou, přičemž při tlaku 100 kPa za normální vlhkosti půdy, lze počítat se zhutněním do 30 cm a vratnými změnami půdy. U tlaků kolem 150 kPa na pneumatiku dochází ke zhutnění půdy do hloubky okolo 40 cm, v závislosti na vlhkosti půdy, počtu přejezdů, rychlosti pojezdu a předešlém stavu půdního profilu (Trautner *et al.*, 2003). Takto poškozené půdy, jsou pak jen těžko vratné do původního stavu, zvláště u lehkých písčitých půd, které nemají schopnost samovolné regenerace. U těžších jílovitých půd se projevují schopnosti bobtnání a smršťování, působící na objem půdy a také promrzání půdy, které příznivě působí na obnovu půdy (Håkansson a Lipiec, 2000).

Zhutnění půdy má potom negativní vliv na strukturu půdy, její fyzikální vlastnosti a její produkční schopnost. Dochází k navýšení objemové hmotnosti a snížení pórovitosti půdy, to má za následek méně prostoru pro vodu a kyslík. Absence vody a kyslíku působí na půdní edafon a může negativně omezit proces humifikace, kdy dojde k úbytku kvalitního humusu i živočichů, podílejících se na provzdušnění půdy. Nedostatek vody a kyslíku vede k omezenému transportu živin mezi kořenovým systémem plodin a půdou a má negativní

vliv na snížení produkce a výnosů plodin. Raper (2005) uvádí, v globálním měřítku je možné očekávat rozsah ztrát mezi 10-30 %.

Negativnímu zhutnění lze předejít správným užíváním organických hnojiv a omezení chemických náhrad, které poškozují půdní edafon. Důležité jsou agrotechnické postupy, spojení pracovních operací do jednoho cyklu za účelem omezení pojezdů po poli v období, kdy je půda optimálně vlhká a nedojde k nadměrnému zhutnění. Významným faktorem je správná volba pneumatik, u kterých se kontaktní tlak nejlépe rozloží v dezénu (Roger-Estrade *et al.*, 2010).

K odstranění škodlivého zhutnění dochází samovolně přirozenými vlastnostmi půd. Částečně lze odstranit hloubkovým kypřením a hlubokou orbou. Je velmi důležité zvolit správnou hloubku orby a pracovat při vhodné vlhkosti půdy, jinak dochází k odstranění zhutnění pouze v orniční vrstvě, ale půda v podorničí se stane náchylnější na zhutnění, časem dojde k jejímu nenávratnému poškození a trvalému poklesu výnosů (Sojka *et al.*, 1997).

2 CÍLE PRÁCE A METODIKA

2.1 Cíle práce

Cílem bakalářské práce bylo podat souhrn informací týkající se negativního dopadu zemědělské techniky na půdní profil. Zejména potom vliv negativního zhutnění na změnu objemové hmotnosti, pórovitosti, infiltrace vody do půdy, omezení výměny živin v kořenovém systému plodin a klesajících výnosů. Dále byla sepsána potřebná preventivní opatření vzniku zhutnění a postup jeho redukce a odstranění. Byly popsány a porovnány ořební postupy v závislosti na produkci a jejich dopadu na půdní profil.

2.2 Metodika

Bakalářská práce byla psána jako literární rešerše a je založena na souhrnu informací zabývajících se problematikou negativního zhutnění půdy, jeho odstranění, popsání a porovnání ořebních postupů. Informace byly čerpány především z vědeckých publikací získaných z vědeckých portálů Science Direct, Scopus a Web of Knowledge. Dále bylo čerpáno z knih a zkušeností poskytnutých vedoucím bakalářské práce. Práce byla sepsáno v programu MS Word 2007, tabulky byly tvořeny v programu MS Excel 2007.

3 PŮDA

Půda tvoří významnou složku životního prostředí a zároveň patří mezi neobnovitelné zdroje naší planety, které se vytváří přibližně jen 1 cm za 100 let fyzickými, chemickými a biologickými procesy. Půda je komplexní systém pevné, kapalné a plynné složky, přičemž změna jediného aspektu ovlivní její vlastnosti (Certini a Ugolini, 2013).

K fyzickému zvětrávání hornin dochází za pomoci atmosférických jevů převážně k nerovnoměrnému ohřívání skal a tím i nerovnoměrnému rozložení tlaků v ní, což má za následek odlamování menších částí horniny stejných chemických vlastností, které jsou dále unášeny vodou, či větrem a dále rozrušovány na menší částice. U chemického zvětrávání dochází u již rozpadlých částí horniny ke změně jejich chemického složení nejčastěji za přístupu vody, organických či minerálních kyselin, humusových látek, kyslíku, oxidu uhličitého a podobně. Při biologickém zvětrávání na horninu působí živé organismy, nejčastěji mikroorganismy, které svoji činností rozkládají horninu. Nejlépe takto fungují lišejníky uvolňující kyselinu, pomocí které naleptávají horninu a vytvářejí půdní substrát (Wilding, 1994).

3.1 Složení půdy

3.1.1 *Pevná fáze*

Pevná fáze je tvořena z minerální a organické části. Minerální část se skládá ze zbytků horniny a matečního substrátu. Organická část se potom rozděluje na živou a neživou složku. Složka živá zahrnuje všechny živé rostlinné a živočišné organismy, odborně půdní edafon. Neživá složka půdy obsahuje zejména odumřelé části rostlin, zbytky živočichů a organická hnojiva. Nazýváme jí humus. Obsah humusu v půdě bývá nízký, v průměru 1,8 - 2,2 %. U zemědělských půd se obsah humusu pohybuje okolo 0,5 – 10 %, do 20 % u speciálních zahradních půd a v rašelinových půdách může dosáhnout až 90 % (Hoosbeek a Bryant, 1992).

3.1.2 *Kapalná fáze*

Kapalnou fázi tvoří půdní voda, která rozvádí látky po celém půdním profilu a je tak zdrojem živin pro edafon a vegetaci. Složení vodního roztoku je ovlivněno fyzikálními, biologickými i chemickými procesy. Roztok potom může obsahovat celou řadu rozpuštěných organických i minerálních látek zejména kationty K^+ , Na^+ , H^+ , Ca^{2+} atd.

V kyselých půdách se můžou vyskytovat i rozpustné sloučeniny železa a hliníku (Snakin a Prisyazhnaya, 1997).

3.1.3 Plynná fáze

Plynná fáze je tvořena vzduchem v pórech, které nejsou zcela vyplněny vodou a je nepostradatelná pro biologické a chemické procesy probíhající v půdě. Půdní vzduch disponuje rozdílnou koncentrací látek ve srovnání s atmosférickým vzduchem. Disponuje větším procentem oxidu uhličitého v porovnání s kyslíkem i vyšším obsahem vodních par. Standardní obsah CO₂ v orníční půdě je 0,1 – 1 %, ve spodních vrstvách půdy 1 - 5 %. Důvodem vyššího obsahu CO₂ v půdě je rozklad organických látek a dýchání půdního edafonu (Hoosbeek a Byant, 1992).

4 NEGATIVNÍ VLIV ZEMĚDĚLSKÉ TECHNIKY NA ZHUTNĚNÍ PŮDY

Zhutnění půdy je celosvětovým problémem a patří mezi typické antropogenní poruchy úrodnosti půdy. Při tomto procesu se mění fyzikální a technologické vlastnosti půdy. Největší dopad má zejména v zemích s vyspělým intenzivním zemědělským systémem, kde zemědělské stroje disponují zatížením až 10 tun na nápravu. Toto zatížení může vést k trvalému porušení půdního profilu do hloubky až 1 metru (Håkansson a Reeder, 1994). Bez zemědělských strojů se žádné moderní zemědělství neobejde, a tak je potřeba riziko negativního zhutnění minimalizovat (Raper, 2005).

