

CO NÁM PŘINÁŠÍ ZNALOST
PŘESNE POLOHY?
ZVÍTE TĚN POCIT, KDYŽ SE MŮŽETE
SPOLEHNOUT?

JAKÉ MOŽNOSTI S PŘESNOU NAVIGACÍ
MÁTE?

 **AGRÁRNÍ KOMORA**
České republiky



„Stálou sklizní
se vyčerpává pole“

Publius Ovidius Naso

Publikace Agrární komory České republiky

IMPLEMENTACE NAVIGAČNÍCH TECHNOLOGIÍ a aplikací s podporou GPS

Vedoucí autorského kolektivu
Doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D.

IMPLEMENTACE NAVIGAČNÍCH TECHNOLOGIÍ a aplikací s podporou GPS

Vedoucí autorského kolektivu:

Doc. Ing. **Milan Kroulík**, Ph.D.

Spoluautoři:

Doc. Ing. **Václav Brant**, Ph.D., Ing. **Petr Zábranský**, Ph.D., Ing. **Michaela Škeříková**, Ph.D.

Autorské pracoviště:

Česká zemědělská univerzita v Praze
Centrum precizního zemědělství při ČZU



VYDALA:

Agrární komora České republiky

Počernická 272/96, 108 00 Praha 10

Tel.: +420 296 411 180

e-mail: sekretariat@akcr.cz

www.akcr.cz, www.eagri.cz

Publikace byla vytvořena pouze za finanční podpory
Ministerstva zemědělství ČR
(dotační titul 9.F.e. Regionální přenos informací,
Rozhodnutí reg. č. 1629/2019-14150Re)

ISBN 978-80-88351-04-7



Autoři fotografií:

Milan Kroulík, Pavel Hamouz, Josef Holec,
Strom Praha, a.s.

Poděkování:

Výsledky zahrnuté do předkládané publikace byly získány v rámci projektů PRV:

Implementace technologií pro cílené nakládání s vodou v půdě.,
registrační číslo projektu **18/006/16210/452/000058**

Implementace principů variabilního hnojení a aplikace pesticidů,
registrační číslo projektu **17/004/16210/452/000025**

Inovace v managementu ochrany a hnojení rostlin založené na zavádění telematických systémů,
registrační číslo projektu **18/006/16210/780/000024**,
projektu EIP **16/003/1611a/120/000095**

a projektu **TH04010494**, Výzkum a vývoj technologií smartfarming
pro malé a střední zemědělské podniky

OBSAH

Předmluva	4
Abstract	5
1. Polní navigace a jejich využití	6
2. Přesnost jednotlivých technických řešení	13
3. Intenzita přejezdů v současné zemědělské praxi	18
4. Monitoring strojních souprav a jeho využití	21
5. Optimalizace jízdnic trajektorií	31
5.1. Nová pravidla pro hospodaření na větších plochách	36
6. Technologie pro snížení zátěže půdy pojezdovými mechanismy	37
6.1. Pásové zpracování půdy v podmínkách ČR	41
7. Přínosy GPS v agrotechnických postupech	43
8. Autonomie provozu strojů	48



PŘEDMLUVA

Když byly v 80. letech minulého století položeny základy precizního zemědělství, bylo zavedeno mnoho nových pojmů a otevřely se nám nové pohledy na směřování vývoje zemědělské mechanizace a technologií. Technický pokrok přináší stále nové a nové možnosti, které propojují využití moderních prvků a přístrojů.

V zemědělství se tak začínají stále častěji uplatňovat moderní technologie, původně určené pro naprosto odlišná odvětví. Jedním z příkladů jsou systémy družicového navádění, dnes známé především pod zkratkou GPS, s původním uplatněním ve vojenství. Z omezeného počtu uživatelů na začátku se dnes stala, po mobilním telefonu, navigace jedním z nejpoužívanějších přístrojů a běžně se s ní setkáváme na každém kroku. Využíváme znalost polohy při cestování, sportu, zábavě a pochopitelně práci. Nakonec je i součástí zmiňovaných telefonních přístrojů.

Z mobilních telefonů se po čase staly „Smart“ přístroje a předpona smart je dnes spojena s vývojem dalších aplikací, postupů a nakonec i životním stylem. Je potěšitelné, že s těmito technologiemi se rovněž myslí také na zemědělství.

Informace, které tato publikace představuje, nabízí přehled možností, jak využít znalost přesné polohy k optimalizaci výrobních postupů, snížení nákladů a samozřejmě také k ochraně přírodních zdrojů. Publikace je zaměřena především na samotné využívání technologie v konkrétních případech a nenabízí popis funkce přístrojů. Ty ostatně nejsou pro nasazení podstatné. Co je podstatné, je volba vhodného přístroje a zejména korekcí autonomního signálu pro zajištění požadované funkce.

Publikace předkládá výsledky, které byly získány během polních měření kolektivem autorů společně s citacemi poznatků ostatních autorů.

Věříme, že informace v publikaci obsažené napomohou při rozhodování o pořízení moderního vybavení do podniků a farem, napomohou k širšímu uplatnění při práci nebo přivedou uživatele na další nápady a myšlenky, jak s vybavením moderních strojů naložit.

Kolektiv Autorů

ABSTRACT

Implementation of navigation technologies and applications with GPS support.

Many new concepts were introduced and new perspectives were opened to the direction of agricultural mechanization and technology development, when they were laid the foundations of precision farming in the 80s of last century. Technological progress brings new and new possibilities that combine the use of modern elements and devices.

Thus, modern technologies, originally designed for completely different sectors, are increasingly being used in agriculture. One example is satellite guidance systems, now known mainly under the acronym GPS, originally used in the military.

From a limited number of users at the beginning, navigation has now become, after the mobile phone, one of the most widely used devices and it is commonly encountered at every step. We use location knowledge when traveling, sports, entertainment and, of course, work. Finally, it is also part of the listed telephones. Over time, mobile phones have become "Smart" devices, and today the smart prefix is associated with the development of other applications, processes and, ultimately, lifestyle. It is gratifying that agriculture is also being considered with these technologies.

The information presented in this publication offers an overview of how to use location knowledge to optimize production processes, reduce costs and, of course, protect natural resources. The publication focuses primarily on the actual use of technology in specific cases and does not offer a description of the function of the devices. These are not essential for the deployment. What is essential is the choice of a suitable device and, in particular, correction of the autonomous signal to provide the desired function.

The publication presents results obtained during field measurements by a team of authors together with citations of other authors' findings.

We believe that the information contained in this publication will help you to make decisions about purchasing modern equipment for businesses and farms, will help to broaden your work experience, or lead users to further ideas how to deal with modern machinery equipment.

1. POLNÍ NAVIGACE A JEJICH VYUŽITÍ

Digitalizace, sběr dat, Smart technologie, senzorová technika, telekomunikace a další pojmy již delší dobu ovlivňují vývoj téměř všech oborů a oblastí lidské činnosti. Tento trend se nevyhýbá ani zemědělství a vyspělé technologie nacházejí v tomto oboru stále významnější postavení (*Schönfeld a kol. 2018*). Změna povahy průmyslu, zemědělství, energetiky, obchodu, logistiky a dalších částí hospodářství se opírá o obory již využívané, ale rovněž o zcela nové pojmy. V tomto kontextu je prezentován termín Zemědělství 4.0. Podle *Sundmaecker a kol. (2016)* se industrializace zemědělství v předchozích desetiletích hodně rozšířila. Podpora rozhodování, která vzejde z vývojové a výzkumné činnosti je jistým předpokladem pro efektivní a šetrné hospodaření v krajině.

Je možné sledovat, jak se pojmy jako například Big Data začínají využívat v potravinářském a zemědělském sektoru (*Sonka 2016*). V souvislosti se sběrem dat se velmi často odkazujeme na koncept internetu věcí (IoT) (*Madařkam a kol. 2015*). Vývoj internetu věcí, který bezdrátově propojuje jednotlivé objekty a zařízení v zemědělství a dodavatelském řetězci nabízí množství dat, která jsou přístupná v reálném čase (*Wolferta kol. 2017*). Automatizovaný proces sběru dat může být základem pro zemědělskou produkci řízenou informacemi. V této chvíli jsou mobilní zemědělské stroje vybaveny senzory, které mohou být použity pro sběr dat během práce (*Steinberger a kol. 2009*). Bezdrátové senzorové sítě (Wireless

Sensor Networks; WSN) by mohly být široce aplikovány v různých zemědělských aplikacích a WSN představuje nový směr výzkumu v oblasti zemědělství (*Ojha a kol. 2017*). *Sundmaecker a kol. (2016)* také definují rozdíly mezi chytrým (Smart) zemědělstvím a precizním zemědělstvím, kdy chytré zemědělství jde nad rámec přesného zemědělství, protože řídí úkoly na konkrétním místě, rozšířené o povědomí o kontextu a situaci, vyvolané událostmi v reálném čase. Podle (*Schönfeld a kol. 2018*) inteligentní zemědělství integruje agronomii, řízení lidských zdrojů, nasazení pracovníků, nákupy, řízení rizik, skladování, logistiku, údržbu, marketing a efektivnost výroby.

V souvislosti s hospodářským využitím krajiny stále častěji vyvstávají oprávněné požadavky na ochranu přírodních zdrojů a zachování produkčních a ekologických funkcí půdy. Také stále se zvyšující populace, je výzvou pro hledání cest k udržení půdní úrodnosti, řešení nedostatku vody, stoupají nároky na kvalitu a ochranu půdy, kvalitu a bezpečnost potravin a zemědělského hospodaření (Tickell 1999; Bouwer 2000; Cox 2002). Podle odhadů bude na Zemi do roku 2050 žít 9,7 miliard lidí. Za více než desetiletí vzroste populace na Zemi na 8,5 miliard. Jedná se o 10% nárůst oproti současnému stavu 7,7 miliard. Odhaduje se, že v roce 2100 to bude již nárůst 42% (10,9 mld.) (*United Nations 2019*).

Měničící se požadavky a podmínky současných trendů, nutí zemědělské podniky hledat

stále nové způsoby snižování nákladů, které by umožnily zefektivnit výrobu, a tím i ekonomické výsledky hospodaření, ruku v ruce s požadavky na kontrolu a evidenci vstupů. Možné cesty spočívají v podchycení a respektování různorodosti prostředí a následně vhodné reakci na danou variabilitu pozemku.

Zcela zásadním krokem pro uplatnění a rozšíření moderních prvků v zemědělství je přesná znalost polohy a rozšíření polních navigací, které vedlo k podpoře řady procesů automatizace. Především družicové navigační systémy představují použitelný systém pro zemědělství. Soudobé navigační přístroje přijímají signál z více satelitních navigací. Kromě amerického systému Navstar je to ruský Glonass a evropský projekt Galileo. V provozu je v současné době více navigačních systémů, ale pouze výše uvedené mají globální dosah. U ostatních se jedná o regionální pokrytí signálem.

Výrazné uplatnění poskytuje kombinace GPS navigace a korekce RTK (*Rovira-Más a kol., 2010*). Ukázalo se, jak efektivní a významná může být znalost aktuální polohy. Především s možností měření polohy v systému GPS byly položeny základy precizního zemědělství (*Sparovek a Schnug, 2001*). Často může být určování polohy pomocí GPS považováno za synonymum „Precizního zemědělství“ či „Precizního hospodaření“. Nový přístup k zemědělství dal možnost pro uplatnění, kromě GPS přijímačů, také GIS (Geografické Informační Systémy), miniaturních počítačových komponentů, mobilních počítačů, informačních procesů a telekomunikační technice (*Gibbons, 2000; Zhang a kol. 2002*). Navigační systémy, užívané pro lokalizaci a určování polohy a navigaci země-

dělských strojů po pozemku, se staly nejpoužívanějšími senzory v zemědělství.

Na druhou stranu je potřeba zdůraznit, že GPS není jediný zdroj zvyšování přesnosti v hospodaření. Využití navigačních systémů GPS je možné téměř u všech prací v zemědělské polní činnosti. Z pohledu precizního zemědělství se jedná především o záznam souřadnic, ke kterým se přiřazují měřené hodnoty. S pomocí příslušných počítačových programů následně vytváříme mapy prostorového rozložení sledovaných faktorů. Přesná lokalizace stroje zpětně umožní využití aplikačních map při řízení variability vstupů. Kromě určení souřadnic (zeměpisné délky a šířky) můžeme díky přesné navigaci získat informace o nadmořské výšce.

V uplatnění GPS přijímačů a navigací se nemusí zdaleka vždy jednat o nové myšlenky a přístupy, pouze v době kdy vznikly, nebyly k dispozici prostředky k jejich zdárné realizaci.

V zemědělství je také zapotřebí vyšší přesnosti v určování polohy pracovní soupravy, proto není dostačující využívání autonomního signálu GPS (*Beel, 2000*). Pro zvýšení přesnosti se využívají různé diferenční signály (*Wilson, 2000*).

Výrobci zemědělské techniky, zejména potom výrobci traktorů a samojízdných sklizečů nabízejí pro své stroje několik možností, jak řešit otázku navigace a automatického řízení. Navigační systémy postupně nahrazují kotočové značenáky při setí, pěnové značkovače při práci postřikovačů, případně zcela nahrazují kolejové meziřádky a zároveň řeší problém při

správném navazování pracovních jízdy rozmetadel tuhých minerálních hnojiv. Dále se využívají pro navigaci pracovních souprav při podmytce, předsetové přípravě půdy a řízení sklizňových strojů.

Hlavní přínosy, tak jak je ve svých pracích uvádějí například *Dunn a kol. (2006)*, *Han a kol. (2004)*, *Stoll a Kutzbach (2000)*, *Debain a kol. (2000)*, *Cordesses (2000)* lze shrnout do těchto bodů:

- snížení únavy řidiče: navigační systém snižuje úsilí potřebné k udržení správné trasy stroje,
- zvýšení produktivity: umožnění vyšší operační rychlosti, rychlejšího otáčení na souvracích, úspory prostředků,
- snížení nákladů dochází k významnému omezení překryvů a vynechávek,
- sníží se dopad na životní prostředí,
- možnost efektivně pracovat přes noc,
- vyšší bezpečnost,
- vyšší kvalita: řidič může zaměřit pozornost na kontrolu kvality práce.

Bylo zkoušeno mnoho typů navigací, založených na rozdílných principech určování polohy. Byly zkoušeny technologie s podzemními vodičnými prvky (*Hague a kol. 2000*), laserovými systémy (*Chateau 2000*), optické navigace (*Han a kol. 2004*, *Debain a kol. 2000*) a další. Jak se ale ukázalo, pouze GPS navigace představuje komerčně dostupný a prakticky využitelný systém (*Ehsani a kol. 2004*, *Karimi 2006*).

Řízení variability vstupů lze dosáhnout prakticky dvěma postupy: postup založený na mapách a postup založený na senzorech. První je jednodušší a vyžaduje následující procedury:

síťový odběr vzorků, laboratorní analýzy půdních vzorků, vytvoření lokálně specifických map a nakonec použití těchto map k variabilní aplikaci. GPS je v tomto případě obvykle nutná. Na obrázku 1 je zachycena souprava při měření půdních vlastností pomocí sondy elektrické vodivosti. S ohledem na nutnost zpracování dat po naměření, je souprava vybavena přijímačem GPS.



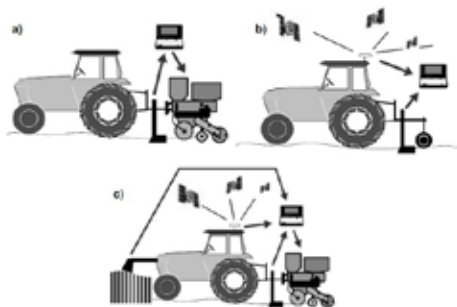
Obr. 1 Sběr dat pomocí senzorové techniky. GPS je pro interpretaci dat a tvorbu mapových podkladů nezbytná. (foto: Hamouz)

Druhý způsob měří požadované půdní a rostlinné vlastnosti s využitím senzorů, které měří a hodnotí variabilitu sledovaných faktorů v reálném čase a ihned řeší specifické požadavky. GPS systém není vždy nutný (*Zhang a kol. 2002*). Na obrázku 2 je zachycena souprava pro přihnojení. Senzorová technika společně s palubním počítačem řídí dávku hnojiva podle aktuálního stavu porostu. V takovém případě nemusí být vyžadována GPS navigace.



Obr. 2 Traktor Case v agregaci s rozmetadlem Amazone během přihnojování porostu pšenice. Senzory OptRx jsou nesené na předním závěsu
(foto: Kroulík).

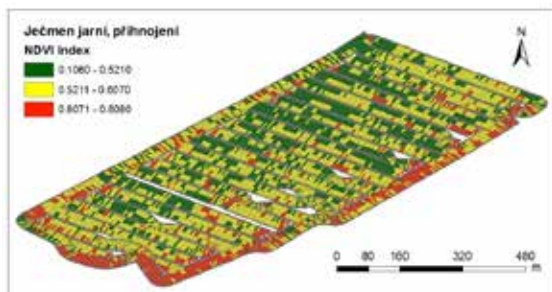
Ve shodném smyslu se můžeme též setkat s pojmy pro variabilní aplikace s přístupem prediktivním nebo reaktivním. Rozdíly spočívají v rychlosti reakce na místní podmínky (Obrázek 3).



Obr. 3 Strategie sběru dat založená na reálném čase (a), mapě (b), nebo kombinaci přístupů (c)
(Adamchuk a kol. 2011)

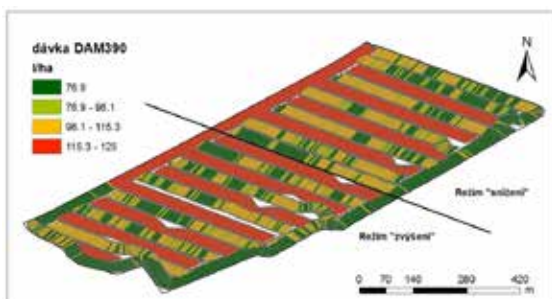
U reaktivního způsobu (real-time) je rozhodování na dané podmínky okamžité. Naproti tomu prediktivní strategie (map-based) je založena na měření a následném generování map půdních vlastností nebo stavu rostlin. O vhodnosti jednotlivých aplikací rozhoduje charakter sledovaných faktorů. Okamžité zpracování dat není opodstatněné u vlastností, které se v průběhu vegetačního období nemění. Naproti tomu potřebujeme v krátkém časovém odstupu reagovat například na vegetační indexy a řešit tak příčinu aktuálního stavu. Pro výzkumné účely je výhodné integrovat oba zmíněné postupy. S ohledem na výše definovanou potřebu sběru dat, možnost zpětné vazby, nebo kontroly vstupů, je výhodné data ukládat společně s informacemi o poloze. Praktickým příkladem je následující ukázka hodnocení variabilních aplikací dusíkatými hnojivy.

