

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta



Katedra zemědělských strojů

Využití provozních ukazatelů strojů pro precizní zemědělství

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D.

Autor diplomové práce: Jan Šebek

Praha 2017

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jan Šebek

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Využití provozních ukazatelů strojů pro precizní zemědělství

Název anglicky

Utilization of operating indicators of machines for precision farming

Cíle práce

Cílem práce bude hodnocení využitelnosti dat, získaných pomocí monitorovacích systémů, pro podporu rozhodovacích procesů v technologii precizního zemědělství.

Metodika

Práce bude rozdělena na část teoretickou a praktickou.

Teoretická část bude představovat literární rešerši k danému tématu. V praktické části budou hodnoceny provozní parametry strojů, které budou získány pomocí monitorovacích systémů. Na základě získaných dat bude sledována intenzita pohybu souprav po pozemcích a hodnocena variabilita sledovaných vlastností. Následně bude stanovena užitečná hodnota získaných dat v podobě mapových podkladů.

Doporučený rozsah práce

50-60 včetně tabulek a grafů

Klíčová slova

precizní zemědělství, GPS, spotřeba paliva, tahová síla

Doporučené zdroje informací

HEEGE H.J. ed. Precision in Crop Farming: Site Specific Concepts and Sensing Methods: Applications and Results, Springer, 2013. ISBN 978-94-007-6759-1.

RATAJ V., GALAMBOŠOVÁ J., MACÁK M., NOZDROVICKÝ L. Presné poľnohospodárstvo: systém – stroje – skúsenosti, 1. vyd. Praha: Profi Press, 2014. 157 s. ISBN 978-80-86726-64-9.

VISCARRA ROSSEL R.A., MCRATNEY A., MINASNY B. (Eds.) Proximal Soil Sensing, Netherlands: Springer Netherlands, 2010, ISBN 978-90-481-8858-1.

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 08. 03. 2017

Prohlášení

Prohlašuji,

že jsem diplomovou práci na téma:

Využití provozních ukazatelů strojů pro precizní zemědělství

vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

.....

V dne

Poděkování

Rád bych zde vyjádřil poděkování panu doc. Ing. Milanu Kroulíkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a vedení při zpracování této práce.

Abstrakt

Precizní zemědělství se zaměřuje na získávání dat, které mají sloužit zemědělcům k celkovému snížení nákladů pro dané operace. Měření se provádí senzory a čidly upevněnými na pracovních strojích. Kombinace naměřených dat a souřadnic systému GPS vytváří mapy (výnosu, složení půdy, hodnot pH), které slouží k plánování následných operací pro dané požadavky zemědělce. Cílem teoretické části je vysvětlení způsobu měření a fungování měřicích zařízení.

V praktické části jsme se zaměřili na specifické měření tahové síly při základním zpracování půdy. Potřebu tahové síly nástrojů pro zpracování půdy ovlivňují podmíněné parametry jako druh stroje, pracovní záběr, pracovní hloubka a pracovní rychlost. K měření takových sil v polních podmínkách byly použity tři typy strojů na zpracování půdy. Výsledky byly v běžné praxi použity pro srovnání energetické náročnosti používaných technologií zpracování půdy, ověření technických změn na strojích, optimalizaci nastavení stroje a ověření agrotechnických zásahů na pozemcích.

Klíčová slova: Precizní zemědělství, GPS, tahová síla

Abstract

Precision agriculture aims at obtaining data which are used by farmers to reduce the overall costs for given operations. Measurement is performed by sensors fixed to the work machines. Combination of measured data and GPS system coordinates creates a map (yield, soil composition, pH) which is used to plan follow-up operation according to the requirements of farmers. The theoretical part is the explanation of the measuring method and the measuring device functioning.

In the practical part we focused on specific measurement of tensile strength in the basic tillage. Tillage tools need of tensile power is affected by conditional parameters such as type of machine, working width, working depth and work speed. For measurement of such forces in the field conditions were used three types of soil processing machines. The results were used in common practice to compare the energy performance of different soil processing technologies, verification of technical changes on the machines, optimization of machines settings and verification of agronomical measures actions on lands.

Key words: Precision farming, GPS, Tensile power

Obsah

1.	Úvod.....	1
1.1	Přínosy precizního zemědělství.....	3
2	Systémy telemetrie	5
2.1	Řízený zemědělský provoz (CTF)	7
3	GPS.....	8
3.1	Vedení traktoru po poli	9
3.2	Korekce chyb	9
3.2.1	DGPS – Differential Global Positioning System	11
3.2.2	RTK – Real Time Kinematic	11
3.2.3	RTK VRS – RTK Virtual Reference Station	12
3.2.4	RTK Extend	12
3.2.5	Terénní korekce.....	13
3.2.6	iGuide.....	14
4	Technologie snímání v precizním zemědělství	15
4.1	Sledování výnosu	17
4.2	Výnosové mapy.....	17
4.3	Sledování složení půdy	18
4.4	ISOBUS.....	18
4.4.1	Funkce ISOBUS systému.....	18
4.5	Data pro precizní zemědělství.....	19
4.6	Prostorové snímání pozemku	20
4.7	Průběžné měření.....	21
5	Aplikace precizního zemědělství.....	22
5.1	Plánování a výsadba.....	22
5.2	Variabilní aplikace hnojiva, herbicidů, pesticidů.....	22

6	Inteligentní zemědělské stroje a pozemní roboti	24
7	Snímací technologie	25
7.1	Druhy snímacích technologií	25
7.1.1	Monokulární vidění	25
7.1.2	Stereofonní snímání	25
7.1.3	Laser, Ladar, Lidar	26
7.1.4	Radar	27
7.1.5	Ultrazvukový sensor.....	27
7.1.6	Aktivní 3D kamery.....	27
7.2	Parametry pro výběr sensoru.....	28
7.2.1	Rozsah.....	28
7.2.2	Odolnost vůči světlu.....	28
7.2.3	Prachová odolnost	28
7.2.4	Prostorové rozlišení.....	28
7.2.5	Údržba	29
8	Akustické a pneumatické senzory	29
9	Elektrochemické senzory.....	30
10	Aplikace senzorů.....	31
11	Mechanické senzory	32
11.1	Nepřímé metody hodnocení mechanických vlastností půdy	32
11.2	Hodnocení mechanických vlastností půdy s využitím elektroniky traktorů.....	40
	Praktická část	44
11.3	Měření tahové síly při základním zpracování půdy	44
11.4	Závěr.....	50
	Seznam obrázků.....	51

Seznam tabulek	52
Seznam použité literatury	52

1. Úvod

Precizní zemědělství je rozvíjeno především ve vyspělých zemích, kde hlavním hospodářskou činností je zemědělství. Postupně ale vzniká rostoucí celosvětový trend zájmu o tento styl hospodaření. Největší uplatnění v praxi je zatím v USA, což lze logicky vysvětlit z důvodu výborných podmínek pro toto hospodaření díky dostatečně velikým farem i pozemkům, tak i technologickou vyspělostí. Na rozdíl od západní Evropy je v ČR jsou velmi příznivé podmínky pro uplatňování technologií precizního zemědělství (převládají velké zemědělské podniky i hony, pestrost geologických, pedologických, hydrologických a klimatických podmínek v kombinaci s členitostí terénu). Nevýhodou je nedostačující ekonomická situace většiny podniků, která komplikuje nákup nových technologií i služeb. V českých podmínkách je proto zavádění technologií precizního zemědělství obtížnější než v jiných evropských zemích. I přes tyto obtíže stále vzrůstá zájem o systémy v zemědělské praxi a rovněž dodavatelé zemědělských strojů, hnojiv a pesticidů s ním v blízké době čím dál víc počítají jejím růstem.

Kromě využití precizního zemědělství pro zpracování půdy se objevují postupy na základech těchto principů i v jiných oblastech zemědělské produkce, jako je udržování a práce na trvalých travních porostech, trvalých kulturách (vinice, sady), v polním zelinářství a v živočišné produkci. Metody vyhodnocování stavu porostů společně s variabilním ošetřením jsou aplikovány i v jiných podobách, například péče o sportovní a rekreační trávníky, údržba veřejné zeleně nebo komunální služby (variabilní aplikace herbicidů v okolí cest a chodníků). Kromě rozmanitých oblastí využití lze pozorovat rozšiřování technologií jednotlivě prováděných operací i v hospodaření, kde se donedávna nepředpokládalo jejich využití, například ekologického zemědělství, kde pomáhají při mechanické regulaci zaplevelení a zpracování půdy.

Na světě žije přibližně 7,374 miliardy populace a počet se neustále zvětšuje. Vzniká tím postupný problém, jakým způsobem populaci nasýtit, protože na Zemi máme omezené množství kvalitních půd pro vysoké výnosy plodin. Většina zemědělců proto musí stále modernizovat metody pěstování plodin a přípravy orné půdy z důvodu zajištění přibližných výnosů jako u půd s kvalitnějšími vlastnostmi. Díky moderním technologiím, které rychle pronikly i do zemědělství, stále se zlepšující úrovně robotizace a automatizace a nových technologií, dochází k velkému ulehčení a zkvalitnění práce lidí v tomto odvětví. Moderní

zemědělská technika je výkonná, ale zároveň nákladná a proto je důležité ji maximálně využít tak, aby se vložené investice rychle vrátily. V České republice zemědělcům v této modernizaci významným dílem pomáhá Evropská unie se svými dotacemi v rámci programu rozvoje venkova.

V rostlinné výrobě se musí stroje opakovaně vracet během vegetačního cyklu na stejné místo při orbě, výsevu plodin, aplikaci postřiků, sklizni a ostatních činnostech, tím dochází k velkému zatěžování půdy. Proto k dosažení špičkových výsledků při současné úspoře nákladů na drahé osivo a hnojiva i pro získání dotací je důležitá přesnost. Zemědělci s potřebou zvýšení efektivity podnikání, mají možnost si vybírat na trhu z mnoha řešení v oblasti precizního zemědělství. Jak jednotlivých, tak i ucelených a to jak od specializovaných výrobců, tak i výrobců traktorů, sklizňových a závěsných strojů. Sklízecí mlátičky mají velký výkonnostní potenciál stejně jako výkonné traktory, kde jejich využití závisí do značné míry na přístupu a znalosti obsluhy. Proto může mít vedení podniku zájem na možnosti sledovat stroje při práci na dálku bez nutnosti opakovaného ježdění na pole. Ušetří tím na výdajích na zaměstnance. Navíc díky moderním technologiím mohou zemědělské stroje pracovat v noci i za snížených pracovních podmínek a dokonce bez povinných pracovních přestávek.

V současné době máme k dispozici mnoho různých nástrojů k realizování precizního zemědělství. Precizní zemědělství přináší výrazný efekt až po několikaletém využívání. V praxi je realizace v podniku také závislá na mnoha dalších faktorech, jako je vzájemná kompatibilita strojů, účinná kalibrace u rozmetadel průmyslových hnojiv či secích strojů, ochota řidičů naučit se využívat nové technologie. Z hlediska vývoje displejů a palubních počítačů dochází k rychlým změnám a proto je obtížné s nimi držet krok. Precizní zemědělství napomáhá k realizaci nových efektivnějších technologií

v zemědělství, jako je Controlled Traffic Farming (Řízený zemědělský provoz) nebo Strip Tillage, které způsobily zvýšení výnosů pěstovaných plodin ve specifických podmínkách.

Jejich realizace mohou probíhat postupně od jednoduchých navigačních systémů, které poslouží uživateli se naučit základním principům systémů GPS. V dalších krocích je možné tyto navigace upgradovat na vyšší úroveň, která umožní smysluplnější využití

i dalších návazných systémů, například tvorbu aplikačních map pro lokálně variabilní hnojení, vedení elektronické kartotéky honů, využívání systémů ovládání sekcí,

řízení pojezdů po pozemcích a další. Tyto návazné systémy zrychlí komunikaci, zjednoduší organizaci práce a vedení databází, umožní provádět vyhodnocování pracovní efektivity řidičů či jednotlivých pracovních souprav.

1.1 Přínosy precizního zemědělství

Tradičním přístupem v konvenčním zemědělství je uniformní obhospodařování pozemků. Nejmenší jednotkou agronomického rozhodování je hon, který je považován za stejnorodé prostředí, a na základě průměrné hodnoty z této plochy je volena intenzita zemědělských zásahů. Volba a intenzita zásahů je závislá na podmínkách v rámci jednotlivých pozemků a přizpůsobuje pěstitelské vstupy konkrétním podmínkám daného stanoviště.

Ekonomické přínosy vyplývají z optimalizace materiálních vstupů plynoucích do rostlinné produkce. Mezi nejvýznamnější patří hnojiva, pesticidy a pohonné hmoty. Tím, že budeme provádět optimalizace, však nemusí nutně znamenat úsporu. Z výsledků porovnání variabilního a jednotvárného hnojení, provedeného v Ústavu agrosystémů a bioklimatologie Mendelovy univerzity v Brně na modelovém pozemku, vyplývá vyšší spotřeba celkového množství aplikovaných živin základního hnojení u variabilní aplikace. Stanovení jednotné dávky na celý pozemek nezohledňovalo některé oblasti s nižší zásobeností, které následně byly u variabilní aplikace dohnojeny zvýšenou dávkou. Nedošlo tedy k úspoře hnojiv, ale byla dosažena vyrovnaná bilance živin, jejíž ekonomický přínos bude patrný až za delší dobu. V případě variabilní aplikace pesticidů je situace složitější. Úspěšnost zásahu závisí kromě jiného na úspěšnosti identifikace škodlivého organismu či plevele. V případě nesprávného vymezení aplikačních zón nebo špatně provedené aplikace se mohou přežít jedinci v krátké době opět rozšířit po pozemku a je nutné zásah opakovat. V daném případě je pak vhodnější provádět celoplošnou aplikaci a zaměřit se na její správné načasování.

Úspora pohonných hmot je dána efektivním využitím navigačních systémů strojů v provozu. Pořízení navigačních systémů je většinou prvním krokem při přechodu na precizní hospodaření. Je potřeba podotknout, že samotné navádění mechanizace bez použití variabilní aplikace nejsou hlavními cíli precizního zemědělství z důvodu absence přizpůsobení intenzity zásahů lokálním podmínkám. Neustálý technologický vývoj navigačních systémů dosahuje v současnosti stále vyšší přesnosti. Vývoj lze očekávat zejména v navigačních aplikacích, které by dokázaly optimalizovat trajektorii

pojezdu s ohledem na tvar a reliéf pozemku, pracovní operaci, parametry mechanizační soupravy a konkrétní podmínky na stanovišti utužení půdy, erozní ohroženost apod (Lukas, a další, 2010).

Mezi další ekonomické výhody patří oblast lidských zdrojů díky zjednodušení a zpřehlednění řízení podniku. Jeden pracovník může díky automatizaci ostarávat řadu pracovních operací v rostlinné a živočišné produkci. Je potřeba počítat s tím, že zavedení moderních technologií vyžaduje dostatečně kvalifikované pracovníky a tím případné další investice do školení nových technologií a manipulace se stroji.

Nadměrné používání materiálů můžeme omezit přizpůsobením intenzity pěstitelských zásahů na základě konkrétních podmínek dané lokality a zohlednění aktuálních požadavků rostlin. Metody precizního zemědělství umožňují také identifikovat ohrožené či chráněné oblasti, kde je nutné hospodařit extenzivně nebo kde je pěstování rostlin zcela nevhodné.

Nejvýznamnější přínosy ve vztahu k životnímu prostředí, při zachování úrovně produkce, jsou připisovány snižování úniku nitrátu z orné půdy, snížení kontaminace prostředí rezidui pesticidů, omezení přehnojení půdy, omezení eroze půdy a následné eutrofizace povrchových vod, snížení spotřeby pohonných hmot a další. Z výsledků studií prováděných v Německu vyplývá zvýšení efektivnosti využití dusíku u ozimé pšenice o 10 až 15 % při variabilní aplikaci. V rámci experimentu se simulací úniku nitrátů do vod byla zjištěna 26% redukce těchto ztrát a současně snížení aplikační dávky o 2 % při použití postupů precizního zemědělství (Lukas, a další, 2010).

Vedle těchto přímých účinků lze také zaznamenat nepřímé efekty související s výrobou a používáním agrochemických látek a pohonných hmot (např. snížení spotřeby neobnovitelných surovin a energie při výrobě hnojiv a pohonných hmot, snížení emisí skleníkových plynů, zvýšení biodiverzity volně se vyskytujících rostlinných a živočišných společenstev aplikací pesticidů jen na místech s hospodářsky nebezpečným výskytem škodlivých organismů, atd.). Detailní hodnocení pozitivních environmentálních účinků stejně jako porovnávání precizního hospodaření s celoplošně uniformním je v praxi obtížné a dosud citelně chybí.

Zatím nejmenovanou pozitivní vlastností precizního hospodaření je podrobná evidence operací a tedy tzv. dohledatelnost zemědělských produktů. Každá variabilní aplikace vychází z aplikační mapy, která definuje intenzitu daného zásahu a umožňuje

ji zpětně určit pro kterékoli místo na pozemku. Vyspělé palubní systémy navíc umožňují zpětný zápis reálně aplikované dávky pro případ, že by obsluha měnila nastavení přímo na poli. V kombinaci s podrobnou pěstitelskou evidencí se jedná o přesnou informační základnu pro řešení případných problémů a sporů nebo pro prokázání způsobu produkce prodávané komodity (Lukas, a další, 2010).

2 Systémy telemetrie

Moderní systémy telemetrie se vyznačují krátkou dobou aktualizace na úrovni i jedné minuty, takže poskytují přesné informace o poloze stroje nebo celé skupiny strojů v reálném čase. Často bez ohledu na vzdálenost. Nicméně poskytují i celou řadu dalších užitečných informací, především ohledně nastavení mlátičky, jejího záznamu jízd po poli, době, kterou strávila stáním při volnoběhu motoru a další. Díky tomu dovolují práci mlátiček optimalizovat včetně následného vyhodnocení využití jejich potenciálu a pracovní doby. Systémy telemetrie umožňují také vyhledat celou řadu rezerv v provozu výkonných traktorů. Ne všechny z nich jsou vybaveny automatickým společným managementem motoru a převodovky, který si otáčky motoru a vhodný převodový poměr hlídá sám. Právě toto nastavení má velký vliv na spotřebu paliva. Díky telemetrii je možné sledovat nastavení traktoru na dálku, a případně porovnávat výkonnost a zároveň i spotřebu u stejných traktorů s různými řidiči.

Některé systémy, fungující přes internet, umí také změny, které byly provedeny na náhledu terminálu v osobním počítači v kanceláři, automaticky provést i v terminálu traktoru.

