

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4131 – Zemědělství

Studijní obor: Zemědělská a dopravní technika: obchod, servis a služby

Katedra: Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Vedoucí katedry: doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Porovnání zpracování půdy s využitím a bez
použití GPS technologie

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Filip

Autor bakalářské práce: Martin Vaněk

V Českých Budějovicích, 2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin VANĚK**
Osobní číslo: **Z16125**
Studijní program: **B4131 Zemědělství**
Studijní obor: **ZDTb-16 - specializace Zemědělská technika**
Název tématu: **Porovnání zpracování půdy s využitím a bez použití GPS technologie**
Zadávací katedra: **Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cíl práce:

Student v bakalářské práci porovná stejnou technologii zpracování půdy, která v prvním případě bude plně využívat technologie Global Positioning System a v druhém případě bude GPS použita pouze pro sběr dat. Student zhodnotí ekonomickou efektivitu GPS technologie používané při zpracování půdy a v rámci možností ověří její vliv na stav půdy, porost a prostředí.

Struktura hlavní části práce bude následující:

1. Stručný úvod do problematiky
2. Technické principy GPS
3. Využití GPS navigace v současné zemědělské technice
4. Metodika terénních pokusů
5. Výsledky
6. Diskuse
7. Závěr

Součástí práce může být soubor fotografií či video dokumentace, který bude přiložen na datovém nosiči. Umožní-li to charakter získaných dat, pokusí se student výsledky opublikovat.

Rozsah grafických prací: obrázky, fotografie, grafy dle potřeby

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

STEINER, Ivo a Jiří ČERNÝ. GPS od A do Z. 4. aktualiz. vyd. Praha: eNav, 2006. ISBN 8023975161; PASTOREK, Zdeněk. Zemědělská technika dnes a zítra: rádce při výběru a efektivním využívání zemědělských strojů a technologií. Praha: Martin Sedláček, 2002. ISBN 8090241344; HŮLA, Josef a Blanka PROCHÁZKOVÁ. Minimalizace zpracování půdy. Praha: Profi Press, 2008. ISBN 978-80-86726-28-1; LUKAS, Vojtěch, Lubomír NEUDERT a Jan KŘEN. Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství: metodika pro praxi. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011. ISBN 9788073755621; RATAJ, Vladimír, Jana GALAMBOŠOVÁ, Miroslav MACÁK a Ladislav NOZDROVICKÝ. Presné poľnohospodárstvo: systém - stroje - skúsenosti : vysokoškolská učebnica. Praha: Profi Press, 2014. ISBN 9788086726649; ECH, Ján. Stroje pre rastlinnú výrobu 3: stroje a zariadenia na pozberovú úpravu rastlinných materiálov a na ich skladovanie. Praha: Profi Press ve spolupráci so Slovenskou poľnohospodárskou univerzitou v Nitre, 2011. ISBN 978-80-86726-41-0; KOVÁŘ, Pavel. Družicová navigace: od teorie k aplikací v softwarovém přijímači. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2016. ISBN 9788001059890; NEUDERT, Lubomír a Vojtěch LUKAS. Precizní zemědělství: technologie a metody v rostlinné produkci. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 9788075093110; KUMHÁLA, František. Zemědělská technika: stroje a technologie pro rostlinnou výrobu. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 9788021317017.

Materiály přístupné přes databáze (např. Web of Knowledge, ScienceDirect atp.), propagační materiály prodejců zemědělské techniky, internet

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Filip

Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Datum zadání bakalářské práce: 18. ledna 2018

Termín odevzdání bakalářské práce: 15. dubna 2019



prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Študentova 1602, 370 05 České Budějovice



doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 20. března 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích 14. 4. 2019

.....

Martin Vaněk

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Ing Martinu Filipovi za jeho rady a připomínky, které mi během zpracování práce poskytl, a také za čas, který mé práci věnoval. Dále děkuji panu Romanu Musílkovi ze Zemědělského družstva Maleč, který mi poskytl soupravu použitou k měření a také pozemek, na kterém měření probíhalo. Nakonec děkuji své rodině za materiální a psychickou podporu.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá porovnáním výkonnostních a ekonomických parametrů provozu vybrané soupravy použité pro zpracování půdy. Bakalářská práce je rozdělena na dvě hlavní části, teoretickou a praktickou. Teoretická část poskytuje úvod do problematiky satelitních navigací, popisuje nejvýznamnější navigační systémy, strukturu systému GPS (Global Positioning System) a základní principy jeho fungování. Dále se teoretická část zabývá využitím GPS navigace v současné zemědělské technice a v systému precizního zemědělství. Praktickou část tvoří porovnání soupravy traktoru a stroje pro mělké zpracování půdy při využití ručního řízení a navádění pomocí GPS navigace.

Klíčová slova: satelitní navigace; precizní zemědělství; GPS; RTK; výkonnost; efektivita

Abstract

This bachelor thesis deals with the comparison of the operational and economic parameters of operation of a selected vehicle used for tillage. The bachelor thesis is divided into two main parts, theoretical and practical. The theoretical part provides an introduction to satellite navigation, describes the most important navigation systems, the structure of the GPS system and basic principles of its operation. The theoretical part also deals with the use of GPS navigation in current agricultural machinery and precision agriculture. The practical part compares the use of manual control and guidance by GPS navigation in soil processing.

Keywords: satellite navigation; precision farming; GPS; RTK; performance; efficiency

Obsah

1.	Technické principy globálních navigačních systémů	1
1.1	Satelitní navigace obecně	1
1.2	BeiDou.....	2
1.3	Galileo	2
1.4	GLONASS.....	3
1.5	NAVSTAR GPS.....	3
1.5.1	Historie GPS	3
1.5.2	Struktura systému.....	5
1.5.3	Úrovně služeb.....	6
1.5.4	Princip fungování	6
1.5.5	Faktory ovlivňující přesnost.....	8
1.5.6	Využití.....	9
2.	Využití GPS navigace v současné zemědělské technice.....	10
2.1	Satelitní monitoring	10
2.2	Satelitní navádění	11
2.2.1	Manuální navádění	12
2.2.2	Asistované řízení.....	12
2.2.3	Automatické řízení	13
2.3	Precizní zemědělství.....	14
2.3.1	Controlled traffic farming	15
2.3.2	Výnosové mapy.....	16
2.3.3	Sekční kontrola strojů	17
2.3.4	Variabilní setí a hnojení	18
2.4	Předpokládaný vývoj	19
3.	Metodika	20
4.	Výsledky terénních pokusů	30

4.1	Podmínky měření	30
4.2	Získané hodnoty	30
4.2.1	S využitím GPS navigace.....	30
4.2.2	Bez využití GPS navigace.....	34
4.3	Ekonomika provozu	37
4.3.1	S využitím GPS.....	37
4.3.2	Bez využití GPS.....	37
4.3.3	Úspory spojené s využitím GPS.....	38
4.4	Shrnutí výsledků.....	38
5.	Diskuse.....	40
6.	Závěr	42

Úvod

Svět kolem nás se stává stále více světem digitálním. Ne všichni lidé musí s takovýmto vývojem souhlasit, faktem ale je, že digitalizace, automatizace a technický vývoj obecně značně přispívají k usnadnění, zjednodušení a zefektivnění drtivé většiny lidských činností, zemědělství nevyjímaje.

Jedním ze systémů, který našel v zemědělství široké uplatnění a jehož význam stále narůstá, je globální polohový systém (GPS). Tento systém umožnil získávat data o pohybu zemědělských strojů po pozemku a dal výrobcům zemědělské techniky možnost adaptovat své stroje pro asistované nebo automatické řízení. Systémy navádění traktorů a další samojízdné zemědělské techniky pomocí GPS signálu spočívají ve vytvoření základní linie, po které se stroj pohybuje, a následném navádění stroje na dráhy paralelní k základní linii. To při dostatečně kvalitním signálu a správném nastavení pracovního záběru vede k minimalizaci vynechání nebo naopak překryvů jednotlivých jízd stroje po pozemku a tím k zefektivnění jeho práce. Zároveň je také snížena zátěž na obsluhu, která se nemusí soustředit na řízení a svou pozornost může věnovat ostatním úkolům.

Paralelní navádění pomocí GPS můžeme chápat jako přesnější a univerzálnější alternativu k mechanickým znamenákům nebo pěnovým značkovačům. Využitelné je v širokém spektru činností od zpracování půdy až po sklizeň, největší zastoupení ale má v přesném setí nebo v hnojení a ochraně rostlin.

1. Technické principy globálních navigačních systémů

1.1 Satelitní navigace obecně

Globální navigační satelitní systém, anglicky Global Navigation Satellite System (GNSS), je obecné označení systémů pro určování polohy, které využívají umělých družic na oběžné dráze Země. Poloha zařízení opatřeného GNSS přijímačem je určována vyhodnocením rádiových signálů, které jsou vysílány družicemi a GNSS přijímač je pasivně přijímá. GNSS, jak už název napovídá, patří mezi globální navigační systémy, což v praxi znamená, že tato technologie je použitelná kdekoli na povrchu Země (Neudert a Lukas, 2015).

Technologie satelitní navigace má původ ve vojenství. První systém využívající ke zjišťování polohy umělé družice Země, americký TRANSIT (NAVSAT), byl armádou USA vyvíjen již v 50. letech 20. století a standardně byl používán od roku 1964. V současnosti nejvyužívanější systém, NAVSTAR GPS (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System), byl pak vyvinut rovněž armádou Spojených států amerických. Do praxe začal být nasazován od roku 1978 právě jako nástupce technologie TRANSIT, později byl uvolněn i pro civilní použití. (Vondrák, 2013) Stejně tak další globální navigační satelitní systémy, ruský GLONASS a čínský BeiDou mají původ v armádní sféře. Výjimkou je pouze GNSS systém Galileo, provozovaný Evropskou unií prostřednictvím Evropské kosmické agentury (ESA) (Ventura-Traveset, 2013).

V posledních letech dochází k velkému nárůstu počtu uživatelů GNSS. Děje se tak především proto, že se technologie satelitní navigace stává běžnou výbavou automobilů a mobilních telefonů. Uživatel satelitního navigačního systému může v reálném čase získat informace o své poloze, respektive poloze svého GNSS přijímače, a to pouze s malou odchylkou závisující na zvoleném přijímači, kvalitě signálu a použitém systému korekce chyb. Většině uživatelů dostačuje určení pozice na několik metrů, existuje ale také aplikace, kde je vyžadována větší přesnost. Odchylka nejpresnějších komerčně nabízených navigačních systémů se pohybuje v řádu centimetrů (Neudert a Lukas, 2015).

1.2 BeiDou

Navigační systém BeiDou je čínský projekt, který má za cíl vyvinout nezávislý satelitní navigační systém, který bude plně pod kontrolou vlády Čínské lidové republiky. Poté, co bylo rozhodnuto o rozšíření systému z regionálního pokrytí na globální, bylo mezi lety 2007 a 2012 používáno mezinárodní označení Compass. Následně se ale systém vrátil zpět k označení BeiDou (Český Kosmický Portál, 2017).

Navigační systém, jehož plné dokončení je plánováno na rok 2020, má sestávat z celkového počtu 35 družic, z nichž bude 27 umístěno na střední zemské orbitě, tři na geosynchronní dráze a pět satelitů má být geostacionárních (Ventura-Traveset, 2013).

Globální signál byl oficiálně spuštěn 27. 12. 2018 a BeiDou se tak stal čtvrtým globálním satelitním systémem. Systém, který je stále ve vývoji, na konci roku 2018 obsahoval celkem 33 satelitů, z toho 18 typu BDS-3 a 15 staršího typu BDS-2. Do konce roku 2020 je v plánu vypuštění dalších dvanácti satelitů (jedenáct BDS-3 a jeden BDS-2). V době spuštění globálního provozu má veřejně dostupný mezinárodní signál přesnost deset metrů, oblast Asie a Tichomoří má pak veřejný signál zpřesněný na pět metrů. Autorizovaný signál s vyšší přesností zatím není pro civilní použití k dispozici (BeiDou, 2018).

1.3 Galileo

Systém Galileo, vyvíjený Evropskou unií a provozovaný Evropskou vesmírnou agenturou (ESA), je na rozdíl od ostatních GNSS civilním projektem. Cílem systému Galileo je nabídnout vysoce přesný satelitní signál s globálním pokrytím, který umožní evropským státům nezávislost na technologii GPS nebo GLONASS. Základní signál s přesností jeden metr je bezplatný, placené signály by měly dosáhnout maximální odchylky až jeden centimetr (Galileo, 2018).

Navigační systém Galileo využívá modernějšího systému přenosu dat a generování dálkoměrného signálu než starší systémy. Dokáže proto při stejném počtu satelitů určit polohu přesněji než například americký systém GPS. Zde je třeba podotknout, že systém GPS je provozován již několik desetiletí, a také pro něj jsou vyvíjeny nové satelity schopné dosáhnout vyšší přesnosti (Neudert a Lukas, 2015).

První pokusný satelit systému Galileo pojmenovaný GIOVE-A byl na orbitu vynesena v prosinci 2005, v dubnu 2008 ho pak doplnil satelit GIOVE-B. Obě družice byly plánovány pouze jako pokusné a roku 2012 byly vyřazeny z provozu.

První dvojice satelitů programu Galileo, která byla určená pro operační použití, byla na oběžnou dráhu Země vynesena v říjnu 2011. Veřejný provoz systému byl spuštěn 15. prosince roku 2016, kdy bylo nasazeno již 18 z celkově plánovaného počtu 30 satelitů (27 operačních a 3 záložní). V současnosti se na oběžné dráze nachází 24 družic, dokončení projektu je plánováno na rok 2020 (Galileo, 2019).

