

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Zemědělská fakulta

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Zemědělská a dopravní technika

Katedra: Zemědělské, dopravní a manipulační techniky

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

Diplomová práce

Mapování pohybu zemědělské techniky s využitím a bez
využití GPS

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ivo Celjak, CSc.

Konzultant diplomové práce: Ing. Martin Filip

Autor diplomové práce: Bc. Luboš Haškovec

České Budějovice, 2020

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Luboš HAŠKOVEC
Osobní číslo: Z18368
Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství
Studijní obor: Zemědělská a dopravní technika
Téma práce: Mapování pohybu zemědělské techniky s využitím a bez využití GPS
Zadávací katedra: Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Zásady pro vypracování

Cíl práce:

Hlavním cílem práce je zmapování pohybu traktorů s použitím a bez použití GPS navigací a posouzení přínosu GPS technologie při pracovní činnosti traktoru na pozemku nepravidelných tvarů.

Metodický postup:

1. Studium literatury týkající se dosavadních poznatků v oblasti řešené problematiky.
2. Studium literatury týkající se využití GPS navigace v rostlinné výrobě.
3. Výběr vhodného zemědělského podniku pro sběr potřebných dat s volbou vhodného pozemku, na němž bude provedeno mapování pohybu traktorů s použitím a bez použití GPS.
4. Vypracování metodiky pro posouzení přínosu GPS technologie při pracovní činnosti traktoru.
5. Posouzení přínosu na základě zjištěných poznatků ve zvoleném zemědělském podniku.
6. Diskuse
7. Závěr

Rozsah pracovní zprávy: 40 – 50 stran
Rozsah grafických prací: dle potřeby
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam doporučené literatury:

STEINER, Ivo a Jiří ČERNÝ. GPS od A do Z. 4., aktualizace. vyd. eNav, 2006. ISBN 8023975161

PASTOREK, Zdeněk. Zemědělská technika dnes a zítra: poradenství při výběru a efektivním využívání zemědělských strojů a technologií. Praha: Martin Sedláček, 2002. ISBN 8090241344

KUMHÁLA, František. Zemědělská technika: stroje a technologie pro rostlinnou výrobu. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 9788021317017

NEUDERT, Lubomír a Vojtěch LUKAS. Precizní zemědělství: technologie a metody v rostlinné produkci. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 9788075093110

LUKAS, Vojtěch, Lubomír NEUDERT a Jan KREN. Mapování variability půdy a porostu v precizním zemědělství: metodika pro praxi. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011. ISBN 9788073755621

NOZDROVICKÝ Vladimír, Jana GALAMBOSOVÁ a Miroslav MACÁK. Přesné zemědělství: systém strojů-skúsenosti: vysokoškolská učebnice. Praha: Profi Press, 2014. ISBN 9788086726649

KOVÁR, Pavel. Družicová navigace: od teorie k aplikacím softwarového přijímače. 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

HULA Josef. Stroje pro sklizeň píce a obilnin. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2001. ISBN 8021307382

KROUPA, Pavel, Josef HULA a Pavel KOVARIČEK. Stroje pro pěstování a sklizeň zrna. 2. upr. vyd. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2002. ISBN 8072711261

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ivo Celjak, CSc.
Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Datum zadání diplomové práce: 15. února 2019
Termín odevzdání diplomové práce: 15. dubna 2020

V Českých Budějovicích dne 27. února 2019

V. Z.

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
přírodní oddělení
- Růžovského 1908, 370 01 Česká Budějovice

L.S.

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

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

Prohlášení autora, souhlas s uveřejněním práce

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s využitím informací z literatury, jejíž seznam je součástí této práce a je uveden v kapitole Přehled použité literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to - v nezkrácené podobě - v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných zemědělskou fakultou 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 5 a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne

.....

vlastnoruční podpis autora

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Ivu Celjakovi, CSc., za cenné rady při odborném vedení mé práce a Ing. Martinu Filipovi za odborné konzultace spojené s diplomovou prací.

Dále bych rád poděkoval Zemědělskému družstvu Bernartice a zaměstnancům za ochotu a spolupráci při získávání informací pro vypracování práce a za poskytnutí techniky nutné pro získání měřených hodnot.

Abstrakt

Diplomová práce popisuje technologii GPS a vysvětluje funkčnost tohoto systému. Zabývá se porovnáním výkonnostních a ekonomických parametrů provozu vybrané soupravy používané v zemědělství. Teoretická část popisuje technologii globálních navigačních systémů, základní principy fungování a jejich využití v zemědělství. Praktickou část tvoří porovnání dvou systémů řízení s využitím automatického řízení podle GPS navigace a ručního řízení obsluhou. Měření bylo prováděno na kolovém traktoru John Deere 8320R s dlátovým pluhem Strom Terraland TN 3000 H při zpracování půdy a při setí secím strojem Lemken Solitare 9 v agregaci s traktorem John Deere 8420.

Klíčová slova: Globální navigační satelitní systém, precizní zemědělství, GPS, automatické navádění.

Abstract

In the thesis the GPS technology is described and functionality of the system is explained. The power and the economic parameters of selected agricultural sets are compared. In theoretic part of the thesis the technology of a global navigaton systems, fundamental principles of its working and its agricultural utilization are described. In practical part of the thesis two control systems via GPS navigation and manual control, respectively, are compared. Measurement was provide on the John Deere 8320R wheeled tractor in agregation with the Strom Terraland TN 3000 H chisel plow in tillage and on the John Deere 8420 wheeled tractor in agregation with the Lemken Solitare 9 seeder in sowing, respectively.

Key words: Global navigation satelite system, precision agriculture, GPS, automatic guidance.

Obsah

Úvod	10
1 Satelitní navigace GNSS	11
1.1 Systém GLONASS	11
1.2 Systém Galileo	12
1.3 Systém BeiDou	13
1.4 Systém NAVSTAR GPS	13
2 Hlavní části GNSS	14
2.1 Vesmírná část	14
2.2 Pozemní část GNSS	15
2.3 Uživatelská část GNSS	15
3 Přehled kategorií přijímačů GNSS	16
3.1 Kódové GPS	16
3.1.1 Autonomní kódové měření	17
3.1.2 Diferenční kódové měření	17
3.2 Fázové GPS	17
3.3 Alternativy získání korekčních dat	17
3.4 Zdroje korekcí DGPS a RTK	18
3.4.1 EGNOS	18
3.4.2 OmniSTAR	19
3.4.3 StarFire I, II	19
3.4.4 CZEPOS	19
3.4.5 Vlastní referenční stanice RTK	20
4 Princip určování polohy pomocí GNSS	21
4.1 Signály GNSS	22
4.2 Navigační zprávy	23
5 Využití GNSS pro navigaci strojů na pozemcích	23
5.1 Satelitní monitoring	24
5.2 Manuální navádění	24

5.3	Asistované řízení.....	25
5.4	Automatické navádění.....	26
5.5	Automatické řízení autopiloty	26
5.5.1	AB Přímka/A+/A+B(auto)	27
5.5.2	Souvrať + AB přímka.....	28
5.5.3	Identická křivka	29
5.5.4	Adaptivní křivka.....	29
5.5.5	Centrální pivot.....	30
5.5.6	Freeform (volná linie)	30
5.6	Svahová kompenzace.....	31
6	Precizní zemědělství	31
6.1	Controlled traffic farming	33
6.1.1	COMOTRAC	34
6.1.2	TWINTRAC	34
6.1.3	ADTRAC	35
6.1.4	OUTRAC.....	35
6.1.5	HALFTRAC	36
6.2	Výnosové a aplikační mapy.....	36
6.3	Sekční kontrola strojů.....	37
6.4	Variabilní setí a hnojení.....	38
	Cíl práce.....	40
	Metodika práce	41
	Výsledky měření	52
7	Výsledky měření zpracování půdy.....	52
7.1	Měření s použitím navigace	52
7.2	Měření bez použití navigace	54
8	Výsledky měření při setí	55
8.1	Měření s použitím navigace	56
8.2	Měření bez použití navigace	57

8.3	První souprava při zpracování.....	58
8.4	Druhá souprava při setí.....	61
8.5	Celkové náklady pro obě soupravy v daném podniku.....	65
	Diskuze.....	67
	Závěr.....	69
	Literatura.....	70
	Seznam tabulek.....	74
	Seznam grafů.....	74

Úvod

Svět kolem nás se v poslední době stále více automatizuje a digitalizuje. Lidé se neustále snaží o vývoj nových přístupů i technologií, které usnadňují práci, zvyšují produktivitu, snižují náklady a celkově zpohodlňují život. Tato snaha se nevyhnula ani zemědělství, kde se tyto přístupy staly téměř neodmyslitelnými pomocníky při běžném hospodaření.

Česká republika se řadí mezi země s velmi rozvinutým zemědělstvím. Tak jako ve všech odvětvích je i zde nutno reagovat na nejrůznější problémy. V současné době jsou to především otázky ekologie a klimatu, přibývající směrnice a normy Evropské unie či konkurenceschopnost.

Možností, jak situaci zlepšit, je celá řada. Jednou z nich je hledání nových progresivních způsobů pro šetrnější využívání půdního fondu. Takovým řešením je například využívání precizního zemědělství při obdělávání pozemků. Jedná se o využití nejmodernějších technologií pro minimalizaci zátěže životního prostředí, snížení provozních nákladů i větší pohodlí obsluhy. Takovou technologií je například navigační systém GPS (Global Positioning System).

V diplomové práci jsou popsány dostupné navigační systémy, technologie přesného určení polohy nebo principy řízení stroje po pozemku, kde je zřejmý neustálý vývoj. Automatické navádění strojů se stále posouvá směrem dopředu. V dnešní době už nejde pouze o udržení co nejpřesnějšího pracovního záběru, ale také o minimalizování přejezdů po pozemku a využívání výnosových map pro další činnosti. Minimalizování přejezdů napomáhá k regeneraci půdního profilu a k celkovému zlepšení stavu půdy. Výnosové mapy slouží k vyobrazení úrodnosti pozemku v určitých částech. Pomocí této technologie lze také naplánovat setí nebo aplikaci hnojiv či postřiků.

1 Satelitní navigace GNSS

Globální navigační satelitní systémy GNSS (Global Navigation Satellite System) je označení systémů pro určování polohy. Tyto systémy využívají umělých družic, které obíhají na oběžné dráze Země. Zařízení opatřené GNSS přijímačem určuje polohu vyhodnocováním rádiových signálů, jež vysílají družice, a GNSS přijímač je pasivně přijímá. GNSS patří mezi globální navigační systémy, což v praxi znamená, že lze využít tuto technologii kdekoli na Zemi (Neudert a Lukas, 2015).

Satelitní navigace se začaly používat ve vojenství. První systém využívající umělé družice ke zjišťování polohy byl americký TRANSIT (NAVSAT). Armáda USA tento systém vyvíjela v 50. letech 20. století a používal se do roku 1964. V dnešní době je nejvyužívanějším systémem NAVSTAR GPS (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System). Za jeho vývojem stojí opět armáda Spojených států amerických. Systém začal být nasazován do praxe od roku 1978 jako nástupce technologie TRANSIT, později ho armáda uvolnila pro civilní použití. Také ostatní globální navigační systémy jako ruský GLONASS nebo čínský BeiDou mají původ v armádě. Pouze systém Galileo je výjimkou, ten je provozovaný Evropskou unií prostřednictvím Evropské kosmické agentury (ESA) (Ventura-Traveset, 2013).

V dnešní době je využívání GNSS systémů stále rozšířenější díky využívání satelitní navigace v automobilovém průmyslu nebo u mobilních telefonů. Uživatelé mohou snadno získat přesný údaj o své aktuální poloze, a to s odchylkou závisící pouze na kvalitě signálu, zvoleném přijímači a použitém systému korekce chyb. Pro většinu uživatelů je dostatečná přesnost určení polohy několik metrů, ale existují také aplikace, kde je vyžadována přesnost v řádech centimetrů. Nejpřesnější komerční navigační systémy s odchylkou v řádu centimetrů se využívají například v zemědělství (Neudert a Lukas, 2015).

1.1 Systém GLONASS

Ruskou alternativou systému GPS a evropského Galilea je ruský systém GLONASS. Projekt vznikl v roce 1976, kdy byl schválen radou ministrů SSSR a centrální komisí KSSS. První družice byly vypuštěny na oběžnou dráhu 12. října 1982 z Kosmodromu Bajkonur. Jednalo se o dvě testovací a jednu provozní družici. Do roku 1991 se na oběžnou dráhu dostalo 12 družic, tento počet dostačoval na omezený provoz systému. Po rozpadu SSSR převzalo tento projekt Rusko, které naplánovalo plný provoz do roku 1993, ovšem systém byl plně kompletní až v roce 1995. Nedostatek financí a špatná ekonomická infrastruktura v Rusku způsobila, že v roce 2002 bylo použitelných pouze 8 družic. Díky tomu byl systém nepoužitelný. Dne 20. srpna 2001

Ruská vláda schválila program „Globální navigační systém“. Díky projektu byl systém opět zprovozněn v roce 2009 (Czechspaceportal, 2017).

Systém GLONASS se skládá z 21 provozních a 3 záložních satelitů. Družice se sklonem $64,8^\circ$ k rovníku obíhají Zemi ve výšce 19 100 km za časovou oběžnou dobu 11 hodin a 15 minut. GLONASS se velice podobá americkému systému GPS s tím rozdílem, že družice obíhají Zemi ve 3 orbitálních rovinách vzájemně posunutých o 120° . Takto zvolený systém má vertikální přesnost do 70 metrů a horizontální přesnost 57–70 metrů. Toto uspořádání družic umožňuje nepřetržitý signál z pěti družic kdekoliv na světě.

Struktura systému je složena ze 3 částí. První částí je pozemní řídicí část, druhou tvoří navigační vybavení uživatelů a třetí je vesmírné uspořádání družic systému. Hlavní centrální stanice se nachází nedaleko Moskvy a ostatní, řídicí a monitorovací, jsou rozmístěny po celém Rusku. Tyto stanice zaznamenávají signály viditelných družic a provádějí laserové měření vzdáleností mezi stanicemi a družicemi, poté získaná data přenášejí do centrální stanice (Kumhála, 2007).

1.2 Systém Galileo

Galileo je Globální družicový polohový systém GNSS (Global Navigation Satellite System) vyvíjený Evropskou unií a provozovaný vesmírnou agenturou ESA. Na rozdíl od ostatních GNSS je tento systém civilním projektem. Cílem systému Galileo je umožnit evropským státům vysokou přesnost satelitního signálu s globálním pokrytím nezávisle na technologiích GPS nebo GLONASS. Základní signály s přesností na jeden metr jsou bezplatné, placené signály jsou přesnější a dosahují přesnosti s odchylkou jeden centimetr (Steiner, 2006).

Galileo dokáže při stejném počtu satelitů určit přesnější polohu než například americký systém GPS, a to díky modernějším systémům přenosu dat a generování dálkoměrného signálu. Zde je třeba podotknout, že systém GPS je v provozu již několik desetiletí a i pro tento systém jsou vyvíjeny nové satelity, které dokáží dosáhnout vyšší přesnosti.

V roce 2005 byl poprvé na oběžnou dráhu vynesena pokusná družice GIOVE–A, v dubnu 2008 ho pak doplnil satelit GIOVE–B. Tyto družice byly pouze pokusné a v roce 2012 byly vyřazeny z provozu. V říjnu 2011 byla na orbit vynesena dvojice satelitů pro operační použití. Veřejný provoz systému byl spuštěn 15. prosince 2016, kdy se na oběžné dráze nacházelo 18 satelitů z plánovaných 30. V roce 2020 by měl být projekt dokončen, na oběžné dráze by se mělo pohybovat 27 operačních a 3 záložní družice ve třech rovinách ve výšce 23 222 km. Každá ze tří rovin svírá

s rovinou rovníku úhel 56° . Toto umožní poskytování služeb Galilea až do 75° severní šířky.

Díky požadavkům uživatelů bylo vytvořeno 5 služeb. Open Service (OS) je volně dostupná služba pro nejširší veřejnost. Je zdarma a lze ji využívat s jakýmkoli zařízením, které přijímá tento signál. Commercial Service (CS) se OS podobá, ale nabízí více signálů s vyšší přesností, ovšem za příplatek. Safety of Life Service (SOL) je služba šifrovaná, zpoplatněná a určená pro dopravu, primárně pro letectví. Search and Rescue (SAR) je služba určená pro oboustranou komunikaci, pro pátrání a záchranu pohřešovaných. Public Regulated Service (PRS) je šifrovaná služba určená pro bezpečnostní složky státu, především armádu a policii (Czechspaceportal, 2017).

1.3 Systém BeiDou

BeiDou je čínským projektem satelitního navigačního systému, který má být plně pod kontrolou Čínské lidové republiky. Mezi lety 2007 a 2012 se Čína rozhodla systém BeiDou rozšířit z regionálního pokrytí na globální (Český Kosmický Portál, 2017).

Navigační systém měl být dokončen v roce 2020. Celkový počet satelitů má být 35, z nichž bude 27 umístěno na střední zemské orbitě, 3 na geosynchronní dráze a 5 satelitů má být na geostacionární dráze (Ventura-Traveset, 2013).

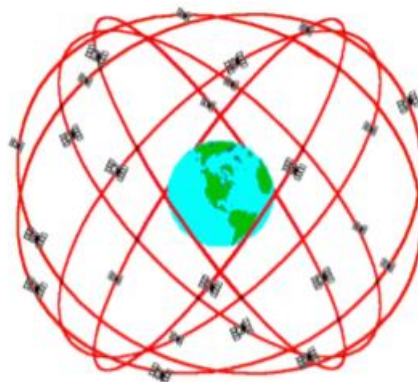
Globální signál systému BeiDou byl oficiálně spuštěn 27. prosince 2018 a stal se tak čtvrtým satelitním systémem na světě. Systém je stále ve vývojové fázi, na konci roku 2018 obsahoval 18 satelitů typu BDS-3 a 15 starších satelitů typu BDS-2. Do roku 2021 je naplánováno vypuštění dalších 12 satelitů. 11 satelitů typu BDS-3 a 1 typu BDS-2. Veřejný dostupný mezinárodní signál má přesnost na deset metrů, oblast Tichomoří a Asie má zvýšenou přesnost na pět metrů. Autorizovaný signál s nejvyšší přesností není zatím určen pro civilní použití (BeiDou, 2018).

1.4 Systém NAVSTAR GPS

NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite And Ranging Global Position Systém) je navigační systém provozovaný Spojenými státy americkými. Jedná se o nejrozšířenější a donedávna jediný globální satelitní systém využívaný na světě, který je dostupný civilnímu využití (GPS.GOV, 2006).

První satelit byl vynesena na oběžnou dráhu v roce 1978. Do roku 1993 bylo vypuštěno dalších 23 satelitů. Do srpna 2019 bylo celkem vypuštěno 74 satelitů navigačního systému GPS, z toho je 31 v operačním provozu, 9 je rezervních pro případ poruchy a 30 je mimo provoz, 2 satelity byly ztraceny při startu. Satelity obíhají Zemi v šesti kruzích ve výšce 20 200 km, jak je zobrazeno na obrázku 1. Doba oběhu družice je 11 hodin a 58 minut. NAVSTAR dělíme na standardní poziční službu (SPS,

Standart Positioning Service) a přesnou poziční službu (PPS, Precise Positioning Service).



