

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta
Katedra zemědělských strojů

bakalářská práce

**Možnosti ochrany půdy před technogenním
zhutňováním**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kroulík, Ph.D.

Autor práce: Tomáš Kasal

Praha 2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tomáš Kasal

obor Zemědělská technika

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze čl. 16 určuje tuto bakalářskou práci.

Název práce: **Možnosti ochrany půdy před technogenním zhutňováním.**

Osnova bakalářské práce:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Literární rešerše
4. Závěr
5. Seznam literatury
6. Přílohy

Rozsah hlavní textové části: 30 - 40 stran

Doporučené zdroje:

Sborník z konference GPS autopiloty v zemědělství. Praha: TF ČZU v Praze, 2009. 50 s.
ISBN: 978-80-213-1993-6.

Sborník z konference Land-Technik AgEng 2009, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH, 2009. 530 s.
ISBN: 978-3-18-092060-3.

Brunotte, J., Fröba, N. Schlaggestaltung-kostensenkend und Bodenschonend. KTBL Schrifz, 2007. 460 s. ISSN: 0173-2811.

Morgan R. P. C. Soil Erosion and Conservation. Blackwell Publishing, 2005. 304 s. ISBN 1-4051-1781-8.

EL Titi A.(ed.) Soil Tillage in Agroecosystems. CRC Press the U.S.A., 2003. 367 s. ISBN 0-8493-1228-0.

Hůla J., Procházková B. a kol. Minimalizace zpracování půdy. Praha: ProfiPress, s.r.o., 2008. 248 s. ISBN 978-80-86726-28-1.

Häkansson, I. Machinery-induced Compaction of Arable Soils: Incidence-Consequence-Counter-Measures. Uppsala: SLU Service/Repro, 2005. ISSN: 0348-0976.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milan Kroulík, Ph.D.**

Termín zadání diplomové práce: listopad 2009

Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2011

Vedoucí katedry



Děkan

V Praze dne: 30. 11. 2009

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně za odborného vedení vedoucího bakalářské práce Ing. Milana Kroulíka, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

6. 4. 2011

.....
Tomáš Kasal

Poděkování

Děkuji panu Ing. Milanu Kroulíkovi, Ph.D. za odborné vedení, poskytnutí materiálu a za konzultaci při tvoření mé bakalářské práce.

Abstrakt

Technogenní zhutnění půdy je jedním z hlavních problémů dnešního zemědělství. Tato bakalářská práce by měla upozornit na problematiku týkající se technogenního zhutňování půdy. Trendem moderního zemědělství je zvyšování výkonnosti zemědělských strojů, které svojí stále se zvyšující hmotností negativně působí na utužení půdy. V práci jsem navrhl způsoby, jak je možno chránit půdu před zhutněním, uvedl jsem zde nové možnosti ochrany půdy s využitím moderní satelitní techniky. Pokud je v zájmu společnosti hospodařit i v budoucnu na zemědělské půdě, je třeba se touto problematikou stále více zabývat.

Klíčová slova: Zhutnění, půda, zemědělské stroje, řízené přejezdy strojů, GPS.

Possibilities for reduction of soil compaction

Summary

Technological soil compaction is one of the major problems of today's agriculture. This bachelor's theses should draw public's attention to the problems of technological soil compaction. Trend of modern agriculture is an increase of efficiency of agriculture machines that via their continuously increasing mass negatively affect soil compaction. In my theses I have suggested some ways, how to protect soil from compacting, I have also shown new possibilities of soil protection via application of modern satellite technique. If future farming usage of soil is in public/social interest, it is necessary to deal with this problem into more details.

Key words: compaction, soil, farm machinery, controlled traffic farming, GPS.

Obsah:

1	Úvod.....	- 1 -
1.1	Půda.....	- 1 -
1.2	Zpracování půdy.....	- 1 -
1.2.1	Historie mechanizačních prostředků.....	- 1 -
1.2.2	Nové technologie	- 2 -
1.3	Vývoj poznání problému technogenního zhutnění půd	- 3 -
2	Cíl práce a metodika	- 5 -
3	Literární rešerše	- 6 -
3.1	Technogenní zhutňování půdy	- 6 -
	Zhutnění půdy omezuje produkční a ekologické funkce v rostlinné výrobě.....	- 7 -
3.2	Možnosti ochrany půdy před technogenním zhutňováním	- 8 -
3.2.1	Nové možnosti ochrany půdy s využitím satelitní techniky	- 8 -
3.2.2	Konstrukční řešení zemědělské techniky.....	- 17 -
3.2.3	Doba vstupu strojů na pozemek.....	- 18 -
3.2.4	Vliv opakovaných přejezdů po půdě na stupeň zhutnění půdy	- 20 -
3.2.5	Revize uspořádání půdního fondu	- 22 -
3.2.6	Omezování pojezdů strojů po poli, spojování pracovních operací.....	- 23 -
3.2.7	Skližeň a transport produktů	- 25 -
3.2.8	Minimalizační a půdoochranné způsoby zpracování půdy.....	- 26 -
3.3	Odstraňování zhutnění půdy	- 29 -
4	Závěr	- 30 -
5	Seznam literatury	- 31 -
	Seznam použitých obrázků	- 35 -
6	Přílohy.....	- 36 -

1 Úvod

1.1 Půda

Půda patří mezi životně důležité a těžko obnovitelné přírodní zdroje (Hůla a kol., 2010). Jedná se o nejsvrchnější porézní vrstvu zemské kůry. Je složena z minerálních částic, živých organismů, odumřelých zbytků a organických látek v různém stupni rozkladu. Pro zemědělství je půda stanovištěm pro pěstované rostliny (Kumhála a kol., 2007). Právě zájem o důsledky hospodaření na půdě z dlouhodobého hlediska by měl být zájmem trvalým především toho, kdo na půdě hospodaří (Hůla a kol., 2010). Prezident Franklin D. Roosevelt v roce 1937 uvedl u dopise státním guvernérům, že „Národ, který zničí svoji půdu, zničí sám sebe“. Během druhé poloviny 20. století byly vytvořeny agentury na ochranu půdy v mnoha zemích po celém světě (Hůla a kol., 2008).

1.2 Zpracování půdy

Zpracováním se půda má upravit do stavu, kdy plodinám jsou poskytovány dobré podmínky pro růst a vývoj, současně se požaduje minimalizace negativních dopadů na stanoviště (Hůla a kol., 2010). Nadužívání strojů, intenzivní pěstování, krátké střídání plodin, intenzivní pastva a nevhodné hospodaření s půdou vede k utužování (Hamza, Anderson, 2005).

1.2.1 Historie mechanizačních prostředků

Vývoj mechanizačních prostředků na zpracování půdy směřoval od motyk a rýčů k náradní na orbu. Nejstarší vyobrazení rádla, tj. radlice, která půdu neobrací, pouze kypří, je na hliněné destičce z Uruk-Warka v Mezopotámii ze 4. tisíciletí př. n. l. V Egyptě v hrobce El Kab je reliéf z 2. tisíciletí př. n. l., který znázorňuje orbu se zvířecím potahem. První kovové, tj. měděné nástroje byly použity v Egyptě v letech 2800 až 2700 př. n. l. Pozdější kovové nástroje byly litinové a železné, byly používány v 8. až 9. století n. l. (Kumhála a kol., 2007).

1.2.2 Nové technologie

V současné době se vedle pracovně a energeticky náročných postupů zpracování půdy s orbou stále více používají minimalizační postupy. Ty se vyznačují dvěma znaky a to redukcí hloubky a intenzity zpracování půdy a ponecháním zbytků rostlin na povrchu nebo ve svrchní vrstvě půdy (Hůla a kol., 2004).

Nové technologie zakládání porostů dbají na to, aby se především snižovalo nežádoucí zhutnění půdy, omezovaly přejezdy traktorů a dalších strojů po poli, a to hlavně na jaře, kdy je půda na zhutnění velmi citlivá. Také časté a nadměrné obdělávání půdy působí destruktivně na strukturní výstavbu půdy, které vede k jejímu rozbití a následnému přesychání. Je zřejmé, že vytvoření správného lůžka pro osivo nespočívá v maximálním obdělávání půdy, ale v optimálně a kvalitně provedených operacích. Při intenzivním pěstování rostlin velmi významně ovlivňuje výši a jakost dosahovaných výnosů termín setí. Uplatněním nových technologií zakládání porostů, oproti konvečním způsobům, lze vliv nepřízně počasí na termín výsevu zmírnit nebo zcela vyloučit. Stále častěji se optimální termíny setí některých plodin posouvají do časného období, což dává možnost využít i takových předplodin, které při dosavadním konvečním způsobu nepřicházeli v úvahu. Včasně a kvalitně založený porost plodiny dokáže zmírnit nepříznivé dopady nevhodné předplodiny, omezit výskyt plevelů, snížit i zabránit vyplavování nitrátů z orniční vrstvy do spodních vrstev. Nové technologie zakládání porostu plodin jsou často označovány jako ochranné (konzervační) způsoby zpracování půdy. Tyto způsoby zpracování půdy mají především za cíl udržet a rozvíjet v půdě všechny procesy vedoucí k zabezpečení půdní úrodnosti a současně vytvářet vhodné půdní prostředí pro růst a vývoj polních plodin. Konveční zpracování půdy, které se v podstatě vyznačuje konzervativním způsobem obdělávání půdy, již dnes na mnoha stanovištích zcela nesplňuje požadavky pěstovaných plodin především na rychlé a kvalitní založení porostu. Zpracování půdy v systémech úsporného zpracování půdy se podle různých autorů nazývá konzervační, ochranné, minimální či půdoochranné zpracování půdy (Kumhála a kol., 2007).

1.3 Vývoj poznání problému technogenního zhutnění půd

V ČR je v současné době technogenním zhutněním v různém stupni postiženo zhruba 45 % zemědělského půdního fondu (Hůla a kol., 2008).

