JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

AKADEMICKÝ ROK: 2017/2018

Studijní program: B4131 Zemědělství

Studijní obor: Zemědělská technika: obchod, servis a služby

Katedra: Zemědělské, dopravní a manipulační techniky

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

Bakalářská práce

Mapování pohybu zemědělské techniky s využitím a bez využití GPS

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Filip

Autor bakalářské práce: Lukáš Lívanec

České Budějovice 2018

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta zemědělská
Akademický rok: **2016/2017**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Lukáš LÍVANEC**
Osobní číslo:	**Z15107**
Studijní program:	**B4131 Zemědělství**
Studijní obor:	**Zemědělská technika: obchod, servis a služby**
Název tématu:	**Mapování pohybu zemědělské techniky s využitím a bez využití GPS**
Zadávající katedra:	**Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky**

Zásady pro vypracování:

Cíl práce:

Student v bakalářské práci zmapuje pohyb sklízecí mlátičky John Deere t 660 s použitím a bez použití GPS navigace a posoudí přínos GPS technologie u sklízecích mlátiček.

Struktura hlavní části práce bude následující:

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

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

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

STEINER, Ivo a Jiří ČERNÝ. GPS od A do Z. 4., aktualiz. vyd. Praha: eNav, 2006. ISBN 8023975161; PASTOREK, Zdeněk. Zemědělská technika dnes a zítra: rádce při výběru a efektivním využívání zemědělských strojů a technologií. Praha: Martin Sedláček, 2002. ISBN 8090241344; LUKAS, Vojtěch, Lubomír NEUDERT a Jan KŘEN. Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství: metodika pro praxi. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2011. ISBN 9788073755621; RATAJ, Vladimír, Jana GALAMBOŠOVÁ, Miroslav MACÁK a Ladislav NOZDROVICKÝ. Presné poľnohospodárstvo: systém - stroje - skúsenosti : vysokoškolská učebnica. Praha: Profi Press, 2014. ISBN 9788086726649; KOVÁŘ, Pavel. Družicová navigace: od teorie k aplikací v softwarovém přijímači. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2016. ISBN 9788001059890; NEUDERT, Lubomír a Vojtěch LUKAS. Precizní zemědělství: technologie a metody v rostlinné produkci. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 9788075093110; BŘEČKA, Josef. Stroje pro sklizeň pícnin a obilnin. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2001. ISBN 8021307382; KROUPA, Pavel, Josef HŮLA a Pavel KOVAŘÍČEK. Stroje pro pěstování a sklizeň zrnin. 2. upr. vyd. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2002. ISBN 8072711261; KUMHÁLA, František. Zemědělská technika: stroje a technologie pro rostlinnou výrobu. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 9788021317017.
materiály přístupné přes databáze (např. Web of Knowledge, ScienceDirect atp.); propagační materiály prodejců zemědělské techniky; internet

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Filip**
Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Datum zadání bakalářské práce: **16. ledna 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2018**

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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 1668, 370 05 České Budějovice

L.S.

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

V Českých Budějovicích dne 22. března 2017

Poděkování

Poděkování patří vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Martinovi Filipovi, za uskutečnění tématu, odborné vedení, cenné rady a připomínky. Dále bych chtěl poděkovat Zemědělskému družstvu Chyšky, které mi umožnilo daný pokus realizovat.

Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to – v nezkrácené podobě – 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 a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne…… …….

podpis studenta

Abstrakt

Bakalářská práce ukazuje technologii globálních navigačních systémů a jejich využití v zemědělství. Dále popisuje způsoby navigace zemědělské techniky po pozemku a seznamuje s nezbytnými konstrukčními prvky sklízecích mlátiček pro precizní zemědělství. Práce v hlavním bodě porovnává sklizeň sklízecí mlátičkou s použitím GPS automatického navádění a sklizeň bez použití této technologie.

Klíčová slova:

Globální navigační satelitní systém, GPS, korekční data, automatické navádění, technologie CTF

Abstract

The Bachelor thesis shows the technology of global navigation systems and their use in agriculture. It also describes ways of navigating agricultural machinery on land and introduces the essential design elements of combine harvesters for precision farming. The thesis at the main point compares the combine harvesting using GPS automatic guidance and harvesting without using this technology.

Keywords:

Global navigation satellite system, GPS, correction data, automatic guidance, CTF technology.

Obsah

Úvod 9

1 Rešerše 10

1.1 Navigační systémy 10

1.1.1 GNSS 10

1.1.2 GPS – NAVSTAR 10

1.1.3 GLONASS 11

1.1.4 GALILEO 12

1.1.5 Hlavní části GNSS 12

1.1.6 Základní dělení přijímačů 15

1.1.7 Referenční stanice RTK 17

1.1.8 Korekce DGPS a RTK 18

1.1.9 Princip určování polohy 21

1.2 Navigace strojů na pozemcích 23

1.2.1 Manuální navádění 23

1.2.2 Asistované řízení 24

1.2.3 Automatické navádění 26

1.3 Precizní zemědělství 28

1.3.1 Aplikace naváděcích technologií 31

1.3.2 Získávání dat při sklizni obilovin 34

1.4 Konstrukční řešení technologií sklízecí mlátičky 34

2. Cíl práce 40

3. Metodika práce 41

4. Vlastní práce 46

4.1 Charakteristika podniku 46

4.2 Popis měření 46

4.3 Výsledky měření 49

4.3.1 Měření bez GPS navigace 49
4.3.2 Měření s GPS navigací 51
4.3.3 Ekonomické zhodnocení 53
5. Diskuze 58
Závěr 60
Seznam použité literatury 62
Seznam obrázků 64
Seznam tabulek 65
Seznam grafů 65

Úvod

Trendem dnešní doby je snaha měnit lidskou manuální činnost na práci strojů s umělou inteligencí, v některých odvětví ji dokonce nahradit úplně. Rychlé vyvíjení co nejmodernější techniky, je pro aktuální období hlavním cílem většiny vyspělých firem. Vše je závislé na požadavcích, na které se postupem času kladou vyšší nároky, ať už z hlediska bezpečnosti (např. v automobilovém průmyslu), nebo z hlediska ekonomické úspory. V zemědělství není situace jiná, každý rok přicházejí firmy s řadou nových technologií, které usnadňují práci, zvyšují efektivitu strojů, představují úsporu (finanční nebo časovou) a další. Velký problém představuje zhoršující se stav půdy, kterou zemědělci obhospodařují. Důsledkem tohoto zhoršování je využívání těžké techniky, neregulovatelnost přejezdů po pozemku, nedodržování pěstitelských zásad, pracovní operace v nepříznivých podmínkách a mnoho dalších.

V bakalářské práci jsou mimo jiné popsány druhy navigačních systémů, technologie určování polohy, nebo princip řízení stroje na pozemku, kde je zřejmý neustálý technický vývoj. Automatické navádění strojů začíná přebírat mnohem hlubší myšlenku než jen udržení co nejpřesnějšího pracovního záběru a usnadnění obsluhy stroje. Jedná se o minimalizování přejezdů po pozemku, tak že se stroje pohybují v jednotných stopách a velká část pozemku zůstává přejezdy neporušená. Pomine-li se zvýšení výnosů a dalších kladů, zůstává nejdůležitější výhodou regenerace a celkové zlepšení stavu půdy. Nejnovější technologie jsou znatelné i u zemědělské techniky a mají mnohem delší historii než satelitní navigace. To, jaký bude výnos záleží v neposlední řadě i na sklízecí mlátičce, která je schopna zaznamenávat velké množství důležitých dat. Propojením vnitřního systému se systémem určování polohy, jsou zaznamenávány výnosové mapy, výživové hodnoty a další.

Hlavním významem práce je porovnání sklizně obilnin sklízecí mlátičkou s použitím automatického navádění GPS a sklizně bez použití GPS navigace, vyhodnotit přínos automatického navádění stroje a ekonomicky vyčíslit rozdíl mezi oběma systémy pro daný podnik. V případě nedostatečného využití technologie je možné navrhnout vhodné řešení pro daný podnik, tak aby byla docílena co největší efektivnost systému a zajistila se tak rychlejší návratnost investice.

1 Rešerše

1.1 Navigační systémy

Satelitní navigace začíná být v zemědělství nepostradatelným pomocníkem, postupem času se v České republice na zemědělských strojích čím dál více rozšiřuje. První pokusy o systémy určování polohy využívající umělých družic jsou datovány na konci padesátých let 20. století v USA. Těchto systému se využívalo pouze pro armádu. Na konci 20. století došlo k prolomení bariéry mezi armádní a civilní oblastí, navigační systémy se postupně zdokonalovali a začali se více využívat pro sledování (určování) polohy a k navigaci dopravních zařízení. V současné době je nejvyužívanějším systémem NAVSTAR – GPS, který provozuje americké ministerstvo obrany a ministerstvo dopravy. Velký konkurent americké armády je ruská armáda, která provozuje obdobný systém GLONASS. Poměrně nejnovější systém, z již jmenovaných je GALILEO. Jedná se o projekt Evropské unie a jeho snahou je nezávislost systému na americké nebo ruské armádě. Aktuálně je systém ve vývojové fázi. [1]

1.1.1 GNSS

GNSS (Globální navigační satelitní systém) je obecný název pro systémy určování polohy pomocí umělých družic Země. Tyto systémy pracují na principu vyhodnocování radiových signálů, které vysílají družice a pasivně je přijímají GNSS přijímače. Jedná se tedy o globální navigační systémy, to znamená, že jsou přijímače schopné určit polohu kdekoliv na Zemi. [2]

1.1.2 GPS – NAVSTAR

GPS – NAVSTAR (Global Positioning System) je americký navigační systém, který je v současnosti nejrozšířenější. První satelit GPS byl vypuštěn v roce 1978. V roce 1993 bylo dosaženo počtu 24 satelitů. GPS se dělí na Standart Positioning Service a Precise Positioning Service. [11]

Standart Positioning Service (SPS) přeloženo do češtiny jako „standartní poziční služba“ je veřejně dostupná služba. Jde sice o globálně dostupnou službu, ale její přesnost ani dostupnost není garantována. Tato služba měla bezpečnostní opatření, aby nemohlo dojít k její zneužití pro bojové účely. Bezpečnostní opatření spočívalo v záměrném znepřesňování polohy a označuje se jako Selective

Availability (SA), bylo účinné do května roku 2000. Pokud byl tedy aktivní SA přesnost určení pozice se pohybovala cca 100 m. V současné době je pomocí služby SPS přesnost určení polohy cca 5 m a při použití techniky DGPS se přesnost zvětší, a to až na 0,5 m. Signál služby SPS je šířen na jedné frekvenci pojmenované L1.

Precise Positioning Service (PPS) přeloženo jako „přesná poziční služba“. Rozdíl této služby je její využití pouze pro armádní složky USA a jejich spojence. Nejedná se tedy o veřejnou službu. Liší se také v bezpečnosti a vysílání signálu. Bezpečnost je zajištěna šifrováním, tedy chránění bezpečnostním kódem, který se každý týden mění. Šifrování zároveň chrání proti úmyslnému rušení (anti – spoofing). PPS má vysokou přesnost díky vysílání signálu, které se děje na dvou frekvencích L1 a L2, kde se šíří dálkoměrný kód s větším počtem bitů za sekundu.

V dnešní době většina přijímačů se kterými se setkáváme používá službu SPS. Fázové přijímače kromě kódu služby SPS vyhodnocují i nosné vlny frekvencí L1 nebo L2. Není použita tedy žádná konkrétní služba GPS, pouze se využívá toho, že satelity vysílají na těchto frekvencích, aniž by analyzovaly vysílaný kód. [2] Od 14. března 2018 je v souhvězdí GPS celkem 31 provozních družic. [11]

1.1.3 GLONASS

Jedná se o ruský navigační systém, jehož princip je téměř shodný se systémem GPS NAVSTAR. Vývoj systému GLONASS začal v osmdesátých letech dvacátého století. V devadesátých letech dvacátého století začaly problémy, zejména nedostatek zdrojů a celý vývoj a údržba systému se zpomalili. Začátkem 21. století se postupně začali doplňovat satelity na oběžnou dráhu, v březnu 2010 bylo dosaženo počtu 21 satelitů a zbylé 3 satelity byli v plánu vypustit do roku 2011.

Pokud porovnáme systém GLONASS se systémem GPS k roku 2010 z hlediska přesnosti určení polohy byla u obou systémů srovnatelná, ovšem GLONASS z důvodu nižšího počtu satelitů poskytoval nižší dostupnost. V praxi se tento systém využívá výjimečně, proto přijímače GLONASS nejsou tak rozšířené. Pro vědecké účely se používá speciální zařízení, které pracuje se signály GPS a GLONASS. Podobně jako GPS má také GLONASS několik druhů signálů, veřejné a soukromé pro vojenské účely.

Trend do budoucnosti je kompatibilita vysílaných signálů s přijímači GPS a Galileo, tím bude zajištěna vetší dostupnost a přesnost, byl by to tzv. kombinovaný

systém GPS/GLONASS/Galileo. Tento trend by měl být naplňován od konce roku 2010. [2]

1.1.4 GALILEO

Galileo je evropský navigační systém, který je stále ve fázi budování. Vývoj systému má určený plán, ale v něm došlo už k několikátému zpoždění, proto není ještě systém dnes (únor 2018) plně funkční. Od dubna 2015 jsou na oběžné dráze 2 testovací satelity a čtyři plnohodnotné. Start testovacího systému byl plánován na prosinec 2016, ale systém musel použít satelity konkurence. Dostavba systému se plánuje na rok 2020. Plnou funkčnost bude zabezpečovat 27 satelitů a 3 rezervní. [12]

Galileo bude velkou konkurencí GPS a GLONASS. Hlavním artiklem bude přesnost určení polohy pomocí stejného počtu satelitů, a to díky modernějšímu způsobu přenosu dat a generování dálkoměrného signálu. [2] Tato výhoda nebude trvat dlouho, systém GPS prodělává modernizaci na tzv. GPS III, která by měla být dokončena na začátku roku 2018. Výkonnost GPS bude srovnatelná se systémem Galileo. [12]

Galileo je systém, který bude provozován komerčně, nestojí za ním vojenské účely. Bude rozdělen do čtyř služeb: Základní služba (Open Service – OS), Komerční služba (Commercial Service – CS), Veřejně regulovaná služba (Public Regulated Service – PRS), Vyhledávací a záchranná služba (Search And Rescue service – SAR). Po zprovoznění systému Galileo bude docházet ke kombinování přijímačů GPS – Galileo, které budou k určování polohy využívat oba systémy. [12]

1.1.5 Hlavní části GNSS

Globální navigační satelitní systémy se dělí na tři části:

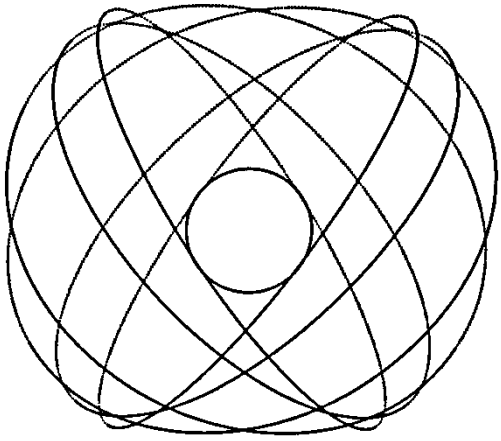
- Vesmírná část (satelity obíhající kolem země)
- Pozemní část (základny sledující a řídící funkci satelitů)
- Uživatelská část (přijímače využívající služeb GNSS)

Vesmírná část

Vesmírná část se skládá z infrastruktury satelitů obíhajícími kolem země. Satelity vysílají signál, který na základě vyhodnocení umožní přijímačům určit polohu. Satelity obíhají zemi v několika kruhových rovinách, které jsou skloněné

vůči rovníku o 55°. V každé kruhové dráze obíhá Zemi několik satelitů, které jsou ve vzdálenosti od Zemského povrchu 20 000 – 25 000 km. Kruhové roviny musí být vůči sobě pootočeny, to ovlivňuje osa otáčení Země, z důvodu rovnoměrného pokrytí vysílaným signálem. Jednoduše řečeno, z kteréhokoli místa na Zemi musí být v každém okamžiku viditelných co nejvíce satelitů.