Obrázek 1 Rozmístění a dráhy družic systému GPS (Kvapil, 2005)

SPS je dostupná veřejnosti. Její přesnost ani dostupnost není garantována, i když jde o globálně dostupnou službu. Tato poziční služba měla do roku 2000 bezpečnostní opatření, aby nedošlo k jejímu použití pro bojové účely. Byla vybavena systémem SA (Selective Availability), který při aktivaci záměrně zvyšoval odchylku určení polohy o 100 metrů. V současnosti se přesnost určení polohy pohybuje okolo pěti metrů a při použití DGPS se dá přesnost zvýšit až na 0,5 metru. Frekvence, na které je signál SPS šířen, je pojmenovaná L1.

PPS slouží pouze pro armádu USA a její spojence. Tato služba není poskytnuta civilnímu obyvatelstvu, má zvýšené zabezpečení a odlišné vysílání signálu. Bezpečnost této služby je zajištěna šifrováním a bezpečnostním kódem, který se mění každý týden. PPS vysílá signál na dvou frekvencích L1 a L2. Na těchto frekvencích lze šířit dálkoměrný kód s větším počtem bitů za sekundu, proto dosahuje vyšší přesnosti určení polohy (Neudert, 2015).

2 Hlavní části GNSS

Globální navigační satelitní systémy se dělí na základní části. Vesmírná část – družice a satelity obíhající po oběžné dráze Země, pozemní část – základny řídicí funkce a sledování satelitů a uživatelská část – přijímače pro příjem signálu GNSS. (Neudert, 2015).

2.1 Vesmírná část

Vesmírná část se skládá ze satelitů obíhajících po oběžné dráze Země. Satelity vysílají signál na určité frekvenci, který přijímají přijímače a na základě vyhodnocení

signálu dokáží určit polohu. Satelity obíhají zemi v několika kruhových rovinách, které jsou skloněné pod určitým úhlem vůči rovníku. Například systém Galileo svírá s rovinou rovníku uhel 56° . V každé kruhové dráze obíhá zemi několik satelitů ve vzdálenosti 23 222 km nad povrchem Země. Kruhové roviny jsou vůči sobě pootočený z důvodu rovnoměrného pokrytí celého povrchu Země, aby v každém okamžiku bylo viditelných co nejvíce satelitů z kteréhokoliv místa na Zemi.

Americký systém GPS je tvořen z šesti kruhových rovin. Ty jsou natočeny vůči rovině rovníku o 55° a vůči sobě o 60° . V každé z těchto drah jsou čtyři hlavní satelity a dva záložní, ale může se zde pohybovat i více satelitů. Doba oběhu satelitů je 12 hodin rychlostí $4 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Jestliže sledujeme satelit ze Země, je jeho doba oběhu 24 hodin vlivem otáčení Země kolem své osy.

Hlavní funkcí satelitu GPS je vysílat informace o aktuální poloze a času, stavu atmosféry a předpovědi těchto údajů. Aktuální čas se uchovává v rubidiových nebo cesiových atomových hodinách. Tyto hodiny dokáží rozlišit desetiny nanosekund, jejich stabilita je lepší než 10 nanosekund za den. Přesnost tohoto časového údaje je důležitá pro přesnost měření přijímačů, proto se atomové hodiny na palubě satelitu pravidelně synchronizují s pozemními stanicemi (Neudert, 2015).

2.2 Pozemní část GNSS

Pozemní část GNSS se skládá ze základen, které mají za úkol monitorovat satelity. Základny dokáží určit polohu satelitu s odchylkou 1–2 m. Data, která jsou získána ze satelitů, jsou zpracována a vytváří se krátkodobé předpovědi dráhy každého satelitu platné 2–4 hodiny. Tyto předpovědi drah se nazývají efemeridy. Efemeridy každého satelitu jsou odesílány do pozemních základen a poté je satelit vysílá spolu s dalšími navigačními zprávami do přijímačů signálu GNSS.

Pozemní základny mají dále za úkol kontrolovat a upravovat nastavení palubních hodin satelitu. Jako primární čas se používá GPS čas, který se liší od koordinovaného světového času (UTC) o přestupné vteřiny, které kompenzují zpomalování rotace Země. V roce 2010 je čas UTC oproti času GPS pozadu o 15 přestupných vteřin.

GPS systém má pozemní základny na americkém území, aby nedošlo k jejich porušení cizím státem. Základny se nachází na Hawaii, Kwajalejnu, Colorado Springs, Diego Gracia a Ascension Island (Neudert, 2015).

2.3 Uživatelská část GNSS

Uživatelská část GNSS je tvořena každým uživatelem vlastním GNSS přijímač. Tyto přijímače se vyrábějí ve velikostech ručního přístroje. V dnešní době lze vyrobit i

miniaturní přijímače s rozměry v desítkách milimetrů. Nejčastěji se potkáme s přijímačem GNSS signálu v podobě mobilních zařízení nebo mobilního telefonu. Taková zařízení jsou schopna zobrazit polohu uživatele na mapě, zaznamenávat jeho trasu, navigovat ho a ukládat polohu zaměřených bodů.

Vybavením každého přijímače musí být anténa pro příjem GNSS signálu. Nejčastěji se používají interní antény typu patch nebo typu helix. Anténa typu patch je čtverhranná keramická destička o hraně 0,5–2,5 cm. Typ helix je váleček o výšce 0,5–2 cm. Pro vyšší přesnost a profesionální použití se anténa umísťuje externě na objekt, jehož polohu měříme. Externí antény mají tvar čtvercového hranolu o hraně do 10 cm, který je umístěn na železné stínící desce kruhového tvaru s průměrem do 40 cm, která zabraňuje příjmu odraženého signálu. Tato stínící deska zvyšuje přesnost získání polohy. Poloha je přijímačem měřena ve fázovém centru antény.

Anténa GNSS přijímače je důležitá pro co nejpřesnější určení polohy. Je důležité ji umístit tak, aby měla volný výhled na co největší část oblohy. Problémy s přesností jsou v místech s částečným výhledem antény na oblohu, v tomto případě se přesnost snižuje až o desítky metrů.

Pokud anténa přijímá odražený signál od budov nebo terénních nerovností, může se její přesnost určení polohy snížit o jednotky metrů. Opatřením u antén s velmi přesným měřením je doplnění stínící desky o kovové pásky (Choke ring), které jsou umístěny do soustředných kruhů. U antén s umělohmotným krytem je nanášen speciální lak, který zabraňuje přijímání signálů přicházejících od země nebo z boku. Tyto metody se starají o pohlcení nežádoucího odraženého signálu (Neudert, 2015).

3 Přehled kategorií přijímačů GNSS

Většina používaných přijímačů vyhodnocuje signály šířeném navigačním systémem NAVSTAR GPS, ovšem určení přesné polohy je dramaticky ovlivněno typem použitého přijímače signálu (Neudert, 2015).

3.1 Kódové GPS

Kódové GPS jsou velkou skupinou přijímačů, které vyhodnocují měřící kód vysílaný satelity. V této skupině se nachází jak základní přijímače, tak i přesné přijímače, které umožňují diferenční měření. Kódové přijímače dělíme do dvou funkčních režimů. (Neudert, 2015).

3.1.1 Autonomní kódové měření

Autonomní kódové měření pracuje pouze s informacemi, které přijímají od satelitů GPS. Tyto přijímače dokáží určit polohu s odchylkou 4–10 m při ceně zařízení 2 000–10 000 Kč. Jsou velmi závislé na podmínkách při měření (Neudert, 2015).

3.1.2 Diferenční kódové měření

Diferenční kódové měření se od autonomního liší tím, že do výpočtu polohy jsou zahrnuta i korekční data DGPS. Podle kvality přijímače a korekčních dat, lze touto metodou dosáhnout odchylky v měření 0,3–1 m. Cena těchto zařízení se pohybuje od 20 000 do 80 000 Kč (Kumhála, 2007).

3.2 Fázové GPS

Fázové GPS přijímače jsou schopné přesnějšího vyhodnocování přijímaných signálů. Často jsou také nazývané RTK GPS. Aby tyto přijímače správně fungovaly, je zapotřebí jim poskytnout korekční data. Tato data se označují jako RTK korekce nebo fázová data a lze je zakoupit nebo vygenerovat pomocí referenční stanice. Stanice se musí nacházet na místě, které je přesně zaměřené a ve vzdálenosti do dvaceti kilometrů od místa měření. Podle typu přijímače a použitých fázových dat lze dosáhnout přesnosti určení polohy 1–25 cm. Potřebné přijímače lze pořídit za cenu od 100 000 Kč, ale pro přesnější měření je vhodné mít dvoufrekvenční přijímač, jehož cena je ještě vyšší (Kumhála, 2007).

3.3 Alternativy získání korekčních dat

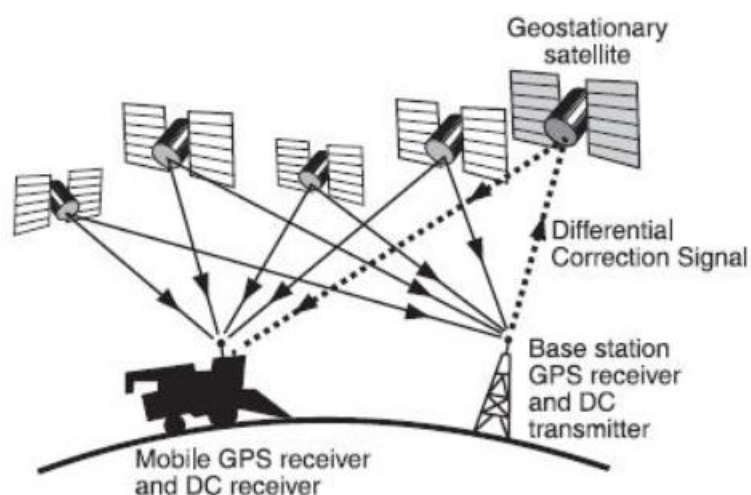
Korekční data lze získat z internetu až po vlastním měření. V průběhu měření je nelze používat k navádění strojů po pozemku nebo k zpřesnění určení polohy. Lze využít neplacené nebo placené služby poskytující DGPS korekce i služby poskytující fázová data. Data jsou vyhodnocena až po vlastním měření na počítači. Tento proces se nazývá postprocesní.

Příjem korekčních dat probíhá bezdrátově z geostacionárních stanic pomocí běžného GPS přijímače nebo pomocí speciálního přijímače. Data lze získávat i během měření a lze je využít okamžitě.

Získání korekčních dat pomocí bezdrátového pojitka je vhodné, pokud vytváříme korekce pomocí referenční stanice, nebo pokud používáme korekce z internetu a v reálném čase je aplikujeme do výpočtu. Referenční stanice je GPS přijímač, který je nastavený tak, aby pomocí speciálního softwaru vygeneroval korekční data. Vygenerovaná data lze v reálném čase přenášet do druhého přijímače, který provádí měření a má k dispozici přesná měření okamžitě. Lze je také využít pro pozdější dodatečné zpracování měření (Neudert, 2015).

3.4 Zdroje korekcí DGPS a RTK

Pro přesné určení polohy pomocí GNSS je nutné správně využít korekčních dat. Služby používají pro tvorbu korekcí síť přijímačů rozmístěných v oblasti, kterou služba pokrývá. Zpracováním signálu GNSS dokážou vytvořit korekce pro zvolené místo uvnitř sítě přijímačů nebo vytvořit korekce pro danou oblast. Takto vytvořené korekce nazýváme jako korekce z virtuálních referenčních stanic. Princip funkce zpřesnění polohy pomocí DGPS dat je zobrazen na obrázku 2 (Strom Praha, 2017).



Obrázek 2 Princip družicového navigačního systému DGPS (Mapasyst, 2019)

3.4.1 EGNOS

EGNOS (Evropská geostacionární vykrývací služba) slouží k nejjednoduššímu způsobu získání DGPS korekcí. Má za úkol poskytovat doplňkové informace pro uživatele systému GPS. Uživateli poskytuje korekční data pro kódové přijímače a informace o funkčnosti navigačního systému. Tato data umožňují informovat uživatele o určení polohy, pokud je systém GPS mimo garantovanou přesnost. Tato služba není v GPS systému poskytnuta a uživatel tak může pracovat s vysokou chybou zaměření pozice.

Projekt EGNOS je provozován Evropskou kosmickou agenturou, Evropskou komisí a organizací Eurocontrol. EGNOS pracuje nad evropským kontinentem díky čtyřem geostacionárním satelitům. Tyto satelity vysílají signál pro všechna zařízení zdarma.

V roce 2000 začalo experimentální vysílání systému, ale až v roce 2003 se DATA začala vysílat ve formátu kompatibilním se systémem WAAS (Wide Area Augmentation System). Obdobu této služby se využívá i ve Spojených státech nebo

v Kanadě. EGNOS se dostal do zkušebního provozu v roce 2006 a až v roce 2009 zahájil provoz přímý. Hlavním účelem systému je využití korekčních dat v letectví pro snížení chyb v přesnosti určení polohy.

Systém EGNOS dokáže díky šířením diferenciálních korekcí zvýšit přesnost autonomního měření na 2–4 metry (GSA, 2018).

3.4.2 OmniSTAR

OmniSTAR je systém, který nabízí DGPS korekce i fázové korekce. K šíření těchto korekcí se využívají geostacionární satelity, které komunikují se sedmdesáti referenčními stanicemi po celém světě a devíti komunikačními kanály na spojovacích satelitech. V Evropě je umístěno 16 referenčních stanic. Pracují tak, že přijímají družicový signál a počítají korekce. VBS, XP, HP jsou zkratky používané pro stupně přesnosti od 30 do 5 centimetrů. Využívání korekcí systému OmniSTAR je pro uživatele zpoplatněno v závislosti na přesnosti a délce trvání licence (OmniStar, 2019).

3.4.3 StarFire I, II

StarFire je služba provozovaná společností John Deere NavCom Technology. Je obdobná jako služba OmniSTAR. StarFire poskytuje korekce pro DGPS i pro RTK signály v reálném čase s přesností lepší než 5 cm. Korekční signál je dostupný kdekoli na zemském povrchu od 72° severní šířky do 72° jižní šířky. K dosažení přesnosti využívá 40 referenčních stanic po celém světě. Neustálou dostupnost korekcí zajišťují dvě redundantní procesní centra a síť více komunikačních spojení. Korekce jsou vysílány přes geostacionární satelity, zajišťující celosvětové pokrytí a umožňující navigaci v reálném čase bez potřeby místních pozemních stanic.

Společnost NavCom nabízí i alternativní možnost, doručovat korekce přes internet. Software StarFire Over IP umožní přístup uživateli ke korekcím přes internet, pokud nelze získat korekce pomocí satelitu, což jim umožní získat přesnou polohu i v situacích, kdy je satelitní vysílání nedostupné, např. v údolích a příliš vysoko položených oblastech. Společnost StarFire si dále vyvíjí i své vlastní přijímače signálu (Navcom, 2015).

3.4.4 CZEPOS

Systém CZEPOS poskytuje korekční data pro přesné určení polohy všem uživatelům GPS na území České republiky. CZEPOS je provozován Zeměměřickým úřadem, který se stará i o jeho funkčnost a správu.

CZEPOS nabízí DGPS korekce s přesností 0,25–1 m. Pro příjem DGPS korekcí ze stanice CZEPOS je důležité mobilní internetové připojení GPRS, kvůli zasílání korekcí přes síťový protokol NTRIP. Další nabízenou službou je RTK korekce 0,01–0,03 m v reálném čase.

Pokud se přijímač nachází blízko stanice CZEPOS, může přijímat korekce přímo z ní. Maximální přípustná vzdálenost od stanice do pozice, kde se nacházíme a dokážeme přijmout signál, závisí na přijímači, který máme k dispozici. Obvykle je tato vzdálenost v desítkách kilometrů. S rostoucí vzdáleností se snižuje přesnost určení pozice. Pokud je stanoviště příliš vzdálené od nejbližší stanice, je výhodnější využít službu RTK – PRS nebo RTK – FKP.

Korekce RTK – PRS (Pseudoreferenční stanice) funguje jako virtuální stanice, která je umístěná do 5 km od pozice uživatele. Aparatura zašle do řídicího centra informaci (NMEA zprávu) o své pozici a podle této zprávy obdrží korekce z pseudoreferenční stanice. Data vyslaná z této virtuální stanice jsou systémem vygenerována na základě síťového řešení ze všech stanic CZEPOS.

Korekce RTK – FKP (Flächenkorrekturparameter): Aparatura zašle do řídicího centra NMEA zprávu od své pozici, na základě, které obdrží korekce ze zvolené stanice CZEPOS spolu s plošnými parametry FKP. FKP parametry jsou systémem generovány na základě síťového řešení ze všech stanic CZEPOS.

Postprocessing korekce slouží pro určení polohy s přesností 3 mm. Je potřeba využít dvoufrekvenční aparaturu GPS a vhodný software pro zpracování dat. Přesná pozice polohy je vypočtena až po skončení měření na základě dat získaných z internetu na stránkách CZEPOS. Data lze stáhnout pro zadaný interval měření ve standardním formátu z konkrétní zvolené stanice CZEPOS, anebo z virtuální stanice, která má předem zadané souřadnice (Zeměměřický úřad, 2017).

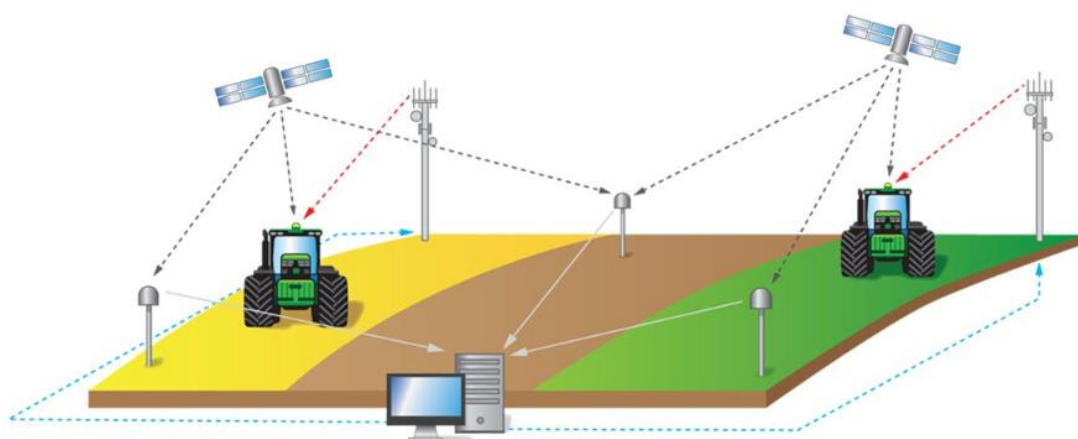
3.4.5 Vlastní referenční stanice RTK

Aby bylo možné využívat RTK korekce s centimetrovou přesností, je nutné mít na vhodném místě základnovou stanici. Dosah korekcí je závislý na výkonu stanice. V optimálních podmínkách je maximální poloměr pokrytí 10 km. Z referenční stanice, která je umístěna na bodě o známých souřadnicích, se pomocí radiového spojení vysílají korekční data do přijímače na pohyblivé pracovní soupravě, kde se dále vyhodnocují.