Pro stanovení dávek hnojiva se vycházelo z hodnot NDVI, který se stanovuje z dat měřených optickým senzorem. Jak bylo popsáno výše, jedná se o aplikaci v reálném čase. Z tohoto důvodu je GPS navigace použita především pro záznam polohy. Obrázek 4 předkládá mapu hodnot NDVI indexu během hnojení. Vyšší hodnoty indexu vykazuje vitálnější porost. Porost, který vykazuje například nedostatky ve výživě, poskytuje nižší hodnoty NDVI indexu.



Obr. 4 Hodnoty NDVI indexu porostu ječmene jarního během příchvojení (3. 5. 2018)

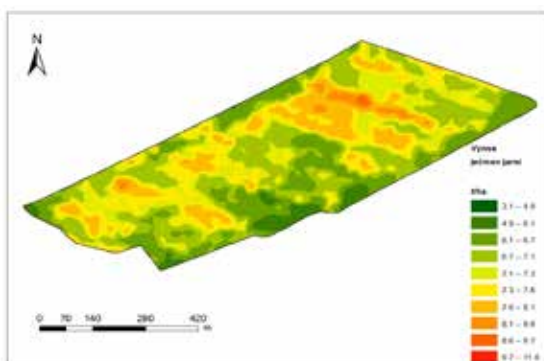
Následující obrázek (Obrázek 5) předkládá záznam z aplikace hnojiva DAM 390, kde jsou patrné jednotlivé varianty hnojení. Pro vyhodnocení byly využity pouze hodnoty z hlavní produkční plochy. Souvratě byly z hodnocení vyloučeny.



Obr. 5 Rozdělení pozemků na jednotlivé varianty, vyjádřené dávkami hnojiva (3. 5. 2018)

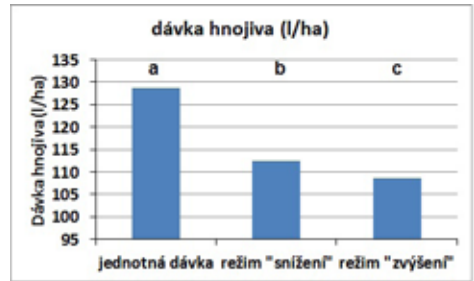
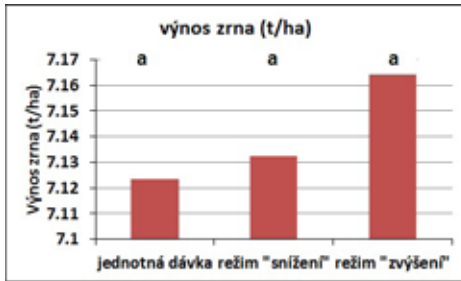
Pro zhodnocení pokusu byla využita mapa výnosu. Zde už by nebylo možné zpětně prostorově vyhodnotit data bez použití GPS navigace. Mapa výnosových dat, za účelem

získání kvalitního odhadu, byla data ošetřena na extrémní hodnoty a chyby vzniklé při najíždění a vyjíždění sklízecí mlátičky ze záběru. Výnosová data zobrazuje mapa na obrázku 6.



Obr. 6 Výnosová mapa pozemku

Grafy na obrázku 7 přinášejí hodnoty výnosu zrna a dávky hnojiva pro jednotlivé varianty. Byl pozorován nárůst výnosu u variabilního hnojení rostlin. Jako nejvýhodnější se ukázal režim zvýšení dávky s rostoucím indexem NDVI. Navýšení výnosu nicméně nebylo shledáno jako statisticky významné. Statisticky významně, na hladině významnosti 0,05, však klesla potřeba hnojiva.



Obr. 7 Rozdíly ve výnosech zrna ječmene a dávek hnojiva k přihnojení pro jednotlivé režimy nastavení. Rozdílné indexy dokumentují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05.

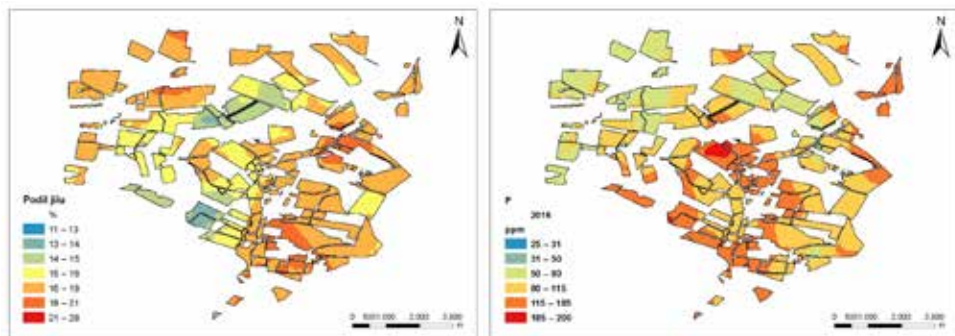
Z hlediska přístupu k preciznímu zemědělství lze konstatovat, že účelem variabilních zásahů tedy nemusí být například vyrovnání porostu, protože to mnohdy není ani možné, ale přizpůsobit vstupy konkrétním potřebám rostlin, v kombinaci s výnosovým potenciálem půdy, aktuálním stavem porostu, půdními podmínkami. Do rozhodování o pořízení technologie pro variabilní aplikaci vstupuje také faktor úrovně variability, protože vyrovnané pozemky nepřinášejí potřebný efekt. Vzhledem k charakteru krajiny v České republice a také historii jednotlivých velkých pozemků lze konstatovat, že budou převládat pozemky s vyšší úrovní variability.

Jako základ hodnocení variability půdy často slouží bodový odběr, následná analýza a mapové vyjádření. Bodový odběr představuje vstup na pozemek za účelem odběru půdního nebo rostlinného materiálu, definovanou metodou odběru a v místech daných odběrovým schématem, případně v bodech zaměřených v průběhu obchůzky. Na obrázku 8 je zobrazena práce s přijímačem DGPS. Kromě odběrových bodů můžeme rovněž přesně vyměřovat hranice pozemků.



Obrázek 8 Zaměřování bodů pomocí GPS přijímače (foto Holec)

Následující mapy (viz obrázky 9 a 10) dokládají úroveň zásobenosti půdy základními živinami a zrnitostní složení půdy. Tyto mapy lze považovat za jeden z výchozích bodů pro pořízení inovativní technologie. Jak dokládají předkládané mapy, úroveň variability je poměrně vysoká.

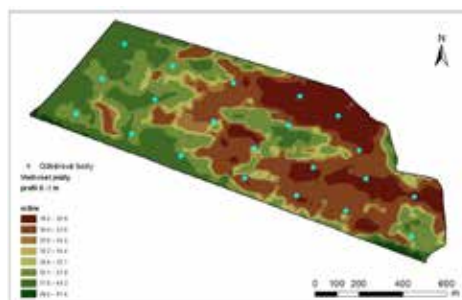


Obr. 9 (vlevo) Procentuální zastoupení částic menších než 0,01 mm

Obr. 10 (vpravo) Úroveň zásobenosti půdy fosforem

Vzhledem k vyšší pracnosti a rovněž nákladům na odběr a analýzu vzorků je počet odběrů limitován. Na obrázku 11 je vyobrazena mapa vodivosti půdy, pořízená pomocí geofyzikálního přístroje EM 38 MK2 (Geonics Limited, Kanada). Zároveň jsou do mapy vyneseny odběrové body, kde byly odebrány vzorky pro agrochemické rozборы. Pro odběry byl zvolen odběrový rastr 3 hektary. Na výstupu se rovněž ukazuje vhodnost kombinace bodového odběru s daty nepřímými. Prvotním přínosem informace o úrovni variability pozemku je optimalizace odběrové sítě. Rozvržení odběrových bodů do pravidelného čtvercového schématu není vždy vhodné s ohledem na rozložení variability půdních podmínek. Mohou tak uniknout informace významné pro rozhodování a na druhou stranu se hodnotí opakovaně části pozemku, které vykazují obdobné půdní vlastnosti. V konečném důsledku může tento krok přispět ke snížení počtu odběrů, případně k efektivnějšímu rozmístění odběrových bodů. Na druhou stranu, vypuštění odběrů, nebo jejich nahrazení přístrojovou technikou není rovněž možné. Hodnoty z odběrových bodů př-

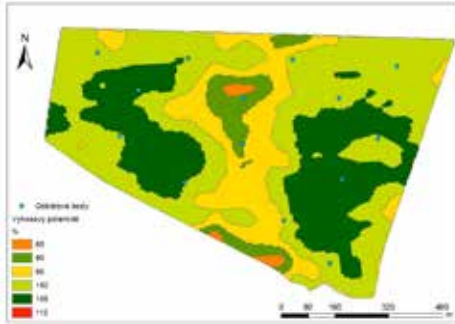
spívají ke kalibraci hodnot z nepřímých metod měření, kdy uvedené přístroje v jedné hodnotě integrují celou řadu dat popisující variabilitu půdního prostředí.



Obr. 11 Mapa vodivosti půdy s vyznačenými odběrovými body

Jak je patrné z hodnot vodivosti půdy, jedná se o pozemek velmi variabilní. Obrázek 12 přináší pohled na pozemek, kde byla v roce 2018 pěstována cukrová řepa. Popis variability pozemku byl v uvedeném případě získán na základě volně dostupných družicových snímků,

ze kterých byl vyjádřen výnosový potenciál pozemku. Do mapy výnosového potenciálu byly rovněž vloženy odběrové body. Je patrné, že v uvedeném případě nebyly některé plochy do odběru zařazeny.



Obr. 12 Mapa výnosového potenciálu

V souvislosti s variabilními aplikacemi, jako je přihnojování dusíkatými hnojivými, lze uvedená data využít ve chvíli, kdy nelze využít data například z plodinových čidel. Jedná se zejména o rané fáze růstu rostlin, kdy porost není zcela zapojen a listová plocha není dostatečná pro získání odpovídajících hodnot.

2. PŘESNOST JEDNOTLIVÝCH TECHNICKÝCH ŘEŠENÍ

Výsledná přesnost navigace a tedy možnost uplatnění závisí na několika faktorech. Kromě rozhodujícího faktoru a tím je úroveň signálu a korekce, vystupují další vlivy. Jako další rozhodující faktor se ukazuje řešení systému ovládání řízení. Zhodnocení jednotlivých chyb při použití navigace prokázalo snížení překryvů nebo vynechávek. Pokud bylo řízení založeno na vůli řidiče, střední hodnota chyb vždy ukazovala na překrývání jízdních stop. Také pracovní záběr hraje významnou roli v úrovni dosahování přesnosti, pokud se spoléhá-

me na vůli řidiče. Obrázek 13 přináší pohled na pozemek, kde jsou dobře patrné chyby během práce postřikovače vlivem špatného navazování sousedních jízd.



Obr. 13 Pohled na pozemek po provedené deskifikaci porostu. Na pozemku jsou jasně patrné chyby v navazování jízdy (foto Kroulík).

Watson a Lowenberg-DeBoer (2004) potvrzují, že čím větší je záběr stroje, tím větší je přínos navigace. Použití navigace také výrazně snižuje potřebu zkušeností řidiče pro dodržování navazování jízdy, například v porovnání s pěnovým značkovačem. Následující kapitola přináší ukázky praktického využití a přínosů navigací, včetně námětů pro další využití a nasazení.

Přesná znalost polohy byla vždy považována za strategicky významnou hodnotu. Bezpochyby se ukázalo, jak efektivní a významná může být znalost aktuální polohy také v zemědělství. Na přesném určení polohy je mnoho zásahů a opatření závislá. O jednotlivých výhodách navigací a jejich přínosu bylo napsáno mnohé. Dnes je již celkem běžné pracovat, díky korekčnímu signálu RTK, doslova s přesností v řádech milimetrů. Díky této korekci je možné se dostávat přesně na jednotlivé pracovní trajektorie i s odstupem času. V minulosti bylo zkoušeno a vyvíjeno více možností určování polohy, nicméně v současné době bude platit, že pouze satelitní navigace

představuje komerčně dostupný a prakticky využitelný systém.

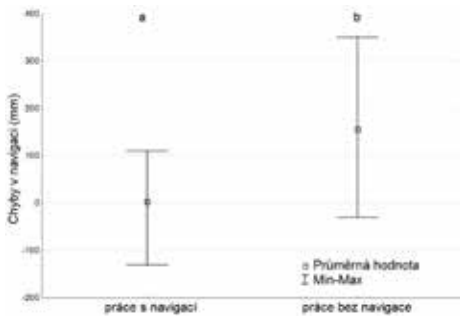
Praktickým příkladem přínosu technologie je zajištění přesnosti navazování jízdy. Byla sledována přesnost v navazování jízdy při zakládání porostů. Navíc se zde rozhoduje o založení kolejových řádků. Chyba se tak přenáší na další zásahy, tedy hnojení a chemickou ochranu.

Obr. 14 zachycuje měření navazování jednotlivých jízdy, kdy byly měřeny vzdálenosti mezi jednotlivými sousedními jízdy traktoru.



Obr. 14 Hodnocení přesnosti navigace odměřováním navazujících jízdy (foto Kroulík).

Grafické vyjádření rozdělení chyb je znázorněno v grafu na obrázku 15. Z grafu je patrný postupný nárůst chyb s dosavadně uplatňovaným manuálním ovládním. Na druhou stranu je patrný vliv úrovně navigace, doložený výkyvy v navádění stroje. Zde je každopádně prostor pro zlepšení ve formě instalace autonomní navigace místo asistovaného řízení, kde je odezva na korekce pomalejší.



Obr. 15 Chyby v navigaci při použití navigace a bez použití navigace. Rozdílné indexy dokládají statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05.

V uvedeném případě je doloženo, že řidiči soupravy měli tendenci překrývat jednotlivé jízdy. Střední hodnota chyby u varianty s navigací se pohybovala na úrovni 2,5 mm, u manuálního navádění podle znamenáku byla střední hodnota chyby 155 mm. S tím narůstají nejen překryvy při setí, ale také při aplikaci hnojiv a pesticidů. Při záběru postřikovače a rozmetadla 36 m tato chyba představuje překryv okolo 930 mm, což představuje chybu cca 2,6 %. Lze tedy uvažovat, že na 100 ha ošetření prostřikáme nebo opakovaně nahojíme 2,6 ha.

Jako další příklad jsou uvedeny výsledky měření při hodnocení navazování jízdy s rozdílnou úrovní navigačních systémů. Detailní popis jednotlivých hodnocených variant je uveden v tabulce 1. Jednalo se o hodnocení souprav, které byly naváděny ručně pomocí světelné lišty, s použitím servomotoru, který byl připevněn na věnec volantu až po plně zabudovaný systém řízení. Kromě konstrukčních parametrů

je také patrný vliv úrovně korekčního signálu. V tabulce je také uvedeno hodnocení řidičů souprav, kde navigace použita nebyla.

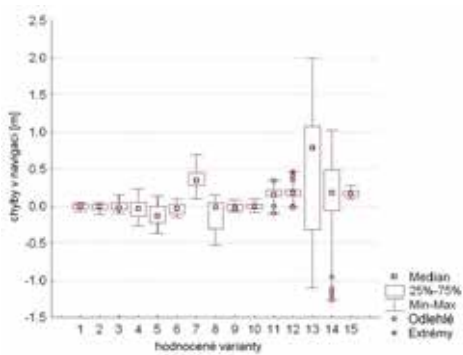
Grafické vyjádření rozdělení chyb je znázorněno v grafu na obrázku 16. Z grafu je patrný postupný nárůst chyb s postupným snižováním úrovně a přesnosti navigace. Pokud se řidiči spoléhali na své zkušenosti, měli tendenci k překryvání jízdy. K překryvům docházelo i v případech, kdy řidiči napomáhala stopa znamenáku nebo pěnový značkovač. Opakuje se tedy předchozí závěr s přenášením chyb na další operace.

RTK korekce v současnosti představují nejvyšší úroveň dosažitelné přesnosti u polních navigací. Přesnost, resp. chyby v navádění byly sledovány u čtyř strojních souprav (Tabulka 2) vždy střídavě při použití navigace a bez použití navigace. Velmi jednoduché monitorovací zařízení bylo nainstalováno na stroj – významníky byly zapojeny přímo s RTK navigací. Úkolem každého řidiče bylo pracovat bez jakéhokoliv ovlivňování minimálně 45 minut s využitím navigace a následně bez navigace. Tyto dvě varianty byly opakovány minimálně třikrát pro každou soupravu.

Tabulka 1 Přehled hodnocených variant (klasické navazování pracovních záběrů)

	Pracovní operace	Pracovní záběr/ nastavení	Typ navigace	Úroveň signálu
s navigací	Traktor JD 8520 secí stroj Horsch	8 m / 8 m	Automatické řízení	RTK
	Traktor Fendt 924 talířový podmiťáč Lemken	6 m / 5.95 m	Automatické řízení	Omnistar XP
	Traktor JD 8520 secí stroj Horsch	8 m / 7.95 m	Automatické řízení	Omnistar HP
	Traktor CASE CVX 1190 postřikovač Mamut	24 m / 23.75 m	Asistované řízení EZ-Steer	Omnistar HP
	Traktor Steyer 9230 smyk	8 m / 7.75 m	Asistované řízení EZ-Steer	Egnos
	Traktor Steyer 9230 smyk	8 m / 7.80 m	Asistované řízení EZ-Steer	Omnistar XP
	Samojízdný postřikovač Tecnomas Laser 400	36 m / 35.6	Světelná lišta Trimble AgGPS PSO 21	Omnistar VBS
	Traktor JD 6820 postřikovač Vicon RotaFlow	24 m / 23.8 m	Světelná lišta Trimble EZ-Guide Plus	Egnos
bez navigace	Traktor Fendt 924 talířový podmiťáč Lemken	6 m / -	Řidič - zkušenosti 8 let	navazování jízdy odhadem řidiče
	Traktor JD 8320 talířový podmiťáč	6 m / -	Řidič - zkušenosti 5 let	navazování jízdy odhadem řidiče
	Traktor Zetor 9540 Postřikovač HARDI Twin Air	18 m / -	Řidič - zkušenosti 6 let	navazování jízdy odhadem řidiče
	Traktor Zetor 10540 postřikovač HARDI Twin Air	18 m / -	Řidič - zkušenosti 13 let	pěnový znač- kovač
	Traktor New Holland TE 88 secí stroj Accord MT 6	6 m / -	Řidič - zkušenosti 5 let	znamenák

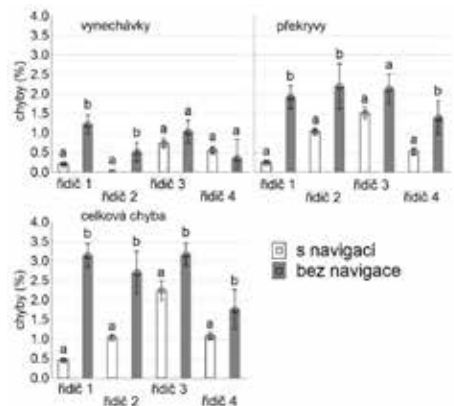




Obr. 16 Grafické vyjádření chyb při navazování jízdy.