Nadměrné zhutnění má negativní dopad na celé půdní prostředí. Dochází zde k zvýšení objemové hmotnosti půdy, tím ubývá kapilárních, semikapilárních a především nekapilárních pórů, které jsou prostorem pro vzduch a vodu. Zároveň je narušena schopnost půdy absorbovat a zadržet vodu (Horn, 1990). Do zhutnělé půdy se voda infiltruje jen v minimálním množství a větší procento odtéká. Je narušen transport vody do spodních vrstev půdního profilu a do spodní vody. To je způsobeno velmi zhutnělou vrstvou půdy, která přibližně vznikne v hloubce 40 cm a voda po ní odtéká podobně jako na povrchu půdy (Basher a Ross, 2001).

Nedostatek vody a kyslíku v půdním systému omezuje dostupnost živin nezbytných pro správný růst rostlin. Deficit kyslíku v kořenovém systému rovněž ovlivňuje teplotu půdy (Hamlett *et al.*, 1990).

Zhutnění ovlivňuje vlastnosti půdního edafonu. Především půdního mezoedafonu zahrnujícího živé organismy o velikosti 0,1 až 2 mm, především členovci, dešťovky, chvostokoky a drobný hmyz. Tito živočichové v půdním profilu vytvářejí makropóry, přispívají ke zvýšené propustnosti vody a vzduchu a zvyšují její pórovitost. Dále vylučují stabilizující látky, které se podílejí na vznikunové půdní organické hmoty (Kramer *et al.*, 2008).

Omezena je i činnost půdního mikroedafonu, který je zastoupen jednobuněčnými organismy o velikosti do 0,1 mm. Jedná se především o prvoky a bakterie aerobního typu. Správný rozvoj a funkce těchto organismů závisí na dostatečném množství organických látek, vlhkosti a kyslíku v půdě. Půdní mikroedafon pomáhá při biologických a chemických procesech probíhajících v půdě. Podílí se na přeměně minerálních i organických látek, umožňuje proces humifikace, oxidace železa, síry, či amoniaku a rozkladu různých dusičnanů, síranů atd. Zhutnělá půda omezuje jejich funkce, a tak dochází k zakyselení půdy a úbytku kvalitního humusu (Eden *et al.*, 2011).

Pokud je půda nadměrně zhutněna, vzrůstá její odpor a s tím energetická náročnost operací spojených s obděláváním půdy. Bylo zjištěno, že v průběhu posledních 30 let se orební odpor zvýšil v průměru o 30 % v důsledku utužení těžkých a středně těžkých půd (Horn *et al.*, 2003). Při orbě takovéto půdy je tedy zapotřebí vyšších výkonů traktorů, což má za následek zvýšené náklady na provoz. Čím hlouběji půdu upravujeme, tím více poroste i spotřeba paliva. U melioračního kypření půdy do hloubky 0,65 m potom spotřeba dosahuje až 45 l.ha⁻¹ (Vorhees *et al.*, 1989).

4.1 Příčiny vzniku zhutnění

Ke zhutnění půdy dochází z mnoha příčin. Může jít o takzvané zhutnění primární (genetické), které je způsobeno přirozenými vlastnostmi zejména půd s vysokým obsahem jílu. Na půdu a velikost zhutnění má vliv nevhodné užívání chemických a minerálních hnojiv, kde dochází k narušení přirozených podmínek pro edafon (Akker, 2004). Ve většině případů se jedná o zhutnění technogenní, kde půdu zhutňuje pasoucí se dobytek, dlouhodobé vrstvy těžkého sněhu nebo ledu. Hlavní příčinou jsou přejezdy těžkých zemědělských strojů, kdy na půdu působí nejvyšší tlaky. Půda je stlačena a tím je omezen prostor pro vodu, vzduch a i minerální částice jsou více zhuštěny (Vorhees *et al.*, 1979).

Velikost a hloubka utužení je dána hmotností zemědělské techniky, rozložením tlaku, kterým technika působí na půdu a také četností a dobou po kterou tento tlak na půdu působí (Keller, 2005). Záleží také na půdním složení. Půda složená z větší části z jílu bude díky menším rozměrům částic mnohem více náchylná na zhutnění. Dopad zemědělské techniky na míru zhutnění závisí také na typu použitých pneumatik a druhu pojezdového ústrojí (Håkansson a Reeder, 1994).

4.2 Objemová hmotnost půdy

Jedná se o hmotnost objemové jednotky půdy s vyplněnými póry momentálním obsahem vody a vzduchu. Nejčastěji se udává se v g.cm^{-3} nebo kg.m^{-3} . Její hodnota se odvíjí od podílů pórů v půdě, jejich míře zaplnění vodou a od měrné hmotnosti půdy. Pro organické půdy je běžná objemová hmotnost okolo $0,2 - 0,3 \text{ g.cm}^{-3}$, pro půdy minerální se objemová hmotnost pohybuje v rozmezí $0,8 - 1,8 \text{ g.cm}^{-3}$.

Při přejezdu zemědělské techniky po pozemku dochází ke stlačení půdy a vzrůstá tak objemová hmotnost půdy. Pokud objemová hmotnost přesáhne určitou hodnotu, růst kořenového systému bude negativně ovlivněn a dojde k poklesu produkce a výnosů. Přípustné a rizikové hodnoty pro některé plodiny jsou popsány níže (viz Tabulka 1).

Tabulka 1. Přípustná a riziková objemová hmotnost půdy pro některé plodiny u středně těžkých půd (Javůrek a Vach, 2008)

Plodina	Objemová hmotnost půdy (g.cm^{-3})	
	Přípustná	Riziková
Pšenice ozimá	1,48 - 1,50	1,60
Žito ozimé	1,35 - 1,40	1,55
Ječmen jarní	1,35 - 1,45	1,50
Oves	1,50 - 1,55	1,60
Kukuřice	1,50 - 1,55	1,60
Luskoviny	1,15 - 1,20	1,30
Cukrovka	1,00 - 1,10	1,35
Brambory	1,00 - 1,15	1,25

4.3 Pórovitost půdy

Pórovitost je tvořena místy, která nejsou zaplněná pevnou fází půdy. Tato místa jsou nazývána póry. Bývají v různém poměru zaplněny vodou a vzduchem a umožňují jejich proudění. V pórech probíhají látkové přeměny a výměny živin mezi kořenovým systémem

a mikroorganismy. Póry jdou rozdělovány podle jejich velikosti na kapilární, semikapilární a nekapilární póry. Velikost nekapilárních pórů je nad 50 μm , voda se v nich dokáže zdržet jen několik minut a pak protéká do spodních vrstev půdy. Semikapilární póry mají v průměru 0,2 - 50 μm a zadržují vodu až 24 h. V kapilárních pórech o velikosti pod 0,2 μm voda zůstává i po 24 h a dokáže v nich prostupovat na vzdory gravitace do vrchních vrstev půdy. Kapilární póry by měly tvořit 2/3 celkové pórovitosti půda. Nadbytek kapilárních pórů má za následek špatnou infiltraci vody, zvyšuje odtok a riziko eroze. Naopak nedostatek kapilárních pórů způsobuje malou zásobu vody pro plodiny (Elliot *et al.*, 1980).

Celková pórovitost půdy se pohybuje okolo 50 %. Přesněji 35 - 45 % pro lehké půdy, 45 - 55 % pro středně těžké půdy a 50 - 70 % pro půdy těžké. Při zhutnění půdy dochází k úbytku nekapilárních pórů a přibývá pórů kapilárních. Změnou poměru pórů je omezen pohyb vody v půdě, schopnost půdy absorbovat vodu a je zvýšen povrchový odtok.