Pokud se přijímače pohybují ve větší vzdálenosti než 10 km od referenční stanice, nebo pokud je potřeba pokrýt členité území, lze využít vlastní korekční síť VRS. Tato síť se podle potřeby skládá z jedné nebo z více referenčních stanic, které jsou od sebe vzdáleny až několik desítek kilometrů. Aby mezi sebou referenční

stanice komunikovaly je zapotřebí vytvořit příslušný software s virtuální referenční stanicí, ke které se přepočítávají výsledné korekce ze známých, předem zaměřených skutečných základnových stanic. S tímto systémem lze dosáhnout přesnosti určení polohy $\pm 0,02$ m. Schéma systému je zobrazeno na obrázku 3.

Do pohyblivé pracovní soupravy se přenášejí korekce pomocí bezdrátových technologií (např. Wi-Fi), radiomodemu RACOM, nebo pomocí sítě GSM. Latence a propustnost bezdrátového spojení může také ovlivnit přesnost měření, a tak lze přenášet korekce častěji a tím pozitivně ovlivnit dosažitelnou přesnost (Strom Praha, 2017).



Obrázek 3 Schéma použití RTK stanice (Strom Praha, 2017)

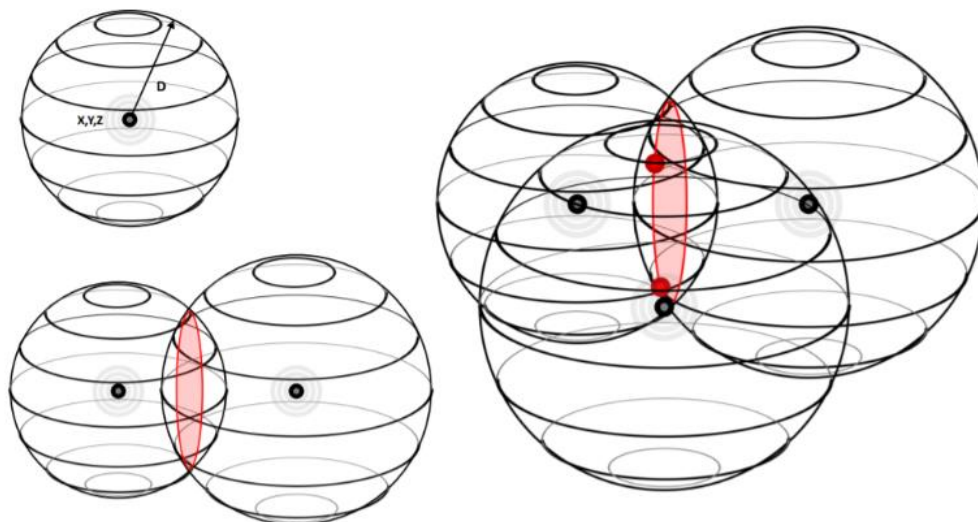
4 Princip určování polohy pomocí GNSS

GNSS přijímače vyhodnocují signál vysílaný ze satelitů. Měří čas letu signálu od satelitu k anténě přijímače a přepočítávají dobu této dráhy na vzdálenost mezi satelitem a přijímačem. Jako další přijímač měří rozdíl frekvence, na které satelit vysílá a frekvence přijatého signálu. Frekvence, na které satelit vysílá, je u všech satelitů totožná. Tyto frekvence se od sebe liší vlivem Dopplerova jevu. Tento jev vzniká pohybem satelitu a pohybem přijímače.

Pomocí těchto dvou charakteristik lze určit polohu přijímače, směr pohybu a jeho rychlost. Pravidlem je, že musíme vždy znát tyto charakteristiky, nejméně od čtyř satelitů a zároveň musíme znát pozici satelitů v době vysílání signálu. Pozici, ve které se satelit nachází, vysílá v rámci navigačních zpráv (Neudert, 2015).

Zjištění polohy se dá vypočítat určením průsečíku několika koulí v prostoru viz obrázek 4. Doba letu signálu se měří tak, že satelit vysílá pseudonáhodný kód, který je předem známý. Tento signál obsahuje informaci o čase jeho vysílání. Přijímač signál zná a přijatý kód porovná s kopií, kterou si generuje totožně jako satelit.

Generovaný signál přijímač postupně zpožďuje do té doby, než nalezne hodnotu zpoždění. Přijímač musí vyhodnotit korelaci signálu, aby si oba signály odpovídaly. Hodnota zpoždění se převádí na polohu díky znalosti závislosti rychlosti šíření elektromagnetických vln na vzdálenosti (Dolejš, 2015).



Obrázek 4 Lokalizace polohy pomocí satelitů (Bergmann, 2006)

Dopplerovský posun frekvence je vhodný způsob, jak určit rychlost pohybu přijímače a jeho polohu. Při tomto měření nemusí být známa vzdálenost od satelitu, protože se postupně dopočítá sčítáním vektorů rychlostí (Neudert, 2015).

4.1 Signály GNSS

Satelity používají pro své vysílání frekvence L1 a L2. Jejich signál musí přijímač hledat ve velkém rozmezí frekvencí, protože se satelity pohybují v různých rychlostech od 0 až do $1,6 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ a navíc se mohou k uživateli přibližovat nebo vzdalovat. Z důvodu frekvenčního překrývání signálu z více satelitů se používá kódový multiplex CDMA. To znamená, že každý satelit má přiřazenou jedinečnou sekvenci bitů, podle které lze rozlišit, o jaký satelit se jedná. Periodické opakování této sekvence tvoří C/A kód. Tento kód se zároveň využívá i pro určení doby letu signálu ze satelitu k přijímači.

Na této frekvenci L1 jsou vysílány dva nezávislé signály – veřejně přístupný C/A kód a šifrovaný vojenský P kód. Tyto dva signály jsou rozlišeny fázovým posunem nosné vlny o čtvrtinu vlnové délky. C/A kód je navíc rozlišen pomalým datovým tokem, který slouží k přenášení navigačních zpráv. Signál šířený po frekvenci L1 prochází ionosférou s nejmenším zkreslením, a proto je vhodný pro jednofrekvenční přijímače.

Frekvence L2 vysílá pouze P kód. Ten je určen pro armádní účely a je šifrovaný. Pouze autorizovaní uživatelé ho mohou pomocí W kódu dešifrovat. V budoucnu je naplánováno vysílat na frekvenci L2 i C/A kód. Zatím ale nejsou k dispozici přijímače, které dokáží tyto signály vyhodnotit (Neudert, 2015).

4.2 Navigační zprávy

Navigační zprávy jsou šířeny pomocí frekvence L1 modulováním C/A kódu. Zprávy vyslané ze satelitu se skládají z krátkých datových vět v binárním kódu a přenášejí se rychlostí 50 bitů za sekundu. Celý blok informací se odesílá 12,5 minuty a poté se znovu opakuje. Vysílané zprávy se dělí do tří skupin.

V první skupině jsou informace o čase vysílány každých 6 sekund a identifikují čas vyslání konkrétní zprávy. Druhá skupina, Efemeridy, vysílá každých 30 sekund a jsou to přesné informace o dráze konkrétního satelitu platné 2–4 hodiny. Třetí skupina obsahuje Almanach zprávy. Ty se opakují jednou za 12,5 minuty. Jsou to informace o přibližných drahách všech satelitů. Almanach zprávy se aktualizují po 24 hodinách, ale pro inicializaci jsou použitelné až dva měsíce (Neudert, 2015).

5 Využití GNSS pro navigaci strojů na pozemcích

Používání navigačních systémů se v dnešní době stává téměř každodenní samozřejmostí jak v běžném životě, tak i při řízení všech druhů vozidel. V zemědělství navigační systémy postupně nahrazují kotoučové znaménáky při setí, pěnové značkovače při aplikaci postřiků, nahrazují kolejové meziřádky a zároveň řeší problém při navazování pracovních jízd rozmetadel aplikujících minerální hnojiva. Dále se využívají pro řízení pracovních souprav při podnitce, předset'ové přípravě půdy nebo při sklizni širokozáběrovými sklízecími mlátičkami. To znamená, že navigační a řídicí systémy se dají využít téměř ve všech zemědělských činnostech.

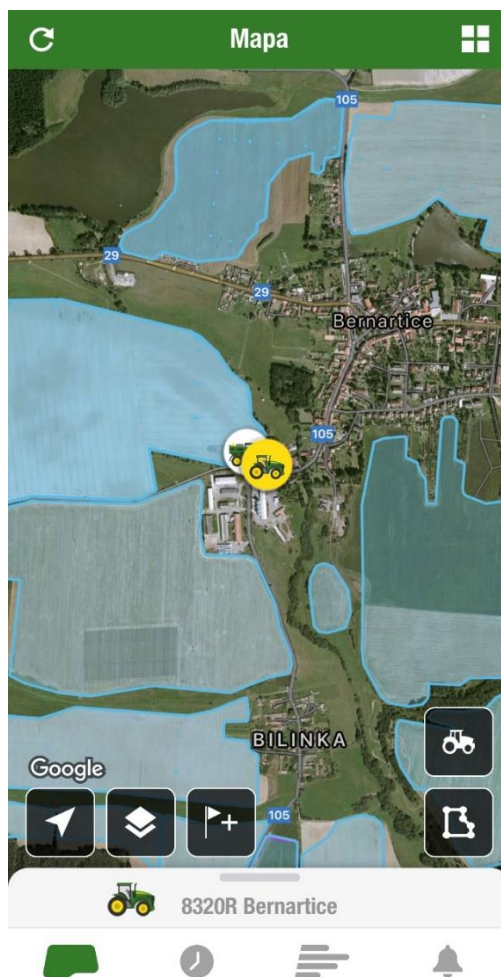
Navigační systémy v zemědělství přináší několik výhod při jejich využívání. Snižují únavu řidiče, zvyšují výkonnost soupravy, významně omezují překryvy a vynechávky, lze díky nim efektivně pracovat i za snížené viditelnosti, zvyšují bezpečnost práce a zvyšují kvalitu odvedené práce.

Rozvoj satelitních navigací velice přispívá k zavádění takzvaného precizního zemědělství. S tímto přístupem se nepřístupuje k pozemku jako k homogennímu celku, ale berou se v potaz rozdílné vlastnosti jednotlivých částí pozemku. Cílem precizního zemědělství je sladit druh a objem vstupů se skutečnými potřebami plodiny na menších částech obdělávaného pozemku (Rataj, 2014).

5.1 Satelitní monitoring

System satelitního monitorování provozu stroje je jednou z jednodušších aplikací GNSS, které se využívají v zemědělství. Podle poskytovatele služby a zvoleného tarifu lze v reálném čase sledovat informace o pohybu jednotlivých strojů vybavených monitorovacím zařízením, jejich spotřebu, stav ujetých kilometrů, nebo hlídat jejich počet motohodin a naplánovat údržbu (Loch a Kovaříček, 2005).

Přístup k datům je možný pomocí webového rozhraní nebo mobilní aplikace, která je zobrazena na obrázku 5. Data napomáhají ke sběru agronomických a provozních dat, lze zjistit veškeré vstupy i výstupy z monitorovaného pozemku nebo vykreslit výnosové mapy. Data lze přenášet bezdrátově automaticky pomocí sítě nebo pomocí přenosného datového zařízení (Neudert a Lukas, 2015).



Obrázek 5 Monitoring strojů pomocí mobilní aplikace (Deere & Company, 2020)

5.2 Manuální navádění

Manuální navádění je řízení pracovní soupravy člověkem. Řidič soupravu navádí zvolenou stopou pomocí monitoru nebo pomocí světelné lišty. Světelná lišta je složena z několika LED diod v řadě rozdělených po třech barvách. Diody se při

vychýlení ze zadané stopy rozsvítí na levé či pravé straně panelu, čímž upozorní řidiče na změnu směru jízdy a on musí směr upravit, aby se držel v zeleném spektru diod, kdy dodržuje správnou stopu. Čím větší je odchylka, tím více diod se rozsvítí, nejprve oranžovou barvou, poté červenou. Na obrázku 6 je zobrazena modernizace světelné lišty přidáním LCD monitoru, který zobrazuje zadané stopy a ulehčuje navigaci při otáčení na souvratích, při najíždění do další paralelní jízdy nebo při vedení po křivkách. Tento způsob zobrazení je pro obsluhu přehlednější a snadnější pro včasné zareagování na možnou odchylku od správného udržení směru jízdy. Světelná lišta je vybavená i zvukovými signály pro upozornění obsluhy (Kovaříček, 2005).



Obrázek 6 LCD monitor se světelnou lištou (LeadingFarmers, 2002)

5.3 Asistované řízení

Asistované řízení je obdobné jako manuální řízení, s tím rozdílem, že je systém doplněn o elektromotor a řídicí jednotku. Elektromotorek nebo výměnný volant dokáže díky přijatým a vyhodnoceným datům o poloze z navigačního systému otáčet přes převod volantem, a tím zajistí relativně přesné řízení. Řídicí jednotka vysílá impulzy k elektromotorku, který podle nich otáčí volantem. Eliminují se tak chyby způsobené řízením obsluhy stroje. Plynulost zatáčení závisí na zvoleném GPS přijímači a na rychlosti otáčení volantu elektromotorkem. Výhodou této technologie je její flexibilita, lze ji využít na více strojích a na různých značkách traktoru, sklízecích mlátiček a postřikovačů. Asistované řízení se skládá z GNSS přijímače, kabeláže, monitoru a volantu s elektromotorkem. Podmínkou použití tohoto systému je, že stroj musí být vybaven posilovačem řízení. Model ATU 200 je zobrazen na obrázku 7 (Kumhála, 2007).



Obrázek 7 Asistované řízení ATU 200

5.4 Automatické navádění

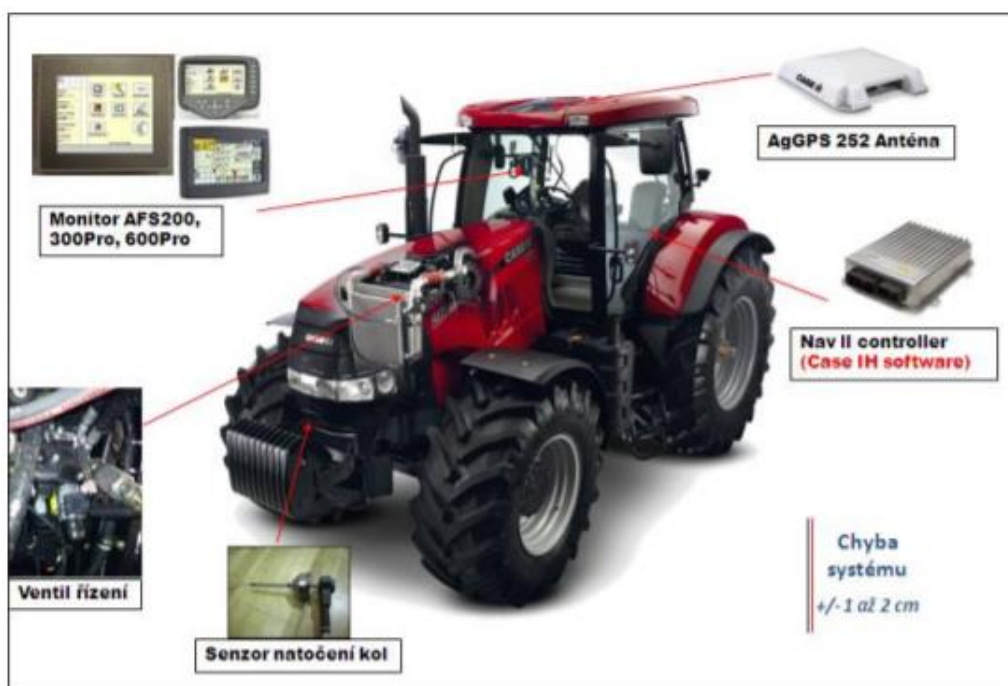
Automatické navádění nahrazuje řidiče během polních prací. Systém umožňuje řízení stroje pomocí řídicí jednotky a snímače natočení nápravy. Pomocí řídicí jednotky ve snímači volantu, hydraulických prvků řízení, natočení kol a spínače aktivace automatického navádění dokáže vést stroj ve zvolené stopě. Řízení je vedeno přijímačem, který snímá signály DGPS o poloze. Obsluha má za úkol vyhýbat se překážkám, otáčet soupravu na souvrati a navést ji zpět do zvolené stopy. Navigátor je deaktivován při každém pootočení volantu obsluhou (Beneš, 2011).

5.5 Automatické řízení autopiloty

Pro dosažení nejvyšší přesnosti při řízení stroje po pozemku je k dispozici automatické řízení. To zvládne při polních pracích převzít řízení a ovládání stroje, tím kompletně dokáže nahradit řidiče. Tato forma přesného navádění je finančně nejnáročnější, ale za tuto cenu nabízí nejvyšší přesnost a nejrychlejší odezvu řízení na pokyn navigačního systému. Hojně je tento systém využíván při přesném setí, orbě v režimu on-land nebo při zpracování půdy metodou strip-till (Beneš, 2011).

Aby tento systém správně fungoval, musí být stroj vybaven polohovým snímačem volantu, snímačem natočení kol, řídicí jednotkou ventilu řízení, hydraulickými ventily řízení, spínačem aktivace automatického navádění, přijímačem,

který snímá signály DGPS, palubním terminálem a navigačním počítačem. Tyto komponenty jsou zobrazeny na obrázku 8.



Obrázek 8 Komponenty potřebné pro automatické řízení (AgriSystem, 2015)

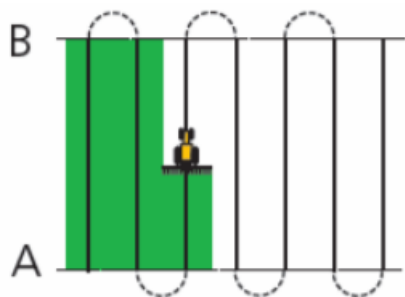
Systém automatického řízení je schopen vést soupravu ve směru linie, která byla zadána na začátku pracovní operace, včetně obracení soupravy na souvrati a ovládání příslušenství připojeného za traktorem. Navádění se deaktivuje při zásahu obsluhy, která pootočí volantem, sesedne ze sedadla nebo poruší jiné bezpečnostní pravidlo. Princip navádění spočívá v tom, že přijímač neustále pomocí DGPS signálu vyhodnocuje polohu soupravy a vypočítává její dráhu pojezdu dle nastavených parametrů, řídicí jednotka poté přenáší signály, které ovládají řízení traktoru. Pozemky, po kterých se souprava pohybuje, mají málokdy pravidelný tvar (čtverec, obdélník), ale jsou více členité a plné překážek. Proto lze v systému navigace vybírat z několika předinstalovaných modulů uložených v paměti, podle kterých lze poté stroj navigovat po pozemku (Kumhála, 2007).

Při jízdě po členitých pozemcích nám ke správnému navádění dopomáhají tyto moduly:

5.5.1 AB Přímka/A+/A+B(auto)

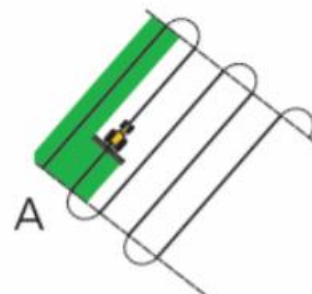
Tento model navádění lze nastavit více způsoby. Na začátku pozemku si označíme bod A a na konci první jízdy bod B. Druhým způsobem lze tuto přímku nastavit

obdobně jako v prvním případě, akorát s tím rozdílem, že bod B (auto) se nastaví po ujetí 15 metrů automaticky. Při třetím způsobu nastavení, lze přímku A+ nastavit pomocí souřadnic (azimutu) (Neudert a Lukas, 2015).