Porovnání stejné strojní soupravy se stejným řidičem, střídavě s a bez použití navigace s RTK signálem ukázalo, že využití naváděcího systému poskytuje značné výhody, které spočívají ve významné minimalizaci chyb. V případě, že je stroj řízen manuálně, chyby jsou větší než s autonomní navigací. Z grafů je také patrné, že při manuálním řízení mají řidiči sklon především překrývat jednotlivé jízdy. Takto vzniklé chyby se mohou dále kumulovat, například při hnojení nebo ochraně, kdy se využívají kolejové řádky. Statistické analýzy a grafické zpracování výsledků přináší Obrázek 17.

Za zmínku rovněž stojí rozdíl v přesnosti navigace u dvou druhů řízení, autopilot a asistované řízení. Systém asistovaného řízení EZ-Steer vychází z přidání krokového motoru na volant stroje, který kontroluje a ovládá linii stroje při pohybu. V porovnání s plně automatizovaným řízením má asistované řízení pomalejší reakční čas na požadovanou změnu směru.



Obr. 17 Grafické vyjádření chyb při navazování jízdy. Porovnání manuálního řízení a navigace. Rozdílné indexy vyjadřují statisticky významné rozdíly mezi dvojicemi hodnot.

Tabulka 2 Přehled hodnocených variant při hodnocení chyb během navazování sousedních jízdy

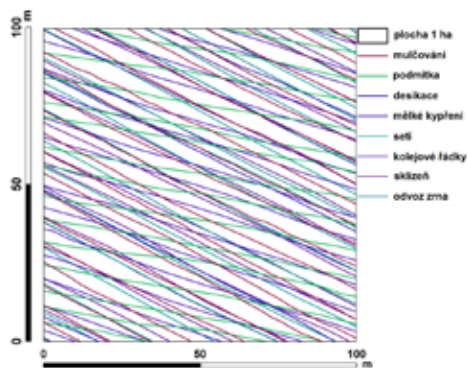
Řidič	Souprava	Pracovní záběr	Operace	Typ navigace
1	CAT MT765B	8 m	Předsetová příprava	RTK, autopilot
	Horsch Phantom FG8			
2	CASE STX 450	15 m	Kypření	RTK, autopilot
	Swifter Combi 15000			
3	JD 8220	8 m	Předsetová příprava	RTK, EZ Steer
	Farmet Kompaktomat 8			
4	CASE 1170	6 m	Setí	RTK, EZ Steer
	Amazone EDX 6000-TC			

3. INTENZITA PŘEJEZDŮ V SOUČASNÉ ZEMĚDĚLSKÉ PRAXI

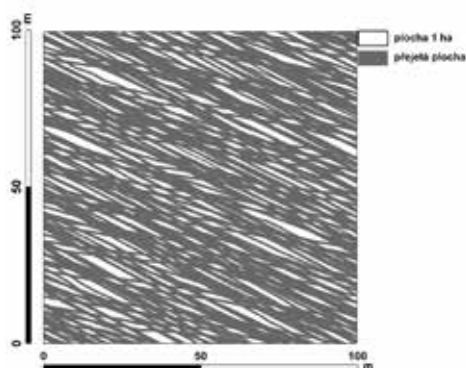
Pro řadu zemědělců je dnes stále důležitější hledisko ochrany půdy před erozí nebo ztuhnutím půdy. Zemědělská půda je v různé míře vystavována tlakům vyvíjeným pojezdovými ústrojími traktorů, sklizňových strojů a dopravních prostředků. Přejezdy po pozemcích jsou v současném zemědělství nevyhnutelné. Jako hlavní dopad náhodných přejezdů po pozemku je považováno ztuhnutí, i když se jedná o obtížně měřitelnou vlastnost. Nežádoucí utužení půdy vlivem přejezdů zemědělskými soupravami se stává celosvětovým problémem (*Håkansson a kol. 1988, Gysi, 2001, Chamen a kol. 2003, Hamza a Anderson, 2005, Chan a kol. 2006*). Nejedná se rovněž o problém sezónní, ale stopy nežádoucího ztuhnutí je možné pozorovat i s odstupem několika let. Půda má

různou odolnost vůči stlačování – důležitými faktory jsou zrnitostní složení půdy, momentální vlhkost půdy, obsah organických látek v půdě, struktura půdy. Přejezdy těžké mechanizace se rovněž odráží ve výnosech plodin a je možné pozorovat i po více let (*Radford a kol. 2007*).

Technogenním ztuhnutím rozumíme nežádoucí stlačení částí půdního profilu, kdy fyzikální vlastnosti půdy přesáhnou mezní kritické hodnoty působením strojů, které se v pěstitelských technologiích využívají. Škodlivé ztuhnutí půdy zvyšuje energetickou náročnost a kvalitu zpracování půdy, snižuje výnosy plodin a je spojeno s ekologickými riziky, která doprovázejí vodní erozi půdy. Zvýšené



Obr. 18 Mapa záznamu pohybu mechanizace po pozemku na výřezu o ploše 1 ha. Minimalizační technologie s mělkým kypřením.



Obr. 19 Mapa přejeté plochy pozemku pojezdovými ústrojími mechanizace na výřezu o ploše 1 ha. Minimalizační technologie s mělkým kypřením.

riziko vodní eroze ztuhlých půd souvisí se sníženou propustností těchto půd pro vodu při intenzivních dešťových srážkách, zejména přívalového charakteru při bouřkách. Ztuhnutí půdy podle *Newell Price a kol. (2013)* představuje závažný problém pro schopnost půdy zajišťovat ekologické funkce a stav vrchní vrstvy půdy je určující pro infiltraci vody do půdy a její zadržování, produkci biomasy, biologickou rozmanitost, ukládání uhlíku a snížení emisí oxidu dusného.

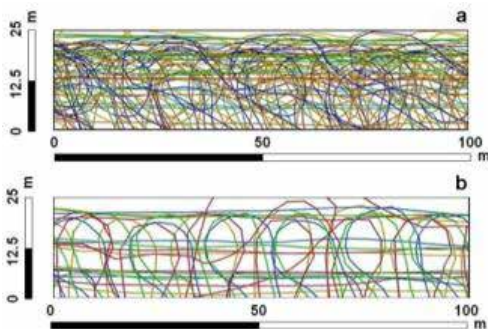
Na následujících obrázcích je ukázka záznamu pohybu zemědělské techniky po pozemku, demonstrována na jednohektarovém výřezu. Jedná se o trajektorie jízdy u minimalizační technologie (Obrázek 18). Pro názornost je na dalším obrázku 19 znázorněno pokrytí plochy stopami pneumatik. Na souvratích je potom četnost přejezdů a zejména opakování přejezdů ještě významnější (Obrázek 20).

Výsledky ze sledování intenzity přejezdů ukazují, že 88,2 % plochy bylo pokryto stopami

během jednoho roku, resp. sezóny v případě, že byla uplatněna orebná technologie. Dále bylo spočítáno, že tato, již jednou přejetá plocha byla vystavena opakovaným přejezdům. Na pozemku, kde byla uplatněná minimalizační technologie, klesla plocha přejetá pneumatikami na 65,2 % resp. 42,7 % u přímého setí. Se snížením intenzity, klesla plocha přejetá pneumatikami. I tak ale zůstávají v organizování přejezdů značné rezervy. V našem případě organizace přejezdů odpovídala provozním podmínkám v zemědělském podniku, nebylo do ní nijak zasahováno. K podobným závěrům dospěli také *Watson a Lowenberg-DeBoer (2004)*. Uvádí až 90 % pěstební plochy přejeté pneumatikami, zatímco s uplatněním navigace klesá přejetá plocha na 30 %.

K uvedenému vyjádření je zapotřebí přidat další doplňující údaje a tím je momentální vlhkost půdy. Je obecně známo, že vlhká a případně nakypřená půda je k nežádoucímu ztuhnutí náchylná mnohem více než půda v sušším nenakypřeném stavu. Řada operací, jmenovitě zejména přípravu půdy, setí, přihnojování a ochranu v jarním období, na druhou stranu sklizeň některých plodin, spadá do období, kdy je zranitelnost půdy vyšší. Rovněž na zavlažovaných plochách a v intenzivních provozech je riziko nežádoucího ztuhnutí velmi vysoké.

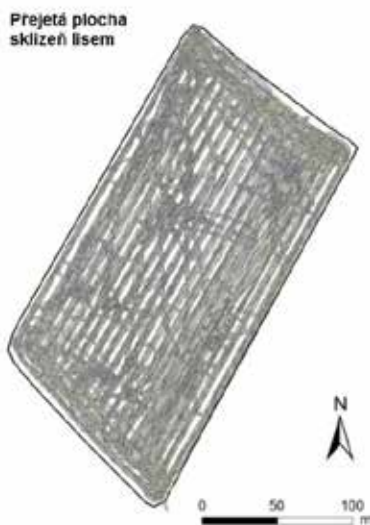
Problém intenzivních a náhodných přejezdů se dotýká také dalších plodin, jako jsou pícniny na orné půdě a víceleté travní porosty. Obrázky 21 a 22 dokládají intenzitu přejezdů technikou během sklizně pícnin na siláž. V případě sklizně s využitím samojízdné řezačky bylo pneumatikami přejeté okolo 64 % sledované plochy. V případě nasazení svinovacího



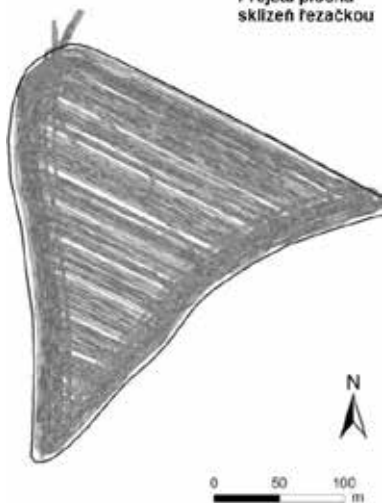
Obr. 20 Záznam přejezdů na souvratích u orebné technologie (a) a minimalizační technologie (b).

lisu bylo přejetu okolo 63 % plochy. Nejčastěji byly zaznamenány dvakrát opakované přejezdy. Zhutnění půdy na travnatých plochách v Anglii a Walesu podle *Håkanssona a Reedera (1994) nebo Bateye (2009)* může způsobovat jak mechanizace, tak pastva. Jako hlavní příčina se ale ukazuje změna v obhospodařování luk a pastvin za několik posledních desetiletí, konkrétně nasazení těžké mechanizace, kterou disponují podniky služeb. Byl prokázán vliv přejezdů techniky po travních porostech, kdy zhutnění půdy výrazně snižovalo výnos sušiny (*Frost 1988 a, b, Douglas a kol. 1998*) a ovlivňovalo využití dusíku (*Douglas a kol. 1998*). *Arvidsson a Håkansson (1991)* upozorňuje, že za snížením výnosu také stojí poškození rostlin přejezdy, více než utužení. *Duiker (2004)* poukazuje na poškození porostu vojtěšky v závislosti na odstupu mezi sečením a odvozem

píce z pozemku. Poškození je mnohem větší při odvozu 5 dní po posečení, než 2 dny po posečení. Je tedy na místě včasnost odvozu píce z pozemku.



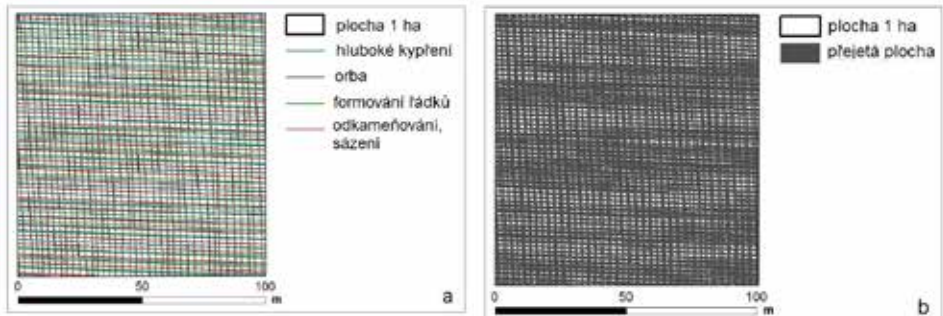
Prejetá plocha sklizeň fezačkou



Obr. 21 Grafické vyjádření přejezdů při sklizni samojízdnou fezačkou.

Obr. 22 Grafické vyjádření přejezdů při sklizni svinovacím lisem.





Obr. 23 Grafické vyjádření trajektorií jízdy (a) a stop pneumatik (b) při zakládání porostu brambor.

Obrázek 23 zobrazuje trajektorie a přejezdy pneumatikami na výřezu 1 ha při zakládání porostu brambor. Technologie pěstování brambor patří k velmi intenzivním technologiím.

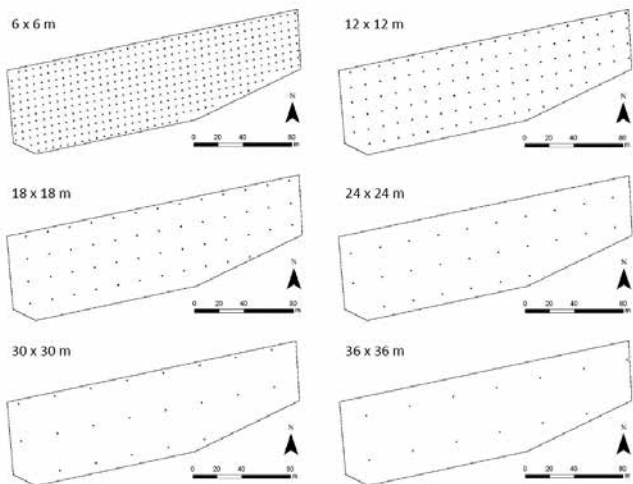
Tomu odpovídá podíl přejeté plochy technikou 84,4 %. Do výřezu ještě není zařazena sklizeň.

4. MONITORING STROJNÍCH SOUPRAV A JEHO VYUŽITÍ

Z hlediska využití přesného určení polohy se v zemědělství pracuje zejména na podpůrných systémech, které informace o poloze využívají. Jedním z příkladů může být monitoring souprav, který slouží k hodnocení efektivity práce strojů a plánování jejich nasazení. Díky technickému pokroku se dnes dostáváme na stále menší měřítko možností variabilních zásahů a aplikací. S ohledem na tuto skutečnost narůstá potřeba detailnějšího monitoringu půdních vlastností a stavu rostlin. Variabilita půdních vlastností se může, podle jejich charakteru pohybovat od řádu milimetrů po

stovky metrů. Pokud chceme získávat hodnotné informace o pozemcích, bude nutné úroveň a ukazatele variability respektovat.

Sparovek a Schnug (2001) uvádějí, že většina půdních vlastností, zejména fyzikální vlastnosti, chemické ale i biologické, je velmi variabilních a rozdíly v jednotlivých parametrech mají velmi malé měřítko. V předcházejících kapitolách bylo poukázáno na možnosti optimalizování odběrové sítě na základě znalosti variability pozemků. Představené mapy jsou výstupem interpolačních metod. Ty využívají



Obr. 24 Mapy rozložení bodů s rozdílnou hustotou vzorkování.

znalosti prostorové závislosti mezi jednotlivými body odběrů. Pro ověření platnosti odhadu interpolace se používá několik metodických postupů. Následující příklad dokládá vliv hustoty odběrové sítě na kvalitu odhadu hodnot, v našem případě tahové síly traktoru. Pro potřeby ukázky byl použit tzv. parametr G (Kravchenko 2003). K souboru naměřených hodnot tahových sil byly získány pomocí metody Cross-Validation pro jednotlivé body hodnoty odhadnuté, získané interpolací. Tyto hodnoty byly následně použity pro výpočet parametru G .

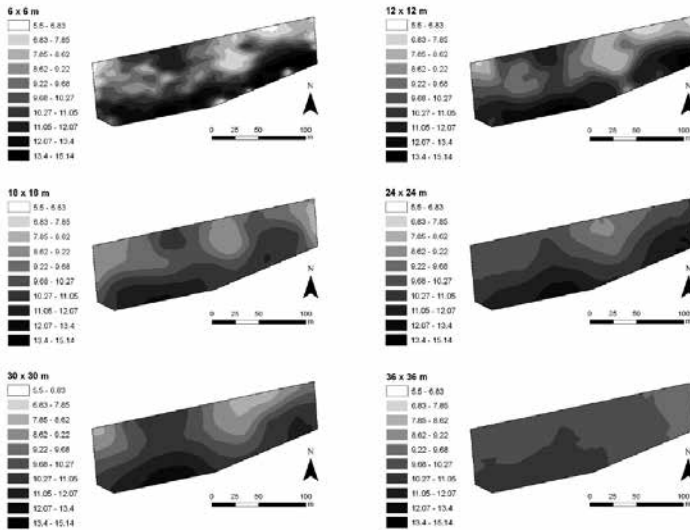
Kladné a vyšší hodnoty parametru G indikují, že mapy odhadnuté z bodových odběrů interpolační metodou Kriging mají dostatečně vypovídací schopnost. Hodnoty záporné a hodnoty blízké 0 vypovídají, že hodnoty odhadnuté interpolací nejsou dostatečně přesné

a znázornění hodnot například průměrem je přesnější než odhad.

Na obrázku 24 je zachycen pozemek s vyznačenými body měření pro rozdílnou hustotu měření. V jednotlivých bodech byla zaznamenána hodnota tahové síly.

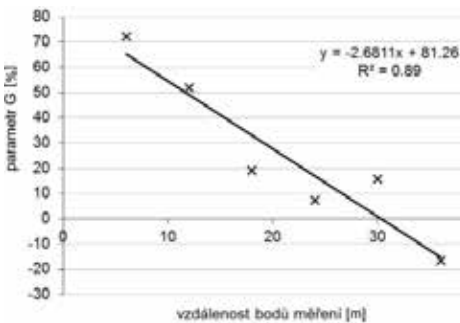
Pro vykreslení map byla zvolena interpolační metoda *OrdinaryKriging* (běžný kriging). Výstupem interpolace byly mapy, které znázorňovaly prostorové rozložení měřené veličiny (Obrázek 25).