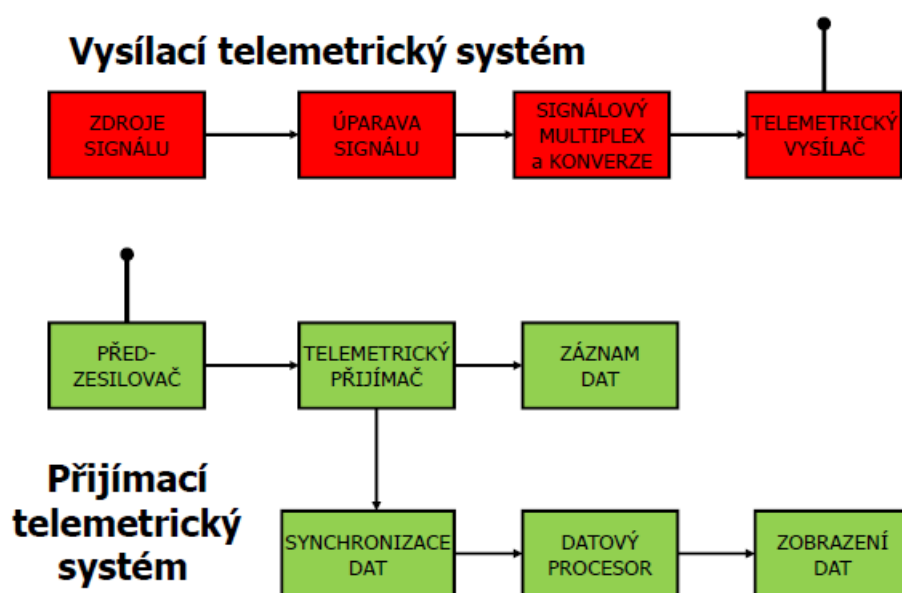
Dále je také zajímavá možnost zasílání zpráv či pracovních zakázek přímo do kabiny. Nakonec mohou i jednotlivé stroje komunikovat vzájemně mezi sebou pro zlepšení organizace práce, což je záležitost pro sklizňové či aplikační linky. Jak při sklizni zrna, tak i v průběhu aplikace kejdy nebo digestátu se uplatní systémy pro řízení flotil, jejichž základem je opět vzájemná komunikace mezi všemi členy řetězce. V moderních stojích jsou běžné systémy CAN-Bus, po nichž procházejí data, která lze následně využívat. Celý stroj se pak dostává pod větší kontrolu a to z několika pohledů (Stehno, 2015).

Prvním pohledem je kontrola stroje vedoucím pracovníkem. Toho zajímá především několik základních veličin. Typicky je to poloha stoje, zpracované hektary,

rychlost jízdy, otáčky motoru a spotřeba paliva. Některým obsluhám strojů se to možná nelíbí, ale těm co pracují dobře, to může být v podstatě jedno a možná je pak šéf za dobrou práci pochválí.

Druhý pohled může směřovat k prodejci a servisu. Přenosem dat o natočených motohodinách, nebo vysíláním poruchových kódů na dálku, lze zrychlit a lépe naplánovat servis. Na dálku může servis pomoci i s nastavením stroje. Servisní oddělení ví, kdy má kam vyjet a nemusí čekat na telefonát o závadě od uživatele. I když v sezóně přijde inkriminovaný telefonát možná stejně rychle jako kód závady (Stehno, 2015).

Třetí pohled je stále otevřenou záležitostí. Jde totiž o to jak získávaná provozní data smysluplně využít v systému precizního hospodaření. To není úplně snadné. Na druhou stranu velkou výhodou je, že není třeba montovat přídavné snímače a řídicí jednotky. Stačí GPS přijímač pro určení polohy a ostatní už je na stroji přítomno. Určitě se například monitoruje spotřeba paliva, prokluz, rychlost jízdy, může to být i poloha TBZ jakožto výsledek funkce EHR, je možné měřit otáčky motoru či PTO. Všechny tyto údaje pak mohou směřovat k posouzení tahového odporu při zpracování půdy, nebo množství sklizeného materiálu (sečení, lisování). Ze získaných dat lze poté vytvořit mapy různých veličin a dát je do kontextu s dalšími získanými údaji o daném pozemku. Následně vytvořit například aplikační mapu (Stehno, 2015).



Obr. 1 - Schéma telemetrického systému (Malinka, 2010)

2.1 Řízený zemědělský provoz (CTF)

Je jednoduchý způsob, jak výrazně snížit vstupní náklady (čas, palivo a strojního zařízení). Zároveň zvyšuje výnosy plodin, z nichž oboje může být prováděno udržitelným způsobem, a tím zvyšovat zemědělci zisk. Tento systém také zamezuje rozsáhlému poškození půdy a navyšování nákladům vyplývajících při provádění běžných zemědělských operacích.

Hlavní výhodou systému CTF je umožnění snížení zpevnění půdy, které je nejmenší, při používání systému ComTrac, což je řešení, při kterém všechny stroje musí jezdit v jednotné jízdě. Pokud chceme provádět přesné setí nebo jen mělké kypření, nejsou zbylé plochy zbytečnými přejezdy dotčeny a to je velkou výhodou.

Moderní technologie a přesné satelitní navigace dovolují dokonce i setí do meziřádků předplodiny. Aplikace tohoto řešení má velmi dobré výsledky z hlediska možnosti zanechání vyššího strniště pro pozdější zapravení do půdy. Bohužel v českých podmínkách není přímé setí používáno. Neutužená půda je totiž přirozeně kyprá, má požadovanou strukturu, která nemá problém s vsakováním a výpařováním vody

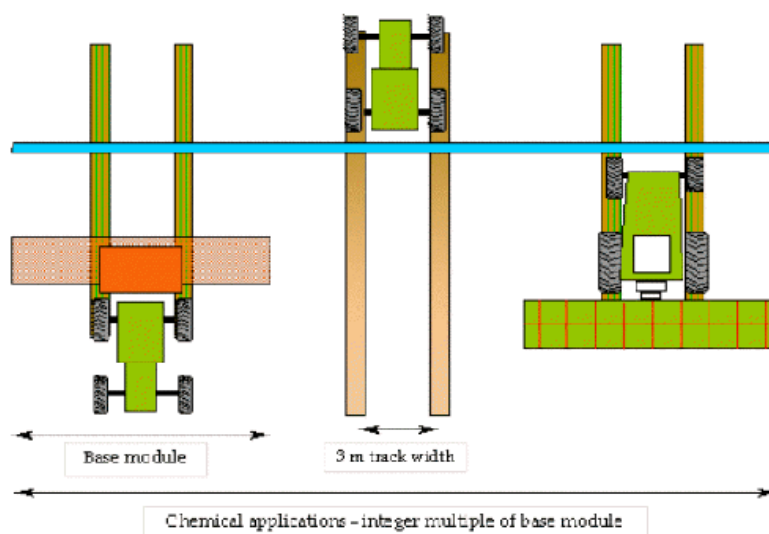
nebo nedostatkem půdního vzduchu. Při provedených pokusech, které testovaly systém CTF, bylo zjištěno utužená půda má nižší denitrifikaci s menšími ztrátami dusíku. Dále bylo zjištěno snížení výnosů na utužené půdě, a to až o 40 % (v průměru o 10 až 15 %). Ve výsledku tedy nemusíme mít strach ze snižování výnosu z případných širších kolejí strojů. Zbylé části pozemku, na kterých dojde ke zvýšení výnosu, tento efekt eliminují. Jednoznačnou výhodou neutužené půdy je nižší náchylnost k vodní erozi. (Stehno, 2015).

K přímému setí je třeba uvést, že pro zakládání nového porostu není vždy tento způsob nejlepším řešením. V některých případech se systém CTF používá i při orbě, zejména u jarních plodin a také z běžných důvodů, které jsou například eliminace škůdců, plevelů, nebo při nutnosti zapravení většího množství posklizňových zbytků do půdy. Z pohledu utužení půdy je vždy výhodnější orba on land než s kolem traktoru jedoucím v brázdě.

K zavádění systému CTF nám zde vznikají tři základní překážky. První překážkou je konzervativní postoj zemědělců se zaváděním nových technologií do zemědělského procesu. S tímto systémem jde ruku v ruce i zkvalitnění plánování a organizování práce, vyšší náklady při sklizni, kdy vozidla musí dodržovat předepsané kolejové stopy.

Nejnákladnější a největší problém je v úpravách podvozků pracovních strojů, zejména rozchodu kol. Nejlepší provozní výsledky přináší jednotný rozchod kol, který obvykle bývá tři metry, vycházející z rozchodu kol sklízecích mlátiček. U traktorů a jejich závěsné techniky se proto rozchod kol zvyšuje.

Tyto popsané překážky přináší značnou investici pro zemědělce nebo podniky, proto existují i systémy, na podobném principu. V nich je použito kolejových stop více, ale stále s myšlenkou využití již vzniklých kolejí (Stehno, 2015).



Obr. 2 - Schéma řízeného provozu zemědělských strojů (CTF, 2009)

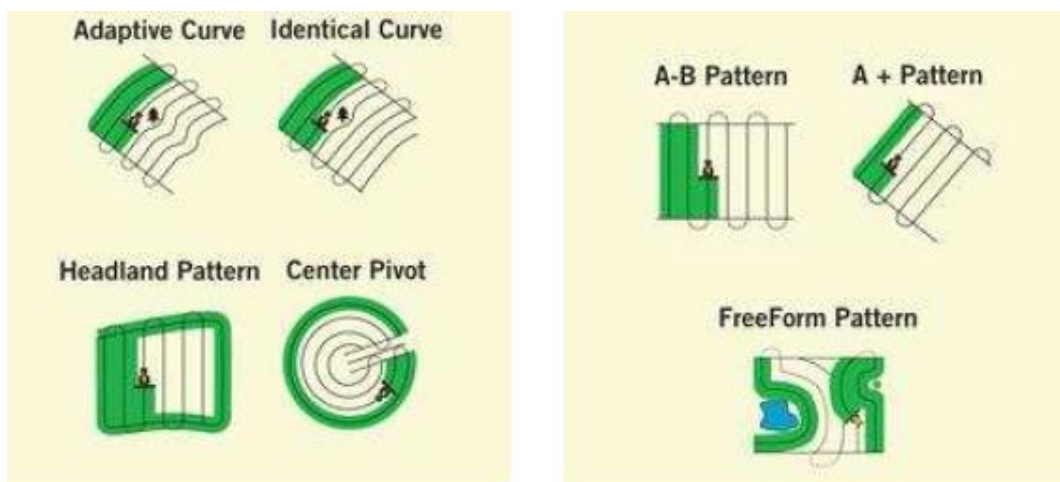
3 GPS

GPS technologie má v zemědělství různé možnosti využití. U precizního zemědělství se přistupuje individuálně k jednotlivým dílčím plochám pozemku oproti klasickému hospodaření, kde je pozemek chápán jako homogenní celek. Systém precizního zemědělství lze rozdělit na několik částí. Jednou z těchto částí je i zjišťování variability pozemku pomocí výnosových dat a vzorkování půdy. Mapování výnosů je jednou ze základních vrstev zjišťování variability pozemku. Výnosová data popisují variabilitu výnosu dílčích částí pozemku, který je odrazem půdních vlastností daného pozemku. Mapování je prováděno pomocí výnosového monitoru s výnosovým čidlem, palubního počítače se záznamovým médiem a zařízením pro určení přesné polohy, přijímačem GPS. Další způsob zjištění variability pozemku je vzorkování půdy. Kvalita informací o variabilitě pozemku získaných pomocí vzorkování závisí na rozložení jednotlivých

odběrů půdních vzorků. Z těchto vzorků jsou následně laboratorně zjištěny obsahy jednotlivých živin. Pro zjištění přesné polohy jednotlivých odběrů půdních vzorků se využívá navigace GPS (Malinka, 2010).

3.1 Vedení traktoru po poli

Každý pozemek má různé tvary a svažitost, tudíž můžeme říci, že každé pole je originál. Díky tomuto můžeme rozdělit vedení stroje po pozemku do různých kategorií. Jednou z možností jízdy po poli je pomocí adaptivní křivky, kdy se všechny křivky, které obíhají kolem překážky, kopírují. Druhou možností je identická křivka, která obejde překážku a při další jízdě již křivka kopíruje křivku před překážkou. Souvratový model je v principu jízda po souvrati a následná paralelní jízda vně. Kruhový model, neboli otáčení kolem středu je navržen pro kruhové pole. Jednotlivé jízdy jsou vedeny po kružnicích. Mezi hojně využívané navádění patří A-B model a A+ model. A+ model značí jízdu po přímce s definovaným bodem a směrem jízdy. A-B model značí přímku definovanou dvěma body A, B, kterou si obsluha traktoru zvolí tím, že označí počáteční bod A, popojede několik metrů (uvádí se zhruba 15 metrů) a označí bod B. Tím navigace vyhodnotí další směr jízdy a vedlejší souběžné linie. Poslední je volný model, který se může využít ve velmi složitém terénu, s množstvím překážek najednou (Malinka, 2010).

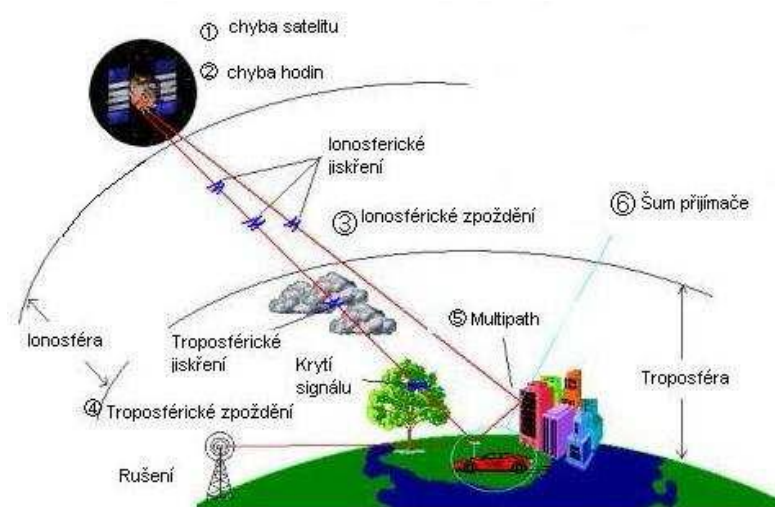


Obr. 3 - Schéma vedení stroje po poli (Malinka, 2010)

3.2 Korekce chyb

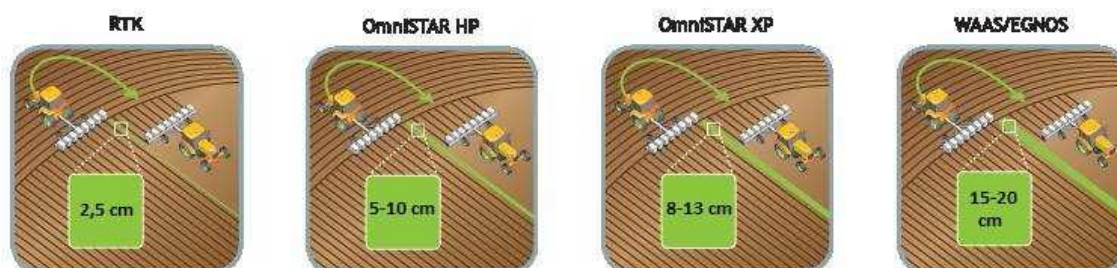
Určení přesné polohy někdy mohou doprovázet špatné vlivy, jako horší geometrické uspořádání satelitů v daný okamžik, chyby satelitních hodin, nebo hodin

přijímače, šum vlastního přijímače, odklonění satelitů od svých určených drah, horší propustnost signálu přes zemskou atmosféru, kde díky troposféře a ionosféře může docházet k odchylkám od konstantní rychlosti světla. Mezi další problémy výpočtu vzdálenosti patří odraz signálu od překážky. Takový stav je možný při odrazu signálu od velkých budov apod. Výpočet vzdálenosti odraženého signálu je ve výsledku delší, než při přímém signálu. Výpočty těchto nečekaných vlivů jsou v obyčejných GPS přijímačích komplikované, ovšem lze je řešit pomocí diferenciálního GPS, neboli DGPS (Differential Global Positioning System) a pomocí RTK korekce (Fasora, 2012).



Obr. 4 - Zobrazení možných příčin chybového signálu (Fasora, 2012)

Běžné přijímače signálu GPS jsou přesné jen do určité míry, v řádech metrů, což je v zemědělství nedostačující. Pro přesné navádění stroje při setí, postřikování, nebo kypření půdy je nutné přesného vedení v řádech centimetrů, maximálně deseti-centimetrů. Takovéto přesnosti lze dosáhnout při korekci použitím tzv. korekčního signálu.



Obr. 5 - Rozdílné druhy korekce signálu (Fasora, 2012)

3.2.1 DGPS – Differential Global Positioning System

Korekční úpravy založené na DGPS, tedy diferenčním GPS snižují nepřesnosti určování polohy až na 0,3 m, případně jen několik centimetrů. Hlavním důvodem tak přesného určování polohy je využití referenčních stanic, neboli přijímačů GPS signálu, které mají přesně určenou polohu. Porovnáváním této přesné polohy a polohy získané výpočty z GPS signálu vznikají tzv. korekce, podle kterých lze téměř přesně (v rozdílu několik cm) navádět traktor s přijímačem DGPS. Samozřejmě záleží i na vzdálenosti referenční stanice od přijímače DGPS (traktoru), čím větší vzdálenost, tím horší přesnost korekcí. Jedná se o službu navíc, proto se touto problematikou zabývá mnoho firem po celém světě, které budují referenční stanice a nabízejí své služby zákazníkům za určitý poplatek. Existují i bezplatné korekční signály, které ovšem nedosahují takových přesných výsledků. Mezi nejznámější představitele korekčních signálů patří např.: Omnistar, StarFire, Beacon, Egnos (Fasora, 2012).

3.2.2 RTK – Real Time Kinematic

Velmi přesná metoda měření se nazývá kinematické měření v reálném čase, neboli RTK (real time kinematic). Funguje na principu vlastní stacionární stanice, která se umístí na okraj pozemku a přesně se zaměří její poloha. Stanice musí být umístěna tak, aby byla přímá viditelnost mezi stanicí a přijímačem na traktoru. Poloměr dosahu okolo stacionární stanice firmy Trimble se udává několik kilometrů (zhruba 3 až 10) v závislosti na výkonu stanice a okolních vlivech. Jakmile je přesná poloha stanice zaměřena, může stroj tuto službu využívat. Při přenosu signálu do přijímače traktoru se přenáší oproti DGPS nejen diferenční korekce, ale také kompletní data získaná při kódových a fázových měřeních. Přesnost při použití RTK udává $\pm 2-5$ cm, což je v mnohých případech dostatečná přesnost. Ovšem jsou větší počáteční investice, kvůli drahé vlastní stacionární stanici. Na druhou stranu se díky takové přesnosti dá dobře využít při setí řádkových kultur apod. (Fasora, 2012).