1.4 GLONASS

Ruský GLONASS (Globální navigační satelitní systém) je systém satelitní navigace, jehož struktura je velmi podobná systému GPS. (Neudert a Lukas, 2015) Vývoj systému začal roku 1972, samotná výstavba pak byla zahájena v osmdesátých letech dvacátého století armádou tehdejšího Sovětského svazu. Po rozpadu SSSR byl systém z důvodu omezených prostředků na údržbu utlumen, k obnovení programu došlo až v roce 2002. GLONASS je nyní ve správě ruské armády, respektive Ministerstva obrany Ruské federace.

V současné době má GLONASS již celosvětové pokrytí, k čemuž využívá satelity třetí generace, označené jako GLONASS-K, produkované mezi lety 2011-2018. Ve výstavbě jsou nové satelity GLONASS-K2 (Glonass, 2019a). Generace satelitů K2 by měla být na oběžnou dráhu umístována od roku 2019 (RussianSpaceWeb, 2018). Celkem je na oběžné dráze 26 satelitů, z nichž 24 slouží k navigaci, jeden je ve fázi testů. Poslední ze satelitů je vyřazen z provozu a slouží jako záloha (Glonass, 2019b).

1.5 NAVSTAR GPS


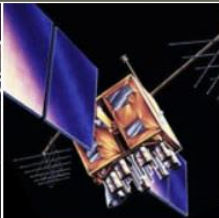
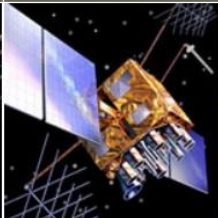

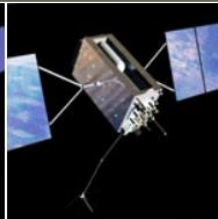
NAVSTAR GPS, využívá se spíše zkrácené označení GPS (Globální polohový systém), je navigační systém provozovaný Ministerstvem obrany Spojených států amerických. Jedná se o světově nejrozšířenější a donedávna jediný globální navigační satelitní systém, který je dostupný civilním uživatelům (NASA, 2017).

1.5.1 Historie GPS

Vývoj technologie GPS odstartoval začátkem sedmdesátých let dvacátého století, kdy Ministerstvo obrany spojených států rozhodlo o vybudování robustního a stabilního satelitního navigačního systému jako náhradu za projekt TRANSIT, který byl určený převážně pro námořnictvo, konkrétně pro ponorkové loďstvo. Nový systém měl sloužit všem složkám armády a disponovat vyšší úrovní přesnosti. První satelit systému GPS Američané vypustili roku 1978, plný počet 24 satelitů byl dostupný v roce 1993 (NASA, 2017; Kovář 2016).

Rozhodnutí o zpřístupnění GPS pro civilní sektor padlo roku 1983 poté, co došlo k nehodě civilního dopravního letadla (let KAL 007). Korejský Boeing 747 se odchýlil od kurzu a zamířil do vzdušného prostoru Sovětského svazu, kde byl sestřelen sovětským stíhacím letounem. Zemřelo tehdy všech 269 osob na palubě. Po sestřelení zaznívaly hlasy, které tvrdily, že tragédii mohlo být zabráněno, pokud by byl stroj opatřen GPS lokátorem, který by posádku na odchýlení z kurzu upozornil. K samotnému zpřístupnění systému veřejnosti ale kvůli odkladům došlo až v devadesátých letech dvacátého století (Degani, 2004).

Systém GPS je postupně vylepšován. Satelity mají omezenou životnost a jsou proto nahrazovány novými kusy s rozšířenou funkcionalitou. Zatím poslední velký krok v tomto směru byl proveden 23. 12. 2018, kdy byl raketou Falcon 9 americké společnosti SpaceX na oběžnou dráhu Země vynesena první satelit nové generace, takzvané GPS III. Družice s označením SV01 je nyní ve fázi testování, její operační nasazení je plánováno na konec roku 2019 (Los Angeles Air Force Base, 2018).

LEGACY SATELLITES		MODERNIZED SATELLITES		
				
BLOCK IIA	BLOCK IIR	BLOCK IIR-M	BLOCK IIF	GPS III/IIF
1 operational	11 operational	7 operational	12 operational	1 in checkout
<ul style="list-style-type: none"> Coarse Acquisition (C/A) code on L1 frequency for civil users Precise P(Y) code on L1 & L2 frequencies for military users 7.5-year design lifespan Launched in 1990-1997 	<ul style="list-style-type: none"> C/A code on L1 P(Y) code on L1 & L2 On-board clock monitoring 7.5-year design lifespan Launched in 1997-2004 	<ul style="list-style-type: none"> All legacy signals 2nd civil signal on L2 (L2C) New military M code signals for enhanced jam resistance Flexible power levels for military signals 7.5-year design lifespan Launched in 2005-2009 	<ul style="list-style-type: none"> All Block IIR-M signals 3rd civil signal on L5 frequency (L5) Advanced atomic clocks Improved accuracy, signal strength, and quality 12-year design lifespan Launched in 2010-2016 	<ul style="list-style-type: none"> All Block IIF signals 4th civil signal on L1 (L1C) Enhanced signal reliability, accuracy, and integrity No Selective Availability 15-year design lifespan IIF: laser reflectors; search & rescue payload First launch in 2018

Obrázek 1: Popis generací satelitů GPS (gps.gov, 2018)

1.5.2 Struktura systému

Struktura systému GPS je velice podobná ostatním GNSS a lze ji dle Neuderta a Lukase rozdělit do tří základních částí:

- **Vesmírná část (Kosmický segment)** zahrnující satelity, které obíhají Zemi po šesti téměř kruhových drahách ve výšce cca 20 000 km. Jednotlivé dráhy jsou skloněné o 55° vůči rovníku a o 60° vůči sobě navzájem. Dráhy jsou voleny tak, aby byl celý povrch Země rovnoměrně pokrytý signálem a aby z každého místa na Zemi bylo viditelné co největší množství satelitů. Na každé ze šesti drah jsou pro plnou funkčnost systému nutné minimálně čtyři satelity, další satelity na stejné dráze mohou sloužit k posílení systému, nebo jako záloha v případě poruchy některého z aktivních satelitů. Satelity se po svých drahách pohybují rychlostí zhruba 4 km/s, doba oběhu činí 12 hodin. Pohledem ze Země se ale vlivem otáčení planety dostane satelit na své původní místo až za 24 hodin. Funkcí satelitu je vysílání informace o svém aktuálním čase a poloze, stavu atmosféry a předpovědi těchto údajů. Pro své fungování satelit využívá solární energii. Čas je určován pomocí rubidiových a cesiových atomových hodin s maximální odchylkou 10 ns za den. Přesnost hodin je klíčová pro správné fungování celého systému, proto jsou palubní hodiny pravidelně synchronizovány s časem na pozemních stanicích.
- **Pozemní část (Řídící segment)** tvoří základny na zemském povrchu, které slouží k monitorování činnosti systému a sledování satelitů. Přesnost určení polohy satelitu činí 1-2 metry. Tato data se poté zpracovávají a na jejich základě jsou vytvářeny efemeridy neboli krátkodobé předpovědi dráhy každého satelitu, platné 2-4 hodiny. Efemeridy jsou pak odeslány zpět do satelitu, který je společně s dalšími daty vysílá do přijímačů jednotlivých uživatelů navigačního systému. Další funkcí pozemních základen je kontrola a případná úprava nastavení atomových hodin jednotlivých satelitů. Základny jsou umístěny na letištích US Airforce.

- **Uživatelská část (Uživatelský segment)** obsahuje všechna zařízení vybavené GNSS přijímačem a anténou. Běžné přístroje jako například chytré mobilní telefony nebo přenosné GPS navigace mají anténu integrovanou v těle zařízení. Taková anténa je nejčastěji typu patch (keramická čtyřhranná deska o hraně 0,5-2,5 cm) nebo typu helix (váleček vysoký 0,5-2 cm). Profesionální přístroje používají častěji externí anténu umístěnou na objektu, jehož poloha je sledována. Taková anténa má nejčastěji tvar tenkého hranolu o hraně maximálně 10 cm a je umístěna na stínící desce, která brání příjmu odražených signálů. Poloha zařízení je určena vždy ve středu antény, nebo přesněji řečeno v jejím fázovém centru.

1.5.3 Úrovně služeb

GPS poskytuje dvě základní úrovně signálu. Pro veřejnost je k dispozici SPS (Standard positioning service – standardní poziční služba). Tato služba je dostupná celosvětově, její přesnost ani dostupnost ale není garantována. Do května 2000 byla přesnost SPS záměrně snižována, aby tato služba nemohla být použita k bojovým účelům. Toto opatření bylo označováno jako SA (Selective availability – selektivní dostupnost). Při zapnutém SA byla přesnost omezena na cca 100 metrů. Nyní je možné bez využití dalších systémů dosáhnout přesnosti zhruba 5 metrů při využití frekvence L1, veřejný signál ale může být kdykoli vypnut nebo omezen.

Druhou službou je vojenský signál PPS (precise positioning service – přesná poziční služba). Jedná se o neveřejnou službu využívanou pouze armádou Spojených států amerických a jejími spojenci. Díky využití dálkoměrného kódu s vyšším datovým tokem, navíc vysílaném na dvou frekvencích (L1 a L2), je dosaženo vyšší přesnosti než u veřejného signálu. Zabezpečení této služby je řešeno šifrováním, které ji chrání před záměrným rušením (anti-spoofing), nebo neoprávněným použitím. Šifrovací kódy jsou měněny každý týden (Neudert a Lukas, 2015).

1.5.4 Princip fungování

Pro určení polohy konkrétního GNSS přijímače slouží data vysílaná družicemi satelitního systému, v případě využití diferenčních metod používaných pro zvýšení přesnosti pak také data vysílaná z referenčních stanic.

Každý ze satelitů vysílá rádiový signál na několika nosných vlnách (L1 až L5). Na tyto nosné vlny jsou modulovány navigační zprávy a také pseudonáhodné kódy (C/A, P, Y, ...), které slouží pro kódování signálu. (Láska, 2010)

Navigační zpráva podle Lásky obsahuje:

- Parametry dráhy družice
- Čas počátku vysílání zprávy
- Přesné keplerovské efemeridy družice
- Korekce hodin družice
- Almanach – méně přesné parametry všech družic systému
- Koeficienty ionosférického modelu
- Stav družice (health)

Tabulka 1: Popis nosných frekvencí signálu GPS

Pásmo	Frekvence	Popis
L1	1575,42 MHz	Veřejný C/A kód pro civilní využití Šifrovaný P(Y) kód pro vojenské účely Příprava na vojenský M kód (družice IIR-M a novější)
L2	1227,60 MHz	Šifrovaný P(Y) kód pro vojenské účely Příprava na vojenský M kód a civilní C kód (IIR-M a novější)
L3	1381,05 MHz	NEUDET – systém detekce startů balistických raket a jaderných výbuchů
L4	1379,91 MHz	Měření ionosférické refrakce – zpoždění způsobeného průchodem signálu ionosférou, využitelné při korekci
L5	1176,45 MHz	Civilní SoL (Safety of life) bezpečnostní signál

GNSS přijímače mohou pracovat na principu kódového nebo fázového měření.

V obou případech je zjišťována vzdálenost mezi přijímačem a družicemi navigačního satelitního systému. Pomocí obou těchto metod lze zjistit polohu přijímače, případně také rychlost a směr jeho pohybu, ovšem s rozdílnou přesností.

Při kódovém měření je vyhodnocován časový posun mezi informací o čase získanou ze satelitu a údajem získaným z hodin přijímače. Pokud je fungování hodin družice i přijímače bezchybné, časový posun odpovídá době, po kterou signál putoval od satelitu k přijímači. Vynásobením tohoto času rychlostí světla, kterou se signál pohybuje ve vakuu, lze získat hodnotu vzdálenosti mezi přijímačem a družicí. Tato hodnota se nazývá pseudovzdálenost. V případě využití veřejného C/A kódu je maximální dosažitelná přesnost zhruba 3 metry, při využití P kódu je přesnost měření až desetkrát lepší. (Láska, 2010) Zvláštním druhem kódových přijímačů jsou diferenční přijímače, které kromě C/A kódu ze satelitu pracují také s korekčním signálem referenčních stanic. Korekce omezuje především vliv chyby způsobené

průchodem signálu ionosférou. Výsledná poloha proto může určena s maximální přesností až 30 cm.

U fázového měření je pseudovzdálenost určována za pomoci měření fáze nosných vln. Nosné vlny mají zhruba tisíckrát vyšší frekvenci než C/A kód, proto také výsledná data o poloze GNSS přijímače mohou být přesnější. Problémem je, že frekvence neobsahuje žádný kód (každá půlperioda nosné vlny je stejná), proto je obtížné určit zpoždění signálu. Tento problém je řešitelný porovnáním obdrženého signálu s referenční stanicí vzdálenou maximálně 10 km od místa měření. Při znalosti fází nosné vlny alespoň pěti satelitů zachycených oběma přijímači lze docílit určení polohy s velmi vysokou přesností (až jednotky centimetrů). Tento způsob určování polohy je nazýván RTK.