Systém GPS je tvořen z šesti kruhových rovin, které jsou vůči rovníku natočeny o 55° a vůči sobě o 60°. V každé dráze jsou minimálně čtyři hlavní satelity a dva záložní. Satelity se pohybují na těchto drahách rychlostí 4 $km \cdot s^{-1}$ doba oběhu trvá 12 hodin, pokud ale sledujeme satelit ze stejného místa na Zemi dostane se na stejnou pozici až po 24 hodinách, to je způsobeno vlivem otáčení Země.



Obrázek 1 Zobrazení šesti kruhových rovin systému GPS [2]

Satelity GPS vysílají svůj aktuální čas, data o své aktuální poloze, stav atmosféry a předpověď těchto údajů. Pro uchování času se používají rubidiové a cesiové palubní atomové hodiny, které pracují v desetinách nanosekund a jejich stabilita se pohybuje pod 10ns za den. Na přesnost časového údaje je kladen velký důraz. Závisí na něm totiž přesnost měření přijímačů, proto musí být palubní atomové hodiny pravidelně synchronizované s pozemními stanicemi. [2]

Pozemní část

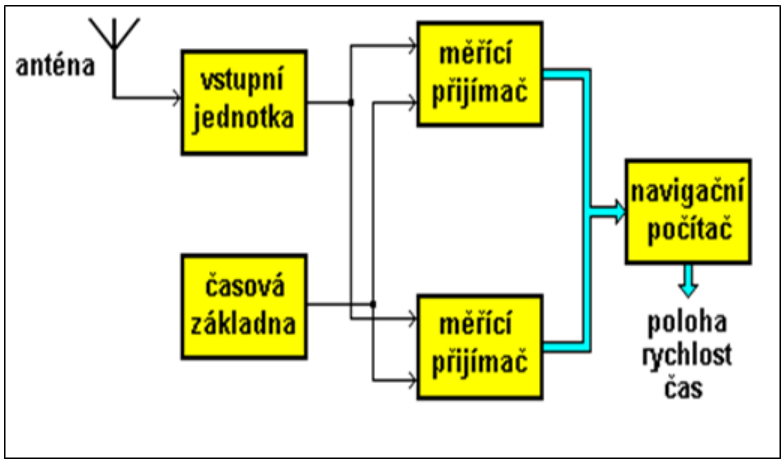
Pozemní část tvoří základny, které určují polohu satelitů s přesností 1 až 2 m a monitorují je. Získaná data se zpracovávají a vyváří se z nich krátkodobé předpovědi dráhy každého satelitu, ty jsou však platné 2 až 4 hod a nazývají se efemeridy. Pozemní základy vysílají tyto efemeridy do satelitu a satelit je spolu s dalšími daty vysílá do přijímačů. Další funkcí pozemních základen je úprava nastavení palubních hodin satelitu. Jako primární čas se používá GPS čas, který není

shodný s koordinovaným světovým časem (UTC), liší se o přestupné vteřiny, které kompenzují zpomalování rotace Země. UTC oproti GPS času bylo v roce 2010 zpět o 15 přestupných vteřin. Pozemní základny systému GPS leží na americkém území a jsou to: Colorado Springs, Hawaii, Kwajalein, Ascension Island, Diego Garcia. [2]

Uživatelská část

Jedná se o konečné uživatele vlastnící přijímače GNSS. Tuto skupinu zastupují nejpočetněji vlastníci mobilních telefonů, které jsou přijímačem vybaveny. Velké množství aplikací pracuje s GNSS signálem, používá určení polohy z hlediska navigace na cestách, vykreslení ujeté trasy, měření vzdáleností, ale i k identifikaci místa, kde se daný uživatel zařízení nachází, s tím že tyto data se dál zpracovávají, například ve spojení s tím, co daná skupina v určité oblasti nejčastěji vyhledává. Díky tomu mohou firmy zajistit efektivnější nabídku pro zákazníky v dané oblasti.

Přijímače jsou samostatné ruční přístroje nebo jsou součástí jiných zařízení např. mobilních telefonů o velikosti 2x2 cm i menší. Každý přijímač tvoří anténa, navigační přijímač a navigační počítač. [3] Anténa je nejdůležitější prvek přijímače, dělí se zpravidla na interní a externí. Interní anténu používají přístroje s menší přesností určení polohy a rozděluje se na dva typy. Typ patch tvoří keramická čtverhranná destička o hraně 0,5 – 2,5 cm. Typ helix se skládá z válečku o průměru 0,5 cm a výšce 2 cm. Externí anténa se používá u přesnějších profesionálních přístrojů, je umístěna na objekt, jehož poloha je měřena. Nejčastěji má tvar tenkého hranolu čtvercového tvaru o hraně 10 cm. Ke zlepšení přesnosti se vkládá pod anténu kruhová železná deska s průměrem až 40 cm, která brání příjmu odraženého signálu. Další tzv. pohlcovače odražených signálu mohou být plastové kryty natřené speciálním lakem nebo kovové proužky umístěné do soustředných kružnic (Choke ring antény). Poloha je měřena vždy ve fázovém centru antény, nejedná se tedy o geometrický střed. Přesnost určení polohy je ovlivněna samotnou kvalitou antény a okolními vlivy. Musí být zajištěn co největší výhled na oblohu, toto je ovlivněno např. budovami, terénními nerovnostmi, a proto může být tímto důsledkem přesnost ovlivněna až o několik metrů. [2] Navigační přijímač tvoří vstupní jednotka, časová základna a jeden nebo více měřících přijímačů. Z měřících přijímačů jsou získány data a další signály z kterých následně navigační počítač určí polohu. Blokové schéma přijímače je zobrazeno na Obrázku 2. [13]



Obrázek 2 Schéma GNSS přijímače [13]

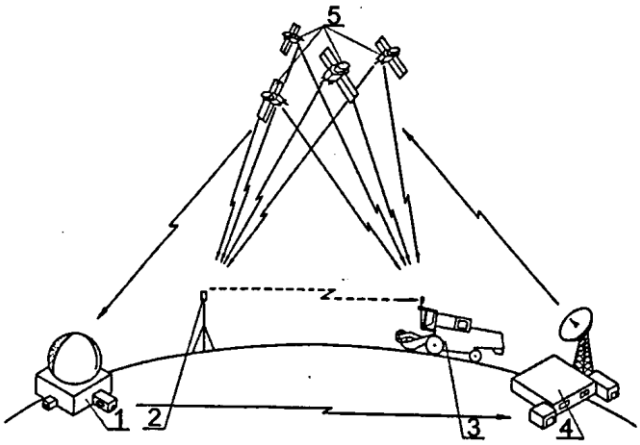
1.1.6 Základní dělení přijímačů

Většina přijímačů vyhodnocuje signály šířené systémem GPS NAVSTAR. Přesnost určení polohy ale není pro každý přijímač stejná, a tak dochází k velikým odchylkám. Níže je uvedeno základní dělení přijímačů: [2]

Kódové GPS

Jedná se o početnou skupinu přijímačů, které vyhodnocují měřící kód vysílaný satelity. Patří sem nejlevnější přijímače, ale i dražší a přesnější zařízení umožňující diferenční měření. Tyto kódové přijímače jsou provozovány ve dvou režimech:

- **Autonomní kódové měření:** Přijímače pracují pouze se signály, které vysílají satelity. Jedná se o určování polohy s přesností 4 – 10 m s cenou zařízení od 2 000 – 10 000 Kč. Vyšší cena neznamená lepší přesnost při určování polohy, ale vyšší přesnost závisí na podmínkách při měření
- **Diferenční kódové měření Differential Global Position Systém (DGPS):** Přesnější metoda, která využívá k výpočtu polohy v reálném čase navíc data z permanentní (referenční) stanice nebo jiného referenčního systému (tzv. korekční data). [1] Zde je cena přijímače zásadní, závisí na kvalitě přijímače a korekčních dat. Přesnost určení polohy se pohybuje přibližně 30 až 100 cm a cena přijímače 20 000 – 80 000 Kč. [2]



Obrázek 3 Princip družicového navigačního systému DGPS [1]

Fázové GPS

Jedná se o přijímače, které ke svému provozu potřebují korekční nebo fázová data a jsou schopné daleko přesnější funkce určení polohy. Data lze zakoupit nebo generovat pomocí dalšího zařízení. Je tedy zapotřebí stanice, která je umístěna na přesně zaměřeném místě a ve vzdálenosti do 20 km od místa měření, nazývaná RTK (Real Time Kinematics). Zde určení přesnosti také závisí na kvalitě přijímače a na použitých fázových datech, přesnost se pohybuje 1 – 25 cm. Cena přijímačů začíná na 100 000 Kč a pokud se jedná o dvoufrekvenční spolehlivější přijímač, cena je vyšší.

Z výše uvedených informací vyplývá, že k co nejpřesnějšímu určení polohy jsou zapotřebí, jak kvalitní přijímače, tak nejen data z družic, ale i data z referenčních stanic (tzv. korekční data). [1]

Alternativy získání korekčních dat:

- Měření na samotném místě bez korekčních dat. Korekční data se až později po měření získají z internetu. Naměřené hodnoty budou tedy vyhodnoceny až po měření v terénu. Na pracovním zařízení (počítač) se přes internetové připojení získají korekční data a spojí s naměřenými daty z terénu (tzv. postprocesní korekce). Data nejsou přítomny přímo při měření, nelze tedy pomocí nich například navádět stroj na pozemku.
- Příjem korekčních dat bezdrátově z geostacionárních družic. Geostacionární družice se pohybuje na geostacionární dráze, její sklon vůči rovníku je 0° a výška dráhy je přibližně 35 800 km. Družice se pohybuje stejnou úhlovou rychlostí jako Země, díky tomu se pro pozorovatele ze zemského povrchu zdá

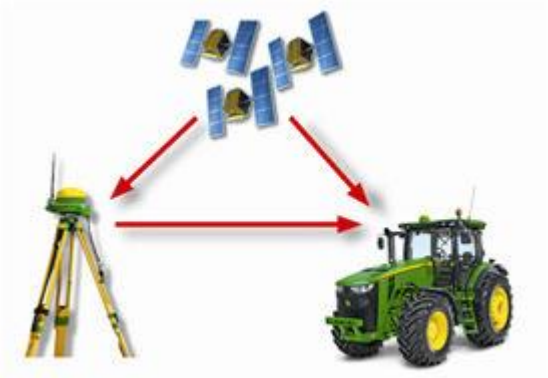
jako statická (nehybná). Družice na této dráze se používají k přenosu televizního signálu k navádění atd. Korekční data lze tedy přijmout pomocí klasického GPS přijímače, systém EGNOS, který je zdarma nebo pomocí speciálních přijímačů, jako jsou OmniSTAR, StarFire LandSTAR, Satloc a další, tyto služby už jsou ovšem placené.

- Získávání korekčních dat, pomocí vlastní referenční stanice nebo z internetu. Referenční stanici tvoří GPS přijímač a software, který generuje korekční data. Přenos korekčních dat probíhá pomocí GSM, Wifi a dalších. Korekční data se přenášejí v reálném čase do druhého GPS přijímače, s kterým je prováděno měření, tím se zvyšuje celková přesnost. Korekční data lze použít i dodatečnému zpracování.