Obr. 6 - Schéma RTK korekce (Fasora, 2012)

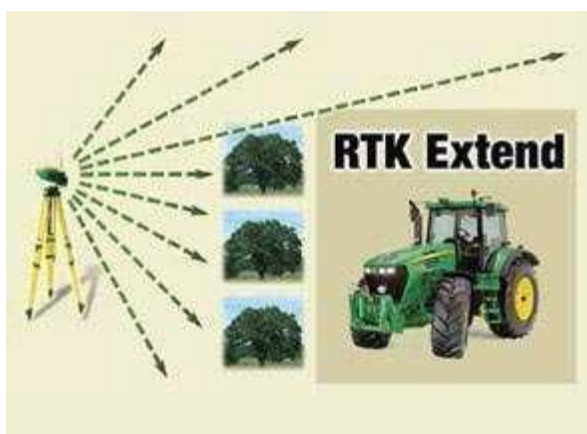
3.2.3 RTK VRS – RTK Virtual Reference Station

Je metoda určení přesné polohy, s přesností až $\pm 2-5$ cm, která je velmi podobná RTK, ovšem liší se ve stacionárních stanicích. Oproti RTK, kdy se musí pořizovat drahé RTK stacionární stanice zde tato potřeba odpadá, protože se využívá tzv. RTK VRS (RTK Virtual Reference Station). Jedná se o GPS RTK stanice rozprostřené na různých místech rozsáhlého území, které spolu vytváří síť pokrytí. Údaje z těchto stanic se posílají do výkonných serverů, kde se vyhodnocují a vytvářejí korekce chyb, jež jsou zpět odesílány. Nad územím, kde právě naváděný stroj pracuje, se vytvoří tzv. virtuální referenční stanice, pomocí nichž jsou pak předávány traktorovi vybaveného přijímačem RTK VRS korekční signály. Tyto korekční signály se posílají za pomoci mobilní datové sítě a virtuálních referenčních stanic, kde platí uživatel pouze pronájem, nikoliv nefinancuje vlastní RTK stanice, která je velmi nákladná. Systém RTK VRS je dostupný na celém území ČR. Využití je široké. Lze použít při postřikování, hnojení, přípravě půdy, setí, nebo sázení přesných plodin. Od roku 2009 nabízí firma Leading Farmers CZ svou vlastní RTK VRS, dostupnou na celém území ČR. Ve své nabídce má měsíční a roční licenci RTK VRS signálu a nabízí také modem určený do traktorů pro příjem tohoto signálu (Fasora, 2012).

3.2.4 RTK Extend

Firma John Deere ke svým strojům nabízí i RTK stanice, které plně komunikují s přijímači StarFire iTC umístěných na zemědělských strojích. Mimo klasické RTK nabízí John Deere také RTK Extend, což je funkce, která plně zachovává funkčnost RTK signálu, pokud dojde k dočasnému omezení šíření signálu. Jestliže byl StarFire iTC přijímač napájen déle než hodinu, prodlouží tato funkce RTK přesnost až o 15 minut, pokud

byl ovšem přijímač StarFire iTC napájen méně než hodinu, bude RTK přesnost prodloužena pouze o 2 minuty. Pomocí této funkce lze RTK korekci plně využít i při dočasném výpadku signálu, např. pokud se v zorném úhlu přijímače vyskytnou překážky, které brání přímé viditelnosti, a tudíž bezproblémovému šíření signálu (Malinka, 2010).



Obr. 7 - RTK Extend (Fasora, 2012)

3.2.5 Terénní korekce

Jízda v nerovném terénu představuje určité nepřesnosti, které by zkreslovaly výsledné navádění pomocí navigace na pozemku. Při větším sklonu pozemku by vypočítaný signál bez terénní kompenzace vykazoval zkreslení, odchyloval by se od skutečného bodu o úhel mezi svislicí a přímkou procházející středem traktoru. Tato odchylka už při sklonu terénu 5° a výšce přijímače 4 metry nad úrovní pozemku činí 0,34 metru. Čím větší svah, tím větší zkreslení, které lze v dnešní době eliminovat využitím prostředků pro kompenzaci terénu. Většinou se jedná o zabudované zařízení přímo v pozičním přijímači jako je gyroskop a akcelerometr, nebo o integrovanou elektronickou vodováhu umístěnou v přijímači kolmo na směr jízdy, jenž dokáže určit sklon a tím dojde pomocí hlavního procesoru k následnému přepočtu správného směru (Fasora, 2012).



Obr. 8 - Princip terénního vyrovnání (Fasora, 2012)

3.2.6 iGuide

Další systém pro zpřesnění práce pohybu stroje od společnosti John Deere je systém iGuide, jenž dokáže udržet perfektní stopu i při nejtěžších podmínkách. Hlavním cílem je udržet správnou stopu ve svahu nebo složitém terénu, kdy by mohlo dojít ke smyku traktorového přípojného zařízení kvůli jeho hmotnosti, a tím by se vytvořila odchylka od naváděné trasy, což by způsobovalo překrytí nebo vynechání při práci na pozemku. Jedná se o systém namontovaný na traktorovém nářadí, který komunikuje s přijímačem StarFire iTC (Obr.10) umístěném na traktoru. Vysílané signály systémem iGuide se zpracovávají v traktorovém počítači automatického navádění, kde se přehodnotí pozice traktoru a traktorového nářadí, a tím se vypočítá správná dráha jízdy traktoru. Díky tomu lze přesně a pohodlně navazovat na předešlé jízdy a tak zajistit precizní práci na poli. Záleží na daném podniku a lokalitě, zda využije výhody přesného vedení ve svahu. Investice do tohoto zařízení jsou nemalé, a ne každý si jej může dovolit. V podstatě se jedná o další navigaci připevněnou na přípojné zařízení traktoru, která zvyšuje počáteční náklady na pořízení navigace. Tato služba se dá částečně nahradit i klasickou navigací od firmy John Deere s moderním displejem GreenStar2, kde lze manuálně nastavit odchylku od naváděné trasy způsobenou nerovností pozemku, tedy ve svahu. Jednoduše řečeno, lze navolit, kolik zařízení překrývá, nebo naopak vynechává a tuto vzdálenost (nepřesnost) navigace odečte, nebo přičte k vypočtené trase (Fasora, 2012).



Obr. 9 - Použití systému iGuide (Fasora, 2012)



Obr. 10 - Poziční přijímač StarFire iTC (Fasora, 2012)

4 Technologie snímání v precizním zemědělství

Precizní zemědělství je založeno na principu pozorování, měření a vyhodnocování možných následků a následnými opatřeními zabránit jejich vzniku na pozemku nebo na pěstovaných plodinách. Technologie snímání je základním článkem konceptu precizního zemědělství. Součástí snímání je geolokace, která je prováděna pomocí GPS nebo družicového navigačního systému, které přesně vyměří daný pozemek a nasnímaná data jsou dále používána k následným procesům přímo na problémové oblasti pozemku. Snímání pozemku v reálném čase (RTSA) probíhá snímáním zadaných parametrů a jejich okamžité odesílání pro zpracování při plánování zemědělských prací. Oproti geolokaci, kde se snímaná data používají po delší době v podobě map, které jsou dále zpracovávány.

Využití snímání pro lepší plánování produkce se používá delší dobu a závisí na dlouholetých zkušenostech technika. Ve starém Egyptě a Mezopotámii již používali zavlažování zemědělských plodin, kde se zavlažování provádělo ke zmírnění plodiny vodním stresem. Používali ke snímání situace na polích vlastního zraku. Pokud se objevilo

místo, kde docházelo k většímu vadnutí plodiny, přivedli do daného místa potřebnou závlahu. V současné době si můžeme vybírat ze širokého sortimentu elektronických a snímacích zařízení, které přesně změří vlhkost zeminy a pomocí komunikačních systémů přímo informují zemědělce (Zhang, 2016).

Dalším příkladem pro využití technologie snímání je její využití pro změření výnosu z pěstované plodiny. Základními součástmi systému jsou snímače, algoritmus řízení a managementu akcí. V případě sledování bude jako hlídaná veličina výnos a senzorový systém by poskytoval měřenou veličinu. Měřená proměnná bude velikost výnosu a řídicí algoritmus by sloužil pro srovnání. Tímto způsobem by se dalo nastavovat množství hnojiva pro danou oblast.

Hlavní kontrolovanou proměnou v precizním zemědělství je návratnost. Návratnost investice bude vždy mít vliv na volbu snímacího zařízení a systému měření. Potenciál pro významné zvýšení výnosů, jakož i významné snížení výrobních nákladů, se stává hlavním cílem pro senzorové technologie.

Vývoj stále novějších technologií snímačů, přístrojů pro předpovídání počasí a modelování zefektivňuje vyvíjení metod pro vypočítávání potenciálních výnosů, například u obilí. Stanovení plánovaných výnosů je velmi důležité, protože musíte využít znalostí daného prostředí, klimatu a terénu v praxi. Výnosové cíle si stanovuje každý zemědělec sám, aby splnil plánovaný obrát ideálně bez přebytku nebo ztráty pro daný rok. Plánování je založeno na dlouholetých zkušenostech, které získal na svých pozemcích v průběhu času. Dovede předpovídat změny klimatu a jejich případné následky a podle toho upravit termín výsadby, sklizení, volby správné odrůdy pro pěstování nebo v daném roce radši pronájem pozemku jinému zemědělci (Zhang, 2016).

Senzorová technika nám může efektivněji sledovat variabilitu pozemku, kdy na základě zjištěných dat můžeme hledat uplatnění potřebné metody precizního zemědělství. Sensory nahrazují nebo vhodným způsobem doplňují tradiční metody zjišťování půdních vlastností a hodnocení porostů polních plodin. Tímto uplatněním se tak snižuje jejich nákladovost, pracnost a čas. Nejpoužívanější senzory pro hodnocení spektrálních vlastností porostů cílené pro určení výživného stavu jsou N-senzor, N-tester, metody leteckého a družicového snímání a další. K měření hustoty porostů, mapování půdních vlastností (utuzení půdy, měření elektrické vodivosti půdy, vlhkosti půdy)

a mapování výnosů při sklizni se používá CropMeter. Tato měření jsou monitorována pomocí GNSS a data jsou zpracovávána v aplikaci GIS (Zhang, 2016).

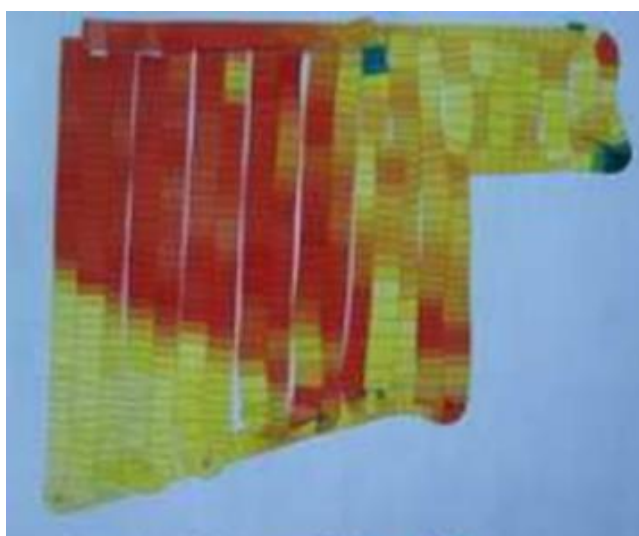
K aplikaci se používá aplikačních ovládacích prvků, které slouží pro vlastní provedení jednotlivých zásahů. Na základě aplikační mapy, dochází k plynulé změně dávkování hnojiva nebo postřiku, hloubky při zpracování půdy pracovním nářadím nebo automatické naviagi po pozemku.

4.1 Sledování výnosu

Sledování výnosu je důležitým zdrojem informací pro precizní zemědělství. Správné vyhodnocení výnosu je základem pro nastavení zemědělských operací. Klasickým příkladem je nastavování dávky hnojení, kde při snížení podílu živin v půdě dochází ke snížení výnosu plodiny a je potřeba na danou oblast aplikovat větší množství směsi za účelem zlepšení podmínek pro růst plodiny. Výnos je definován jako poměr objemu plodiny na danou oblast. Pro výpočet výnosu je potřeba použít data, která získáme během sklizení, kde dochází jak ke snímání objemu sklizené plodiny, tak i mapování sklizené oblasti (Zhang, 2016).

4.2 Výnosové mapy

Data pro výnosové mapy jsou zaznamenávány společně s geografickými koordináty pro další využití při plánování výnosu. Nasbíraná data se používají v aplikaci GIS, která umí data rozdělit a vytvořit podrobnější mapování a tím detailnější analýzu.



Obr. 11 - Výnosová mapa (Zhang, 2016)

4.3 Sledování složení půdy

Výnos každé plodiny je závislý na správném rozložení živin v půdě. Provádí se proto také měření složení půdy, kde výstupní data slouží k vyhodnocování návratnosti vynaložených investic při operaci hnojení.

Půdní živiny mají vlastní dobu výskytu v půdě. Množství Dusíku se mění proměnlivě v závislosti na přírodních podmínkách. Množství fosforu a draslíku záleží na typu zvolené pěstované plodiny, organický uhlík je dodáván z ovzduší pomocí fotosyntézy. Proto se množství dusíku musí kontrolovat neustále, zatímco u uhlíku, fosforu a draslíku stačí pouze jednou během vegetační sezóny (Zhang, 2016).

4.4 ISOBUS

ISOBUS je standardizovaný komunikační systém pro zemědělská zařízení v rámci ISO 11783. Umožňuje přenos aplikačních map z mobilních zařízení a převést je na informace pro řízení zemědělských podniků. ISOBUS podporuje také měření pomocí sensorů a umožňuje rychlou komunikaci mezi sensory a vyhodnocovacími programy. Senzorové systémy vyrobené jedním výrobcem mohou komunikovat se systémy od jiného výrobce, jakož i mezi komponenty od stejného výrobce (Fasora, 2012).

4.4.1 Funkce ISOBUS systému

Před normami byla řídicí jednotka stroje umístěna v kabině pomocí terminálu. Na stroji pak byly pouze akční členy, elektroventily, které ovládaly stroj dle zadaných požadavků obsluhy. Tento způsob byl nákladný, jelikož každý stroj musel mít vlastní ovládací terminál. U ISOBUS systému se požadavky řidiče posílají přes vedení z ovládacího terminálu do řídicí jednotky, která provede zadanou práci. Je umístěná přímo na stroji a terminál slouží pouze jako ovládací část a ukazatel. Podle CAN protokolu se upravují informace tak, aby se ŘJ a terminál dorozuměli. Pro připojení terminálu slouží zásuvka pro ovládací terminál v kabině traktoru a zásuvka pro přípojný nářadí na zadní části traktoru. ISO zásuvka v kabině slouží pro připojení terminálu k datové síti. Jednotlivé pozice v ISO zásuvce jsou přesně stanoveny a jsou stejné pro všechny traktory (Fasora, 2012).



Obr. 12 - ISOBUS zásuvka a koncovka (Fasora, 2012)

4.5 Data pro precizní zemědělství

Při experimentování v precizním zemědělství vzniká velké množství dat, které je potřeba zpracovat, analyzovat a setřídít, aby byly použitelné pro vytvoření plánovacích map. Zdroje dat zahrnují předchozí údaje a údaje v reálném čase. Předchozí data jsou rozdělena do výnosových dat a hodnot živin v půdě. Aktuální data se skládají z leteckých a družicových dat, jakož i údajů zobrazujících vzrůst rostliny.

Růst plodiny od setí po sklizeň je ovlivněn mnoha faktory, například podnebím, půdou, způsobem pěstování. Pro definování správného nastavení procesu je potřeba co nejvíce informací z půdy a využití GIS aplikace, která umí získaná data rozdělit do několika vrstev pro simulace a modelování map. Studují se vztahy mezi výnosy plodiny a danou vrstvou (zahrnující typ zeminy, úrodnost, rozložení plevele, vlhkosti půdy, odvodňování). Vygenerovaná mapa funguje jako vodítko pro rozhodování optimalizace hnojení, zavlažování a chemického ošetření. Jedná se o desktopové nebo mobilní programy, které provádějí sběr, zpracování, analýzy a export dvou základních typů dat, které se nazývají vektory a rastry. Vektorová data vyjadřují body, linie a polygony, rastry jsou obrazovými daty s definovanou nejmenší jednotkou, kterou je pixel. Mezi prostorová data patří záznamy z provedených pojezdů strojů, vymezení hranic pozemků, mapy zásobenosti půdy živinami nebo výnosové mapy. Tato data jsou vytvářena a zobrazována pomocí GIS. Nejznámější GIS aplikace jsou webová rozhraní zpřístupňující registr půdy iLPIS pro farmáře, či pLPIS sloužící pro veřejnost (Zhang, 2016).

Stanovení způsobu hnojení je nejjednodušší z celých procesů. Výnosové mapy jsou použity pro vypočítávání předpokládaného množství hnojiva, které je potřeba dodat po sklizni dané plodiny zpět do půdy. Jedná se tedy o dodatečné hnojení. Pro tento proces stačí získat pouze data jednou ročně a případný vývoj se počítačově nasimulovat. Na základě údajů o výnosech z minulých let lze spočítat průměrný výnos a vytvořit mapy

pro porovnání, zda aplikované předchozí úpravy v hnojení měly daný efekt. Použitím těchto dvou typů map, můžeme rozdělit pozemek na oblasti se stabilním vysokým, nižším a nestabilním výnosem. Je velmi náročné rozhodovat se pouze z dat z jednoho roku, protože jsou ovlivněny současnými faktory, které na pozemek působily. Je doporučováno používat data nejlépe od třetího až čtvrtého roku, aby bylo zamezeno vzniku těchto chyb. Výsledná mapa pro aplikování hnojiv obsahuje přibližné množství hnojiva společně s koordinátami souřadnic na přesné místo, kde má být aplikováno. Mapa a data jsou poté pomocí softwaru přenesena do pracovního stroje (Zhang, 2016).