K problému druhotného zhutňování půd zemědělskou technikou, kterým se odborná literatura zabývá ve větší míře zhruba posledních 30 let, přikročila systematicky nejdříve Švédská zemědělská univerzita v Uppsale, při níž se utvořila pracovní skupina světových odborníků ze 7 vyspělých zemí. Švédská zemědělská univerzita se stala centrem dalšího výzkumu proto, že byla se svým výzkumem od roku 1960 v předstihu. Práci započala vyhlášením metodických zásad pro zakládání pokusů ve všech spolupracujících zemích. Cílem pokusů bylo získat poznatky o vzniku, šíření a přetrvávání zhutnění účinkem pojezdu mechanismů, o jeho vlivu na rostliny a formulovat limity pro tlaky zatěžující orné půdy. Doporučila zaměřit se přednostně na studium účinku opakovaných přejezdů, na různá zatížení (5 a 10 t na osu, příp. 16 t na tandem – dvě osy), na tlaky 150 a 300 kPa. Specifické poznatky měly být získány na různých půdách, v různých klimatických a výrobních podmínkách, při různé velikosti a montáži kol (zajímavé je, že nedoporučuje flotační pneu). Bylo též doporučeno srovnat kolové a pásové mechanismy, dále při různé rychlosti pojezdu 2 – 5 km.h⁻¹ (příp. zohlednění prokluzu), při různé vlhkosti, intervalu mezi pojezdy, plodině, způsobu zpracování půdy (příp. kypření) a další způsoby napomáhající regeneraci (např. odstranění sněhu pro umožnění hlubšího promrznutí). Z diagnostických metod byly zvláště doporučeny penetrometrie, smykový odpor, infiltrační způsobilost, vzdušnost, resp. propustnost pro vzduch, dále agregátová analýza a výnos.

Pracovní skupina Švédské univerzity tím dala metodický směr dalšímu výzkumu, ke kterému se v období po roce 1980 připojili výzkumníci většiny zemí. První zpráva této pracovní skupiny z roku 1980 došla k dílčím závěrům, že zatížení větší než 6 t na osu (150 kPa) se projeví zhutněním hlouběji než 0,4 m, že působí často depresi výnosu, že zhutnění podorničí (hlubších vrstev) přetrvává s trvalým účinkem na výnos. Současně byly z podkladů členů pracovní skupiny získány poznatky, že velikost podniku, pozemku a způsob hospodaření (maloplošný, velkovýrobní) hrají podstatnou roli, což též se později prokázalo i negativními zkušenostmi z druhotných důsledků socialistické velkovýroby. V zemích se soukromým zemědělstvím (menší pozemky, lehčí mechanismy) je zhutnění půd způsobováno hlavně dopravou po poli, ale dochází také k zvětšování (zvyšování hmotnosti) traktoru (např. Nizozemsko – v roce 1970 traktor 26 kW měl 2,1 t, dnes

traktory 370 kW mají 18 t, škodlivě působí i těžké cisterny). V Dánsku zjistili, že škodlivé zhutnění nastává jen při nadbytku srážek. Tlak působí do hloubky rovnající se čtyřnásobku šířky kola, což bylo prvním varováním před snahou rozkládat větší zatížení těžkých mechanismů na větší kontaktní plochu. Při zvětšení plochy kontaktu může být tlak v podorniči (0,3 – 0,4 m) až dvojnásobný při stejném měrném tlaku na povrchu. Rozdílné poznatky byly uváděny z písčitých a z jílovitých půd. Při každoročním utlačování účinek stoupá, až dojde k rovnováze (7 – 10 let), samovolná regenerace trvá nejméně 4 roky, přitom v jílovitých půdách probíhá pomaleji. Ve Finsku byly konstatovány toutéž pracovní skupinou problémy při pěstování cukrovky na jihu země (snížení výnosu o 10 %, při opakovaném stlačení o 20 – 30 %). Zdvojená kola zlepšila výnosy o 3 – 6 %. Kypření se zkoušelo až do hloubky 0,7 m, při regeneraci zhutnělé půdy pomáhal mráz (Lhotský, 2000). Během posledních desetiletí se stav orné půdy zhoršil z důvodů těžké techniky na farmě (Horn, Fleige, 2003).

2 Cíl práce a metodika

Cílem práce je navrhnout některé způsoby, jak chránit půdu před technogenním zhutňováním, které vzniká při přejezdu zemědělské techniky po půdě v soudobých systémech hospodaření. Doporučit, jak se tomuto zhutnění preventivně vyvarovat, popřípadě navrhnout možná opatření k odstranění technogenního zhutnění. Technogenním zhutněním se rozumí, že půda ztrácí svoji produkční a mimoprodukční funkci.

V této práci jsem popsal jak vývoj technogenního zhutnění, tak postup a možná opatření, jak se zhutnění vyvarovat například za pomoci využívání moderních GPS navigací. Práce obsahuje obrázky a tabulky. Tabulky vyhodnocují přejezdy zemědělských strojů po půdě, rozlišil jsem plochu „souvratě“, která je více zatěžovaná přejezdy zemědělských strojů, než je tomu u plochy „pole“. Navrhnul jsem také, jak je možné technogenní zhutnění půdy odstranit.

3 Literární rešerše

3.1 Technogenní zhutňování půdy

Zhutnění půdy je jedním z hlavních problémů, kterým čelí moderní zemědělství (Hamza, Anderson, 2005). Zvýšení zatěžování podloží způsobuje zhutnění, které je většinou nevratné (Horn, Fleige, 2003). Za hlavní rizika pro půdu a její kvalitu jsou považovány: eroze, úbytek organické hmoty, omezení biologické aktivity půdy, zhutňování (Hůla a kol., 2010).

Půda má podstatně větší odolnost proti tlaku, než pevnost v tahu. Tak lze vysvětlit, že půda odolává přejezdům zemědělských strojů, které mají hmotnost i desítky tun. Následky přejezdů těžké techniky se však projevují. Po jejím stlačení se snižuje pórovitost, která ovlivňuje obsah vzduchu, a tím i mikrobiální život v půdě. Při větší vlhkosti se tlakem velmi ničí drobtovitá struktura půdy (Kumhála a kol., 2007). Skutečnost, že nežádoucí zhutňování půdy zhoršuje podmínky pro tvorbu výnosu plodin, je dostatečně známa. Se zhutňováním půdy jsou však spojena i závažná ekologická rizika, například zvýšený povrchový odtok vody (nebezpečí vodní eroze půdy a kontaminace vodních zdrojů). V situaci, kdy zemědělské podniky musí stále hledat cesty k dosahování co nejnižších nákladů na jednotku produkce, může být užitečné se zamyslet i nad tím, zda v používaných pěstitelských technologiích nezhoršujeme půdní vlastnosti zhutňováním tak, že vyvoláváme následný nárůst nákladů na některé pracovní operace (Kulovaná, 2001). Zhutnění půd je u nás na mnohých stanovištích vážnou příčinou podstatného zhoršení produkční schopnosti půd a omezuje plné využití genetického potenciálu výkonných odrůd plodin a snižuje efektivitu dalších vstupů do výrobního procesu. V ČR je v současné době technogenním zhutněním v různém stupni postiženo zhruba 45 % zemědělského půdního fondu. Přitom důsledky zhutnění půd jsou z celospolečenského hlediska o to vážnější, že se ve většině případů jedná o půdy potenciálně vysoce úrodné, kde se snížení výnosů promítá u nejnákladnějších plodin (Hůla a kol., 2008). Ve zhutněných, neprovzdušněných půdách jsou procesy, probíhající za účasti půdních mikroorganismů, značně omezeny. Biologicky činná půda je podmínkou intenzivního a vyváženého příjmu živin a jejich efektivního využití rostlinami. Je zjištěno, že při nadměrném zhutnění nad hodnotu objemové hmotnosti $1,6 \text{ g.cm}^{-3}$ se již značně snižuje efektivnost minerálního hnojení, zejména

dušíkem (Hůla a kol., 2010). Dnešní značný rozsah zhutnění půd je důsledkem několika desítek let minulého období nevhodné intenzifikace zemědělské výroby včetně neúměrných dávek a nesprávného sortimentu minerálních hnojiv, těžké mechanizace a celé řady dalších faktorů, kdy zároveň nebyla uplatněna kompenzační opatření, především preventivního charakteru. Mezi současné příčiny technogenního zhutňování půdy, které přetrvávají i z minulého období, patří velké množství přejezdů strojů po stanovišti u některých technologií pěstování plodin, zejména při používání starší mechanizace, dále pojíždění půdy stroji bez ohledu na její vlhkost, nepřiměřená hmotnost používané mechanizace (překračování kontaktního tlaku) a nevhodně organizovaná doprava po poli. Jako další příčiny je rovněž nutné uvést ne zcela vhodné způsoby zpracování půdy, nevhodnou strukturu plodin (nízké zastoupení regenerujících a hlubokokořenících plodin), nedostatečné organické hnojení, nesprávná aplikace kejdy a celou řadu dalších faktorů. Řešení této závažné problematiky se v zemědělských podnicích při současném způsobu hospodaření na půdě věnuje malá pozornost (Hůla a kol., 2008).

Zhutnění půdy omezuje produkční a ekologické funkce v rostlinné výrobě

Nadměrné zhutnění (kompakce) půdy způsobuje tyto hlavní nepříznivé jevy:

- zhoršuje půdní prostředí,
- zvyšuje energetickou náročnost při zpracování půdy,
- zhoršuje využití živin rostlinami,
- nepříznivě ovlivňuje výši a jakost produkce plodin.

Nadměrné zhutnění půdy negativně působí na mimoprodukční (ekologickou) funkci půdy tím, že:

- zpomaluje a omezuje infiltraci vody do půdy, čímž se podporuje povrchový odtok a následná vodní eroze půdy se všemi jejími důsledky,
- snižuje retenční (zádržnou) schopnost půdy,
- urychluje a zintenzivňuje se vysychání půdy (výpar vody).

Technogenní zhutnění půdy dále vykazuje i negativní nepřímé vazby (interakce) s technologií pěstování plodin, např. s agrotechnickými termíny některých polních operací

(setí, sázení, kultivační práce, sklizeň) (Javůrek, Vach, 2008). Vliv utužení půdy na výnosy pěstovaných plodin je velmi významný, ale různorodý (Chamen, 2009).