Obrázek 9 Model navádění – A+

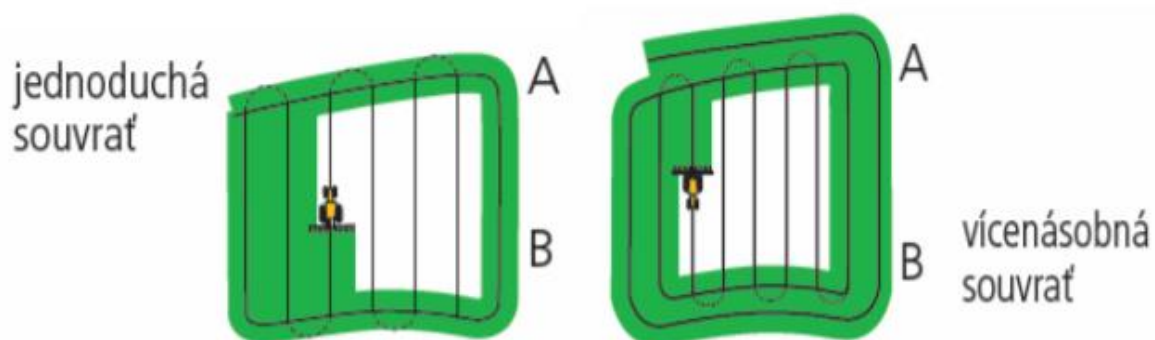
(Neudert a Lukas, 2015)



Obrázek 10 Model navádění – AB
přímka Neudert a Lukas, 2015)

5.5.2 Souvrat' + AB přímka

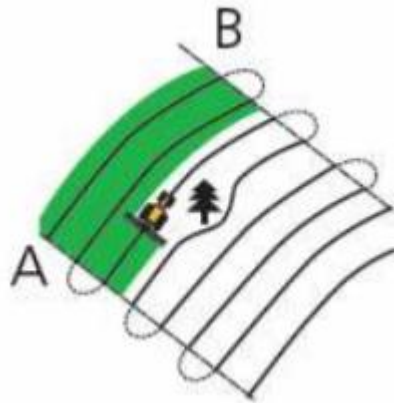
Pozemek ohraničíme souvrat'ovou jízdou, a tím získáme hranice pozemku v kterých se souprava bude pohybovat. Poté zadáme do navigace počet souvratí a zahájíme jízdu uvnitř ohraničeného pozemku. Traktor se sám bude automaticky otáčet na vyznačené souvratí (Neudert a Lukas, 2015).



Obrázek 11 a 12 Model navádění – Souvrat' + AB přímka (Neudert a Lukas, 2015)

5.5.3 Identická křivka

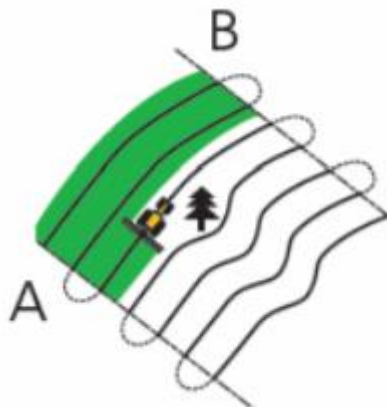
Navádění je obdobné jako u metody AB, ale stopa není v přímém směru. Identická křivka znamená, že traktor drží nastavenou stopu i v případě jakéhokoli vybočení ze směru ve druhém a dalších záběrech. Vybočení se nepřenáší do dalších jízd soupravy (Neudert a Lukas, 2015).



Obrázek 12 Model navádění – Identická křivka (Neudert a Lukas, 2015)

5.5.4 Adaptivní křivka

Navádění probíhá ve stejném smyslu jako u jízdy metodou identické křivky do okamžiku, než dojde k vybočení ze stopy. Poté všechny ostatní stopy kopírují vybočení (Neudert a Lukas, 2015).



Obrázek 13 Model navádění – Adaptivní křivka (Neudert a Lukas, 2015)

5.5.5 Centrální pivot

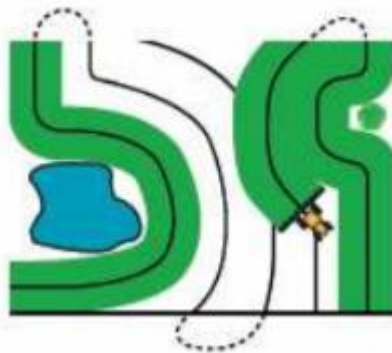
Na začátku jízdy označíme bod A. Poté zahájíme jízdu po pozemku ve tvaru kruhu, nebo zvolíme poloměr kruhu. Na konci kruhu označíme bod B. Poté se souprava pohybuje sama v kruhových jízdách po pozemku (Neudert a Lukas, 2015).



Obrázek 14 Model navádění – Centrální pivot (Neudert a Lukas, 2015)

5.5.6 Freeform (volná linie)

Volná linie vytváří různé křivky a přímé linie na pozemcích různých tvarů. U této metody je nutné zaznamenat první trasu jízdy, aby navigace mohla navádět soupravu i při dalších jízdách po pozemku.



Obrázek 15 Model navádění – Freeform (Neudert a Lukas, 2015)

Pro způsoby řízení vozidel pomocí automatického řízení je důležité co nejpresnější určení polohy. Proto se využívají placené signály DGPS a signály GPS s korekcí RTK, kde lze dosáhnout přesnosti až 2 cm. Linie a data získaná při provádění operací se ukládají do paměti nebo odesílají na web a mohou tak být použita i při dalších operacích (Neudert a Lukas, 2015).

5.6 Svahová kompenzace

Svahová kompenzace je systém, který udržuje stroj na linii, i když se pohybuje na terénních nerovnostech. Polohu, ve které se stroj nachází, určuje přijímač GPS, ten se umísťuje na kabinu v ose středu stroje. Pokud se stroj nakloní na svahu, dochází k posunu pozice mimo středovou osu a musí dojít k opravení pozice. Technologie pro zajištění přesné polohy při jízdě ve svahu je popsána na obrázku 16.

Ve většině případech se jedná o zabudované zařízení přímo v přijímači GPS. Může jím být gyroskop, akcelerometr nebo integrovaná elektronická vodováha. Zařízení dokáže určit sklon a tím dojde pomocí procesoru k přepočtu správného směru jízdy.



Obrázek 16 Technologie pro svahovou kompenzaci (AgriSystem, 2015)

Nejnákladnější, ale i nejpřesnější systém svahové kompenzace je, pokud je přijímač připevněn i na přípojném zařízení soupravy. Jedná se o další navigaci připevněnou na přípojném zařízení, která komunikuje s navigací na traktoru a snaží se udržet správnou stopu i na svažitém terénu. Hlavním cílem je udržet přípojně zařízení v záběru a kompenzovat jeho smýkaní ze svahu. Vysílané signály z přijímače na přípojném zařízení se odesílají do přijímače na traktoru, kde jsou pomocí traktorového počítače vyhodnoceny a vypočítávají správnou dráhu jízdy traktoru. Tento systém zaručuje přesné navazování jednotlivých linií a dokáže zajistit precizní práci na poli (AgriSystem, 2015).

6 Precizní zemědělství

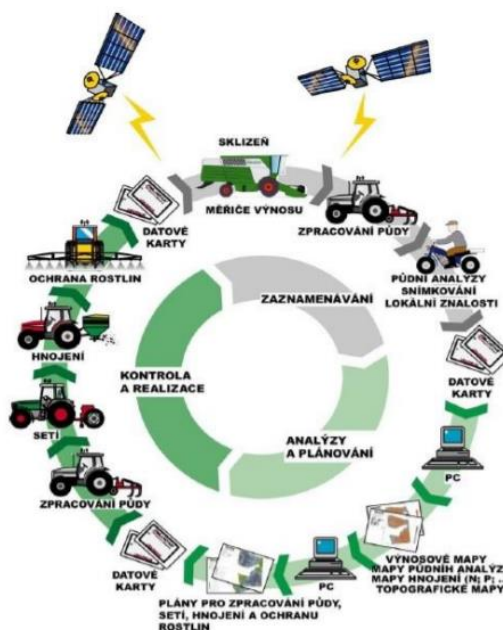
Nedílnou součástí precizního zemědělství jsou v dnešní době navigační systémy. Lze je využít při mnoha různých úkonech. Každá pracovní činnost má jiné nároky na určení polohy, a tak lze v rámci precizního zemědělství nalézt využití všech druhů

GNSS přijímačů. Satelitní navigace slouží k mapování pozemků, navádění strojů, tvorbě výnosových a aplikačních map, ale také evidenci prováděných operací.

Práce, jako je předseťová příprava půdy nebo podmínka pozemků, nevyžadují nejvyšší přesnosti určení polohy, i když i v těchto případech se vyšší přesnost může projevit vyšší efektivitou práce. Nejvyšší přesnost vyžadují stroje, které zakládají porosty, aplikují postřiky nebo jsou vybaveny automatickým řízením. V případě splnění požadavků, aby se všechny stroje pohybovaly každý rok ve stejných stopách a 80 % pozemku zůstalo bez utužení, není ani přesnost určení polohy 5 cm přehnaná (Neudert, 2015).

Precizní zemědělství nevnímá pole jako jednu část, ale jako heterogenní celek. To znamená, že každá část pole může být rozdílná, a proto je nutné přizpůsobit pracovní operace dané části obdělávaného pozemku. Precizní zemědělství se začalo rozvíjet v 90. letech dvacátého století. Prvotní rozvoj nebyl tak rychlý, jak se zpočátku očekávalo, protože pozemky se obdělávaly jako jeden celek. Už v minulosti si hospodáři uvědomovali, že pozemky nejsou vždy vyrovnané a výnosy plodin nejsou na všech místech stejné. Proto se snažili úrodnější části více obdělávat a na neúrodných celcích nekládali do činnosti takovou intenzitu. Získání znalostí o ošetřování rozdílných částí pozemku bylo z hlediska nedostatku technologií velice náročné, a s ohledem na výměru některých pozemků prakticky neuskutečnitelné. Až s rozvojem výpočetní techniky a vývojem moderních systémů, jako jsou navigační systémy a sensorová technika, bylo možné identifikovat a lokalizovat rozdíly v rámci jednoho pozemku pro nově vznikající způsob hospodaření, nazývaný precizní zemědělství.

Mnoho zemědělců v dnešní době přechází k preciznímu zemědělství, proto i výrobci zemědělské mechanizace uvádí na trh nové stroje, kde je řada technických prvků připravena právě pro tuto technologii. S tím, jak rychle se tato technologie rozšiřuje a stává se cenově dostupnější, lze očekávat její masivnější nasazení do běžné praxe (Kumhála, 2007).



Obrázek 17 Schéma komponentů precizního zemědělství (Kumhála, 2007)

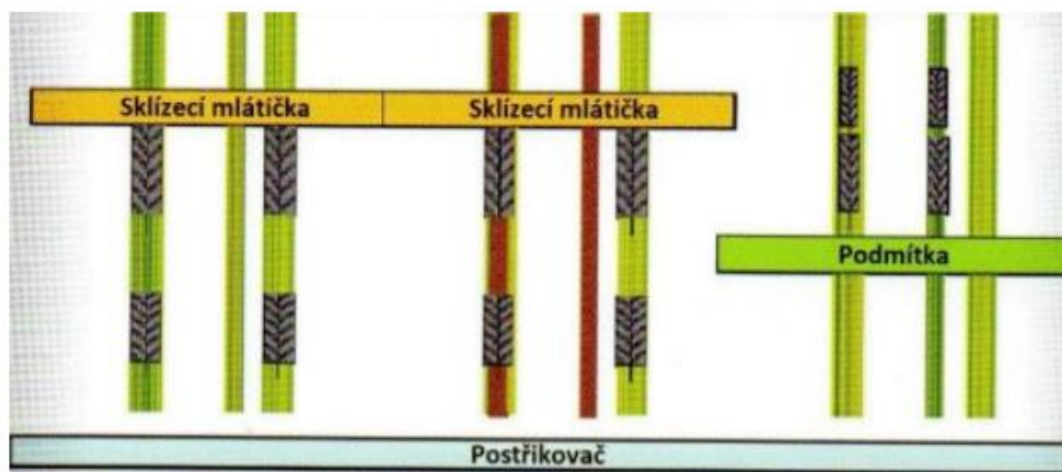
6.1 Controlled traffic farming

Systém CTF lze do češtiny přeložit jako Systém trvalých jízdnic nebo jako Jednotné kolejové řádky. V praxi to znamená, že přejezdy po pozemku se soustřeďují do trvalých kolejových stop, aby produkční plocha pozemku zůstala nezasažená zatížením pracovních strojů. V dnešní době je velký problém s utužením pozemků, díky kterému jsou poškozeny produkční i mimoprodukční funkce půdy. Hlavním důvodem zhutňování půdy je nárůst hmotností strojů a vyšší energetická náročnost zpracování kvůli vysokému vystavování tlakům vyvíjeným pojezdovým ústrojím traktorů, dopravních prostředků a sklizňových strojů.

Aby se zabránilo stále většímu zhutnění vrstev půdy, je nutné rozšiřovat technologie podobné systému CTF. Tato technologie vznikla koncem minulého století a rozděluje se do několika způsobů kombinací přejezdů. Je nutné techniku přestavit na stejný rozchod kol, většinou podle rozchodu sklizňových strojů. Náročná je i organizace pohybu strojů po pozemku. Například u sklizňových prací musí odvozní prostředky rovněž jezdit v kolejových řádcích. Dále musí podnik využívající tuto technologii vlastnit stroje o stejném záběru, tento rastr nejčastěji činí 12, 9 nebo 6 metrů. Může být nastaven libovolně, pokud mu budou svým záběrem odpovídat využívané stroje (Stehno, 2015).

6.1.3 ADTRAC

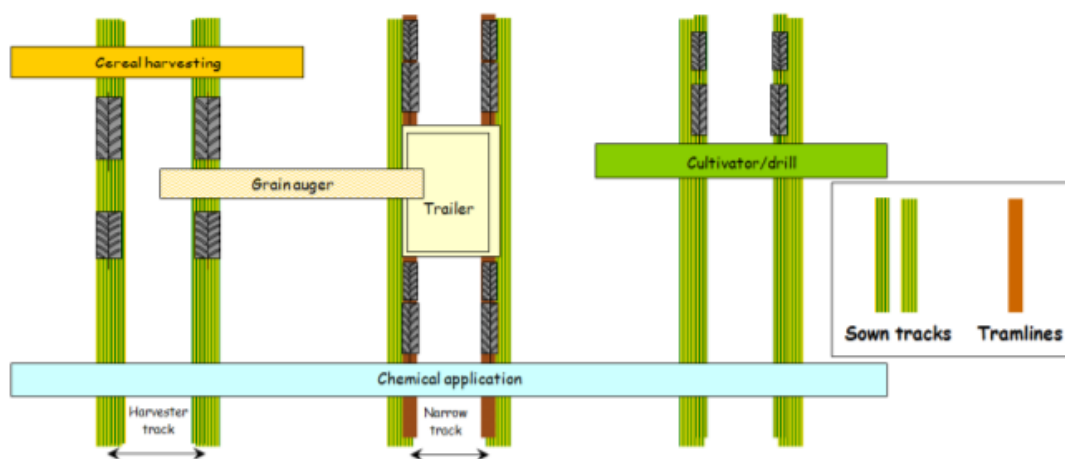
Adtrac je vhodný v případě větších pracovních záběrů používané techniky. Využívá dodatečnou jízdní soupravu za cenu většího záběru (Stehno, 2015).



Obrázek 20 CTF se systémem ADTRAC (Stehno, 2015)

6.1.4 OUTRAC

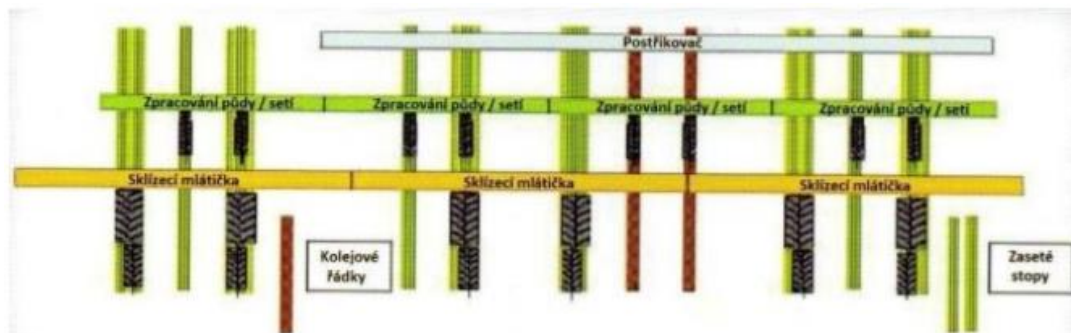
Outrac je nejjednodušším způsobem, jak aplikovat systém CTF, protože zde nemusí být sjednocen rozchod kol. Pozemek je rozdělen do tří oblastí: oblast s nulovým přejezdem, oblast s minimálním přejezdem a oblast s intenzivními přejezdy (Stehno, 2015).



Obrázek 21 CTF se systémem OUTTRAC (Stehno, 2015)

6.1.5 HALFTRAC

Halftrac využívá dva rozchody náprav, kdy jeden rozchod je polovinou druhého. Také využívá tři šířky záběru použité techniky (Stehno, 2015).



Obrázek 22 CTF se systémem HALFTRAC (Stehno, 2015)

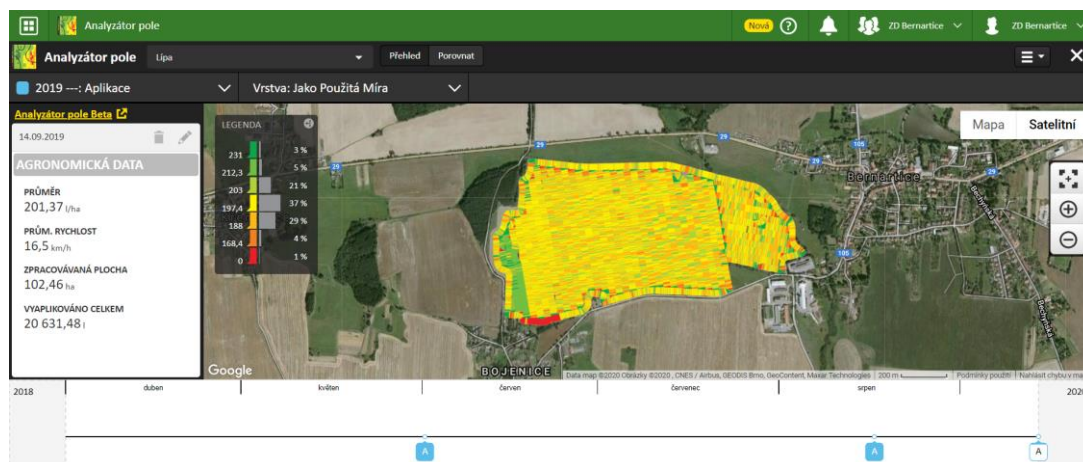
Při používání systému CTF je nutné používat navigační systémy a pomocí signálu GNSS dodržovat přesnou polohu a opakovatelnost stop i po delším čase. Proto je v dnešní době kladen velký důraz na přesnost určení polohy a zachování přesných navigačních linií. U technologie CTF je jakákoli nepřesnost v navigaci problémem, z důvodu rozšiřování plochy přejeté pneumatikou a zmenšování plochy vhodné pro pěstování plodin. Při využívání konvenčních technologií zpracování půdy činila plocha pokrytá stopami přejezdů 88 % za rok, u minimalizačních technologií 65 % a při využití metody CTF se podíl plochy pokrytou stopami snížil na 37 % (Stehno, 2015).