Korekční data se dělí dle svého určení na dva typy. Data určená pro diferenční měření nelze použít pro fázové přijímače a naopak. Tento problém není příliš vážný, protože referenční stanice pro fázové přijímače už většinou generují oba typy korekčních dat. [2]

1.1.7 Referenční stanice RTK

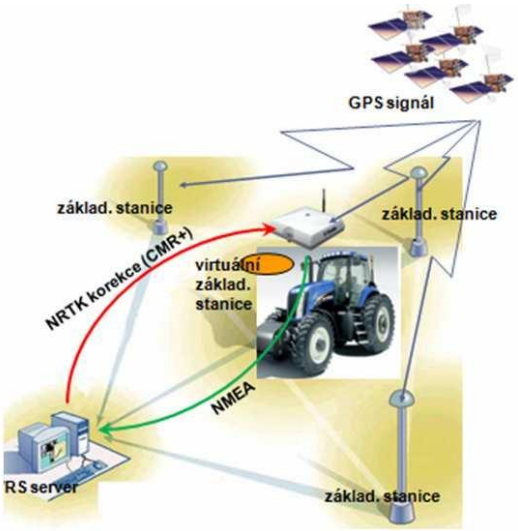
Real Time Kinematics (RTK) stanice poskytuje korekční data, díky kterým lze dosáhnout přesnosti 1 cm. Stanice se umisťuje na vhodné místo o známých souřadnicích, z kterého bude moci poskytovat korekce, pro co nejvíce pozemků daného podniku. Obecně platí, že poloměr pokrytí stanicí je deset kilometrů, záleží na daných podmínkách. Korekční data se ze stanice vysílají do stroje pomocí radiového spojení. Korekce vznikají porovnáním dat přijatých přijímačem stroje a dat přijatých v dané pozemní stanici, která má známou polohu a umožňuje dopočítat přesnou chybu polohy v reálném čase. [14]



Obrázek 4 Schéma použití RTK [14]

Virtual Reference Station (VRS)

Jedná se o vlastní korekční síť, která se skládá z virtuálních referenčních stanic. Síť se skládá z několika stacionárních referenčních stanic, které jsou ve větší vzdálenosti (desítky kilometrů) mezi sebou. Využívá se v případě, kdy vzdálenost přijímače od referenční stanice je větší než 10 km a je potřeba pokrýt větší území. Pro získání korekčních dat s přesností 2 cm vytvoří software (např. Trimble RTKNet) virtuální referenční stanici, ke které se přepočítávají výsledné korekce ze základnových referenčních stanic a jsou pomocí bezdrátové sítě přenášeny do přijímače pracovního stroje. Bezdrátové sítě mohou být Wifi, radiomodem RACOM, nebo GSM mobilní síť. Každá stacionární referenční stanice a stroj zasílá nepřetržitě informace o své naměřené poloze do centrálního serveru. Software nepřetržitě vypočítává na základě interpolace údajů z jednotlivých referenčních stanic sítě korekční údaje pro místa, kde se zrovna nacházejí jednotlivé stroje a tyto korekce jim posílá zpět. Poblíž místa, kde stroj pracuje, se vytvoří virtuální referenční stanice, a pro tuto polohu se korekce vypočítávají do doby, než se poloha stroje zásadně změní. [2]



Obrázek 5 Schéma použití VRS [15]

1.1.8 Korekce DGPS a RTK

Zaměření co nejpřesnější polohy mají za cíl všechny systémy, k tomu ale potřebují správná korekční data. Níže jsou popsány všechny dostupné způsoby jejich získání. [2]

EGNOS

EGNOS (Europen Geostationary Navigation Overlay System) Evropská geostacionární vykrývací služba vznikla na základě Evropské kosmické agentury (ESA), Evropské komise (EC) a Evropské organizace pro bezpečnost letecké navigace (Eurocontrol). Služba pracuje nad evropským kontinentem a částí přilehlého okolí středomoří. Vysílá signál čtyřmi geostacionárními družicemi a všechna data, které šíří jsou zdarma. Jedná se o jeden z nejjednodušších způsobů získání DGPS korekcí a jeho úkolem je poskytování informací pro uživatele systému GPS. Poskytuje korekční data pro kódové přijímače, také poskytuje doplňkové informace o stavu satelitů a celého navigačního systému, díky kterým dostává uživatel zprávu o chybě, v případě je-li určení polohy mimo garantovanou přesnost. GPS tuto službu neposkytuje, proto by uživatel neměl přehled o tom, zda systém pracuje správně a není zatížen chybou. V říjnu 2009 byl systém oficiálně spuštěn. Hlavním jeho úkolem je zajistit řízený provoz v letecké dopravě, k tomuto účelu systém splňuje předepsané certifikace, které splnil v roce 2011. Diferenciální korekce šířené systémem EGNOS umožňují zvýšit přesnost na 2 – 4 m . [16]

OmniSTAR

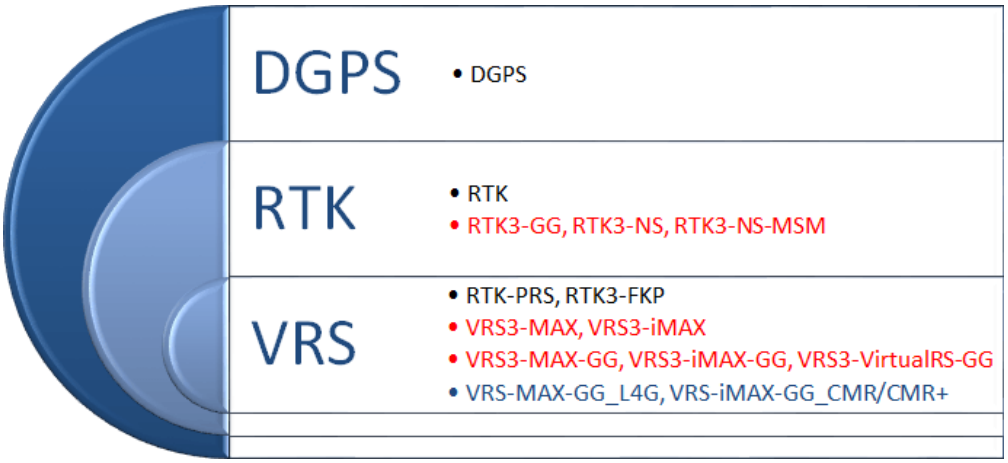
Služba OmniSTAR je celosvětově dostupná a nepřetržitě k dispozici. Nabízí DGPS korekce a fázové korekce, které šíří pomocí geostacionárních družic. Jsou generována korekční data, které jsou určeny přijímačům kompatibilních s OmniSTAR prostřednictvím geostacionárních satelitů nebo přes internet. V současné době má systém k dispozici přes 100 referenčních stanic po celém světě, z nichž je 16 v Evropě, dále systém používá 9 komunikačních kanálů na spojovacích satelitech. OmniSTAR se člení na čtyři duhy poskytovaných služeb, hlavním bodem, ve kterém se služby liší, je přesnost. Služba OmniSTAR HP je nejpřesnější, poskytuje stálou přesnost 10 cm. K využitím této služby je potřeba dvoufrekvenční přijímač L1/L2. OmniSTAR G2 představuje nejnovější službu v nabídce, jedná se o spojení GPS a Glonass, tedy využití satelitů služby Glonass, co má za následek vetší pokrytí signálu i ve zhoršených podmínkách. OmniSTAR XP poskytuje stálou přesnost 15 cm a krátkodobou 1 – 2 palce. OmniSTAR VBS je základní stupeň služby, vysílá signál L1 a udávaná přesnost je do jednoho metru. Všechny tyto služby jsou zpoplatněny, záleží na délce licence a druhu poskytované služby. [17]

StarFire

Globální služba StarFire poskytuje přesnost v reálném čase lepší než 5 cm. Jeho globálně opravený signál je dostupný prakticky kdekoli na zemském povrchu. Využívá víc než 40 referenčních stanic po celém světě a dvě střediska, která zpracovávají data a zajišťují nepřetržitou dostupnost oprav. Opravy vysílají prostřednictvím geostacionárních družic, které umožňují přesnou navigaci v reálném čase bez potřeby místních korekčních stanic. Alternativa k satelitnímu dodání korekčních dat je možnost StarFire Over IP, která umožňuje uživatelům přístup ke korekci StarFire přes internet a poskytuje jim přístup ke stejné spolehlivé přesnosti polohování bez nutnosti referenční základny. Uživatelé mají přístup ke korekcím StarFire v situacích, kdy může být nedostupná satelitní dodávka (terén budovy atd.). Službu StarFire provozuje NavCom a John Deere Company a odlišnost této společnosti je ta, že vyvíjí své vlastní přijímače. [18]

CZEPOS

CZEPOS spravuje a provozuje Zeměměřický úřad České republiky a poskytuje uživatelům GPS korekční data na území České republiky. CZEPOS nabízí služby DGPS korekce s přesností 0,25 – 1 m, RTK korekce s přesností 0,01 – 0,03 m v reálném čase a služby VRS. Příjem DGPS korekcí ze zvolené stanice probíhá pomocí mobilní internetové sítě (GPRS) a korekce jsou následně přijímány přes síťový protokol NTRIP. Korekční data lze získat ze stanice CZEPOS nebo využitím služby RTK. To, která data budou využita závisí na vzdálenosti nejbližší CZEPOS stanice, maximální vzdálenost od stanoviště měření ke stanici je obvykle v desítkách kilometrů, to je dáno parametry používané aparatury, které jsou deklarovány výrobcem. Jak bylo zmíněno CZEPOS poskytuje 3 druhy služeb v rámci kterých si může uživatel zvolit mezi 14 službami, podrobné rozdělení je na Obrázku 6.



Obrázek 6 Rozdělení služeb CZEPOS [19]

Černým písmem jsou znázorněny služby, které jsou poskytovány ve starším formátu. Červeně zobrazené jsou služby poskytované v novém formátu, ty zabírají menší objem dat, jsou proto úspornější na mobilní datové přenosy, kterých se využívá pro příjem korekcí CZEPOS. Modře zobrazené jsou služby v proprietárních formátech.

RTK – PRS (pseudoreferenční stanice) jsou korekce poskytovány v reálném čase. Zařízení zašle do řídícího centra zprávu o své pozici (NMEA zprávu), na základě které obdrží korekce z pseudoreferenční stanice, která je umístěna v blízkosti pozice uživatele cca do 5 km. Korekční data z pseudoreferenční stanice systém generuje na základě síťového řešení z okolních stanic CZEPOS.

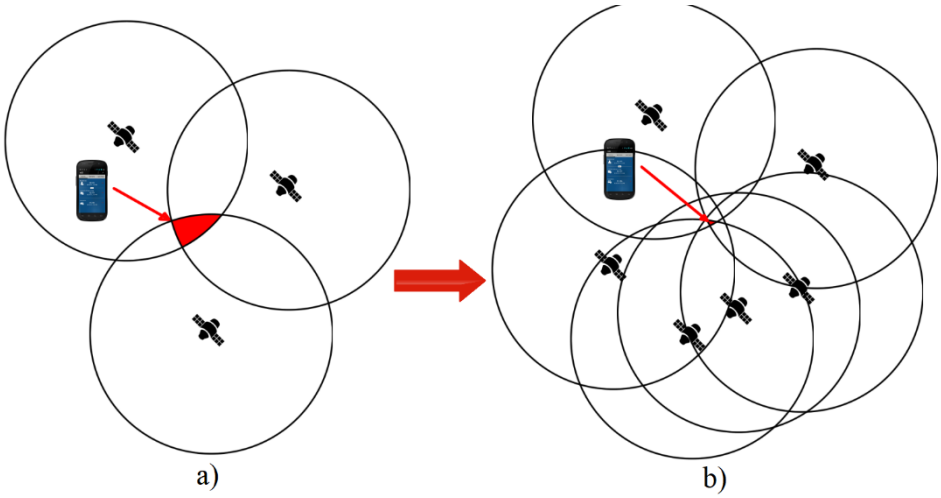
RTK – FKP (Flächenkorrekturparameter) jsou korekce poskytovány v reálném čase. Zařízení opět zašle do řídícího centra NMEA zprávu, na základě které, obdrží korekce ze zvolené stanice CZEPOS doplněné o plošné parametry FKP. Systém tyto parametry generuje na základě síťového řešení z okolních stanic CZEPOS.

Pro získání maximální přesnosti zaměření se využívá Postprocessing, pozice je vypočtena po skončení měření, stažením korekčních dat z internetu (webové stránky CZEPOS). Data lze stáhnout pro zadaný interval měření v klasickém formátu RINEX z předem zvolené stanice. K využití této metody je nutný dvoufrekvenční přijímač a vhodný software. [19]

1.1.9 Princip určování polohy

Přijímače určují polohu pomocí několika parametrů. Měří vzdálenost mezi přijímačem a satelitem, tuto vzdálenost zjistí z doby letu signálu od satelitu ke své

anténě. Další parametr je určení rozdílu frekvence, na které satelit vysílá a frekvence přijatého signálu. Hodnota frekvence se od sebe liší z důvodu pohybu satelitů nebo pohybem samotného přijímače. Změnu frekvence přijímaného oproti vysílanému signálu lze určit pomocí Dopplerova jevu. Díky těmto dvěma parametrům lze určit polohu, rychlost a směr pohybu přijímače. Tyto parametry jsou potřeba alespoň od čtyř satelitů a dále je třeba znát polohu satelitu v době vyslání signálu. Poloha satelitu je vygenerována v navigační zprávě daného satelitu. [2] Satelity vysílají signál až k zařízení pro určení polohy, toto zařízení se nachází v některém bodě na kružnici, jejíž střed je samotný satelit. Pro zpřesnění polohy na dva možné body, jsou potřeba informace z druhého satelitu. Vzniká druhá kružnice a dva průsečíky, tedy dva body, v jednom z nich se nachází zařízení. Výběr polohy se zúžil na dva body. Třetí satelit vytvoří třetí kružnici, která určí přibližný bod, kde se zařízení nachází, (Obrázek 7a). Ke zjištění přesnější polohy a nadmořské výšky jsou zapotřebí informace z dalších satelitů, (Obrázek 7b). Tento popis určení polohy je zjednodušený na zobrazení 2D kružnic.



Obrázek 7 2D zobrazení určování polohy [20]

Ve skutečnosti se jedná o koule a vypočítává se průsečík několika z nich, minimálně čtyř. [20] Jak již bylo řečeno k určení polohy je potřeba znát vzdálenost zařízení a satelitu. Měří se doba letu signálu, satelit vyšle pseudonáhodný kód, který je předem známý i pro přijímač, ten ho následně porovnává s kopií, kterou si generuje stejně jako satelit. Dále se vyhodnocuje korelace signálů, přijímač generovaný signál postupně zpožďuje, až nalezne shodu (hodnotu zpoždění), kdy si oba signály odpovídají. Znalost o šíření elektromagnetických vln se využije k převedení hodnoty zpoždění na vzdálenost. Rychlost pohybu přijímače se vypočte

pomocí vektoru rychlosti, tento výpočet je založen na prostém sčítání vektorů. Vhodný způsob, jak určit vektor rychlosti, je měření pomocí dopplerovského posunu frekvence. [2]

1.2 Navigace strojů na pozemcích

Jak navádět stroj po pozemku, který je obděláván řešili zemědělci už před mnoha lety. Základním cílem bylo ušetřit jak osivo při setí, množství minerálních i statkových hnojiv nebo postřiků, tak zmenšit spotřebu pohonných hmot a samotného opotřebení stroje. Při aplikaci minerálních hnojiv a chemických postřiků jde i o šetrnost vůči pěstované plodině, ale i vůči pozemku. Druhý ekonomický aspekt je čas práce, dosáhneme tedy vetší efektivitu stroje. Navádění strojů se neustále vyvíjí, u setí, hnojení a postřikování jde o navazování pracovních jízd. Dnes už u některých vyspělých zemědělců skoro zapomenuté technologie, navazování pracovních jízd pomocí pěnových značkovačů, znamenáků na secích strojích a kolejových mezířádků. Tyto technologie se nahrazují družicovým naváděním. Jednotlivé firmy nabízejí různé typy navigačních prostředků, ale princip navigátorů je podobný. Navádění pomocí GNSS se rozděluje na manuální navádění, asistované řízení a automatické navádění. [4]

1.2.1 Manuální navádění

Řízení stroje je prováděno manuálně samotným člověkem, tedy řidičem. Řidič se orientuje pomocí LCD displeje nebo pomocí naváděcí LED diodové lišty (Obrázek 8). Lišta je složena z LED diod, které se při vychýlení stroje z dráhy rozsvítí na levé nebo pravé straně, uprostřed svítí zelené proužky a při vychýlení červené. Lišta je nejčastěji umístěna před čelním sklem v ose středu stroje, tak aby měl řidič dostatečný přehled. [1]

Obrázek 8 LED diodová vodící lišta [21]

Novější typy mají k vodící liště LCD obrazovku (Obrázek 9), to usnadňuje orientaci řidiče při otáčení na souvratích, lepší navedení na stoupu a včasné reakce na překážky.