Je prokázáno, že nadměrné zhutnění půdy redukuje rychlost růstu kořenů i tvorbu kořenového vlášení. Ve zhutněných půdách jsou nejvíce postiženy plodiny, které tvoří hospodářský výnos podzemními orgány. Například u cukrovky dochází k větvení bulev, u brambor k deformacím hlíz. U plodin, které vytvářejí hlavní křovový kořen (řepka olejka, sója, slunečnice) se jeho růst omezuje tím, že kořen neproniká zhutnělou vrstvou v podorničí, roste víceméně horizontálně a deformuje se. To znamená, že nadměrné zhutnění půdy má za následek slabší rozvoj kořenového systému pěstovaných plodin, tedy nižší produkci kořenové hmoty, z čehož se dá předpokládat, že v důsledku nižšího příjmu vody a živin z půdy je redukována i produkce nadzemní biomasy. To má negativní vliv na tvorbu výnosu (Hůla a kol., 2010).

3.2 Možnosti ochrany půdy před technogenním zhutňováním

Způsoby omezování zhutnění půdy v soustavě hospodaření, hlavně však v technologii pěstování plodin musejí sehrávat významnou úlohu. Přístupy v omezování zhutnění půdy vyžadují revizi v organizaci půdního fondu a organizaci práce, přehodnocení soustavy hospodaření na půdě a technologických postupů pěstování plodin včetně materiálně technického zabezpečení, ale i vývoj a výrobu nových strojů (Javůrek, Vach, 2008).

3.2.1 Nové možnosti ochrany půdy s využitím satelitní techniky

Satelitní navigace není dosud v České republice na zemědělských strojích příliš rozšířená, ale podle trendu v tomto odvětví se dá očekávat její stále častější využívání. První pokusy o družicové systémy se datují na konec 50. let minulého století u námořnictva USA (Kumhála a kol., 2007).

3.2.1.1 GPS v zemědělství

Systém GPS je založen na činnosti 27 satelitů, které krouží okolo Země po orbitální dráze s velkou vzdáleností od Země. Satelity nepřetržitě vysílají radiový signál, který je možno přijímat speciálními pozemskými přijímači. Přijímač signálu GPS vyžaduje signály nejméně od čtyř satelitů aby bylo možno určit jeho polohu kdekoliv na Zemi (Kumhála a kol., 2007). Moderní vysoce výkonné stroje se vybavují monitory a řídicími jednotkami, které mohou přijímat i data z přijímačů systému družicového určování polohy – Global Position System (GPS). Pomocí nástrojů GIS (Geografických Informačních Systémů) lze klasifikovat technické a výrobní podmínky pozemků (jejich komunikační přístup, velikost a tvar). A právě hodnocení exploatačních parametrů strojů ve vztahu k těmto provozním faktorům je kvalitativním přínosem této metody oproti klasickému časovému snímkování (Hůla a kol., 2004). Dnes se již v mnoha zemědělských podnicích v Čechách a na Moravě denně přesvědčují, že využití GPS systémů od manuálních navigací až po autopiloty přináší významné úspory do ekonomiky zemědělské výroby. To je však teprve začátek. Využití GPS systémů skýtá nevídané možnosti nového řízení celé rostlinné výroby. Zemědělci mohou využívat síť RTK VRS umožňující zemědělským strojům jízdu s přesností +/- 2 až 5 cm (Jirka, 2009).

Obr. 1 - Pomocí navigace se může souprava otáčet s vynecháním jízdy, tím se usnadní najíždění do záběru a celé otáčení se tak usnadní. Odpadne tím skutečnost, že by souprava přejela určité místo na souvrati i několikrát (www.agro-navigace.cz).



Využití přesných autopilotů je jednoznačně intenzifikačním opatřením snižujícím náklady a zvyšujícím výkonnost zemědělské techniky. Zároveň umožňuje plánování a zpřesnění pojezdů, což přináší úspory PHM, omezení zbytečně aplikovaných přípravků a hnojiv a v neposlední řadě i snížení utužení půdy méně častými přejezdy, o čemž se nyní zejména hodně mluví. GPS řízení zemědělských strojů má budoucnost a může pomoci vylepšit ekonomiku rostlinné výroby (Jirka, 2009).

3.2.1.2 Řízený pohyb strojů po pozemcích – CTF (Controlled Traffic Farming)

Přesnost GPS navigace může podpořit rozvoj systému stálých kolejových stop, jako možného opatření proti nežádoucímu zhutnění půdy (Kroulík a kol., 2009). Důležitou předzvěstí variability pozemků jsou rozdíly v půdní struktuře způsobené utužením půdy. Utužení půdy koly zemědělských strojů má širokou škálu negativních dopadů, jako jsou snížení výnosů, velké energetické nároky, špatná příprava seťového lože, snížení infiltrace vody do půdy, nekvalitní odvodnění a ztráty půdní fauny. Protože k utužení dochází většinou náhodně, způsobuje velké rozdíly ve struktuře půdy a tedy zvyšuje variabilitu pozemku. Řízený pohyb strojů řeší tento problém omezením utužené plochy pozemku na co nejmenší hodnotu, která je daná plochou vytvořených permanentních jízdních pruhů. Pro každý druh půdy může mít zpracování půdy v podobě jejího utužení stroji významný vliv na půdní strukturu. Při běžném způsobu obdělávání pozemku je utužení půdy pod koly strojů náhodné, takže způsobuje nežádoucí a významné zvýšení variability v rámci pozemku.

Hlavním cílem tohoto příspěvku je upozornit na efekty utužení půdy způsobené pohybem zemědělských strojů po pozemku a upozornit na výhody, které může přinést technologie řízeného pohybu strojů po pozemku (CTF) (Chamen, 2009). CTF využívá GIS mapy a plány, satelitní snímky, fotografie, výnosové mapy a porovná tyto datové vrstvy k sobě navzájem. CTF má vysokou přesnost při opakovaných přejezdech během následujících zemědělských operacích (Yule, Tullberg, www.ctfsolutions.com.au). Technologie CTF je založena na sjednocení stop zemědělských strojů a šířek jejich záběrů při používání automatického navádění tak, aby se stroje pohybovaly v rámci pozemku každý rok po stejných trasách. Co dokáží pěstitelé jen těžko ocenit je obrovský rozdíl mezi půdou, která byla poježděna, i když třeba ne často, a mezi tou, která poježděna nikdy nebyla. Nepoježděná plocha je výjimkou, u většiny technologií je každoročně přejeto téměř 100 %

plochy a zemědělci mají málo kdy možnost se setkat s něčím jiným, než je degradovaná půda. (Chamen, 2009)

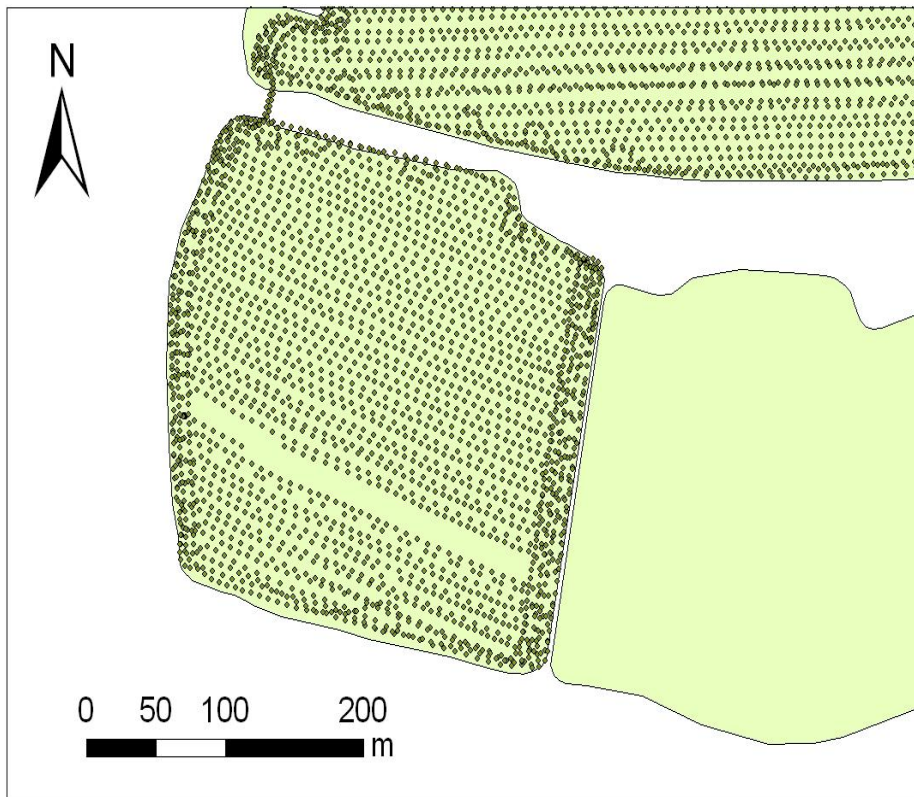
Obr. 2 - Traktor používající systém CTF, má větší rozchod kol (stejný jako sklízecí mlátička). Používá pneumatiky užší s větším průměrem (www.fatcow.com.au).



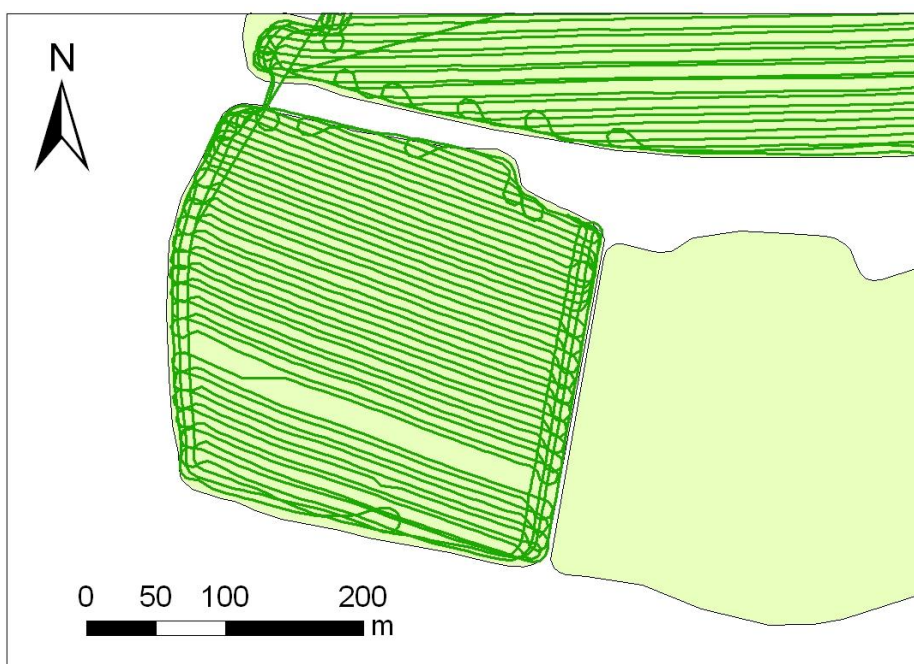
3.2.1.3 Metoda vyhodnocení podílu zhutněné plochy ze záznamu provozního monitoringu strojů

V metodě monitorování se využívá družicový systém určování geografické polohy GPS a systém GMS pro přenos naměřených dat. Vyhodnocení těchto záznamů bylo rozšířeno o analýzu podílu zhutnělé plochy při provedené operaci sledovanou strojní soupravou (Kovaříček, Hůla, Vlášková, 2009). Záznam pohybu strojů se vyhodnotí nad digitální mapou pozemku sledované zájmové oblasti (Kovaříček, 2001). Parametry – zpracovaná plocha pozemku, průměrný pracovní záběr a ujetá dráha na pozemku, mohou být využity i pro stanovení ukazatele podílu plochy a míry zhutnění půdy strojní soupravou při pracovní operaci (Kovaříček, Hůla, Vlášková, 2009).