Graf na následujícím obrázku (Obrázek 26) přináší závislost parametru G na hustotě vzorkování. Ta vykazuje jednoznačně klesající trend. Je tedy patrné, že spolu s klesající hustotou sítě klesala také kvalita odhadu při



Obr. 25 Mapy tahových sil s rozdílnou hustotou vzorkování.

interpolaci. Spolu s hustotou sítě klesala i prostorová závislost tahové síly. Pokud porovnáme jednotlivé mapy, zjistíme, že se postupně vytrácejí detailnější informace.



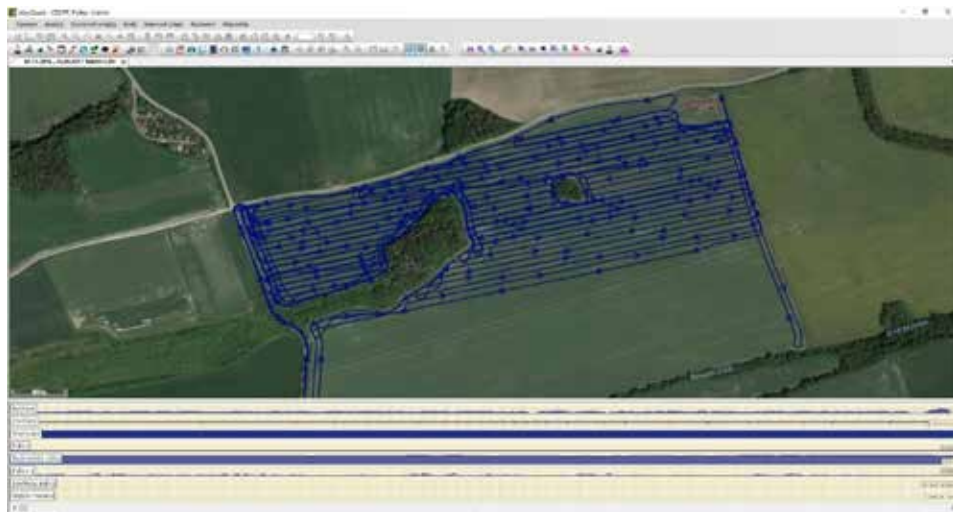
Obr. 26 Závislost parametru G na hustotě vzorkování.

Významným zdrojem dat se mohou stát samotné tažné prostředky a pracovní nářadí. S nástupem moderních strojů vybavených elektronikou a monitoringem provozních údajů bude možné navíc posuzovat skutečnou úroveň a efektivitu hospodaření velmi detailně. Reálnou podobu těmto vývojovým směrům dává telematický sběr dat, jejich přenos a ukládání na vzdálená uložení, třídění a správa dat a možnost vzdáleného přístupu k těmto datům. Předpoklad je rovněž oboustranná komunikace, s možností opačného směru přenosu dat. S nástupem přenosových sítí 5G navíc dojde ke zrychlení přenosu dat, rychlé reakci sítě na pokyny uživatele, možnosti komunikace nejen řídicího technika a stroje, ale též vzájemné komunikace mezi stroji a jejich vzájemné koordinaci. Společně s podporou IoT se více přibližujeme vizi vyšší autonomie strojů.

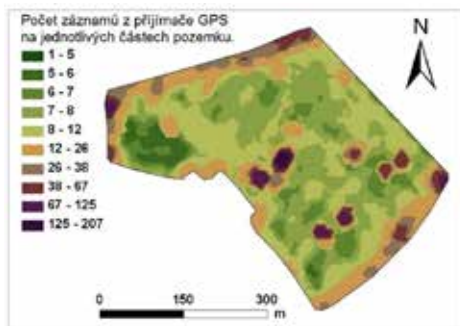
Nynější podstata telematiky spočívá v inovaci a modernizaci managementu zemědělské výroby v podobě monitoringu pohybu strojů, jejich časového využití, pozice, výkonnosti. Společně s daty o poloze získáváme detailní přehled o rychlosti souprav, režimu práce stroje, spotřebě pohonných hmot, parametrech sklizeného produktu nebo aplikovaných dávkách na vstupech. Na obrázku 27 je ukázka výstupu záznamu pohybu pracovní soupravy v prostředí ITineris.

Znalost polohy a následně generované přejezdy po pozemku přináší řadu informací o práci na pozemcích. Na základě záznamu je možné identifikovat místa s vysokou koncentrací přejezdů a rizikem utužení půdy. Na obrázku 28 je graficky doloženo prohlášení: „Zhutnění půdy je spojeno s počtem přejezdů strojů, ale také s časovou expozicí, po kterou

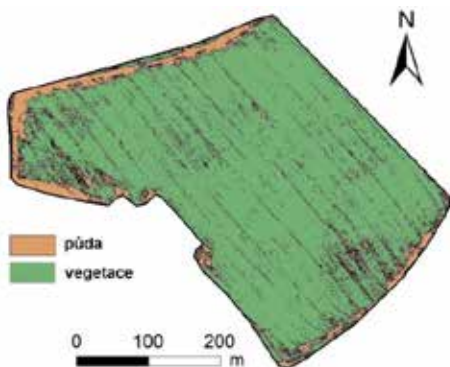
je půda vystavena tlaku pojezdových mechanismů“ (Bakker a Davis 1995). Obrázek ukazuje plochy s rozdílnou intenzitou přejezdů a rozdílnými časovými expozicemi půdy tlakem stroje. Mapa byla vytvořena jako součet počtu záznamu v čase na příslušných plochách 6x6 m (plocha byla rozdělena do čtvercové sítě velikosti hrany čtverců 6 m). To znamená, že pro záznam bylo určující, kolikrát stroj vstoupil na danou plochu a jak dlouho (včetně prostojů) se na dané ploše zdržel.



Obr. 27 Ze záznamů pohybu souprav po pozemcích lze vysledovat místa s koncentrací přejezdů technikou. Záznam byl pořízen s využitím monitorovacího systému ITineris.



Obr.28 Mapa charakterizující intenzitu přejezdů.

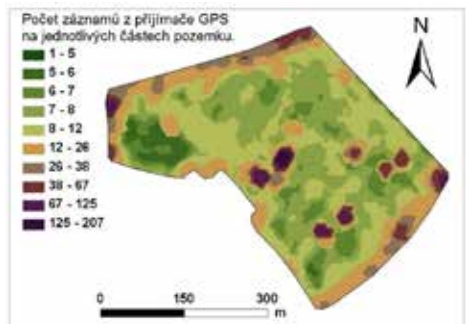


Obr. 29 Obrazová analýza leteckého snímku dokumentuje poškození a absenci porostu na okrajových plochách pozemku.

Z obrázku 29 je patrné, že zejména souvratě jsou vystaveny zvýšené intenzitě přejezdů. Přesto jsou tyto plochy ošetřovány se stejnou, ne-li vyšší intenzitou jako ostatní produkční plochy. Vynaložené úsilí farmáře však očekávané výsledky často nepřináší. Ze snímku, který byl pořízen za pomoci leteckého modelu a následně analyzován je dobře viditelné, jak

se stav půdy odráží na stavu vegetace. Především na okrajích pozemků jsou přítomny plochy bez vegetace (Obrázek 29).

Shodnou informaci najdeme i na obrázku 30. Také zde jsou patrné intenzivně zatěžované plochy pojezdovými ústrojími strojů.

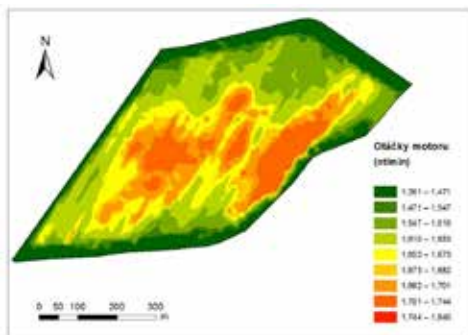


Obr. 30 Mapa charakterizující četnost přejezdů na jednotlivých částech pozemku.

Informace o poloze není zdaleka jedinou informací, kterou telematika přináší. Společně s monitoringem souprav může být přenášena řada informací o provozních ukazatelích strojů. Dalo by se říci, že se jedná o jeden z prvků nového směru v zemědělství a tím je digitalizace výrobních procesů a naplňování nových myšlenek na využití informací. Díky tomu se i v zemědělství budeme stále častěji setkávat s pojmem Internet věcí. Jedním ze záměrů na využití IoT je kontrola věcí kolem nás, informovanost o stavu věcí a vyšší efektivita v rozhodování. Tento požadavek bude rovněž stále více podporován vnějšími snahami na kontrolu kvality a původu potravin, omezování chemizace zemědělství, snižování zátěže životního

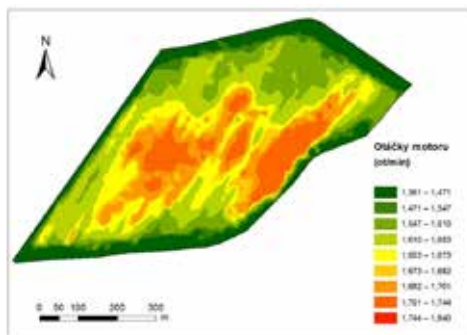
prostředí a krajiny, ale rovněž prohlubujícím se nedostatkem kvalifikovaných pracovníků v zemědělské prvovýrobě. Aby bylo možné tyto myšlenky postupně naplňovat, bude zapotřebí výrazně pracovat na sběru dat, jejich ošetření, filtraci a interpretaci. Do jisté míry je možné hovořit o transformaci reálného světa objektů do prostředí virtuálního a sjednotit všechno v našem světě pod společnou infrastrukturu, což nám umožní nejen kontrolu věcí kolem nás, ale také udržet nás informovanými o stavu věcí.

Z hlediska kontrolních údajů jsou zajímavá data o režimu práce samotného traktoru, respektive jeho motoru. Zde hraje významnou roli především obsluha stroje, její zodpovědnost a do jisté míry znalost režimu práce motoru. Přímou se dotýkáme ekonomiky provozu soupravy, vyjádřenou přes spotřebu pohonných hmot. Je potěšujícím zjištěním, že spolu s technickou úrovní strojů roste i povědomí o uvedených skutečnostech mezi obsluhou. Záznam provozu stroje se tak stává nástrojem ke kontrole a ke zlepšení situace z pohledu ekonomického využití pracovních souprav.



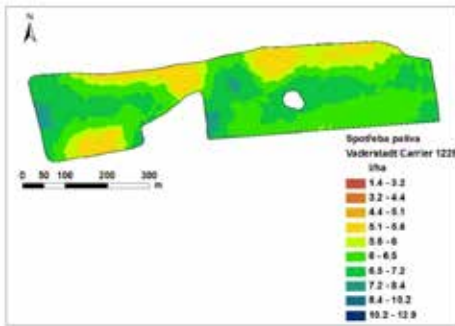
Obr. 31 přináší grafický záznam z otáček motoru při orbě pozemku.

Kvalita pracovních operací, ale také energetická náročnost při práci, je spojena s pracovní rychlostí souprav (Obrázek 32). Záznam pracovní rychlosti může posloužit rovněž jako kontrolní nástroj a doklad řádně odvedené práce s ohledem na doporučené pracovní rychlosti strojů.



Obr. 32 Záznam pracovní rychlosti soupravy.

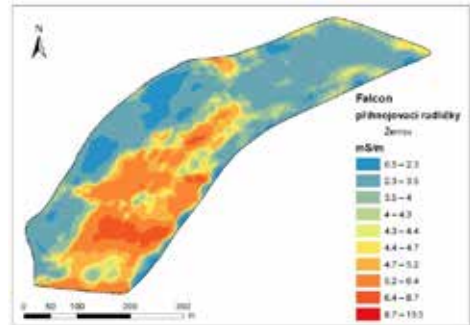
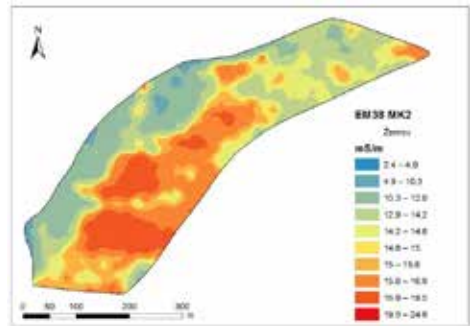
Významnou informací ze záznamu o provozu stroje je spotřeba pohonných hmot. V případě, že k uvedeným datům připojíme údaje o vstupech během sezony a výnosovou mapu, získáme zcela jiný pohled na ekonomiku hospodaření na jednotlivých pozemcích a jejich částech. Záznam spotřeby pohonných hmot během přípravy půdy přináší obrázek 33.



Obr. 33 Mapa spotřeby paliva.

Kromě traktoru může být významným zdrojem dat také připojený stroj náležitě vybavený senzoričkou. Nabízí se například měření hloubky nebo intenzity zpracování půdy. Pokusy prováděné na pracovištích ČZU ve spolupráci s firmou Farmet a.s. dokládají použitelnost technického řešení úpravy kypřičů nebo secích strojů za účelem měření vodivosti půdy, kdy modifikací vybraného stroje na zpracování půdy a setí a zabudováním čidel přímo do pracovních nástrojů získáme měřicí platformu a umožníme sběr dat přímo během práce stroje. Vizuelní srovnání dat vodivosti půdy ze senzoru EM 38 MK2, který je považován za standard, a modifikovaného kypřiče přináší obrázek 34.

S vyšší přesností navigací se posouváme v měřítku prováděných zásahů například na úroveň jednotlivých řádků rostlin a rostlinám. Následující ukázka je toho příkladem (Obrázek 35). Technické řešení pro variabilní hloubku ukládání osiva kukuřice, které vychází z konkrétních stanovištních podmínek, představuje firma PrecisionPlanting v podobě senzoru SmartFirmer, který se součástí secí botky. Tento senzor, který pracuje v těsném kontaktu s půdou a poskytuje informace několik

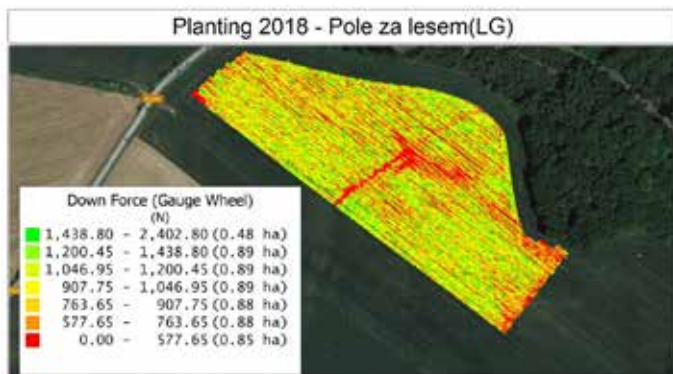


Obr. 34 Mapa vodivosti půdy pořízená sondou EM 38 MK2 (nahore) a mapa pořízená měřicí platformou, instalovanou na secí stroj (dole).

informací o variabilitě půdy, včetně teploty a vlhkosti půdy, slouží jako podklad pro nastavení hloubky setí. Jak dokládá obrázek 36, technický pokrok ve sběru dat a jejich interpretace skutečně míří na detaily pro jednotlivé secí botky, tentokrát změnou přtlaku. Vše se záznamem polohy stroje, resp. botek.



Obr. 35 Detail senzoru SmartFirm a jeho umístění na secí botce (foto Kroulík).



Obr. 36 Hodnoty naměřené přitlačné síly na opěrné kolo secí botky při seti kukuřice.

S provozními daty mohou přicházet v reálném čase varovné alarmy týkající se strojového parku a požadavky na údržbu nebo servisní úkon. Zavedením oboustranné komunikace zajistíme vzdálené bezdrátové

řízení jednotlivých zásahů, včasné přípravy aplikačních úkonů a propojení na další vstupy během sezony. Vše z jakéhokoliv zařízení připojeného k internetu. Pro podobné technologie se dnes vžil pojem Indoor farming, který rovněž vychází z nástupu digitalizace a telematiky.

Příkladem může být vzájemná komunikace se stroji, které zakládají porost. Již samotné parametry nastavení secího

stroje mohou vycházet z aplikačních map výsevu, které byly s předstihem vytvořeny. Tyto tzv. předpisové mapy jsou předávány strojům přes vzdálené uložení. Během seti budou také využity předem definované jízdní stopy. Tyto jízdní trajektorie a kolejové řádky, optimalizované podle tvaru a svažitosti pozemku, sníží počet nepracovních přejezdů a opakovaných

aplikací přípravků a hnojiv v důsledku překryvání záběrů. Jízdní trajektorie přebírají strojní soupravy, které budou pracovat na pozemcích během sezony, od ochrany rostlin, hnojení až po sklizeň. Díky telematickému propojení bude možné s předstihem připravovat aplikační mapy, případně vyznačovat vyloučené zóny, kde je omezena chemická ochrana a hnojení. Předem připravené aplikační mapy budou opět transportovány do palubního počítače postřikovačů a rozmetadel. K nastavení stroje dochází v okamžiku spuštění stroje nebo v okamžiku vstupu na pole díky znalosti polohy stroje. Tvorbou aplikačních map, včetně algoritmů, je samostatnou kapitolou. Uvedeným příkladem se sníží zátěž obsluhy a výrazně se minimalizují chyby v ošetření, protože obsluha v tuto chvíli přebírá především kontrolní úkoly. Řídící procesy v zemědělství v souvislosti se zaváděním přesných zemědělských technologií a celkově zvýšením využívání informačních a komunikačních technologií v různých aplikacích se na jednu stranu stávají složitějšími a komplikovanějšími. Na druhou stranu, díky využití vzdáleného přístupu, tato zátěž přechází z obsluhy stroje na dostatečně kvalifikovaného vedoucího pracovníka. Technické řešení splňují rostoucí požadavky na přesnost a kvalitu ošetření. Dalším kladem je zpětná informace o provedených úkonech, možnost analýz a archivace, případně využití v následných úkonech, včetně dokladování činnosti kontrolním orgánům.