Obrázek 9 LCD obrazovka spojena s LED diodovou naváděcí lištou [21]

Manuální navádění je finančně méně náročnější než automatické, proto je hojně využíváno. Technika zde plní poloviční práci, určení stopy a směru jízdy, druhou polovinu, manuálně řídit, plní obsluha, proto je zde více limitujících faktorů. [2]

1.2.2 Asistované řízení

Jedná se o obdobný systém jako u manuálního řízení s tím, že je systém doplněn o elektromotorek a řídící jednotkou. Elektromotorek je připevněn přímo ke kulise volantu a pomocí třecího válečku s krokovým chodem ho ovládá (Obrázek 10).

Obrázek 10 Elektromotor pro ovládání volantu [22]

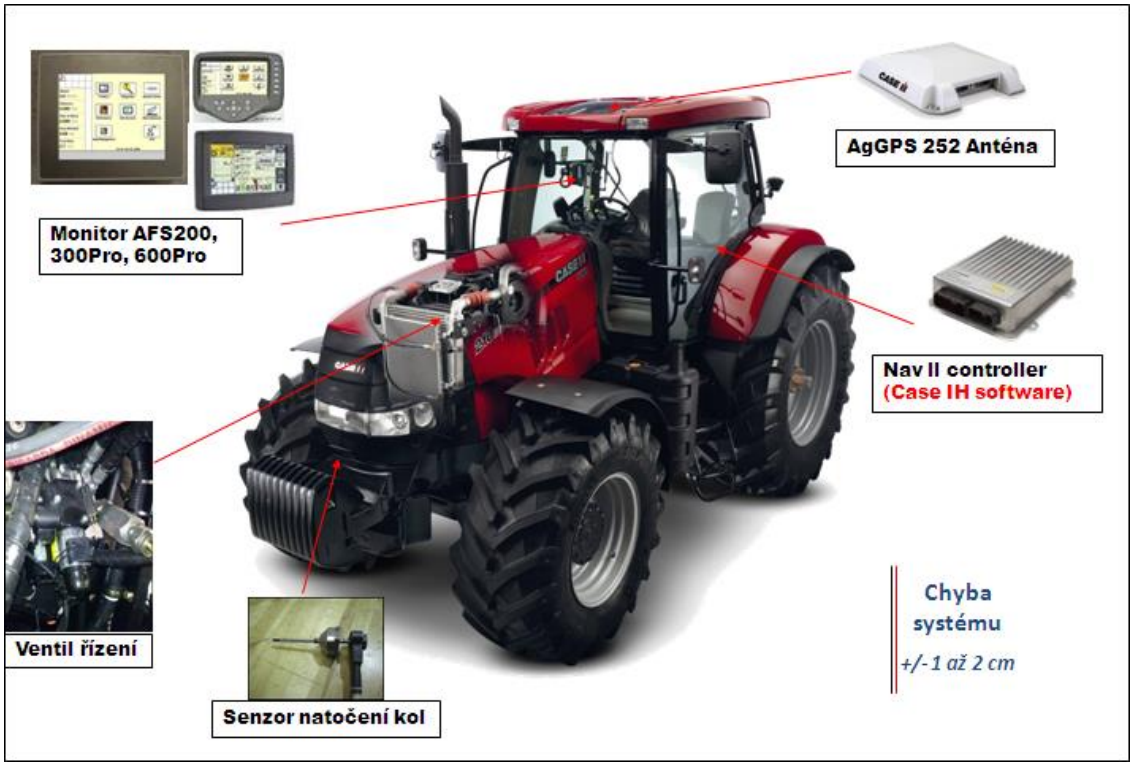
Výrobci také nabízí výměnný volant se zabudovaným motorkem s převodovkou (Obrázek 11), výhoda snazšího ovládání.

Obrázek 11 Výměnný volant se zabudovaným elektromotorem [23]

Princip systému asistovaného řízení probíhá následně. Přijímač pracuje s informacemi o vlastní poloze stroje a propojuje je s daty pozemku (nastavené linie). Vyhodnocené informace jsou vedeny k řídící jednotce, ta na jejich základě vysílá impulzy, kterými ovládá elektromotor pro otáčení volantu. Plynulost zatáčení a celého řízení stroje závisí na kvalitě GPS přijímače, tedy na frekvenci přijímaného signálu. Pokud má tedy signál frekvenci 5 Hz znamená to, že dochází 5krát za sekundu k aktualizaci polohy, tedy i ke stejnému počtu posílání impulzů z řídící jednotky do elektromotoru. Výhodou této technologie je její flexibilita, lze použít na různé typy traktorů, postřikovačů, sklízecích mlátiček a dalších strojů, ovšem podmínkou je zabudovaný posilovač řízení. [2]

1.2.3 Automatické navádění

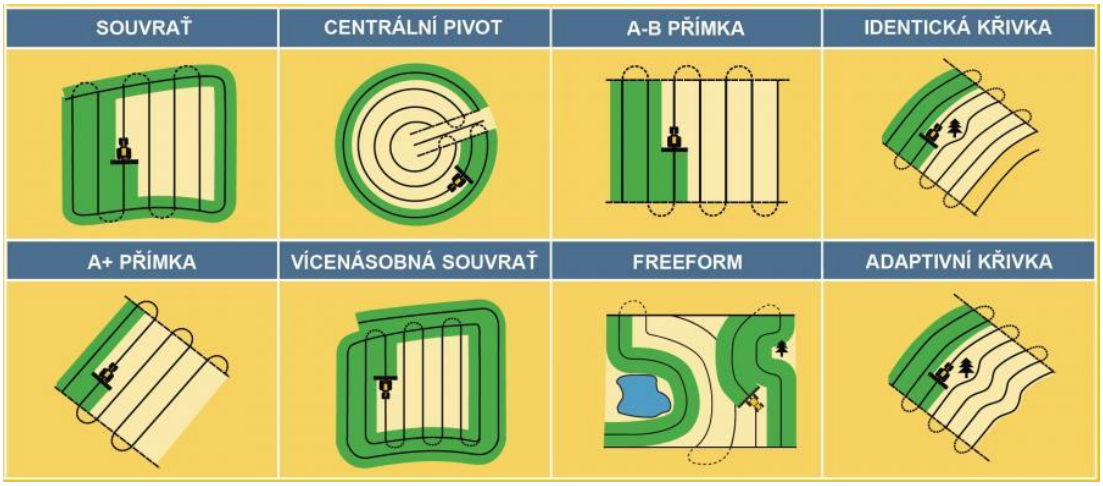
Aplikace automatického navádění u strojů má za cíl nahradit řidiče jednotkou řízení. Systémy pro získávání a vyhodnocování dat jsou totožné jako u manuálního a asistovaného navádění s výjimkou způsobu řízení. Stroj musí být vybaven polohovým snímačem volantu, snímačem natočení kol, hydraulickými ventily řízení, řídící jednotkou ventilu řízení, spínačem aktivace automatického navádění, GPS přijímačem, palubním terminálem a navigačním počítačem, podrobné schéma je na Obrázku 12. [21]



Obrázek 12 Schéma výbavy traktoru pro automatické navádění [21]

Přijímač pomocí GPS signálu vyhodnocuje polohu stroje, vypočítává jeho budoucí dráhu dle nastavených parametrů. Před použitím automatického navádění je potřeba nastavit navigaci. Prvotní nastavení je zadání potřebných rozměrů stroje a umístění GPS přijímače na stroji, ten je nejčastěji instalován na střechu, tak aby byl v ose středu stroje. Pokud se jedná o traktor, velikost pracovního záběru přípojného zařízení je variabilní, proto při každé změně nářadí musí být zadán daný pracovní záběr, popřípadě i prováděná operace (setí, hnojení, postřikování atd.). U samojízdných strojů (sklízecí mlátička, postřikovač) zůstává většinou záběr stejný z důvodu jednotného pracovního záběru. Při příjezdu na pozemek obsluha prování několik úkonů před započetím práce, s tím že úkony nastavení pracovního záběru

a druhu operace jsou již zadány. Pokud systém zná tvar pole například z předešlých operací, zobrazí se nabídka několika typů křivek (Obrázek 13). V případě, že systém nezná pozemek, obsluha musí nejprve pozemek objet po souvrati a vytvořit tak hranice. Poté pokračuje stejným postupem zadání typu křivky, po které bude stroj naváděn. Křivku může obsluha také nadefinovat, na začátku jízdy zadá obsluha v systému bod A, jako počátek pracovní jízdy a na konci bod B, konec jízdy, tím vznikne nadefinovaná křivka, ke které se virtuálně vytvoří rovnoběžné křivky, po kterých bude stroj naváděn.

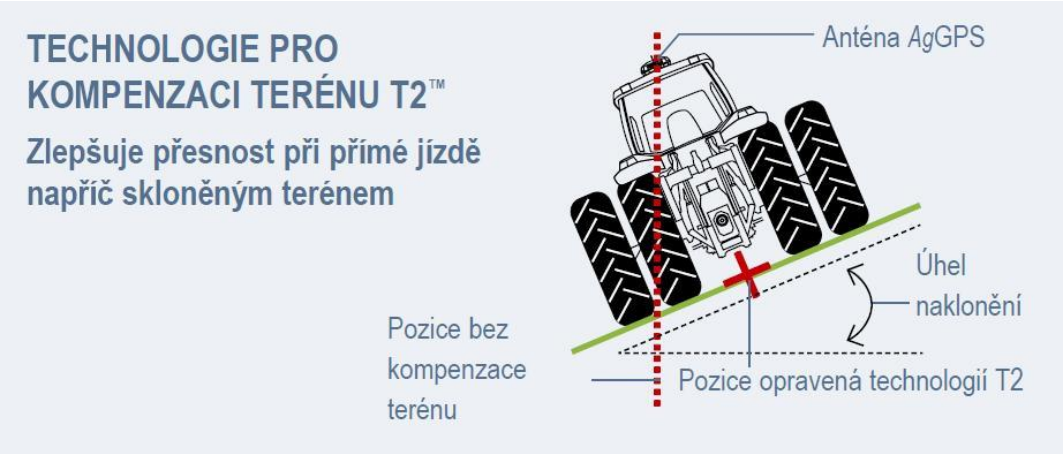


Obrázek 13 Nabídka typů křivek navádění stroje [2]

Tvar pozemku není vždy souměrný, představuje několik překážek, kterým se musí stroj vyhýbat, proto zde najdou uplatnění různé typy křivek. Typy křivek jsou také přizpůsobeny prováděným operacím, například tak, aby se mohl stroj sám otočit na souvrati a pokračovat v provádění úkony bez zásahu obsluhy. Pro automatické navádějí je důležité co nejpřesnější určení polohy, dnes se využívá signál GPS s RTK korekcí s přesností 5 cm. Data získané při provádění operací jsou uloženy do řídící jednotky a mohou být použity při dalších operací. [1]

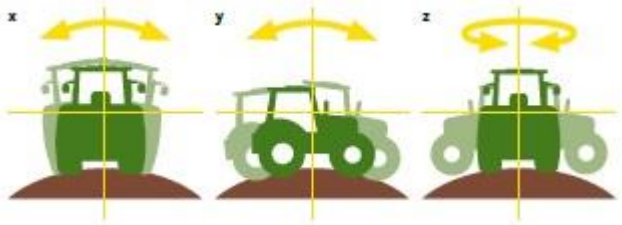
Svahová kompenzace

Systém navádění musí počítat i s terénními nerovnostmi. Polohu stroje určuje GPS přijímač, který je nejčastěji umístěn na střeše v ose středu stroje. Při naklonění stroje na svahu dochází k posunu pozice mimo středovou osu (střed otáčení stroje na podložce), musí dojít k opravení pozice, schematicky vysvětleno na Obrázku 14. [21]



Obrázek 14 Vychýlení polohy GPS přijímače na svahu [21]

I tato technologie se neustále vyvíjí a každá firma přichází s neustálím vylepšováním svého zařízení. Firma John Deere nabízí nejnověji modul kompenzace terénu (TCM) detekuje a opravuje horizontální, vertikální rovinu a otáčení kolem své osy, tak aby byla zajištěna skutečná poloha stroje v každém bodě (Obrázek 15). [14]



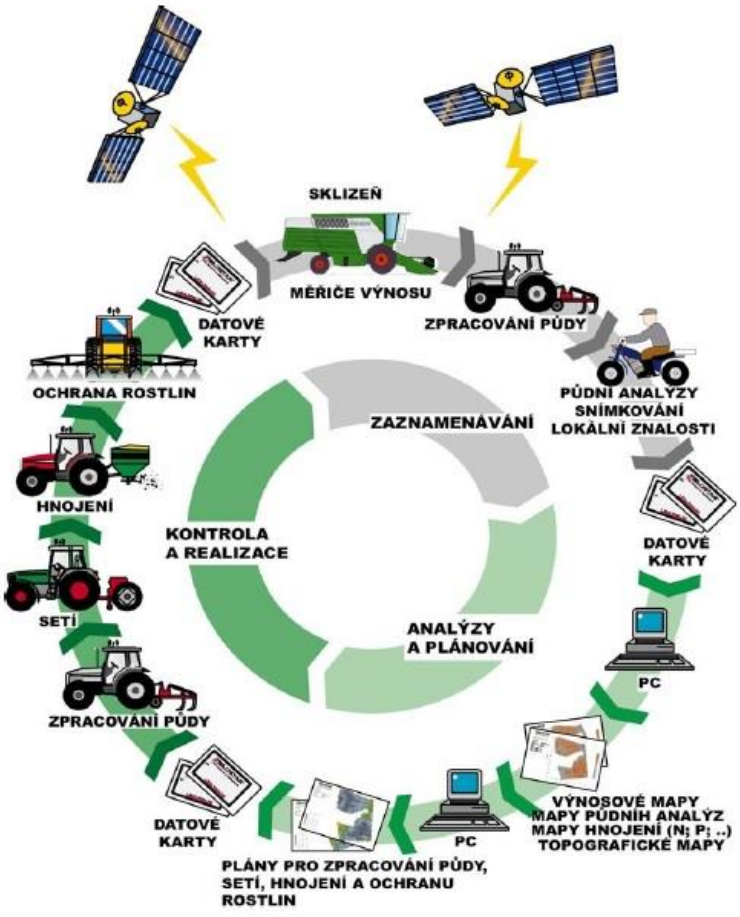
Obrázek 15 Kompenzace terénu TCM v rovinách x, y, z [14]

1.3 Precizní zemědělství

Precizní zemědělství je v posledních letech nejskloňovatelnější termín. Probíhá neustálý vývoj a objevování nových technologií. Hlavní složkou ve využití technologií jsou satelitní navigační systémy, které se využívají při mnoha různých úkonech. Každá operace má jiné nároky na přesnost určení polohy, proto zde najdou uplatnění všechny typy přijímačů.