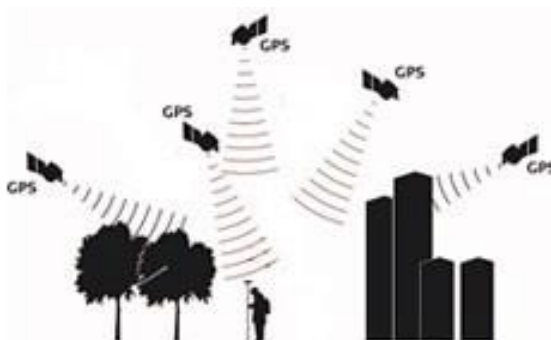
RTK (Real Time Kinematic) je považován za nejpresnější metodu určování polohy pomocí GNSS, jaká je dostupná civilním uživatelům. Při využívání RTK je nejprve nutné provést inicializaci. Doba této inicializace se pohybuje nejčastěji v řádu minut, a kromě vnějších vlivů je ovlivňována použitým přijímačem. Pokud dojde během používání GNSS přijímače s RTK ke ztrátě signálu, je nutné inicializaci opakovat. Jednodušší přijímače se během inicializace nesmí pohybovat, moderní přístroje pracující se dvěma nosnými frekvencemi pak často zvládají takzvanou OTF (On The Fly) inicializaci, při které může být zařízení v pohybu. Nevýhodou RTK je nutnost příjmu korekčního signálu z referenční stanice. Tato stanice může být vzdálena maximálně 10 km od přijímače, nebo až 40 km při použití stanice LRK (Long Range Kinematic) s prodlouženým dosahem. Pozemní stanice může být nahrazena virtuální stanicí VRS (Virtual Reference Station), tvořenou sítí pevných stanic vytvářející matematický model oblasti. Z tohoto modelu lze získat data, která dokážou nahradit pozemní stanici RTK v místě měření, jejich přesnost je ale nižší než v případě reálné stanice. (Neudert a Lukas, 2015).

1.5.5 Faktory ovlivňující přesnost

Systém GPS je zatížen mnoha faktory, které ovlivňují výslednou přesnost určení polohy. Můžeme rozlišovat mezi vlivy na straně poskytovatele a příjemce signálu.

Z hlediska poskytovatele jde především o nepřesnosti atomových hodin satelitu, chyby v určení přesné dráhy družice, vlivy atmosféry (převážně ionosféry) na procházející signál.

Faktory na straně uživatele zahrnují nepřesnost hodin GNSS přijímače, útlum signálu překážkami (například stěny budov nebo stromy), vliv elektromagnetického pole, nebo zachycení odražených signálů anténou přijímače (Čábelka, 2008).



Obrázek 2: Útlum signálu přírodními a umělými překážkami (GIS Resources, 2015)

1.5.6 Využití

Kromě armády, pro kterou byl systém původně navržen, jej ve stále větší míře využívá také civilní sféra, kde GPS zasahuje do široké škály činností. Systém je využíván mimo jiné v silniční, kolejové, námořní nebo také letecké dopravě, dále ve stavebnictví a geodezii, ve vědě, při těžbě nerostných surovin, a dále také k ochraně zdraví a majetku (jednotlivé složky záchranného systému) (Čábelka, 2008).

Kromě profesionální sféry najde GPS využití také v zábavě. Satelitní navigace je využívána například v turistice, rozšířené realitě, nebo při Geocachingu (sportovně-turistická hra spočívající v hledání skrytých objektů pomocí GPS) (Sendlerová, 2016).

V neposlední řadě se technologie GPS využívá také v zemědělství, kde pomáhá ke zvýšení produktivity a účinnosti jednotlivých zemědělských operací. Je také základem takzvaného precizního zemědělství (Čábelka, 2008).

2. Využití GPS navigace v současné zemědělské technice

Používání globálních navigačních satelitních systémů v zemědělství je dnes již téměř samozřejmou věcí. Navigační systémy mají v zemědělství širokou škálu využití od prostého mapování pohybu strojů, přes různě pokročilé formy asistovaného řízení až po zcela autonomní pohyb stroje po pozemku, nebo tvorbu výnosových map. Využitelné jsou prakticky ve všech polních pracích, například při sklizni, podmítce, nebo zpracování půdy, dále jako náhrada mechanických znamenáků secích strojů či pěnových znamenáků postřikovačů (Loch a Kovaříček, 2005).

Rozvoj satelitní navigace vedl také ke zcela novému přístupu k zemědělství. Takzvané precizní zemědělství nepřístupuje k pozemku jako k homogennímu celku, ale bere v potaz rozdílné vlastnosti jednotlivých částí pozemku. Cílem tohoto přístupu k zemědělství je sladit druh a objem vstupů se skutečnými potřebami plodiny na malých částech pozemku (Neudert a Lukas, 2015).

2.1 Satelitní monitoring

Systém satelitního monitorování provozu stroje patří mezi jednodušší aplikace GPS v zemědělství. Umožňuje (dle poskytovatele služby a zvoleného tarifu) v reálném čase sledovat například informace o pohybu jednotlivých strojů vybavených monitorovacím zařízením, jejich spotřebě, počtu motohodin nebo stavu ujetých kilometrů.



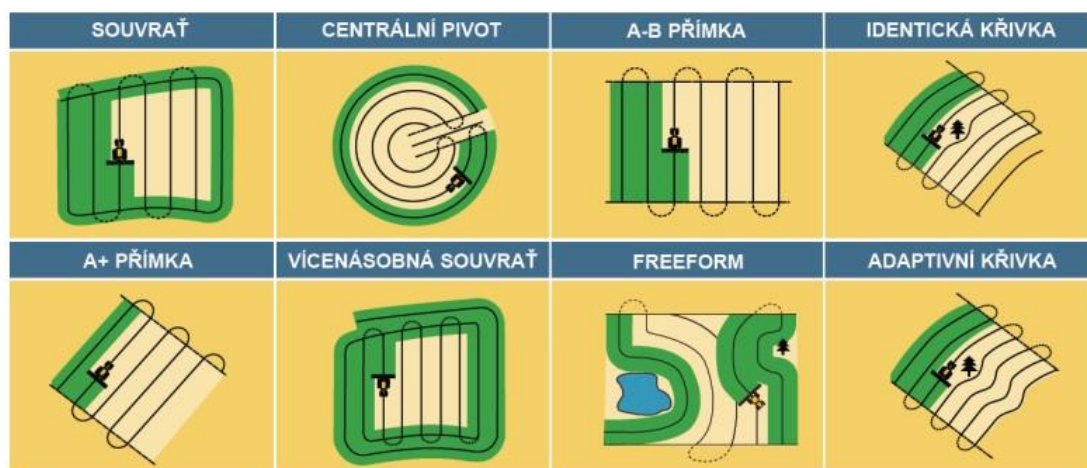
Obrázek 3: GPS monitoring traktoru v praxi (Lokátory.cz, 2019)

Přístup k datům je možný pomocí webového rozhraní nebo mobilní aplikace, která umožňuje například zpracování knihy jízd, vedení evidence tankování, provázání s mapami registru LPIS, sledování vývoje prací na jednotlivých pozemcích, nebo upozorní na termín STK daného vozidla. (Lokátory.cz, 2019)

2.2 Satelitní navádění

Satelitní navigační systémy určené k vedení stroje nebo soupravy po pozemku lze rozdělit do tří základních kategorií. Všechny tři úrovně řízení (manuální, asistované a automatické) mají společný základ. Tím je GNSS přijímač a ovládací monitor s integrovaným počítačem, který umožňuje pro všechny tři úrovně navigace stejné nebo velice podobné funkce.

Princip paralelního navádění s využitím globálních navigačních satelitních systémů spočívá v tom, že GNSS přijímač neustále vyhodnocuje aktuální polohu stroje a dle zadání řidiče vypočítává jeho budoucí dráhu. Tato dráha je upravována buď řidičem stroje, nebo bez zásahu člověka, pomocí asistovaného či automatického řízení. V praxi satelitní navádění funguje tak, že řidič po příjezdu na pozemek zvolí na terminálu navigačního systému typ práce, pracovní záběr stroje a podle tvaru pozemku a dalších faktorů také požadovaný způsob, jakým má být prováděno paralelní navádění.



Obrázek 4: Příklad možností paralelního navádění (Neudert a Lukas, 2015)

Způsobů paralelního navádění je několik. Jedná se o přímky, kdy jsou jednotlivé průjezdy rovné, dále také několik typů křivek, navádění do kruhu, nebo také navádění po předchozím objetí souvratí, čímž se zmapuje hranice pozemku. Řešení s mapováním souvratě je obzvláště vhodné pro postřikovače nebo sklizňové stroje (Neudert a Lukas, 2015).

2.2.1 Manuální navádění

Manuální navádění spočívá v použití světelné lišty umístěné v zorném poli řidiče, nejčastěji na čelním skle nebo v jeho blízkosti, podle které řidič ručně řídí stroj. Lišta je tvořena řadou LED diod, které se rozsvěčují podle toho, jak věrně řidič kopíruje stopu navrženou navigačním systémem. Ideální stopa leží uprostřed lišty, odchylka je pak znázorňována postupným rozsvěčováním jednotlivých diod na té straně lišty, na kterou se dráha stroje vychyluje (Milata, 2006). Tento systém je oproti pokročilejším variantám levnější, pro svou nižší přesnost danou především reakčním časem obsluhy ale již není příliš využíván. Světelná lišta je často také součástí pokročilejších systémů, zde ale slouží pouze jako záložní řešení, nebo pro potřeby kalibrace (Leading Farmers, 2019).



Obrázek 5: Světelná lišta Trimble EZ-Guide Plus Lightbar s displejem (Leading Farmers, 2019)

2.2.2 Asistované řízení

Systém asistovaného řízení vychází z manuálního, na rozdíl od jednoduššího řešení zde již ale stroj není po linii veden ručně. Volant je ovládán servomotorem s řídicí jednotkou, která komunikuje s terminálem navigace a je schopná vést stroj po linii přesně a bez zásahu obsluhy. Volant se otáčí, ovšem bez zásahu řidiče stroje. Obsluha může pohybem volantu systém kdykoli deaktivovat a převzít tak ruční řízení.

Existují dvě základní možnosti, jak do stroje nainstalovat systém asistovaného řízení. Jednodušší a levnější metodou je doplnění stávajícího volantu o externí servomotor, který pomocí třetího pastorku otáčí volantem. Složitějším, ale sofistikovanějším řešením je výměna původního volantu za nový, s integrovaným servomotorem. Tento systém je kompaktnější a neomezuje obsluhu ve výhledu ani v manipulaci ovládacími prvky stroje. V obou případech je nutné, aby byl stroj vybaven posilovačem řízení, jinak využití asistovaného řízení není možné (AGRI CS, 2019).



Obrázek 6: Systémy asistovaného řízení Trimble. Externí motor (vlevo) a volant s integrovaným motorem (vpravo) (AGRI CS, 2019, upraveno autorem)

2.2.3 Automatické řízení

Pro použití náročné na přesnost je k dispozici zcela automatické řízení. To dokáže během polních prací zcela převzít řízení stroje a kompletně tak nahradit řidiče. Tato forma paralelního navádění je finančně nejvíce nákladná, nabízí ale nejvyšší přesnost a nejrychlejší odezvu řízení na pokyn navigačního systému. Využití najde především v přesném setí, orbě v režimu on-land, nebo při zpracování půdy metodou strip-till.

Princip činnosti je podobný jako u asistovaného řízení, namísto servomotoru mechanicky ovládajícího volant je zde ale využíváno zásahů přímo do hydraulického systému řízení stroje. V případě, že stroj není továrně vybaven automatickým řízením nebo přípravou pro automatické řízení, je dodatečná instalace z důvodu složitější konstrukce systému velmi nákladná. Proto jsou starší stroje dodatečně vybavovány spíše jednodušším, i když méně přesným asistovaným řízením (Beneš, 2011).

Pokročilejší verze automatického řízení umožňují také samočinné otáčení na souvrati. Při provázání navigačního systému se souvratovou automatikou nemusí obsluha stroje nijak zasahovat do ovládání a plní pouze kontrolní funkci. Do samotného řízení pak zasahuje jen v případě nenadálých situací jako je vyhýbání se překážkám, skružím, sloupům nebo například močálům. Také tyto překážky je ale možno zanést do paměti navigačního systému a při další práci na pozemku se jim již vyhnout automaticky.

Automatického řízení využívají také autonomní vozidla. Například koncept zcela autonomního traktoru ACV představený společností Case IH v roce 2016. ACV je prezentován jako první výkonný traktor bez kabiny operátora. Při svém provozu

je odkázán na satelitní navigaci, autonomní řízení a řadu pokrokových senzorů nebo optických a radarových systémů sledujících parametry provozu stroje a pohyb nebo překážky v jeho okolí, čímž zastupuje člověka v roli obsluhy automaticky řízeného traktoru (Beneš, 2018a).



Obrázek 7: Koncept autonomního traktoru Case IH ACV (CNH Industrial, 2017)

2.3 Precizní zemědělství

Technologie precizního zemědělství je zaměřena na zvyšování výnosů a celkové produktivity za současného snižování nákladů. Zároveň je kladen velký důraz na ochranu půdy a životního prostředí. Precizní zemědělství vychází z předpokladu, že každý pozemek je jedinečný a také v jeho rámci mohou panovat různé podmínky vyžadující rozdílnou agrotechniku.

Základní principy, na kterých stojí precizní zemědělství, nejsou nové. Vlastnosti jednotlivých pozemků si zemědělci a pěstitelé uvědomovali již před staletími, tehdejší výměry a také způsob hospodaření však znalost jednotlivých půdních bloků a péči o ně velmi usnadňovaly. S příchodem intenzivního zemědělství, rostoucím podílem mechanizace a ohledem na zvětšování výměr však již nebylo možné sledovat prostorovou nevyrovnanost jednotlivých pozemků bez technologického pokroku. Mezi potřebné technologie lze zařadit GNSS, geografické informační systémy (GIS), pokročilé senzory a také vývoj zemědělské techniky jako takové.

Satelitní navigace je pro precizní zemědělství nepostradatelná. Využití najde prakticky v každém jeho odvětví. Slouží k mapování pozemků, paralelnímu navádění strojů, tvorbě výnosových a aplikačních map, ale také k evidenci prováděných operací (Lukas et al. 2010).

2.3.1 Controlled traffic farming

Soudobé systémy hospodaření mají často negativní vliv na stav pozemků. Jedná se především o zhutňování půdy, které ovlivňuje jak výnos pěstovaných plodin, tak i mimoprodukční funkce půdy, především schopnost vsakovat vodu. Nadměrné utužení zvyšuje riziko vodní eroze a energetickou náročnost zpracování půdy.