Pomocí modelovacích aplikací si může zemědělec provádět vlastní měření, upravovat vstupní data a tím rozhodovat jakou strategii zvolí, aby si zajistili co nejvyšší udržitelné výnosy. Data si obstarává pomocí snímacích zařízení, které mu dávají informace o stavu půdy a průběhu růstu plodiny. Ideálně je nejlepší provádět tyto modely během celého roku, aby farmář pochopil, jakým způsobem ovlivňují podmínky růst plodiny. Bohužel je tato metoda kontroly finančně a časově náročná, proto se potenciál precizního zemědělství nedá naplno využít. Na data z terénu působí faktory, které zahrnují klimatické a lokální situace jako například období sucha, záplavy, krupobití a další extrémní situace, půdní vlastnosti (například textura, obsah vlhkosti, elektrická vodivost, pH, a úroveň dusíku). Výrobní systém má za cíl právě použití dostatečného množství vybraných zdrojů.

4.6 Prostorové snímání pozemku

Měření vlastností půdy je dalším z hlavních úkolů při provádění precizního zemědělství. Některé z vlastností (vzhled půdy, předchozí využití, složení organických částí) se během let nemusí změnit. Variabilita některých jiných půdních složek, jako je dusík a půdní vlhkost, se může rychle změnit a vyžaduje měření v téměř v reálném čase. Porovnávají se hodnoty naměřené na různých místech uvnitř nebo mezi řádky. Pro získávání údajů se používá družicového nebo geografického snímání. Družicové snímání je technologie využívající elektromagnetického záření. Byla vytvořena v 80. letech a zpočátku se zaměřila na omezené vlnové délky viditelné pouze v infračerveném spektru. V průběhu let se rozšířila do ultrafialového to mikrovlnného a pro lepší rozlišení se začaly používat satelity, pozemní vysílače i mobilní sensory. Existují zde dva druhy elektromagnetických radiačních sensorů, spektrometrie a spektrální kamery.

Spektrometrie jsou zařízení pro měření spektrálních záření a jsou často používány k zeměměřickému měření. Spektrální kamery jsou vyrobeny k vytváření snímků

ze satelitních, leteckých a mobilních zařízení. Snímky jsou pořízeny ve dvou vrstvách, spektrální a prostorové v závislosti na typu snímače a jeho rozsahu (Zhang, 2016).

Při geografickém snímání jsou většinou sensory spojeny s GPS pro vytvoření přesných pozemkových map s naměřenými hodnotami. Přesnost je závislá na velikosti mezer mezi plodinami, pojízdné rychlosti měřicího stroje, vzorkovací frekvenci. Pro snímání v reálném čase mohou používat elektrické i optické přístroje pro měření vodivosti, množství organických látek, obsahu vlhkosti a živin a pH. Poté se vytváří pro každou měřenou hodnotu vlastní mapy k dalšímu zpracování. Z těchto map se poté vytváří plány pro kontrolu hloubky výsadby, vzorkování půdy pro měření množství živin a aplikování herbicidů.

Nejčastěji se snímání provádí při sklizni úrody, kdy na sklízecí mlátičce jsou připojeny sensory společně s GPS přijímačem. Během sklizně se hodnoty výtěžnosti společně s rozměry sklizeného území a vlhkosti zapisují do výnosové mapy. Mapy se používají poté k porovnávání výnosů z předchozích let a pomáhají k nalezení oblastí s vysokým a nízkým výnosem. Na základě těchto hodnot mohou farmáři přesně nastavit úkoly k udržení výnosu a zároveň u nízkých výnosů eliminovat problémy, které zapříčinily tomuto poklesu (Zhang, 2016).

4.7 Průběžné měření

Průběžné měření zahrnuje zpracování informací v průběhu růstu plodiny, jako je barva, výška plodiny, hustota porostu. Spektrální snímání hraje důležitou roli v průběžném měření. Pokud se měření provádí v rámci dní nebo týdnů, může se sledovat jaký vliv má například změna počasí nebo náhlé období sucha. Tyto informace varují farmáře před možným snížením výnosu, aby provedl potřebné operace. Průběžné měření dynamiky vlhkosti půdy hraje důležitou roli v zavlažování při rostlinné výrobě. Účelem je dosažení účinné kontroly zavlažování. Pro toto měření se musí použít síť čidel k poskytování potřebných informací pro předpovídání stavu spodních vod v jednotlivých zónách v poli a tím podporovat automatickou kontrolu zavlažování s cílem zlepšit využívání vodních zdrojů (Zhang, 2016).

5 Aplikace precizního zemědělství

Dalším základním prvkem je spolehlivá implementace plánovaných terénních operací. Výrobní proces obvykle zahrnuje některé nebo všechny tyto operace: plánování, výsadbu, vkládání vstupních dat do zařízení a sklizeň.

5.1 Plánování a výsadba

Každá správně provedená operace musí začít kvalitním plánováním. Vhodný plán založený na vlastnostech půdy a výnosovém potenciálu hraje důležitou roli v rostlinné produkci. Bohužel farmáři nechtějí do technologií přímo investovat z důvodu pomalé zpětné vazby aplikovaných operací. Do plánování se vkládají vstupní náklady, ceny sadby, náklady pro dané operace, ceny pronájmu půdy. Vytvoří se tím mapa ziskovosti. Po vytvoření celého plánu je potřeba přesně splnit naplánované úkoly v dané době. Někdy je samozřejmě mít potřeba náhradní varianty pro náhlé změny podmínek implementace.

Nejprve se musí provést předset'ové úpravy. Prvním krokem v současné době podmítání, méně se využívá hluboké orby. Dojde k porušení celistvosti povrchu pozemku a tím se mohou částečně připravit i podmínky pro růst plodiny. Při podmítce se předchozí zbytky sklizně zapraví zpět do půdy, kde se rozloží na potřebné živiny a pomůže se i vnitřnímu odvodňování půdy (Zhang, 2016).

Setí je další velmi důležitou operací v precizním zemědělství. Vyžaduje umíst'ování přesného množství semen do přesně stanovených řádků a do správné hloubky. Tato operace se provádí přímo přesnými secími zařízeními. Výrobci sadeb většinou přesně definují množství semen na daný úsek i hloubkou setí. Dnes se mohou používat i samoříditelné secí stroje pracující na bázi GPS souřadnic. Tím se může zamezit překrývání sadeb nebo vynechání řádku. Zařízení mají vliv i na počáteční náklady, protože odpadají náklady na zaměstnance, sadbu a palivo. Během setí se mohou vytvořit i mapy pro další operaci hnojení. Ty pomohou k přesné aplikaci živin a tím opět snížení nákladů na hnojivo.

5.2 Variabilní aplikace hnojiva, herbicidů, pesticidů

Aplikace podpůrných a ochranných postřiků probíhá na základě dat pořízených ze sensorů pro pozemní měření. Používají se data s GPS souřadnicemi a nastaveným množstvím aplikovaného hnojiva přesně pro dané místo. K aplikaci se používají stroje, které pro přesné dávkování používá aplikátory ovládané pulzem nebo tryskami s rychle

uzavíracími ventily. Aplikace probíhá tak, že se pomocí GPS a pozemního měření sestaví výnosová mapa. Ta je převedena do aplikace GIS. V aplikaci se rozdělí naměřená data a vytvoří se aplikační mapy. Do map jsou zaneseny data o půdní zásobě živin. Kompletní mapa se přenese pomocí ISOBUS do počítače v traktoru, který s touto mapou zpracovává jak GPS data v požadované dávce hnojiva na hektar. Traktor pomocí počítače ovládá rozmetadlo k aplikaci hnojiv. Během aplikování hnojiv probíhá další zaznamenávání polohy traktoru a mapování pozemku i s případnými překážkami, kde bylo přivedeno hnojivo. Počítač v traktoru poté kontroluje nastavený směr jízdy, zde se neodchyluje od přednastaveného z aplikace GIS. Nepřímé navádění se provádí za pomoci pozemního navádění GPS. Traktor se pohybuje na základě odchylek pomocí diod. Signál GPS je předáván pomocí přesně zamapované stanice. Pokud traktor jede po vrstevnici je potřeba použít zařízení TCM, které pracuje na principu gyroskopu nebo elektronické váhy.



Obr. 13 - Diodový sensor (Zhang, 2016)

Aplikace dusíkatých hnojiv se provádí za pomoci hydro N – sensoru. Sensor snímá a přenáší informace o hustotě a barvě porostu na základě odrazu slunečního světla od porostu. Systém využívá čtyř čidel umístěných na bocích přístroje a snímá porost po stranách jízdy, kde je aplikováno hnojivo. Všechna tato data zanalyzuje počítač v traktoru a pošle příkazy do rozmetadla průmyslových hnojiv nebo postřikovače kapalných hnojiv.

Použitá dávka je ukládána do mapy společně se souřadnicemi k zobrazení přehledu stavu živin na pozemku.



Obr. 14 - Hydro N- sensor

6 Inteligentní zemědělské stroje a pozemní roboti

Automatizované zemědělské stroje mají dlouhou historii v zemědělství. V 70. letech proběhlo mnoho zlepšování, avšak největší pokrok začal až v 90. letech, kdy si farmáři uvědomili, že pro zkvalitnění a zefektivnění prací je potřeba i inteligentních strojů.

Jako příklad můžeme uvést variabilní aplikace hnojiv, jednu z hlavních operací, kde se množství aplikované dávky mění někdy několikrát během pár čtverečních metrů. Tyto změny by se manuálně nebo poloautomaticky nemohly provést. Proto byly do strojů nainstalovány systémy pro automatické řízení stroje a změny dávkování (Zhang, 2016).

Malé inteligentní stroje jsou velmi používány v precizním zemědělství. Slouží k odebrání vzorků půdy, sledování plodin, selektivní sklizni a ničení plevelů. Využívají se i z důležitého ekonomického hlediska, protože jsou levnější než jiné způsoby péče o plodiny. Inteligentní přístroje nahrazují v některých případech běžné zemědělské práce, které dělají klasické zemědělské stroje, jako například setí, hnojení, sklizení apod. U automatických robotů ovšem není možné zajistit pružnou reakci na náhle vzniklé události jako u obsluhy stroje. Je velmi obtížné vytvořit takový systém, který tyto situace vyřeší. U inteligentních strojů je potřeba brát v úvahu samotný stav stroje. Aby mohl neomezeně pracovat na poli, musí být i jeho stav monitorován. Proto obsluha průběžně kontroluje stroj pomocí zvukových, vibračních a vizuálních podnětů, aby zjistila, že přístroj pracuje správně.

U navigačního systému zemědělských strojů za posledních pár let došlo díky implementaci naváděcích systémů k velkému pokroku v systému řízení, avšak u automatických robotů je používáno pouze pár platforem pro ovládání. Plánování

a systémy pro kontrolu stroje jsou největšími programy v rámci celkového systému stroje. Kontrolní systémy stroje mají za úkol hlídat chování stroje v nepříjemných situacích, které mohou nastat při práci. Například když se při přímém pohybu robota objeví překážka, která v naplánované trase neměla být, kontrolní systém díky sensorům a čidel může případně stroj zastavit a nahlásit vzniklou událost obsluze, která má stroj na starosti (Zhang, 2016).

7 Snímací technologie

Člověk při vykonávání pracovních činností používá automaticky několik nástrojů jako je vnímání prostředí, vyhodnocení vzniklé situace a její řešení. Tento systém musí operátor používat při práci s konvenčními zemědělskými stroji, které takto pracovat neumí. Inteligentní stroje, které využívají několika různých druhů sensorů a rychlých procesorů pro vyhodnocování mohou funkci operátora úplně eliminovat. K tomu ovšem potřebuje další nástroje: lokalizaci, rozpoznávání objektů, navigaci a učení nově vzniklých situací.

7.1 Druhy snímacích technologií

7.1.1 Monokulární vidění

Monokulární kamerový systém může poskytnout velkou škálu informací, včetně barev a tvaru objektů. Cena tohoto zařízení je nízká a dá se snadno díky svým malým rozměrům jednoduše zintegrovat do stroje.

7.1.2 Stereofonní snímání

Stereofonní snímání se dělí na aktivní a pasivní. U pasivního systému se používají dvě nebo více kamer, které snímají stejný objekt z více pohledů v prostoru. Výsledný obraz se poté vymodeluje pomocí grafického programu z jednotlivých zobrazení.

Při aktivním stereofonním vidění jedna z kamer je nahrazena projektorem, který osvětluje povrch objektu, strukturovaný paprsek světla narušuje geometrie objektu a vzniká tím zkreslený vzor objektu. Zkreslené zobrazení mohou být poté nahrazeny trojrozměrným tvarem obrazu. Tento způsob zobrazení se úspěšně využívá ve stísněných prostorech, ale ne ve venkovním prostředí.

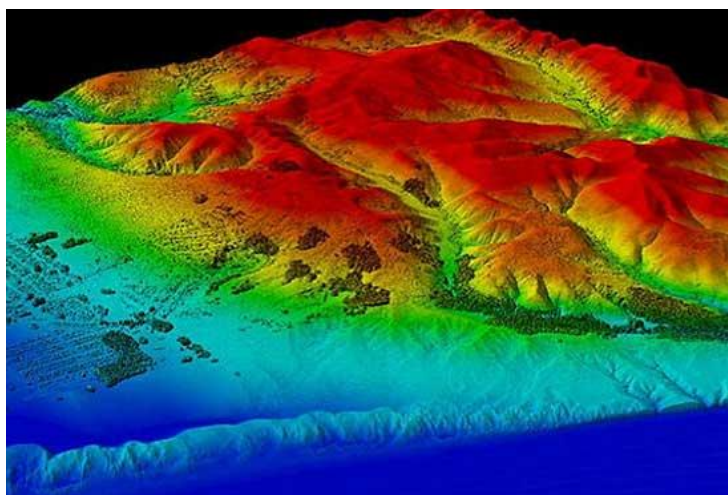
Stereofonní kamerový systém má výhodu nad monokulárním viděním systému při zobrazení vzdálenosti, velikosti a prostorové vzdálenosti mezi různými objekty v zorném poli kamery. Je méně citlivé na měnící se vnější prostředí, protože závisí

na velikosti, tvaru a vzdálenosti, které se nemění se změnou světla. Avšak náklady na zobrazovací a počítačící techniku pro vytvoření obrazu byly velmi vysoké, a proto nebylo tolik využíváno. V současné době jsou již na trhu k dispozici cenově lépe dostupné procesory a tím se předpokládá, že bude do budoucna monofonní vidění úplně nahrazeno stereofonním (Zhang, 2016).

7.1.3 Laser, Ladar, Lidar

Laser je zařízení, které vyzařuje světlo prostřednictvím procesu optického zesilování založené na stimulované emisi elektromagnetického záření. Laserový systém používaný pro účely snímání je často založen na principu time-of-flight (TOF). Metoda TOF měří čas, při kterém elektromagnetická vlna projde k cíli a zpět. Vzdálenost (rozsah) se vypočte jako polovina této doby vynásobená rychlostí vlny.

Laserový radar (LADAR) se používá podobně jako radar, ale používá laserové paprsky k prověřování a zpracovávání signálu pro vytvoření virtuálního obrazu dané oblasti. Procesor LADARu hledá dané obrazy v nahraných schématech a průběžně srovnává tyto vzory s 3D cíli souborů uložených v paměti. Vzhledem ke své schopnosti skenování velké plochy s velmi vysokou přesností, a jeho schopnost postupně vytvářet podrobný obraz prostoru. LADAR snímače se obvykle používají při monitorování z různých úhlů. Laserový radar (LADAR) dokáže detekovat objekty a identifikovat specifické vlastnosti velmi vysokým rozlišením až do rozlišení 15cm (DefenseUpdate, 2006).



Obr. 15 - LADAR Snímek oblasti (DefenseUpdate, 2006)

LiDAR vystřelí rychlé pulsy laserového světla na povrch objektu, některé až do 150.000 impulsů za sekundu. Snímač na přístroji měří množství času, za který se každý impuls odrazí zpět. Světlo se pohybuje při konstantní známé konstantní rychlosti, takže přístroj může vypočítat vzdálenost mezi ním a cílem s vysokou přesností. Opakováním tohoto rychlého měření buduje složitou mapu povrchu. Pro zajištění ještě větší přesnosti měření, musí být shromážděny i další údaje, jako je snímač pohybu výšky, umístění a orientace nástroje pro určení polohy laserového pulsu v okamžiku odeslání a dobu návratnosti. Tato dodatečná informace má zásadní význam pro integritu těchto dat. Může být přidána i poloha GPS pro každé místo, kde byl přístroj použit (Lidar-UK, 2017).

7.1.4 Radar

Radar detekuje rádiové vysílání používáním rádiových vln v rozsahu 3 MHz až 110 GHz, které se odráží od povrchu objektu pro určení vzdálenosti, směru a rychlosti objektu. Radarové signály se nejlépe měří od materiálů s dobrou elektrickou vodivostí, zejména ze strany většiny kovů a mokré vozovky. Radar může poskytnout přesné informace o vzdálenosti, ale ne o tvaru překážky, proto se používá pouze pro detekování objektů anebo pro jejich zobrazování.

7.1.5 Ultrazvukový sensor

Ultrazvukové sensory pracují na podobném principu jako LiDARy, ale pouze s vyšší vlnovou frekvencí než je slyšitelná pro lidské ucho. Většina sensorů pracuje na frekvencích mezi 40 až 250 kHz. Jelikož je rychlost zvuku několikrát menší, než rychlost světla není tolik efektivní na měření dlouhých vzdáleností jako LiDAR. Většinou měří do vzdálenosti 10 metrů.

7.1.6 Aktivní 3D kamery

Aktivní kamery se skládají z několika snímacích laserů a kamer. Pracují na podobném systému měření vzdálenosti, jako laser, na bázi světelného paprsku. Obraz je získávám pomocí několika vrstev 2D pixelových polí, které se poté zpracují ve 3D obraz. Aktivní kamery 3D jsou konkurencí stereofonnímu snímání v rámci modelování povrchu pozemku. Za optimálních podmínek, tento systém překonal i systém stereofonní, pokud jde o dosažitelné přesnosti pro měření vzdáleností. Zemědělské aplikace aktivních 3D kamer mohou dokonce rozeznávat rostliny a například mapovat stromy pro automatické prořezávání (Zhang, 2016).

7.2 Parametry pro výběr sensoru

7.2.1 Rozsah

Správné zvolení typu sensoru musí záležet na požadavku měřené vzdálenosti a jeho rozsahu. Pro kontrolu pomalé jízdy mezi řádky a následného přejezdu mezi řádky použijete sensory s různým rozlišením. Pro ochranu vozidla je důležité snímat vzdálenost od objektů, aby případně stroj mohl včas reagovat na objekt a zastavit, maximální vzdálenost by měla být do 15 metrů.