S menší přesností určení polohy se provádějí práce, jako je hnojení a mapování, i když vždy přesnější určení polohy je ku prospěchu. Nejvyšší přesnost určení polohy vyžaduje automatické řízení zemědělských strojů. Toto je využito například při sklizni obilovin, kde je přesnost určení polohy 2,5 cm, nebo k řízení strojů, tak aby jezdili každý rok pořád ve stejné stopě a přibližně 80 % půdy zůstalo jimi nestlačeno, zde mluvíme o přesnosti 5 cm. [2]

Obecně lze říci, že precizní zemědělství vnímá pole (hon) jako heterogenní celek. Každá část pole může být rozdílná, proto je nutné přizpůsobit pracovní operce dané části obdělávaného pozemku, například množství aplikovaných hnojiv. Precizní zemědělství se začalo prosazovat v 90. letech dvacátého století, rozvoj nebyl tak rychlý, jak se z počátku očekávalo, kvůli veliké nehomogenitě v rámci jednoho pozemku. Samotná myšlenka precizního zemědělství je mnohem starší. Hospodáři věděli že každá část pozemku se chová jinak a potřebuje individuální péči, často zjistili i příčiny, proč tomu tak je a snažili se je řešit nebo se podmínkám přizpůsobili. Ovšem to šlo velmi omezeně a v zásadě na malých pozemcích, čím se výměra zvyšovala tím se problém určení odlišných míst ztížil. Technologie se neustále vyvíjí, dnes už se jedná o velmi propracovaný systém. [1]



Obrázek 16 Schéma komponentů systému precizního zemědělství v rostlinné výrobě [1]

Z technického hlediska se jedná o celou řadu senzorů, elektroniky a inteligentních systémů, které mají zajisti vyšší efektivitu, menší náročnost na lidskou pracovní sílu, tím dochází ke snížení nákladů a většímu zisku. Jedním

z dodavatelů inteligentních zemědělských systémů je společnost Kverneland Group, která technologie aplikuje nejen na své stroje, ale i pro všechny ISOBUS kompatibilní stroje. Aplikace IsoMatch FarmCentre umožňuje v kombinaci s terminálem IsoMatch Tellus GO1 nebo IsoMatch Tellus PRO2 řídit strojový park, zadávat a kontrolovat úkoly na dálku nebo analyzovat údaje o konkrétní technice. Prostřednictvím webové aplikace propojující nářadí, traktory, terminály a cloud do jednoho kontinuálního toku dat a spojení, zaručuje lepší přehled o technice. [5]

Obrázek 17 IsoMatch Tellus PRO obrazovka s duální funkci sledování dvou procesů [5]

Zemědělství není v dnešní době jenom práce na poli nebo ve stájích, jedná se i o velmi rozsáhlé administrativní úkony, které musí každý zemědělec řešit. Zvláště ti, kteří využívají dotace EU provází náročné papírování a inspekční kontroly. Nové technologie pro mapování pozemků a určování polohy by mohli nahrazovat osobní kontrolní inspekce. Tendence použití nových technologií vyvolává Evropská komise, která má vypracované možnosti, jak daný systém provozovat. Jedna z nich je propojení evropského programu Copernicus (pozorování Země), zejména využití jeho družic Sentinel. V precizním zemědělství není jedinou výhodou satelitní monitorování pozemků, ale jsou i další, například generování větších výnosů z méně zdrojů a tím pozitivně ovlivňovat dopad zemědělské činnosti na životní prostředí. Eurokomisař pro zemědělství Hogan se do roku 2020 chystá spustit volně přístupný internetový program, který bude poskytovat informace o růstu a stavu plodin.

Kolem precizního zemědělství se snáší i vlna kritiky. Jedním z argumentů je nedostupnost technologií pro malé podniky. Další fakt je ten, že třetina evropských zemědělců je starších 65 let a nemají tak blízko k moderním technologiím jako generačně mladší lidé. Podle českého centra precizního zemědělství by mohli

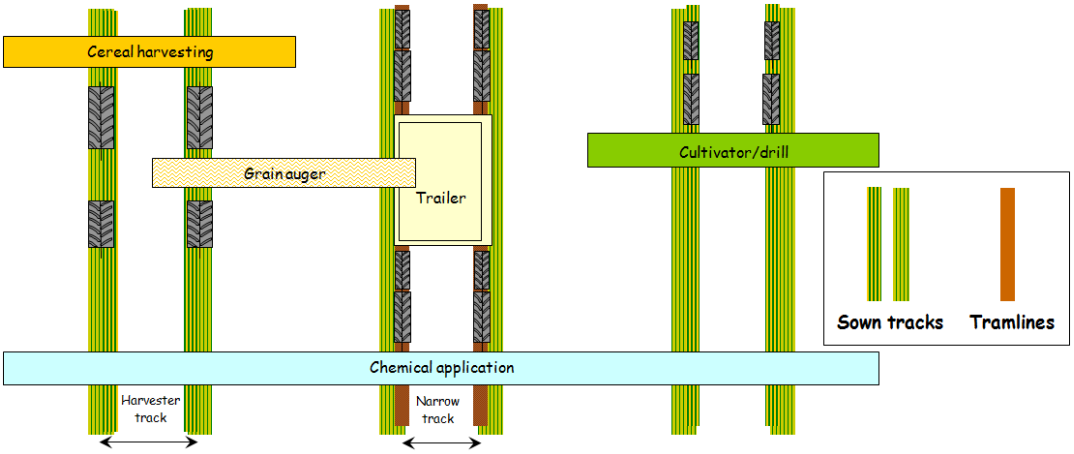
moderní technologie nalákat do zemědělství více mladších lidí. V Česku tvoří (k listopadu 2017) 4,6 % lidí mladších 35 let z celkového počtu zemědělských podnikatelů. Odpověď na otázku, jakou cestou bude směřovat zemědělství v Evropě bude jasnější v roce 2020, kdy dojde k nastolení nové zemědělské politiky. [24]

1.3.1 Aplikace naváděcích technologií

Rozvoj techniky a častá minimalizace lidské pracovní síly stojí za vznikem co nejvýkonnějších strojů. Na jedné straně jsou ekonomické výhody s tím i rychlost provedení dané operace, ale na druhé straně je častým problémem utužení půdy, které vzniká důsledkem působení velkého tlaku na podložku. Jedná se o velké výkonné traktory, velkoobjemové vozy, sklízecí mlátičky a další zemědělské prostředky a zařízení. Tento problém se snaží řešit některé systémy pomocí technologie GPS. Z toho vyplývá, že budou eliminovány přejezdy po pozemku. Systémy, které se snaží řešit tento problém jsou popsány níže. [6]

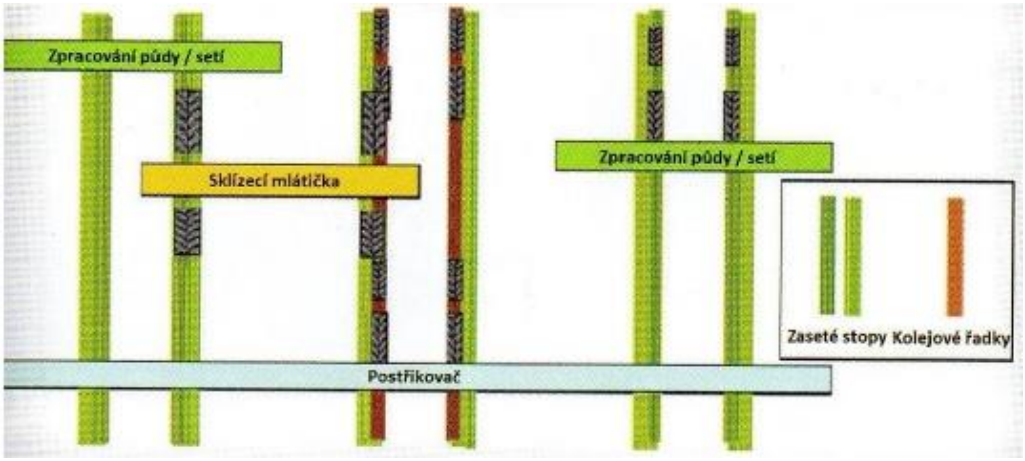
Controlled Traffic Farming (CTF)

Systém trvalých jízdních stop, nebo také jednotné kolejové řádky, tak lze definovat metodu CTF. Přejezdy se po pozemku soustřeďují do trvalých kolejových stop, produkční plocha tak zůstane nezasažena zatížením pracovních strojů. Další výhodou je snížení valivého odporu kol v kolejových stopách vlivem většího utužení. Soustředění jednotlivých pracovních jízd do stálých stop vyžaduje řadu technických úprav strojů, a to sjednocení rozchodu kol, tento rozměr obvykle bývá 3 metry a vychází většinou z rozchodu kol sklízecích mlátiček. Velká náročnost je také v samotné organizaci prací a přejezdů, například u sklizňových prací musí odvozní prostředky rovněž jezdit v kolejových stopách. Vzhledem k technické a finanční náročnosti se aplikují další systémy, které využívají více kolejových stop a výsledky jejich vyžití nejsou špatné, navíc není nutný velký investiční ani technický zásah. První systém COMTRAC byl již popsán, jednalo se tedy jednotné rozchody kol strojů. Nejjednodušším a nejméně náročným je systém OutTrac (Obrázek 18). Pozemek je rozdělen na jednotlivé oblasti, oblast s intenzivními přejezdy, oblast s nízkými přejezdy a oblast s nulovými přejezdy.



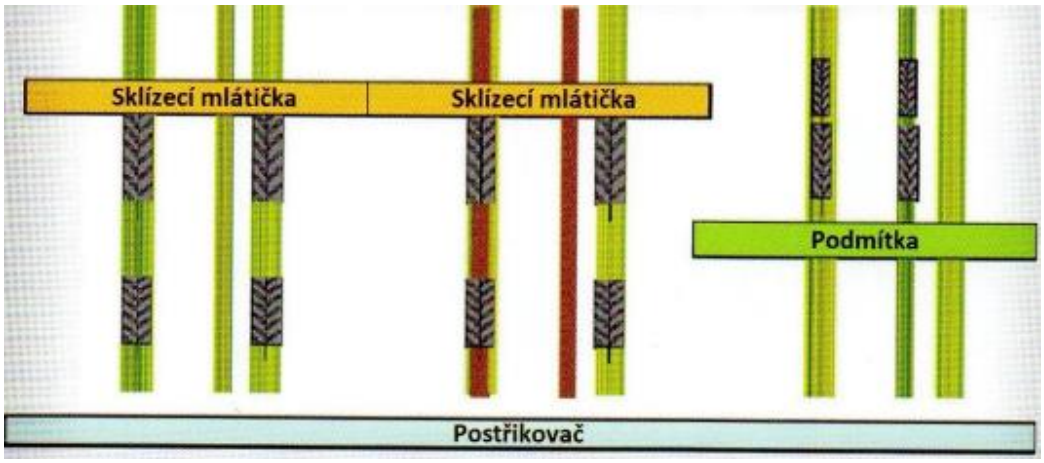
Obrázek 18 Systém OutTrack [6]

Dalším rozšířením systému CTF je TwinTrac. TwinTrac využívá pro přejezdy sklízecí mlátičky vnější stopy paralelních jízd (Obrázek 19), to je omezeno šířkou pracovního nářadí.



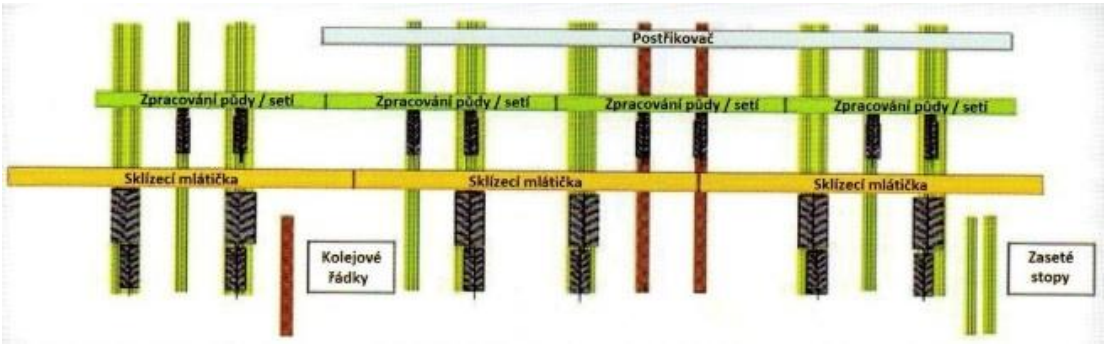
Obrázek 19 Systém TwinTrac [6]

Pro stroje s většími pracovními záběry se využívá systém AdTrac (Obrázek 20). Vzniká tak další přejezdová stopa vlivem rozdílného rozchodu kol sklízecí mlátičky a ostatních strojů.



Obrázek 20 Systém AdTrac [6]

Poslední je systém HalfTrac (Obrázek 21), který využívá dva možné rozchody kol, ovšem s podmínkou, že jeden je polovinou druhého. Dále využívá tři šířky záběru pracovních strojů (postřikovač, sklízecí mlátička, setí).