Pojem controlled traffic farming (CTF) lze do češtiny volně přeložit jako kontrolovaný pohyb strojů po pozemcích. Jedná se o metodu využívající pevný rastr záběrů zemědělských strojů, kdy se traktory a ostatní samojízdné zemědělské stroje pohybují po pozemku za pomoci satelitní navigace po stejných stopách. V místě opakovaného přejezdu techniky dochází sice k intenzivnímu zhutnění půdy, na ostatních částech pozemku je ale pedokompakce naopak výrazně snižována, což zásadním způsobem přispívá ke zlepšení celkového půdního stavu. Půda nezasažená pohybem techniky je více provzdušněná, s lepší strukturou, půdním režimem i zdravotním stavem. Také má vyšší odolnost vůči vodní erozi, její zpracování je méně energeticky náročné a na jaře rychleji vysychá (Beneš, 2011).

Trasa stop určených pro pohyb techniky je navržena optimálně pro každý pozemek, jejich rozchod a rastr by měl ale být v rámci celé výměry stejný. Záběr jednotlivých použitých strojů je vždy násobkem rozteče těchto stop. Jako příklad je možno uvést zjednodušenou linku obsahující 6m radličkový kypřič, 12m talířový nebo radličkový podmítač, 12m secí stroj, 12m kombajnovou lištu a 36m rozmetadlo průmyslových hnojiv a postřikovač (Falta, 2015).



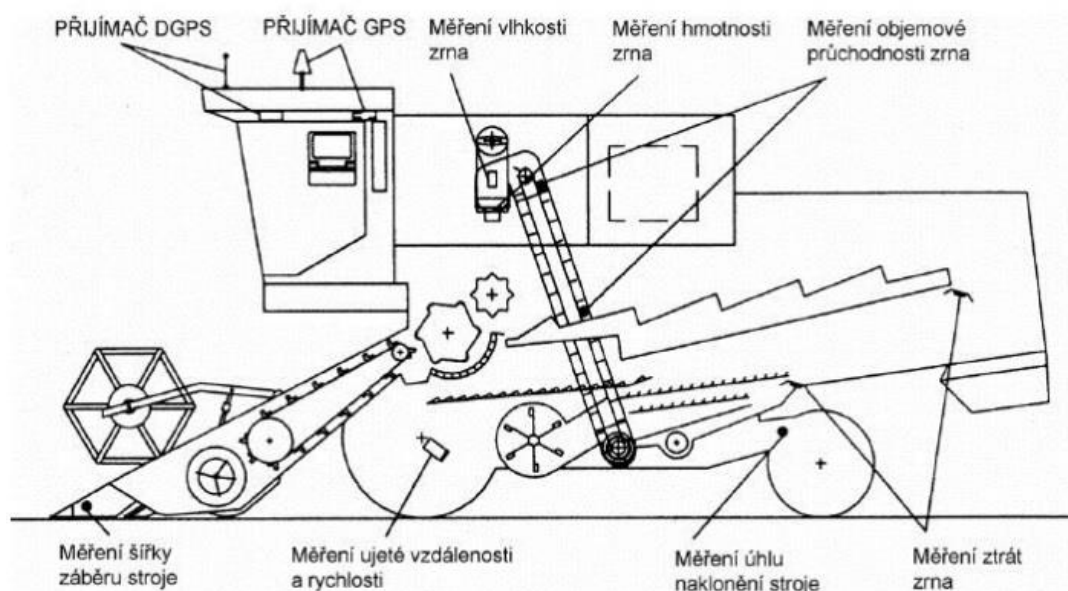
Obrázek 8: Příklad mechanizační linky pro CTF v rastru 12 metrů (Beneš, 2018b)

Zavedení systému CTF předchází období přípravy strojového parku. Všechny traktory a ostatní samojízdne stroje musí být upraveny na stejný rozchod kol, který většinou vychází z rozchodu sklízecí mlátičky. Stroje pro zpracování půdy a stroje pro hnojení a ochranu pak musí být upraveny nebo obměněny tak, aby jejich záběr odpovídal zvolenému rastru, ve kterém bude systém CTF na dané farmě provozován (Beneš, 2011). Tento rastr nejčastěji činí 6, 9 nebo 12 metrů, může ale být nastaven libovolně, pokud mu budou svým záběrem odpovídat využívané stroje (Horsch, 2018).

2.3.2 Výnosové mapy

Mapování výnosů lze popsat jako nástroj kontroly, který pomáhá odhalovat kolísání výnosu a analyzovat jeho příčiny. Není to ale jeho jediný účel, neboť na základě těchto znalostí lze plánovat také budoucí pracovní operace, hodnotu výsevku další plodiny, nebo například dávku aplikovaného hnojiva.

Výnos je v průběhu sklizně kontinuálně měřen soustavou senzorů obsažených ve sklízňovém stroji, jeho hodnota je pak společně s údaji o poloze stroje a vlhkosti sklizené plodiny ukládána do paměti palubního počítače. Systémů pro zjišťování výnosu je více a ke své funkci využívají odlišných principů. Využití nachází především ve sklízecích mlátičkách, sklízecích řezačkách nebo strojích pro sklizeň okopanin.

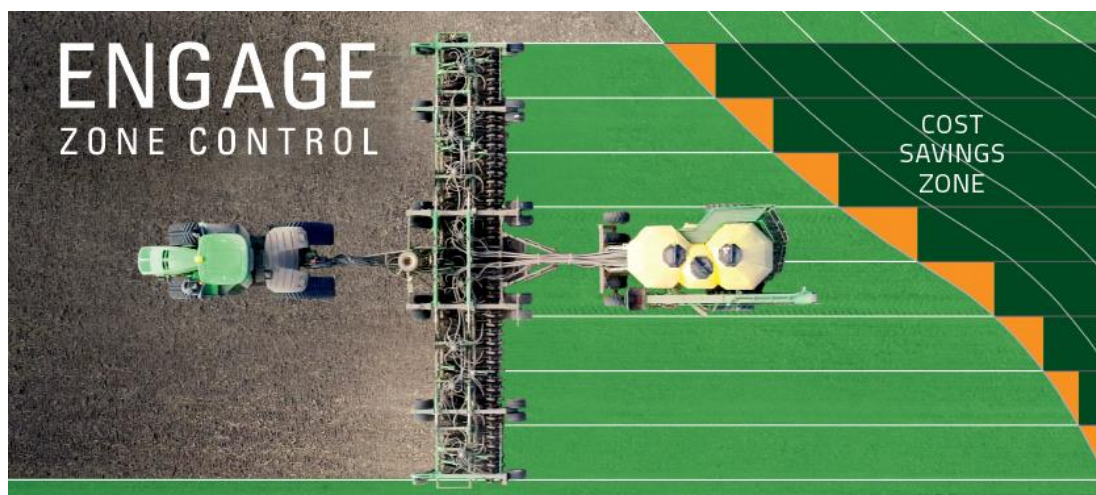


Obrázek 9: Popis prvků systému sledování výnosu u sklízecí mlátičky (Neudert a Lukas, 2015)

Samotnou výnosovou mapu pak získáme interpretací dat získaných sklizňovým strojem. Data získaná z jednotlivých částí je třeba „vyčistit“ od chybně naměřených hodnot a poté porovnat s průměrným výnosem celé výměry pozemku v daném roce, nebo také v letech minulých, pokud jsou tato data k dispozici. Tímto postupem lze získat takzvaný normalizovaný výnos. Odchylka výnosu od normalizovaného výnosu pak může sloužit jako podklad pro vytvoření aplikačních map pro variabilní hnojení (Neudert a Lukas, 2015).

2.3.3 Sekční kontrola strojů

Dalším důležitým prvkem precizního zemědělství je sekční ovládání strojů, neboli rozdělení záběru stroje do samostatně ovladatelných či regulovatelných částí. Tyto sekce mohou být ovládány manuálně obsluhou stroje, nebo automaticky za pomoci GPS navigace komunikující se strojem například pomocí rozhraní ISOBUS. Sekční kontrola je využívána především v postřikovačích, rozmetadlech průmyslových hnojiv, aplikátorech kejdy nebo secích strojích.



Obrázek 10: Ukázka činnosti sekční kontroly secího stroje (IntelligentAg, 2017)

Podle společnosti John Deere je prokázáno, že v provozu postřikovačů jsou největší finanční či materiální úspory spjaté právě s ovládáním sekcí. Úspora spočívá v eliminaci dvojího ošetření stejné plochy, které může vzniknout například objížděním překážek nebo otáčením na souvratu u pozemků nepravidelného tvaru, jak ukazuje obrázek 10 na příkladu secího stroje (Strom Praha, 2018a). Počet sekcí je limitován konstrukcí stroje a použitým terminálem navigačního systému. Například nový terminál John Deere, model GS4 4240, dokáže pomocí rozhraní ISOBUS ovládat až 255 sekcí. To umožňuje samostatné ovládání každé trysky postřikovače nebo každého výsevního ústrojí přesného secího stroje.



Obrázek 11: Porost založený s využitím sekční kontroly přesného secího stroje (John Deere, 2019)

Různě pokročilá forma automatické sekční kontroly je obsažena ve většině dnes nabízených terminálů asistovaného či automatického řízení. Pokročilejší modely, které mimo jednoduchého zapínání a vypínání sekcí umožňují také proměnlivé dávkování, je možno použít pro variabilní řízení dávky osiva či hnojiva, vycházející z aplikačních map (Strom Praha, 2018b).

2.3.4 Variabilní setí a hnojení

Technologie variabilního dávkování osiva či hnojiva využívá výnosové a aplikační mapy, sekční kontrolu strojů a možnost regulace dávky osiva či hnojiva v reálném čase. Variabilní setí či hnojení je používáno proto, že pozemky jsou často heterogenní, tedy obsahují různé typy půd a také jejich zásobenost živinami je nerovnoměrná. Z toho důvodu je vhodné na různých částech pozemku volit různou dávku osiva či hnojiva.

Dávka je řízena aplikační mapou, která je vytvořena s ohledem na cílený výnos, předchozí výnos dosažený na daném pozemku, druh půdy a obsah živin v půdě. Aplikační mapu lze definovat jako soubor dat, kde jednotlivé souřadnice pozemku mají přidělenou hodnotu osiva či hnojiva, která má být v daném místě aplikována.

V případě přihnojování již osetých ploch je možno kromě aplikačních map vycházet také z aktuálního stavu porostu. Ke stanovení potřebného množství živin a tím také řízení dávky hnojiva lze využít metody měření odrazivosti rostlin, obsahu chlorofylu nebo také odporu rostlin při ohybu. Z těchto zařízení je v praxi nejvíce využíváno senzorů obsahu chlorofylu využívaných při aplikaci dusíkatých hnojiv. Tyto senzory jsou umístěny přímo na traktoru, který aplikuje hnojivo. Jedná se například o zařízení Yara N-Sensor, Trimble Greenseeker.

2.4 Předpokládaný vývoj

V blízké budoucnosti lze očekávat především širší nasazení technologií precizního zemědělství do zemědělské praxe. Již neplatí, že navigace je parketou největších a nejvýkonnějších strojů a velkých farem. Ceny GPS navigací i dalšího technického vybavení potřebného pro precizní zemědělství klesají, proto také menší farmáři mají možnost využívat jejich výhod.

Vzdálenější budoucnost pak může do praxe přinést autonomně se pohybující stroje, které jsou již dnes ve stádiu vývoje a testování. Komerčně nabízených traktorů bez řidiče bychom se podle profesora Františka Kumhály z Technické fakulty ČZU v Praze mohli dočkat do deseti let. Technologie umožňující bezobslužný pohyb strojů je z větší části připravena, problémem je ale legislativa související s provozem autonomního stroje na silnici (Gregušová a Kumhála, 2018). Odpověď na otázku, kdo bude moci za případnou nehodu způsobenou autonomně se pohybujícím vozidlem, intenzivně hledají především výrobci autonomních osobních a nákladních automobilů. Automobilky mají již dnes k dispozici vozidla schopná autonomního řízení, zákony České republiky v současné době jejich provoz neumožňují. Tlak na změnu legislativy je ze strany automobilového průmyslu ale velký. Je proto pravděpodobné, že prosazená změna legislativy proběhne brzy a otevře cestu také autonomní zemědělské technice (Ginterová, 2018).

Ještě vzdálenější budoucností jsou pak plní roboti. Již dnes jsou sice v nabídce roboti určené například pro plečkování a další operace, jejich kvalita práce je ale kolísavá. Výzkum provedený v Anglii prokázal, že současní roboti nejsou schopni při zcela autonomním provozu dosáhnout na ploše jednoho hektaru takového výnosu, jaký byl dosažen při dohlížení a zásazích člověka. Vývoj pokročilejších robotů může tuto situaci změnit, jejich příchod na trh zatím ale zatím není blíže specifikován (Gregušová a Kumhála, 2018).

3. Metodika

Hlavním cílem pokusu bude porovnání efektivity práce a ekonomické stránky provozu soupravy provádějící mělké zpracování půdy při použití GPS navigace a při ručním řízení. Pro účely tohoto porovnání bude třeba získat reálná data z terénu, proto bude v létě 2018 provedeno polní měření na pozemku Zemědělského družstva Maleč.

Zemědělské družstvo Maleč hospodaří na severozápadním okraji Českomoravské vrchoviny v oblasti CHKO Železné hory. Celková obhospodařovaná plocha činí 1750 ha, z toho připadá 1350 hektarů na ornou půdu a zbylých 400 ha tvoří trvalé travní porosty. Pozemky leží v nadmořské výšce 400 až 650 metrů nad mořem a jsou tvořeny středně těžkými a těžkými půdami. Kromě běžných tržních plodin jako ječmen, pšenice, řepka a kukuřice je zde pěstován také jílek, svazenka a jetel na semeno. Tyto plodiny jsou určeny k výrobě travních směsí. Dále je pěstován také kmín v jeho dvouleté kořenné formě. V pěstování kmínu dvouletého se ZD Maleč může řadit k největším a nejvýznamnějším pěstitelům v České republice.