6.2 Výnosové a aplikační mapy

Mapování výnosů, kontrola množství aplikace postřiků nebo množství vysetého osiva lze popsat jako nástroj kontroly, který napomáhá odhalovat kolísání výnosů a analyzovat jeho příčiny. Nejde pouze o kontrolu, ale lze podle těchto dat plánovat oševní postupy, budoucí operace nebo dávku aplikovaného hnojiva.

Analýzátor pole slouží k zobrazení dat, která sbírají stroje při práci na pozemku. Lze poté zobrazovat výnosové mapy, mapy vlhkosti, ale i informace o setí a ošetřování pomocí postřikovače viz obrázek 23. Provozní data, která se sbírají několik let, lze zpětně využít pro účely dlouhodobějšího vyhodnocení potenciálu pozemku a upravit budoucí hospodaření na něm. Dále můžeme vyhodnotit vstupy a jejich dopad na výnosy. Jaká data nám systém zobrazí, záleží na typu a výbavě stroje, se kterým je operace prováděna. U samohodné řezačky vybavené měřicím zařízením lze zjistit obsah jednotlivých složek v řezance nebo její sklizené množství.

Tím můžeme v dalších letech upravit výsevek a získat z úrodnějších částí pozemku kvalitnější plodinu a větší množství materiálu či vypracovat přepisové aplikační mapy pro hnojení, setí nebo aplikaci postřiků (Neudert, 2015).

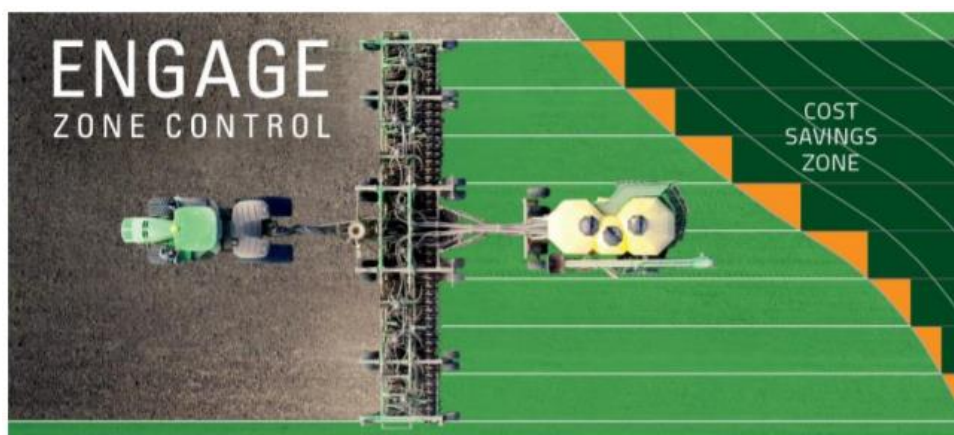


Obrázek 23 Aplikační mapa (MyJohnDeere, 2020)

Mapování výnosů během sklizně je měřeno soustavou senzorů umístěných ve sklizňovém stroji. Hodnoty jako je vlhkost, poloha stroje nebo množství sklizené plodiny jsou uloženy do paměti palubního počítače. Poté data mohou být odeslána na web přes Wi-Fi nebo stažena z paměti počítače na přenosné úložiště. Data získaná z příslušného stroje můžeme porovnat s výnosy v minulých letech a upravit podle nich další kroky v obdělávání pozemků. Tímto způsobem postupně získáváme normalizovaný výnos (Strom Praha, 2017).

6.3 Sekční kontrola strojů

Sekční kontrola prvků je další důležitý prvek v precizním zemědělství. Sekční ovládání strojů je funkce, kde se záběr stroje rozdělí do samostatně ovladatelných či regulovatelných částí, jako na obrázku 24. Sekce se ovládají manuálně obsluhou stroje nebo automaticky za pomoci navigačního systému, kdy palubní počítač komunikuje s přípojným zařízením pomocí rozhraní ISOBUS. Sekční ovládání se využívá především u postřikovačů, secích strojů, rozmetadel minerálních hnojiv nebo aplikátorech kejdly.



Obrázek 24 Ukázka činnosti sekčního ovládání výsevního ústrojí (Strom Praha, 2018)

Využíváním sekční kontroly strojů lze ušetřit vstupy na danou pracovní činnost. Úspora spočívá v eliminaci dvojího ošetření nebo dvojího přesetí stejné plochy, které vzniká při objíždění překážek, otáčení na souvratí nebo u pozemků nepravidelného tvaru. Počet sekcí je limitován použitým terminálem navigačního systému nebo konstrukcí stroje. Nové terminály dokáží ovládat až 255 sekcí, tento počet je dostačující na ovládání jednotlivých trysek na postřikovači nebo každého výsevního ústrojí na přesném secím stroji. Tato funkce je zobrazena na obrázku 25 (Strom Praha, 2018).



Obrázek 25 Porost založený s využitím sekční kontroly přesného secího stroje (Strom Praha, 2018)

6.4 Variabilní setí a hnojení

Technologie variabilního dávkování hnojiva či osiva využívá pro svou funkci výnosové a aplikační mapy z předchozích pracovních operací. Dále je nutné soupravu vybavit sekční kontrolou stroje a možností regulace dávky v reálném čase. Variabilní dávkování osiva nebo hnojiva se používá z důvodu, že pozemky jsou často heterogenní. Obsahují různé typy půd a jejich zásobenost živinami je rozmanitá. Proto

je vhodné na různých částech pozemku volit různou dávku osiva nebo hnojiva, pro snížení nákladů a zvýšení výnosů.

Dávka na pozemku se řídí pomocí aplikační mapy, která je získána z předchozího výnosu dosaženém na pozemku, druhu půdy a obsahu živin v půdě. Aplikační mapa je soubor dat, kde jednotlivé souřadnice mají přidělenou hodnotu osiva nebo hnojiva, která má být na daném místě aplikována. V případě přihnojování osetých ploch je možné vycházet z aktuálního stavu porostu. K řízení dávky hnojiva lze využít metody měření odrazivosti rostlin, obsahu chlorofylu nebo opory rostlin při ohybu. Senzory umístěné před soupravou snímají obsah chlorofylu a využívají tento údaj pro nastavení dávky přihnojení (Pastorek, 2002).

Cíl práce

Cílem diplomové práce je zhodnotit výhodnost využití systému automatického navádění pomocí navigačních systémů v porovnání s manuálním řízením stroje obsluhou. Měření bude probíhat při zpracování půdy za pomoci kolového traktoru v agregaci s dlátovým pluhem a při setí dané plodiny pomocí pneumatického secího stroje. Dále bude zhodnocena časová a energetická úspora a ekonomicky vyhodnoceny naváděcí systémy pro daný podnik.

Metodika práce

Realizace vlastní práce bude vycházet z měření ve vybraném podniku zemědělské prvovýroby ZD Bernartice. Zemědělské družstvo Bernartice se nachází v Jihočeském kraji v okrese Písek. Zabývá se rostlinnou i živočišnou výrobou. Rostlinná výroba se zabývá pěstováním obilnin, řepky, kukuřice a krmných plodin pro potřebu živočišné výroby. Živočišná výroba je především zaměřena na produkci mléka, dále na chov masného dobytka. V roce 2013 byl do podniku pořízen první navigační systém a v průběhu následujících let pak ještě několik dalších.

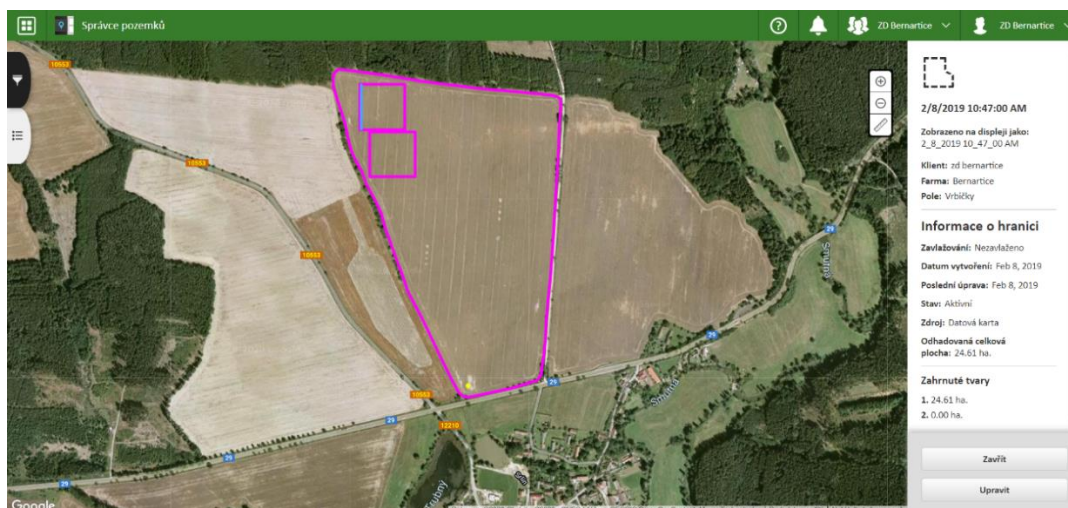
Hlavním cílem práce bude zmapovat pohyb souprav při zpracování půdy a setí s použitím GPS navigace a bez použití navigačního systému. Měření první soupravy bude probíhat na pozemku u vsi Srlín označeném dle LPIS 750–1120 1001, místní název Vrbičky, při zpracování půdy dlátovým pluhem. Na pozemku budou vyměřeny dvě shodné plochy pomocí webového portálu MyDeere.com. Obě plochy se budou nacházet ve vzdálenosti jen několika málo metrů z důvodu přesného měření. Na první vyměřené ploše se bude souprava pohybovat pomocí GPS navigace v přímé stopě a na souvratích se bude stroj otáčet manuálně. Po otočení bude souprava opět navedena na další linii, kde obsluha opět spustí navigaci.

Před zahájením jízdy s použitím navigace je nutné nahrát ohraničení pozemku a linii přímé jízdy. Tyto hodnoty budou připraveny v programu MyDeere.com a přeneseny na FlashDisk. Poté se na displeji GreenStar vybere správný pozemek, na kterém bude uložena i linie navádění. Po njetí na okraj vyznačeného pozemku se aktivuje režim autopilot a traktor se sám navede podle nastavené stopy, autopilot je deaktivován zásahem do řízení. Při dalším přejezdu stačí stroj navést na další linii a opět aktivovat funkci autopilot a traktor už se sám navede. Tímto způsobem bude zpracován celý pozemek.

U druhého měření se práce na pozemku bude provádět bez navádění pomocí GPS navigace. Navigace se bude používat pouze pro shromažďování provozních dat a pro zpracování pozemku pouze ve vyměřené části. Pro výpočet hodnot budou použita data v Tabulce 1, která jsou pro oba pokusy stejná.

Tabulka 1 Hodnoty pro výpočty

Konstrukční záběr [m]	3 m
Zpracovaná plocha [ha]	1 ha
Cena PHM [Kč.l ⁻¹]	23,96 Kč.l ⁻¹
Hodinová mzda pracovníka [Kč.h ⁻¹]	130 Kč.h ⁻¹



Obrázek 26 Ohraničení dvou shodných ploch ve webovém portálu MyDeere (MyJohnDeere, 2020)

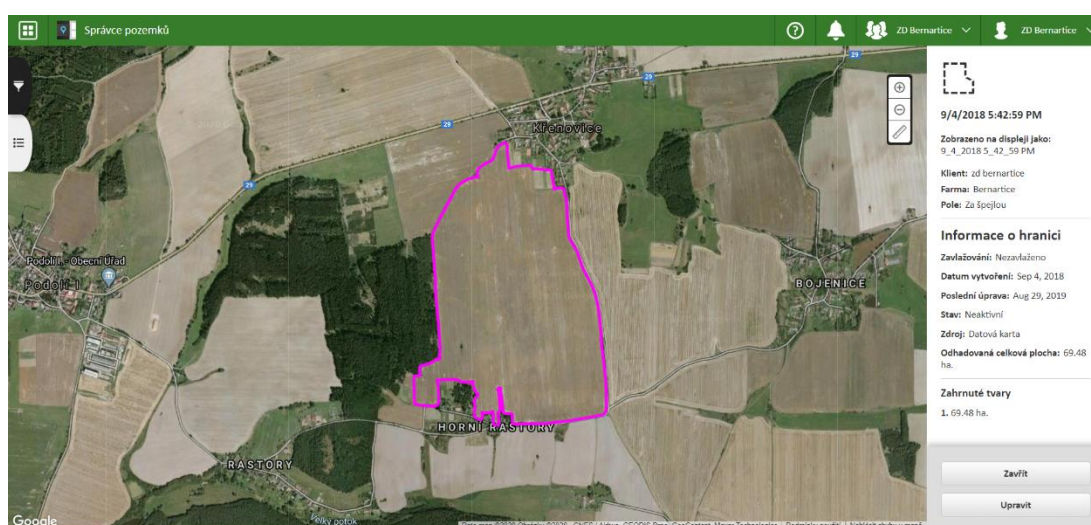
Měření druhé soupravy bude probíhat na pozemku u vsi Křenovice označeném dle LPIS 750–1120 9202/1, místní název Za Špejlou, při setí ozimého ječmene Kosmos JUP, ve srovnatelných podmínkách za suchého počasí, aby nedocházelo k prokluzu kol. Nejprve bude měření probíhat s použitím navigačního systému. Zásobník secího stroje bude naplněn osivem, poté souprava přejde do pracovního režimu, kde bude sít plodinu podle nastaveného výsevu $185 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Toto měření se bude opakovat třikrát. Řízení soupravy bude zajišťovat navigační systém a otáčení na souvrati bude manuální. Souprava se bude pohybovat v režimu přímé stopy podle asistovaného řízení. V menu monitoru bude potřeba nastavit linii jízdy, podle které se souprava bude navádět. Ideální linie bude na pozemku zvolena okolo lesa, ale práce musí začít na druhé straně pozemku z důvodu driftování secího stroje na svažitém pozemku. Přímá stopa bude vytvořena pomocí metody AB. Do ovládacího panelu secího stroje bude nastaven záběr 5,85 metrů a do monitoru navigace 6 metrů.

Poté bude měření provedeno bez použití navigačního systému GPS. Secí stroj se opět naplní osivem. Řízení soupravy bude zajišťovat obsluha podle talířového znaménku na secím stroji. Talířový znaménák při průjezdu secího stroje zanechává drážku, po které se řidič při jízdě zpět musí držet středem traktoru. Navigace zde bude použita pro zjištění výsledků zaseté výměry a zjištění výhod či nevýhod oproti ovládání řízení traktoru.

Celkový čas bude změřen od prvního spuštění secího stroje do vysetí celého zásobníku. Při plnění musí být čas pozastaven a spuštěn až po uvedení soupravy zpět do práce. I v tomto měření budou vysety tři secí stroje.

Tabulka 2 Hodnoty pro výpočty

Konstrukční záběr [m]	5,875
Cena osiva [Kč.t ⁻¹]	9 100
Cena PHM [Kč.l ⁻¹]	23,96
Hodinová mzda pracovníka [Kč.h ⁻¹]	130
Spotřebované osivo [t]	4,50
Výsevek [kg.ha ⁻¹]	185
Osivo ječmene	JUP C
Kapacita zásobníku [l]	1850



Obrázek 26 Pozemek Za Špejlou zobrazen pomocí webového portálu MyDeere (MyJohnDeere, 2020)

První souprava se bude skládat z traktoru John Deere 8320R a dlátového pluhu Strom Terraland TN 3000 H M7R. Traktor John Deere byl do zemědělského družstva pořízen v roce 2018, a byl vybaven přijímačem GPS signálu StarFire. Jedná se o kolový traktor s výkonem motoru 235 kW, se stupňovitou převodovkou E23 a dotykovým displejem CommandCenter 4600 4. generace. Dlátový pluh byl pořízen pro zlepšení půdních podmínek v roce 2012, má záběr 3 metry a dokáže půdu zpracovat až do hloubky 65 centimetrů.



Obrázek 27 První měřená souprava John Deere 8320R a Strom Terraland TN 3000 H

Před měřením bude souprava vybavena přijímačem StarFire 3000. Přijímač StarFire 3000 přijímá signál SF1 s přesností navazujících jízd +/- 25 cm. Dále bude provedena kalibrace umístění přijímače, zadány rozměry záběru stroje a nahrána data rozměrů měřených pozemků. V celkové práci soupravy bude měřen celkový čas T_c od prvního spuštění dlátového pluhu do půdy až do zpracování první vyměřené plochy. Dále se bude měřit průměrná rychlost v_p a měrná spotřeba paliva Q_{na} , která bude zjištěna z ovládacího monitoru stroje. Dalším důležitým prvkem je stanovení konstrukčního záběru B_k použitého pracovního nářadí, který je stanoven výrobcem. Dále se vypočítá skutečný záběr B_s dle vztahu (2) a (3). Před výpočtem se stanoví přesah p , o kolik milimetrů přesahuje pracovní nářadí kraj vedlejšího záběru. Přesah závisí na přesnosti použité navigace a na nastavení záběru v pracovním monitoru, přesah je zpravidla 5–15 cm. Skutečný záběr je hodnota získaná odečtením zvoleného přesahu od konstrukčního záběru. Plocha pozemku S je vypočtena ze stanovených rozměrů pozemku dle vztahu (1). Ze známé plochy a skutečného záběru bude vypočten počet přejezdů k . Dále je potřeba vypočítat dvakrát zpracovanou plochu dle vztahu (4) a (5), jde o překrývající se záběry konstrukční délky pracovního nářadí. Zjištěná dvakrát zpracovaná plocha při měření s navigací a bez použití navigace ukáže rozdíly, případně výhody či nevýhody obou systémů. Při zpracování druhé měřené plochy se řízení podle navigace používat nebude. Využije se pouze k přesnému zmapování pohybu soupravy. Tím se docílí přesnějšího změření pohybu stroje. Budou se zde měřit stejné hodnoty jako u prvního měření. Počet přejezdů se zapisuje nebo zjistí

z mapy navigace. Dvakrát zpracovaná plocha se vypočte vydělením šířky zpracovaného pozemku počtem přejezdů, anebo z mapy navigačního systému.