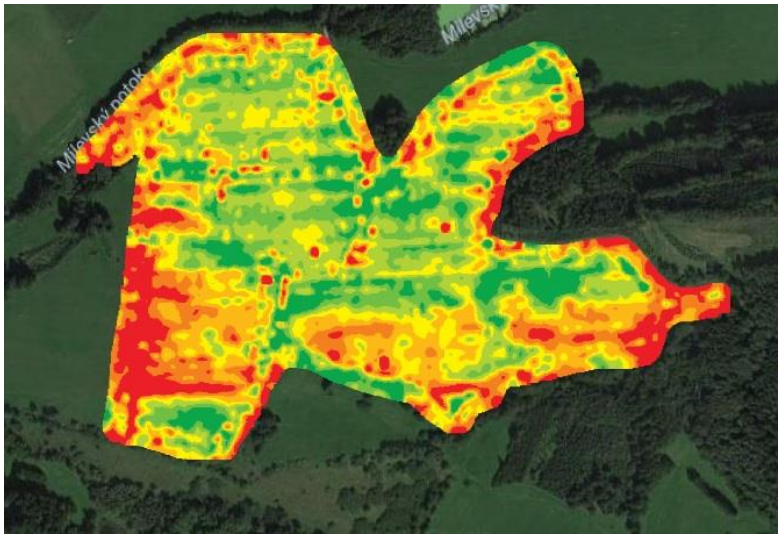


Obrázek 21 Systém HalfTrac [6]

K použití těchto systému je důležité přesné navádění pomocí navigací GNSS, které za poslední roky prodělává velmi rychlý vývoj a vylepšení. Pracuje se zejména na přijímačích a zpřesnění poskytovaných dat, např. firma John Deere nabízí přijímač StarFire 6000 s novým signálem SF3. Z důvodu udržení přesných stop je nutné zachovat přesné naváděcí linie, které se mohou za nějakou dobu posunout, v řádech desítek centimetrů. U těchto technologií je jakákoli nepřesnost problémem, protože se rozšiřuje plocha přejetá pneumatikami. Při využití konvenční technologie činila plocha pokryta stopami přejezdů 88,2 % za jeden rok, u minimalizační technologie činila plocha přejetá pneumatikami 65,2 % a při využití systému OutTrac se podíl přejeté plochy sníží na 37 %. [6]

1.3.2 Získávání dat při sklizni obilovin

Během sklizně dokáže sklízecí mlátička zaznamenat několik důležitých dat pro dané místo na pozemku. Z těchto dat následně vytváří výnosové mapy, od kterých se odvíjejí další agronomické zásahy a operace. Může být zaznamenáno několik vrstev, již zmíněná výnosová mapa, mapa vlhkosti zrna, mapa rychlosti sklizně a další. Na Obrázku 22 je znázorněna výnosová mapa po sklizni pšenice, každá barva má svou hodnotu výnosu v tunách a procentuální zastoupení na pozemku. Červená barva značí nejnižší hodnotu výnosu pod jednu tunu, sytě zelená znázorňuje nejvyšší hodnotu výnosu, u této konkrétní mapy se jedná o devět tun. Díky takto vytvořeným mapám je možné vypracovat následný plán operací. Je důležité sledovat pozemek zejména fyzicky, poté doplnit informacemi z výnosových map a dalších. Jak je vidět červená místa jsou nejčastěji na souvratích, to je způsobeno nadměrným zatížením vlivem velkého počtu přejezdů, dále mohou označit místa s velkou vlhkostí svažité části, nebo místa chudé na živiny. [7]



Obrázek 22 Obrys suchého výnosu [25]

1.4 Konstrukční řešení technologií sklízecí mlátičky

Dnešní sklízecí mlátičky jsou vybaveny mnoha systémy, které zajišťují správný chod celé mlátičky, aniž by musela obsluha nějak zasáhnout. Vrcholem inteligence je stroj, který dokáže automaticky pracovat v optimálním pracovním režimu, dokáže přijímat, zjišťovat a zpracovávat vnější i vnitřní signály, díky kterým následně vyhodnocuje aktuální stav a řídí tak svou činnost. Zdrojem vysílaných

signálů mířících do řídící jednotky k dalšímu zpracování jsou čidla, ty pracují na různých principech dle úkonu, který sledují a měří.

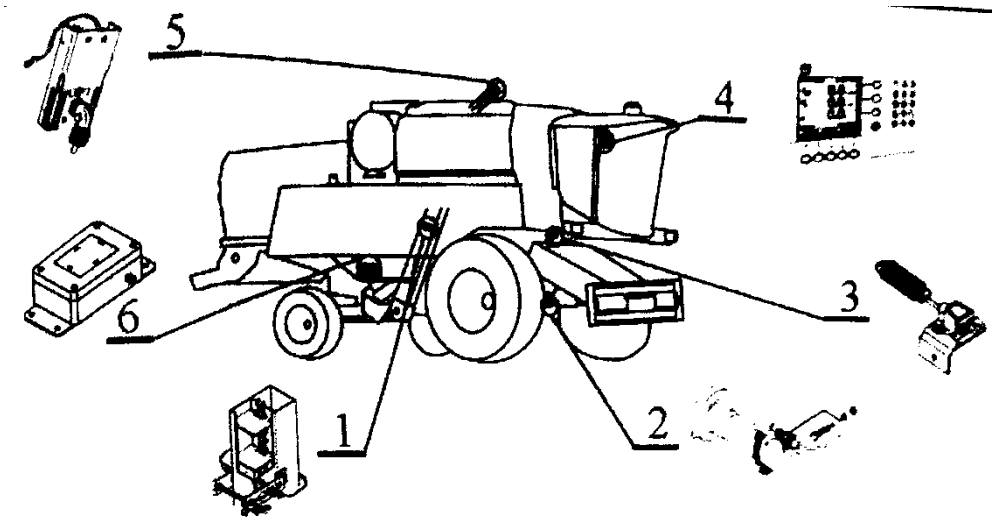
Automatické kontrolní a řídící prvky:

- Navádění mlátičky na porost pomocí laser pilotu umístěných na kraji žacího adaptéru (např. firma Claas)
- Regulace pojezdové rychlosti v závislosti zatížení mláticího bubnu s možností záznamu výnosové mapy do paměti interního počítače nebo na paměťové medium (např. používá značka Massey Ferguson)
- Automatická kontrola činnosti žacího adaptéru, polohy komponentů a dalších kritických konstrukčních prvků
- Integrovaný řídící systém. Systém přijímá a vyhodnocuje signály a porovnává je s předem nastavenými parametry, při překročení těchto hodnot vydá optický nebo akustický signál. Pokud by mohlo dojít k vážnému poškození stroje, řídící systém automaticky vypne pohon daného komponentu, popřípadě celé mlátičky.
- Systém GPS využívající pro automatické řízení pohybu stroje po pozemku a zpracování zjištěných údajů do map.
- Čidlo nadrcených zrn před výstupem vyprazdňovacího šneku. Čidlo pracuje na principu vyhodnocení optických vlastností povrchu zrn, které se liší přibývajícím množstvím úlomků. Díky těmto údajům dokáže stroj upozornit obsluhu na tento problém a nabídnout vhodné řešení. [8]

Nejnovější technologie sbírají informace z několika čidel a následně nabídnou vetší možnosti přenastavení stroje. Například firma John Deere používá u sklízecích mlátiček tzv. možnost vylepšení, okno displeje s nabídkou možnosti vylepšení je znázorněno na Obrázku 23. [14]

Obrázek 23 Oblasti vylepšení sklízecí mlátičky [14]

Důležitým úkolem sklízecí mlátičky v precizním zemědělství je sběr dat, konkrétně tvorba výnosových map a dalších. S novinkou pro rok 2018 přišla firma New Holland, která bude vybavovat sklízecí mlátičky řady CR Revelation NIR sensorem. Jedná se o měření hlavních výživových parametrů v zrnu. Hodnoty měří v reálném čase přímo na místě sklizně, tyto hodnoty se spojí s údaji o poloze a vytvoří se mapa, kterou lze následně využít v přizpůsobení dávek hnojiv. [9] Základní prvky sklízecí mlátičky, které poskytují několik důležitých dat jsou na Obrázku 24.



Obrázek 24 Základní prvky sklízecí mlátičky pro precizní zemědělství [1]

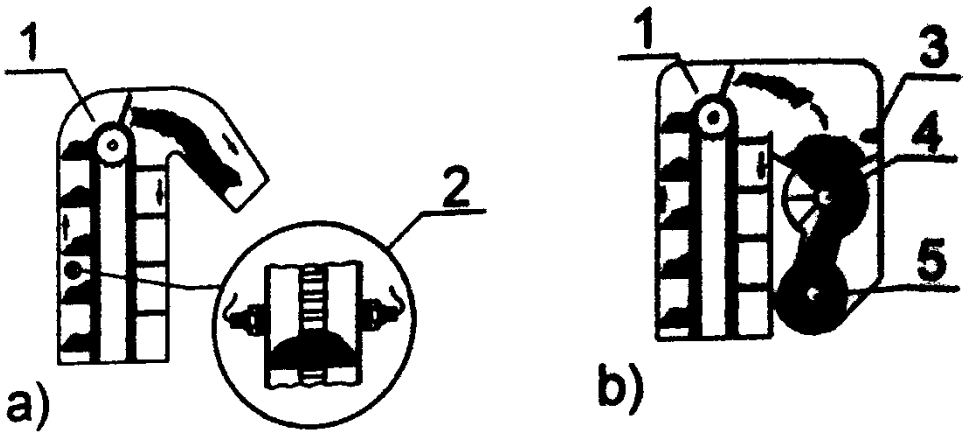
1 - čidlo měření okamžitého výnosu, 2 - čidlo měření pojezdové rychlosti, 3 - čidlo polohy žacího válu, 4 - palubní počítač, 5 - čidlo měření okamžité vlhkosti zrna, 6 - čidlo měřící náklon sklízecí mlátičky.

Pro tvorbu výnosových map je zapotřebí získat hodnoty okamžitého výnosu. Měření okamžitého výnosu probíhá několika způsoby. Čidla pro měření jsou umístěny na dopravníku vyčištěného zrna do zásobníku a dají se rozdělit na dvě skupiny. Jedna skupina měří objem vyčištěného zrna a druhá měří hmotnost. [1]

Určení okamžitého výnosu na základě měření objemu

Měření objemu zrna probíhá několika způsoby. První způsob je měření pomocí světelného paprsku (Obrázek 25 a). Čidlo se skládá ze dvou částí, z žárovky vysílající světelný paprsek a detektoru paprsku, tyto dvě časti jsou umístěny proti sobě. Měří se objem zrna na každé lopatce dopravníku. Pokud není na lopatkách dopravníku zrno vysílá senzor konstantní signál, v opačném případě pulsy, u kterých se měří doba oslabeného signálu, tím se dá určit objem zrna a se spojením s informacemi ze senzoru vlhkosti se určí okamžitý výnos.

Další způsob je měření pomocí odměrného kola (Obrázek 25 b). Lopatkové odměrné kolo je umístěno za dopravníkem zrna. Kolo je vybaveno senzorem rychlosti otáčení a senzorem hlídajícím hladinu zrna v jednotlivých prostorech mezi lopatkami. Objem se určí díky počtu otáček kola a známého objemu jednotlivých mezi lopatkových prostorů. S doplněním údajů o vlhkosti se určí okamžitý výnos [1]



Obrázek 25 a) čidlo se světelným paprskem b) lopatkové odměrné kolo [1]

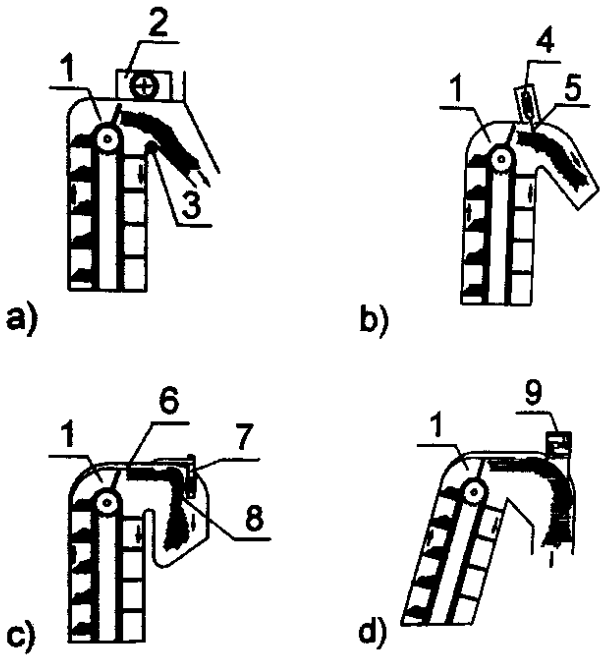
Měření okamžitého výnosu na základě měření hmotnosti

První způsob je měření pomocí radiačního čidla (Obrázek 26 a). Radiační čidlo je nad výstupem dopravníku vyčištěného zrna a proti je zdroj záření. Zrno pohlcuje určité množství záření, množství záření dopadající na čidlo je nepřímo úměrné množství zrna, které skrz záření prochází. I v tomto případě jsou potřeba data o vlhkosti pro určení výnosu.

Druhý způsob je měření pomocí nárazové desky (Obrázek 26 b). Měřící deska je umístěna na výstupu dopravníku vyčištěného zrna. Zrno po odhození lopatkou dopadá na nárazovou desku nějakou silou, kterou následně převodník převede na napěťový signál. Síla zrna narážejícího na desku je úměrná hmotnosti zrna. Měření je doplněno údaji o vlhkosti.

Třetí způsob je měření pomocí nárazových tyčinek (Obrázek 26 c). Na rozdíl od nárazové desky jsou do proudu zrna instalovány měřící tyčinky. Princip měření je shodný s předchozím.

Čtvrtý způsob je měření pomocí nárazové desky a potenciometru (Obrázek 26 d). Nárazová deska je umístěna stejně jako u systému měření nárazovou deskou, ale princip převodu síly narážejícím zrnem na nárazovou desku je jiný. Sílu snímá potenciometr, který mění napětí podle toho, jak velkou silou naráží zrno na nárazovou desku a pro určení výnosu jsou údaje doplněny o aktuální informace o vlhkosti.



Obrázek 26 Určení hmotnosti zrna pomocí a) radiačního čidla b) nárazového čidla s tyčinkami c) nárazové desky d) nárazové desky s potenciometrem [1]

Další systém měření je vážení dopravníku zrna, tedy jeho vodorovné větve, avšak nutností je úprava dopravníku zrna, proto není v praxi využíván. S problémem využití v praxi se potýká i způsob měření pomocí kapacitního čidla, z důvodu velkého vlivu vlhkosti procházejícího materiálu na měření.

Obecně je uváděno, že měření hmotnosti zrna je přesnější než měření objemu. Oba typy měření vykazují určité chyby a rozdíl není natolik velký, aby hrál v praxi rozhodující roli. V praxi existuje mnohem více faktorů, které zásadněji ovlivňují určení okamžitého výnosu. Těmito faktory jsou např. nedodržování šířky záběru žacího adaptéru (chyba může být až 10 %), prudká změna pojezdové rychlosti, svažitost pozemku, velikost sklízeného pozemku (u pozemku pod 2 ha může chyba výnosu dosahovat až 25 %). [1]

2. Cíl práce

Cílem práce je seznámit s aktuálně dostupnými technologiemi pro navádění a určování přesné polohy stroje na pozemku. Zároveň seznámení s rozšířením funkce technologie navádění, a to ve shromažďování dat o daném pozemku, které jsou nedílnou součástí precizního zemědělství. V praktické části je cílem porovnat sklizeň pšenice ozimé sklízecí mlátičkou s použitím automatického navádění GPS a bez použití této technologie, zhodnotit přínos automatického navádění a ekonomicky vyčíslit rozdíl obou systémů navádění pro daný podnik.

3. Metodika práce

Provedení vlastní práce bude realizováno ve vybraném podniku, a to v Zemědělském družstvu Chyšky. Zemědělské družstvo Chyšky se zabývá rostlinou a živočišnou výrobou. Rostlinná výroba je zaměřena na pěstování obilnin převážně pro potřeby živočišné výroby, trav na semeno, řepky, kukuřice a krmných plodin. Živočišná výroba je změřena na produkci mléka, chov masného dobytka, výkrm býků a výkrm prasat.