Soupravu použitou k měření bude tvořit traktor CLAAS Axion 820 CMATIC (145 kW / 197 k) v kombinaci s krátkými diskovými branami Lemken Rubin 9/500 KUA o záběru 5 m. Traktor je vybaven systémem satelitní navigace Trimble tvořeným anténou AG25, monitorem CFX-750 a systémem asistovaného řízení EZ-Pilot. Používán bude plný RTK signál s udávanou maximální odchylkou 2,5 cm.



Obrázek 12: Souprava použitá k měření

Měření bude provedeno na pozemku nazývaném „Zálesí“, který se nachází v okrese Havlíčkův Brod nedaleko obce Jeřišno. Tento pozemek byl vybrán s ohledem na jeho pravidelný tvar, absenci přírodních nebo umělých překážek a zanedbatelný sklon. Dle registru LPIS má pozemek označení DPB 0701 (660-1080) a výměru 5,06 ha. Kód BPEJ činí 5.44.00. Půdní mapa uvádí, že většina pozemku je tvořena pseudoglejí, zbytek pak kambizemí.

Měření bude provedeno za suchých podmínek, aby nedocházelo k nežádoucímu prokluzu kol traktoru a použitý stroj správně držel stopu za tažným prostředkem. Zároveň bude vše provedeno na jediném pozemku v krátkém časovém úseku, aby podmínky celého měření byly, pokud možno, identické.

Pokus bude rozdělen na dvě části, přičemž při každé z nich souprava provede stejný počet průjezdů. Pro obě části pokusu bude využito stejné soupravy, stejného traktoristy a stejného pozemku. Hloubka zpracování bude v obou případech nastavena na stejnou hodnotu.

Před zahájením samotného pokusu bude změřen konstrukční záběr B_k diskových bran Lemken Rubin. Tento údaj nemusí přesně souhlasit s údaji uvedenými výrobcem, které mohou být zaokrouhleny, bude proto ověřen.

Dále bude vykolíkována oblast, ve které bude pokus probíhat. Pozemek je na jedné souvratí rovný, tato rovina proto bude zachována coby začátek měřené oblasti. Na protilehlé souvratí pak bude kolíky rovnoběžně s počáteční linií vyznačena linie ukončující měřenou oblast. Tím bude zaručeno, že každý z měřených průjezdů bude mít stejnou délku $d = 260$ metrů.

Rovněž bude určen počet průjezdů, který bude proveden v každé části měření. Vzhledem k šíři pozemku v jeho nejužším místě bude tento počet stanoven na $n = 12$. Tak bude zabráněno tomu, aby se souprava během měření pohybovala v blízkosti vzrostlých stromů, které by mohly ovlivnit přijímaný GPS signál a zkreslit tak měření. Okraje pozemku a nezpracované cípy zbylé po provedení plánovaných jízd nebudou do měření zahrnuty.

Pracovní rychlost bude v obou částech měření stejná. Bude udržována tempomatem nastaveným po celou dobu efektivní práce soupravy na hodnotu $V_p = 12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. V případě otáčení na souvratí bude řidič moci rychlost upravovat dle svého uvážení.

V první části pokusu bude využito technologie GPS. Nejprve bude vytvořena rovná AB linie podél okraje pozemku, následně souprava provede 11 paralelních jízd, při kterých bude naváděna za pomoci GPS navigace a systému asistovaného řízení Trimble. Celkem tedy bude provedeno 12 jízd.

Druhá část pokusu bude pro přehlednost oddělena vynecháním jednoho nebo více průjezdů od části předchozí. S pomocí GPS bude vytvořen výchozí rovný průjezd, poté bude systém asistovaného řízení deaktivován a traktorista naváže ručním řízením. Bude proveden stejný počet průjezdů jako v první části měření.

Data o pohybu soupravy budou v obou částech pokusu sledována terminálem navigačního systému a zapisována na flash disk. Pro kontrolu bude v obou případech provedeno také měření pásmem a stopkami. Měření pásmem bude probíhat ve střední části pozemku kolmo na směr jízdy soupravy. Střední část bude zvolena z toho důvodu, aby bylo zabráněno chybě měření v případě, že obsluha nenajede do linie zcela rovně a automatické řízení bude muset směr jízdy korigovat.

Celkový čas práce bude měřen od prvního zahloubení do posledního vyhloubení použitých diskových bran prostřednictvím stopek. Tento čas bude označený jako T_c .

Čas otáčení na souvrati, bude dalším parametrem měřeným stopkami. Tato doba bude měřena od vyhloubení do opětovného zahloubení diskových bran a bude označena jako T_{otn} , kde n značí pořadí otočky.

Efektivní pracovní záběr každé jízdy bude měřen pásmem. Měřit se bude vzdálenost navazovaných průjezdů soupravy od pevně daného bodu, který bude zvolen na vnější straně první zpracované líchy. Tím bude po odečtení předchozích získaných hodnot zjištěn přesný efektivní pracovní záběr B_{pn} , kdy n značí pořadí jízdy.

Po dokončení každé části pokusu bude pomocí pásma změřena také celková šířka zpracované líchy označená L_c

Spotřeba pohonných hmot bude sledována na palubním počítači traktoru. Paměť palubního počítače bude před zahájením každé části pokusu vymazána, aby nedošlo ke zkreslení měřených dat. Spotřeba, označovaná jako Q , bude měřena od prvního zahloubení do posledního vyhloubení diskových bran.

Vyhodnocení naměřených dat bude provedeno v programu MS Excel. Data získaná z terminálu GPS navigace budou porovnána s hodnotami získanými pomocí pásma a stopek. Následně bude vypočítán rozdíl.

Celková zpracovaná plocha bude vypočítána dle vztahu 1.

$$S = \frac{d * L_c}{10000} \quad (1)$$

Kde:

S = celková zpracovaná plocha [ha],

d = délka zpracovávané líchy [m],

L_c = celková šířka zpracované líchy [m].

Skutečná plošná výkonnost soupravy bude vypočítána dle vztahu 2.

$$W_s = \frac{1}{T_c} * S \quad (2)$$

Kde:

W_s = plošná výkonnost soupravy [$\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$],

T_c = celkový čas práce [s],

S = celková zpracovaná plocha [ha].

Celkový čas strávený otáčením na souvrati bude vypočítán dle vztahu 3:

$$T_s = \sum_{n=1}^{11} T_{ot_n} \quad (3)$$

Kde:

T_s = celkový čas strávený otáčením na souvrati [s],

T_{ot_n} = čas na jedno otočení [s], kde n značí pořadí otočky.

Průměrný čas otáčení pak bude zjištěn vztahem 4:

$$T_{ot} = \frac{T_s}{n - 1} \quad (4)$$

Kde:

T_{ot} = průměrný čas otáčení [s],

T_s = celkový čas strávený otáčením na souvrati [s],

n = celkový počet průjezdů soupravy.

Součinitel časového využití, tedy vyjádření efektivního času práce z celkové doby nasazení soupravy, bude vypočítán dle vztahu 5.

$$\tau = 1 - \frac{T_s}{T_c} \quad (5)$$

Kde:

τ = součinitel časového využití,

T_s = délka zpracovávané líchy [s],

T_c = celkový čas práce [s].

Průměrný efektivní pracovní záběr, tedy šířka pásu půdy zpracovaného jedním přejezdem, bude vypočítán dle vztahu 6.

$$B_p = \frac{L_c}{n} \quad (6)$$

Kde:

B_p = průměrný efektivní pracovní záběr [m],

L_c = celková šířka zpracované líchy [m],

n = celkový počet průjezdů soupravy.

Odchylka pracovního záběru od záběru konstrukčního bude vypočítána dle vztahu 7 pro každý průjezd samostatně. Záporná hodnota odchylky udává, jak široký pás půdy byl v místě měření zpracován opakovaně, kladná hodnota pak říká, jak široký pás byl vynechán a nedošlo tak k jeho zpracování.

$$d_n = B_{p_n} - B_k \quad (7)$$

Kde:

d_n = odchylka pracovního záběru od záběru konstrukčního [m], kde n značí pořadí jízdy,

B_{p_n} = efektivní pracovní záběr jízdy [m], kde n značí pořadí jízdy,

B_k = konstrukční pracovní záběr stroje [m].

Průměrná odchylka efektivního pracovního záběru od záběru konstrukčního bude vypočítána dle vztahu 8. První jízda soupravy je brána jako výchozí, proto bude z výpočtu vynechána.

$$d_p = \frac{\sum_{n=1}^{12} d_n}{n - 1} \quad (8)$$

Kde:

d_p = průměrná odchylka efektivního pracovního záběru od záběru konstrukčního [m],

d_n = odchylka pracovního záběru od záběru konstrukčního [m], kde n značí pořadí jízdy,

n = celkový počet průjezdů soupravy.

Součinitel využití pracovního záběru stroje neboli poměr mezi reálně využívaným pracovním záběrem a konstrukčním záběrem stroje bude vypočten dle vztahu 9.

$$\beta = \frac{B_p}{B_k} \quad (9)$$

Kde:

β = součinitel využití pracovního záběru stroje,

B_p = průměrný efektivní pracovní záběr [m],

B_k = konstrukční pracovní záběr stroje [m].

Spotřeba paliva na zpracovaný hektar bude vypočítána dle vztahu 10.

$$Q_{ha} = \frac{Q}{S} \quad (10)$$

Kde:

Q_{ha} = spotřeba paliva na zpracovaný hektar [$l \cdot ha^{-1}$],

Q = spotřeba pohonných hmot [l],

S = celková zpracovaná plocha [ha].

Pro ekonomické výpočty uvažována pořizovací cena navigačního systému (C_{gps}) 198 900 Kč, cena pohonných hmot (C_{phm}) 30 Kč.l⁻¹ a náklady na hodinovou mzdu zaměstnance včetně odvodů na sociální a zdravotní pojištění (C_z) 188 Kč. Výše ročního poplatku za placený RTK signál (C_{rtk}), která činí 27 000 Kč, bude rozdělena na tři díly, neboť traktor s navigací je kromě podmínky využíván také k přesnému setí a ke hnojení. Uvažováno bude roční využití soupravy (S_{rok}) 1 000 ha a amortizace navigačního systému bude nastavena na pět let.

Jednotkové náklady na pohonné hmoty, tedy náklady na pořízení pohonných hmot nutných ke zpracování 1 ha, budou vypočítány dle vztahu 11.

$$jN_{phm} = Q_{ha} * C_{phm} \quad (11)$$

Kde:

jN_{phm} = jednotkové náklady na pohonné hmoty [Kč.ha⁻¹],

Q_{ha} = spotřeba paliva na zpracovaný hektar [$l \cdot ha^{-1}$],

C_{phm} = cena pohonných hmot [Kč.l⁻¹].

Jednotkové náklady na mzdu zaměstnance, tedy náklady na mzdu zaměstnance na zpracování 1 ha, budou vypočítány dle vztahu 12.

$$jN_z = \frac{C_z}{W_s} \quad (12)$$

Kde:

jN_z = jednotkové náklady na mzdu zaměstnance [Kč.ha⁻¹],

C_z = hodinová mzda zaměstnance včetně odvodů na sociální a zdravotní pojištění [Kč.h⁻¹],

W_s = skutečná plošná výkonnost soupravy [ha.h⁻¹].

Celkové jednotkové náklady, tedy celkové náklady na zpracování 1 ha, budou vypočítány dle vztahu 13.

$$jN_c = jN_{phm} + jN_z \quad (13)$$

Kde:

jN_c = celkové jednotkové náklady [Kč.ha⁻¹],

jN_{phm} = jednotkové náklady na pohonné hmoty [Kč.ha⁻¹],

jN_z = jednotkové náklady na mzdu zaměstnance [Kč.ha⁻¹].

Roční náklady na amortizaci navigačního systému, tedy náklady na opotřebení navigačního systému při provozu, budou odepisovány rovnoměrně, bez ohledu na jeho skutečné opotřebení. Vzhledem k využití satelitní navigace ve třech různých agregacích traktoru (podmítka, hnojení a přesné setí) bude ve výpočtu uvažována třetina celkových nákladů na amortizaci. Náklady na roční amortizaci budou vypočítány dle vztahu 14.

$$N_{agps} = \frac{1}{3} * \frac{C_{gps}}{5} = [Kč.rok^{-1}] \quad (14)$$

Kde:

N_{agps} = roční náklady na amortizaci navigačního systému [Kč.rok⁻¹],

C_{gps} = pořizovací cena navigačního systému [Kč].

Celkové roční náklady na provoz soupravy s využitím GPS, tedy celkové náklady na pohonné hmoty, mzdu obsluhy a roční poplatek za signál RTK při plánovaném ročním využití soupravy, budou vypočítány dle vztahu 15.

$$rN_{cgps} = jN_c * S_{rok} + \frac{C_{rtk}}{3} + N_{agps} \quad (15)$$

Kde:

rN_{cgps} = celkové roční náklady s GPS [Kč],

jN_c = celkové jednotkové náklady [Kč.ha⁻¹],

S_{rok} = uvažované roční využití soupravy [ha],

C_{rtk} = výše ročního poplatku za placený RTK signál [Kč].

N_{agps} = roční náklady na amortizaci navigačního systému

Celkové roční náklady na provoz soupravy bez využití GPS, tedy celkové náklady na pohonné hmoty a mzdu obsluhy při plánovaném ročním využití soupravy, budou vypočítány dle vztahu 16.

$$rN_c = jN_c * S_{rok} \quad (16)$$

Kde:

rN_c = celkové roční náklady bez GPS [Kč],

jN_c = celkové jednotkové náklady [Kč.ha⁻¹],

S_{rok} = uvažované roční využití soupravy [ha].