Tabulka 2. Limitní hodnoty některých fyzikálních vlastností pro zhutnělé půdy (Lhotský, 2000)

Půdní vlastnost	Půdní druh					
	J	JV, JH	H	PH	HP	P
Obj. hmotnost red. [g.cm ⁻³]	> 1,35	.> 1,40	> 1,45	> 1,55	> 1,60	> 1,70
Pórovitost [% obj.]	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38
Min. vzdušnost [% obj.]	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Penetrační odpor [Mpa] při vlhkosti [% hm.]	2,8-3,2	3,3-3,7	3,8-4,2	4,5-5,0	5,5	6,0
	28-24	24-20	18-16	15-13	12	10

Legenda: J – jíl, JV – půda jílovitá, JH – půda jílovitohlinitá, H – půda hlinitá, PH – půdapísčitohlinitá, HP – půda hlinitopísčitá, P – půda písčitá

4.4 Eroze půdy

Působením vody, větru, zhutnění půdy a dalších vnějších vlivů dochází k rozrušování půdního povrchu a transportu půdních částic, odborně erozi. Proces eroze je přírodní jev přetvářející krajinu, který je znám více než 7000 let. Při erozi dochází k vymývání jemnozeme a většiny živin obsažených v humusové složce půdy. Následkem toho je utlumení mikrobiálního života v půdě. Například u jinak úrodné černozemě, dochází vlivem eroze ke snížení schopnosti přijímat vodu až o 20 %, obsah dusíku v půdě je potom snížen o 3 % a obsah humus klesne až o 24 % (Hofmann a Ries, 1991).

Podle činitele, který zapříčiňuje vznik eroze, lze rozlišit erozi vodní, větrnou, sněhovou, zemní a antropogenní. Celosvětově však největší škody působí eroze vodní a větrná.

Proces, při kterém dochází k rozrušování povrchu půdy působením vody (např. následkem intenzivních srážek nebo rychlého tání sněhu a ledu), kdy voda stéká po povrchu a odnáší sebou svrchní vrstvu půdy, nazýváme vodní eroze. Negativním jevem působení vodní eroze spočívá v odnosu svrchní, tedy nejúrodnější, části půdy (tzv. ornice). Dochází tak ke zhoršení vlastností půdy a půda je odnášena a usazována jinde (Mchunu a Chaplot, 2012).

Proces, kdy je povrch půdy rozrušován působením větu, a kdy je vyvolán pohyb půdních částí jinam, mimo blízkou oblast, nazýváme větrnou erozí. Negativním jevem působení větrné eroze je poškození klíčících rostlin, jejich polámání, odnos půdních částic nebo vznik navátých orníc (Nordstrom a Hotta, 2004).

K nejzávažnějším následkům eroze patří degradace půdy, kdy dochází k poklesu kvality a produkční schopnosti půdy, změni se struktura pórovitosti, sníží se obsah humusu a minerálních látek. Erozi zintenzivňují a urychlují lidské činnosti, např. nevhodné pěstitelské metody a osevnické postupy, změny hydrologických poměrů nebo použití těžké zemědělské techniky. Je zřejmé, že člověk svými přístupy může průběh eroze urychlit nebo zpomalit (Basher a Ross, 2001).

Je třeba využít protierozních zásahů, které povedou ke snížení odnášení množství zeminy ať už vodou nebo větrem. Pro zemědělské účely je zapotřebí vhodně zvolit režim střídání pěstovaných kultur (střídání obilnin, okopanin nebo pícniny). Nejvhodnější pro půdo-ochrannou funkci jsou pro svůj kořenový systém pícniny. Pro odvod přebytečné vody lze budovat záchytné příkopy, vršit kamenné terasy. Proti větrné erozi lze využít větrolamů. Je zcela jasné, že eroze ovlivňuje hospodaření na zemědělské půdě, je proto zapotřebí půdu chránit dostupnými a účinnými prostředky. Ve většině případů jde o komplex organizačních, agrotechnických a technických opatření (Sparovek a Schnug, 2001).

4.5 Infiltrace vody do půdy

Při zpracování půdy dochází ke změně velikosti a struktury pórů vedoucí k nestabilitě půdního profilu. Pórovitost půdy se také mění v závislosti na její vlhkosti, na biologických procesech probíhajících v půdě a podílí se na ní též časté přejezdy těžké zemědělské

techniky. Zhutnělá půda má zhoršenou propustnost pro vodu a vzduch a negativně ovlivněna je i její tepelná výměna (Hamlett *et al.*, 1990). Výše propustnosti půdy je ovlivňována hlavně velikostí jejího zpracování. Je prokázáno, že redukované zpracování půdy má kladný dopad na infiltraci srážkové vody, její povrchový odtok a omezení rizik způsobující vodní erozi (Hallet *et al.*, 2004).

Ke špatné infiltraci vody do půdy dochází především ve vyježděných kolejích, kde je půda nejvíce zhutněna. Srážky se potom nevsakují do půdy, ale tvoří vodní plochy odkud je voda vypařována nebo dochází k jejímu odtoku na jiné části pozemku, kde může způsobit zaplavení. Chybějící srážky potom neblaze ovlivňují rostlinou produkci hlavně během vegetačního období plodin (Potter *et al.*, 1995). Během výzkumu probíhajícího v letech 1996 - 1998 ve státě Iowa bylo zjištěno, že míra eroze způsobena přejezdy strojů, je ve vyjetých stopách více než dvojnásobná oproti místu mezi kolejemi (Kaspar *et al.*, 2001). Nepříznivě byl také ovlivněn odtok a vsak vody do půdy (Gaultney *et al.*, 1982). Při přejezdu vozidla je též snížena vlhkost vrchní vrstvy půdy, kdy je tlakem pojezdového ústrojí vytlačena část půdní vlhkosti na povrch odkud se již zpětně voda do půdy kvůli nadměrnému zhutnění nevsákne (Hamlett *et al.*, 1990).

Snížení schopnosti infiltrace do půdy v oblasti vyjetých stop nemusí mít vždy nepříznivý dopad. Mnohdy je vyjetých stop využíváno záměrně ke zvýšení účinnosti zavlažování nebo k cílenému odtoku vody, kde se koleje využívají jako potrubí povrchového odtoku (Basher a Ross, 2001; Raper 2005). Schopnost infiltrace vody do půdy je při zatížení 4,1 tuny na nápravu snížena o 23 % při jednom přejezdu a 33 % při dvou přejezdech. U zatížení 8,2 tuny na nápravu se potom jedná o snížení vsaku o 38 % u jednoho a 43 % u dvou přejezdů (Allen a Schneider, 1992; Allen a Musick, 1995).

4.6 Výměna a obsah živin v půdě

Živiny hrají nepostradatelnou roli ve výživě rostlin. Jestliže se odplavením, odfouknutím, nebo stlačením živiny ztratí, musí se do půdy opět dostat. Trpí-li půda nedostatkem organických látek, dojde ke zpomalení přirozeného přísunu živin k plodinám. Prvotním nositelem a zdrojem živin pro rostliny je voda. Vlivem zhutnění je množství vody v půdě značně omezeno, a tak dochází ke zpomalení výměny živin mezi půdou a plodinami.

Dalším zdrojem živin pro zemědělskou půdu jsou hnojiva, je však známo, že nadměrné hnojení půdy vede následkem odplavování ke znečištění vod (Lipiec a Stepniewski, 1995).

Účinkem hnojiv dochází k obohacení půdních částic o fosfor a dusík a dochází tak k lepšímu růstu rostlin. Naopak opakováním intenzivních pěstebních postupů dochází v půdě k vyčerpání živin, je proto nutné tam živiny v přiměřeném měřítku vrátit.

4.7 Deformace kořenového systému plodin

Přejezdy zemědělské techniky způsobují snížení pórovitosti a zvýšení objemové hmotnosti půdy. To má za následek omezený přístup živin, vody a kyslíku ke kořenům, jejich rychlost růstu a schopnost prorůstat ve ztuhlé půdě do spodních vrstev (Taylor a Gardner, 1963). Nejvíce jsou ovlivněny rostliny poskytující hlavní zemědělský výnos podzemními orgány. Dochází k deformaci hlíz u okopanin, či k ovlivnění směru růstu hlavního kulovité kořenu, například u sóji, slunečnice nebo olejky, kde kořen není schopen proniknout do nižších vrstev půdy, roste horizontálně a je deformován (Reeves *et al.*, 1992). Destrukce a omezení kořenového systému má společně s vlivem počasí a dalšími faktory za následek ovlivnění velikosti produkce, výnosů a jakosti produkce (Taylor *et al.*, 1966).