Telematický přenos dat dále umožní jejich sdílení s dalšími zúčastněnými osobami a partnery, kterým může být výrobce, prodejce zařízení nebo servisní středisko. Pokud bude k dispozici velký objem dat z rozdílných zdrojů, ke kterým bude přiřazen například režim a pod-

mínky práce, bude rovněž možné vypracovat předpokládané scénáře vzniku závad, které s sebou během vzniku nesou stopu v přenášovaných datech. Řadě poruch tak budeme moci předejít díky včasné diagnostice a adekvátnímu servisnímu zásahu. Tento postup opět vede k vyšší produktivitě a efektivitě, včetně optimalizaci práce servisního technika. Data a zpětná vazba je rovněž důležitá pro výrobce strojů.

V oblasti telematiky se výrazně angažují všichni významní výrobci zemědělské techniky. Například Stroje John Deere jsou od roku 2011 vybavovány telematickými jednotkami. Tyto telematické jednotky slouží ke sběru a přenosu dat mezi CAN BUS trasou stroje a cloudovým řešením MyJohnDeere.com. Telematické jednotky jsou nyní dodávány ve variantě 4G LTE. Jedná se již o čtvrtou generaci telematické jednotky od firmy John Deere, která umí komunikovat v sítích 4G LTE / 3G / 2G. Dále je vybavena GPS modulem, WiFi a Bluetooth konektivitou. Samozřejmostí je napojení na CAN a ethernet pro přenos dat dokumentace. Jednotka slouží k přenosu dat telematiky, chybových kódů a dat dokumentace nebo nastavení. Dále je přes jednotku možné provádět vzdálenou servisní podporu a instalaci aktualizací softwaru. K nahlížení na data slouží webové rozhraní MyJohnDeere.com, které se dělí na dvě části – část telematickou „JLink“ a část agronomickou „Operační středisko“. V telematice stroje lze sledovat GPS pozici stroje, stavy stroje a chybové kódy. Pomocí nástrojů vzdálená plocha a zobrazení chybových kódů a vzdálený servis lze provést diagnostiku stroje na dálku nebo pomoc obsluze s nastavením stroje. Dále lze sledovat detailní data o využití stroje a spotřebě paliva a filtrovat je na základě

času. V „Operačním středisku“ mohou uživatelé spravovat a připravovat data pro terminály stroje. Mohou zde nahrávat a tvořit hranice pozemků a definovat trajektorie pohybu stroje po pozemku. Je zde možné také spravovat seznam produktů, se kterými uživatelé pracují pro snazší nastavení terminálu. Všechna tato data lze přenést bezdrátově do stroje. Ve stroji se zaznamenávají data dokumentace o práci a zase se automaticky přenáší zpět. Tato data je možné analyzovat přímo v „Operačním středisku“ nebo je možné je vyexportovat do formátu SHP pro podrobnější analýzu (Pinkas, 2019)

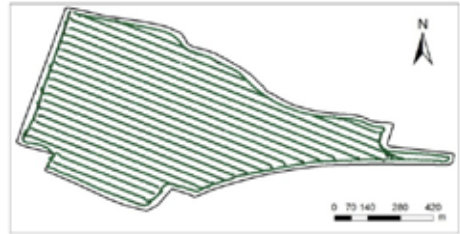
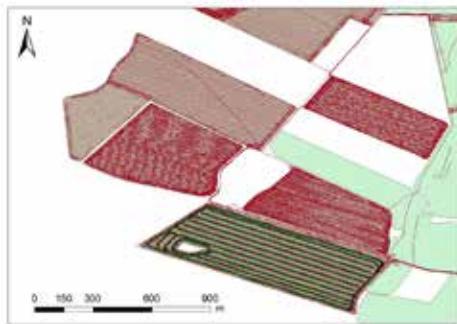
Nynější podstata telematiky spočívá v inovaci a modernizaci managementu zemědělské výroby v podobě monitoringu pohybu strojů, jejich časového využití, pozice, výkonnosti. Společně s daty o poloze získáváme detailní přehled o rychlosti souprav, režimu práce stroje, spotřebě pohonných hmot, parametrech

sklizeného produktu nebo aplikovaných dávkách na vstupech. Společně s provozními daty mohou přicházet v reálném čase varovné alarmy týkající se strojového parku a požadavky na údržbu nebo servisní úkon.

Uvedený přehled je jen částí objemu dat, které lze ze záznamu vyčíst. IoT si klade za cíl sjednotit všechno v našem světě pod společnou infrastrukturu, což nám umožní nejen kontrolu věcí kolem nás, ale také udržet nás informovanými o stavu věcí. Přes značný pokrok v oblasti sběru a hodnocení dat, kompatibilita hardwaru a softwaru, kdy je zapotřebí mnoho ručních úkonů, specializované softwary, často až vědecké znalosti, stále představuje omezující faktor pro použití těchto dat, stejně jako nedostatek konceptu opětovného využití dat. V tomto ohledu nás čeká stále mnoho práce. Každopádně sběr dat představuje první významný krok.

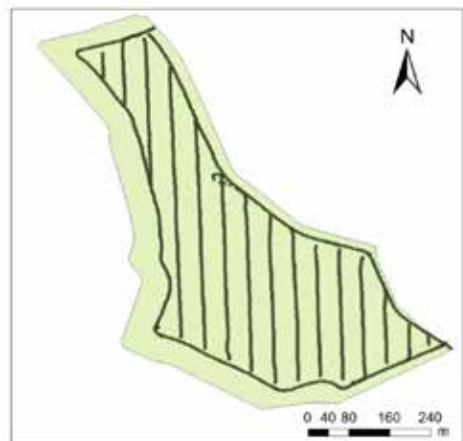
5. OPTIMALIZACE JÍZDNÍCH TRAJEKTORIÍ

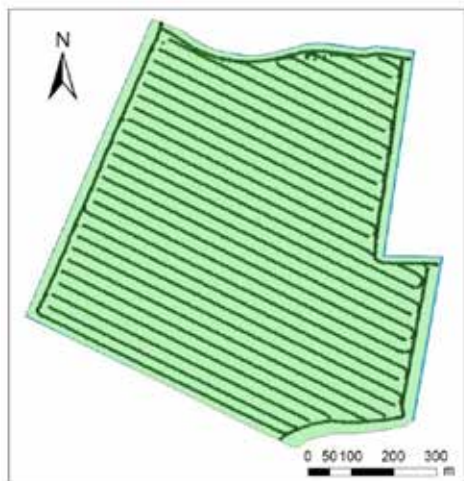
Pouhé vybavení stroje GPS přijímačem přináší pro řadu uživatelů zajímavé informace a možnosti využití. Následující Obrázek 37 přináší pohled na záznam o pohybu stroje od okamžiku otočení klíčku ve spínací skříňce traktoru. V tomto případě se jedná již o přenesený záznam do prostředí GIS (Geografický informační systém).



Obr. 37 Záznam pohybu souprav po pozemcích. Ze záznamu jsou patrné jízdy během základního zpracování půdy a jízdy postřikovače.

Díky záznamu pohybu byl pořízen přehled o volených trasách jízdy. Jednou z možností práce s daty je optimalizace pracovních jízd souprav s ohledem na tvar pozemku. V našem případě vycházel výběr reálných trajektorií ze zkušenosti obsluhy, nebo tradice. Záznam trajektorií byl pořízen během přihnojení porostů. Následující obrázky (Obrázek 38) prezentují tvary pozemků se záznamem reálných trajektorií, získaných ze záznamu jízdy.





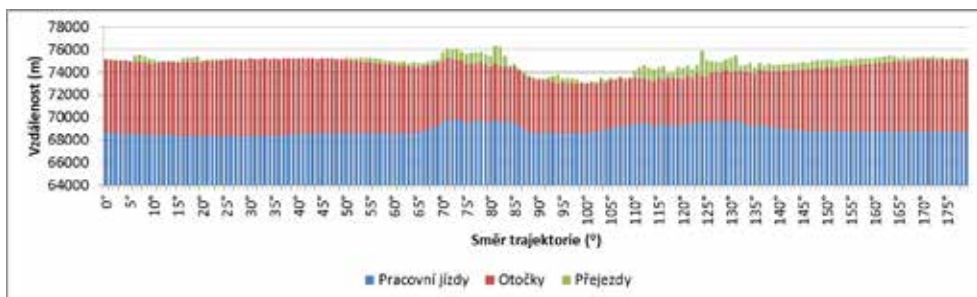
Obr. 38 Záznamy reálných trajektorií během přihnojení porostu, (pozemek 1 nahoře vlevo, pozemek 2 nahoře vpravo, pozemek 3 dole vlevo, pozemek 4 dole vpravo).

Na základě znalosti hranic pozemků, získaných z LPIS (Land Parcel Identification System), záběrů strojů, poloměrů zatáčení a počtu jízd na souvratí bylo možné přistoupit k modelování jízdnic trajektorií. K mode-

lování trajektorií byl využit program OptiTrail (LeadingFarmers a.s., ČR). Pro každý pozemek bylo celkem stanoveno 180 jízdnic směrů, tedy s odstupem po 1°. Průběh změn pracovních a nepracovních jízd, s ohledem na směr jízdy, prezentuje obrázek 39.

Pro jednotlivé trajektorie byly vypočítány délky pracovních a nepracovních jízd, počty otáček a délky jízd po souvratí. Na základě délky jízd byla vybrána nejvhodnější varianta a následně byla porovnána s variantou, která byla shodná se směrem jízd podle skutečného záznamu. V našem případě byla hlavním měřítkem celková délka jízd.

Hodnoty délek jízd přináší tabulka 3. Do tabulky jsou vyneseny hodnoty pro reálné směry jízd a modelové případy. Z tabulky je patrné, že i minimální změna směru jízdy může přinést celkové zkrácení celkové délky jízdy.



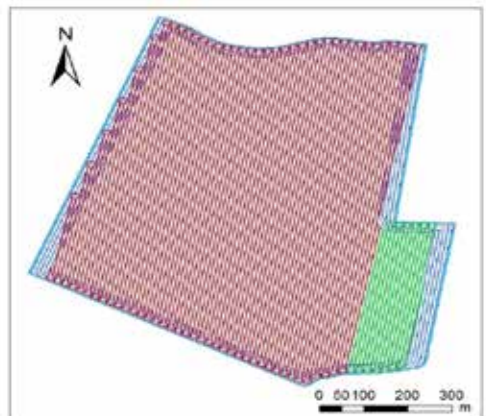
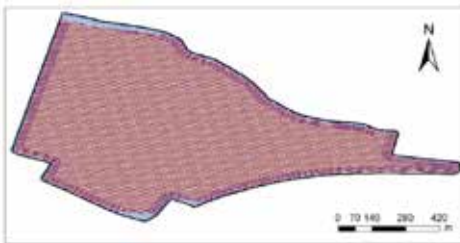
Obr. 39 Délky pracovních a nepracovních stanovené pro jednotlivé azimuty trajektorií pro hodnocený pozemek.

Tabulka 3 Hodnoty délek pracovních a nepracovních jízd při reálném a modelovém azimutu trajektorií.

	Směr (°)	Celková ujetá vzdálenost (m)	Pracovní jízdy (m)	Otočky (m)	Počet otáček	Délka souvratí (m)	Přejezdy (m)	Poměr pracovních a nepracovních jízd (%)
Pozemek 1 model	100	89445.67	68588.39	4452.01	123	16405.28	0.00	15.4
Pozemek 1 reálný záznam	112	91084.98	69465.78	3981.47	110	16405.28	1232.45	13.3
Pozemek 2 model	159	79204.14	58993.99	3076.59	85	16822.32	311.24	17.4
Pozemek 2 reálný záznam	132	79764.96	59250.73	3691.91	102	16822.32	0.00	16
Pozemek 3 model	2	32683.14	20022.02	2750.83	76	9910.29	0.00	7.2
Pozemek 3 reálný záznam	178	33102.33	20512.82	2497.47	69	9910.29	181.75	7.6
Pozemek 4 model	7	75022.16	58230.30	3257.57	90	13403.90	130.38	17.1
Pozemek 4 reálný záznam	154	76528.14	58427.93	4452.01	123	13403.90	244.31	12.4

Vzhledem k tomu, že pro jízdy aplikační techniky jsou zakládány kolejové řádky během setí, navrhované trajektorie byly vypracovány pro secí stroj se záběrem 6 m.

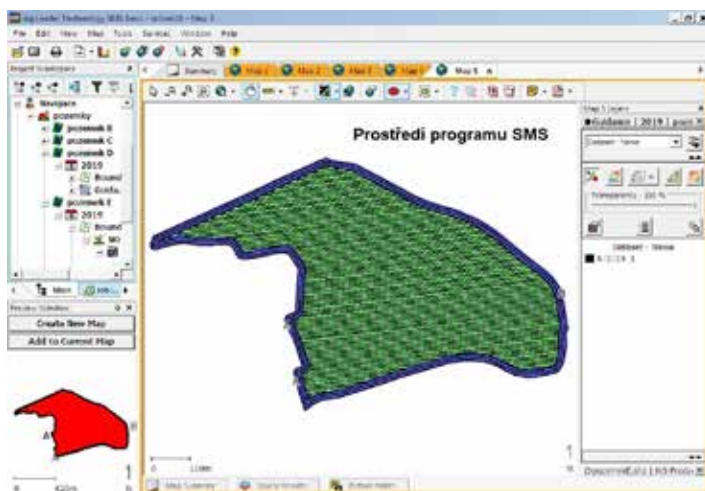
Následující obrázky (Obrázek 40) přináší pohled na modelové trajektorie pro jízdy secích strojů.



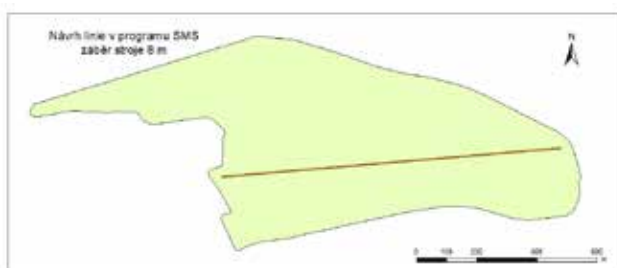
Obr. 40 Návrhy optimalizovaných trajektorií pro setí.

Nástroje pro tvorbu navigačních linií se stávají součástí programů pro zpracování, interpretaci a ukládání dat ze zemědělské techniky. Jedná se o velmi užitečný nástroj k využití potenciálu polních navigací ve snaze minimalizovat pracovní čas, snižovat přejezdy po pozemcích, snižovat energetickou náročnost případně upravovat tvary pozemků. Význam tohoto kroku narůstá s výměrou půdního bloku, kdy větší výměra pozemku vede ke komplikovanějším tvarům jeho hranic. Pro

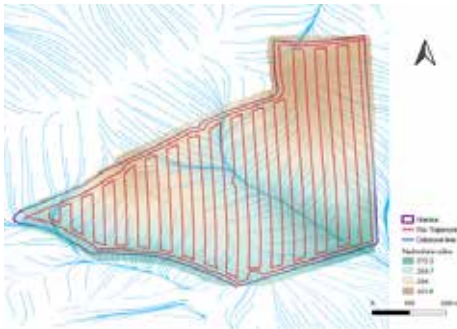
optimalizaci trajektorií jízdních souprav lze využít také prostředí softwaru SMS™ Basic (Ag Leader Technology, USA). Uživatelé SMS softwaru rovněž ocení možnost ukládat výstup ve formátech většiny současných značek výrobců zemědělské techniky. Na obrázku 41 je ukázka prostředí programu SMS, s nástrojem pro modelování jízdních trajektorií. Praktickým výstupem optimalizace je příprava a export řídicí křivky, která se následně přenesou do polní navigace (Obrázek 42)



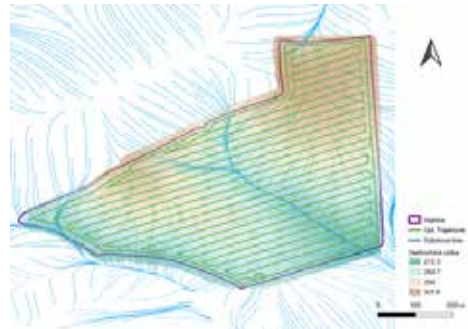
Obr. 41 Prostředí softwaru SMS™ Basic (Ag Leader Technology, USA).



Obr. 42 Řídicí křivka připravená pro export do navigačního přístroje.



Obr. 43 Pozemek s vykreslenými odtokovými liniemi a zanesenou trajektorií jízd, bez ohledu na směr linií.



Obr. 44 Optimalizace na základě odtokových linií. V uvedeném případě je zapotřebí zasáhnout do návrhu ručně.

S ohledem na požadavky například protierozních opatření se nabízí možnost kombinace návrhu trajektorií s odtokovými liniemi na konkrétním pozemku. Obrázek 43 přináší pohled na pozemek s vyznačenými trajektoriemi, které linie nerespektují. Návrh na obrázku 44 již s odtokovými liniemi pracuje.

S praktickými zkušenostmi se zaváděním opatření pro zadržování vody v krajině je možné se setkat v zahraničí, konkrétně ve státě Iowa, USA. Na polích jsou k vidění především kukuřice a sója. Ve vlněné krajině jsou často k vidění protierozní pásy, které jsou vytvořeny na základě zkušeností farmářů v místech akumulovaného odtoku (Obrázek 45). Některé mají trvalý charakter, některé jsou zakládány jednorázově během setí. Do předpisové mapy se zanesou vnitřní hranice, které vymezí osetou a neosetou plochu. Pro přesné secí stroje a postřikovače, kde je možné postupně vypínat a zapínat výsevní mechanismy, resp. trysky, je to následně snadný úkol. Nevytváří se navíc souvratě, souprava dané místo pře-

jíždí v přímém směru. Vytvořený pás se osévá například trávou nebo vojtěškou a sklízí se na seno. Jiným příkladem, který je také výrazný krajinnotvorný prvek, je tzv. konturové zpracování půdy a setí. Můžeme se setkat také s názvy, jako je setí po vrstevnici nebo terasování, i když poslední název není zcela přesný, protože nedochází k terénním úpravám. Podobné zásahy je možné pozorovat i na našich polích. Je to rovněž další ukázka práce s navigačními technologiemi.



Obr. 45 Protierozní pásy v porostech kukuřice (foto Kroulík).

Jedním z účinných protierozních opatření, které se bez podpory navigačního systému neobejde, je obhospodařování půdy po dlouhých liniích, které respektují vrstevnice pozemku (Obrázek 46). Tyto praktiky se nazývají vrstevnicové obhospodařování nebo konturové obhospodařování (*Gan-Mor a Clark 2001, Morgan 2005*). Přesná navigace je v podobném případě opět nezbytná. Podobné technologie se začínají objevovat také v České republice.



Obr. 46 Vrstevnicové obhospodařování. Pásky kukuřice jsou přerušeny travnatou plochou s vyšší protierozní funkcí (foto Kroulík).