Hlavním cílem práce je zmapovat pohyb sklízecí mlátičky John Deere T660 při sklizni, s použitím GPS navigace a bez použití navigace. Měření bude probíhat na stejném pozemku ve dvou shodně vyměřených plochách vzdálených několik metrů od sebe. Sklízená plodina musí být totožná, porost nesmí být polehlý, nebo jinak poškozený, aby bylo dosaženo stejných podmínek u obou měření. V první vyměřené ploše se bude sklízecí mlátička pohybovat pomocí GPS navigace, a to vždy v přímé jízdě, na souvratích bude otáčení stroje provedeno manuálně. Stroj bude následně naveden na další linii, kde se opět spustí navigace.

V celkové sklizni je měřen čas T_c od spuštění mlátičky do ukončení sklizně první vyměřené plochy. Dále se měří průměrná rychlost v_p a měrná spotřeba nafty Q_{ha}, která je zjištěna v ovládacím systému stroje. Důležité je znát konstrukční záběr B_k sklízecího adaptéru, který je stanoven výrobcem, nebo lze manuálně změřit. Dále se vypočítá skutečný záběr B_s dle vztahů (2) a (3). Před výpočtem se stanoví přesah p, o kolik mm přesahuje adaptér kraj sklízeného pásu. To závisí na přesnosti navigace a na druhu plodiny, přesah je zpravidla (5 - 15 cm). Skutečný záběr je tedy vypočten odečtením zvoleného přesahu od konstrukčního záběru. Plocha pozemku S je vypočtena ze stanovených rozměrů dle vztahu (1). Ze známé plochy a skutečného záběru je vypočítán počet přejezdů k. V dalším kroku, je třeba vypočítat dvakrát sklízenou plochu dle vztahu (4) a (5), tzn. překrývající se záběry konstrukční délky adaptéru. Zjištěná dvakrát sklízená plocha u měření s navigací a bez navigace ukáže rozdíly a popřípadě i výhody či nevýhody obou systémů. V druhé vyměřené ploše se bude sklízecí mlátička pohybovat manuálně řízená. Navigace se zde bude používat pouze k přesnému zmapování pohybu mlátičky, tím se docílí přesnějšího změření pohybu stroje. Měří se stejné hodnoty jako u prvního měření. Počet přejezdů se zapisuje, nebo se zjistí z mapy navigace. Dvakrát sklízená plocha se vypočte vydělením šířky sklízeného pozemku počtem přejezdů, nebo z mapy navigace.

Plocha sklízených pozemků S se vypočte dle vztahu.

$$S = a \cdot b \ [m^2] \quad (1)$$

S – plocha vyměřených pozemků [m^2]

a – délka pozemku [m]

b – šířka pozemku [m]

Vzorec pro výpočet skutečného záběru sklízecího adaptéru u sklizně s navigací.

$$B_s = B_k - p \quad [m] \quad (2)$$

B_s – skutečný záběr [m]

B_k – konstrukční záběr [m]

p – přesah (0,05 – 0,15 m) [m]

Vzorec pro výpočet skutečného záběru sklízecího adaptéru u sklizně bez navigace.

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

B_s – skutečný záběr [m]

b – šířka sklízené plochy [m]

k – počet přejezdů

Dvakrát sklízená plocha S_2 u sklizně s navigací.

$$S_2 = (B_k - B_s) \cdot a \cdot k \quad [m^2] \quad (4)$$

B_s – skutečný záběr [m]

B_k – konstrukční záběr [m]

k – počet přejezdů

a – délka pozemku [m]

Dvakrát sklízená plocha S_2 u sklizně bez navigace.

$$S_2 = \left(B_k - \frac{b}{k}\right) \cdot a \cdot k \quad [m^2] \quad (5)$$

B_k – konstrukční záběr [m]

b – šířka sklízené plochy [m]

k – počet přejezdů

a – délka pozemku [m]

Součinitel využití β, podíl pracovního a konstrukčního záběru.

$$\beta = \frac{B_s}{B_k} \tag{6}$$

β – součinitel využití

B_s – skutečný záběr $[m]$

B_k – konstrukční záběr $[m]$

Vypočet teoretické W_t a skutečné W_s výkonnosti stroje.

$$W_s = \frac{1}{T_c} \cdot S \qquad [ha \cdot h^{-1}] \tag{7}$$

$$W_t = B_k \cdot v_p \cdot k \cdot \tau_{07} \qquad [ha \cdot h^{-1}] \tag{8}$$

T_c – celkový čas $[h]$

v_p – průměrná rychlost $[m \cdot s^{-1}]$

k – přepočítávací konstanta

τ_{07} – součinitel využití celkového času

Spotřeba paliva je zjištěna z ovládacího panelu stroje a následně se vypočte čistá spotřeba v litrech.

$$Q_t = Q_{ha} \cdot \mathrm{S} \quad [l] \tag{9}$$

$$Q_t = Q_h \cdot T_c \qquad [l] \tag{10}$$

Q_t – spotřeba paliva $[l]$

Q_h – hodinová potřeba paliva $[l \cdot h^{-1}]$

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

T_c – celkový čas sklizně $[h]$

Po zjištění spotřeby paliva a celkového času sklizně se vypracuje ekonomické zhodnocení. Pro vyčíslení pohonných hmot C_{ph} je potřeba zjistit aktuální cenu nafty C_n a spotřebu paliva Q_t s použitím navigace a bez použití navigace. Vynásobením ceny paliva za jeden litr s celkovou spotřebou litrů na sklizeň s navigací a bez navigace. Porovnáním výsledků se následně zjistí finanční úspora.

$$C_{ph} = C_n \cdot Q_t \qquad [K\check{c}] \tag{11}$$

C_{ph} – cena pohonných hmot $[Kč]$

C_n – cena jednoho litru paliva $[Kč]$

Q_t – spotřeba paliva $[l]$

Další článek ekonomického zhodnocení je mzda obsluhy stroje C_o, pro kterou je nutné zjistit plat pracovníka v korunách za hodinu M_h, popřípadě v korunách za hektar a tento údaj se vynásobí časem sklizně s navigací a bez navigace. Rozdílem mezd je zjištěna finanční úspora.

$$C_o = T_c \cdot M_h \qquad [Kč] \tag{12}$$

T_c – celkový čas sklizně $[h]$

M_h – hodinová mzda pracovníka $[Kč \cdot h^{-1}]$

C_o – mzda obsluhy stroje $[Kč]$

Pro reálné vyčíslení výsledků pro daný podnik se přepočtou úspory na celkovou plochu sklízenou pomocí sklízecí mlátičky s navigací. K tomu je zapotřebí zjistit celkovou plochu všech sklízených plodin S_c a vypočítat spotřebu paliva s navigací a bez navigace na celkovou plochu. Porovnáním výsledných hodnot je zjištěna úspora pro celkovou plochu podniku.

$$Q_t = Q_{ha} \cdot S_c \quad [l] \tag{13}$$

$$C_{ph} = C_n \cdot Q_t \ [Kč] \tag{14}$$

S_c – celková plocha podniku $[ha]$

Q_t – spotřeba paliva $[l]$

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

C_{ph} – cena pohonných hmot $[Kč]$

C_n – cena jednoho litru paliva $[Kč]$

Úspora času se zjistí přepočtením času na celkovou plochu podniku pro obě metody s navigací i bez navigace, následným porovnáním je zjištěna úspora. Z celkového času je vypočtena mzda pracovní obsluhy a znovu zjištěna úspora. Výpočet času potřebného pro sklizeň celkové plochy podniku je provedeno takto. Nejprve se vypočte, za jaký čas je sklizen jeden hektar a výsledek je vynásoben celkovou plochou podniku. Celková mzda je vypočtena vynásobením celkového času s hodinovou mzdou pracovníka.

$$T_{cp} = \frac{T_c}{S} \cdot S_c \ \ [h] \tag{15}$$

$$C_{oc} = T_{cp} \cdot M_h \ [Kč] \tag{16}$$

T_{cp} – čas sklizně všech ploch podniku $[h]$

C_{oc} – celková mzda obsluhy stroje pro sklizeň všech ploch podniku $[Kč]$

Tc – celkový čas sklizně [h]

M_h – hodinová mzda pracovníka [$Kč \cdot h^{-1}$]

Sc – celková plocha podniku [ha]

S – plocha vyměřených pozemků [ha]

Všechny výsledky se zpracují do grafů a tabulek, kde bude přesně zhodnocen rozdíl metod sklizně s navigací a bez navigace.

4. Vlastní práce

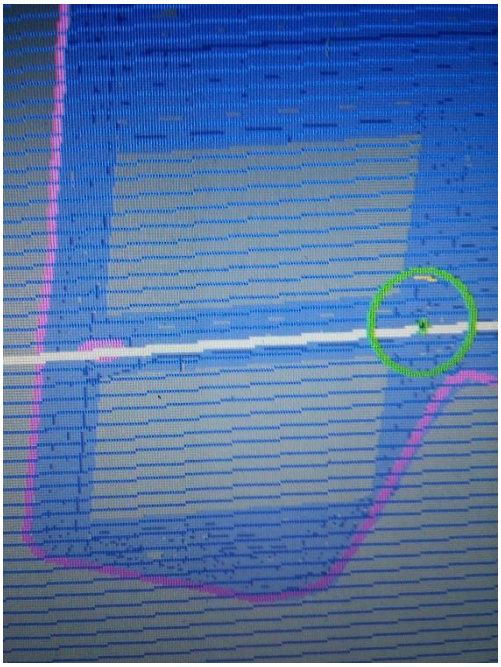
4.1 Charakteristika podniku

Zemědělské družstvo Chyšky leží v severovýchodní části okresu Písek (Jihočeský kraj), 10 km severně od Milevska v nadmořské výšce 530-670 m n. m. zeměpisné souřadnice 49°31′25″ s. š., 14°25′39″ v. d. Družstvo hospodaří na ploše 2000 ha v bramborářsko-ovesné výrobní oblasti s ročním úhrnem srážek 690 mm. Travní porosty zaujímají 60 % zemědělské půdy a zbylých 40 % připadá na ornou půdu. Stěžejním odvětvím podniku je živočišná výroba, zejména produkce mléka, proto jsou kladeny vysoké nároky na kvalitu krmiva a celkovou organizaci chovu dojnic. V živočišné výrobě se dál podnik zabývá chovem masného dobytka, výkrm býků a výkrm prasat. Rostlinná výroba se zabývá pěstování obilnin (pšenice, ječmen, oves, kukuřice), trav na semeno (jílek, kostřava, dle podmínek), řepky a krmných plodin (vojtěška, jetelotráva). Družstvo disponuje vlastní posklizňovou linkou pro obilniny, která je vybavena suškou a přípravnou krmných směsí. Dále posklizňovou linkou pro travní semena se skladovacími prostory. Okrajově se podnik věnuje zemědělským službám, zemním pracím, práce autojeřábem a nákladní dopravě.

4.2 Popis měření

Měření proběhlo dne 21. 8. 2017 na pozemku u vsi Ratiboř označeném dle LPIS 4502-0 (750-1100), místní název Sedlichova, začátek měření byl ve 20:50 hodin a konec ve 22:20 hodin. Sklízená plodina, při které měření probíhalo, byla pšenice ozimá. Pozemek leží v nadmořské výšce 579,29 m n.m., průměrná sklonitost je 5,28°, půdní druh dle zrnitosti hlinitopísčitá. Systém zpracování půdy je minimalizační, časté využití diskových podmítačů a kypřičů z důvodu kamenitosti pozemku. Klimatické podmínky byli příznivé pro sklizeň, obilí nebylo polehlé a na obou měřených pozemkách byla struktura porostu a svažitost shodná. Vyměřili se dva pozemky o stejné výměře, která činila 1,095 ha, pomocí navigace sklízecí mlátičky. Pro kontrolu měření byla přeměřena ručně pomocí pásma (50 m) a mobilní aplikace GPS Fields Area Measure.

Obrázek 27 Naměřené pozemky pomocí aplikace GPS Fields Area Measure.



Obrázek 28 Naměřené pozemky pomocí navigace sklízecí mlátičky

Sklizeň probíhala pomocí sklízecí mlátičky John Deere T660 o výkonu 290 kW, kapacitou zásobníku 11 000 l s žacím adaptérem 625R (7,5 m). Mlátička byla vybavena integrovaným systémem AutoTrac, přijímačem StarFire a displejem GreenStar. Obsluhu stroje prováděl sám autor práce.

Obrázek 29 Vyměřený pozemek č. 1

Obrázek 30 Vyměřený pozemek č. 2

4.3 Výsledky měření

Základní parametry sklízecí mlátičky a potřebné hodnot pro výpočty jsou zaznamenány v Tabulce 1.

Tabulka 1 Hodnoty pro výpočty

Konstrukční záběr [m]	7,5 m
Sklízená plocha [ha]	1,095 ha
Cena pohonných hmot [Kč·l^{-1}]	28,60 Kč·l^{-1}
Hodinová mzda pracovníka [Kč·h^{-1}]	134 Kč·h^{-1}
Celková plocha sklízených plodin [ha]	576,59 ha
Plodina	Pšenice ozimá

4.3.1 Měření bez GPS navigace

Jako první byla zvolena sklizeň bez navádění GPS navigací, navigace se používala pouze ke shromažďování dat o sklizni. K výpočtům je potřeba zjistit hodnoty, které jsou pro oba pokusy stejné viz. Tabulka 1. Měřil se celkový čas sklizně, počet přejezdů, průměrná rychlost a další hodnoty byly dopočítány ze získaných měření viz Tabulka 3.