Schopnost prorůstat půdou je dána druhem plodiny, typem půdy, její vlhkostí a velikostí ztuhnutí. Pro správný růst kořenů je vhodná objemová hmotnost půdy do $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$ u obilovin, $1,2 \text{ g.cm}^{-3}$ u luskovin a $1,15 \text{ g.cm}^{-3}$ u okopanin (Kaspar *et al.*, 2001). Raghavan *et al.* (1979) zjistil, že hloubka zakořenění klesla z 90 cm v neztuhlé půdě na 37 cm v půdě utužené 15 přejezdy s kontaktními tlaky 62 kPa.



Obrázek 1. Dopad zhutnění na růst kořenového systému. Vlevo objemová hmotnost $0,7 \text{ g.cm}^{-3}$, uprostřed $1,1 \text{ g.cm}^{-3}$, vpravo $1,6 \text{ g.cm}^{-3}$. (Zdroj: <http://www.ipm.iastate.edu/>)

4.8 Kontaminace půdy

Kontaminace půdy znamená její znečištění. Zdroj kontaminace převážně tvoří chemické látky, které pocházejí z průmyslových aktivit na daném území. Jde převážně o aktivity z těžby a zpracování nerostných surovin, havárie spojené s úniky jedovatých látek a v neposlední řadě i z nesprávného ukládání odpadů.

Chemicky vyrobená hnojiva využívána v zemědělské půdě na jedné straně pomáhají, ale jestliže se používají nesprávně, v nevhodném poměru či nadměrném množství mohou být zdrojem kontaminace půdy. Obdobně můžou působit i chemické prostředky používané na ochranu rostlin k hubení škodlivých organismů (herbicidy, insekticidy, apod.). Opomenout nesmíme ani znečištění půdy emisemi (Waddell a Weil, 2006).

Kontaminovaná půda patří mezi zdraví ohrožující zdroj škodlivých látek. Lidé půdní částice vdechují ve formě prachu, chemikálie pak následně můžeme přijímat z potravin vypěstovaných na chemicky ošetřovaných půdách nebo přímo z vypěstovaných potravin.

Cílem je tedy určitě minimalizovat množství kontaminované půdy. K tomu by mohlo přispět využití technologie kompostování, neboť využití kompostů významně zvýší podíl organické hmoty v půdě. Kompostováním lze získat stabilizovanou organickou hmotu s humusovými látkami a rostlinnými živinami, které jsou velmi potřebné pro obnovu půdy a jde přitom o přírodní hnojivo (Zaccone *et al.*, 2010).

5 OREBNÍ POSTUPY

5.1 Tradiční obdělávání půdy

Tradiční orba převládá v tropických zemích. Plevelé jsou odstraňovány ručně nebo osekávány pomocí mačet, jejich zbytky jsou pak použity jako mulč, zabraňující dalšímu šíření plevelů a větrné erozi nebo jsou páleny a použity jako hnojivo. Půda je často obdělávána jen povrchově, ručně nebo pomocí motyček a orebních strojů tažených zvířaty. Je běžné zakopávat organické zbytky do půdy, kde dochází ke zpomalení jejich rozkladu, čímž je pozitivně ovlivněna mikrobiální složka půdy. Zatímco organické zbytky ponechané na povrchu půdy podléhají nepříznivým teplotním a vlhkostním vlivům a jejich životnost je zkrácena (Mari a Changying, 2006).

Hojně je také využíváno vyvýšených záhonů, které jsou mulčovány zbytky plodin a plevelů. Tradiční kultivace vychází ze zkušeností zastřihávání a ořezávání plodin a následném zakrytí vyvýšeného záhonu. Takto zakrytý záhon je lépe chráněn proti erozi, je omezen výpar vody, množení plevelů a je zlepšena teplota půdy. Vzhledem k tomu, že je celý vyvýšený záhon zakryt organickým materiálem, není potřeba přidávat další hnojiva do půdy nebo jen velmi málo. Tradiční zemědělství bývalo v souladu s životním prostředím a úrovní obyvatelstva. Část pole se vždy nechala několik let ležet ladem a tak docházelo k potřebné obnově půdy a nedocházelo k úpadku výnosů. Dnes je však díky nárůstu populace velký tlak na půdu, která nemá dostatečný prostor pro svoji regeneraci. Na takovéto půdě klesá produkce a na některých místech již pěstování není možné vůbec (Johnson a Reichert, 2011).

5.2 Konvenční obdělávání půdy

Konvenční zpracování půdy je založeno na mechanickém obdělávání půdy. Manipulace zahrnuje radliční orbu, jedno nebo dvě vláčení. Dále je pěstování plodin postaveno na orbě a obracení půdy. K sekundární kultivaci se užívá podmítačů a kultivátorů. Většina těchto nástrojů je tažena, v rozvojových zemích, dobyt看kem, ve vyspělých zemích se potom jedná o traktory, či jiná mechanicky poháněná zařízení. Orba vystavuje půdu vegetační pokrytí půdy a vystavuje ji srážkám, větru a pozemnímu odtoku. Nicméně toto zpracování dává volný přístup plevelů do půdy, ale taktéž hnojiv. Mechanické narušení půdy zvyšuje riziko eroze, protože zanechává horní vrstvu půdy zcela holou (Shetto, 1999).

Konvenční zpracování půdy je běžné ve Východní a Jižní Africe. Tímto způsobem dochází ke kypření, obracení a drolení půdy, čímž se pohřbívá většina posklizňových zbytků do půdy, zanechávající povrch půdy bez nečistot a pozůstatků. Vlivem dešťů může docházet k utváření krusty na povrchu půdy, což způsobuje odtok vody a absenci vody v půdě. Půda je také vystavena erozi a dochází k úbytku organické hmoty v půdě a poklesu živin (IFAD, 1992).

Dopad orebních metod na půdní vlastnosti a půdní erozi se liší podle typu a struktury půdy. Například, pokud má půda správnou strukturu, s vysokým podílem vody, je tvořena stabilními agregáty a je dobře propustná pro vodu a vzduch, bude mít mechanické zpracování pravděpodobně negativní následky pro půdu v podobě zvýšeného rizika eroze. Na druhé straně, pokud má půda svrchní vrstvu tvořenou hladkou krustou, její podloží je zhutnělé a struktura nestabilní, je vhodné zvážit mechanické zpracování půdy, které by snížilo riziko eroze (Osunbitan *et al.*, 2005).

5.3 Půdo-ochranné obdělávání půdy

Ochranné zemědělství je zaměřeno na správné hospodaření s půdou a vodou a snaží se skloubit přijatelné zisky společně s trvalou udržitelností produkce. Udržitelnost je velmi důležitá vzhledem k nárůstu světové populace, která vyžaduje stále více potravin pro sebe a chovaná zvířata (New Standard, 1992). Ochranné obdělávání půdy může být definováno, jako pěstování plodin, při snaze o minimální narušení půdního profilu a využití posklizňových zbytků (FAO, 1993). Ty jsou ponechány na povrchu a snižují dopad dešťové vody na půdu a je redukován pohyb povrchových vod, tedy půdní eroze. Pozemek, který

není chráněn vrstvou mulče je ponechán negativnímu vlivu dešťových srážek a erozi, pokud je ale zakryt, půda není přímo ovlivněna těmito aspekty (Hobbs *et al.*, 2008).