Obr. 3 - Pole o výměře 8,24ha. Pro záznam a monitoring přejezdů traktoru Case 330 při podmítce (pracovní záběr 6 m), byl použit DGPS přijímač s intervalem ukládání souřadnic bodů po 2 s.



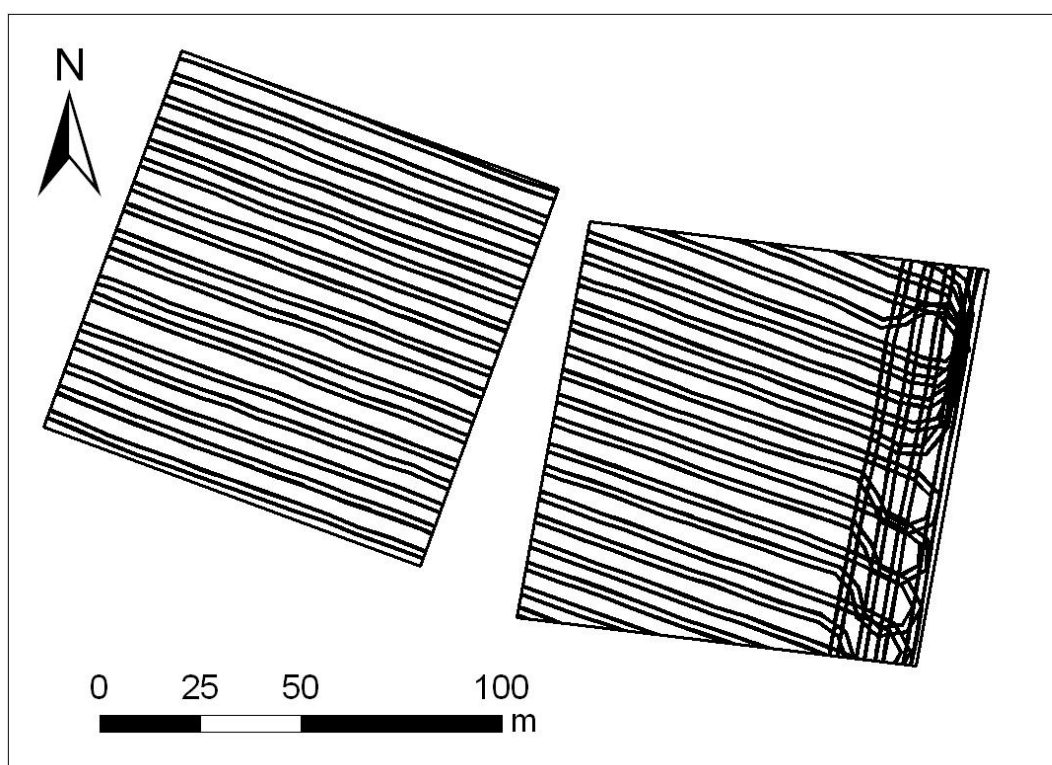
Obr. 4 - Trajektorie přejezdů trakturu Case při podmítce po pozemku, která je vygenerovaná z bodů na obrázku 3.



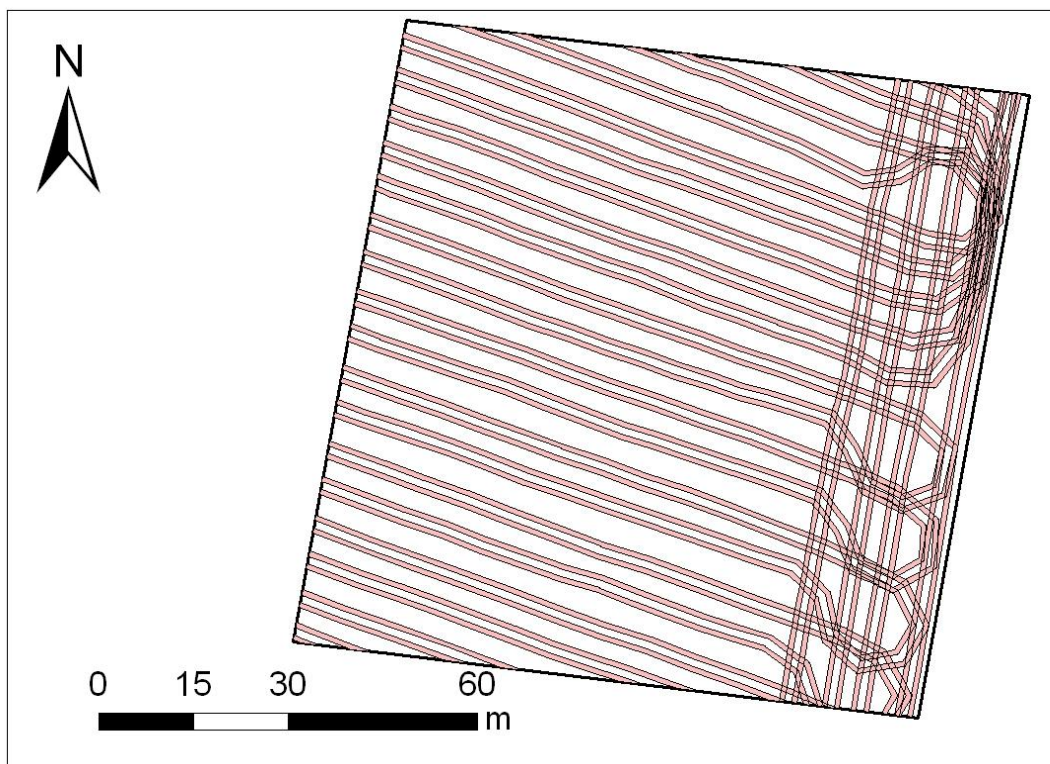
Obr. 5 - Z předchozích obrázku byly vybrány dvě plochy o výměře 1 ha, a to POLE a SOUVRAŤ.



Obr. 6 - Černé čáry znázorňují plochy přejeté pneumatikami traktoru.



Obr. 7 - Demonstrace způsobů otáčení – kumulace přejezdů



Tab. 1 - Snížení produkce některých plodin vlivem nadměrného zhutnění půdy na souvratích (Javůrek, Vach, 2008).

Ukazatel	Obilniny	Řepka olejka	Cukrovka	Brambory
Osevní plocha (přibližně v tis. ha)	1 600	290	65	36
Průměrný výnos (t.ha ⁻¹)	4,6	2,8	49,8	28,1
Přibližný podíl souvratí z pěstitelské plochy (%)	10	10	8	9
Hrubá výměra souvratí pěstované plodiny (v tis. ha)	160	29	5,2	3,2
Odhadované výnosy plodin na souvratích (t.ha ⁻¹)	2,6	1,8	20	14
Možná ztráta produkce nižšími výnosy na souvratích (v tis. t)	336	29	155	45
% celkové produkce	4,6	3,6	4,8	4,5

Struktura půdy na souvratích je nejvíce narušena nadměrným zhutněním. Nepříznivý fyzikální stav se dále zhoršuje horší zpracovatelností a zvýšenou vlhkostí v porovnání se

zbytkem honu. Na souvratích je nutné volit hlubší zpracování půdy, hlavně orbu a hroudy na podzim částečně rozdrobit. Všude tam, kde škodlivé zhutnění zasáhlo i podorničí, případně spodinu, je nutné agromeliorační kypření tak, aby byla rozrušena celá zhutnělá vrstva. Důležité je přitom dostatečné organické hnojení a jeli třeba i vápnění (Lhotský, 2000).

Tabulka 2 a 3 vyhodnocuje přejezdy z předchozích obrázků (3-7) podmínka – pracovní záběr 6 m.

Tab. 2 - POLE, zde se jedná o jízdy po poli, kde žádná část není přejeta soupravou více jak jedenkrát. Je zde procenticky vyjádřeno, kolik procent ze 100 % bylo přejetu.

plocha přejetá	(%)
celkem	27,68
plocha přejetá opakovaně	0

Tab. 3 - SOUVRAŤ, zde je plocha přejetá pneumatikami větší, než v případě Tab. 2 a to i vícekrát, z důvodů otáčení soupravy na konci pozemku.

přejetá plocha	(%)
celkem	32,892
jedenkrát	30,2
dvakrát	2,29
tříkrát	0,328
čtyřikrát	0,07
pětkrát	0,004

Tabulka 4 a 5 jsou hodnoty z podmínky při pracovním záběru 8 m.

Tab. 4 - POLE

plocha přejetá	(%)
celkem	22,96
opakovaně	0

Tab. 5 - SOUVRAŤ

plocha přejetá	(%)
celkem	26,166
jedenkrát	24,793
dvakrát	1,334
tříkrát	0,039

Tab. 6 - Hodnoty orby o pracovním záběru 4,5 m na souvrati.

plocha přejetá	(%)
celkem	57,81
jedenkrát	42,23
dvakrát	11,28
tříkrát	3,02
čtyřikrát	1,04
pětkrát	0,22
šestkrát	0,03

Tabulka 7 a 8 jsou hodnoty sklizně od sklízecí mlátičky při pracovní záběru 7,5 m.