5. 1. Nová pravidla pro hospodaření na větších plochách.

V souvislosti s chystanou změnou, kterou připravilo Ministerstvo zemědělství ČR, kdy se podle pravidel nebude smět pěstovat jedna plodina na plochách větších jak 30 ha a v případě větších pozemků bude muset být založen oddělovací pruh široký alespoň 22 m. V uvedeném případě bude nanejvýš vhodné připravit podkladové informace, jako jsou hraniční body nebo linie pro GPS navigace a rozměřit pozemky podle požadovaných pravidel.

S ohledem na členitost terénu v řadě oblastí republiky a požadavku volit směr jízdy pokud možno co nejvíce po vrstevnicích, je kromě přesné navigace traktoru zapotřebí přesné navigace nářadí. Navigace v traktoru jsou vybaveny kompenzací náklonu stroje, které zajistí vedení stroje v požadované linii. Při práci po vrstevnici nabývá na významu boční síla vznikající vlivem rozkladu gravitační síly, která může vychýlit nářadí z požadovaného směru. Ačkoliv se traktor pohybuje ve zvolené linii, nářadí vybočuje. Kromě svahů může podobný problém nastat například při osévání hrůbků, kdy hrozí, že secí stroj bude z hrůbků sjíždět. V takových případech je zapotřebí řešit, v kooperaci s traktorem, také samostatné navádění připojeného nářadí. Základní myšlenka spočívá v satelitním automatickém (asistovaném) řízení tažného prostředku a zároveň v řízení přípojného stroje (Obrázek 47). Automatické řízení přípojného stroje se skládá z prvků podobných automatickému řízení tažných prostředků. V základě jsou dvě možnosti: 1. možností je pasivní navádění, kdy traktor mění polohu tak, aby kompenzoval odchýlení nářadí. Nevýhodou tohoto systému je vychýlení traktoru, což je nežádoucí například v systému CTF. Také v případě pásového zpracování půdy nebo setí do hrůbků by docházelo k poškozování nakypřeného pásu nebo hrůbku. V takovém případě lze využít 2. možnost a tou je aktivní navádění připojeného stroje do požadované jízdní stopy.



Obr. 47 Systém aktivního navádění stroje do požadovaných jízdních stop při práci na svazích pomocí posuvného závěsu nebo doplněním druhé navigace na stroj a řízením traktoru (firemní materiály Strom Praha a.s.).

Rataj a kol. (2014) uvádějí následující možnosti aktivního řízení strojů v závislosti na typu nářadí:

- posun nářadí pomocí hydrauliky ve směru kolmém na směr jízdy (site-shift),
- použití řídicích kotoučů,
- natáčením oje,
- použití řídicích kol,
- natáčení na tříbodovém závěsu.

6. TECHNOLOGIE PRO SNÍŽENÍ ZÁTĚŽE PŮDY POJEZDOVÝMI MECHANISMYSY

Soudobé systémy hospodaření v zemědělství jsou spojeny s negativními vlivy na půdu, které poškozují jak produkční, tak mimoprodukční funkci půd. Jedním z těchto vlivů je zhutňování půdy. Kromě nepříznivého vlivu zhutnění půdy na výnos plodin jsou zvláště závažné důsledky ekologické. Projevy snížené infiltrace srážkové vody na zhutněných půdách vedou ke zvý-

šenému povrchovému odtoku srážkové vody a ke snížené akumulaci vody v půdě. Z tohoto hlediska je aktuální i vliv zhutnění na poškozování půd vodní erozí. Závažným nepříznivým důsledkem zhutnění půd je nárůst energetické náročnosti jejich zpracování. Zemědělská půda je v různé míře vystavována tlakům vyvíjeným pojezdovými ústrojími traktorů, sklizňových

strojů a dopravních prostředků. Přejezdy po pozemcích jsou v současném zemědělství nevyhnutelné. Primárním důsledkem náhodných přejezdů po pozemku je jednoznačně zhutnění půdy. Zásadním problémem stanovení změn utužení půdy je však správná interpretace výsledků, neboť se jedná o obtížně měřitelnou vlastnost, jejíž hodnoty jsou ovlivněny další řadou podmínek půdního prostředí. Nežádoucí utužení půdy vlivem přejezdů zemědělskými soupravami se stává celosvětovým problémem (Håkansson a kol. 1988, Gysi, 2001, Chamen a kol. 2003, Hamza a Anderson, 2005, Chan a kol. 2006). Nejedná se rovněž o problém sezónní, ale stopy nežádoucího zhutnění je možné pozorovat i s odstupem několika let. Půda má různou odolnost vůči stlačování – důležitými faktory jsou zrnitostní složení půdy, momentální vlhkost půdy, obsah organických látek v půdě, struktura půdy. Přejezdy těžké mechanizace se rovněž odrážejí ve výnosech plodin a lze je pozorovat i po více let (Radford a kol. 2007). Obrázek 48 dokládá, jak je půda vystavena tlaku pojezdových ústrojí strojů při sklizni cukrové řepy.



Obr. 48: Intenzita přejezdů při sklizni cukrové řepy (foto Kroulík).

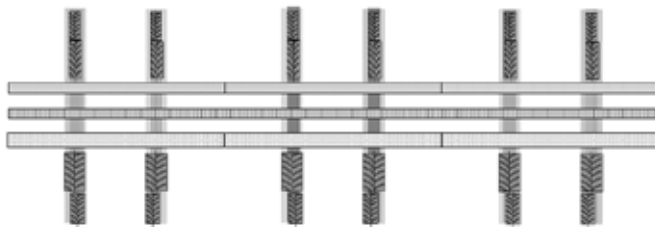
Pro řadu zemědělců je dnes hledisko ochrany půdy před erozí nebo zhutněním půdy stále důležitější. Technogenním zhutněním rozumíme nežádoucí stlačení částí půdního profilu, kdy fyzikální vlastnosti půdy přesáhnou mezní kritické hodnoty působením strojů, které se v pěstivelských technologiích využívají. Škodlivé zhutnění půdy zvyšuje energetickou náročnost a kvalitu zpracování půdy, snižuje výnosy plodin a je spojeno s ekologickými riziky, která doprovázejí vodní erozi půdy. Zvýšené riziko vodní eroze zhutněných půd souvisí se sníženou propustností těchto půd pro vodu při intenzivních dešťových srážkách, zejména přívalového charakteru při bouřkách. Zhutnění půdy podle Newell Price a kol. (2013) představuje závažný problém pro schopnost půdy zajišťovat ekologické funkce a stav vrchní vrstvy půdy je určující pro infiltraci vody do půdy a její zadržování, produkci biomasy, biologickou rozmanitost, ukládání uhlíku a snížení emisí. Je rovněž spojeno se změnami struktury půdy projevujícími se rozpadem půdních agregátů a poklesem jejich vodostálosti. V několika posledních letech došlo zejména v oblasti automatizace a kontroly procesů k významnému posunu vpřed. U řady dnes představovaných technologií se nejedná o nové myšlenky a přístupy, pouze v době kdy vznikly, nebyly k dispozici prostředky k jejich zdárné realizaci. V zemědělství je také zapotřebí vyšší přesnosti v určování polohy pracovní soupravy, protože využívání autonomního signálu GPS není dostačující. Technologie založené na respektování sklonu pozemku nebo omezování přejezdů po pozemku jsou na přesné navigaci přímo závislé. Pozemky s velkou výměrou nebo na druhou stranu vysoké procento svažitých pozemků dávají předpo-

klady pro rozšíření podobných postupů. Také zde se hledají další možnosti uplatnění navigačních systémů s ohledem na tyto obecné požadavky. Jednou z technologií, která bude nyní prezentována a jejíž rozšíření má potenciál snížit některé negativní dopady na půdy je technologie jednotných jízdních stop, známá spíše pod zkratkou CTF z anglického Controlled Traffic Farming. V zemích, kde je systém CTF dlouhodobě využíván, jsou výsledky více než příznivé. V podmínkách zjednodušené skladby plodin v osevním postupu, vysoké výměry pozemků a moderního strojového zázemí jsou tak naplněny předpoklady pro zavedení systému řízeného pohybu strojů po pozemcích.

Tato technologie vznikla během minulého století. Také u nás jsme se mohli setkat s termíny jako agrotechnický most apod. V praxi to znamená soustředění, pokud možno, co největšího množství přejezdů v rámci pozemku do totožných jízdních stop. Na následujících obrázcích si představíme některé způsoby kombinací přejezdů se stroji s daným rozchodem kol. Ve všech případech je zřejmé, že celá technologie vyžaduje celkově jiný přístup farmem, který je založen na vysoké technologické kázní, důsledných změnách v organizaci jízdy strojních souprav a využití moderních navigačních prostředků.

Ideální je případ, kdy máme k dispozici stroje se shodným rozchodem kol nebo pásů, tzv. systém „ComTrac“ (Obrázek 49). Jedná se

o technicky nejnáročnější opatření, kdy je zapotřebí provést řadu technicky i finančně náročných úprav. Zejména se jedná o sjednocení rozchodu kol traktorů a sklízecí mlátičky nebo sklízecích strojů obecně (Obrázek 50).

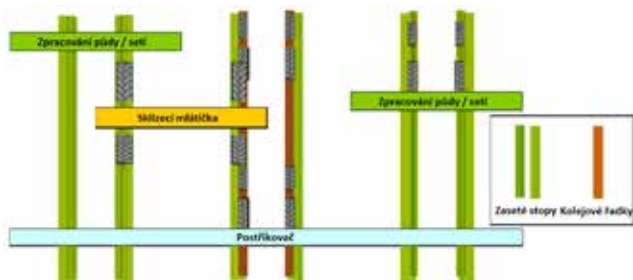


Obr. 49 CTF se systémem ComTrac
(Chamen 2006)



Obr. 50 Rozšíření rozchodu kol s použitím speciálních náprava a koncových převodů.
(foto Kroulík)

Jako alternativa se nabízí systém „TwinTrac“, který využívá pro stopy sklízecí mlátičky sousední stopy paralelních jízd. Z hlediska výkonnosti strojů je tento způsob jízd použitelný především v případě malých pracovních záběrů strojů (Obrázek 51).



Obr. 51 CTF se systémem TwinTrac
(Kumhála a kol. 2013)

V případě větších modulů pracovních záběrů strojů není možné systém „TwinTrac“ využívat, ale lze využít systém „AdTrac“, který za cenu větších záběrů používá dodatečnou jízdní stopu (Obrázek 52).



Obr. 52 CTF se systémem AdTrac (Chamen, 2009, upravil Kroulík).

Uvedené způsoby pohybu souprav po pozemku a kombinace rozchodů byly uplatněny v rámci našich polních pokusů s technologií CTF. Obrázek 53 přináší hodnocení přejeté plochy pneumatikami u minimalizační technologie, kde byl uplatněn systém jednotných

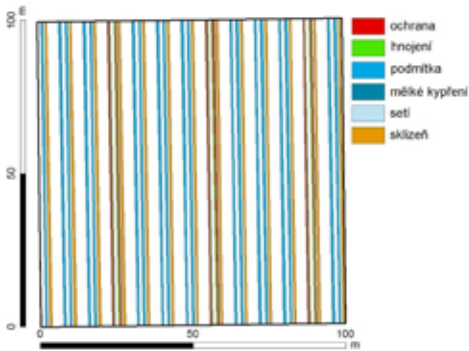
kolečových stop. Jedná se o shodnou intenzitu zpracování půdy, pro kterou byla hodnocena intenzita přejezdů s náhodnými přejezdy, kdy přejetá plocha činila okolo 63 %. V případě uplatnění systému AdTrac došlo k poklesu přejeté plochy pneumatikami

na hodnotu 31 % při záběru strojů 8 m. Jako významný argument pro zavedení technologie se ukázala možnost výrazně snížit četnost přejezdů bez dodatečných nákladů na úpravu strojů. Se shodným rozchodem kol by bylo snížení výraznější, ale toto snížení by se neobešlo bez úprav na traktorech. U modulu 4 m se podařilo zajistit způsob pohybu v režimu

TwinTrac. S menšími záběry však přejetá plocha narůstá. I tak byla hodnota přejeté plochy 37 % z pohledu četnosti přejezdů příznivá.

Samozřejmostí je, že pro každý strojový park nelze využít těchto tří jmenovaných systémů, ale je možné použít i další systémy

jako jsou například „OutTrac“ (Obrázek 54). Systém „OutTrac“ je jednou z jednodušších aplikací systému CTF bez sjednocení rozchodů kol. Jedná se o využití zemědělské techniky se standardním rozchodem při větší celkové šířce trvalých stop. Pozemek je následně rozdělen na tři oblasti s rozdílným počtem přejezdů oblast s nulovým přejezdem, oblast s minimálním přejezdem a oblast s intenzivními přejezdy.

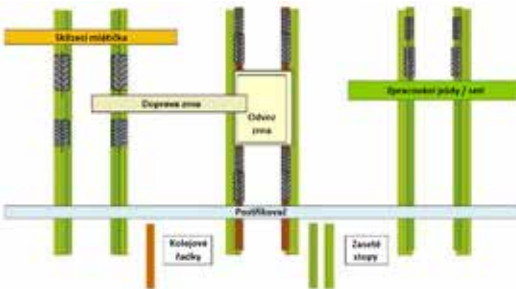


Obr. 53: plocha přejetá pneumatikami při organizovaném způsobu pohybu strojů AdTrac. Pracovní záběr stroje 8 m.

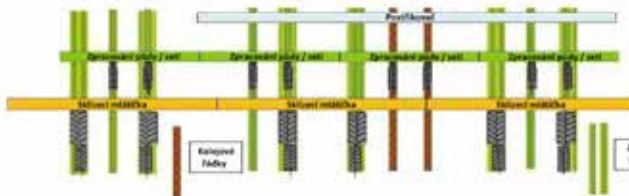
Další možností je systém „HalfTrac“, který využívá také dva rozchody náprav, přičemž jeden rozchod je polovinou druhého. Dále využívá tři šířky záběrů mechanizace (Obrázek 55).

6. 1. Pásové zpracování půdy v podmínkách ČR.

Pásové zpracování půdy je stále častěji diskutovaným tématem. Má to dva základní důvody. Jednak je to systém, který v určitých podmínkách přináší zajímavé efekty z pohledu výnosů, nákladů na hnojení a kultivaci i utužení půdy. A za druhé současná legislativa do tohoto systému nepřímo tlačí zemědělce pěstující plodiny v místech ohrožených zejména vodní erozí. V uvedeném případě je nezbytné použití RTK korekce s tzv. absolutní přesností. Jedná se o opakovatelnost navigace při njetí do předchozích jízdních stop a to i s delším časovým (ročním) odstupem. V uvedeném případě se jedná o časový odstup mezi provedeným kypřením a setím. V ostatních případech korekčních signálů je zapotřebí provést zpřesnění polohy podle pevné značky apod. Z pohledu navigací se v systému stálých jízdních stop, setí do hrůbků, nebo pásového zpracování, jedná o výraznou přednost.



Obr. 54: CTF se systémem OutTrac (Chamen, 2009, upravil Kroulík).

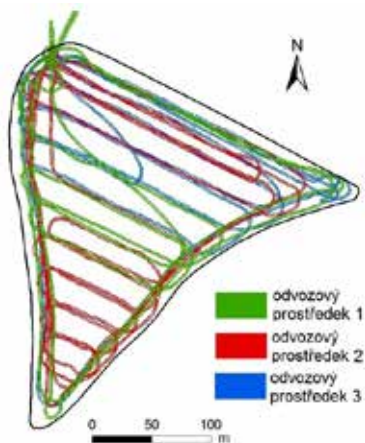


Obr. 55: CTF se systémem HalfTrac (Chamen, 2006).

Byly představeny možnosti kombinací záběrů strojů a rozchodů kol s ohledem na minimalizování přejezdů po pozemcích. Se zavedením uvedeného systému však vyvstává také otázka tvarů

a velikosti pozemků, optimalizace směru jízdy po pozemku, členitosti terénu, místa vstupů na pozemek a řešení odvozu případně zásobování strojních souprav při pracích, které vyžadují součinnost více souprav. Jaký je výsledek kombinace pro ochranu půdy nepříznivých faktorů, jako utužení půdy, absence pokryvu půdy rostlinnými zbytky, nízká stabilita půdních agregátů a nevhodně zvolený směr jízd, dokládá obrázek 9. Povrch půdy nedokázal udržet vodu ze srážkové události, ta následně stékala do vyjetých stop, které už jen sloužily jako koryta pro odvod vody a splavené půdy z pozemku.

Využití navigací nalézá také uplatnění při řešení logistiky odvozových prostředků. Řada polních prací je závislá na podpoře odvozových prostředků a vyžaduje součinnost při práci s těmito stroji. Jedná se o doplňování osiva, hnojiva, postřikových kapalin, nebo na druhé straně odvoz zrna od sklízecích mlátiček, řezanky od řezaček, nebo svoz balíků. Záznamy pořízené během práce strojů opět ukazují na řadu rezerv a nedostatků při těchto činnostech. Odvozové prostředky často vjíždějí na pozemek náhodně, zdržují se na pozemku či neúčelně popojíždí. Na druhou stranu se ukázalo, že by zavedení jednotných kolejových stop mohlo navýšit nepracovní přejezdy po pozemku s ohledem na dodržení stálých stop. Jak ukazuje obrázek 56, v případě sklizně sklízecí řezačkou, často prázdný odvozový prostředek sleduje soupravu řezačky a druhého odvozového prostředku.

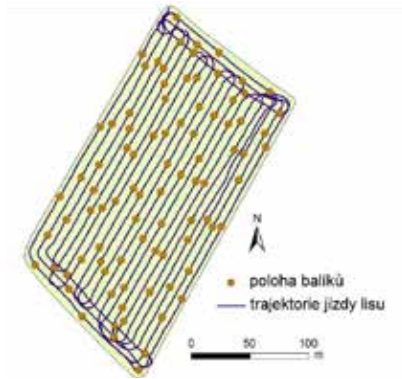


Obr. 56 Záznam pohybu odvozových prostředků při sklizni píče řezačkou.