Ochranné obdělávání půdy se zaměřuje na zachování, zlepšení a zvýšení efektivnosti využití přírodních zdrojů prostřednictvím jednotných pravidel pro využití vody a půdy. Bezpečné zpracování půdy má pozitivní vliv na množství organického uhlíku v půdě a snížení oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů, které ohrožují celosvětově životní prostředí. Velikost pozemku, kde se užívá ochranného nebo nulového zpracování půdy se odhaduje na 105 milionů ha po celém světě, zejména v Severní a Jižní Americe (Derpsch a Friedrich, 2009). V Jižní Americe je 47 % bez orebného zpracování, v Severní Americe je to potom 38 %, 12 % v Austrálii a okolo 2 % v Asii. Z adaptace na bezorebné zemědělství je na tom nejlépe Brazílie, kde byl tento typ zemědělství představen teprve v roce 1970. V dnešní době Brazílie obhospodařuje bezorebně 60 % své zemědělské plochy, což činí 25,5 Mha, pro porovnání v USA to je 26,6 Mha (Derpsch a Friedrich, 2009).

5.3.1 Bezorebné obdělávání půdy

Pokud sázíme plodiny přímo do setového lůžka, které není upravováno orbou, či kypřením, jedná se o bezorebné pěstování. Růst plodin a plevelů je ovlivňován pouze chemickými látkami, hnojivem a krycími plodinami. Při užití bezorebného systému dochází k poklesu nákladů za provoz zemědělských strojů, paliva a zavlažování (Sorrenson *et al.*, 1998). Bezorebné zpracování půdy může zvýšit zisky z důvody vyšší vlhkosti půdy a mnohem nižší míry eroze důsledkem krytí půdy zbytky předešlých plodin. Další výhodou vyššího obsahu vody v půdě je, že není potřeba nechávat půdu ležet ladem a je možné pěstovat další plodiny, což má pozitivní ekonomický efekt. Zároveň je zvýšena biotická aktivita v půdě, především žížal, kterým se mnohem lépe daří v neobdělávané půdě a mají vliv na zlepšení půdní struktury (Lavelle, 1984; Lal, 1987).

Struktura půdy je závislá na počtu viditelných pórů. Vhodnost půdy pro bezorebné obdělávání bývá posouzena podle počtu biologických kanálů viditelných při terénním výzkumu. Gowman *et al.* (1987) navrhl, že uplatnění bezorebného obdělávání půdy je vhodné pro půdy s velkým počtem viditelných pórů o rozměrech větších než 100 mm v průměru. V USA je obděláváno bezorebnou metodou 19,7 % z celkového počtu obdělávaných ploch. Tento systém byl velmi dobře přijat v Jižní Americe, kde tvoří 45 % v Brazílii, 50 % v Argentině a okolo 60 % v Paraguay z celkové výměry obdělávané půdy. Hlavními příčinami rychlé adaptace zemí na bezorebné programy jsou ekologické, zlepšená

úrodnost půdy, omezení eroze, a ekonomické, méně práce a vyšší zisky. Zemědělci by ovšem nepřijali tuto technologii tak rychle, pokud vůbec, kdyby šlo jen o zlepšení ekologických aspektu zemědělství.

Podle King (1983), ekonomické analýzy dokazují, že bezorebné obdělávání je nákladově nejefektivnějším systémem běžně používaným v USA. Mezi další výhody bezorebného zemědělství patří méně námahy spojené s obhospodařováním pozemku, kratší pracovní doba, nižší náklady na zemědělskou techniku a její údržbu. Omezují se užívání hnojiv, pesticidů, herbicidů a jiných látek k ochraně a podpoře plodin. Dochází k lepší infiltraci vody do půdy v porovnání s konvenčním obdělávání půdy (Sidiras a Roth, 1985). Nicméně, studie ukazují, že je zapotřebí nových zkušeností k správnému fungování bezorebného obdělávání půdy, zejména v efektivním ničení plevelů. Bude potřeba několik let, než se zemědělci naučí zvládat základní dovednosti, mezi které patří: Použití vhodných herbicidů, jejich správné množství a čas užití. Správné osevní postupy, které zaručí dostatečné příjmy, ale i dostatek zeleného hnojiva. Minimalizace času mezi sklizní a setím dalších plodin. Použití krycích plodin. Mezi hlavní negativa bezorebného obdělávání půdy patří intenzivní použití herbicidů a pomalu se zahřívající půda z důvodu špatného odtoku půdní vody (Johnson a Reichert, 2011).

5.3.2 *Minimalizační technologie zpracování půdy*

Termín minimální obdělávání půdy je celkem matoucí. Ve skutečnosti se totiž nejedná o předem stanovené minimální normy pro obdělávání půdy, ale jedná se o minimální potřebné obdělávání půdy, které se může pohybovat od nulového obdělávání až po druhotné kultivační operace v závislosti na vlastnostech půdy a typu pěstované plodiny. Obecně se tedy definuje jako minimální potřebná manipulace s půdou nezbytná pro rostlinnou výrobu v stávajících půdních a klimatických podmínkách. Minimální obdělávání je vhodné pro semiaridní půdy, kde se provádí orba po sběru plodin. Výsadba nových plodin je pak prováděna do set'ových lůžek bez dalších nutných úprav s příchodem dešťů (Johnson a Reichert, 2011).

Mezi hlavní výhody systému patří vstřikování živin přímo do řádku a dobrá udržitelnost ve špatně odvodněných půdách. Nevýhodami potom jsou náklady na úpravu lůžka před samotným setím plodin, vysoké vysoušení půdy a tvorba krusty na povrchu půdy, která snižuje schopnost půdy absorbovat vodu.



Obrázek 2. Minimalizační technologie obdělávání. Vlevo s přidáním organické hmoty (Krycí plodiny a kompost). Vpravo bez přidání organické hmoty. (Zdroj: <http://californiaagriculture.ucanr.edu/>)

5.3.3 Mulčování půdy

Mulčování půdy zajišťuje maximální uchování rostlinných zbytků na povrchu půdy. Půda je připravována tak, aby rostlinné zbytky nebo jiné mulčovací materiály zůstávaly přímo nebo blízko povrchu půdy. Mulč chrání půdu před vodní a větrnou erozí, omezuje výpar vody, růst plevelů a je zdrojem živin pro půdu. (Carter, 1992).

5.4 Obecné shrnutí

Pokud se vytvoří potřebné pěstitelské podmínky lze předpokládat, že se na vhodných stanovištích dá pomocí minimalizačního zpracování půdy dosáhnout mnoha půdních předností. Je možno dodržovat optimální termíny setí, dochází k omezení negativního zhutnění půdy díky menšímu počtu přejezdů, tím není půdní struktura tak namáhána a je zlepšen vodní a vzdušný režim v půdě. Tyto aspekty kladně ovlivňují vývoj a produkci plodin a lze tedy dosáhnout vyšších výnosů, než při užití konvenčního obdělávání půdy. Efektivnost půdo-ochranných a minimalizačních metod spočívá také v menších nákladech na pohonné hmoty, úspoře pracovního času i nákladů spojených se zakládáním porostu.

Z tabulky 3 je patrné, že při užití bezorebného obdělávání půdy spojeného s mulčováním lze dosáhnout srovnatelné, ne-li vyšší produkce kořene manioku i nadzemní biomasy ve srovnání s konvenčním obděláváním půdy. Navíc půda není vystavena tolika přejezdům, je ušetřeno za pohonné hmoty a půda je v lepším stavu (Cadavir *et al.*, 1998).

Tabulka 3. Vliv obdělávání na produkci kořene a množství nadzemní biomasy u manioku v písčitohlinité půdě (Cadavir *et al.*, 1998).