Tab. 7 - POLE

plocha přejetá	(%)
celkem	21,666
opakovaně	0

Tab. 8 - SOUVRAŤ

plocha přejetá	(%)
celkem	24,137
jedenkrát	23,374
dvakrát	0,748
tříkrát	0,015

3.2.2 Konstrukční řešení zemědělské techniky

Technická a konstrukční řešení strojů s cílem snížit kontaktní tlak na půdu (styčné plochy pojezdového ústrojí, limitní zatížení náprav atd.) se staly předmětem rozsáhlého výzkumu v 80. letech minulého století. Studovala se hlavně závislost deformace půdy (ornice i podorničí) na kontaktním tlaku strojů a únosnosti půdy. Sledování ukázala, že nestačí definovat pouze největší přípustné hodnoty měřených tlaků na půdu, ale je nutné stanovit i limitní zatížení náprav strojů (6 t jako mezní hmotnost na 1 nápravu).

Řešení této problematiky v souvislosti se zhutňováním půdy se zaměřilo hlavně na:

- nové konstrukce pneumatik,
- snižování hmotnosti strojů.

Dříve, než se dostaly do výroby nové konstrukce pneumatik, doporučovalo se pro snížení zhutnění půdy kontaktními tlaky používat zdvojených kol, klecových kol, případně kombinaci předních pneumatik s opryžovanými pásy zadního pohonu traktoru. Také se osvědčuje řízené podhušťování pneumatik strojů a návěsů při jízdě po poli.

V současné době však převládají nové konstrukce nízkotlakých pneumatik. Tyto širokoprofilové, nízkotlaké pneumatiky jsou šetrnější k půdě tím, že snižují utužování při pojezdech strojů po poli, a proto jsou již těmito pneumatikami vybavovány sklizeče plodin především se zásobníkem produkce. U traktorů a dalších strojů se používají radiální pneumatiky, které v porovnání s klasickými diagonálními vykazují nižší zhutňování půdy. Lze říci, že výrobci strojů již uplatňují převážně nové konstrukce pneumatik za účelem snížení kontaktních tlaků strojů na půdní profil.

U dřívějších konstrukcí zemědělských strojů, především sklizeču, se zvyšování jejich výkonu neobešlo bez zvýšení jejich hmotnosti, což mělo za následek překračování limitu kontaktních tlaků. Také metody sklizně plodin, kdy sklizený produkt sklizňové stroje ukládaly do současně pojíždějících dopravních souprav s nevhodnými pneumatikami s nastavovanými úložnými prostory, přispěly významnou měrou v kombinaci s druhem půdy a její vlhkosti k nadměrnému zhutňování půd. Zejména při sklizni cukrovky při vyšší vlhkosti půdy docházelo ke značnému zhutňování půdy do velkých hloubek podorničí.

V současné době již došlo k výrazným změnám sklizňových technologií a konstrukci sklizňových strojů (používání strojů se zásobníky, opatřených nízkotlakými pneumatikami), což snižuje negativní vliv mechanizace, pojíždění po poli, na půdu. Také využívání strojů s aktivně poháněnými pracovními nástroji, kde se převážná část výkonu

motoru přenáší přes vývodový hřídel traktoru, snižuje nároky na trakční vlastnosti traktoru a tím i na jejich hmotnost.

Využití opatření tohoto druhu k omezování zhutnění půd závisí především na strojním parku jednotlivých zemědělských podniků, resp. jejich vybavení moderní zemědělskou technikou. Současná nabídka zemědělské techniky na trhu pro rostlinou výrobu většinou přispívá k redukci kontaktních tlaků na půdu.

Při obnově strojního parku by zemědělské podniky měly současně přehodnotit technologické postupy pěstování plodin s ohledem na stanovištní podmínky (druh půdy atd.), které mají souvislost i s redukcí půdního zhutnění (Javůrek, Vach, 2008).

3.2.3 Doba vstupu strojů na pozemek

Na zhutnění půdy má negativní vliv počet přejezdů při nadměrném obsahu vlhkosti v půdě. Pokud chceme zhutnění minimalizovat, je třeba jí obdělávat při správné půdní vlhkosti (Hamza, Anderson, 2005). Plochy pozemku, které byly zatíženy velkými zátěžemi pod koly strojů v nepříznivých vlhkostních podmínkách ukazují potřebu větší tahové síly při orbě nebo zpracování půdy, a výsledkem je hrudovité seťové lože, které vyžaduje další čas a palivo na rozbití hrud tak, aby bylo dobře připraveno (Chamen a kol., 1992, Chamen a Longstaff, 1995). Tato situace má mnoho důsledků, od nedodržení agrotechnických lhůt přes špatné a nerovnoměrné vzcházení v důsledku ztráty vláhy a špatného kontaktu semen s půdou (Chamen, 2009).

Nízkou odolnost vůči tlakům má kyprá a vlhká půda při jarním předseťovém zpracování půdy a setí jařin, kdy přejezdy mohou způsobit výrazné zhutnění ornice i podorničí, které pak ovlivňuje plodiny po celou vegetační dobu. Dalším rizikovým obdobím jsou podzimní sklizňové práce, kdy především dopravní prostředky půdu výrazně zhutňují - stupeň zhutnění závisí na půdní vlhkosti. Jedním z nepříznivých důsledků zhutnění půdy je zvýšení energetické náročnosti následného zpracování půdy a zhoršení jeho kvality (Kulovaná, 2001).

Vstupy strojů na pozemky při zakládání porostu plodin zejména na jaře by se měly, vzhledem k tomu, že je ornice tzv. „zralá“, tj. má přiměřenou vlhkost a dobrou únosnost. Předčasné vstupy strojů v jarním období na pozemky nejenže značně zhutňují půdu a poškozují její strukturu, ale jsou i z hlediska nároků plodin nevhodné. Jedná se o tzv. „zamazání osiva“, kdy v kolejových řádcích dochází ke žloutnutí rostlin vlivem nedostatku

vzduchu v půdě a k dalším poruchám růstu v důsledku nepříznivých půdních vlastností. Nápravná opatření na zhutnělé půdě v tomto období jsou prakticky nemožná.

Vstupy strojů do porostu plodin během vegetace vyžadují rozvahu vzhledem ke stavu půdy i porostu plodin a zároveň se zřetelem k uplatňovaným agrotechnickým opatřením, tj. přihnojování a ochraně rostlin v požadovaném termínu. Poškozené nebo zničené rostliny již velmi obtížně nahrazujeme (omezená regenerace) a škody vzniklé na půdním prostředí zhutněním při jízdách strojů v porostech plodin se obtížně eliminují. V některých letech při sklizni plodin za vlhkého počasí dochází při vstupech především starších sklizňových strojů i k hlubokým stopám s následným zhutněním podorničních vrstev. Jestliže je vlhkost půdy na úrovni, kdy se může objevit utužení půdy, je základním efektem snížení porozity půdy a to především u velkých pórů, které napomáhají provzdušnění a odvodu vody (Ankeny a kol., 1990, Blackwell a kol., 1985, Chamen a Longstaff, 1995, McAffe a kol., 1989, Boone a Veen, 1994). V tomto směru je třeba maximálně využívat jízdnic drah pro jízdy strojů v porostech plodin.

Hlavní možnosti zemědělským podnikům jak usměrňovat a optimalizovat dobu vstupů strojů na pozemky, s ohledem na omezování zhutňování půdy, je dostatečné vybavení vhodnými, výkonnými stroji, vysoká operativnost při zajišťování jednotlivých pracovních operací v souladu s půdními podmínkami, požadavky agrotechniky pěstovaných plodin v souladu s průběhem počasí podle předpokládaného vývoje.

V období po sklizni zrnin a dalších semenných plodin při vstupech strojů na pozemek již nedochází k výraznému zhutnění půdy, kdy je většinou nízká vlhkost půdy i slehlejší ornice a kolejové stopy je možné odstranit následným zpracováním půdy. Proto je třeba tohoto období využít k uplatnění pěstitelských opatření (hnojení P, K minerálními hnojivy, vápnění, aplikace kejdy apod.), která jsou technologicky nutná.

Také přesun některých operací přípravy půdy z jara do podzimu u plodin setých, nebo sázených na jaře, např. urovnání ornice, má výhodu v tom, že vzniklé zhutnění půdy ve stopách po přejezdech strojů na podzim může být v zásadě napraveno vlivem objemových změn půdy při jejím promrzání v zimním období. Často však vzhledem k požadovaným agrotechnickým lhůtám pro jednotlivé plodiny, k termínům aplikace agrochemikálií a stavu půdy (úrodnost, zralost) je nutno v tomto směru zvolit přijatelný kompromis ve vztahu plodina a půda. Velmi významnou úlohu zde rovněž sehrává akceschopnost zemědělských podniků maximálně využít příznivých půdních podmínek ke vstupu strojů na pozemky v optimální dobu (Javůrek, Vach, 2008).

3.2.4 Vliv opakovaných přejezdů po půdě na stupeň zhutnění půdy

V současnosti využívané systémy hospodaření na půdě jsou spojeny s vedlejšími negativními vlivy na půdní prostředí, které mohou poškozovat jak produkční, tak mimoprodukční funkce půd. Závažným, výrazně negativním jevem je zhutňování půdy. Protože hlavní příčinou zhutňování půdy je vystavení půdy působení pojezdových ústrojí strojů, používáme v této souvislosti termín „technogenní zhutňování půdy“, na rozdíl od zhutnění, jehož příčinou jsou pedogenetické procesy – například ucpávání pórů v půdě vlivem migrace jemných minerálních částic (Lhotský, 2000). V české terminologii bychom měli odlišovat termín „zhutňování půdy“ ve smyslu nežádoucího jevu od „utužování půdy“ (cílený agrotechnický zásah – válení). Hlavními příčinami technogenního zhutňování půd je působení tlaků pojezdových ústrojí na půdu a smykové namáhání půdy, ke kterému dochází při prokluzu kol, případně pásů mobilních energetických prostředků i samojízdných strojů. Ke zhutňování půdy přispívají i některé pracovní operace. Například při orbě radličným pluhem, především při každoroční orbě do stejné hloubky, se může působení pluhových čepelí podílet na vytvoření tzv. podorniční podlahy, zhutnělé vrstvy pod dnem brázd. Zhutnění půdy se nepříznivě projevuje na výnosu plodin, zvláště závažné jsou však důsledky ekologické. Snížená schopnost zhutnělé půdy přijímat vodu při intenzivních srážkách vede ke zvýšenému povrchovému odtoku srážkové vody a ke snížené akumulaci vody v půdě. Zhutnění, zvláště na lehčích půdách zvyšuje riziko poškozování půd vodní erozí. Dalším nepříznivým důsledkem zhutnění půd je nárůst energetické náročnosti jejich zpracování a zhoršení kvality zpracování, což se nepříznivě projevuje při vcházení následných plodin.