7.2.2 Odolnost vůči světlu

Na rozdíl od výrobních operací v kontrolovaných světelných prostředích se u zemědělských strojů obvykle počítá s fungováním za proměnlivých světelných podmínek. Například po ránu je světlo tlumené, během dne se se vyjasňuje, ale je ovlivňováno postupujícími mraky a večer je částečně vidět nebo při práci za tmy se používá pouze reflektorů stroje. Radar a ultrazvukové senzory nejsou ovlivněny těmito světelnými podmínkami, protože používají radiové a ultrazvukové vlny. Obrazové snímače (mono a stereo) jsou velmi citlivé na měnící se světelné podmínky, neboť pracují ve viditelné světelné spektrum, které je přímo ovlivněno okolním prostředím (Zhang, 2016).

7.2.3 Prachová odolnost

Zemědělských stroje velmi často pracují za velmi prašných podmínek. Tím vzniká velká pravděpodobnost vzniku nepravdivých odrazů zvuku nebo radiových vln u sensorů, které tyto technologie používají. Stává se, že procházející paprsek nebo vlna nemusí dorazit k objektu a zbrzdí se o prachové částičky při pronikání prostředím. Proto při volbě sensoru velmi záleží na typu, síle signálu a dalších vlastnostech.

Nejodolnější vůči prachu jsou při správném nastavení výstupních parametrů sensory pracující na obrazovém snímání. Nejcitlivější jsou naopak laserové systémy.

7.2.4 Prostorové rozlišení

Prostorové rozlišení se vztahuje k velikosti nejmenšího možného objektu nebo funkce v prostoru, které mohou být detekovány a identifikovány. U obrazových snímačů se prostorové rozlišení vztahuje k velikosti pixelu kamery. Pro LIDAR senzory, prostorové rozlišení je závislé na hustotě bodu, který má hlavní funkce u frekvence

skenování. Prostorové rozlišení systému je také závislé na zorném poli snímače. Obrazový snímač nainstalovaný v menší výšce má daleko lepší prostorové rozlišení než ve vyšší. Monokulární snímání poskytuje nejlepší prostorové rozlišení, což je velmi užitečné při nastavování přístroje pro identifikaci objektů. Stereofonní snímání a Lidar snímání se často používají souběžně s monokulárním viděním pomocí cloudu pro lepší vykreslení a identifikaci objektů. Radar a ultrazvukové senzory mají nejmenší prostorové rozlišení, proto se používají pouze pro detekci objektů a ne jejich identifikaci.

7.2.5 Údržba

Snadnost údržby snímače je dalším požadavkem při výběru senzoru vnímání. Senzor s kvalitní konstrukcí vyžaduje méně údržby. Monokulární kamery, radary a ultrazvukové senzory vyžadují minimální údržbu vzhledem k jejich malé velikosti a jednoduchého designu s nepohyblivými částmi. U stereofonních zařízení dělají největší problémy vibrace, které mohou způsobit změny v relativní orientaci, díky které je potřeba často kalibrovat kamerové senzory. Lidarové senzory mají vnitřní pohyblivé části, které jsou náchylné na poruchy, takže je těžké je udržovat v zemědělských podmínkách (Zhang, 2016).

8 Akustické a pneumatické senzory

Akustické a pneumatické senzory jsou další variantou k mechanickým sensorům při měření vzájemného působení půdy a zemědělských nástrojů. Akustické senzory byly použity například pro měření změny hladiny hluku vznikajícím při vzájemném působení nástroje s částčkami půdy za účelem určení půdní textury nebo objemové hmotnosti. Pneumatické senzory byly používány také k měření propustnosti půdy pro vzduch. Tlak potřebný k natlačení daného množství (objemu) vzduchu do pevně dané hloubky byl porovnáván s několika půdními vlastnostmi jako např. půdní struktura a zhutnění. V tomto okamžiku je velmi málo objasněn vztah mezi výstupy sensorů a fyzickým stavem půdy a je třeba dalšího výzkumu.

Vývojem a ověřováním kontrolního a řídicího systému pro operaci předset'ového zpracování půdy se zpětnou vazbou na kvalitu práce se zabýval ve své práci například Scarlett a kol. (1997). Popsal čidlo sledující hrubost povrchu pomocí odrazu ultrazvukových vln. V pokusu se zabýval zpětnou regulací intenzity zpracování na základě

hrubosti povrchu půdy. Všechny tyto pokusy byly prováděny pouze v laboratorních podmínkách. Každoročně se na přípravu půdy a set'ového lože vynakládají nemalé prostředky. Přesto snaha zemědělců nemusí vždy přinést žádané výsledky. Problémy vznikající při příliš intenzivní nebo nedostatečné přípravě půdy, jsou především rozplavení půdních agregátů, tvorba škraloupu, a na druhou stranu nevhodné podmínky pro založení porostu.

I když jsou k dispozici stroje, které mohou reagovat v průběhu práce na měnící se podmínky pro práci, chybí metody pro získání vstupních informací a sestavení rozhodovacích algoritmů (Kroulík, 2012).

9 Elektrochemické senzory

Elektrochemické senzory pokytují pro precizní zemědělství nejdůležitější typy informací, které se týkají dostupnosti živin a pH půdy. V laboratořích je na půdních vzorcích prováděna doporučená sada laboratorních procedur. Mezi tyto procedury patří obvyklé postupy přípravy vzorků a samotné měření. Některá měření (zejména pH) jsou prováděna za použití elektrod pod označením ISE nebo ISFET. Tyto elektrody mohou rozpoznat aktivitu specifických iontů (dusík, draslík, v případě pH vodík) ve vzorku. Několik výzkumníků se pokoušelo převzít dosavadní procedury přípravy půdy a měřících postupů při provádění laboratorních testů on-the-go.

Například Veris Technologie (Obr. 16) je automatický systém, který mapuje půdní pH (Veris Soil pH Manager), kde používá dvou vybraných elektrod k přímému určení pH přímo ve vlhké půdě. Půdní vzorkový mechanismus umístěný na pohyblivém rámu získává při pohybu přes pozemek vzorky půdy přibližně z hloubky 10 cm. Tyto vzorky pevně spojuje s citlivou membránou a referenčními spojeními dvou elektrod. Jakmile je výstup stabilizován (asi za 10 s), je povrch elektrod opláchnut vodou a je odebrán další vzorek. Všechna obdržená data naměřená touto metodou mají větší chybu než laboratorní analýza. Dalším testováním bylo ale prokázáno, že zvýšením hustoty vzorků více než 10x se může zvýšit i kvalita generovaných půdních pH map při zachování stejných nákladů. Agroekonomické analýzy ukázaly, že větší rozlišení map může výrazně snížit chyby odhadu pH a zvýšit potenciální ziskovost variabilního vápnění.

Pokračuje snaha o integraci přídavných elektrod k mapování rozpustného draslíku a zbytkového nitratového dusíku společně s půdním pH. Výzkumné práce se rovněž

zabývají možností kombinací čidel, za účelem zvýšení vypovídací schopnosti získaných dat. Proto Verisi Mobile Sensor Platform (MSP) kombinuje mapovací systémy pH a EC (Kroulík, 2012).



Obr. 16 - Verisi Multi Sensor Platform (45)

10 Aplikace senzorů

Mezi měřeními v precizním zemědělství je nejvíce rozšířeno pouze měření vodivosti půdy, i když je vyvíjena celá řada on-the-go senzorů. Přednost se dává čidlům, které mají přímý kontakt s existujícími algoritmy. Na druhou stranu elektrické a elektromagnetické senzory dávají hodnotné informace o půdní variabilitě, které dokážou rozdělit pozemek na menší, homogenní bloky, často označované jako management zóny. Definování zón probíhá například na základě rozdílného druhu půdy. Rozdělení na základě vodivosti pomocí těchto senzorů bývá někdy i mnohem přesnější než komerčně dostupné mapy. Z mapy vodivosti se dají označovat i erodované plochy půdy, po velkých deštích i naplaveniny, které se ostanou na pole. Také rozdílné úrovně ve výnosech často korespondují s hodnotami elektrické vodivosti (Kroulík, 2012).

11 Mechanické senzory

11.1 Nepřímé metody hodnocení mechanických vlastností půdy

Půdní mechanický odpor je indikátorem mechanických vlastností půdy. Může být ovlivněn utužením, texturou půdy, obsahem vody a dalšími zemědělskými parametry (Adamchuk, a další, 2005).

Nejběžnější nepřímou metodou měření půdního mechanického odporu je penetrometrie. K tomuto účelu slouží normovaný kuželový penetrometr (ASAE, 2002). Podle zjištěného penetračního odporu můžeme dále usuzovat například na odpor půdy proti vnikání pracovního nástroje, stupeň obtížnosti kypření nebo pevnost půdních makroagregátů (Hůla, a další, 1997). Nejčastěji se setkáváme s penetrometry v souvislosti s měřením utužení půdy (Lapen, a další, 2002) (Jurga, 2003) (Carrara, a další, 2003). Mouazen a kol. (2005) uvádějí, že metody měření penetračního odporu nebo odběr fyzikálních válečků jsou velmi obtížné a časově náročné. Jedná se o nespojitá data získaná měřením založená na síti měření. Heisel a kol. (1999) ve své práci uvádí potřebu času na odběr půdního vzorku na 10 až 60 minut. Uvedené důvody představují jednoznačně překážky pro nasazení v režimu kontinuálního měření. Lapen a kol. (2002) potvrzuje, že kuželovým penetrometrem můžeme odhadnout zhutnění půdy, ale jedná se o bodové měření a k popisu ulehlosti půdy na celém pozemku je zapotřebí mnoho odběrů. Navíc data z penetrometru mohou na kamenité půdě vykazovat prostorovou nezávislost na vzdálenost 0,1 m. Charakter prostorových závislostí vykazuje také silnou prostorovou anisotropii, způsobenou přejezdy strojů. Tahová síla je faktor, který by mohl být měřen kontinuálně při normální práci stroje, a zhutnění odvozené od tahové síly by bylo měřeno v kořenové zóně většiny polních plodin.

Zrychlení práce s penetrometrem představují poloautomatické měřicí zařízení, většinou ve spojení s mechanizačním prostředkem. Tato zařízení ve většině případu kombinují hodnoty mechanického odporu půdy s dalšími údaji, jako je vlhkost půdy, vodivost půdy apod. Podobné zařízení představil ve své práci Yurui a kol. (2008), (Obr. 17). Hummel a kol. (2004) popisují snahy o integraci zařízení pro zjišťování elektrické vodivosti půdy do kužele penetrometru. Na Obr. 18 je kombinovaný senzor proměření penetračního odporu vlhkosti půdy a optických vlastností půdního profilu nabízený firmou Veris.



Obr. 17 - Poloautomatický penetrometr (Yurui, a další, 2008)



Obr. 18 - Poloautomatický penetrometr společnosti Veris (foto Kroulík)

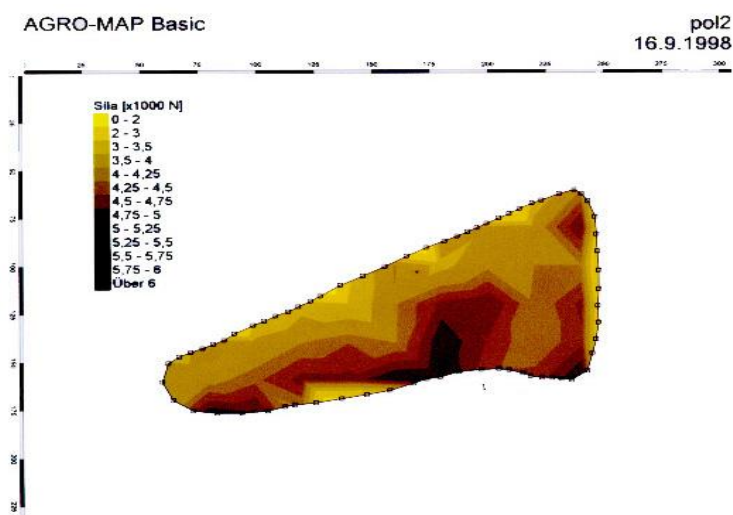
Řada prototypových systémů byla vyvinuta pro mapování půdního mechanického odporu při práci stroje. Větší vzorkovací frekvence těchto technik poskytuje mnohem přesnější znázornění variability půdního mechanického odporu uvnitř pole v porovnání s údaji získané z bodového odběru kuželovým penetrometrem. Měření tak může být využito například pro místně specifické obdělávání půdy zmírňující problémy způsobené utužením půdy. Senzory zhutnění půdy a sledováním fyzikálních vlastností pro znalost lokálně rozdílných půdních vlastností se zabývali například Sirjacobs a Destain (2000), Barone a Faugno (1996) nebo Mouazen a kol. (2002). Ve svých pokusech měřili sílu potřebnou na tažení nástroje nebo hrotu v půdě, při pohybu konstantní rychlostí. Mouazen a kol. (2005) hodnotili měřicí zařízení složené z několika čidel vyvinutých pro měření objemové hmotnosti při práci stroje. Měření tahové síly a hloubky v pohybu bylo prováděno jednostranným ostřím osazeným na tenzometrech a ocelovým kolečkem vybaveným polohoměrem. V uvedených případech by se dalo hovořit o horizontálním penetrometru. Tyto systémy již daleko více splňují požadavky na kontinuální záznam. Konstrukce horizontálního penetrometru byla rozvíjena již v 90. letech. Alihamsyah a kol. (1990) provedli srovnání horizontálního a vertikálního penetrometru v brázdě, a na základě statistického šetření zjistili velmi dobrou shodu mezi naměřenými výsledky a metodami měření. Lüth (1993) a Isensee (1992) se ve svých pracích zabývali zkoušením i konstrukčními úpravami horizontálního penetrometru. Weissbach (1998) prokázal svým upraveným horizontálním penetrometrem vliv druhu půdy na sílu potřebnou pro vnikání kužele penetrometru. Price (2002) vyvinul prototyp prvního horizontálního penetrometru, který umožňoval měření penetračního odporu při pomalé jízdě měřicí soupravy po vytyčeném pozemku. Upravený horizontální penetrometr představil Stenberg a kol. (2007).

Sirjacobs a kol. (2002) použili ve svých pokusech pracovní nástroje podobné radličce kypřiče, kde pozorovali fyzikální parametry ovlivňující velikost tahové síly. Verschoore a kol. (2003) provedli srovnání mezi horizontálním penetrometrem a šípovou měřicí radličkou, kde zjišťovali velikost sil působících na pracovní stranu radličky. Na základě nepatrných rozdílů korelačních koeficientů vidí autoři v této oblasti měření velkou budoucnost a zároveň zdůrazňují, že jejich závěry musí být ověřeny dalšími měřeními. Podobná měření byla prováděna též na katedře zemědělských strojů. Tahová síla potřebná k tažení jedné radličky byla měřena s použitím speciálního měřicího rámu,

zapůjčeného z VÚZT Praha (Obr. 19). V hlavním rámu je na šestikomponentním závěsu uchycen menší rám. Závěs dovolí pouze vodorovný pohyb rámu vůči sobě. Menší rám je opatřen závěsem pro upevnění měřené radličky. Mezi rámy se vkládá tahový dynamometr. Byl použitý tenzometrický dynamometr s rozsahem 0 – 30 kN. Hloubka zpracování půdy během měření jedné radličky byla 150 mm. Hodnoty tahové síly se zaznamenávaly spolu s údaji o poloze stroje do měřicí ústředny. Z naměřených údajů byla sestrojena mapa tahové síly (Obr. 20).



Obr. 19 - Měřicí rám VÚZT Praha (foto Kroulík)



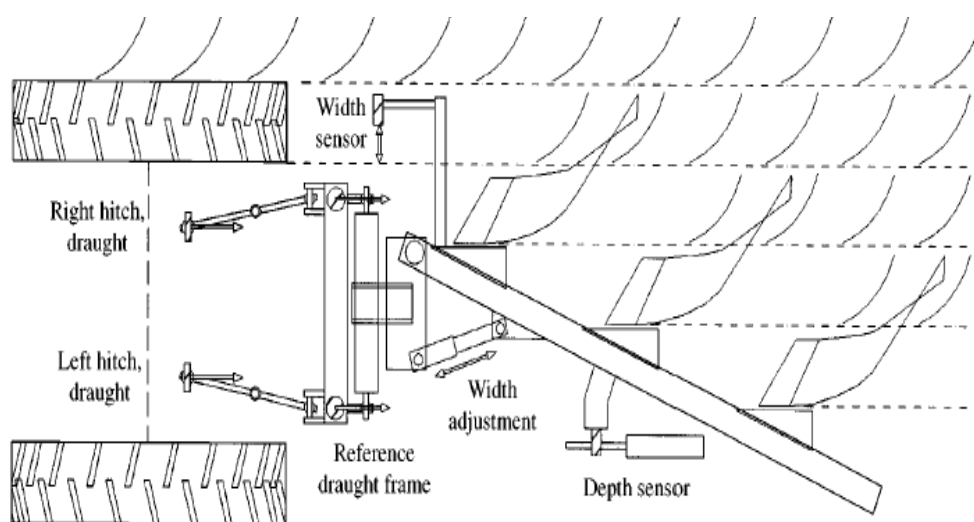
Obr. 20 - První získaná mapa z měření tahové síly

Na základě výsledků se nabízí myšlenka, využít pro měření variability půdního prostředí znalost tahové síly, která je potřebná na tažení běžných, standardních strojů na zpracování půdy. Velikost tahové síly je u tažených strojů na zpracování půdy rozhodující pro energetickou náročnost prováděné operace. Potřebu tahové síly nástrojů pro zpracování půdy ovlivňují podmíněné parametry jako druh nářadí, pracovní záběr, pracovní hloubka a pracovní rychlosti. Druhou oblast působících faktorů na potřebu tažné síly představují faktory závislé na místě, ke kterým musíme připočítat druh půdy, objemovou hmotnost půdy, půdní vlhkost a reliéf (Schutte, a další, 2003). K dalším faktorům, které působí na výslednou hodnotu tahové síly, patří použité nářadí, stav nástrojů, seřízení nářadí.

Měření tahové síly, které sloužilo pro navrhování a optimalizaci strojů pro zpracování půdy se provádělo v zemědělství již před desítkami let. V roce 1855 se zabýval Segnitz (1856) měřením tahové síly. Ucelený pohled na historii měření tahové síly až do začátku 19. století popisuje ve svém díle RöhrsaWilkens (1984), a ještě o něco rozšířený a nově doplněný pohled do historie měření tahové síly popisují König (1989).