Druhá souprava se bude skládat z traktoru John Deere 8420 a secího stroje Lemken Solitar 9. Traktor i secí stroj byl do zemědělského družstva pořízen v roce 2004. Na traktor se v roce 2018 pořídil navigační systém GreenStar 2630 s přijímačem StarFire 6000 a systém asistovaného řízení AutoTrac Universal 200. Přesnost navigačního signálu SF 3 s přijímačem StarFire 6000 je +/- 5 cm. Cena zpřesněného signálu SF 3 je 23 450 Kč.rok⁻¹. John Deere 8420 je kolový traktor s šestiválcovým motorem o výkonu 201 kW, se stupňovitou převodovkou PowerShift 16/4 s hmotností 11,5 tuny. Lemken Solitare 9 je pneumatický secí stroj s konstrukčním záběrem 6 metrů. Přípravu seťového lůžka zajišťují rotační brány Zirkon 12. Rozestup jednotlivých výsevních botek je 12,5 cm a jejich počet je 48. Objem zásobníku je 1850 litrů. Ventilátor pro dopravu osiva k secím botkám je poháněn hydraulicky. Příslušenství secího stroje se skládá z kontroly vypínání kolejových řádků, elektronické ovládání Solitronic s ovládacím terminálem LVT – 50, elektronická kontrola množství osiva v zásobníku, impulzní kolo a digitální váha pro zjištění výsevku, hydraulicky sklopné znamenáky.



Obrázek 28 Druhá měřená souprava John Deere 8420 a Lemken Solitare 9

Dále bude provedena kalibrace umístění přijímače, zadány rozměry záběru secího stroje a zkalibrováno impulzní kolo secího stroje pro přesnější měření. V celkové práci soupravy bude měřen čas T_c od prvního spuštění secího stroje až do vysetí tří zásobníků. Během plnění zásobníku osivem, bude čas pozastaven. Dále se měří průměrná rychlost v_p a měrná spotřeba pohonných hmot Q_{ha} , která bude zjištěna z ovládacího monitoru stroje. Důležité je znát konstrukční záběr B_k secího stroje, který je stanoven výrobcem. Dále je nutné spočítat skutečný záběr B_s dle vztahu (2). Před výpočtem je nutné znát přesah p , zjistit rozteč výsevních botek secího stroje a připočítat tuto hodnotu ke konstrukčnímu záběru. Skutečný záběr je tedy vypočten součtem zvoleného přesahu s konstrukčním záběrem. V ovládacím panelu secího stroje bude zadán konstrukční záběr a do monitoru navigačního systému skutečný záběr. Z ovládacího panelu secího stroje zjistíme teoretickou výkonnost W_t a z monitoru navigačního systému zjistíme skutečnou výkonnost W_s soupravy. U druhého měření se bude souprava pohybovat manuálně řízená podle talířového znaménaku, který znázorňuje dráhu pro další vedení soupravy. Řízení bude manuální a navigace zde bude použita k přesnému zmapování pohybu soupravy, tím se docílí přesnějšího změření skutečné výkonnosti secího stroje. Měří se stejné hodnoty jako u prvního měření. Rozdíl mezi skutečnou výkonností při měření s řízením pomocí navigace a manuálním řízením nám ukáže rozdíly, případně i výhody či nevýhody obou systémů.

Plocha pozemků zpracovávaných pozemků S se vypočte dle vztahu (1).

$$S = a \cdot b \quad (1)$$

S – plocha vyměřených pozemků [m²],

a – délka plochy [m],

b – šířka plochy [m].

Vzorec pro výpočet skutečného záběru soupravy u práce s navigací.

$$B_s = B_k - p \quad (2)$$

B_s – skutečný záběr [m],

B_k – konstrukční záběr [m],

p – přesah (0,05 – 0,15m) [m].

Vzorec pro výpočet skutečného záběru soupravy u práce bez navigace.

$$B_s = \frac{b}{k} \quad (3)$$

B_s – skutečný záběr [m],

b – šířka plochy [m],

k – počet přejezdů.

Dvakrát zpracovaná plocha u práce s navigací.

$$S_2 = (B_k - B_s) \cdot a \cdot k \quad (4)$$

S_2 – dvakrát zpracovaná plocha [m²],

B_s – skutečný záběr [m],

B_k – konstrukční záběr [m],

a – délka pozemku [m],

k – počet přejezdů.

Dvakrát zpracovaná plocha u práce bez navigace.

$$S_2 = \left(B_k - \frac{b}{k} \right) \cdot a \cdot k \quad (5)$$

S_2 – dvakrát zpracovaná plocha [m²],

B_k – konstrukční záběr [m],

b – šířka zpracovávané plochy [m],

a – délka pozemku [m],

k – počet přejezdů.

Součinitel využití β je spočten dle vztahu (6) podílem konstrukčního a pracovního záběru.

$$\beta = \frac{B_s}{B_k} \quad (6)$$

β – součinitel využití,

B_s – skutečný záběr [m],

B_k – konstrukční záběr [m].

Výpočet skutečné výkonnosti stroje, je podílem plochy vyměřených pozemků a celkového času dle vztahu (7).

$$W_s = \frac{S}{T_c} \quad (7)$$

W_s – skutečná výkonnost [ha.h⁻¹],

S – plocha vyměřených pozemků [m²],

T_c – celkový čas [h].

Teoretická výkonnost stroje je spočtena vynásobením konstrukčního záběru, průměrné rychlosti, součinitele využití celkového času a konstanty k dle vztahu (8).

$$W_t = B_k \cdot v_p \cdot k \cdot \tau_{07} \quad (8)$$

W_t – teoretická výkonnost [ha.h⁻¹],

B_k – konstrukční záběr [m],

v_p – průměrná rychlost [m.s⁻¹],

k – konstanta pro přepočet,

τ_{07} – součinitel využití celkového času.

Spotřeba paliva je zjištěna z ovládacího počítače stroje a následně vypočte se přesná spotřeba v litrech, vynásobením hodinové spotřeby a celkového času práce, dle vztahu (9).

$$Q_t = Q_h \cdot T_c \quad (9)$$

Q_t – spotřeba paliva [l],

Q_h – hodinová spotřeba paliva [l.h⁻¹],

T_c – celkový čas práce [h].

Po zjištění spotřeby paliva, celkového času práce a u druhé soupravy úspory osiva, se vypracuje ekonomické zhodnocení. Pro vyčíslení pohonných hmot C_{ph} bude použita aktuální cena paliva C_n (viz Tabulka 1 a 2) a spotřeba paliva Q_t při práci s navigací nebo bez použití navigace. Vynásobením ceny jednoho litru paliva s celkovou spotřebou litrů na práci získáme cenu pohonných hmot při práci s navigací

a bez navigace dle vztahu (10). Porovnáním výsledků bude vyčíslen ekonomický rozdíl mezi oběma systémy.

$$C_{ph} = C_n \cdot Q_t \quad (10)$$

C_{ph} – cena pohonných hmot [Kč],
 C_n – cena jednoho litru paliva [Kč],
 Q_t – spotřeba paliva [l].

Dalším bodem ekonomického zhodnocení je mzda obsluhy soupravy C_o . Bude použita aktuální mzda pracovníka v korunách za hodinu M_h (viz Tabulka 1 a 2), tento údaj se vynásobí celkovým časem práce s navigací a bez navigace, dle vztahu (11). Porovnání výsledků bude vyčíslen ekonomický rozdíl mezi oběma systémy.

$$C_o = T_c \cdot M_h \quad (11)$$

T_c – celkový čas práce [h],
 M_h – hodinová mzda pracovníka [Kč.h⁻¹],
 C_o – mzda obsluhy soupravy [Kč].

Cenu osiva na jeden vysetý hektar $C_{os,ha}$ určíme podílem ceny osiva C_{os} a plochy zasetého pozemku S_p s použitím nebo bez použití navigace dle vztahu (12). Rozdílem ceny osiva na hektar je vyčíslen ekonomický rozdíl mezi oběma systémy.

$$C_{os,ha} = \frac{C_{os}}{S_p} \quad (12)$$

$C_{os,ha}$ – cena osiva na hektar [Kč.ha⁻¹],
 C_{os} – cena osiva [Kč],
 S_p – zasetá plocha [ha].

Pro vyčíslení výsledků pro daný podnik se přepočtou ekonomické rozdíly na celkovou zpracovanou plochu S_c , která činí 239,26 ha u soupravy při zpracování půdy a 220,13 ha u soupravy při setí. Z této plochy bude vypočtena spotřeba pohonných hmot na celkovou plochu s navigací a bez navigace. Dále je u soupravy, která bude sít, nutné spočítat rozdíl osiva na celkovou plochu $C_{os,Sc}$. Porovnáním výsledných hodnot bude zjištěn ekonomický rozdíl pro celkovou zpracovanou plochu v ZD

Bernartice s danou soupravou. Pro tyto výpočty budou použity vztahy (13), (14) a (15).

$$Q_t = Q_{ha} \cdot S_c \quad (13)$$

Q_t – spotřeba paliva [l],

Q_{ha} – spotřeba paliva na hektar [l.ha⁻¹],

S_c – celková zpracovaná plocha [ha].

$$C_{ph} = C_n \cdot Q_t \quad (14)$$

C_{ph} – cena pohonných hmot [Kč],

C_n – cena jednoho litru paliva [Kč],

Q_t – spotřeba paliva [l].

$$C_{os,Sc} = C_{os,ha} \cdot S_c \quad (15)$$

$C_{os,Sc}$ – cena osiva na plochu [Kč],

$C_{os,ha}$ – cena osiva na hektar [Kč.ha⁻¹],

S_c – celková zpracovaná plocha [ha].

Časový rozdíl se zjistí přepočtením času na plochu zpracovávanou soupravou pro obě metody s navigací i bez navigace, následným porovnáním bude zjištěn rozdíl. Z celkového času se vypočte mzda pracovní obsluhy a z té bude opět zjištěn rozdíl obou metod. Výpočet času potřebného pro zpracování všech ploch se vypočte tak, že se nejprve určí, za jaký čas se zpracuje jeden hektar a výsledek se vynásobí celkovou plochou, na které je práce prováděna, dle vztahu (16). Celková mzda je vypočtena vynásobením celkového času s hodinovou mzdou pracovníka dle vztahu (17).

$$T_{cp} = \frac{T_c}{S} \cdot S_c \quad (16)$$

T_{cp} – čas zpracování celkové plochy,

T_c – celkový čas práce [h],

S – plocha vyměřených pozemků [ha],

S_c – celková zpracovaná plocha [ha].

$$C_{oc} = T_{cp} \cdot M_h \quad (17)$$

C_{oc} – celková mzda obsluhy stroje všech zpracovaných ploch [Kč],

T_{cp} – čas zpracování celkové plochy,

M_h – hodinová mzda pracovníka [Kč.h⁻¹].

U traktoru John Deere 8320R použitého pro zpracování půdy je navigační systém v ceně nového stroje. Příprava AutoTrac je u traktoru řady R v základní výbavě. Samotná cena balíčku pro tento traktor by tedy byla 81 000 Kč za přijímač a 33 800 Kč za aktivaci systému. U druhého traktoru John Deere 8420 se navigační systém pořizoval dodatečně. Cena balíčku AutoTrac je 295 550 Kč s jednorocní licenci signálu SF 3. Dále bylo potřeba pořídit univerzální řídicí volant ATU 200, spínač a kabeláž v hodnotě 40 000 Kč. Balíček AutoTrac obsahoval přijímač signálu StarFire 6000 a display GS3 2630. Obnovení licence na využívání signálu SF 3 činí poplatek 23 450 Kč. Hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 3.

Tabulka 3 Ceny navigačních služeb John Deere

Služby	Pořizovací cena [Kč]
Balíček AutoTrac	272 100
Přijímač StarFire 6000	81 000
Display GS3 2630	151 100
ATU 200	40 000
Signál SF3	23 450 Kč.rok ⁻¹
Signál SF1	Zdarma
Práce (montáž, zaškolení)	5 000

Výsledky měření

7 Výsledky měření zpracování půdy

Měření dané soupravy při zpracování půdy pomocí dlátového pluhu a kolového traktoru John Deere probíhalo 21. října 2019 na pozemku Vrbičky nedaleko obce Srlín. Práce probíhala od 8:30 do 11:30 hodin, teplota vzduchu se pohybovala okolo 15 °C, podle čidla traktoru. V předchozích dnech byly srážky minimální, proto nedocházelo k většímu prokluzu kol. Po sklizni ozimé pšenice byla na pozemku provedena podmítka pomocí talířového kypříče.

7.1 Měření s použitím navigace

Při měření s použitím automatického řízení byl vyměřený pozemek zpracován za 34,8 minut průměrnou rychlostí 9,8 km.h⁻¹. Počet potřebných přejezdů ke zpracování této plochy byl 33. Spotřeba pohonných hmot na práci kolového traktoru byla 17,75 l a hodinová spotřeba paliva 30,6 l.h⁻¹. Naměřené hodnoty jsou vyobrazeny v Tabulce 4.



Obrázek 29 Zpracování pozemku pomocí navigačního systému GPS

Výpočet skutečného záběru stroje:

$$B_s = 3 - 0,05 [m]$$

$$B_s = 2,95 m$$

Dvakrát zpracovaná plocha S_2 :

$$S_2 = (3 - 2,95) * 100 * 33 [m^2]$$

$$S_2 = 165 m^2$$

Součinitel využití β , podíl konstrukčního a pracovního záběru:

$$\beta = \frac{2,95}{3}$$

$$\beta = 0,98$$

Výpočet skutečné výkonnosti stroje W_s :

$$W_s = \frac{1}{0,58} * 1,0165 [ha. h^{-1}]$$

$$W_s = 1,75 [ha. h^{-1}]$$

Výpočet teoretické výkonnosti stroje W_t :

$$W_t = 3 * 9,8 * 0,36 * 0,27 [ha. h^{-1}]$$

$$W_t = 2,86 [ha. h^{-1}]$$

Spotřeba paliva v litrech:

$$Q_t = 30,6 * 0,58 [l]$$

$$Q_t = 17,75 [l]$$

Tabulka 4 Naměřené hodnoty zpracování půdy s naváděním pomocí GPS

Datum	21.10.2019
Čas [h]	0,58
Skutečný záběr [m]	2,95
Počet přejezdů	33
Přesah [m]	0,05
Průměrná rychlost [km.h ⁻¹]	9,80
Zpracovaná plocha [ha]	1,01
Spotřeba paliva [l.h ⁻¹]	30,60
Spotřeba paliva na práci [l]	17,75
Výkonnost skutečná [ha.h ⁻¹]	1,75

7.2 Měření bez použití navigace

U druhého měření při zpracování půdy dlátovým pluhem soupravu řídila obsluha. Pozemek byl zpracován za 42 minut průměrnou rychlostí 9,8 km.h⁻¹. Hodinová spotřeba při práci bez automatického řízení byla 31,4 l.h⁻¹ a spotřeba na práci 21,98 l. Počet přejezdů soupravy byl 35 a skutečná výkonnost dosáhla na 1,5 ha.h⁻¹. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny v Tabulce 5.

Výpočet skutečného záběru stroje:

$$B_s = \frac{100}{35} [m]$$

$$B_s = 2,85 m$$

$$B_s = 2,85 + 0,05 [m]$$

$$B_s = 2,092 m$$

Dvkrát zpracovaná plocha S_2 :

$$S_2 = \left(3 - \frac{100}{35}\right) * 100 * 35 [m^2]$$

$$S_2 = 500 m^2$$

Součinitel využití β , podíl konstrukčního a pracovního záběru:

$$\beta = \frac{2,92}{3}$$

$$\beta = 0,97$$

Výpočet skutečné výkonnosti stroje W_s :

$$W_s = \frac{1}{0,7} * 1,05 [ha \cdot h^{-1}]$$

$$W_s = 1,5 [ha \cdot h^{-1}]$$

Výpočet teoretické výkonnosti stroje W_t :

$$W_t = 3 * 9,8 * 0,36 * 0,25 [ha \cdot h^{-1}]$$

$$W_t = 2,65 [ha \cdot h^{-1}]$$

Spotřeba paliva v litrech:

$$Q_t = 31,4 * 0,7 [l]$$

$$Q_t = 21,95 [l]$$

Tabulka 5 Naměřené hodnoty zpracování půdy bez navádění pomocí GPS

Datum	21.10.2019
Čas [h]	0,70
Skutečný záběr [m]	2,92
Počet přejezdů	35
Přesah [m]	0,08
Průměrná rychlost [km.h ⁻¹]	9,80
Zpracovaná plocha [ha]	1,05
Spotřeba paliva [l.h ⁻¹]	31,40
Spotřeba paliva na práci [l]	21,98
Výkonnost skutečná [ha.h ⁻¹]	1,50

8 Výsledky měření při setí

Měření soupravy kolového traktoru John Deere a secího stroje Lemken probíhalo 16. 9. 2019 až 17. 9. 2019. Podmínky při měření dosahovaly ideálních hodnot. Pozemek byl připraven pomocí talířového podmiťáče a kompaktoru. Na pozemku byla půda lehčí až písčitá. Teplota při měření stoupala až k 25 °C v odpoledních hodinách. V předchozích dnech nedošlo k žádným prudkým srážkám, proto byl povrch suchý a

docházelo pouze k mírnému prokluzu kol. Měření s využitím GPS navigace probíhalo první den a druhý den byla souprava řízena manuálně obsluhou.

8.1 Měření s použitím navigace

První měření podle navigace probíhalo s použitím asistovaného řízení. V menu monitoru bylo potřeba nastavit linii jízdy, podle které se souprava řídila. Ideální linie byla na pozemku zvolena okolo lesa, ale práce musela začít na druhé straně pozemku, z důvodu driftování secího stroje na svažitém pozemku, aby nedocházelo k vynechávkám. Měření probíhalo 16. 9. 2019 celý den. Souprava vysela 3 zásobníky za 6 hodin a 42 minut. Průměrná rychlost setí dosahovala hodnoty $11,2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, díky této rychlosti a příznivému stavu pozemku byla spočtena skutečná výkonnost $3,68 \text{ ha}\cdot\text{h}^{-1}$. Zasetá plocha pomocí asistovaného řízení byla 24,71 ha při celkové spotřebě na tuto práci 162,88 l. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny v Tabulce 6.



Obrázek 30 Asistované řízení, monitor GreenStar 2630 a pohled na osěvaný pozemek

Výpočet skutečné výkonnosti stroje W_s :

$$W_s = \frac{1}{6,7} * 24,71 [ha \cdot h^{-1}]$$

$$W_s = 3,68 [ha \cdot h^{-1}]$$

Výpočet teoretické výkonnosti stroje W_t :

$$W_t = 6 * 10,6 * 0,36 * 0,27 [ha \cdot h^{-1}]$$

$$W_t = 6,3 [ha \cdot h^{-1}]$$

Spotřeba paliva v litrech:

$$Q_t = 24,31 * 6,7 [l]$$

$$Q_t = 162,88 [l]$$

Tabulka 6 Naměřené hodnoty při setí s použitím navádění GPS

Datum	16. 9. 2019
Čas [h]	6,70
Skutečný záběr [m]	6,00
Přesah [m]	0,125
Průměrná rychlost [km.h ⁻¹]	11,20
Zpracovaná plocha [ha]	24,71
Spotřeba paliva [l.h ⁻¹]	24,31
Spotřeba paliva na práci [l]	162,88
Výkonnost skutečná [ha.h ⁻¹]	3,68

8.2 Měření bez použití navigace

Druhé měření při setí ječmene ozimého probíhalo druhý den 17. 9. 2019. Celkový čas měření byl 6 hodin a 45 minut. Za tento čas stihla souprava zasít plochu o výměře 24,22 ha průměrnou rychlostí 11,1 km.h⁻¹. Na zasetí této plochy bylo potřeba 163,49 l paliva. Aby bylo měření srovnatelné, bylo vynecháno setí souvratí. Skutečná výkonnost soupravy byla 3,58 ha.h⁻¹. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny v Tabulce 7.