Procesy technogenního zhutňování půd byly v nedávné minulosti intenzivně studovány. Významná je skutečnost, že určité zatížení půdy může mít odlišnou odezvu v půdě na jednom stanovišti v průběhu roku, což závisí především na momentální vlhkosti půdy a stupni nakypření nebo utužení půdy. Již v období 1982 – 1990 byly hledány možnosti uplatnění systému trvalých nebo dočasných jízdních stop, jedním z uvažovaných perspektivních řešení byl tzv. agrotechnický most. Matthews předpokládal, že při vyloučení vlivu pojezdových ústrojí na půdu by poklesla potřeba energie na zpracování půdy o 50 %, při kombinaci minimalizačních technologií zpracování půdy a absence přejezdů po půdě by se mohla energetická náročnost zpracování půdy snížit ještě výrazněji (na částech pozemků mimo vymezené jízdní stopy). V minulosti však nebylo dostupné vybavení, které by umožnilo uskutečnit systém trvalých jízdních stop –

neexistovala spolehlivá a dostatečně přesná navigace strojních souprav při pohybu po pozemcích. V současné době je považován za perspektivní systém, který vede k omezení zhutnění půdy cestou důsledného oddělení jízdnic stop mechanizačních prostředků od plochy, na kterou pojezdová ústrojí nepůsobí. Na rozdíl od minulosti jsou nyní k dispozici navigační systémy s přesností, která umožňuje řídit jízdy strojních souprav například při navazování pracovních záběrů strojů při setí a dalších pracovních operacích. Dosahovaná přesnost GPS navigace už umožňuje využití v systémech řízených přejezdů po pozemcích, pro které se používá označení CTF – Controlled Traffic Farming.

McPhee et. al. (1995) uvádějí, že až 30 % výkonu motorů traktorů je absorbováno do půdy ve formě jejího zhutnění, což významně navyšuje potřebu tahové síly při zpracování půdy. Oddělení jízdnic stop od plochy bez jejich působení na půdu by tedy bylo účinným prostředkem ke snížení energetické náročnosti zpracování půdy. Tullberg (2000) uvádí nárůst energetické náročnosti zpracování půdy o 25 až 40 % v důsledku předchozích přejezdů.

Při uplatnění stálých kolejových stop může být významná úspora času a materiálových vstupů ve výši 10 až 20 %. Stálé jízdnic stopy mohou umožnit dřívější vstup techniky na pozemky po deštích Chamen a kol., 2003). Lamers a kol., (1986), Gerik a kol., (1987), Wesley a Smith (1991) uvádějí výhodu systému s trvalými neosévanými jízdnic stopami – pro pohyb strojů po pozemcích vyhovuje pevná podložka, na které se docílí nižší valivý odpor a je možné vyšší zatížení než při přejezdech kypřejší půdy. Požadavky pro jízdnic stopy jsou tedy odlišné od požadavků na fyzikální vlastnosti půdy v zóně pro pěstované plodiny.

Kromě příznivého vlivu soustředění přejezdů do trvalých stop na výnos plodin je spatřován přínos řízených přejezdů i v oblasti vodního režimu půd. Li a kol. (2004) zjistili, že odtok vody z pozemků, kde byl uplatněn systém stálých kolejových stop, byl o 36 % nižší než na pozemcích se standardními přejezdy. Důležitá je orientace kolejových stop na svažitých pozemcích.

Argumentem pro uplatnění systému s řízenými přejezdy po pozemcích (CTF) jsou i některé níže uvedené výsledky výzkumu vlivu strojů na půdní prostředí (Hůla, Kroulík, Kovaříček, 2009).

Jednou z možností, jak omezit nežádoucí zhutnění půd, je soustředění přejezdů po pozemcích do dočasných nebo trvalých kolejových stop. Do nich by mělo být soustředěno maximum přejezdů, přičemž produkční plocha by měla být ušetřena stačování

pojezdovými ústrojími. V trvalých jízdách je navíc možné dosahovat nižších hodnot valivého odporu kol. S rozvojem možností zaměřování polohy v systému GPS je reálné navigovat strojní soupravy při jízdách po pozemcích s dostatečnou přesností. Předpokládá se, že kolejové stopy budou udržovány nezpracovávané a neosévané z důvodu lepší sjízdnosti.

Systém trvalých jízdách stop na pozemcích CTF se již začíná postupně uplatňovat. Rozmach tohoto způsobu obhospodařování zemědělské půdy byl způsoben především rychlým vývojem přesných naváděcích systémů GPS a vybudováním referenčních stanic pro zpřesnění signálu. Uplatnění systému trvalých jízdách stop v praxi je však dosud spojeno s řadou problémů. Vyhovujícím způsobem je vyřešení přímé navádění strojů do paralelních jízd. Díky korekcím využívaným právě ze sítí referenčních stanic je možné vést pracovní soupravy v řádcích s centimetrovou přesností. Důležité a technicky náročné je sladění rozchodu náprav a pracovních záběrů strojů. Rozchod kol by měl být přizpůsoben strojům pro sklizeň. Traktory používané v systému trvalých jízdách stop jsou vybaveny speciálními nástavci na obou nápravách, aby se docílilo požadovaného rozchodu kol, který odpovídá rozchodu kol samojízdých sklízečů. Technické řešení stejného rozchodu pneumatik nebo pásů by mohlo představovat hlavní překážku. Na druhou stranu je možné uplatňovat uvedený systém s kombinací rozdílného rozchodu kol, ve kterém především sklízeče představují jedinou výjimku v porovnání s traktory a ostatními stroji. (Hůla a kol., 2008)

3.2.5 Revize uspořádání půdního fondu

Jedná se o restrukturalizaci využívání a uspořádání půdního fondu. Půdně ekologické aspekty uspořádání půdního fondu jsou důležitým předpokladem racionálního využívání zdrojů půdy a omezování jejího zhutnění. Správná koncepce uspořádání honů a hospodaření ovlivňují i ráz krajiny jako celku.

I na poměrně půdně homogenním území, kde mohou být i velké hony, je nutno respektovat zásady biologické ochrany nejen půdy (vodní i větrná eroze, apod.), ale i samotných porostů plodin (biologická likvidace škůdců) i živočišného společenstva (různé nároky jednotlivých druhů na životní podmínky). Málo se také respektují faktory mikroklimatu. Z toho vyplývá, že i struktura plodin má vliv na velikost pozemku a do jisté míry i na zhutnění půdy.

Z hlediska zhutnění půdy má výrazný vliv především půdní typ a druh půdy. Rovněž reliéf terénu ovlivňuje stupeň podorničního zhutnění půdy. Podle toho je třeba volit velikost a tvar honu. Z poznatků v SRN vyplývá, že ekonomické přínosy jsou na pozemcích při velikostech nad 20 ha (i v rovinném území) již nepatrné. Významnou roli sehrává soulad střední délky pozemku a kapacity zásobníku produkce u sklízeců. Za předpokladu dopravní přístupnosti se střední délka pozemku maximálně do 1000 m ukazuje jako přijatelný kompromis. S tím souvisí budování provizorních „polních cest“ a vjezdů na pozemky z veřejných komunikací. Nadměrné utužení půdy pod provizorními polními cestami by mělo být po skončení jejich využívání eliminováno melioračními hloubkovými kypřiči. (Javůrek, Vach, 2008)

3.2.6 Omezování pojezdů strojů po poli, spojování pracovních operací

Omezování pojezdů strojů po poli a spojování pracovních operací do jednoho pracovního postupu je další možností omezování zhutnění půdy. Tabulka 9 uvádí koeficienty přejezdu strojů po poli, které jsou dány součtem všech kolejových stop strojů při pracovních operacích v rámci pěstební technologie plodiny v porovnání k pěstitelské ploše. Z této tabulky vyplývá, že podle tehdejších pěstitelských technologií plodin byla nejvíce půda zhutňována pojezdy strojů u okopanin a víceletých pícnin s progresivním nárůstem během sledovaných let. Z údajů je jednoznačně patrné, jaký význam má neodkladné řešení problematiky nadměrného zhutnění půd v našem zemědělství.

Tab. 9 - Koeficient přejezdů strojů po poli u některých plodin během jejich technologie pěstování.

autor	obilniny	cukrovka	brambory	vojtěška
Černý V. (1967)	2,6	3,5	3,8	4,2
Škoda V. (1988)	2,8	4,3	4,4	4,4

Při omezování pojezdů strojů po polích je účelné soustředit se především na uplatňování těchto opatření:

- spojování pracovních operací s cílem omezení četností jízd strojů po pozemcích,
- soustředování přejezdů po pozemcích do jízdnic drah,
- zavádění tzv. pravidel pohybu strojů po poli.

Spojování pracovních operací omezujících četnost jízd po pozemcích - nejvíce se naskýtá v průběhu přípravy půdy a setí. V současné době je již k dispozici celá řada strojů nové generace, umožňujících zpracovat půdu a kvalitně připravit set'ové lůžko včetně zasetí plodiny v rámci jediné pracovní operace. Spojování pracovních operací a volba vhodných strojů značně závisí na tom, zda k založení porostu zvolíme klasický, konvenční způsob zpracování s orbou, nebo některou z variant půdoochranné technologie zakládání porostů, např. využití secích kombinátorů, nebo kombinaci strojů pro spojení zpracování půdy a setí do jedné ucelené technologie založení porostu. Tyto nové technologie zakládání porostů dbají především na to, aby se snižovalo zhutnění půdy hlavně na jaře, kdy je půda ke zhutnění velmi citlivá. Kromě zkvalitnění pracovních operací při zakládání porostů plodin (lepší set'ové lůžko), dochází zároveň i k úspoře pohonných hmot a pracovního času.