Aktuální znalost tahové síly by tak mohla být v mnoha ohledech užitečným nástrojem. Výsledky mohou být v běžné praxi použity pro srovnání energetické náročnosti používaných technologií zpracování půdy, ověření technických změn na strojích, optimalizaci nastavení nářadí a ověření agrotechnických zásahů na pozemcích. S odvoláním na hospodaření podle prostorové variability pozemku jsou prostorové informace o půdních vlastnostech pozemku a jejich vzájemná vazba na terén potřebné pro uplatnění prostorově specifického obhospodařování. Jak dokládá Godwin a Miller (2003), pro mapování půdních vlastností jako je zrnitost, struktura půdy, dostupnost vody a její pohyb lze využít měření elektromagnetické indukčnosti a tahové síly. Pod pojmem mapování tahové síly se rozumí přiřazování souřadných souřadnic k zjištěné tahové síle v určitém časovém okamžiku. Jedno z prvních a na svou dobu velmi sofistikovaných měření provedli Keen a Haines (1925) již v roce 1925, kdy použili měřicí zařízení vlastní konstrukce. Právě autory vyvinutý systém měření mohl během orby získávat „data“, jako velikost tahové síly, pracovní hloubku a časový okamžik, za který ujela měřicí souprava předem vyznačenou dráhu. Naměřené údaje následně autoři znázornili a přenesli do jedné z prvních map tahových sil.

Práce autorů Keena a Hainese (1925), vedly s odstupem času ke zjišťování variability půdy a následnému zhotovení map tahové odporu. V roce 1992 provedl Paul (1992) mapování tahové síly na pokusném pozemku ústavu FAL v německém Braunschweigu za použití do té doby nejmodernější měřicí aparatury. Datová ústředna zaznamenávala signál ze silových čepů traktoru a rychlost, která byla měřena radarem. Vedle výše uvedeného signálu ze silových čepů a rychlosti, autor zaznamenával polohu soupravy a také celkový prokluz. Z naměřených a vyhodnocených hodnot došel Paul k závěru, že vlhkost půdy zřetelně ovlivňovala celkový prokluz traktoru. Souprava se pohybovala v předem stanovených jízdních stopách, jejichž rozteč byla konstantní a předem stanovená. Výsledkem sloučení a zpracování všech hodnot byla shoda v závislosti tahové síly na různých půdních druzích uvnitř pokusného pozemku. V určitých oblastech zjistil autor nadměrné ztuhnutí půdy, které vzniklo po předchozí sklizni cukrové řepy. Paul zároveň vidí velký potenciál pro mapování tahových sil z naměřených hodnot ve spojení s vlastmi půdy. Van Bergeijk a Goense (1996) vybavili upravený otočný, tříradličný pluh senzory, které snímaly šířku záběru a pracovní hloubku (Obr. 21). Tahová síla se měřila opět ze sériových silových čepů dolních ramen traktoru, ale také přídatným měřicím rámem mezi traktorem a pluhem. Okamžitou polohu zaznamenával přijímač signálu GPS. Měrná tahová síla se při orbě pohybovala mezi 30 až 50 kN.m⁻².



Obr. 21 - Otočný tříradličný pluh vybavený senzory dle Van Bergeijk a Goense (1996)

Van Bergeijk a Goense (2001) zjistili vztah mezi tahovou silou a rozdílnými půdními druhy na pokusném pozemku. Závěrem práce autoři konstatují, že je možné

použit sériové silové čepy traktoru pro měření tahové síly, jestliže se před samotným měřením provede jejich správná kalibrace. „Měřicí soupravu“ je možné rozšířit o senzor, který snímá pracovní hloubku. Holtmann a kol. (2000) popisují metodu a způsob měření tahových sil sériovými silovými čepy traktoru. Van Bergeijk a Goense (2001) opakovali svá měření i následující rok na stejném pozemku, aby určili vliv obsahu jílu v půdě na tahovou sílu. Data autoři sbírali po dobu dvou let. Hodnoty tahové síly a mapy zpracovali metodou kriging, kde prokázali vysokou závislost tahové síly na obsahu jílu. Výsledkem odebraných vzorků zpracovaných metodou ko-kriging bylo zpřesnění výsledné mapy obsahu jílu na pokusném pozemku. Van Bergeijk a kol. (2001) došli k závěru, že použitím metody ko-krigingu je možné snížit odběr půdních vzorků o 20 %. Droll (1999) se na univerzitě v německém Hohenheimu zabýval mapováním tahové síly a záznamem točivého momentu na vývodovém hřídeli u poháněných strojů na zpracování půdy. Takto vybavená souprava zpracovávala vybrané plochy s širokou paletou strojů poháněných vývodovou hřídelí (rotační, vířivý kypřič, kývavé brány). Mimo jiné představil hlavní zdroj chyb při měření (Tabulka 1). K podobným závěrům dospěl rovněž McLaughin a kol. (2000).

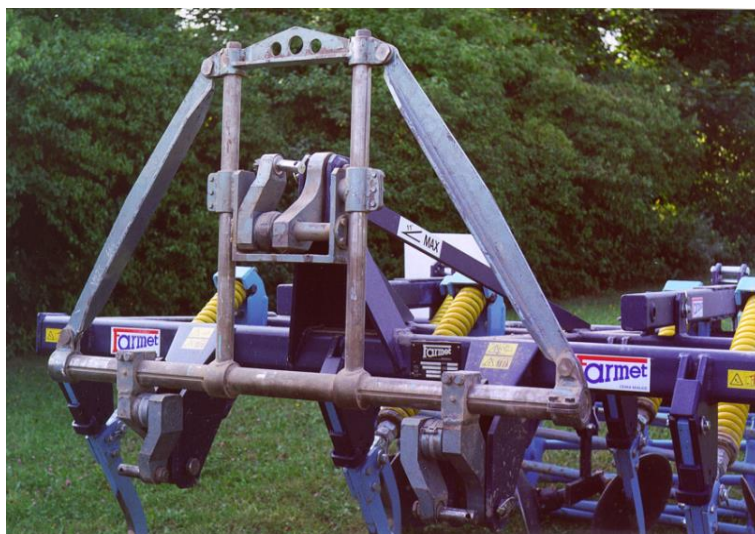
Půdní nerovnosti	Rozdíly v rychlosti jízdy
Rozdíly v pracovní hloubce	Velká diference vlhkosti půdy
Rozdílné způsoby jízdy ovlivněné obsluhou	Rozdíly v nastavení stroje
Kmitání traktoru a připojeného nářadí	Variabilita pozemku
Rozdíly v efektivní pracovní šířce	

Tabulka 1 - Největší zdroj chyb u mapování tahové síly (Droll 1999, McLaughin a kol. 2000)

Lapen a kol. (2002) popisují automatický systém získávání dat, kde vedle polohy získané na základě signálu GPS jsou zobrazena také data získaná ze silových čepů závěsu traktoru. Výsledkem jsou tahové mapy. Svoboda a kol. (1998) zjišťovali velikost tahové síly svým vlastním prototypem silového čepu, který byl upevněn na závěsu traktoru. Autor zdůrazňuje možnost použití silových čepů pro zjištění tahového odporu a následné zpracování tahových map. Godwin a Miller (2003) ze svých měření přikládá výše

uvedeným hodnotám nepatrný význam pro precizní zemědělství, pokud není pro mapování tahové síly deaktivována silová regulace traktoru.

Jak dále uvádí Kürsteiner (2003) měření síly na tříbodovém závěsu traktoru se provádí často s použitím měřicích rámu, které jsou vloženy mezi traktor a připojené nářadí. Ukázka měřicího rámu, který používala Katedra zemědělských strojů pro měření tahových sil (Obr. 22).



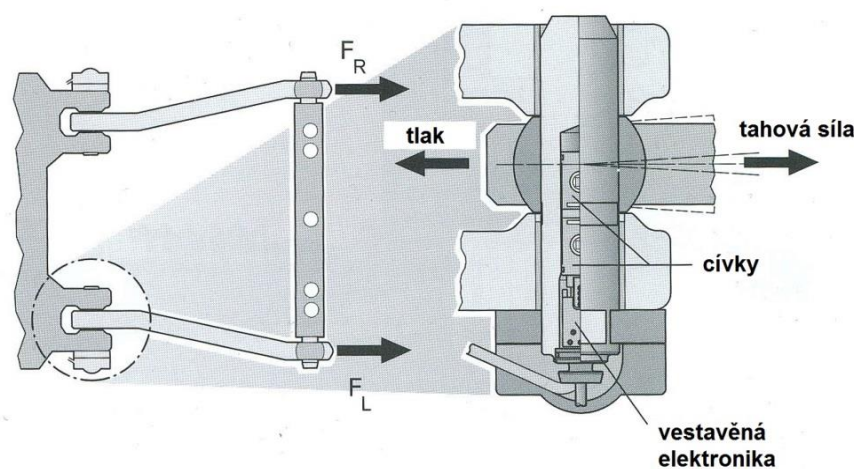
Obr. 22 - Měřicí rám, vkládaný mezi traktor a měřený stroj (foto Kroulík)

Práce a manipulace s takovým rámem může být velice obtížná. Kromě výsledků dosažených na experimentálních rámech mohou být k měření použity sériově osazované silové čepy v traktoru, určené pro elektronickou regulaci závěsu (Schutte, a další, 2003).

Měření rozdílů v půdních vlastnostech během běžného zpracování půdy představuje základ mapování potřeby tahové síly nástroje pro zpracování půdy. Navíc jak uvádějí ve své práci Rothmund a kol. (2003), s měřením tahové síly na elektronicky regulovaném závěsu a automatizovaným ukládáním dat se získává během zpracování půdy parametr bez dodatečných nákladů na jejich získání. Kutzbach a kol. (2004) se zabývali ověřováním experimentálně zjištěných hodnot s hodnotami získaných z traktorů v polních podmínkách. Autoři docházejí k závěru, že takto zjištěné informace mohou sloužit pro zjištění variability pozemku.

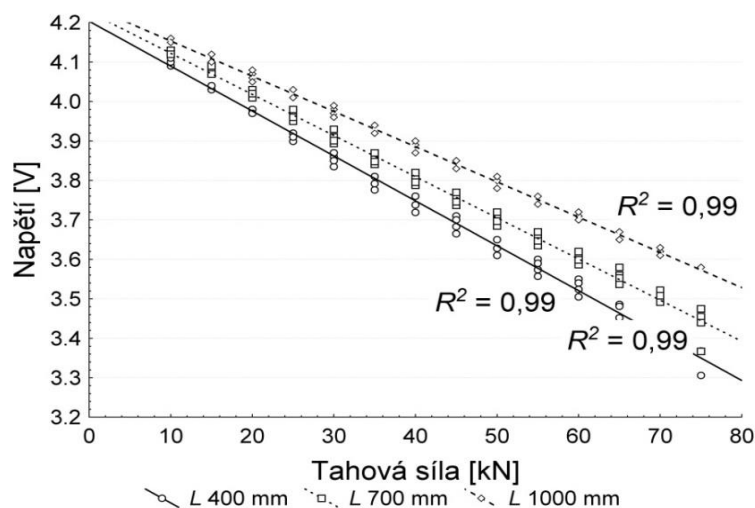
11.2 Hodnocení mechanických vlastností půdy s využitím elektroniky traktorů

Pro zjišťování tahové síly jsou téměř všechny současné traktory vybaveny zařízením, které toto měření umožňuje. Do dnešní doby se prosadilo především elektronické měření síly na traktorech. Rozličné metody řešení ovládání zadních ramen traktoru jsou patentovány buď samotnými výrobci traktorů, nebo jejich dodavateli. Většina traktorů je vybavena elektronickou regulací zadních ramen od firmy Bosch-Rexroth, pracující tak, jak je schématicky znázorněno na Obr. 23. Vlivem sil působících na čep umístěný v dolních ramenech vzniká magneto-elastický efekt (Noack, 2001), který je vstupní informací pro elektroniku EHR traktoru. Elektrohydraulická regulace (EHR) může pracovat v režimu: polohové regulace, silové regulace, smíšené regulace, tlakové regulace a prokluzové regulace. Polohová regulace má senzor na vačce hřídele zdvihacích ramen. Snímání signálů pro silovou regulaci zabezpečují siloměrné čepy na dolních táhlech, protože těžší traktory pracují v převážné většině s návěsnými pluhy, případně stroji pro zpracování půdy.



Obr. 23 - Schématické znázornění funkce silových čepů firem Bosch Rexroth (Noack, 2001)

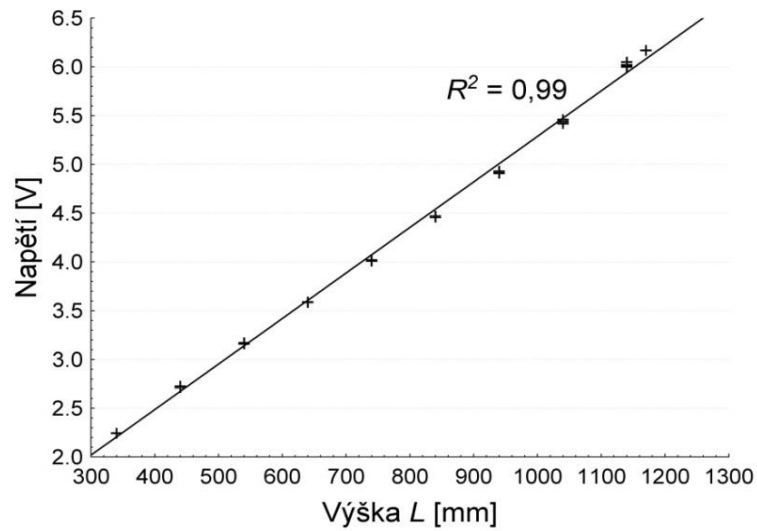
Graf na Obr. 24 popisuje závislost průběhu výstupního napětí čidla tahové síly na tahové síle u traktoru Fendt 933 Vario. Lineární průběh závislosti výstupního napětí z čidel na tahové síle byl opět prokázán u všech poloh ramen závěsu. Koeficienty determinace (R^2) byly rovny hodnotě 0,99. Z grafu na Obr. 24 ale vyplývá, že sklon regresních přímek se mění s polohou ramen.



Obr. 24 - Závislost výstupního napětí z čidel tahové síly na tahové síle u traktoru Fendt 933 Vario

Tahová síla je velkou mírou ovlivněna pracovní hloubkou. Kolísání pracovní hloubky je považováno za jev rušící, jestliže se provádí měření tahové síly za účelem zjišťování půdních rozdílů. Rüsseler (2004) ve své vědecké práci popisuje rozličné metody pro měření pracovní hloubky nářadí pro zpracování půdy, které našly velkého rozšíření v zemědělské praxi. Metody zjišťování pracovní hloubky a jejich aplikace se popisují také v práci Schutte a kol. (2004) nebo (Kutzbach, a další, 2004). V pracích byly konfrontovány metody, které umožňují měření pracovní hloubky během jízdy tzv. on-line. Výsledkem měření on-line je pozdější normování tahových sil, kdy se ke každé hodnotě přiřadí aktuální pracovní hloubka. Hodnoceny byly metody založené na použití kopírovacího kola, ultrazvukového senzoru, infračerveného senzoru a polohoměru zadního závěsu.

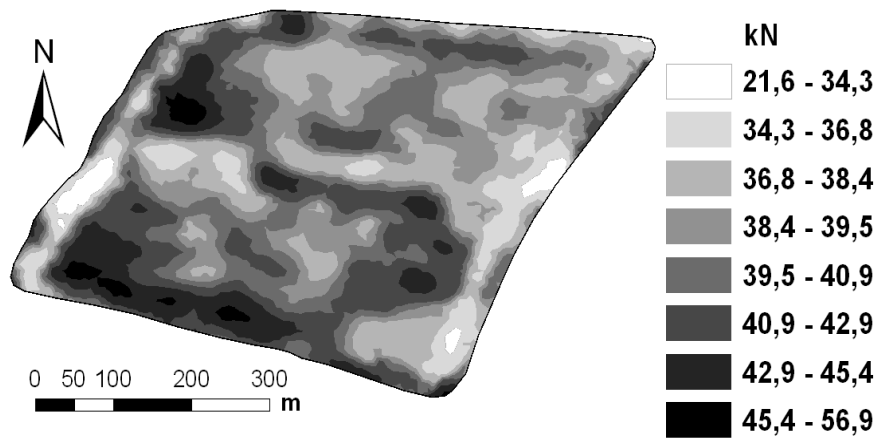
Hodnoty z kalibrace polohoměrného čepu traktoru Fendt přináší následující odstavec. Průběh hodnot výstupního napětí z čidla polohy závisel lineárně na výšce osy čepu spodních ramen závěsu traktoru (Obr. 25). Koeficient determinace (R^2) byl pro čidlo polohy 0,99.



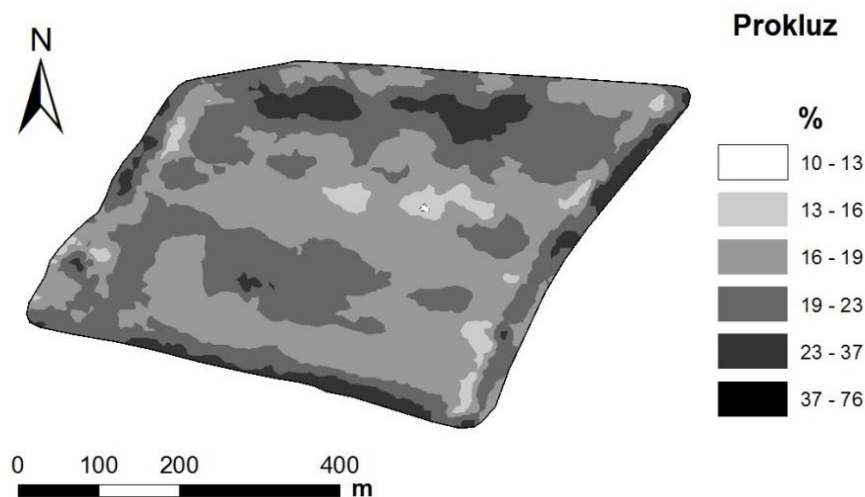
Obr. 25 - Závislost výstupního napětí z čidla polohy ramen na výšce osy čepu spodních ramen závěsu u traktoru Fendt 933 Vario

Na Obr. 26 je zobrazena mapa tahové síly pořízená traktorem Case během kypření. Rovněž mapa prokluzu byla získána během práce stroje (Obr. 27).

Tahová síla



Obr. 26 - Mapa tahové síly pořízené traktorem Case během kypření v roce 2008



Obr. 27 - Mapa prokluzu měřená během kypření na traktoru Case v roce 2009

Dnes existuje řada prototypů, které umožňují nepřetržité měření mechanického odporu, nicméně komerční využití těchto senzorů je minimální. Protože zpracování půdy představuje mechanické zásahy do půdy spojené s vysokou energetickou náročností, jsou technologie zpracování půdy předmětem soustředěné snahy o snižování spotřeby paliva a snižování pracnosti, s čímž souvisí dosahování příznivějších nákladů na jednotku produkce.