Výpočet skutečné výkonnosti stroje W_s :

$$W_s = \frac{1}{6,75} * 24,22 [ha \cdot h^{-1}]$$

$$W_s = 3,58 [ha \cdot h^{-1}]$$

Výpočet teoretické výkonnosti stroje W_t :

$$W_t = 6 * 10,6 * 0,36 * 0,27 [ha \cdot h^{-1}]$$

$$W_t = 6,3 [ha \cdot h^{-1}]$$

Spotřeba paliva byla zjištěna z monitoru GreenStar 2640 a následně byla vypočtena čistá spotřeba v litrech:

$$Q_t = 24,22 * 6,75 [l]$$

$$Q_t = 163,49 [l]$$

Tabulka 7 Naměřené hodnoty při setí bez použití navádění GPS

Datum	17. 9. 2019
Čas [h]	6,75
Skutečný záběr [m]	6,00
Přesah [m]	0,125
Průměrná rychlost [km.h ⁻¹]	11,10
Zpracovaná plocha [ha]	24,22
Spotřeba paliva [l.h ⁻¹]	24,31
Spotřeba paliva na práci [l]	163,49
Výkonnost skutečná [ha.h ⁻¹]	3,58

8.3 První souprava při zpracování

Níže jsou uvedeny výsledky první soupravy, která provádí zpracování půdy na vybraných pozemcích.

Cena spotřebovaného paliva u práce s naváděním GPS:

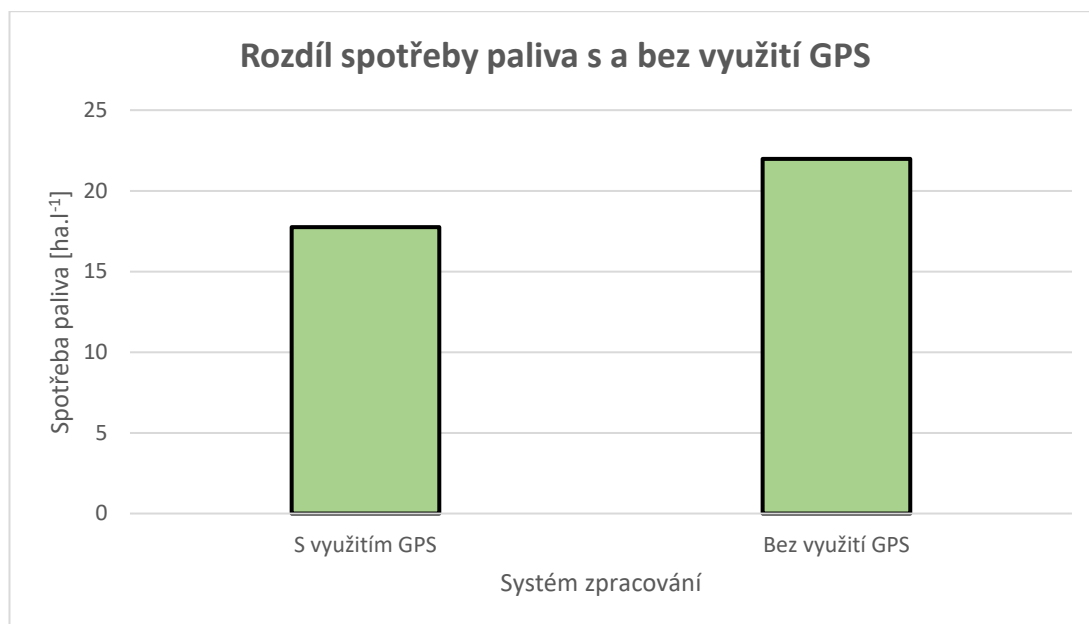
$$C_{ph} = 23,96 * 17,75 [Kč]$$

$$C_{ph} = 425,29 Kč$$

Cena spotřebovaného paliva u práce bez navádění GPS:

$$C_{ph} = 23,96 * 21,98 \text{ [Kč]}$$

$$C_{ph} = 526,64 \text{ Kč}$$



Graf 1 Porovnání spotřeby paliva u soupravy při zpracování půdy

Mzda obsluhy stroje u práce s naváděním GPS:

$$C_o = 0,58 * 130 \text{ [Kč]}$$

$$C_o = 75,4 \text{ Kč}$$

Mzda obsluhy stroje u práce bez navádění GPS:

$$C_o = 0,7 * 130 \text{ [Kč]}$$

$$C_o = 91 \text{ Kč}$$

Výsledky je nutné zhodnotit pro podnik ZD Bernartice. Nejprve byl zjištěn počet hektarů zpracovávaných touto soupravou a poté byly výsledky z pokusu s navigací a bez navigace převedeny na celkovou plochu a finančně vyhodnoceny. Celková podryvaná plocha je 239,26 ha.

Přepočítání spotřeby paliva na celkovou plochu s naváděním GPS:

$$Q_t = 17,75 * 239,26 [l]$$

$$Q_t = 4246,86 l$$

Vyčíslení celkové ceny PHM na plochu s použitím navádění pomocí GPS:

$$C_{ph} = 23,96 * 4246,86 [Kč]$$

$$C_{ph} = 101\,754,77 Kč$$

Přepočítání spotřeby paliva na celkovou plochu bez navádění GPS:

$$Q_t = 21,98 * 239,26 [l]$$

$$Q_t = 5258,93 l$$

Vyčíslení celkové ceny PHM na plochu bez použití navádění GPS:

$$C_{ph} = 23,96 * 5258,93 [Kč]$$

$$C_{ph} = 126\,003,96 Kč$$

Zjištění celkového času zpracování plochy pozemků s naváděním GPS:

$$T_{cp} = \frac{0,58}{1} * 239,26 [h]$$

$$T_{cp} = 138,78 h$$

Vyčíslení mzdy obsluhy za celkový čas práce na pozemcích s naváděním GPS:

$$C_{oc} = 138,78 * 130 [Kč]$$

$$C_{oc} = 18\,041,4 Kč$$

Zjištění celkového času zpracování plochy pozemků bez navádění GPS:

$$T_{cp} = \frac{0,7}{1} * 239,26 [h]$$

$$T_{cp} = 167,48 h$$

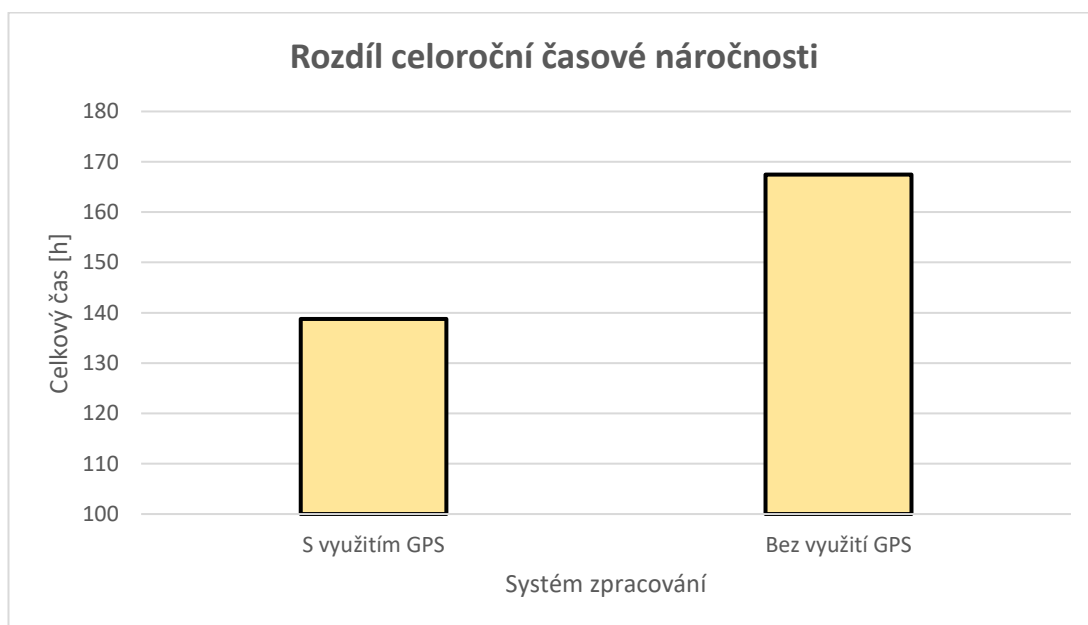
Vyčíslení mzdy obsluhy za celkový čas práce na pozemcích bez navádění GPS:

$$C_{oc} = 167,48 * 130 [Kč]$$

$$C_{oc} = 21\,772,4 \text{ Kč}$$

Tabulka 8 Výsledky obou systémů zpracování pro první soupravu při zpracování

	Systém zpracování	S GPS	Bez GPS	Rozdíl
	Spotřeba [$l \cdot ha^{-1}$]	17,75	21,98	4,23
	Čas [$h \cdot ha^{-1}$]	0,58	0,7	0,12
Celkem	Spotřeba [l]	4 246,86	5 258,93	1 012,07
	Čas [h]	138,78	167,48	28,7
Celková cena	Pohonných hmot [Kč]	101 754,77	126 003,96	24 249,19
	Mzdy obsluhy [Kč]	18 041,4	21 772,4	3 731



Graf 2 Rozdíl celoroční časové náročnosti u první soupravy při zpracování

8.4 Druhá souprava při setí

Níže jsou uvedeny výsledky druhé soupravy při setí ječmene ozimého.

Cena spotřebovaného paliva při setí s naváděním GPS:

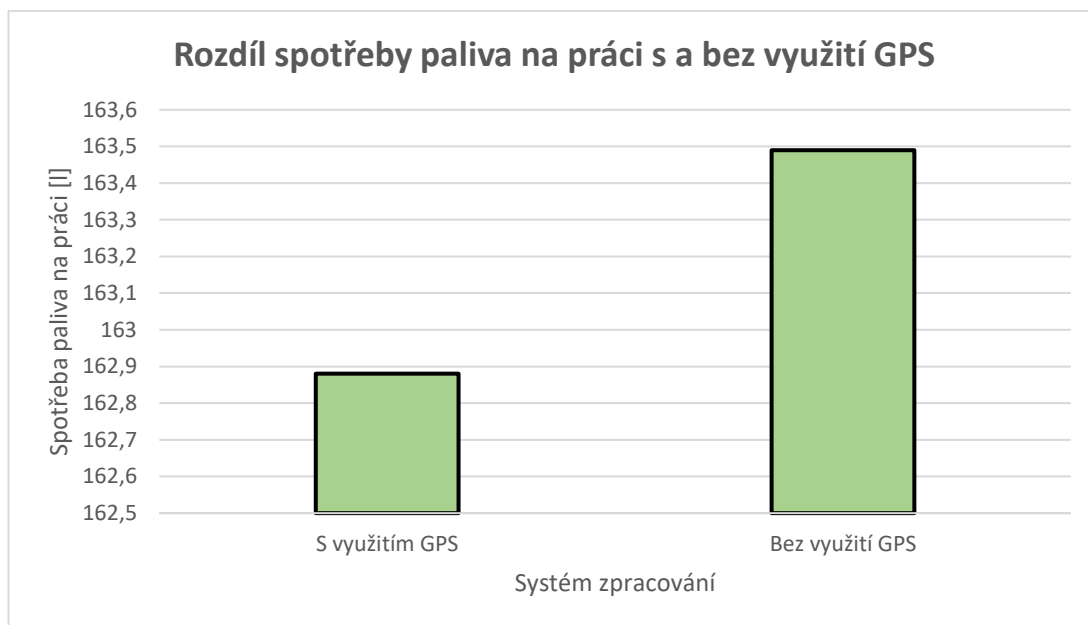
$$C_{ph} = 23,96 * 162,88 [Kč]$$

$$C_{ph} = 3\,902,60 \text{ Kč}$$

Cena spotřebovaného paliva při seti bez navádění GPS:

$$C_{ph} = 23,96 * 163,49 \text{ [Kč]}$$

$$C_{ph} = 3\,917,22 \text{ Kč}$$



Graf 3 Rozdíl spotřeby paliva na práci pro druhou soupravu při seti

Mzda obsluhy stroje při seti s naváděním GPS:

$$C_o = 6,7 * 130 \text{ [Kč]}$$

$$C_o = 871 \text{ Kč}$$

Mzda obsluhy stroje při seti bez navádění GPS:

$$C_o = 6,75 * 130 \text{ [Kč]}$$

$$C_o = 877,5 \text{ Kč}$$

Cena spotřebovaného osiva na hektar při seti s použitím GPS naváděním:

$$C_{os,ha} = \frac{40\,950}{24,71} \text{ [Kč. ha}^{-1}\text{]}$$

$$C_{os,ha} = 1\,657,22 \text{ Kč. ha}^{-1}$$

Cena spotřebovaného osiva na hektar při setí s použitím GPS naváděním:

$$C_{os,ha} = \frac{40\,950}{24,22} [Kč. ha^{-1}]$$

$$C_{os,ha} = 1\,690,75 Kč. ha^{-1}$$

Výsledky je nutné zhodnotit pro podnik ZD Bernartice. Nejprve byl zjištěn počet hektarů, které je potřeba zasít ječmenem ozimým a poté byly výsledky z pokusu s navigací a bez navigace převedeny na celkovou plochu a finančně vyhodnoceny. Plocha osetá ječmenem ozimým je 220,13 ha.

Přepoččet spotřeby paliva na celkovou plochu s naváděním GPS:

$$Q_t = 6,59 * 220,13 [l]$$

$$Q_t = 1\,450,65 l$$

Vyčíslení celkové ceny PHM na plochu s použitím navádění pomocí GPS:

$$C_{ph} = 23,96 * 1\,450,65 [Kč]$$

$$C_{ph} = 34\,757,57 Kč$$

Přepoččet spotřeby paliva na celkovou plochu bez navádění GPS:

$$Q_t = 6,75 * 220,13 [l]$$

$$Q_t = 1\,485,88 l$$

Vyčíslení celkové ceny PHM na plochu bez použití navádění GPS:

$$C_{ph} = 23,96 * 1\,485,88 [Kč]$$

$$C_{ph} = 35\,601,68 Kč$$

Zjištění celkového času zasetí plochy pozemků s naváděním GPS:

$$T_{cp} = \frac{6,7}{24,71} * 220,13 [h]$$

$$T_{cp} = 59,68 h$$

Vyčíslení mzdy obsluhy za celkový čas práce na pozemcích s naváděním GPS:

$$C_{oc} = 59,68 * 130 [Kč]$$

$$C_{oc} = 7\,758,4 \text{ Kč}$$

Zjištění celkového času zasetí plochy pozemků bez navádění GPS:

$$T_{cp} = \frac{6,75}{24,22} * 220,13 [h]$$

$$T_{cp} = 61,35 \text{ h}$$

Vyčíslení mzdy obsluhy za celkový čas setí na pozemcích bez navádění GPS:

$$C_{oc} = 61,35 * 130 [Kč]$$

$$C_{oc} = 7\,975,5 \text{ Kč}$$

Vyčíslení ceny osiva na zasetou plochu s naváděním GPS:

$$C_{os,Sc} = 1657,22 * 220,13 [Kč]$$

$$C_{os,Sc} = 364\,803,84 \text{ Kč}$$

Vyčíslení ceny osiva na zasetou plochu bez navádění GPS:

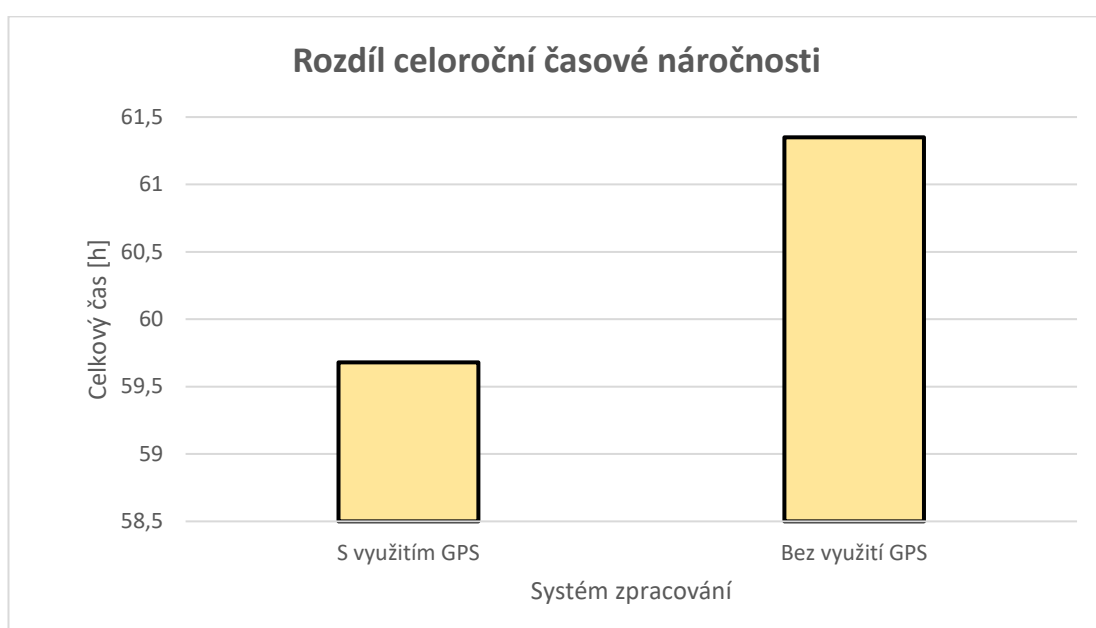
$$C_{os,Sc} = 1690,75 * 220,13 [Kč]$$

$$C_{os,Sc} = 372\,184,81 \text{ Kč}$$

Výsledky obou systémů zpracování pozemku pro první soupravu jsou zaznamenány v Tabulce 9.