Soustředování přejezdů strojů na pozemcích do jízdnic drah tzv. „kolejových meziřádků“ v době vegetace plodin. Využívání kolejových meziřádků v porostech úzkořádkových i širokořádkových plodin znamená nezanedbatelný přínos k ochraně půdy před zhutňováním. Kromě toho, že se uchrání produkční plocha půdy před neorganizovanými pojezdy strojů v porostech plodin od dalšího zhutňování, zároveň se omezí poškozování nadzemní i kořenové části rostlin. Větší četnost kolejových stop v porostech plodin, zejména na svahovitých pozemcích, zvyšuje možnost poškozování půdy vodní erozí a vlivem utužení půdy po kolech strojů dochází k dalším snížování výnosů plodin. Kolejové meziřádky v porostech plodin zlepšují i kvalitu ošetření agrochemikáliemi, zamezují překrývání či vynechání aplikace použitého hnojiva či pesticidního přípravku na ošetřovaných plochách. V období po zpracování půdy do vzejití porostu plodin je vliv kolejových stop pojezdy strojů na utužení půdy závislý na vlhkosti půdy. Na podzim, při zakládání porostů je vliv kolejových stop strojů na zhutnění půdy relativně menší, nebo i v některých případech pozitivní (utužování půdy po zasetí ozimých obilnin pro lepší vzejití porostu). Vzniklé zhutnění ornice koly strojů je většinou během zimy vlivem mrazu odstraněno.

Tab. 10 - Výnosy zrna pšenice ozimé v místě přejezdu rozmetadlem hnojiv (10 m záběr) v závislosti na stlačení půdy

Rok	Tlak ve stopě kola (MPa)	Vlhkost půdy (%)	Výnos zrna ($t \cdot ha^{-1}$)	Ztráty výnosů	
				($t \cdot ha^{-1}$)	(%)
1981	Bez přejezdu	20,5	4,28	-	100,0
	0,18	18,7	3,11	1,17	72,7
1982	Bez přejezdu	11,0	4,16	-	100,0
	0,18	10,2	3,12	1,04	75,0
	0,27	11,5	2,44	1,72	57,6

Tab. 11 - Vliv utužení půdy pojezdy strojů na výnos bulev cukrovky

Varianta	1977	1978	1979	Průměr	
				($t \cdot ha^{-1}$)	(%)
Bez utužení	50,4	50,2	55,9	52,17	100
Utužení pojezdem	46,2	44,2	46,6	45,66	87,5

(Javůrek, Vach, 2008)

3.2.7 Sklizeň a transport produktů

Omezení rozsahu a intenzity zhutňování půdy při sklizni a technologické dopravě rostlinné produkce je rovněž závažné. V minulém období docházelo v tomto směru ke značnému zhutňování půdy zejména v podorniční vrstvě vlivem těžké sklízecí mechanizace pro odvoz produkce, tj. nákladními auty s vysokými kontaktními tlaky na půdu mnohdy při její značné vlhkosti, jehož negativní následky na některých stanovištích přetrvávají až do současné doby (viz Situační a výhledová zpráva PŮDA MZe ČR z r.1999). I současné době je třeba, aby zemědělské podniky věnovaly této problematice dostatečnou pozornost, neboť negativní působení dopravních prostředků na zhutnění půdy je stále aktuální, zejména při dopravě sklizených produktů.

Jednou z možností řešení je zahrnutí přejezdů sklízečů a dopravních prostředků do systému řízených pojezdů po pozemku. V tomto směru je třeba stanovit a dodržovat tzv. „pravidla pohybů strojů a dopravních prostředků po poli“. Při stanovení zásad pohybů strojů a dopravních prostředků po poli doporučujeme vycházet z těchto principů:

- v opakovaných jízdách mechanizace po poli již ve vytvořených stopách, tj. soustředit pojezdy do stejných stop,
- při jízdě strojů a dopravních prostředků po poli volit kolmý, nejkratší směr k nejbližší souvratí (nepřejíždět pozemek v nahodilých směrech). To platí např. v případě vyprazdňování zrna ze zásobníku sklízecích mlátiček do přepravních prostředků. Při sklizni silážních hmot najíždět a odjíždět od sklízecích strojů kolmo v souvratí,
- na dlouhých honech zřizovat tzv. dočasné (přístupové) cesty pro odvoz sklizené produkce dopravními prostředky.

Místo pro zakládání těchto dočasných cest volit podle objemu zásobníku sklizňových strojů a zde je vyprazdňovat do přepravních prostředků, např. uprostřed honu.

Diferencovaný dopravní systém předpokládá překládání sklizené produkce na okraji pozemků. Souvratě tedy budou místem intenzivních pojezdů a manévrování včetně přejezdů těžkých automobilových souprav. Podobný režim platí i na dočasně zřízených cestách. Tyto dočasné polní cesty ihned po sklizni plodiny rekultivovat, především podorniční vrstvy hloubkovými kypřiči.

Diferencovaným dopravním systémem lze tak při relativně organizačně náročných sklizňových pracích s vysokými nároky na dopravu po poli přispět těmito zásadami k omezení půdního zhutnění. Při realizaci těchto „pravidel pohybu strojů a dopravních prostředků po poli“ je však nezbytné, aby vedení zemědělských podniků vytvořilo potřebné organizační zajištění a traktoristé, řidiči strojů a dopravních prostředků svojí ukázněností a zodpovědností tato pravidla dodržovali (Javůrek, Vach, 2008).

3.2.8 Minimalizační a půdoochranné způsoby zpracování půdy

Hlavním úkolem ochrany půdy při zpracování je omezení destrukce půdní struktury zhutněním a ochrana půdy před účinky eroze (Lhotský, 2000).

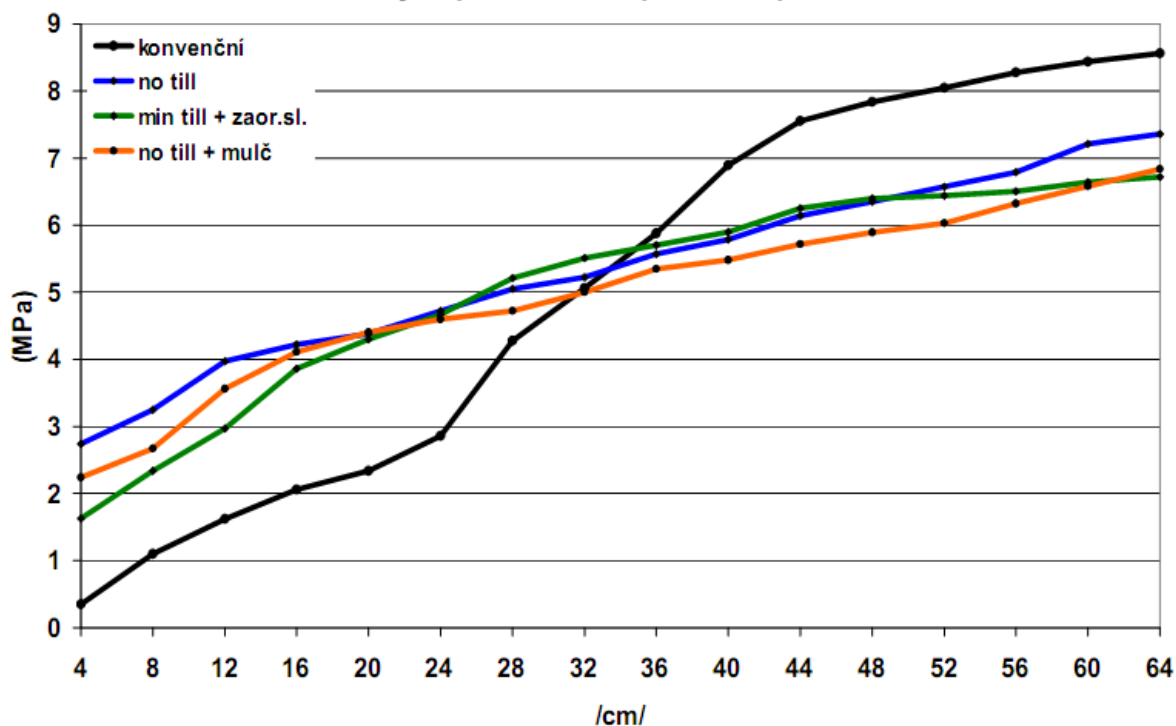
Eroze je obecně způsobena špatnou infiltrací vody, která znamená, že více vody odtéká pryč a odnáší s sebou půdu. Někteří autoři zdokumentovali zvýšený erozní potenciál půdy v důsledku špatné infiltrace. Wang et al., (2003) měřili pětinasobné zvýšení eroze na polích

obdělávaných orebně a téměř třinásobné zvýšení eroze na polích obdělávaných bezorebně ve srovnání s pozemky obdělávanými technologií přímého výsevu. to mělo významný vliv na ztráty suspendovaných sedimentů (dobrá půda a částičky hnojiv), které byly u orebné technologie také pětikrát větší (Chamen, 2009). Výsledky výzkumu ukazují, že opakované každoroční používání orby vede obvykle k vytváření zhutnělé podorniční vrstvy. Naopak, při dlouhodobějším opakovaném používání minimalizačních technologií dochází ke snižování zhutnění půdy v podorniční vrstvě.

Minimalizační a zejména půdoochranné technologie zpracování půdy jsou jedním z možných přínosů k omezení nežádoucího zhutňování půdy. Při správném využívání těchto technologií lze očekávat větší únosnost půdy při přejezdech mechanizačních prostředků po pozemcích, což spolu s dalšími opatřeními může přispět k ochraně půdní struktury. Vychází se přitom ze skutečnosti, že intenzivně nakypřená půda do větší hloubky, zejména orbou s překlápěním skýv, je velmi náchylná k opětovnému zhutnění při přejíždění strojů. Cílem by mělo být dosažení stabilní a odolné strukturní stavby ornice i podorničí, což souvisí s péčí o půdní prostředí v půdoochranných systémech. Půdní zhutnění se posuzuje na základě zjištěného odporu půdy proti pronikání kužele penetrometru. Při měření se vychází z toho, že penetrometrický odpor je přímo úměrný objemové hmotnosti a nepřímo úměrný pórovitosti půdy (Hůla a kol., 2008).

Nejběžnější přímou metodou pro měření utužení půdy je měření objemové hmotnosti vyjádřené v suchém stavu, zatímco nejběžnější nepřímou metodou je měření půdního penetračního odporu. Podle zjištěného penetračního odporu můžeme dále usuzovat například na odpor půdy proti vnikání pracovního nástroje, stupeň obtížnosti kypření nebo pevnost půdních makroagregátů.