Rozdíl ve spotřebě paliva mezi provozem soupravy bez systému GPS a s jeho využitím, vztažený na plánované roční využití, bude vypočítán v litrech dle vztahu 17 a v nákladech na pohonné hmoty dle vztahu 18.

$$dQ_{phm} = Q_{ha2} * S_{rok} - Q_{ha1} * S_{rok} [l] \quad (17)$$

Kde:

dQ_{phm} = rozdíl ve spotřebě paliva [l],

Q_{ha1} = spotřeba paliva na zpracovaný hektar s využitím GPS [l.ha⁻¹],

Q_{ha2} = spotřeba paliva na zpracovaný hektar bez využití GPS [l.ha⁻¹],

S_{rok} = uvažované roční využití soupravy [ha].

$$dN_{phm} = dQ_{phm} * C_{phm} [K\check{c}] \quad (18)$$

Kde:

dN_{phm} = rozdíl v nákladech na pohonné hmoty [Kč],

dQ_{phm} = rozdíl ve spotřebě paliva [l],

C_{phm} = cena pohonných hmot [Kč.l⁻¹].

Roční úspora času bude vypočítána v hodinách dle vztahu 19 a v nákladech na plat zaměstnance dle vztahu 20.

$$dT = \frac{S_{rok}}{W_{s2}} - \frac{S_{rok}}{W_{s1}} \quad (19)$$

Kde:

dT = roční úspora času [h],

S_{rok} = uvažované roční využití soupravy [ha].

W_{s1} = skutečná plošná výkonnost soupravy s využitím GPS [ha.h⁻¹],

W_{s2} = skutečná plošná výkonnost soupravy bez využití GPS [ha.h⁻¹].

$$dN_z = dT * C_z \quad (20)$$

Kde:

dN_z = rozdíl v nákladech na zaměstnance [Kč],

dT = roční úspora času [h],

C_z = hodinová mzda zaměstnance včetně odvodů na sociální a zdravotní pojištění [Kč.h⁻¹].

Rozdíl ročních provozních nákladů soupravy při plánovaném ročním využití bude vypočítán dle vztahu 21.

$$drN_p = dN_{phm} + dN_z \quad (21)$$

Kde:

drN_p = rozdíl ročních provozních nákladů soupravy [Kč],

dN_{phm} = rozdíl v nákladech na pohonné hmoty [Kč],

dN_z = rozdíl v nákladech na zaměstnance [Kč].

Celkový rozdíl ročních nákladů, tedy rozdíl ročních fixních i variabilních nákladů na provoz soupravy bez využití GPS a s využitím této technologie, bude vypočítán dle vztahu 22.

$$drN_c = rN_c - rN_{c_{gps}} \quad (22)$$

Kde:

drN_c = celkový rozdíl ročních nákladů [Kč],

rN_c = celkové roční náklady na provoz soupravy bez využití GPS [Kč],

$rN_{c_{gps}}$ = celkové roční náklady na provoz soupravy s využitím GPS [Kč].

4. Výsledky terénních pokusů

4.1 Podmínky měření

Měření proběhlo ve čtvrtek 6. 9. 2018 v odpoledních hodinách. Povrch pozemku byl tvořen nezpracovaným řepkovým strništěm se vzrostlým výdrolem řepky a plevelem. Organické hmoty nebylo na pozemku tolik, aby docházelo k zahlcování nebo případně ucpávání použitých diskových bran. Stav pozemku před zpracováním je patrný na obrázku 15.

Během měření bylo polojasno, bezvětrí a teplota vzduchu dle palubního počítače traktoru činila 22° C. Díky suchému létu byla půda vyschlá, přestože dva dny před měřením bylo v nedaleké obci Jeřišno naměřeno 15 mm srážek. Měření srážek bylo provedeno běžným domácím srážkoměrem.

Parametry pohybu soupravy byly v obou případech identické. Pracovní rychlost soupravy byla nastavena na 12 km/h, hloubka zpracování činila 5 cm. Prokluz kol traktoru, zobrazovaný na palubním počítači, se během pokusu pohyboval od 0 do 3 %, proto jej lze považovat za zanedbatelný.

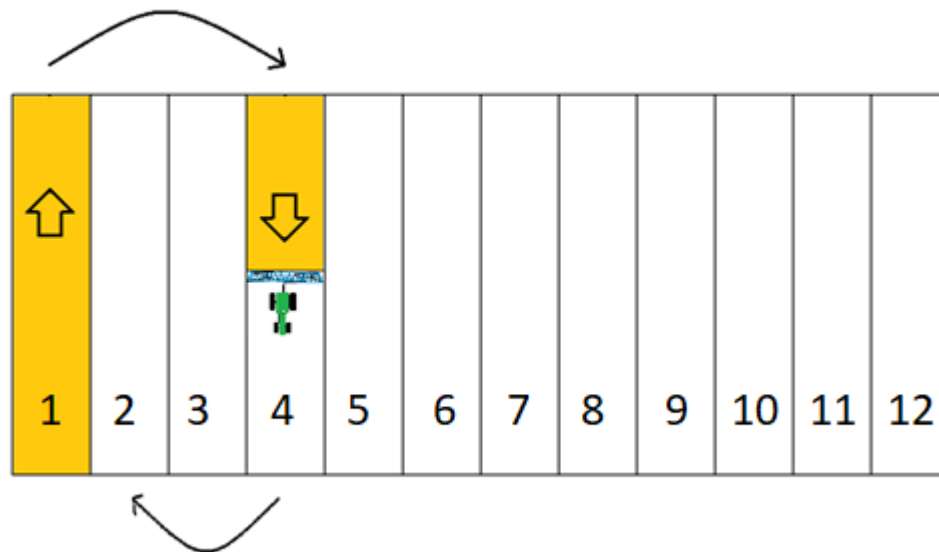
4.2 Získané hodnoty

Naměřené hodnoty byly získány měřením pásmem a stopkami, jak je popsáno v metodice pokusu. Původně se mělo jednat pouze o kontrolní měření sloužící k porovnání s údaji získanými navigačním systémem, tato data se však zřejmě vinou špatného souborového systému použitého flash disku nepodařilo z terminálu navigačního systému vyexportovat. Terminál s flash diskem vůbec nekomunikoval, disk byl pro něj „neviditelný“. Vzhledem k blížícímu se termínu setí na zvoleném pozemku a nutnosti zpracovat také další pole, nebylo možné pokus přerušit a soupravu odstavit, dokud nebude problém vyřešen. Z toho důvodu je dále počítáno pouze s údaji získanými ručním měřením.

Byl změřen konstrukční záběr použitých krátkých diskových bran Lemken Rubin 9/500 KUA. Pracovní záběr B_k činil 4,90 metru.

4.2.1 S využitím GPS navigace

Při využití paralelního navádění pomocí GPS navigace a systému asistovaného řízení Trimble se souprava po pozemku pohybovala v režimu vynechání průjezdů. Po dokončení první linie bylo navázáno linií čtyři, poté se souprava přesunula na linii dva, následně pět a tak dále. Přesné pořadí zpracování jednotlivých linií je naznačeno na obrázku 13 a popsáno v tabulce 2.



Obrázek 13: Schéma pohybu soupravy s využitím GPS s vyznačenými čísly linií

Tabulka 2: Pořadí zpracování linií s využitím GPS

Linie číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pořadí zpracování	1.	3.	5.	2.	4.	6.	8.	10.	12.	7.	9.	11.

Celkový čas zpracování všech 12 lích T_c činil 1 085 sekund (0,301 h).

Naměřené časy otáčení soupravy na souvrati:

Tabulka 3: Časy otáčení soupravy na souvrati s využitím GPS

Otočka číslo	Čas T_{ot_n} [s]
1	13,92
2	13,18
3	11,84
4	12,49
5	11,97
6	13,53
7	12,86
8	13,72
9	12,63
10	13,22
11	13,56

Naměřený efektivní pracovní záběr každé jízdy soupravy:

Tabulka 4: Naměřené efektivní záběry s využitím GPS navigace

Pořadí jízdy	Efektivní pracovní záběr B_{p_n} [m]
1	4,90
2	4,88
3	4,89
4	4,87
5	4,88
6	4,90
7	4,93
8	4,88
9	4,92
10	4,88
11	4,86
12	4,93

Spotřeba pohonných hmot odečtená z palubního počítače traktoru po provedení první části pokusu $Q = 7,4$ litru.

Celková šířka líchy zpracované v první části pokusu $L_c = 58,720$ metrů.

Celková zpracovaná plocha:

$$S = \frac{260 * 58,72}{10000} = 1,527 [ha]$$

Plošná výkonnost soupravy:

$$W_{s1} = \frac{1}{0,301} * 1,527 = 5,073 [ha. h^{-1}]$$

Celkový čas otáčení na souvrati:

$$T_s = \sum_{n=1}^{11} T_{ot_n} = 142,92 [s]$$

Průměrný čas otáčení na souvrati:

$$T_{ot} = \frac{142,92}{11} = 12,993 [s]$$

Součinitel časového využití:

$$\tau = 1 - \frac{142,92}{1085} = 0,868$$

Průměrný efektivní pracovní záběr:

$$B_p = \frac{58,72}{12} = 4,893 \text{ [m]}$$

Jednotlivé odchylky efektivního záběru od konstrukčního:

$$d_2 = B_{p2} - B_k = 4,88 - 4,90 = -0,02 \text{ [m]}$$

Tabulka 5: Odchylky od konstrukčního záběru s využitím GPS

Pořadí jízdy	Efektivní pracovní záběr B_{p_n} [m]	Odchylka od konstrukčního záběru d_n [m]
1	4,90	0,00
2	4,88	-0,02
3	4,89	-0,01
4	4,87	-0,03
5	4,88	-0,02
6	4,90	0,00
7	4,93	0,03
8	4,88	-0,02
9	4,92	0,02
10	4,88	-0,02
11	4,86	-0,04
12	4,93	0,03

Průměrná odchylka efektivního pracovního záběru od záběru konstrukčního:

$$d_p = \frac{-0,08}{11} = -0,007 \text{ [m]}$$

Součinitel využití pracovního záběru:

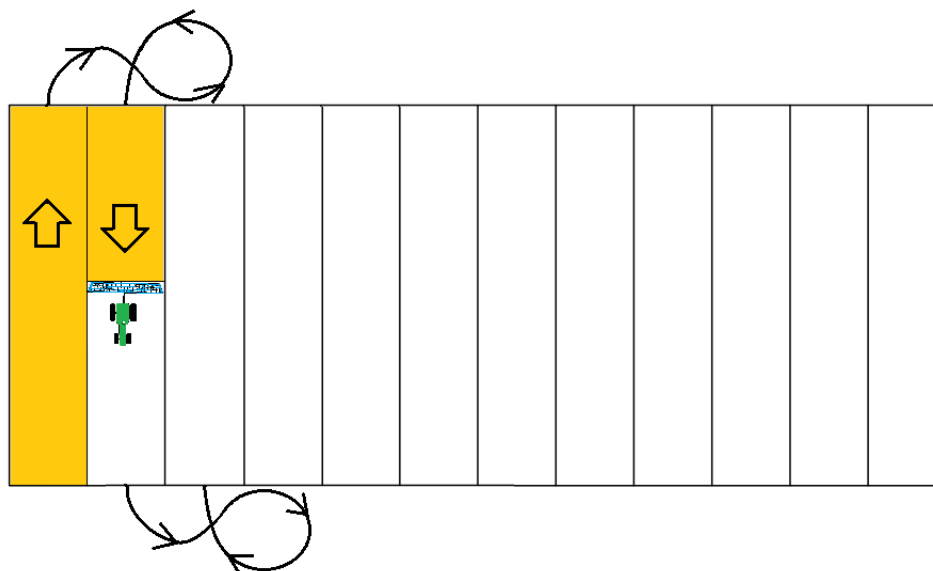
$$\beta = \frac{4,893}{4,9} = 0,999$$

Plošná spotřeba paliva:

$$Q_{ha1} = \frac{7,4}{1,527} = 4,846 \text{ [l. ha}^{-1}\text{]}$$

4.2.2 Bez využití GPS navigace

Při práci bez použití navigace obdělávala souprava pozemek od jedné strany ke druhé člunkovým pohybem, tedy bez vynechávání linií. Po dokončení první linie souprava provedla smyčkovou otočku a navázala linií číslo dvě, jak je znázorněno na obrázku číslo 14. Takto bylo provedeno všech dvanáct průjezdů.



Obrázek 14: Schéma pohybu soupravy bez využití GPS navigace

Celkový čas zpracování všech 12 líní T_c činil 1 247 sekund (0,346 h).

Naměřené časy otáčení soupravy na souvrati:

Tabulka 6: Časy otáčení soupravy na souvrati bez využití GPS

Otočka číslo	Čas T_{ot_n} [s]
1	27,73
2	26,05
3	27,52
4	25,68
5	26,44
6	25,89
7	27,04
8	25,93
9	27,36
10	26,49
11	26,80

Naměřený efektivní pracovní záběr každé jízdy soupravy:

Tabulka 7: Naměřené efektivní záběry bez využití GPS

Pořadí jízdy	Efektivní pracovní záběr B_{p_n} [m]
1	4,90
2	4,69
3	5,04
4	4,32
5	4,93
6	4,55
7	4,85
8	4,66
9	4,87
10	4,46
11	4,77
12	4,72

Spotřeba pohonných hmot odečtená z palubního počítače traktoru po provedení první části pokusu $Q = 7,9$ litru.

Celková šířka líchy zpracované v první části pokusu $L_c = 56,760$ metrů.