Druh obdělávání	Hnojení		Bez hnojení	
	Produkce z kořene (t.ha ⁻¹)	Nadzemní biomasa (t.ha ⁻¹)	Produkce z kořene (t.ha ⁻¹)	Nadzemní biomasa (t.ha ⁻¹)
KO	5,51	3,18	2,19	1,43
KO + mulč	5,92	3,98	4,66	2,93
BO	4,42	2,77	1,93	1,43
BO + mulč	6,11	3,85	4,66	2,95
Průměr	5,49	3,45	3,36	2,19

Legenda: KO - konvenční obdělávání půdy, BO - bezorebné obdělávání půdy

6 PREVENCE A ODSTRANĚNÍ ŠKODLIVÉHO ZHUTNĚNÍ

6.1 Agrobiologická opatření

Mezi agrobiologická opatření zabraňující nadměrnému zhutnění patří hnojení kvalitními hnojivy, které nejenom dodávají potřebnou organickou hmotu a živiny do půdy pro správnou funkci biologických procesů, ale pozitivně ovlivňují všechny půdní vlastnosti. Během rozkladu organických látek vznikají huminové kyseliny podporující agregační schopnosti půdy a tím přispívají k lepšímu stavu půdní struktury a zvyšují tak její odolnost vůči zhutnění. Z mnohých výzkumů vychází, že sprašové půdy hnojené organickou hmotou mají o 7-8 % větší pórovitost než půdy nehnojené organickou hmotou. Dále je velmi důležité půdy pravidelně agrochemicky testovat. Při nízkých hodnotách pH je třeba provést meliorační vápnění (Roger-Estrade *et al.*, 2010).

Důležité je správné hospodaření s půdou a vhodná volba osevních postupů. Plodiny ovlivňují velikost nadzemní biomasy i množství kořenové biomasy v půdě, která příznivě působí na fyzikální stav půdy tj. velikost zhutnění a biologické vlastnosti půdy. Na druhou stranu plodiny kladou rozdílné nároky na stav půdního profilu a to jak v orniční tak i podorniční části. Proto je vhodné zařadit do osevních postupů některé hluboko kořenicí plodiny. Dobré je také zařazení meziplodin. Ty jsou zdrojem kvalitní organické hmoty a zároveň růstem svého kořenového systému pomáhají zvyšovat pórovitost půdy až o 5 % (Balesdent *et al.*, 2000).

Tabulka 4. Hloubka zakořenění některých plodin (Javůrek a Vach, 2008)

Plodina	Hloubka zakořenění (m)	Plodina	Hloubka zakořenění (m)
Vojtěška	2 - 10	Pšenice ozimá	0,2 - 0,3
Vičenec	2 - 10	Žito ozimé	0,3 - 0,4
Komonice	1,1 - 1,9	Ječmen jarní	0,2 - 0,3
Jetel luční	1,0 - 2,0	Oves	0,5 - 0,6
Lupina modrá	0,7 - 1,3	Kukuřice	1,2 - 1,8
Hrách setý	0,8 - 1,3	Řepka olejka	1,1 - 2,8
Bob obecný	1,0 - 1,2	Hořčice bílá	1,0 - 2,0
Sója luštinatá	1,5 - 2,0	Slunečnice	1,2 - 1,5
Vikev setá	0,3 - 0,9	Cukrovka	1,8 - 2,0
Vikev huňatá	0,3 - 0,5	Brambory	1,0 - 2,0

6.2 Redukce půdního zhutnění

6.2.1 Vývoj pneumatik a zemědělské techniky

Omezit vznik zhutnění se dá vývojem nových lehčích zemědělských strojů s lépe řešeným pojezdovým ústrojím a pneumatikami za účelem snížení kontaktního tlaku na půdu. Výzkumem limitních hodnot pro zatížení půdy se začalo v 80. letech minulého století (Håkansson, 1985; Soane *et al.*, 1980). Došlo ke stanovení maximálního zatížení na nápravu 6 t.

V dnešní době se používá převážně široko-profilových nízkotlakých pneumatik. Tento typ pneumatik snižuje utužení půdy a vybavují se jí mi hlavně sklízecí plodin. Pokud zemědělci nemají prostředky pro koupi nových nízkotlakých pneumatik, je doporučováno používat zdvojení kol nebo užití podhuštěných pneumatik při jízdě po poli. U zbylé zemědělské techniky se potom užívají radiální pneumatiky, které oproti diagonálním vykazují nižší zhutnění půdy (Taylor *et al.*, 1976).

K výrazným změnám v technologii a konstrukci došlo u sklízecích strojů. Používají se zásobníky s nízkotlakými pneumatikami, což snižuje negativní dopad na půdní profil. Začala se také využívat technika s aktivně poháněnými pracovními nástroji, kde se větší část výkonu převádí z motoru přes vývodový hřídel a tím se snižují nároky na trakční vlastnosti a hmotnost traktorů (Håkansson a Medvedev, 1995).

6.2.2 Doba a četnost pojezdů po poli

Čas strávený stroji na poli při setí a sázení by se měl co nejvíce omezit, zvláště na jaře, kdy je půda velmi citlivá na zhutnění. Tyto práce by se měly provádět, až když má půda správnou vlhkost a dostačující únosnost. Jarní vstupy na pole v období velké vlhkosti půdy způsobují její zhutnění a poškozují půdní strukturu a ve vyjetých kolejích dochází vlivem nedostatku vzduchu ke žloutnutí plodin (Raper *et al.*, 2000).

Proto je dobrý přesun některých operací spojených s úpravou půdy z jara na podzim, jako je zarovnání ornice. Výhoda je v tom, že vzniklé zhutnění při přejezdu zemědělské mechaniky je částečně odstraněno objemovými změnami půdy při zimním promrzání. Navíc v období sklizně většiny zrnin již nedochází k tak výraznému zhutnění díky menší vlhkosti půdy a ulehlejší ornici. Toto období je vhodné i pro vápnění půdy, hnojení a další kultivační akce (Håkansson a Medvedev, 1995).

Důležité je spojovat zemědělské operace a omezit tak počet vstupů na pozemek. Operace se dají spojovat zejména při přípravě půdy a setí. V dnešní době již existuje celá řada zemědělské techniky poskytující možnost zpracovat půdu, připravit seťové lůžko a zasít či zasadit plodiny během jedné pracovní operace. K velmi intenzivnímu zhutnění v podorniční vrstvě dochází při sklizni rostlinné produkce. To je dáno především vlivem těžké sklízecí mechanizace pro sběr a odvoz produkce. Nákladní automobily pro odvoz plodin mají vysoký kontaktní tlak a pracují často při nevhodné vlhkosti půdy, jejich dopad na zhutnění půdy bývá často trvalého rázu nebo jen těžce a nákladně odstranitelný. Doporučuje se tedy jezdit v již vytvořených stopách (Raper *et al.*, 2000).



Obrázek 3. Kombinátor WICHER pro přípravu seťového lůžka (Zdroj: <http://www.utilaje-agricole-wirax.com/>).

6.2.3 Řízený systém provozu zemědělské mechanizace

Řízený systém provozu zemědělské mechanizace po poli si dává za cíl minimalizovat zhutnění půdy způsobené pojezdovým ústrojím. Dochází k omezení doby a četnosti provozu, tak aby plodiny vyrůstaly v nezhutnělé půdě. Toho je dosaženo použitím zemědělské techniky o stejném rozchodu kol a velikosti pneumatik. Zemědělská mechanizace se pak každoročně pohybuje ve stejných jízdnicích trasách (viz obrázek 4) a dochází tak k nepříznivému zhutnění jen v již vyjetých trasách. Výsledkem je snížení vstupů na pozemek, tzn. ušetření času, nižší spotřeba pohonných hmot a menší opotřebení zemědělské techniky. Je zlepšena schopnost půdy absorbovat vodu a živiny a tím vzrůstají výnosy z produkce (Taylor, 1983; Monroe a Burt, 1989).



Obrázek 4. Ukázka řízeného provozu na poli (Zdroj: <http://ctfeurope.com/>).