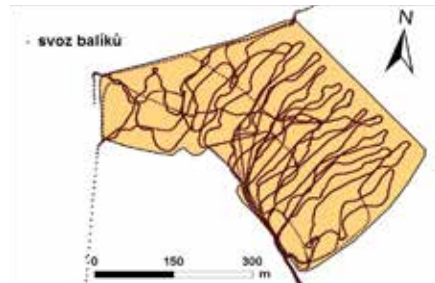
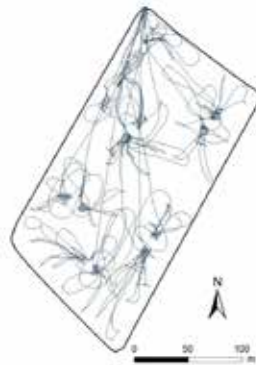
Na jednu stranu by pozdním přistavením vozu docházelo k prostojům, takto se však navyšuje počet opakovaných přejezdů. Pohyb souprav po mimoprodukčních plochách by omezil vstup na pozemek. Otázkou zůstává logistika přistavování souprav. U sklízecích mlátiček, kde je monitorován výnos, je možné na základě aktuálního měření načasovat zaplnění zásobníku mlátičky a vyslat signál do navigace odvozového prostředku. U sklízecích řezaček jsou známy projekty, které řeší zaplnění odvozového prostředku s ohledem na minimalizování ztrát při plnění. Shodná informace by se dala využít při optimalizaci přistavování vozů. Lepší organizace práce rovněž přispěje k omezení opakovaných přejezdů.

Jednodušší situace nastává u svozu balíků, kdy jednoduše zjistíme polohu jednotlivých balíků (Obrázek 57). Obrázky 58 ukazují sou-

časnou praxí. Se znalostí poloh balíků je možné za pomoci metod ekonomicko-matematického modelování navrhnout svozovou trasu s požadavkem na nejkratší ujetou dráhu.



Obr. 57 Záznam pohybu svinovacího lisu a pozice jednotlivých balíků.



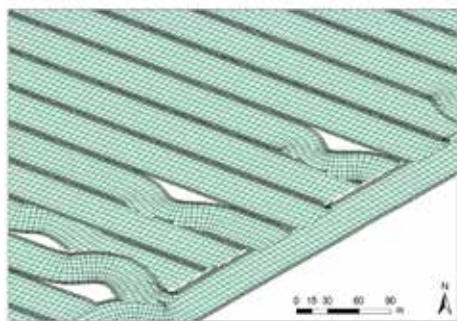
Obr. 58 Ukázky jízdy souprav při svozu balíků z pozemku.

7. PŘÍNOSY GPS V AGROTECHNICKÝCH POSTUPECH

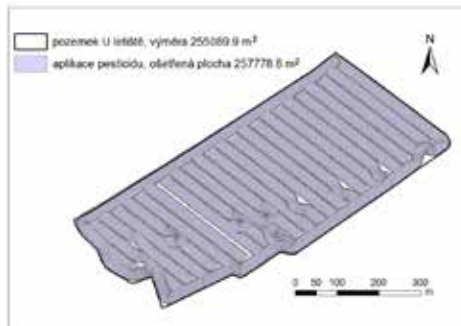
V předchozích kapitolách byli již některé výhody a přínosy GPS navigací popsány. Nyní budou představeny další výhody, které ze znalosti přesné polohy vyvstávají. V předchozích odstavcích bylo poukázáno na tvar pozemku. S ohledem na tvar je potřeba vyzdvihnout dal-

ší fakt. S nepravidelnými tvary pozemků nebo zakřivenými stranami pozemků narůstá počet přejezdů, otoček, překryvů, přesévání nebo vynechávek. Významnou kapitolu v tomto ohledu představuje automatické ovládání sekci aplikační techniky (Shearer a Pitla, 2013). I mi-

nimální zakřivení strany pozemku je zdrojem opakovaných přejezdů a aplikací. S ohledem na skutečnost, že protilehlé strany pozemku jsou ve většině případů různoběžné a souprava nejnáždí a nevyjíždí kolmo ze záběru, autonomně řízené vypínání sekci postřikovače, nebo omezení rozhozu rozmetadla výrazně sníží zátěž obsluhy a také sníží počet opakovaných překryvů. Jiným problémem je rovněž přítomnost překážek na pozemcích, nejčastěji sloupů elektrického vedení. Na obrázku 59 je patrná práce sekci postřikovače v detailním pohledu včetně objíždění překážek. Obrázek 60 přináší celkový pohled na práci stroje. S ohledem na technické možnosti provedení vypínání sekci ramen je zapotřebí zmínit, že k částečnému překryvu záběrů bude vždy docházet. Při porovnání s manuálním vypínáním se jedná o výrazné snížení opakovaně ošetřených ploch. Absence možnosti záznamu u staršího stroje neumožnila provést hodnocení výchozího stavu, nicméně na základě předchozích měření a sledování pracovních souprav lze konstatovat, že na pozemku s různoběžnými protilehlými stranami a obecně průměrné výměře pozemků 20 ha, je překryv na úrovni okolo 6 % z výměry pozemku.



Obr. 59 Detail záznamu práce postřikovače s ukázkou ovládání sekci aplikačních ramen



Obr. 60 Záznam práce postřikovače během aplikace pesticidů

Při chemickém ošetření a hnojení kapalnými hnojivy pozemku byly zaznamenány celkem tři vstupy. Jednalo o aplikaci herbicidu, přihnojení kapalným hnojivem DAM39 a aplikaci fungicidu současně s aplikací regulátoru růstu. Hodnoty ošetřené plochy se pohybovaly v hodnotách 259 370,2 m² pro aplikaci herbicidu, 255 354,6 m² pro aplikaci hnojiva 257 778,8 m² pro aplikaci fungicidu a regulátoru. To představuje navýšení hodnot plochy na 101,6 %, 100,1 % resp. 101,0 %. Celková chyba se tak v průměru pohybovala na úrovni 0,9 %. Oproti obvyklým 6 % se jedná o výrazné snížení překryvů a v konečném důsledku finančních prostředků a ekologické zátěže.

Omezení překryvů při aplikaci hnojiv díky pořízení nového rozmetadla lze dokumentovat na záznamu aplikace granulovaného minerálního hnojiva. V uvedeném případě je záběr stroje rozdělen na 16 sekci a rozmetací obrazec může být snižován z vnějšku doprostřed, a to přizpůsobením otáček rozmetacích kotoučů na levé nebo na pravé straně. Detailní pohled na ovládání sekci přináší obrázek 61.



Obr. 61 Detail záznamu práce rozmetadla s ukázkou omezení rozhozu hnojiva.

Na základě záznamu je možné konstatovat, že nahnojená plocha byla v konečném důsledku nižší o 0,3 % z výměry 619 068,8 m².

Každý řidič mobilního prostředku nebo obsluha strojního zařízení je vystaven určitému psychicky stresovému zatížení. Tento jev vzniká souhrou různých faktorů, které se označují jako stresory. Ty mohou mít původ fyzický (uvnitř kabiny stroje nebo vozidla to může být hluk, vysoké teploty, nepohodlí, špatné ergonomické podmínky, a další), dále sociálně-pracovní (u profesionálních řidičů například vysoké požadavky ze strany zaměstnavatele, práce na směny, pocity izolace, přesčasy, dodržování časových termínů, zodpovědnost za převážené osoby a zboží), a konečně původ v samotné osobě řidiče (impulsivita, odolnost vůči zátěži, adaptabilita). Tento jev byl zkoumán zejména u řidičů v silniční automobilové dopravě v reálném provozu, kde je počet stresorů největší.

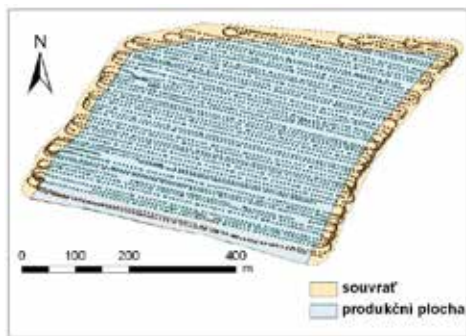
Podle klasifikace stresorů rozlišujeme tři hlavní formy psychické zátěže: jedná se o zá-

těž senzoricickou, která vyplývá z nároků na činnost smyslových orgánů a jim odpovídajících struktur centrálního nervového systému, dále zátěž mentální, vyplývající z požadavků na zpracování informací kladoucích nároky na psychické procesy jako pozornost, paměť, představivost, myšlení a rozhodování, a konečně zátěž emoční. Ta vyplývá ze situací a požadavků, vyvolávajících afektivní odezvu. Posledně jmenovaná emoční zátěž se opět projevuje zejména u řidičů pohybujících se v silničním provozu.

Dey a Mann (2010) publikovali výzkum týkající se sledování zátěže řidičů postříkovačů, kteří využívali navigační systém řízení pomocí světelné LED lišty. Při měřeních byly sledovány pohyby očí a tepová frekvence řidičů. Měření byla doplněna dotazníkem, kde řidiči vyplňovali otázky týkající faktorů, které mají vliv na mentální i fyzickou zátěž obsluhy postříkovače. *Batte a Ehsani (2006)* hodnotili ekonomický přínos používání navigačního systému u postříkovačů a jako doplňková měření provedli také hodnocení únavy obsluhy postříkovačů při využívání navigace.

Následující ukázka přináší část výsledků měření, kdy byla hodnocena zátěž obsluhy zemědělských strojů v případě, že používají navigaci, nebo spoléhají na své zkušenosti. Pro měření a následné vyhodnocení zátěže obsluhy zemědělských strojů byla zvolena metoda monitorování srdeční tepové frekvence řidičů v průběhu práce stroje na pozemku. Pro vlastní měření zátěže řidičů traktorů byli vybráni náhodně řidiči rozdílného věku, kteří měli zkušenosti s využíváním navigačním systémem ve svém traktoru. Tento předpoklad byl důležitý,

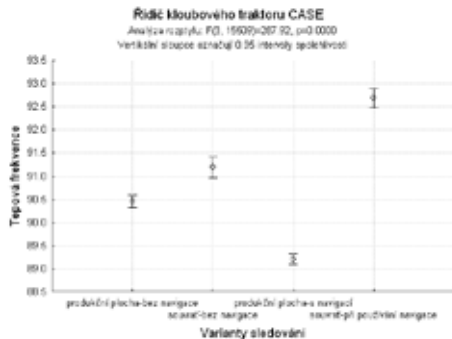
jelikož používání navigace pro řidiče nenavýklého na navigační systém může působit jako stresový faktor. To se také při měření u řidičů bez zkušeností s navigací, přes pochvalné vyjádření k zařízení, ukázalo. Zkušební pozemek byl vždy rozdělen na plochu produkční a souvratě (Obrázek 62).



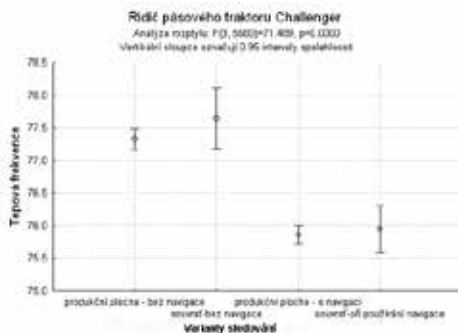
Obr. 62 Záznam trajektorie pohybu soupravy a rozdělení na sledované plochy

Z výsledů měření jsou uvedeny dva příklady vyhodnocení. Prezentovány jsou výsledky měření získané při základním zpracování půdy. V prvním případě byl nasazen kloubový traktor Case. V druhém případě se jednalo o soupravu taženou pásovým traktorem Challenger.

Obrázky 63 a 64 ukazují grafy, kde jsou vynešeny hodnoty tepové frekvence řidiče kloubového resp. pásového traktoru. Jsou zde patrné rozdíly mezi hodnotami tepové frekvence při použití navigace a bez použití navigace. Nárůst hodnot tepové frekvence je také patrný na souvratích při otáčení soupravy.



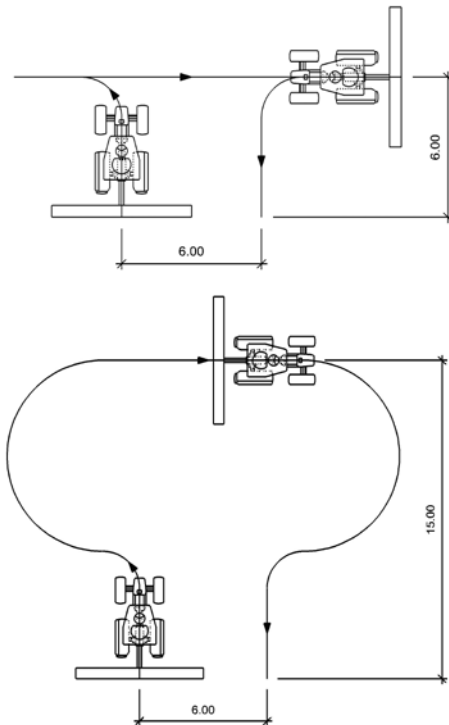
Obr. 63 Porovnání průměrů srdeční tepové frekvence řidiče při práci s kloubovým traktorem CASE.



Obr. 64 Porovnání průměrů srdeční tepové frekvence řidiče při práci s pásovým traktorem Challenger

Jak dále uvádí *Watson a Lowenberg-DeBoer* (2004), nasazení autonavigace založené na principu světelné lišty zvýšilo pracovní rychlost souprav o 13 %. S autopiloty může dojít k navýšení pracovní rychlosti až o 20 %. S použitím navigace rovněž výrazně naroste operativnost souprav ze 728 ha na 1052 resp. 1255 ha. Ke zvýšení pracovní rychlosti a operativnos-

ti souprav přispívá také přechod na jiné způsoby otáčení na okrajích pozemků. Demmel (2007) ve své studii uvádí redukci o jednu třetinu nebo 8 sekund, kterou přináší přechod z otočky s couváním na otočku s vynecháním jízd. Příklady otoček s uvedením nutných vzdáleností pro otočení přináší obrázek 65. S podobnými příklady a především zkušenostmi se setkáváme u řidičů, kteří využívají navigaci pro řízení strojních souprav (Obrázek 66).



Obr. 65 Otočky souprav na okrajích pozemků. Otočka s couváním, omega otáčka s najetím do sousední jízdy a otočko s vynecháním jízd (zdroj: Martin Holpp Agroscope, Švýcarsko)



Obr. 66 Jízdy s vynecháváním jízd uplatňují řidiče navigací s cílem zjednodušit otáčení na souvrati (foto Kroulík).

Logickým krokem v dalším rozšíření a uplatnění navigací je autonomní otáčení strojů na souvracích a s tím spojené ovládání nářadí (Obrázek 67). Následují variabilní aplikace, založené na snímání rostlin, půdy nebo dalších vlastností porostů v reálném čase a následně okamžité reakci na daný stav, nebo využití předem připravených aplikačních map.



Obr. 67 Ukázka použití navigace a autonomního otáčení souprav na souvracích (foto Strom Praha).

8. AUTONOMIE PROVOZU STROJŮ

Nastup nových technologií je spojen ještě s jedním trendem a tím je zavádění autonomních systémů do zemědělství se všemi klady i zápory, které se s robotizací pojí. Podívejme se zpět na navigace a položíme si otázku, jak s vývojem v této oblasti navigace souvisí. V tomto ohledu má družicová navigace stále určité nedostatky, které její využití omezují nebo zcela vylučují. Typickým příkladem je práce v budovách nebo místech, kde není zajištěn nezakrytý výhled. Typickým příkladem v zemědělství je práce ve skladech, sklenicích nebo v sadech, lese a chmelnicích. V takových případech dochází ke ztrátě signálu nebo k jeho výpadkům. Pro případy výpadku signálu korekčního signálu v otevřené krajině, jako například v blízkosti lesa, kdy je část výhledu zakrytá, jsou nabízeny také tzv. signály záložní, které zajistí po určitou dobu příjem korekci v požadované přesnosti. To je ale jiná situace.

Další omezující funkcí družicových navigací vychází z podstaty funkce, tím je myšleno, že se jedná o systém, který přijímá signál o poloze a na základě toho pracuje, ale již nepracuje s reálnou scénou a její proměnlivostí, nerozpozná překážku, osoby, ostatní stroje a podobně. Nejedná se tedy pouze o zajištění správné a přesné navigace. Druhou podstatnou funkcí je zajištění bezpečnosti práce během provozu, zamezení kontaktu s člověkem, zvířetem nebo ostatními stroji nebo překážkami. Významná je rovněž reakce na změny v okolním prostředí, ke kterým dochází. Na nutnost řešit tyto otázky upozornily některé nehody prototypů autonomních automobilů, které byly prezentovány v tisku. Například tovární prostředí, ale koneckonců i skleníky a sklady nabízí jasně vymezenou dráhu nebo pracovní prostor, jiná je ale situace ve venkovním prostoru. Dokud je systému nadřazen člověk, přebírá nad řízením kontrolu. Na druhou stranu,

i v případě že družicová navigace selhává a řidič je přítomen, záložní navigační systém přinese výhody. Koneckonců,



Obr. 68 Ultrazvukový senzor určený pro přesné vedení kultivátoru v meziřádku (foto Kroulík).

každý řidič mobilního prostředku nebo obsluha strojního zařízení je vystaven určitému psychicky stresovému zatížení.

S některými prvky navigačních přístrojů, které využívají jiného principu, než příjem družicového signálu se setkáváme delší dobu. Na obrázku 68 je představena kombinace družicové navigace a ultrazvukových senzorů pro přesnou navigaci kultivátoru do meziřádku.

Známé jsou optické systémy navádění sklízecích mlátiček do plného záběru. Na obrázku 69 je představena rovněž aplikace na kultivátoru, v tomto případě se jedná o kombinaci zmíněné optické navigace a družicového systému.



Obr. 69 Optický senzor určený pro přesné vedení kultivátoru v meziřádku (foto Kroulík).

Na základě použitých aplikací je možné říci, že optické systémy představují významný potenciál nejen pro navigaci strojů. Řadu aplikací nalézáme v automobilovém průmyslu, známe parkovací asistenci, hlídání jízdních pruhů a další. Ve všech případech se jedná o využití optických senzorů v různých podobách. Na

obrázku 70 je vyobrazena robotická platforma, která využívá kamerových systémů pro navigaci v řádku a zároveň pro rozpoznávání pleveľných rostlin. Ramena pod solárními panely potom aplikují cíleně herbicid.



Obr. 70 Robotická platforma, určená pro potlačování plevelných rostlin v širokořádkových plodinách (foto Kroulík).

Robot na obrázku 71 je více univerzální. Také on využívá kombinace družicové navigace a kamery. Z pohledu optických senzorů je třeba poukázat na výraznou výhodu v možnosti pracovat s vlnovými délkami, které leží mimo viditelné pásmo. Nabízí se jim tak v řadě případů odlišná scéna, kterou nemáme možnost okem zachytit. Pro příklad obrázek 6 představuje termogram pozemku, který byl pořízen

bezpilotního prostředku. Na snímku jsou patrné výrazné rozdíly v teplotě povrchu půdy.