Tabulka 9 Výsledky obou systémů zpracování pro druhou soupravu při setí

	Systém zpracování	S GPS	Bez GPS	Rozdíl
	Spotřeba [$l \cdot ha^{-1}$]	6,59	6,75	0,16
	Čas [$h \cdot ha^{-1}$]	6,7	6,75	0,05
Celkem	Spotřeba [l]	1 450,65	1 485,88	35,23
	Čas [h]	59,68	61,35	1,67
Celková cena	Pohonných hmot [Kč]	34 757,57	35 601,68	844,11
	Mzdy obsluhy [Kč]	7 758,4	7 975,5	217,1
	Osivo [Kč]	364 803,84	372 184,81	7 380,97



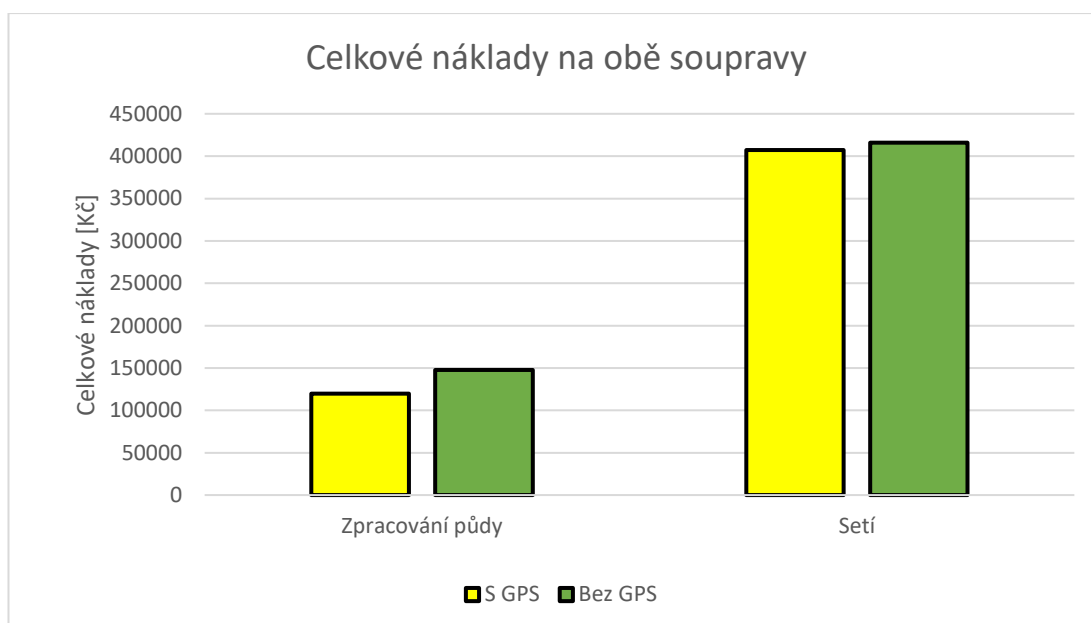
Graf 4 Rozdíl celoroční časové náročnosti pro druhou soupravu při setí

8.5 Celkové náklady pro obě soupravy v daném podniku

Celkové náklady na práci obou souprav v Zemědělském družstvu Bernartice a rozdíl v použití technologie GPS v korunách českých uvádí Tabulka 10.

Tabulka 10 Celkové náklady pro obě soupravy

Souprava	Systém zpracování	Celkové náklady [Kč]
Zpracování půdy	S GPS	119 796,77
	Bez GPS	147 776,36
	Rozdíl	27 979,59
Setí	S GPS	407 319,81
	Bez GPS	415 761,99
	Rozdíl	8 442,18



Graf 5 Celkové náklady na obě soupravy

Náklady spojené s pořízením navigačního systému v traktoru, který je požíván pro zpracování půdy, byly celkem 81 000 Kč. Návratnost této investice je tedy necelé tři roky.

Investice do navigačního systému pro traktor se secím strojem byla celkem 335 550 Kč. Aby se dosáhlo návratnosti do 5 let, musela by souprava každý rok zasít plochu o rozloze větší než 1700 ha.

Návratnosti jsou spočteny pouze pro daný pracovní úkon. V praxi by se navigace užívala pro více operací, proto by se investice vrátila v mnohem kratším čase.

Diskuze

Pokus byl prováděn na dvou soupravách. První souprava pracovala s dlátovým pluhem při zpracování půdy. U prvního pokusu byly přesně stanovené hranice pozemku a vyměřena plocha jednoho hektaru pro co nejpřesnější měření. Traktor obsluhoval jeden řidič a nastavení ovládacích a provozních prvků bylo totožné jak při měření s řízením pomocí GPS, tak i při manuálním řízení. I když plocha pozemku byla stanovena pouze na jeden hektar, byl rozdíl v měření viditelný. Počet přejezdů s použitím navigace byl 33, oproti 35 přejezdům při manuálním řízení obsluhou, i když se obsluha snažila udržet co nejpřesnější návaznost jízd. Měření času probíhalo od začátku práce až do jejího konce a rozdíl mezi metodami činil 6,2 minuty. Terén byl u obou měření srovnatelný, bez většího počtu kamení a se stejným sklonem, proto byla u obou měření dodržena průměrná pracovní rychlost 9,8 km.h⁻¹. Spotřeba pohonných hmot byla zjištěna pomocí integrovaného čidla a přepočtena řídicí jednotkou traktoru. Rozdíl ve spotřebě na jeden hektar práce byl nižší o 4,23 litru při zpracování s navigací díky ušetřeným přejezdům a úspoře při otáčení. Obsluha nemusela díky navigačnímu systému zpracovávat pozemek od jedné strany, ale mohla jízdy vynechávat a rychleji se otáčet na konci pozemku. Rozdíl úspory by s nárůstem zpracované plochy byl stále větší. Pro ekonomické zhodnocení bylo počítáno s plochou, na které je kypřič s tímto traktorem využíván. Jde o pozemky, které se každoročně na podzim prokypřují před jarním výsevem kukuřice. Rozdíl paliva po přepočtu na tuto plochu byl 1 012,07 litru, po vyčíslení této hodnoty v korunách činila úspora 24 249,19 Kč. Obsluha traktoru byla placená hodinovou mzdou ve výši 130 Kč.h⁻¹. Časová úspora díky navádění byla 28,7 hodin a tím dochází k úspoře na mzdě pracovníkovi 3 731 Kč. Čas, který je díky navigačnímu systému ušetřen, se dá poté využít i k jiné pracovní činnosti. Výše úspor není při této pracovní činnosti příliš vysoká, a to z několika důvodů. Jedná se o práci pouze na malé výměře, pokud by se podnik rozhodl zpracovávat tímto způsobem všechny své hektary, došlo by k mnohem větší úspoře. I tak je však návratnost pod 5 let.

Druhý navigační systém byl použit na traktoru v agregaci se secím strojem při setí ječmene ozimého. Naměřená data vypovídají o výhodnosti použití navigačního systému. Traktor řízený pomocí navigace se po pozemku pohyboval průměrnou rychlostí 11,2 km.h⁻¹. Za 6,7 hodiny souprava zasela 24,71 ha a na tuto plochu spotřebovala 4,5 tuny osiva. V případě ručního řízení bylo za 6,75 hodiny zaseto o 0,49 ha méně. Díky navigaci nedocházelo k přesetí při jednotlivých přejezdech a bylo využito maximálního záběru secího stroje. Spotřeba pohonných hmot klesla o 35,23 l

na celkovou práci. Tato úspora je dána kratším časem při otáčení na souvrati a zpětném najíždění do záběru. Skutečná výkonnost u setí s navigací byla 3,68 ha.h⁻¹ což je o 3% lepší hodnota než v případě ručního řízení. Z ekonomického hlediska bylo počítáno s celkovou plochou, na které v daném podniku tato souprava seje. Na plochu 220,13 ha by souprava dokázala s použitím navigace uspořit 7 380,97 Kč za osivo díky vyšší výkonnosti a maximální efektivnosti každé jízdy. Finanční úspora na pohonných hmotách a mzdě obsluhy činila 1 061,21 Kč. Celkový finanční rozdíl mezi pokusem s řízením pomocí navigace a ručním řízením je 8 442,18 Kč na celkovou výměru pozemků osévaných ječmenem ozimým v roce 2019. Výše úspory není tak citelná, a to z několika důvodů. Jedná se pouze o malou výměru a úspora závisí na velikosti celkové zpracované plochy za rok. Návratnost investice do navigačního systému by v tomto případě byla nereálná, protože její návratnost by se pohybovala okolo 40 let. Pro dosažení návratnosti do 5 let by souprava měla zasít přibližně 1700 ha ročně. Podnik ovšem obdělává přes 2 242,05 ha orné půdy a 493,1 ha trvalých travních porostů, kde se tento univerzální typ navigace využívá na více traktorech. Používá se při předseťové přípravě, setí dalších plodin, při aplikaci kejdy a podmítce. V tomto případě, už je její návratnost mnohem rychlejší. Dále musíme počítat s tím, že pokud dojde k přesnému setí, uspoříme při dalších operacích prováděných na pozemku, jako je aplikace postřiků, minerálních hnojiv nebo konečná sklizeň produktu.

Naměřené výsledky ukazují, že využití automatického navádění v zemědělské technice je výhodné ve všech směrech. GPS navigace dokáže ušetřit nejen pohonné hmoty, osivo nebo náhradní díly, ale i čas strávený obsluhou při práci stroje. Lze díky ní také zefektivnit danou činnost a zlepšit šetrnost k životnímu prostředí. Výhody využití GPS v zemědělském provozu ve své bakalářské práci ukazuje, mimo jiné, i Malinka (2010).

Závěr

Původní využití globálního polohového systému bylo určeno pro armádu. Později se začal tento systém uvolňovat pro civilní účely a stal se tak rychle rozvíjejícím se oborem, který je v dnešní době využíván v mnoha dalších oborech. Jeho využití lze najít v dopravě, vodohospodářství, geodezii, zemědělství a podobně. Zařízení, které využívají funkce přesného určování polohy, neustále přibývá, proto je také kladen důraz na přesnost a dostupnost služeb GNSS.

Zemědělské stroje se za pomoci systémů GNSS dokáží po pozemku pohybovat bez zásahu obsluhy po určených stopách a na souvratích automaticky otočit a pokračovat v práci. Aktuálně se řeší v souvislosti s přesným naváděním a určením polohy variabilní setí a aplikace hnojiv a postřiků, a také snížení počtu přejezdů po pozemku v souvislosti s využíváním CTF technologií, které mají za úkol eliminovat množství přejeté plochy a provádět operace ve stejných kolejích.

Podnik, ve kterém byl pokus prováděn, je v dnešní době vybaven pěti navigačními systémy od firmy John Deere. Výhodou je jejich vzájemná komunikace a přizpůsobení více pracovním operacím. Například návaznost stop setí lze přenést do samochodného postřikovače nebo do traktoru, který aplikuje minerální hnojiva. Investice do navigačního systému je vysoká, ale na čím větší výměře se používá, k tím rychlejší návratnosti dochází. Aktuálně se v podniku navigační systémy využívají spíše k držení přesné návaznosti jízd a k usnadnění práce obsluhy. V letošním roce byla pořízena nová sklízecí mlátička, která je vybavena moderními prvky společně s navigačním systémem. Tato sklízecí mlátička už dokáže ukládat výnosové mapy, podle kterých jde upravovat dávka hnojiv nebo použít technologii variabilního setí. Tím lze docílit dalších finančních úspor. Zemědělské družstvo se postupně vydává vstříc novým technologiím a uvědomuje si jejich výhody a kladné vlastnosti, které napomáhají udržet šetrnost k životnímu prostředí.

Mezi hlavní výhody navigačních systémů lze zařadit urychlení průběhu pracovních činností, úsporu spotřeby paliva, osiva a dalších komodit, což bylo prokázáno provedeným měřením. Navigační systém lze využít i v práci za snížené viditelnosti, například v prašném prostředí, v mlze nebo v noci. Další výhodou je nižší ekologická zátěž vzniklá provozem souprav, daná nižší spotřebou pohonných hmot. Nevýhodou systému je jeho vysoká pořizovací cena a často obsluha, která není dostatečně proškolená, nebo není ochotná se v používání moderních prvků výbavy zemědělské techniky vzdělávat.

Literatura

KOVAŘÍČEK, Pavel, 2005. *Strojní linky pro hnojení*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky. ISBN isbn80-86884-10-4.

KUMHÁLA, František, 2007. *Zemědělská technika: stroje a technologie pro rostlinnou výrobu*. V Praze: Česká zemědělská univerzita. ISBN 9788021317017.

MALINKA, Tomáš, 2010. *Využití systémů GPS u techniky pro pěstování rostlin*. Bakalářská práce, Mendelova univerzita v Brně, Česká republika.

NEUDERT, Lubomír a Vojtěch LUKAS, 2015. *Precizní zemědělství: technologie a metody v rostlinné produkci*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 9788075093110.

PASTOREK, Zdeněk, 2002. *Zemědělská technika dnes a zítra: rádce při výběru a efektivním využívání zemědělských strojů a technologií*. Praha: Martin Sedláček. ISBN 8090241344.

RATAJ, Vladimír, Jana GALAMBOŠOVÁ, Miroslav MACÁK a Ladislav NOZDROVICKÝ, 2014. *Presné pol'nohospodárstvo: systém - stroje - skúsenosti : vysokoškolská učebnica*. Praha: Profi Press. ISBN 9788086726649.

STEINER, Ivo a Jiří ČERNÝ, 2006. *GPS od A do Z. 4.*, aktualiz. vyd. Praha: eNav. ISBN 80-239-7516-1.

AGRISYSTEM, 2015. Jednotka T2. [online]. AgriSystem, 2015. [cit. 15. 2. 2020]. Dostupné z: <http://www.agrisystem.cz/jednotka-t2>

AGRISYSTEM, 2015. Systém automatického řízení. [online]. AgriSystem, 2015. [cit. 15. 2. 2020]. Dostupné z: <http://www.agrisystem.cz/systemy-automatickeho-rizeni>

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

BENEŠ, Pavel, 2011. GPS navigace – správná cesta k úsporám. *Zemědělec: zemědělský zpravodajský portál* [online]. Praha: Profi Press s.r.o. 2. 9. 2011 [cit. 2. 12. 2019]. Dostupné z: <https://www.zemedelec.cz/gps-navigace-spravna-cesta-k-usporam/>

BERGMANN, 2006. Jak funguje GPS? [online] Svět hardware, 2006. [cit. 20. 2. 2020]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/jak-funguje-gps/21826-5>

CZECHSPACEPORTAL, 2017. GALILEO - Evropský globální navigační družicový systém. [online]. Český kosmický portál [cit. 17. 2. 2020]. Dostupné z: <https://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/galileo/>

CZECHSPACEPORTAL, 2017. Ruský globální družicový navigační systém GLONASS. [online]. Český kosmický portál [cit. 17. 2. 2020]. Dostupné z: <https://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/gnss-mimo-evropu/rusky-glonass/>

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/>

DEERE&COMPANY, 2020. JDLink. [online] App Center, 2020. [cit. 18. 4. 2020]. Dostupné z: <https://apps.apple.com/us/app/john-deere-app-center/id940151246>

DOLEJS, J., 2015. Jak funguje zaměření polohy pomocí GPS?. [online] Světandroida, 2015. [cit. 16. 2. 2020]. Dostupné z: <https://www.svetandroida.cz/gps-princip/#comments>

GPS.GOV, 2006. Navstar global positioning systém. [online] GPS.GOV, 2004. [cit. 20. 2. 2020]. Dostupné z: <https://www.gps.gov/technical/icwg/IS-GPS-200D.pdf>

GSA, 2018. What is Egnos? [online] European Global navigation satellite systems agenci, 2004. [cit. 26. 2. 2020]. Dostupné z: <https://www.gsa.europa.eu/egnoss/what-egnoss>

KVAPIL, J., Kosmický segment GPS a jeho budoucnost. *Aldebaran Bulletin*. AGA Aldebaran Group for Astrophysics [online], 2005, 3 (2). [cit. 17. 2. 2020]. ISSN 1214-1674. Dostupné z: https://www.aldebaran.cz/bulletin/2005_02_gps.php

LEADINGFARMERS, 2002. Autopilot trimble. [online] Leading Farmers, 2002. [cit. 3. 3. 2020] Dostupné z: <https://www.leadingfarmers.cz/shop/detail/autopilot-trimble-aggps-cfx-750-dgps-komplet-sestava/5>

Lokátory.cz, (2019). Sledování zemědělské techniky. Lokátory.cz - GPS sledování vozidel [online]. TANGO spol. s r. o. 2019 [cit. 02. 02. 2020]. Dostupné z: <https://www.lokatory.cz/sledovani-zemedelske-techniky>

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/>

MAPASIST, 2019. GPS Applications in Crop Production. [online] Extension, 2019. [cit. 17. 2. 2020]. Dostupné z: <https://mapasyst.extension.org/gps-applications-in-crop-production/>

MYJOHNDEERE, 2020. Operační středisko. [online] MyDeere.com, 2020. [cit 7. 3. 2020]. Dostupné z: <https://my.deere.com/map#map>

NAVCOM, 2015. About StarFire. [online] Navcom a John Deere company, 1999. [cit. 15. 2. 2020]. Dostupné z: <https://www.navcomtech.com/en/product/globalcorrectionsservice/>

OMNISTAR, 2019. OmniSTAR. [online] OmniStar, 2019. [cit. 17.2.2020]. Dostupné z: <https://www.omnistar.com/Applications/Agriculture.aspx>

STEHNO, L., CTF a omezení nežádoucího zhutňování půdy. *Mechanizace zemědělství*. v Praze 2: Profi Press s.r.o., 2015, 65 (5), 88–100. ISSN 0373-6776.

Strom, Praha 2018. Ovládání sekčí John Deere. Strom Praha [online]. STROM PRAHA a.s. 2018 [cit. 11. 02. 2020]. Dostupné z: [http://www.strompraha.cz/produkty/zemedelska-technika/old-ams-\(presnezemedelstvi\)/precizni-zemedelstvi/ovladani-sekci-john-deere/](http://www.strompraha.cz/produkty/zemedelska-technika/old-ams-(presnezemedelstvi)/precizni-zemedelstvi/ovladani-sekci-john-deere/)

STROMPRAHA, 2017. Řešení managementu zemědělství. [online] Strom Praha a.s., 2017, [cit. 20. 2. 2020]. Dostupné z: <http://viewer.zmags.com/publication/fc2bc9f9#/fc2bc9f9/1>

Ventura-Traveset, J., 2013. Satellite Navigation: the on-going revolution. *European Space Agency* [online]. European Space Agency, 17. 5. 2013 [cit. 31. 01. 2020]. Dostupné z: https://www.cosmos.esa.int/documents/13611/375201/170513_Ventura_Traveset.pdf/f8224fde-c352-48a6-ba58-a373a0facc9b

ZEMEMERICKYURAD, 2017. Informace o službách a produktech. [online] Zeměměřický úřad, 2017. [cit. 20. 2. 2020]. Dostupné z: http://czepos.cuzk.cz/_servicesProducts.aspx

Seznam tabulek

Tabulka 1 Hodnoty pro výpočty.....	41
Tabulka 2 Hodnoty pro výpočty.....	43
Tabulka 3 Ceny navigačních služeb John Deere	51
Tabulka 4 Naměřené hodnoty zpracování půdy s naváděním pomocí GPS.....	54
Tabulka 5 Naměřené hodnoty zpracování půdy bez navádění pomocí GPS.....	55
Tabulka 6 Naměřené hodnoty při setí s použitím navádění GPS	57
Tabulka 7 Naměřené hodnoty při setí bez použití navádění GPS	58
Tabulka 8 Výsledky obou systémů zpracování pro první soupravu při zpracování ..	61
Tabulka 9 Výsledky obou systémů zpracování pro druhou soupravu při setí	65
Tabulka 10 Celkové náklady pro obě soupravy.....	66

Seznam grafů

Graf 1 Porovnání spotřeby paliva u soupravy při zpracování půdy.....	59
Graf 2 Rozdíl celoroční časové náročnosti u první soupravy při zpracování.....	61
Graf 3 Rozdíl spotřeby paliva na práci pro druhou soupravu při setí	62
Graf 4 Rozdíl celoroční časové náročnosti pro druhou soupravu při setí.....	65
Graf 5 Celkové náklady na obě soupravy	66