Graf č.1: PENETROMETRICKÝ ODPOR PŮDY V ZÁVISLOSTI NA HLOUBCE A INTENZITĚ ZPRACOVÁNÍ
Ruzyně podzim 2007 po ozimé pšenici



Obr. 8 - Fotografie vlevo je přímé setí kukuřice po obilnině. Fotografie vpravo demonstruje přímé setí kukuřice po kukuřici do nezpracované půdy, kde zůstávají posklizňové zbytky na povrchu půdy (corn.agronomy.wisc.edu).



3.3 Odstraňování zhutnění půdy

Na půdách, kde toto zhutnění zasahuje do podorniční vrstvy, je nutno tento nepříznivý fyzikální stav odstranit především mechanickým zásahem. Podle hloubky a míry škodlivosti zjištěného zhutnění půdy se uplatňují tyto mechanické zásahy:

- dlátování pro nakypření zhutnělé podorniční vrstvy půdy do hloubky 0,45 m,
- hloubkové meliorační kypření zhutnělých podorničních vrstev přesahujících hloubku 0,45 m,
- následná stabilizující opatření nakypřené zhutnělé půdy.

Hloubka kypření je dána hloubkou zjištěného škodlivého zhutnění (Javůrek, Vach, 2008). Při hlubším kypření půdy, které má narušit zhutnělé vrstvy, je nutné zohlednit vlhkost půdy. Půda v době zásahu musí být drobivá. Pokud vlhkost půdy přesáhne mez plasticity, dochází při zásahu k plastickým deformacím půdy, což může její stav zhoršit – v této situaci je hlubší kypření půdy nežádoucí (Hůla a kol., 2008)

Odstraňování půdy mechanickým zásahem je operace velice nákladná, ale v některých případech nevyhnutelná.

4 Závěr

Přejezdy strojů po poli způsobují nežádoucí zhutnění půdy, které má vliv na její funkce - příjem živin, výnos plodin, ale způsobuje i větší spotřebu paliva. Abychom nežádoucímu zhutnění předešli, je třeba začít především u preventivních opatření, aby pokud možno k žádnému zhutnění nedocházelo. V první řadě je třeba omezit přejezdy po poli dnešní zemědělskou technikou, na kterou jsou kladeny požadavky na vyšší výkonnost, proto se většinou její hmotnost zvyšuje. Přejezdy po půdě je třeba omezit zejména v jarních měsících, kdy má půda zpravidla vyšší vlhkost, a proto špatně odolává zhutnění. Ke snížení zatížení půdy vede také snižování intenzity zpracování půdy, spojování pracovních operací, konstrukční řešení strojů, příjezdových cest k poli a vápnění. K omezení zhutnění půdy mohou v dnešní době přispět satelitní systémy např. CTF, který využívá permanentní jízdní stopy a zbytek plochy je zcela osvobozen od přejezdů stroji. Pomocí GPS lze monitorovat přejezdy zemědělských strojů po poli. Dále je lze vyhodnotit a navrhnout např. jiný způsob otáčení na souvrati, nebo provádět otáčení soupravy s vynecháním jízdy, což je možno s využitím autopilotů. Technogenní zhutňování půdy je jedním z hlavních problémů moderního zemědělství, proto by se lidé pracující v rostlinné výrobě měli touto problematikou stále více zabývat.

5 Seznam literatury

Ankeny M.D., Kaspar, T.C. a Horton, R. (1990). Charakterization of tillage and traffic effects on unconfined infiltration measurements. *Soil Science society of America Journal*, 54: 837-840.

Blackwell, P.S., Ward, M.A., Lefevre, R.N. a Cowan, D.J. (1985). Compaction of a swelling clay soil by agricultural traffic, effects upon conditions for growth of winter cereals and evidence for some recovery of structure. *Journal of Soil Science*, 36 (4): 633-650.

Boone, F.R. a Veen, B.W. (1994). Mechanismus of crop responses to soil compaction. In B.D. Soane a C. van Ouwerkerk, eds. *Soil compaction in crop production* pp. 237-264. Amsterdam, Elsevier Science B.V. 662 pp.

Ermich D. (1986): Zur Anwendung eines Regelspurfehlfahrens zur Bodenstruktur pürschonenden Zuckerrubenbestellung auf Losstandorten. *Feldwirtschaft*, 27, (9), p. 400-403.

Gerik, T.J., Morrison Jr., J.E., Chichester, F.W. (1987): Effects of controlled traffic on soil physical properties and crop rooting. *Agron. J.* 79, p. 434-438.

Hamza M.A., Anderson W.K. (2005). Soil compaction in cropping systems A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil a Tillage Research* 82.

Horn R., Fleige H. (2003). A method for assessing the impact of load on mechanical stability and on physical properties of soils. *Soil a Tillage Research* 73 89-99.

Hůla J, Procházková B., Kovaříček P., Dovrtěl J., Abrham Z., Neudert L., Hartman I., Mayer V., Vlášková M. (2004). *MINIMALIZAČNÍ A PŮDOOCHRANNÉ TECHNOLOGIE*. Výzkumný ústav zemědělské techniky Praha.

Hůla J., Procházková B., Badalíková B., Dovrtěl J., Dryšlová T., Hartman I., Hrubý J., Hrudová E., Javůrek M., Kasal P., Klem K., Kovaříček P., Kroulík M., Kumhála F., Mašek J., Neudert L., Růžek P., Smutný V., Váňová M., Winkler J. (2008). MINIMALIZACE ZPRACOVÁNÍ PŮDY. Praha 2008.

Hůla J., Procházková B., Badalíková B., Dryšlová T., Horáček J., Javůrek M., Kovaříček P., Kroulík M., Kumhála F., Smutný V., Tpl M., Winkler J. (2010). DOPAD NETRADIČNÍCH ZPRACOVÁNÍ PŮDY NA PŮDNÍ PROSTŘEDÍ, Výzkumný ústav zemědělské techniky Praha 2010.

Chamen, W.C.T., Vermeulen, G.D., Campbell, D.J. a Sommer, C. (1992). Reduktion of traffic-induced soil compaction: a synthesis. Soil a Tillage Research, 24: 303-318.

Chamen, W.C.T. a Longstaff, D.J. (1995). Traffic and tillage effects on soil conditions and crop growth on a swelling clay soil. Soil Use a Management, 11: 168-176.

Chamen T., Alakukku L., PIRES S., Sommer C., Spoor G., Tijink F., Weisskopf P. (2003): Prevention strategies for field traffic-induced subsoil kompaction: a rewiew Part 2. Equipment and field practices. Soil a Tillage Research 73, p. 161-174.

Chamen W.C.T. 2009. CONTROLLED TRAFIC FARMING – AN ESSENTIAL PART OF REDUCING IN-FIELD VARIABILITY.

Javůrek M., Vach M. (2008). Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění. Výzkumný ústav rostlinné výroby.

Jirka V. (2009). GPS AUTOPILOTY V ZEMĚDĚLSTVÍ UŽ NEJSOU LUXUS.

Kovaříček P. (2001). Analýza faktorů ovlivňujících výkonnost strojů na hojení, zpracování půdy a setí. VÚZT Praha, 118 s.

Kovaříček P., Hůla J., Vlášková M. (2009). Metoda vyhodnocení podílu zhutnělé plochy ze záznamu provozního monitoringu strojů.

Kroulík M., Hůla J., Kumhála F., Mašek J., Honzík I. (2009). HODNOCENÍ INTENZITY ZATÍŽENÍ PŮDY PNEUMATIKAMI ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ. Katedra zemědělských strojů, Technická fakulta, ČZU v Praze.

Kulovaná Eliška, (2001) www.agroweb.cz.

Kumhála F., Heřmánek P., Mašek J., Kvíz Z., Honzík I. (2007). ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA, STROJE A TECHNOLOGIE PRO ROSTLINNOU VÝROBU. Česká zemědělská univerzita v Praze.

Lamers, J.G., Perdock, U.D., Lumkes L.M., Klouster, J.J. (1986): Controlled traffic farming systems in the Netherlands. Soil Tillage Res. 8, 65-76.

Lhotský Jiří (2000). Zhutňování půd a opatření proti němu. Praha, ÚZPI.

Li Y. X., Tullberg J.N., Frebairn D.M., Ciesiolka C.A. (2004): Effect of controlled traffic and conservation tillage on runoff and crop yield. Paper number 041071, 2004 ASAE Annual Meeting.

McAfee M., Lindstrom J. a Johansson W. (1989). Effects of pre-sowing compaction on soil physical properties, soil atmosphere and growth of oats on a clay soil. Journal of Soil Science, 40: 707-717.

McPhee J.E., Braunack M.V., Garside A.L., Reid D.J., Hilton D.J. (1995): Controlled traffic for irrigated double cropping in a semi-arid tropical environment: part1, machinery requirements and modifications. J. Agric. Engng Res.60, p. 175-182. (1).

Tullberg J.N., (2001): Controlled traffic for sustainable cropping. Proceedings of the 10th Australian Agronomy Conference, p. 217-224.

Tullberg, Yule. CTF Solutions team, or to arrange a visit, logon to (www.ctfsolutions.com.au)

Wang, X., Gao, H.W. a Li, H.W. (2003). Runoff and soil erosion from farmland under conservation tillage. Proceesings of the International Soil Tillage Research Organisation 16th Triennial conference, Brisbane, 13-18 July, pp. 1347-1353.

Wesley R.A., Smith L.A. (1991): Response of soybean to deep tillage with controlled traffic on clay soil. Trans. ASAE 34 (1), p. 113-119.

Seznam použitých obrázků

Obr. 1 – Využití GPS navigace (www.agro-navigace.cz).

Obr. 2 - Traktor používající systém CTF (www.fatcow.com.au).

Obr. 3 - Pole o výměře 8,24ha, monitoring přejezdu traktoru po poli.

Obr. 4 - Trajektorie přejezdů trakturu.

Obr. 5 – Vybrány dvě plochy z předchozího obrázku o výměře 1 ha.

Obr. 6 - Černé čáry znázorňující plochy přejeté pneumatikami.

Obr. 7 - Demonstrace způsobů otáčení.

Obr. 8 – Fotografie půdoochranné technologie (corn.agronomy.wisc.edu)

6 Přílohy