Významným krokem v modernizaci a komunikaci mobilních prostředků v zemědělství bylo zavedení systému sběrnice ISO (ISO 11783). Díky sběrnici ISO nebylo nutné mít další terminál pro připojená nářadí. V systému sběrnice ISO se sjednotila komunikace připojených nářadí k mobilnímu prostředku se sběrnici CAN. To znamená, že sběrnice CAN i sběrnice ISO komunikují stejnou „řečí“ a řídicí jednotky nainstalované na nářadí je možné zobrazit na terminálu sběrnice CAN. V neposlední řadě se začal systém sběrnice CAN používat v precizním zemědělství a to s pomocí satelitní navigace a bezdrátového přenosu dat v reálném čase z mobilních prostředků do počítačů (Bauer, a další, 2006).

Je zde tedy určitý potenciál pro variabilní zásahy, především z hlediska hloubky zpracování půdy. Technologie precizního zemědělství jsou technologie založené na informacích. S nárůstem množství dat získaných z mobilních i statických zdrojů roste potřeba standardizace datové základny. Výrobci zemědělských a lesnických strojů zaručují zaměnitelnost senzorů a ovladačů a akceptují modulový design nových výrobků. Formáty datových souborů jsou standardizovány v ISO 11 787. Díky těmto normám mohou být

informace snadno a efektivně vyměnitelné. Řada významných údajů o provozních údajích strojů by mohla být využívána z elektroniky moderních traktorů.

Praktická část

11.3 Měření tahové síly při základním zpracování půdy

Velikost tahové síly je u tažených strojů na zpracování půdy rozhodující pro energetickou náročnost prováděné operace. Potřebu tahové síly nástrojů pro zpracování půdy ovlivňují podmíněné parametry jako druh stroje, pracovní záběr, pracovní hloubka a pracovní rychlost. Druhou oblast působících faktorů na potřebu tažné síly představují faktory závislé na místě, ke kterým musíme připočítat druh půdy, objemovou hmotnost půdy, půdní vlhkost a reliéf. K dalším faktorům, které působí na výslednou hodnotu tahové síly, patří stav nástrojů a seřízení stroje.

Aktuální znalost tahové síly je v mnoha ohledech užitečným nástrojem. Výsledky mohou být v běžné praxi použity pro srovnání energetické náročnosti používaných technologií zpracování půdy, ověření technických změn na strojích, optimalizaci nastavení stroje a ověření agrotechnických zásahů na pozemcích.

K měření takových sil v polních podmínkách byly použity tři typy strojů na zpracování půdy. Jednalo se o otočný osmiradličný pluh o pracovním záběru 4 m, kombinovaný dlátový kypřič pro hlubší kypření půdy bez obracení, osazený třemi řadami dlát, doplněný řadou talířů a pneumatickým pěchem a drobicími válci. Pracovní záběr stroje byl rovněž 4 m. Třetím strojem byl vývojový prototyp stroje pro pásové zpracování půdy, který zpracovával přibližně 30 až 35 % záběru stroje. Hlavními pracovními nástroji byly dvojice dlát pro jednotlivé sekce. Celkem byl stroj osazen šesti sekcemi na vzdálenost 0,75 m.

Měření probíhalo na dvou pozemcích, které vykazovaly rozdílné zrnitostní složení půdy. Na pozemku 1 převládala štěrkovitá hlinitopísčité půda. Průměrný sklon pozemku činil cca 1,1°. Půda na pozemku 2 spadala do druhu půd hlinitých. Pozemek vykazoval vyšší sklonitost, v průměru 2,4°. Na obou pozemcích bylo ponecháno strniště bez úpravy po sklizni. Vlhkost půdy v době zpracování půdy byla v rozmezí od 26,4 do 28,6 % obj.

K měření tahových sil bylo využito tahového dynamometru LUKAS, typ S-38 s měřicím rozsahem 200 kN. Tahový dynamometr byl umístěn do závěsu, který byl umístěn mezi dva traktory (Obr. 28). První traktor zajišťoval tažení soupravy, druhý traktor zajišťoval ovládání pracovního stroje. Výstupní hodnoty z dynamometru byly zaznamenávány do měřicí ústředny společně s informacemi o poloze stroje. Interval měření byl nastaven na 2 s. Pro každou soupravu byl vždy změřen valivý odpor soupravy, bez zahloubení stroje, který byl následně odečten od hodnot tahových sil, měřených při zahloubení stroje.



Obr. 28 - Měřicí souprava při měření tahové síly

Jako druhý, doplňkový, způsob měření tahové síly byl záznam hodnot odečtených z čidel elektro-hydraulického závěsu traktoru. Tento způsob měření umožňuje záznam tahové síly, bez dodatečného vybavení soupravy speciálními měřicími prvky.

Pro stanovení plochy zpracovaného profilu půdy byly pro každý stroj odečteny hloubky zpracování v celé šíři pracovního záběru v rozestupech 0,05 m.

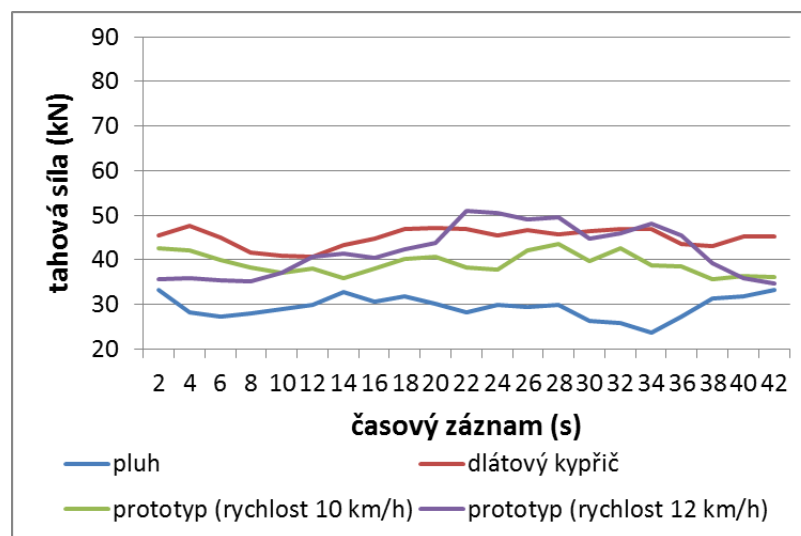
Pracovní rychlosti byly stanoveny na hodnoty doporučené pro daný typ stroje. Pro orbu byla rychlost měření cca 7 km/h, pro dlátový kypřič cca 10 km/h a pro pásové zpracování byla zvolena pracovní rychlost 10 km/h a 12 km/h.

Následující graf na Obr. 29 zobrazuje průběžné hodnoty z části měření tahové síly na pozemku 1. Z měření je patrné, že nejnižší hodnoty tahové síly (průměr 31,0 kN) byly naměřeny při orbě. Nejvyšší průměrné hodnoty tahové síly (45,1 kN) byly zjištěny u dlátového kypřiče. Prototyp stroje určený pro pásové zpracování půdy vykazoval tahové síly v průměru 38,9 kN pro rychlost 10km/h a 43,0kN pro rychlost 12 km/h. Analýza

rozptylu, která byla použita pro zhodnocení významnosti rozdílů hodnot tahových sil mezi hodnocenými stroji, přinesla následující výsledky. Průměrné hodnoty tahových sil vykazovaly statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05. Pouze mezi hodnotami sil pro dlátový kypřič a prototyp při pracovní rychlosti 12 km/h nebyly rozdíly shledány. Výsledky přináší také tabulka 2.

Průměrné hodnoty tahové síly, Pozemek 1		
Tahová síla – pluh (kN)	30,0	A
Tahová síla – prototyp, rychlost 10 km/h (kN)	38,9	B
Tahová síla – prototyp, rychlost 12 km/h (kN)	43,0	C
Tahová síla – dlátový kypřič (kN)	45,1	C

Tabulka 2 - Statisticky významné rozdíly hodnot tahových sil pro pozemek 1. Rozdílné hodnoty indexů dokládají statisticky významné rozdíly

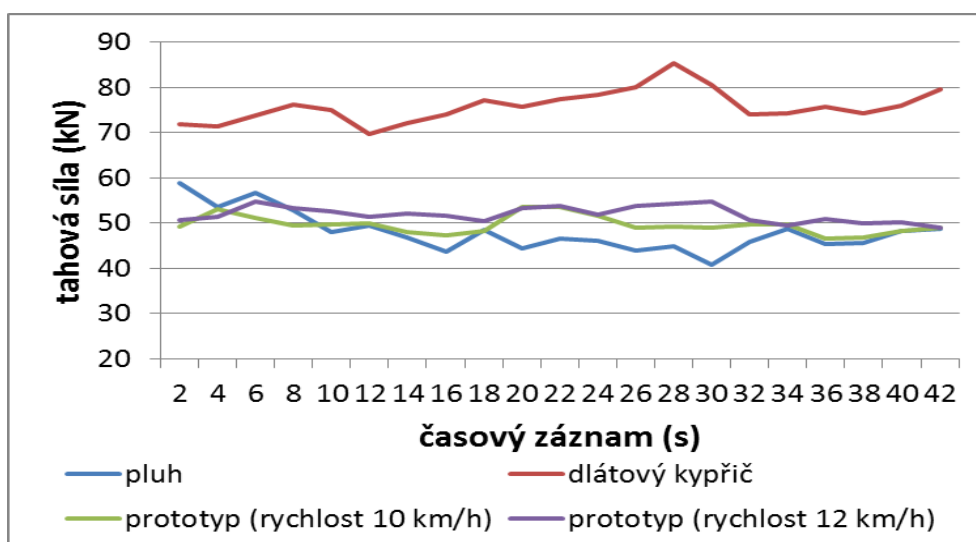


Obr. 29 - Průběh záznamu z měření tahové síly na pozemku 1

Shodným způsobem byly hodnoceny záznamy z pozemku 2. Jak ukázal záznam z měření valivého odporu souprav, bylo zapotřebí, vzhledem k vyšší sklonitosti pozemku, zohlednit rozdílné hodnoty valivého odporu do výpočtu hodnot tahové síly stroje. Výsledky analýzy rozptylu zobrazuje tabulka 3. Je patrné z výsledků, že statisticky významný rozdíl vykazují pouze hodnoty tahové síly pro dlátový kypřič. Rozdílné půdní podmínky každopádně vedly k navýšení hodnot tahové síly u všech variant.

	Průměrné hodnoty	tahové síly,
Pozemek 2		
Tahová síla – prototyp, rychlost 10 km/h (kN)	52,2	A
Tahová síla – prototyp, rychlost 12 km/h (kN)	53,3	A
Tahová síla – pluh (kN)	54,3	A
Tahová síla – dlátový kypřič (kN)	72,2	B

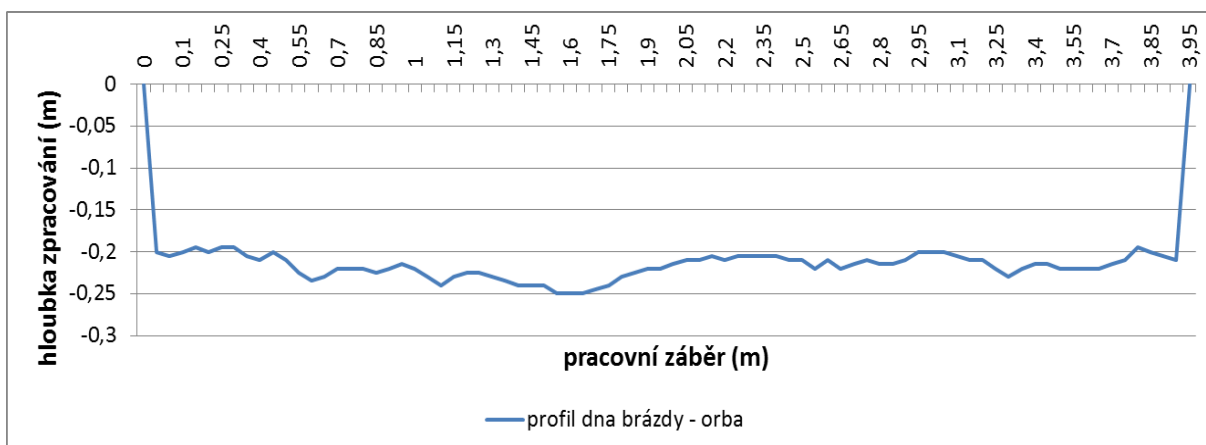
Tabulka 3 - Statisticky významné rozdíly hodnot tahových sil pro pozemek 2. Rozdílné hodnoty indexů dokládají statisticky významné rozdíly



Obr. 30 - Průběh záznamu z měření tahové síly na pozemku 2

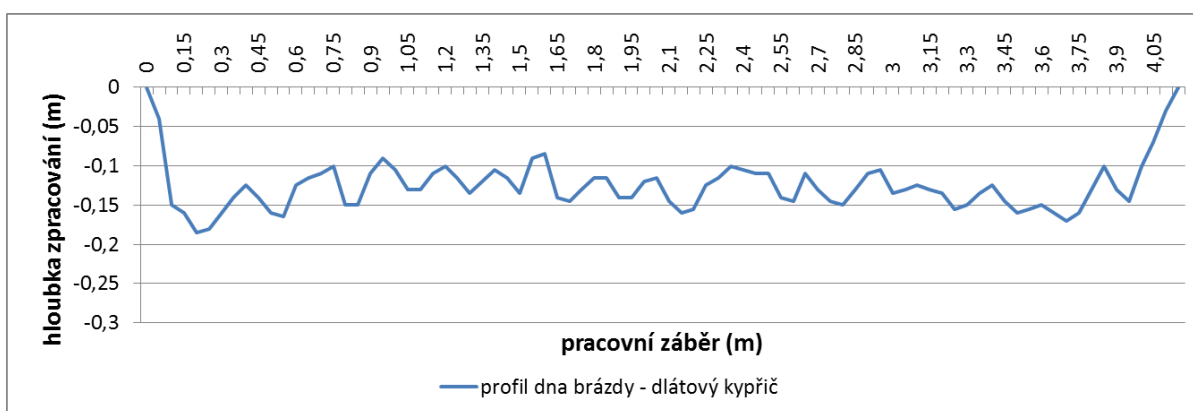
Nejvyšší navýšení tahové síly, 74 % v porovnání s hodnotami z pozemku 1, bylo pozorováno u orby. Také u dlátového kypřiče byly zaznamenán nárůst tahové síly zhruba o 64 %. Na druhou stranu, hodnoty tahové síly pro prototyp kypřiče byly na úrovni 37 % a 25 %, pro rychlost 10km/h resp. 12 km/h. Kromě orby bylo shledáno statisticky významné navýšení u vzájemných variant s přechodem na těžší půdu.

Rozdílné tvary a uspořádání pracovních nástrojů jednotlivých strojů přináší výrazné rozdíly v charakteru práce a ploše zpracovávaného profilu. Zatímco po orbě zůstává rovně odříznuté dno brázdy, pro dlátovité radličky je typické hřebenité dno brázdy. U technologie pásového zpracování zůstává nakypřený pouze úzký pruh po nástroji. Liší se také výrazně hodnoty plochy zpracovaného profilu. Graf na Obr. 31 vykresluje tvar dna brázdy po orbě. Také průměrná hodnota 0,86 m² je nejvyšší v porovnání s ostatními variantami hodnocení.



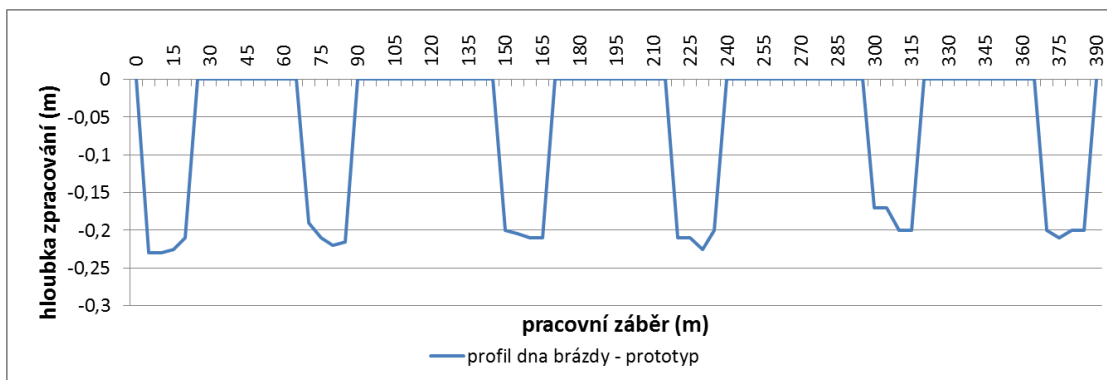
Obr. 31 - Příčný profil dna brázdy po orbě

Na Obr. 32 je patrné zvlněné dno brázdy, které vytvořily jednotlivé dlátovité radličky. V případě zpracování půdy kypřičem byla průměrná hodnota plochy příčného profilu rovna $0,48 \text{ m}^2$. Jistým nedostatkem v práci kypřiče byly značné rozdíly v hloubce zpracování napříč záběrem.



Obr. 32 - Příčný profil dna brázdy po kypření dlátovým kypřičem

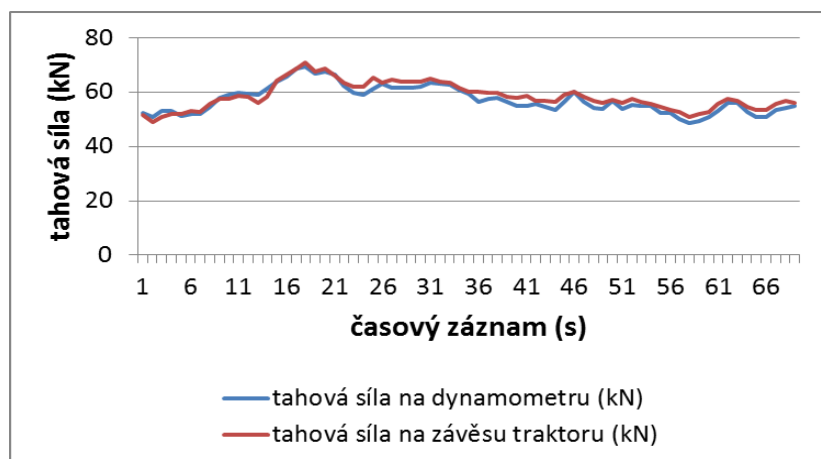
Obr. 33 zobrazuje ukázkou příčného profilu půdy po zpracování kypřičem pro pásové zpracování půdy. V tomto případě byla plocha s hodnotou $0,22 \text{ m}^2$ zpracované vrstvy nejnížší.