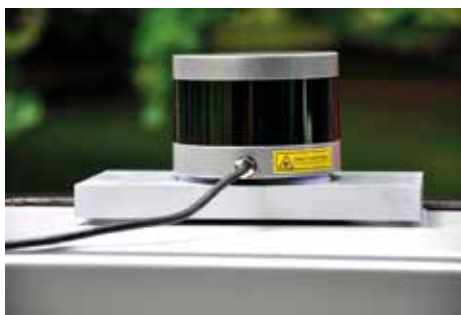
Obr. 71 Univerzální robot s kombinací družicové navigace a kamerového systému (foto Kroulík).

Robotický tým katedry zemědělských strojů TF ČZU pracuje na několika prototypech robotů do zemědělství. Na obrázku 72 je představen malotraktor osazený dvojicí optických senzorů. Jedná se o kameru a laserový dálkoměrný senzor, který se obecně označuje jako LIDAR. Senzor proměřuje vzdálenosti od okolních objektů v úhlu 270° v jedné rovině a to s rozlišením až $0,25^\circ$. Zpracováním dat získává robot přehled o svém okolí a tyto informace může využít pro navigaci nebo detekci překážek. Jako další senzor, který nabízí velmi zajímavé výsledky a skýtá potenciál vedle navigace také pro sběr dat je 3D laserový skener, nebo též 3D Lidar (Obrázek 73).



Obr. 72 Robotická platforma ČZU v Praze s dvojicí optických senzorů (foto Kroulík).

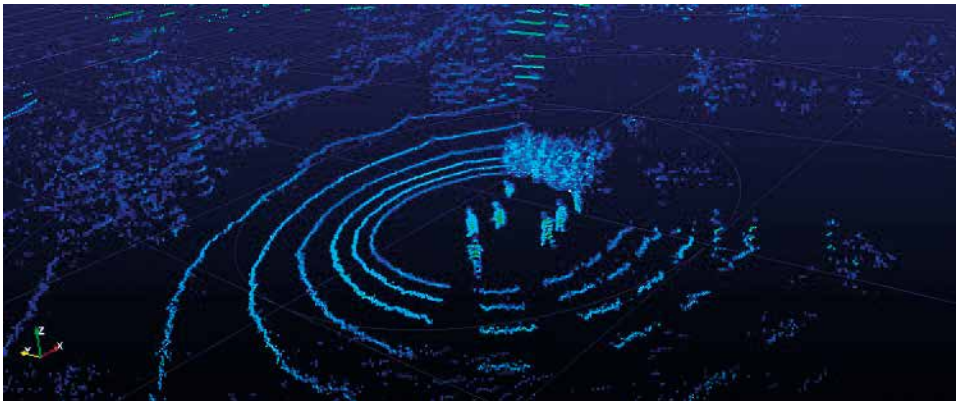
Jak už název napovídá, v jednom okamžiku senzor proměřuje vzdálenosti okolních předmětů ve více rovinách, resp. kuželech, v tomto případě celkem v 16. Navíc sleduje scénu v 360° .



Obr. 73 3D Lidar PUCK VLP-16 společnosti Velodyne (foto Kroulík).

Na obrázku 74 je představen výstup, kde je možné rozpoznat přítomné osoby, pohybující se v blízkosti robota a vzdálenější keře a stromy.

Velmi zajímavou a perspektivní aktivitou,

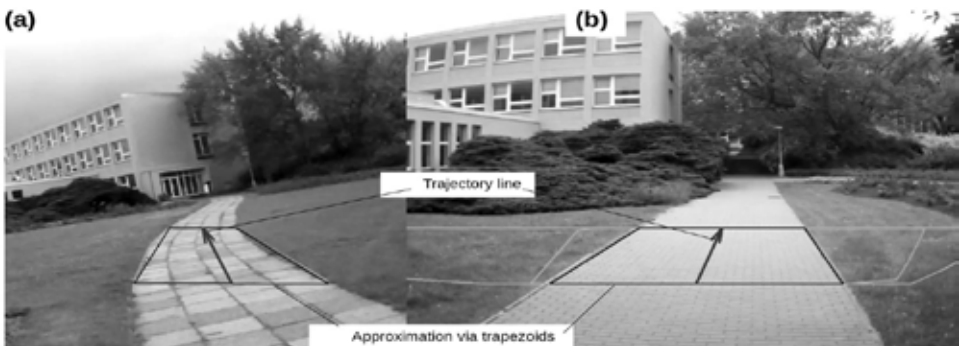


Obr. 74: Výstup z 3D Lidaru.

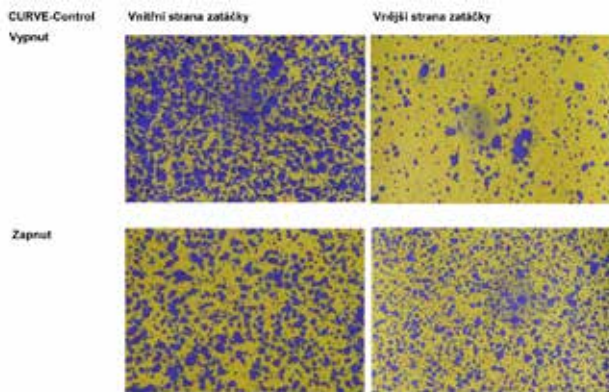
kteřá je rozvíjena pro potřeby navigace, je využití kamerových systému pro sběr výjimečných rysů a prvků v obraze ve fázi vedení robota operátorem - fáze učení. Data se ukládají společně s hodnotami rychlosti a ujeté vzdálenosti robota. Při následné autonomní jízdě jsou využívány takto získané informace k úpravě směru jízdy. Orientace na základě analýzy obrazu byla zkoušena také pro bezpilotní prostředky. Obrázek 75 přináší pohled z kamery

takovéhoto prostředku během letu s detekcí požadovaných navigačních hran.

Pro současné intenzivní hospodaření je jedním z klíčových strojů moderní postřikovač. Na jednu stranu představuje nástroj pro zajištění kvalitní produkce plodin. Na druhou stranu je obecně vnímán, společně s aplikovanými přípravky a hnojivy, jako prostředek negativní zátky životního prostředí nebo kvality potravin.



Obr. 75: Navigace pomocí analýzy obrazu je variantou pro situace, kdy není k dispozici GPS navigace.



Obr. 76 Výsledek testu s aplikací CURVE-Control, která zajišťuje vyrovnání dávky postřikové kapaliny v zatáčkách
(foto Kroulík).

Tento tlak vede k postupnému omezování použití pesticidů v zemědělské výrobě a podpoře zavádění prvků integrované ochrany rostlin. K naplňování uvedených požadavků výrazně přispívá také technická výbava stroje. K té patří možnost již zmiňované ovládní, resp. vypínání a zapínání jednotlivých sekcí, stále častěji trysek, možnost variabilních aplikací, plánování jízdy, přesný záznam práce, telematika a pochopitelně konstrukční řešení postřikového rámu. Jeden faktor se však řeší stále omezeně. Při práci na souvratích, nebo v zakřivených kolejových řádcích dochází k příčné nevyrovnanosti dávky. S vysokou tvarovou variabilitou pozemků, které jsou v našich podmínkách běžné, tato nerovnoměrnost výrazně narůstá. Narůstají tak plochy s nedostatečným ošetřením a rovněž zásahem nadměrným. V rámci jednoduchého polního testu byl zkoušen samojízdný postřikovač DINO od firmy AGRIO MZS s.r.o., osazený výbavou CURVE-Control firmy Müller-Elektronik. Vedle GPS se uplatňují

další nezbytné senzory jako je například IMU jednotka (Inertial Measurement Unit, zahrnuje kompas, akcelerometr a gyroskop). Majitelem postřikovače je podnik ACHP, spol. s r.o. Hradec Králové. Test byl proveden na zatáčce o poloměru 30 m. Na záběr stroje 36 m byly po 2 m rozmístěny vodocitlivé papíry, na kterých jsou patrné jednotlivé dopadající kapky. Rozdíly u krajních sekcí jsou patrné i bez dalších analýz (Obrázek 76).

Byl představen krátký přehled o možnostech zajištění vyšší

presnosti navigaci v podmínkách, kdy běžné družicové systémy nestačí přesnou navigaci zajistit. Řada systémů je dnes prezentována nebo se vyvíjí pro automobilový sektor. Nicméně zemědělská technika je v současné době rovněž vysoce postavena na řebříčku technického vývoje a pokroku. S předpokládaným rozvojem a nástupem autonomních systémů, budou tyto prvky nabývat na aktuálnosti ještě více.

Literatura:

- ADAMCHUK V.I., VISCARRAROSSEL R.A., SUDDUTH K.A., SCHULZE LAMMERS P. (2011): Sensor Fusion for Precision Agriculture, Sensor Fusion – Foundation and Applications, Dr. CizaThomas (Ed.), ISBN: 978-953-307-446-7, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/sensor-fusion-foundation-and-applications/sensor-fusion-for-precision-agriculture>
- ARVIDSSON J., HÅKANSSON I. (1991): A model for estimating crop yield losses caused by soil compaction. Soil and Tillage Research, Volume 20, Issues 2–4, June 1991, 319–332.
- BARKER D.W., SAWYER J.E. (2010): Using Active Canopy Sensors to Quantify Corn Nitrogen Stress and Nitrogen Application Rate. Agronomy Journal, 102, 3, 964–971.
- BATEY T. (2009): Soil compaction and soil management – a review. Soil Use and Management, 25, 335–345.
- BATTE M.T., EHSANI M.R. (2006): The economics of precision guidance with auto-boom control for farmer-owned agricultural sprayers. Computers and Electronics in Agriculture, 53, 28–44.
- BEEL T. (2000): Automatic tractor guidance using carrier-phase differential GPS. Computers and Electronics in Agriculture, 25 (1–2), 53–66.
- BOUWER H. (2000): Integrated water management: energy issues and challenges. J. Agr. Water Manag., 45, 217–228.
- CHAMEN W. C. T. (2009): Controlled Traffic Farming – an essential part of reducing in-field variability. In: GPS autopilots in agriculture. Praha: ČZU v Praze, s. 9–17.
- CHAMEN W. C. T., ALAKUKKU L., PIRES S., SOMMER C., SPOOR G., TIJINK F. A., WEISSKOPF P. (2003): Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review: Part 2. Equipment and field practices, Soil & Tillage Research. 73: 161–174.
- CHAN K. Y., OATES A., SWAN A.D., HAYES R. C., DEAR B. S., PEOPLES M. B. (2006): Agronomic consequences of tractor wheel compaction on a clay soil. Soil & Tillage Research, 89, 13–21.
- CHANEN W. C. T. (2006): Controlled traffic farming on a field scale in the UK. In: Horn, R., Fleige H., Peth S., Peng X. H., (Eds.), Soil Management for Sustainability, Advances in Geoecology. 38, 251–260.
- CHATEAU T., DEBAIN C., COLLANGE F., TRASSOUDAIN L., ALIZON, J. (2000): Automatic guidance of agricultural vehicles using a laser sensor. Computers and Electronics in Agriculture, 28, 243–257.
- CORDESSES L., CARIOU C., BERDUCAT M. (2000): Combine Harvester Control Using Real Time Kinematic GPS. Precision Agriculture, 2, 147–161.
- COX S. (2002): Information technology: the global key to precision agriculture and sustainability. Computers and Electronics in Agriculture, 36, 93–111.
- DEBAIN C., CHATEAU T., BERDUCAT M., MARTINET P., BONTON P. (2000): A guidance—assistance system for agricultural vehicles. Computers and Electronics in Agriculture, 25, 29–51.
- DEMMEL M. (2007): Automatische Spurführung von Landmaschinen Systeme, Einsatzbereiche, Wirtschaftlichkeit [Landtechniktagung]. Schönbrunn.
- DEY A.K., MANN D.D. (2010): A comple-

- te task analysis to measure the workload associated with operating an agricultural sprayer equipped with a navigation device. *Applied Ergonomics*, 41, 146-149.
- DOUGLAS J. T., KOPPI A. J., CRAWFORD C. E. (1998): Structural improvement in a grassland soil after changes to wheel-traffic systems to avoid soil compaction. *Soil Use and Management*, 14 (1), 14-18.
 - DUIKER S.W. (2004): Effects of soil compaction. Publications Distribution Center, The Pennsylvania State University, 112 Agricultural Administration Building, University Park, PA 16802. Available from <http://pubs.cas.psu.edu/FreePubs/pdfs/uc188.pdf>
 - DUNN P.K., POWIERSKI A.P., HILL R. (2006): Statistical evaluation of data from tractor guidance systems. *Precision Agriculture*, 7, 179-192.
 - EHSANI M.R., SULLIVAN M., WALKER J.T., ZIMMERMAN T.L. (2002): A method of evaluating different guidance systems. Paper number 021155. St Joseph, MI: ASAE.
 - FROST J.P. (1988): Effects on crop yields of machinery traffic and soil loosening: Part 2, effects on grass yield of soil compaction, low ground pressure tyres and date of loosening. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 40 (1), 57-69 (a)
 - FROST J.P. (1998): Effects on crop yields of machinery traffic and soil loosening Part 1. Effects on grass yield of traffic frequency and date of loosening. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 39 (4), 301-312. (b)
 - GAN-MOR S., CLARK R.L. (2001): DGPS-Based Automatic Guidance – Implementation and Economical Analysis, Paper number 011192, 2001 ASAE Annual Meeting
 - GIBBONS G. (2000): Turning a farm art into science - an overview of precision farming. <Http://www.precisionfarming.com>.
 - GYSI M. (2001): Compaction of a Eutric Cambisol under heavy wheel traffic in Switzerland: field data and a critical state soil mechanics model approach. *Soil & Tillage Research*, 61 (3-4), 133-142.
 - HAGUE T., MARCHANT J.A., TILLET N.D. (2000): Ground based sensing systems for autonomous agricultural vehicles. *Computers and Electronics in Agriculture*, 25, 11-28.
 - HÅKANSSON I., REEDER R.C. (1994): Subsoil compaction by vehicles with high axle load-extent, persistence and crop response. *Soil & Tillage Research*, 29, 105-110.
 - HÅKANSSON I., VOORHEES W.B., RILEY H. (1988): Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. *Soil & Tillage Research*, 11, 239-282.
 - HAMZA M.A., ANDERSON W.K. (2005): Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil & Tillage Research*, 82 (2), 121- 145.
 - HAN S., ZHANG Q., NI B., REID J. F. (2004): A guidance directrix approach to vision-based vehicle guidance systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 43, 179-195.
 - KARIMI D., MANN D.D., EHSANI R. (2006): A new methodology for evaluating guidance systems for agricultural vehicles. Paper No. 06148. St Joseph, MI: ASABE.
 - KRAVCHENKO A.N. (2003): Influence of Spatial Structure on Accuracy of Interpolation Methods. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67, 1564-1571.

- KUMHÁLA F., GUTU D., HŮLA J., CHYBA J., KOVAŘÍČEK P., KROULÍK M., KVÍZ Z., MAŠEK J., VLÁŠKOVÁ M. (2013): Technologie řízených přejezdů po pozemcích., Uplatněná certifikovaná metodika, 40 s.
- MADAKAM S., RAMASWAMY R., TRIPATHI S. (2015): Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(05), 164.
- MORGAN R.P.C. (2005): *Soil erosion and conservation*. Third edition. Blackwell Publishing, ISBN 1-4051-1781-8: 304 p.
- OJHA T., MISRA S., RAGHUWANSHI N. S. (2017): Sensing-cloud: Leveraging the benefits for agricultural applications. *Computers and electronics in agriculture*, 135, 96-107.
- PINKAS J. (2019): Strom Praha a.s., osobní konzultace
- RADFORD B.J., YULE D.F., Mc GARRY D., PLAYFORD C. (2007): Amelioration of soil compaction can take 5 years on a Vertisol under no till in the semi-arid subtropics. *Soil & Tillage Research*, 97, 249-255.
- ROVIRA-MÁS F., ZHANG Q., HANSEN A. C. (2011): *Mechatronics and intelligent systems for off-road vehicles*, Springer.
- SCHÖNFELD M., V., HEIL R., BITTNER, L. (2018): Big Data on a Farm—SmartFarming. In: Hoeren T., Kolany-Raiser B., Eds. *Big Data in Context*, pp.109-120.
- SHEARER S., PITLA S. (2013): Field Crop Production Automation. In: Zhang Q, Pierce F., J. Eds. *Agricultural Automation: Fundamentals and Practices*, CRC Press, 97-122 p.
- SONKA S. (2016): Big data: fueling the next evolution of agricultural innovation. *Journal of Innovation Management*, 4(1), 114.
- SPAROVEK G.; SCHNUG E. (2001): Soil tillage and precision agriculture - A theoretical case study for soil erosion control in Brazilian sugar cane production. *Soil & Tillage Research*, 61, 1-2, 47 - 54.
- STEINBERGER G., ROTHMUND M., AUERNHAMMER H. (2009): Mobile farm equipment as a data source in an agricultural service architecture. *Computers and electronics in agriculture*, 65(2), 238-246.
- STOLL A., KUTZBACH H.D. (2000): Guidance of a forage harvester with GPS. *Precision Agriculture* 2, 281-291.
- SUNDMAEKER H., VERDOUW C., WOLFERT S., FREIRE L. P. (2016): *Internet of food and farm 2020. Digitising the Industry-Internet of Things Connecting Physical, Digital and Virtual Worlds*. River Publishers, Gistrup/Delft, 129-151.
- TICKELL C. (1999): Water in the 21st century. *Landwards* 54 (2), 2-5.
- United Nations (2019): *WorldPopulationProspects 2019: The 2019 Revision of World PopulationProspects*, https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_10KeyFindings.pdf
- WATSON M., LOWENBERG-DEBOER J. (2004): Who will benefit from GPS auto guidance in the Corn belt. *Purdue Univ. Agric. Econ. Rep.*, Feb. 2004. Purdue Univ. West Lafayette, IN.
- WOLFERT S., GE L., VERDOUW C., BOGARDT M. J. (2017): Big data in SmartFarming—a review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.
- ZHANG N., WANG M., WANG N. (2002): Precision agriculture – a worldwide overview, *Computers and Electronics in Agriculture*, 36, 113-132.



POZNÁMKY

Blank page with horizontal dashed lines for notes.

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.





ISBN 978-80-88351-04-7

VYDALA:

Agrární komora České republiky

Počernická 272/96, 108 00 Praha 10

Tel.: +420 296 411 180

e-mail: sekretariat@akcr.cz

www.akcr.cz, www.eagri.cz