Celková zpracovaná plocha:

$$S = \frac{260 * 56,76}{10000} = 1,476[ha]$$

Skutečná plošná výkonnost soupravy:

$$W_{s2} = \frac{1}{0,346} * 1,476 = 4,266 [ha \cdot h^{-1}]$$

Celkový čas otáčení na souvrati:

$$T_s = \sum_{n=1}^{11} T_{ot_n} = 292,930 [s]$$

Průměrný čas otáčení:

$$T_{ot} = \frac{292,93}{11} = 26,630 [s]$$

Součinitel časového využití:

$$\tau = 1 - \frac{292,93}{1247} = 0,765$$

Průměrný efektivní pracovní záběr:

$$B_p = \frac{56,76}{12} = 4,73 \text{ [m]}$$

Odchyly efektivního záběru od konstrukčního záběru:

$$d_2 = B_{p2} - B_k = 4,69 - 4,9 = -0,21 \text{ [m]}$$

Tabulka 8: Odchyly od konstrukčního záběru bez využití GPS

Pořadí jízdy	Efektivní pracovní záběr B_{p_n} [m]	Odchylna od konstrukčního záběru d_n [m]
1	4,90	0,00
2	4,69	-0,21
3	5,04	0,14
4	4,32	-0,58
5	4,93	0,03
6	4,55	-0,35
7	4,85	-0,05
8	4,66	-0,24
9	4,87	-0,03
10	4,46	-0,44
11	4,77	-0,13
12	4,72	-0,18

Průměrná odchylna efektivního pracovního záběru od záběru konstrukčního:

$$d_p = \frac{-2,04}{11} = -0,186 \text{ [m]}$$

Součinitel využití pracovního záběru:

$$\beta = \frac{4,730}{4,9} = 0,965$$

Plošná spotřeba paliva:

$$Q_{ha2} = \frac{7,9}{1,476} = 5,352 \text{ [l. ha}^{-1}\text{]}$$

4.3 Ekonomika provozu

4.3.1 S využitím GPS

Jednotkové náklady na pohonné hmoty:

$$jN_{phm} = 4,846 * 30 = 145,380 \text{ [Kč]}$$

Jednotkové náklady na mzdu zaměstnance:

$$jN_z = \frac{188}{5,073} = 37,059 \text{ [Kč]}$$

Celkové jednotkové náklady:

$$jN_{cgps} = 145,380 + 37,059 = 182,439 \text{ [Kč]}$$

Náklady na amortizaci navigačního systému:

$$N_{agps} = \frac{1}{3} * \frac{198900}{5} = 13\,260 \text{ [Kč.rok}^{-1}\text{]}$$

Celkové roční náklady s využitím GPS:

$$rN_{cgps} = 182,439 * 1000 + \frac{27000}{3} + 13260 = 204\,699 \text{ [Kč]}$$

4.3.2 Bez využití GPS

Jednotkové náklady na pohonné hmoty:

$$jN_{phm} = 5,352 * 30 = 160,560 \text{ [Kč]}$$

Jednotkové náklady na mzdu zaměstnance:

$$jN_z = \frac{188}{4,266} = 44,069 \text{ [Kč]}$$

Celkové jednotkové náklady:

$$jN_c = 160,560 + 44,069 = 204,629 \text{ [Kč]}$$

Celkové roční náklady bez využití GPS:

$$rN_c = 204,629 * 1000 = 204\,629 \text{ [Kč]}$$

4.3.3 Úspory spojené s využitím GPS

Roční úspora pohonných hmot:

$$dQ_{phm} = 5,352 * 1000 - 4,846 * 1000 = 506 [l]$$

Roční úspora nákladů na pohonné hmoty:

$$dN_{phm} = 506 * 30 = 15\,180 [Kč]$$

Roční úspora času:

$$dT = \frac{1000}{5,073} - \frac{1000}{4,266} = 37,29 [h]$$

Roční úspora nákladů na plat zaměstnance:

$$dN_z = 37,29 * 188 = 7010,52 [Kč]$$

Rozdíl ročních nákladů na provoz soupravy:

$$drN_p = 15180 + 7010,52 = 22\,190,52 [Kč]$$

Celkový rozdíl ročních nákladů:

$$drN_c = 204629 - 204699 = -70 [Kč]$$

4.4 Shrnutí výsledků

Měření prokázalo rozdíl v efektivitě práce a v ekonomických parametrech provozu soupravy vedené v jednom případě řidičem a v druhém případě systémem asistovaného řízení Trimble. Nejdůležitější výsledky jsou obsaženy v tabulce 9.

Tabulka 9: Shrnutí výsledků pokusu

	S GPS	Bez GPS
W_s = skutečná plošná výkonnost [ha.h ⁻¹]	5,073	4,266
Q_{ha} = spotřeba paliva na hektar [l.ha ⁻¹]	4,846	5,352
B_p = efektivní pracovní záběr [m]	4,893	4,730
d_p = odchylka průměrná [m]	-0,007	-0,186
β = součinitel využití pracovního záběru	0,999	0,965
T_{ot} = průměrný čas otáčení [s]	12,993	26,630
τ = součinitel časového využití	0,868	0,765
jN_c = celkové náklady na zpracování 1 ha [Kč.ha ⁻¹]	182,439	204,629
Poměrové náklady na amortizaci GPS navigace [Kč.rok ⁻¹]	22 260	-
Celkové roční náklady (1 000 ha.rok ⁻¹) [Kč.rok ⁻¹]	204 699	204 629

Tabulka 10 zobrazuje roční úspory spojené s využitím systému GPS při uvažovaném využití měřené soupravy 1 000 ha ročně.

Tabulka 10: Roční úspory spojené s využitím GPS u měřené soupravy při ročním využití 1000 ha

Úspora pohonných hmot [l.rok ⁻¹]	506
Úspora nákladů na pohonné hmoty [Kč.rok ⁻¹]	15 180
Úspora časová [h.rok ⁻¹]	37,29
Úspora nákladů na plat zaměstnance [Kč.rok ⁻¹]	7010,52
Rozdíl variabilních nákladů na provoz soupravy [Kč.rok ⁻¹]	22 190,52



Obrázek 15: Pozemek po provedení pokusu. Vlevo část zpracovaná s využitím GPS, vpravo bez GPS

5. Diskuse

Výsledky jasně dokazují, že využití GPS navigace a systému asistovaného řízení Trimble při zpracování půdy má pozitivní efekt na plošnou výkonnost, spotřebu paliva a také celkovou efektivitu provozu měřené soupravy.

S využitím systému GPS bylo dosaženo hodinové plošné výkonnosti $5,073 \text{ ha}\cdot\text{h}^{-1}$, což je o více než 18 % lepší hodnota než v případě ručního řízení stroje, kdy výkonnost dosáhla $4,266 \text{ ha}\cdot\text{h}^{-1}$. Tato úspora je dána efektivnějším využitím pracovního záběru stroje a také výrazně kratším časem, který souprava tráví otáčením na souvrati. Díky vyšší hodinové výkonnosti bude při odhadovaném ročním využití soupravy 1000 hektarů uspořeno 37,29 pracovní hodiny traktoru, což přináší hned několik výhod. Jednak je možno nevyužitý traktor odstavit a ročně tak ušetřit více než 7 000 Kč na platu jeho obsluhy, nebo traktor využít v jiné agregaci, což dále zvyšuje efektivitu práce v zemědělském podniku. Díky menšímu časovému využití také traktor najede méně motohodin, z čehož lze usoudit, že bude méně opotřebován a také náklady na jeho údržbu tak budou nižší. Poslední výhodou, kterou časová úspora přináší, je pak možnost lépe naplánovat činnost soupravy tak, aby byla práce provedena za ideálních podmínek a při dodržení agrotechnických lhůt.

Spotřeba pohonných hmot klesla z $5,352 \text{ l/ha}$ bez využití GPS na $4,846 \text{ l/ha}$ s využitím navigačního systému. Rozdíl ve spotřebě nafty na zpracovaný hektar přinese při odhadovaném ročním využití soupravy úsporu 506 litrů paliva za rok provozu. Úsporu paliva je možno vyjádřit ekonomicky, kdy při uvažované ceně motorové nafty 30 Kč za litr bude ročně uspořeno 15 180 Kč v nákladech na pohonné hmoty traktoru. Neméně důležité je také ekologické hledisko úspory paliva. Hodnota emisí, které vzniknou spálením 506 litrů nafty motorem, který plní poměrně benevolentní emisní normu Tier III, bude významná.

Jak je patrné z tabulek 9 a 10, u měřené soupravy při uvažovaném rozsahu práce 1000 ha ročně nedojde při využití GPS navigace k dostatečné úspoře nákladů. Ačkoli bylo dosaženo lepšího využití konstrukčního záběru stroje a zkrácení doby strávené otáčením soupravy na souvrati, finanční úspora vyjádřená náklady na palivo a plat obsluhy nedostačuje k pokrytí poměrné části pořizovací ceny navigačního systému a nákladů na předplatné signálu RTK. Finanční rozdíl činí v případě uvažovaného využití zanedbatelných 70 Kč ve prospěch soupravy, která by navigačním systémem nebyla vybavena. Jde o minimální rozdíl, který mohl být

ovlivněn zvoleným pozemkem, navigačním systémem, způsobem otáčení, nebo také tím, že měření pásmem probíhalo pouze v jednom bodě pozemku a data z terminálu navigačního systému nebyla pro vyhodnocení k dispozici. Měření navíc proběhlo za ideálních podmínek. Lze očekávat, že při zhoršené viditelnosti, například v mlze nebo za tmy, by odchylka při ručním řízení byla vyšší, než jaká byla naměřena během provedeného pokusu.

Bylo tedy dosaženo bodu zlomu, kdy při nepatrně vyšším ročním využití soupravy nebo vyšších nákladech na provoz (cena PHM, mzda zaměstnance aj.) by již bylo výhodnější provozovat stroj vybavený navigačním systémem. V případě rovnocenných nákladů však velkou roli hraje časová úspora, která v případě měřené soupravy činí nezanedbatelných 37,29 hodin ročně.

Bylo tedy dosaženo takzvaného bodu zlomu, po jehož překročení se GPS navigace již začíná vyplácet. Aby u měřené soupravy bylo dosaženo úspor, musela by ročně zpracovat větší plochu, než uvažovaných 1 000 hektarů. Dále by navigace využívající RTK signál o vysoké přesnosti přispěla ke zlepšení ekonomiky provozu soupravy v případě navýšení cen pohonných hmot nebo mzdy obsluhy traktoru.

Jak ale již bylo řečeno, finanční stránka není jediným parametrem, který je při provozu soupravy třeba sledovat. Úspora času může být v zemědělské praxi často důležitějším parametrem, než je úspora financí. Obzvláště pak při tak malém rozdílu nákladů, jaký byl zjištěn provedeným měřením. Nemalou roli může hrát také ekologické hledisko spojené s úsporou nafty a tím také emisí traktoru.

Je také třeba zmínit, že u soupravy, která byla k měření použita, není efektivita provozu při podmítce prioritní záležitostí. Jedná se pouze o doplňkové využití traktoru. Navigační systém využívající signál RTK s maximální dostupnou přesností byl zakoupen převážně z důvodu setí kukuřice, kdy je traktor spřažen s přesným secím strojem Monosem vybaveným systémem sekční kontroly. Tento systém ovládá každé výsevní ústrojí osmiřádkového secího stroje samostatně, přičemž ke správnému fungování potřebuje co nejpřesnější GPS signál. Zde se díky úsporám na osivu a také hnojivu, které secí stroj zároveň ukládá pod patu zakládaného porostu, nejvíce projeví přínosy GPS navigace a obecně technologií precizního zemědělství. Jak řekl mechanizátor Zemědělského družstva Maleč, pan Roman Musílek, pořízení navigačního systému do traktoru CLAAS Axion 820 by se podniku vyplatilo i v případě, že by systém GPS byl využíván pouze při přesném setí kukuřice a po celý zbytek roku by nebyl nasazen.

6. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo porovnání stejné technologie zpracování půdy, která byla v prvním případě provedena za pomoci paralelního navádění soupravy pomocí technologie Global Positioning System a systému asistovaného řízení a v druhém případě za pomoci ručního řízení soupravy. Teoretická část práce poskytuje úvod do problematiky globálních navigačních satelitních systémů a popisuje možnosti jejich využití v současné zemědělské technice. Praktická část je tvořena polním měřením, kterým byl zjišťován rozdíl ve výkonnosti a efektivitě provozu soupravy při využití a bez použití GPS navigace.

Mezi hlavní výhody lze zařadit urychlení průběhu prací a úsporu paliva, což bylo také prokázáno provedeným měřením. Nezanedbatelným kladem je rovněž nižší ekologická zátěž vzniklá provozem soupravy, daná menším objemem spotřebovaného paliva. Systém GPS navíc nabízí spolehlivé navádění také ve tmě nebo mlze, což jsou faktory, které by dále mohly ovlivnit využití pracovního záběru stroje v případě ručního řízení. Zvláště v kombinaci s dalšími prvky systému precizního zemědělství pak může systém GPS vést také k finančním úsporám a ke zvýšení výnosů pěstovaných plodin.

Mezi nevýhody systému patří vysoké pořizovací náklady a také náchylnost na rušení či zastínění signálu překážkami. Dalším negativem může být požadavek na kompetentní a dostatečně proškolenou obsluhu samotného stroje vybaveného navigací. Dle pana Musílka, mechanizátora ZD Maleč, ne každý pracovník je schopný nebo ochotný vzdělávat se v používání moderních prvků výbavy zemědělské techniky.