Obr. 33 - Příčný profil dna brázdy po pásovém zpracování půdy

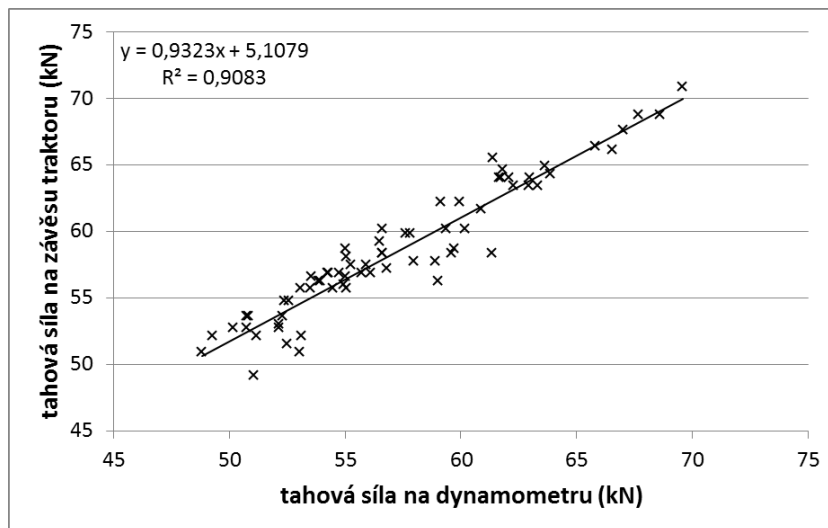
Jeden z ukazatelů energetické náročnosti zpracování půdy je takový odpor stroje, který získáme přepočtem tahové síly na jednotku plochy. Také v tomto případě nejlépe vychází orba, kdy byly vypočteny průměrné hodnoty v rozmezí od 36,2 do 63,4 kPa podle druhu půdy. Ukazuje se, že kypřiče osazené dláty mají naopak vysokou potřebu jednotkové síly. Zde se hodnoty měrného odporu pro dlátový kyprič pohybují u lehčí půdy v rozmezí od 85,9 kPa do 137,4 kPa pro těžší půdy. Nejvyšších hodnot bylo zaznamenáno u prototypu kypřiče pro pásové zpracování, kde hodnoty dosahovaly až 255,8 kPa. Navýšení rychlosti vedlo rovněž ke statisticky významné změně měrného odporu.

Srovnání výsledku měření tahové síly s využitím speciálního dynamometru a elektro-hydrauliky traktoru přineslo výsledky, které dokazují, že výstupy ze sériových čidel je možné použít pro průběžné sledování tahové síly během práce stroje. Jak dokládá Obr. 34, hodnoty vykazovaly velmi podobný průběh hodnot.



Obr. 34 - Porovnání způsobů měření tahové síly

Vzájemnou závislost hodnot také dokládá regresní analýza dat a vysoký koeficient determinace (Obr. 35).



Obr. 35 - Závislost hodnot tahové síly ze závěsu traktoru na hodnotách síly na dynamometru

11.4 Závěr

Práce a manipulace s měřícím rámem může být velice obtížná. Automatizovaným ukládáním dat z čidel traktoru se získává během zpracování půdy parametr bez dodatečných nákladů na jejich získání. Takto zjištěné informace mohou sloužit pro zjištění variability pozemku. Rozdílné tvary a uspořádání pracovních nástrojů jednotlivých strojů přináší výrazné rozdíly v charakteru práce a ploše zpracovávaného profilu. Zatímco po orbě zůstává rovně odříznuté dno brázdy, pro dlátovité radličky je typické hřebenité dno brázdy. U technologie pásového zpracování zůstává nakypřený pouze úzký pruh po nástroji. Liší se také výrazně hodnoty plochy zpracovaného profilu. Jeden z ukazatelů energetické náročnosti zpracování půdy je takový odpor stroje, který získáme přepočtem tahové síly na jednotku plochy. Také v tomto případě nejlépe vychází orba, kdy byly vypočteny průměrné hodnoty v rozmezí od 36,2 do 63,4 kPa podle druhu půdy. Ukazuje se, že kypřiče osazené dláty mají naopak vysokou potřebu jednotkové síly. Zde se hodnoty měrného odporu pro dlátový kypřič pohybují u lehčí půdy v rozmezí od 85,9 kPa do 137,4 kPa pro těžší půdy. Nejvyšších hodnot bylo zaznamenáno u prototypu kypřiče pro pásové zpracování, kde hodnoty dosahovaly až 255,8 kPa.

Seznam obrázků

Obr. 1 - Schéma telemetrického systému (Malinka, 2010)	6
Obr. 2 - Schéma řízeného provozu zemědělských strojů (CTF, 2009).....	8
Obr. 3 - Schéma vedení stroje po poli (Malinka, 2010)	9
Obr. 4 - Zobrazení možných příčin chybového signálu (Fasora, 2012)	10
Obr. 5 - Rozdílné druhy korekce signálu (Fasora, 2012).....	10
Obr. 6 - Schéma RTK korekce (Fasora, 2012)	12
Obr. 7 - RTK Extend (Fasora, 2012)	13
Obr. 8 - Princip terénního vyrovnání (Fasora, 2012).....	14
Obr. 9 - Použití systému iGuide (Fasora, 2012)	15
Obr. 10 - Poziční přijímač StarFire iTC (Fasora, 2012)	15
Obr. 11 - Výnosová mapa (Zhang, 2016)	17
Obr. 12 - ISOBUS zásuvka a koncovka (Fasora, 2012)	19
Obr. 13 - Diodový sensor (Zhang, 2016).....	23
Obr. 14 - Hydro N- sensor	24
Obr. 15 - LADAR Snímek oblasti (DefenseUpdate, 2006).....	26
Obr. 16 - Veris Multi Sensor Platform (45).....	31
Obr. 17 - Poloautomatický penetrometr (Yurui, a další, 2008)	33
Obr. 18 - Poloautomatický penetrometr společnosti Veris (foto Kroulík)	33
Obr. 19 - Měřicí rám VÚZT Praha (foto Kroulík).....	35
Obr. 20 - První získaná mapa z měření tahové síly	35
Obr. 21 - Otočný tříradličný pluh vybavený senzory dle Van Bergeijk a Goense (1996)....	37
Obr. 22 - Měřicí rám, vkládaný mezi traktor a měřený stroj (foto Kroulík)	39
Obr. 23 - Schématické znázornění funkce silových čepů firem Bosch Rexroth (Noack, 2001)	40
Obr. 24 - Závislost výstupního napětí z čidel tahové síly na tahové síle u traktoru Fendt 933 Vario	41
Obr. 25 - Závislost výstupního napětí z čidla polohy ramen na výšce osy čepu spodních ramen závěsu u traktoru Fendt 933 Vario.....	42
Obr. 26 - Mapa tahové síly pořízené traktorem Case během kypření v roce 2008	42
Obr. 27 - Mapa prokluzu měřená během kypření na traktoru Case v roce 2009.....	43
Obr. 28 - Měřicí souprava při měření tahové síly.....	45

Obr. 29 - Průběh záznamu z měření tahové síly na pozemku 1.....	46
Obr. 30 - Průběh záznamu z měření tahové síly na pozemku 2.....	47
Obr. 31 - Příčný profil dna brázdy po orbě.....	48
Obr. 32 - Příčný profil dna brázdy po kypření dlátovým kypřičem	48
Obr. 33 - Příčný profil dna brázdy po pásovém zpracování půdy	49
Obr. 34 - Porovnání způsobů měření tahové síly.....	49
Obr. 35- Závislost hodnot tahové síly ze závěsu traktoru na hodnotách síly na dynamometru	50

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Největší zdroj chyb u mapování tahové síly (Droll 1999, McLaughin a kol. 2000).....	38
Tabulka 2 - Statisticky významné rozdíly hodnot tahových sil pro pozemek 1. Rozdílné hodnoty indexů dokládají statisticky významné rozdíly.....	46
Tabulka 3 - Statisticky významné rozdíly hodnot tahových sil pro pozemek 2. Rozdílné hodnoty indexů dokládají statisticky významné rozdíly.....	47

Seznam použité literatury

ADAMCHUK V.I., CHRISTENSON P.T. (2005): An integrated system for mapping soil physical properties on the- go: the mechanical sensing component. In proceeding: Precision Agriculture '05, Wageningen Academic Publishers, p. 449 – 455.

ALIHAMSYAH T., HUMPHRIES E.G., BOWERS C.G. (2004): A Technique for Horizontal Measurement of Soil Moisture and Cone Index Measurement. Transactionsof the ASAE 47, H. 3, 607–618.

ASAE Standards, 49th Edition. 2002. S313.2. Soil cone penetrometer. ASAE, St. Joseph, Michigan, USA.

BARONE L., FAUGNO S. (1996): Penetration test for measurement of soil strength: Assessment of contribution of shaft friction. J. agric.Engng Res.64, 103-108.

CARRARA M., COMPARETTI A., FEBO P., MORELLO G., ORLANDO S. (2003): Mapping Soil Compaction Measuring Cone Penetrometer Resistance. In: Werner, A. and A. Jarfe: Programme Book of the Joint Conf. ECPA-ECPLF (2003), Berlin, 15.–19.06., 176 p.

CTF. *What is CTF?* [online]. 2009 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.controlledtrafficfarming.com/WhatIs/What-Is-CTF.aspx>

Defence update. *Laser radar (LADAR) Guidance System* [online]. 2006 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://defense-update.com/products/l/ladar.htm>

DROLL P. (1999): Erstellung von geokodierten Karten mit Bodenkennwerten. Diplomarbeit Hohenheim, unveröffentlicht.

FASORA, Radek. *Využití systémů GPS u techniky pro pěstování rostlin*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Ing. Jiří Pospíšil, CSc.

GODWIN R.J., MILLER P.C.H. (2003): A Review of the Technologies for Mapping Within-field Variability. *Biosystems Engineering*, 84, 4, 393–407.

HEISEL T., ERSBØLL A.K., ANDREASEN CH. (1999): Weed mapping with Co-Kriging using soil properties. *Precision Agriculture Vol. 1, No. 1*, Kluwer Academic Publishers. Netherlands, ISSN 1385-2256, 39 - 52.

HOLTMANN W. (2000): So haben Sie Verbrauch im Auge. *Profi 5/2000*, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster 2000, 52-55.

HŮLA J., ABRHAM Z., BAUER F. (1997): Zpracování půdy. Praha, Brázda, 144 s.

HUMMEL J.W., AHMAD I.S., NEWMAN S.C., SUDDUTH K.A., DRUMMOND P.E. (2004): Simultaneous Soil Moisture and Cone Index Measurement. *Transactions of the ASAE* 47, H. 3, 607–618.

ISENSE E., LÜTH H.G. (1992): Kontinuierliche Messung der Bodendichte. *Landtechnik* 47, H. 9, 447–451.

JURGA J. (2003): The DGPS Device to Investigating Chosen Physical Soil Properties and Taking Soil Samples of Undisturbed Structure. In: *Tagungsband VDI-MEG-Tagung Landtechnik*, Hannover, VDI-Berichte Nr. 1798, 271–275.

KEEN B.A., HAINES W.B. (1925): Studies in Soil Cultivation: 1. The Evolution of a Reliable Dynamometer Technique for Use in Soil and Plough. *The Journal of Agricultural Science* 15, 387–406.

KÖNIG G. (1989). Die Anfänge der Zugkraftermittlung an Bodenbearbeitungsgeräten. *Agrartechnik* 39, H. 3, 138–140.

KROULÍK, Ing. Milan, Ph.D. *Senzory pro měření půdních vlastností. Zemědělec* [online]. 2012 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://zemedelec.cz/senzory-pro-mereni-pudnich-vlastnosti/>

KÜRSTEINER B. (2003): Rahmenlose Messung der Dreipunktkräfte am Traktor. In: Tagungsband VDI-MEG-Tagung Landtechnik, Hannover, VDI-Berichte Nr. 1798, 73–78.

KUTZBACH H.D., SCHUTTE B. (2004): Mapping of soil tillage draught force to assess spatial variability of soil properties. In: Actual Tasks on Agricultural Engineering, Opatija, (Croatia) Nr.32, 213–220.

LAPEN D.R., HAYHOE H.N., TOPP G.C., McLAUGHLIN N.B., GREGORICH E. G. (2002): Measurements of Mouldboard Plow Draft: 2. Draft Soil Crop and Yield Draft Associations. Precision Agriculture 3, H. 3, 237–257.

Lidar- UK. *How does LiDAR work?* [online]. 2017 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://www.lidar-uk.com/how-lidar-works/>

LUKAS, Ing. Vojtěch, Ph.D a Ing. Lubomír, Ph.D NEUDERT. *Precizní zemědělství a jeho přínosy. Zemědělec* [online]. 2010, , 1 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://zemedelec.cz/precizni-zemedelstvi-a-jeho-prinosy/>

LÜTH H. G. (1993): Entwicklung des Längs-Penetrographen als Messverfahren zur Bodenverdichtung. Dissertation Christian-Aubrechts-Universität Kiel.

MALINKA, Tomáš. *Využití systémů GPS u techniky pro pěstování rostlin*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Ing. Jiří Pospíšil, CSc.

MCLAUGHIN N.B., BURTT S.D. (2000): Spatial Mapping of Tillage Energy. Proc. Cd-Rom of the 5th Int. Conf. On Prec. Ag. (2000), Bloomington, Minnesota/USA, 16.–19.05.

MOUAZEN A.M., DE BAERDEMAEKER J., RAMON H. (2005): On-the-go sensor for measurement of dry bulk density referring to soil compaction. In proceeding: Precision Agriculture '05, Wageningen Academic Publishers, 523-528.

MOUAZEN A.M., DUMONT K., MAERTENS K., RAMON H. (2002): Sensing the Spatial Variation of Soil Compaction in a Sandy Loam Field. AGENG EurAgEng, Budapest 2002. Paper Number: 02-SW-018.

NOACK S. (2001): Hydraulic in Mobile Equipment. Bosch Rexroth AG, 2001, 1st edition, Omegon Fachliteratur, Ditzingen, Germany, 202 s. ISBN 3-933698-16-2.

PAUL W. (1992): Zugkraftmessungen zur Teilschlagkartierung. Landtechnik 47, H. 10, 490–491.

PERNIS, Ing. Peter. *Senzory pro měření půdních vlastností. Zemědělec* [online]. 2009 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://zemedelec.cz/traktor-uz-neni-jednoduchym-strojem/>

PRICE R.R. (2002): Development of a Dynamic Cone Penetrometer for Research and Private Use. ASAE-Paper No. 02- 1048.

RÖHRS W., WILKENS D. (1984): Kraftmessungen an Bodenbearbeitungsgeräten. Grundlagen der Landtechnik 34, H. 3, 117–124.

ROTHMUND M., ZIPPRICH M., AUERNHAMMER H., DEMMEL M. (2003): Zugkraftmessung bei der Bodenbearbeitung als ergänzende Information zur Standortbeschreibung. In: Proceeding of conference: Agricultural Engineering 2003, Hannover, VDI Verlag GmbH, Germany, 305 - 310.

RÜSSELER M. (2004): Untersuchung von Methoden zur Arbeitstiefenmessung bei der Bodenbearbeitung. Studienarbeit Universität Stuttgart, unveröffentlicht.

SEGNITZ E. (1856): Ueber die Anforderungen an einen zur Prüfung von Ackergeräthen geeigneten Kraftmesser. Annalen der Landwirtschaft in den Königlich Preussischen Staaten 13, H. 26, 206–233.

SCHUTTE B., KUTZBACH H.D. (2003): Evaluierung von ortsspezifischen Zugkraftmessungen bei der Bodenbearbeitung. In proceeding: Agricultural Engineering 2003, Tagung Landtechnik, Hannover, ISSN 0083-5560, ISBN 3-18-091798-9, 299 - 304..

SIRJACOBS D., DESTAIN M.F. (2000): A soil mechanical resistance sensor for on-line application in precision agriculture. Conference AGENG Warwick 2000, Paper Number 00-PA-021.

SIRJACOBS D., HANQUET B., LEBEAU F., DESTAIN M.F. (2002): On-line Soil Mechanical Resistance Mapping and Correlation with Soil Physical Properties for Precision Agriculture. Soil and Tillage Research 64, 231–242.

STEHNO, Luboš. *CTF – zkušenosti z domova i zahraničí. Mechanizace zemědělství* [online]. 2015 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://mechanizaceweb.cz/ctf-zkusenosti-z-domova-i-zahranici/>

STEHNO, Ing. Luboš. *Jaká je budoucnost telemetrie?* [online]. 2015 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://mechanizaceweb.cz/jaka-je-budoucnost-telemetrie/>

STENBERG B., ROGSTRAND G., BÖLENIUS E., ARVIDSSON J. (2007): On-line soil NIR spectroscopy: identification and treatment of spectra influenced by variable probe distance and residue contamination. In: Precision Agriculture. University of Thessaly (2007), Thessaly, Greece, 03.–06. 08.

SVOBODA J. M., HESS J. R., HOSKINSON R. L., SAWYER J. W. (1998): Use of Aerospace Structural Sensor Technology for Soil Physical Characterization. Proc. Of the 4th Int. Conf. on Prec. Ag. Band B (1998), St. Paul, Minnesota/USA, 19.– 22.07., 1207–1210.

VAN BERGEIJK J., GOENSE D. (1996): Soil Tillage Resistance as a Tool to Map Soil Type Differences. Proc. Of the 3rd Int. Conf. On Prec. Ag. (1996), Minneapolis, Minnesota/USA, 23.–26.06.

VAN BERGEIJK J., GOENSE D. (2001): Soil Tillage Resistance as a Tool to Map Soil Type Differences. Journal of Agricultural Engineering Research 79, H. 4, 371–387.

VERSCHOORE R., PIETERS J. G., SEPS T., SPRIET Y., VANGEYTE J. (2003): Development of a Sensor for Continuous Soil Resistance Measurement. In: Staffored, J. and A. Werner: Precision Agriculture –Proc. Of the 4th Europ. Conf. on Prec. Ag., Berlin, 15.–19.06., 689–695.

Versi technologies. *Versi tech* [online]. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.veristech.com/the-sensors/msp>

YURUI S., LAMMERS P.S., DAOKUN M., JIANHUI L., QINGMENG Z. (2008): Determining soil physical properties by multi-sensor technique. Sensors and Actuators, 147, 352–357.

ZHANG, Qin. (2016): Precision agriculture technology for crop farming. ISBN 1482251078.