6.3 Odstranění zhutnění půdy

Pokud je půda zhutnělá i v podorniční vrstvě je nutný mechanický zásah. Do hloubky 45 cm se provádí dlátování pro nakypření utužené podorniční vrstvy půdy. Pro hloubky nad 45 cm se provádí meliorační kypření. Aby bylo kypření co nejefektivnější je potřeba správně změřit hloubku zhutnění a pracovat jen do této hloubky. Je také potřeba kypřit půdu při vhodné vlhkosti. Vlhkost půdy by měla být vyšší, než mez elasticity tzn., že se při práci

s půdou netvoří hroudy a půda se spíše drobí a zároveň by vlhkost měla být nižší než mez vláčnosti, při překročení této meze se půda přestává drobit a začíná se rozmazávat (Smith, 1995; Camp a Sadler, 2002).

7 ZÁVĚR

Půda je nedílnou součástí životního prostředí. Je zdrojem rostlinné produkce a domovem mnoha živočichů. Intenzifikací zemědělství, používáním nevhodné zemědělské techniky a chemických hnojiv dochází k narušení fyzikálních, biologických a produkčních vlastností půdy. Dochází k navýšení objemové hmotnosti, úbytku pórovitosti, je omezena výměna živin mezi půdou a kořenovým systémem rostlin. Kořeny bývají často deformovány a nejsou schopné prorůst do nižších vrstev půdy. Je omezen půdní edafon a dochází ke kontaminaci a zakyselení půd. Půda je schopna absorbovat vodu pomaleji a v menším množství. Všechny tyto negativní aspekty ovlivňují výši a jakost produkce.

Zhutnění lze redukovat správným užitím organických hnojiv, užitím kvalitně sestavených osevních postupů, které budou zahrnovat předplodiny a meziplodiny zajišťující dostatek kořenové a nadzemní biomasy. Důležité je také omezit množství vstupů zemědělské techniky na pozemek, hlavně v období vysoké vlhkosti půdy. Pohyb strojů by měl být soustředěn do již vyjetých stop, aby docházelo ke zhutnění jen v okolí těchto stop. Moderní technika také umožňuje spojování zemědělských operací za pomoci kombinátorů, které jsou schopny připravit seťové lůžko, zasít a urovnat povrch během jedno přejezdu. Využit se dá také půdo-ochranných orebních postupů, které omezují obdělávání půdy a tím i počet přejezdů po ní.

K odstranění zhutnění dochází při orbě nebo kypření půdy, to se běžně provádí do hloubky 10 - 30 cm. Půda pod touto hranicí je nadále utužována a má negativní dopad na produkci. Pro odstranění zhutnění do 45 cm se provádí dlátování půdy a do 65 cm meliorační kypření. Tyto operace jsou velmi náročné na výkonnost strojů a na spotřebu pohonných hmot. Odstranění hlubšího zhutnění půdy je velice nákladné a téměř nemožné.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- Allen, R., Musick, J. (1995). Furrow irrigation intake with multiple trafficand increased axle mass. *ASAE paper*, 1-11.
- Allen, R., Schneider, A. (1992). Furrow water intake reduction with surge irrigation on or traffic compaction. *Appl Eng Agric*, 455-60.
- Balesdent, J., Chenu, C., Balabane, M. (2000). Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil & Tillage Research*, 215-230.
- Basher, L., Ross, C. (2001). Role of wheel tracks in runoff generation and erosion under vegetable production on a clay loam soil at Pukekohe, New Zealand. *Soil and Tillage Research* 62, 117-130.
- Cadavid, L., El-Sharkawy, M., Acosta, A., Sánchez, T. (1998). Long-term effects of mulch, fertilization and tillage on cassava grown in sandy soils in northern Colombia. *FieldCrops Research* 57, 45-56.
- Camp, C., Sadler, E. (2002). Irrigation, deep tillage, and nitrogen management for a corn - soybean rotation. *Tran ASAE* 45, 601-608.
- Carter, M. (1992). Influence of reduced tillage system on organic matter, microbial biomass, macro-aggregate distrubution and structural stability of the surface soil in the humid climate. *Soil and Tillage Research* 23, 361-372.
- Certini, G., Ugolini, F. C. (2013). An updated, expanded, universal definition of soil. *Geoderma*, 378-379.
- Derpsch, R., Friedrich, T. (2009). Global overview of conservation agriculture adoption. New Delhi, India. *4th Congress on Conservation Agriculture*, 4-7.
- Eden, M., Schjønning, P., Moldrup, P., De Jonge, L. (2011). Compaction and rotovation effects on soil pore characteristics of a loamy sand soil with contrasting organic matter content. *Soil Use and Management* 27, 340-349.
- Elliot, E., Anderson, R., Coleman, D., Cole, C. (1980). Habitable pore space and microbial thropic interactions. *Oikos* 35, 327-335.
- FAO. (1993). Soil Tillage in Africa. Needs and Challenges. Rome, Italy. *FAO Soils Bulletin* No. 69.

- Gaultney, L., Krutz, G., Steinhardt, G., Liljedahl, J. (1982(3)). Effects on subsoil compaction on corn yields. *Trans ASAE*, 563-9.
- Glab, T., Kulig, B. (2008). Effect of mulch and tillage system on soil porosity under wheat (*Triticum aestivum*). *Soil and Tillage Research. Amsterdam 99*, 169-178.
- Gowman, M., Coutts, J., Riley, D. (1987). Direct Drilling, Soil Physical Conditions and Crop Growth. Jealotts Hill, UK., *ICI, Pland Protection Div. Ecology station*.
- Håkansson, I. (1985). Swedish experiments on subsoil compaction by vehicles with high axle load. *Soil Use Manage.*, 113-116.
- Håkansson, I., Lipiec, J. (2000). A review of the usefulness of relative bulk density value in studies of soil structure and compaction. *Soil and Tillage Research 53*, 71-85.
- Håkansson, I., Medvedev, V. (1995). Protection of soils from mechanical overloading by establishing limits for stresses caused by heavy vehicles. *Soil and Tillage Research*, 85-97.
- Håkansson, I., Reeder, R. (1994). Subsoil compaction by vehicles with axle load - extent, persistence and crop response. *Soil & Tillage Research*, 277-304.
- Hallet, P., Nunan, N., Douglas, J., Young, I. (2004). Millimeter-scale spatial variability in soil water sorptivity: scale, surface elevation, and subcritical repellency effects. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 352-358.
- Hamlett, K., Melvin, S., Horton, R. (1990). Traffic and soil amendment effects on infiltration and compaction. *Trans ASAE*, 821-6.
- Hobbs, P., Sayre, K., Gupta, R. (2008). The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philos. Trans. R. Soc. Long. B. Biol. Sci. 363*, 543-555.
- Hofmann, L., Ries, R. (1991). Relationship of soil and plant characteristics to erosion and runoff on pasture and range. *Journal of Soil and Water Conservation 46*, 143-147.
- Hoosbeek, K., Bryant, R. (1992). Towards the quantitative modeling of pedogenesis. *Geoderma 55*, 183-210.
- Horn, R. (1990). Structure effects on strength and stress distribution in arable soils. *In: Proceedings International Summer meeting ASAE, Columbus, OH*, 8-20.