Jak bylo řečeno již v úvodu práce, je faktem, že digitalizace, automatizace si nachází cestu i do tak konzervativního oboru, jakým je zemědělství. Systém GPS a také ostatní prvky precizního zemědělství jsou pro budoucí rozvoj oboru důležité. Některé z prvků, jako například paralelní navádění a sekční ovládání strojů, jsou již dnes běžně nasazovány také na českých polích. Další z prvků, jejichž příkladem může být systém CTF nebo polní roboty, se do praxe dostávají pomaleji. Důležité ale je, aby se zemědělci nastupujících technologií nebáli a nasazovali je na svých polích, neboť tím mohou značně usnadnit, zjednodušit a zefektivnit svoji práci.

Seznam použité literatury

1. AGRI CS, (2019). *Systémy asistovaného řízení Trimble*. AGRI CS [online]. AGRI CS, 2019 [cit. 02. 03. 2019]. Dostupné z: <https://www.agrics.cz/systemy-asistovaneho-rizeni?sid=8dad95f06df4104504a4a1aa73198ef3>
2. BeiDou, (2018). *The BDS-3 Preliminary System Is Completed to Provide Global Services*. BeiDou. [online]. BeiDou, 27. 12. 2018 [cit. 11. 02. 2019]. Dostupné z: http://en.beidou.gov.cn/WHATSNEWS/201812/t20181227_16837.html
3. BENEŠ, P. (2011). *GPS navigace – správná cesta k úsporám*. Zemědělec: zemědělský zpravodajský portál [online]. Praha: Profi Press s.r.o. 2. 9. 2011 [cit. 15. 02. 2019]. Dostupné z: <https://zemedelec.cz/gps-navigace-spravna-cesta-k-usporam/>
4. BENEŠ, P. (2018a). *Autonomní stroje míří do praxe*. Mechanizace zemědělství: odborný časopis pro zemědělskou a lesnickou techniku. Praha: Profi Press s.r.o, 2018, 68 (5), 68-69. ISSN 0373-6776.
5. BENEŠ, P. (2018b). *Zajímavá vize dílčího CTF*. Mechanizace zemědělství: odborný časopis pro zemědělskou a lesnickou techniku [online]. Praha: Profi Press s.r.o. 4. 8. 2018 [cit. 15. 02. 2019]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/zajimava-vize-dilciho-ctf/>
6. CNH Industrial (2017). *Case IH Autonomous Concept Tractor Receives GOOD DESIGN Award*. CNH Industrial Newsroom [online]. CNH, 20. 12. 2017 [cit. 15. 02. 2019]. Dostupné z: <https://media.cnhindustrial.com/NORTH-AMERICA/CASE-IH/LATEST-NEWS/case-ih-autonomous-concept-tractor-receives-good-design-award/s/ae36687b-45b6-44b7-a504-3cd75b174993>
7. ČÁBELKA, M. (2008). *Úvod do GPS*. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze. Výukový materiál. Praha: PF UK, 2008.
8. Český kosmický portál (2017). *Čínský navigační systém Beidou / Compass*. Český kosmický portál [online]. Český kosmický portál, 2017 [cit. 31. 01. 2019]. Dostupné z: <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/gnss-mimo-evropu/cinsky-beidou---compass/>

9. DEGANI, A. (2004) *Taming Hal: designing interfaces beyond 2001*. New York: Palgrave Macmillan. ISBN 978-031-2295-745.
10. FALTA, K. (2015). *Zkušenosti z podniku ADG Lützen*. HORSCH. [online] Horsch, 7. 10. 2015 [cit. 15. 02. 2019]. Dostupné z: https://www.horsch.com/cz/news/news/detail-view/?tx_news_pi1%5Bnews%5D=788&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=e3cff8f1d5f533be9465043ff21a6d8c
11. Galileo (2018). *Galileo is the European global satellite-based navigation system*. European Global Navigation Satellite Systems Agency. [online]. European GNSS Agency, 27. 11. 2018 [cit. 31. 01. 2019]. Dostupné z: <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/galileo/galileo-european-global-satellite-based-navigation-system>
12. GINTEROVÁ, M. (2018). *Samořiditelná auta už brzy změní svět. Velkou neznámou jsou zatím hlavně pro právníky*. ČT24: Nejdůvěryhodnější zpravodajský web v ČR [online]. Česká televize, 5. 4. 2018 [cit. 09. 03. 2019]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/ekonomika/2436730-samoriditeln-a-uta-uz-brzy-zmeni-svet-velkou-neznamou-jsou-zatim-hlavne-pro>
13. GIS Resources, (2015). *GLONASS + GPS = Many Advantages*. GIS Resources [online]. GIS Resources, 13. 2. 2015 [cit. 10. 03. 2019]. Dostupné z: <http://www.gisresources.com/glonass-gps-many-advantages/>
14. GLONASS (2019b). *GLONASS constellation status*. Information and analysis center for positioning, navigation and timing [online]. GLONASS, 2019 [cit. 11. 02. 2019]. Dostupné z: <https://www.glonass-iac.ru/en/GLONASS/index.php>
15. GLONASS, (2019a). *Glonass history*. Information and analysis center for positioning, navigation and timing [online]. GLONASS, 2019 [cit. 11.02. 2019]. Dostupné z: <https://www.glonass-iac.ru/en/guide/index.php>
16. GREGUŠOVÁ, V. a KUMHÁLA, F. (2018). *Musíme zlepšovat zemědělský mainstream*. Sedmá generace [online]. Sedmá generace, 21. 6. 2018 [cit. 09.03.2019]. Dostupné z: <https://www.sedmagenerace.cz/musime-zlepsovat-zemedelsky-mainstream/>
17. HORSCH, (2018). Propagační materiál. Terra Horsch: Zemědělství na celý život. 11/2018.

18. IntelligentAg, (2017). *John Deere 1910 Air Carts Can Now Be Retrofitted with Section Control*. IntelligentAg [online]. IntelligentAg, 13. 11. 2017 [cit. 11. 02. 2019]. Dostupné z: <http://www.intelligentag.com/2017/11/13/john-deere-1910-air-carts-retrofitted-section-control/>
19. John Deere, (2019). *Section Control*. John Deere [online]. John Deere, 2019 [cit. 10. 03. 2019]. Dostupné z: <https://www.deere.co.uk/en/agricultural-management-solutions/precision-farming/section-control/>
20. KOVÁŘ, P. (2016). *Družicová navigace: od teorie k aplikací v softwarovém přijímači*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2016. ISBN 9788001059890.
21. LÁSKA, T., TEŠNAR, M., SLABÝ, J. a SUKUP, J. (2010). *Globální navigační satelitní systémy a jejich využití v praxi*. Ústav automatizace a měřicí techniky, Vysoké učení technické v Brně. Výukový materiál [online]. Brno: Vysoké učení technické, 2010.
22. Loch, T. a Kovaříček, P. (2005). *Navigační systémy pro řízení pohybu techniky po pozemcích*. In. Hůla, J. (2005). *Konkurenceschopné produkční systémy pro trvale udržitelné a multifunkční zemědělství*. Projekt NAZV č. 1G57042, Praha, 2005: s. 93-100.
23. Lokátory.cz, (2019). *Sledování zemědělské techniky*. Lokátory.cz - GPS sledování vozidel [online]. TANGO spol. s r. o. 2019 [cit. 02. 03. 2019]. Dostupné z: <https://www.lokatory.cz/sledovani-zemedelske-techniky>
24. Los Angeles Air Force Base (2018). *First GPS III satellite successfully launched*. Los Angeles Air Force Base [online]. Los Angeles Air Force Base, 23. 12. 2018 [cit. 15. 02. 2019] Dostupné z: <https://www.losangeles.af.mil/News/Article-Display/Article/1720821/first-gps-iii-satellite-successfully-launched/>
25. LUKAS, V., NEUDERT, L. a KŘEN, J (2010). *Precizní zemědělství a jeho přínosy*. Zemědělec: zemědělský zpravodajský portál [online]. Praha: Profi Press s.r.o. 6. 8. 2010 [cit. 15. 02. 2019]. Dostupné z: <https://zemedelec.cz/precizni-zemedelstvi-a-jeho-prinosy/>
26. LUKAS, V., NEUDERT, L. a KŘEN, J. (2011). *Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství: metodika pro praxi*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011. ISBN 9788073755621.

27. MILATA, P. (2006). *AgGPS EZ-Guide Plus – vysoko nastavená laťka*. Leading Farmers [online]. Leading Farmers 23. 7. 2006 [cit. 02. 03. 2019]. Dostupné z: <https://www.leadingfarmers.cz/knihovna/clanky/detail/aggps-ez-guide-plus-vysoko-nastavena-latka/11>
28. NASA, (2017). *Global Positioning System History*. NASA [online]. NASA, 7. 8. 2017 [cit. 11. 02. 2019]. Dostupné z: https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/policy/GPS_History.html
29. NEUDERT, L. a LUKAS, V. (2015). *Precizní zemědělství: technologie a metody v rostlinné produkci*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 9788075093110.
30. RussianSpaceWeb, (2018). *GLONASS-K2 satellite*. RussianSpaceWeb [online]. RussianSpaceWeb, 9. 11. 2018 [cit. 11.02. 2019]. Dostupné z: <http://www.russianspaceweb.com/glonass-k2.html>
31. SENDLEROVÁ, A. (2016). *Možnosti využití rozšířené reality ve venkovské krajině*. Brno, 2016. Diplomová práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Doc. RNDr. Petr Kubíček, CSc.
32. STEINER, I. a ČERNÝ, J. (2006). *GPS od A do Z*. 4., aktualiz. vyd. Praha: eNav, 2006. ISBN 8023975161.
33. Strom Praha (2018a). *Ovládání sekčí John Deere*. Strom Praha [online]. STROM PRAHA a.s. 2018 [cit. 11. 03. 2019]. Dostupné z: [http://www.strompraha.cz/produkty/zemedelska-technika/old-ams-\(presne-zemedelstvi\)/precizni-zemedelstvi/ovladani-sekci-john-deere/](http://www.strompraha.cz/produkty/zemedelska-technika/old-ams-(presne-zemedelstvi)/precizni-zemedelstvi/ovladani-sekci-john-deere/)
34. Strom Praha, (2018b). *Navigace a moderní technologie v praxi*. Strom Praha [online]. STROM PRAHA a.s. 12. 11. 2018 [cit. 11.03.2019]. Dostupné z: <http://www.strompraha.cz/o-nas/novinky/navigace-a-moderni-technologie-v-praxi>
35. Ventura-Traveset, J. (2013). *Satellite Navigation: the on-going revolution*. European Space Agency [online]. European Space Agency, 17. 5. 2013 [cit. 31. 01. 2019]. Dostupné z: https://www.cosmos.esa.int/documents/13611/375201/170513_Ventura_Traveset.pdf/f8224fde-c352-48a6-ba58-a373a0facc9b

36. VONDRÁK, J. (2013). *Historie navigace – od kvadrantu k GNSS*. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie [online]. 2013, **58** (1), 11-20 [cit. 31. 01. 2019]. Dostupné z:

<https://dml.cz/handle/10338.dmlcz/143254>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Popis generací satelitů GPS (gps.gov, 2018).....	4
Obrázek 2: Útlum signálu přírodními a umělými překážkami (GIS Resources, 2015)9	
Obrázek 3: GPS monitoring traktoru v praxi (Lokátory.cz, 2019)	10
Obrázek 4: Příklad možností paralelního navádění (Neudert a Lukas, 2015)	11
Obrázek 5: Světelná lišta Trimble EZ-Guide Plus Lightbar s displejem (Leading Farmers, 2019)	12
Obrázek 6: Systémy asistovaného řízení Trimble. Externí motor (vlevo) a volant s integrovaným motorem (vpravo) (AGRI CS, 2019, upraveno autorem)	13
Obrázek 7: Koncept autonomního traktoru Case IH ACV (CNH Industrial, 2017)..	14
Obrázek 8: Příklad mechanizační linky pro CTF v rastru 12 metrů (Beneš, 2018b). 15	
Obrázek 9: Popis prvků systému sledování výnosu u sklízecí mlátičky (Neudert a Lukas, 2015).....	16
Obrázek 10: Ukázka činnosti sekční kontroly secího stroje (IntelligentAg, 2017) ...	17
Obrázek 11: Porost založený s využitím sekční kontroly přesného secího stroje (John Deere, 2019).....	18
Obrázek 12: Souprava použitá k měření	20
Obrázek 13: Schéma pohybu soupravy s využitím GPS s vyznačenými čísly linií... 31	
Obrázek 14: Schéma pohybu soupravy bez využití GPS navigace.....	34
Obrázek 15: Pozemek po provedení pokusu. Vlevo část zpracovaná s využitím GPS, vpravo bez GPS.....	39

Seznam tabulek

Tabulka 1: Popis nosných frekvencí signálu GPS	7
Tabulka 2: Pořadí zpracování linií s využitím GPS	31
Tabulka 3: Časy otáčení soupravy na souvrati s využitím GPS.....	31
Tabulka 4: Naměřené efektivní záběry s využitím GPS navigace	32
Tabulka 5: Odchytky od konstrukčního záběru s využitím GPS	33
Tabulka 6: Časy otáčení soupravy na souvrati bez využití GPS.....	34
Tabulka 7: Naměřené efektivní záběry bez využití GPS	35
Tabulka 8: Odchytky od konstrukčního záběru bez využití GPS	36
Tabulka 9: Shrnutí výsledků pokusu.....	38
Tabulka 10: Roční úspory spojené s využitím GPS u měřené soupravy při ročním využití 1000 ha.....	39

Seznam zkratek

ČZU	Česká zemědělská univerzita
ESA	European Space Agency
GIS	Geographic information system
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
CHKO	Chráněná krajinná oblast
LED	Light Emitting Diode
LRK	Long Range Kinematic
NAVSTAR	Navigation Signal Timing and Ranging
OTF	On the Fly
RTK	Real Time Kinematic
SoL	Safety of Life
ZD	Zemědělské družstvo