- Horn, R., Way, T., Rostek, J. (2003). Effect of repeated tractor wheeling on stress/strain properties and consequences on physical properties in structured arable soils. *Soil & Tillage Research* 73, 101-106.
- IFAD. (1992). Soil and Waer Conservation in Sub-Saharan Africa. Towards Sustainable Producion by The Rural Poor. Amsterdam: *Areport prepared for IFAD by CDCS*.
- Javůrek, M., Vach, M. (2008). Negativní vlivy zhutnění půdy a soustava opatření k jejich odstranění. *Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i.*, 24 s.
- Johnson, T. F., Reichert, M. J. (2011). Conservation tillage for cassava (*Manihot esculenta* crants) production in tropics. *Soil and Tillage Research*, 1-10.
- Kaspar, T., Radke, J., Laflem, J. (2001). Small grain cover crops and wheel traffic effects on infiltration, runoff, and erosion. *J Soil Water Conserv* 56, 160-164.
- Keller, T. (2005). A model to predict the contact area and the distribution of vertical stress below agricultural tyres from readily-available tyre parameters. *Biosvst. Eng.* 92, 85-96.
- King, A. (1983). Progress in no-till. *Journal of Soil and Water Conservation Special issue "Conservation tillage"* 38,160-161.
- Kramer, S., Weisskopf, P., Oberholzer, H. (2008). Status of earthworms populations after different compaction impacts and varying subsequent soils management practices. Brno. *In: Proceedings of the 5th International Soil Conference ISTRO Czech Branch.*, 249-256.
- Lal, R. (1987a). Managing the soils of sub-Saharan Africa. *Science* 236, 1069-1076.
- Lavelle, P. (1984). The soil system in the humind tropics. Paris, France. *In: Biology International, IUBS*, 1-17.
- Lhotský, J. (2000). Zhutňování půd a opatření proti němu. Praha. *Ústav zemědělských a potravinářských informací*. 61 s.
- Lipiec, J., Stepniewski, W. (1995). Effects of soil compaction and tillage systems on uptake and losses of nutriens. *Soil and Tillage Research* 35, 37-52.
- Mari, G., Changying, J. (2006). Conservation tillage for the protection of soil quality and sustainability. *Amarican-Euraasian J.sci. Res.* 1, 55-60.
- Mchunu, C., Chaplot, V. (2012). Land degradation impact on soil carbon losses through water erosion and CO2 emissions. *Geoderma* 177-178, 72-79.

- Monroe, G., Burt, E. (1989). Wide-frame tractive vehicle for controlled traffic research. *Appl Eng Agric* 5, 40-3.
- New Standard, E. (1992). Standard Educational Operation. Chicago, USA. *New Standard, Encyclopedia.*, A-141, C-546.
- Nordstrom, K., Hotta, S. (2004). Wind erosion from cropland in the USA: a review of problems, solutions and prospects. *Geoderma* 121, 157-167.
- Osunbitan, J., Oyedele, D., Adekalu, K. (2005). Tillage effects on bulk density, hydraulic conductivity and strength of a loamy sand soil in southwestern Nigeria. *Soil and Tillage Research*, 57-64.
- Potter, K., Tobert, H., Morrison, J. (1995). Tillage and residue effects on infiltration and sediment losses on vertisols. *Trans ASAE* 38,1413-1419.
- Raghavan GSV, McKyes E, Baxter R, Gendron G. (1979) Traffic–soil–plant (maize) relations. *J Terramech* 16,181–189.
- Raper, R. (2005). Agricultural traffic impacts on soil. *Journal of Terramechanics* 42 , 259-280.
- Raper, R., Reeves, D., Burmester, C., Schwab, E. (2000). Tillage depth, tillage timing, and cover crop effects on cotton yield, soil strength, and tillage energy requirements. *Appl Eng Agric* 16, 379-385.
- Raper, R., Reeves, D., Schwab, E., Burmester, C. (2000). Reducing soil compaction of Tennessee Valley soils in conservation tillage systems. *J Cotton Sci* 4, 84-90.
- Reeves, D., Rogers, H., Droppers, J., Prior, S., Powell, J. (1992). Wheel-traffic effects on corn as influenced by tillage system. *Soil & Tillage Research*23(1-2), 177-192.
- Roger-Estrade, J., Anger, C., Bertrand, M., Richar, G. (2010). Tillage and soil ecology: Partners for sustainable agriculture. *Soil and Tillage Research*, 33-40.
- Shetto, R. (1999). Indigenous soil conservation tillage systems and risks of animal traction on land degradation in Eastern and Southern Africa. Harare, Zimbabwe. *ATNESA*, 173 s.
- Sidiras, N., Roth, C. (1985). Measurement of infiltration with double-ring infiltrometers and rainfall simulator as an approach to estimate erosion by water under different surface conditions on an Oxisol. Ontario, Canada: *10th ISTRO Conf.*14 s.

- Smith, L. (1995). Cotton response to deep tillage with controlled traffic on clay. *Trans ASAE* 38, 45-50.
- Snakin, V., Prisyazhnaya, A. (1997). Qualitative assessment of the degree of anthropogenic changes in soil by analyzing the in situ composition of the soil liquid phase. *Geoderma* 75, 279-287.
- Soane, B., Blackwell, P., Dickson, J., Painter, D. (1980). Compaction by agricultural vehicles: A review. *Soil and Tillage Research*, 207-237.
- Sojka, R., Horne, D., Ross, C., Baker, C. (1997). Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield. *Soil and Tillage Research* 40, 125-144.
- Sorrenson, W., Durante, C., Lopez Portillo, J. (1998). Economics of no-till compared to conventional cultivations systems on small farms in Paraguay. Policy and investment implications. *DEAG-MAG* , 68 p.
- Sparovek, G., Schnug, E. (2001). Soil tillage and precision agriculture: A theoretical case study for soil erosion control in Brazilian sugar cane production. *Soil and Tillage Research* 61, 47-54.
- Taylor, H., Gardner, H. (1963). Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. *Soil Sci*, 153-156.
- Taylor, H., Roberson, G., Parker, J. J. (1966). Soil strength - root penetration relations for medium- to coarse-textured soil materials. *Soil Sci*, 18-22.
- Taylor, J. (1983). Benefits of permanent traffic lanes in a controlled traffic crop production system. *Soil and Tillage Research* 3, 385-395.
- Taylor, J., Burt, E., Bailey, A. (1976). Radial tire performance in firm and soft soils. *Trans ASAE*, 1090-1093.
- Trautner, A., van den Akker, J., Fleige, H., Arvidsson, J., Horn, R. (2003). A subsoil compaction database: its development, structure and content. *Soil and Tillage Research* 73, 9-13.
- van den Akker, J. (2005). Encyclopedia of Soils in Environment. *Elsevier Science*, 286-293.
- van den Akker, J. (2004). SOCOMO: a soil compaction model to calculate soil stresses and the subsoil carrying capacity. *Soil & Tillage Research* 79, 113-127.

- Voorhees, W., Johnson, J., Randall, G., Nelson, W. (1989). Corn growth and yield as affected by surface and subsoil compaction. *Agron. J.* 81, 294-303.
- Voorhees, W., Young, R., Lyles, L. (1979). Wheel traffic considerations in erosion research. *Trans ASAE*, 789-790.
- Waddell, J., Weil, R. (2006). Effects of fertilizer placement on solute leaching under ridge tillage and no tillage. *Soil and Tillage Research* 90, 194-204.
- Wilding, L. (1994). Factors of soil formation: Contributions to pedology. In: Factors of Soil Formation: A Fiftieth Anniversary Retrospective. *Soil Science Society of America Special Publication* 33, 87-97.
- Zaccone, C., Di Caterina, R., Rotunno, T., Quinto, M. (2010). Soil - farming system - food - health: Effect of conventional and organic fertilizers on heavy metal (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) content in semolina samples. *Soil and Tillage Research* 107, 97-105.

9 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Přípustná a riziková objemová hmotnost půdy pro některé plodiny u středně těžkých půd (Javůrek a Vach, 2008).....	15
Tabulka 2. Limitní hodnoty některých fyzikálních vlastností pro zhutnělé půdy (Lhotský, 2000)	16
Tabulka 3. Vliv obdělávání na produkci kořene a množství nadzemní biomasy u manioku v písčitohlinité půdě (Cadavir <i>et al.</i> , 1998).	26
Tabulka 4. Hloubka zakořenění některých plodin (Javůrek a Vach, 2008).....	27

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Dopad zhutnění na růst kořenového systému. (Zdroj: http://www.ipm.iastate.edu/)	20
Obrázek 2. Minimalizační technologie obdělávání. (Zdroj: http://californiaagriculture.ucanr.edu/)	25
Obrázek 3. Kombinátor WICHER pro přípravu seťového lůžka (Zdroj: http://www.utilaje-agricole-wirax.com/)	28
Obrázek 4. Ukázka řízeného provozu na poli. (Zdroj: http://ctfeurope.com/)	29