Výpočet skutečného záběru sklízecího adaptéru:

$$B_s = \frac{73}{11} \quad [m]$$

$$B_s = 6{,}64\ m$$

Dvakrát sklízená plocha S_2

$$S_2 = \left(7{,}5 - \frac{73}{11}\right) \cdot 150 \cdot 11 \quad [m^2]$$

$S_2 = 1424{,}9\ m^2$

Součinitel využití β, podíl pracovního a konstrukčního záběru.

$$\beta = \frac{6{,}64}{7{,}5}$$

$\beta = 0{,}88$

Vypočet skutečné W_s a teoretické W_t výkonnosti stroje.

$$W_s = \frac{1}{0{,}497} \cdot 1{,}095 \qquad [ha \cdot h^{-1}]$$

$$W_s = 2{,}203\ ha \cdot h^{-1}$$

$$W_t = 7{,}5 \cdot 3{,}5 \cdot 0{,}36 \cdot 0{,}25 \qquad [ha \cdot h^{-1}]$$

$$W_t = 2{,}36\ ha \cdot h^{-1}$$

Spotřeba paliva byla zjištěna z ovládacího panelu stroje a následně vypočtena čistá spotřeba v litrech. Pro přesné zjištění spotřebovaného paliva se dolije před započetím sklizně plná nádrž, po skončení sklizně se opět dolije palivo do nádrže, a zaznamená se, kolik paliva bylo dolito. Množství dolitého paliva se rovná množství spotřebovaného paliva za celkový čas T_c a na sklizenou plochu. V pokusu se vychází ze spotřeby, která je průměrem spotřeby za celý den sklizně a z údajů, které poskytuje řídící jednotka sklízecí mlátičky tedy spotřeba litrů za hodinu.

$$Q_t = 38{,}72 \cdot 0{,}497 \qquad [l]$$

$$Q_t = 19{,}24\ l$$

Tabulka 2 Naměřené hodnoty sklizně bez navádění GPS navigací

Datum	21. 8. 2017
Čas [h]	0,497 h
Skutečný záběr [m]	6,64 m
Počet přejezdů	11
Přesah [m]	0,86 m
Průměrná rychlost [$m \cdot s^{-1}$]	3,5 $km \cdot h^{-1}$
Sklízená plocha [ha]	1,095 ha
Spotřeba paliva [$l \cdot h^{-1}$]	38,72 $l \cdot h^{-1}$
Spotřeba paliva za sklizeň [l]	19,24 l
Výnos [$t \cdot ha^{-1}$]	5,41 $t \cdot ha^{-1}$
Vlhkost zrna [%]	14,2 %
Výkonnost skutečná [$ha \cdot h^{-1}$]	2,203 $ha \cdot h^{-1}$
Sláma	Kladení do řádků

4.3.2 Měření s GPS navigací

Druhý pozemek byl sklízen s pomocí automatického naváděním GPS navigací. Na displeji GreenStar je potřeba nastavit linii jízdy. Najede se k okraji pozemku, tak aby byl dosažen plný záběr sklízecího adaptéru. V menu je zvolena ikona navádění, dále se stiskne nastavit stopu, zvolí se název a křivka jízdy (přímá). Spustí se mlátička a žací lišta, poté se zmáčkneme na obrazovce nastavit bod (A) a začne se sklízet. Je držen směr a plný záběr. Po ujetí vzdálenosti minimálně 20 metrů se na obrazovce zmáčkne nastavit bod B a proběhne uložení. Linie se vykreslí rovnoběžně vedle sebe po celém pozemku a stroj vždy podle nich bude naváděn. Po zmáčknutí tlačítka autopilot se stroj sám navádí dle nastavené stopy, autopilot je deaktivován zásahem do řízení, nebo po opětovném stisknutí tlačítka autopilot. Při dalším přejezdu už jen stačí najet rovnoběžně k linii, aktivovat funkci autopilot a stroj se sám navede. Takto se pokračuje po zbytek sklizně pozemku.

Výpočet skutečného záběru sklízecího adaptéru:

$$B_s = 7{,}5 - 0{,}2 \quad [m]$$

$B_s = 7{,}3\ m$

Dvakrát sklízená plocha S_2:

$$S_2 = (7{,}5 - 7{,}3) \cdot 150 \cdot 10 \quad [m^2]$$

$S_2 = 300\ m^2$

Součinitel využití β, podíl pracovního a konstrukčního záběru.

$$\beta = \frac{7{,}3}{7{,}5}$$

$\beta = 0{,}97$

Vypočet skutečné W_s a teoretické W_t výkonnosti stroje.

$$W_s = \frac{1}{0{,}46} \cdot 1{,}095 \qquad [ha \cdot h^{-1}]$$

$W_s = 2{,}38\ ha \cdot h^{-1}$

$$W_t = 7{,}5 \cdot 3{,}5 \cdot 0{,}36 \cdot 0{,}258 \qquad [ha \cdot h^{-1}]$$

$$W_t = 2{,}44\ ha \cdot h^{-1}$$

Spotřebu paliva zjistíme z ovládacího panelu stroje a následně vypočteme čistou spotřebu v litrech.

$$Q_t = 38{,}72 \cdot 0{,}46 \quad [l]$$

$Q_t = 17{,}811\ l$

Tabulka 3 Naměřené hodnoty sklizně s naváděním GPS navigací

Datum	21. 8. 2017
Čas [h]	0,46 h
Skutečný záběr [m]	7,3 m
Počet přejezdů	10
Přesah [m]	0,2 m
Průměrná rychlost [$m \cdot s^{-1}$]	3,5 $km \cdot h^{-1}$
Sklízená plocha [ha]	1,095 ha
Spotřeba paliva [$l \cdot h^{-1}$]	38,72 $l \cdot h^{-1}$
Spotřeba paliva za sklizeň [l]	17,811 l
Výnos [$t \cdot ha^{-1}$]	5,55 $t \cdot ha^{-1}$
Vlhkost zrna [%]	14,45 %
Výkonnost skutečná [$ha \cdot h^{-1}$]	2,38 $ha \cdot h^{-1}$
Sláma	Kladení do řádků

4.3.3 Ekonomické zhodnocení

Posledním krokem je vyhodnotit výsledky a ekonomicky zhodnotit pro daný podnik. Zjistí se cena pohonných hmot, která pro rok 2017 činila 28,60 $Kč \cdot l^{-1}$. Dále celková výměra pozemků, které se budou sklízet touto mlátičkou, mzdu pracovníka a čas sklizně u jednotlivých měření.

Cena spotřebovaného paliva u sklizně bez navádění GPS.

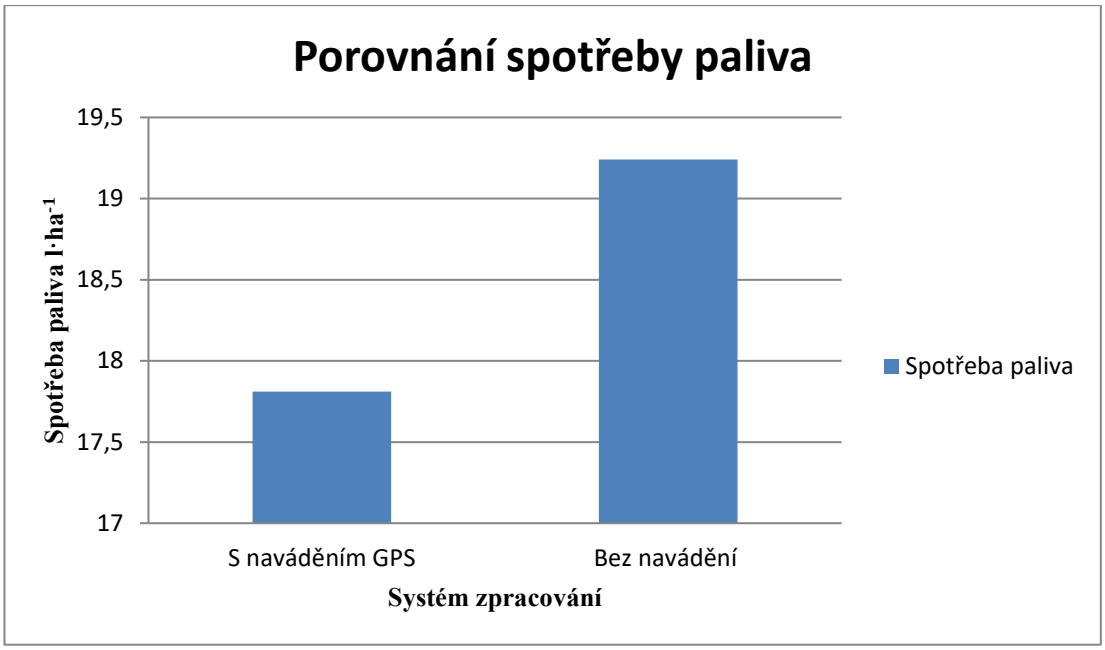
$$C_{ph} = 28{,}6 \cdot 19{,}24 \quad [Kč]$$

$$C_{ph} = 550{,}264\ Kč$$

Cena spotřebovaného paliva u sklizně s naváděním GPS.

$$C_{ph} = 28{,}6 \cdot 17{,}811 \quad [Kč]$$

$$C_{ph} = 509{,}39\ Kč$$



Graf 1 Porovnání spotřeby paliva

Mzda obsluhy stroje u sklizně bez naváděním GPS.

$$C_o = 0{,}497 \cdot 134 \qquad [Kč]$$

$$C_o = 66{,}598\ Kč$$

Mzda obsluhy stroje u sklizně s naváděním GPS.

$$C_o = 0{,}46 \cdot 134 \qquad [Kč]$$

$$C_o = 61{,}64\ Kč$$

Obsluhu sklízecí mlátičky v podniku provádějí dva pracovníci, kteří jsou placeni v hodinové taxe, tedy 134 Kč·h^{-1}, proto je nutné mzdu vynásobit dvěma (dva pracovníci).

Výsledky je třeba zhodnotit pro daný podnik, zjistí se plocha plodin, které budou sklízeny touto sklízecí mlátičkou, poté jsou výsledky z obou pokusů převedeny na celkovou plochu a finančně vyhodnoceny. Celková plocha činí 576,59 ha.

Přepočet spotřeby paliva na celkovou plochu bez naváděním GPS.

$$Q_t = 19{,}24 \cdot 576{,}59 \qquad [l]$$

$$Q_t = 11093{,}5916\ l$$

Vyčíslení celkové ceny pohonných hmot na plochu daného podniku bez naváděním GPS.

$$C_{ph} = 28{,}60 \cdot 11093{,}5916 \ [K\check{c}]$$

C_{ph} = 317276,72 $K\check{c}$

Přepočet spotřeby paliva na celkovou plochu s naváděním GPS.

$$Q_t = 17{,}811 \cdot 576{,}59 \quad [l]$$

Q_t = 10269,64 l

Vyčíslení celkové ceny pohonných hmot na plochu daného podniku s naváděním GPS.

$$C_{ph} = 28{,}60 \cdot 10269{,}64 \ [K\check{c}]$$

C_{ph} = 293711,83 $K\check{c}$

Zjištění celkového času sklizně plochy podniku bez navádění GPS.

$$T_{cp} = \frac{0{,}497}{1{,}095} \cdot 576{,}59 \ [h]$$

T_{cp} = 261,7 h

Vyčíslení mzdy obsluhy za celkový čas sklizně plochy podniku bez navádění GPS.

$$C_{oc} = 261{,}7 \cdot 134 \ [K\check{c}]$$

C_{oc} = 35067,8 $K\check{c}$

Zjištění celkového času sklizně plochy podniku s naváděním GPS.

$$T_{cp} = \frac{0{,}46}{1{,}095} \cdot 576{,}59 \ [h]$$

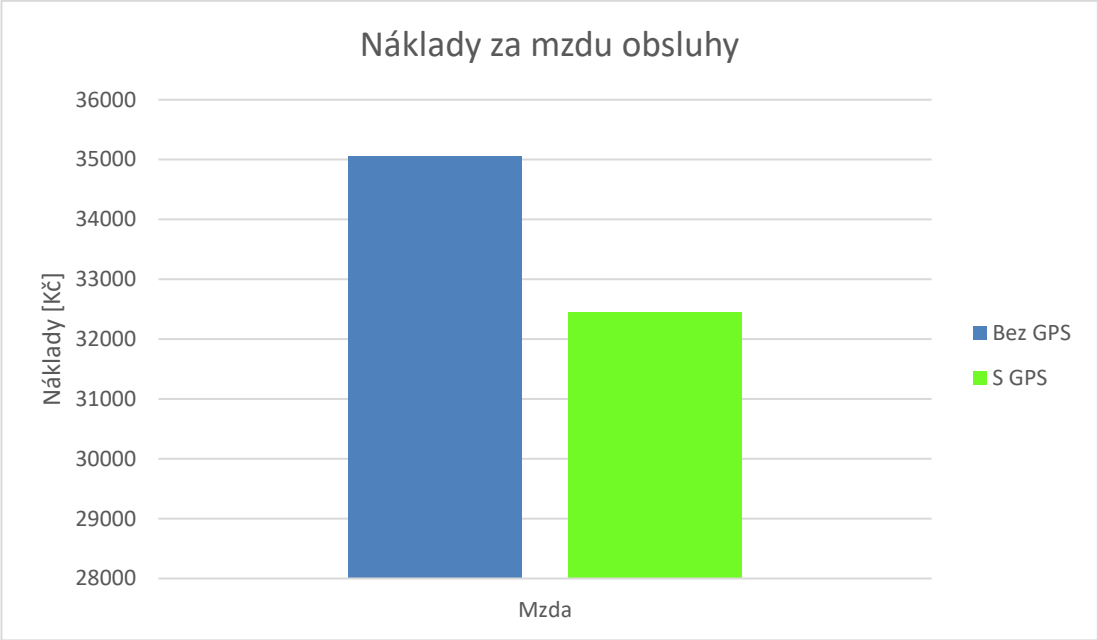
T_{cp} = 242,22 h

Vyčíslení mzdy obsluhy za celkový čas sklizně plochy podniku s naváděním GPS.

$$C_{oc} = 242{,}22 \cdot 134 \ [K\check{c}]$$

C_{oc} = 32457,48 $K\check{c}$

Náklady za mzdu obsluhy jsou uvedeny v Grafu 2, jedná se o mzdu pro jednoho pracovníka za sklizeň celkové plochy podniku.



Graf 2 Náklady za mzdu

Výsledky pro oba systémy zpracování jsou zaznamenány v Tabulce 4.

Tabulka 4 Výsledky systémů s GPS a bez GPS navádění

			Celkem		Celková cena	
Systém zpracování	Spotřeba [l·ha^{-1}]	Čas [h·ha^{-1}]	Spotřeba [l]	Čas [h]	Pohonných hmot [Kč]	Mzdy obsluhy [Kč]
Bez GPS	17,57	0,497	11093,59	261,7	317276,72	70135,6
S GPS	16,27	0,42	10269,64	242,22	293711,83	64914,96
Rozdíl	1,3	0,077	823,95	19,48	23564,89	5220,64

Následně byli sečteny veškeré náklady a výsledky jsme zaznamenali do Tabulky 5.

Tabulka 5 Celkové náklady obou systémů

Systém zpracování	Celkové náklady [Kč]
Bez GPS	387412,32
S GPS	358626,79
Rozdíl	28785,53

Cena GPS navigace byla součástí ceny nového stroje, tím dochází k velké úspoře za dodatečné pořizování. Samotná pořizovací cena balíčku Auto Trac je 255 000 Kč. Signál SF 3 zaručuje přesnost určení polohy +/- 3 cm a roční poplatek za užívání je 32 000 Kč. Hodnoty jsou zpracovány v Tabulce 6.

Tabulka 6 Pořizovací ceny jednotlivých služeb [26]

Služby	Pořizovací cena [Kč]
Balíček Auto Track	255 000
Přijímač Starfire 6000	74 500
Displej GS3 2630	115 000
Práce (montáž)	10 000
Signál SF 3 (+/- 3 cm)	32 000 $Kč \cdot rok^{-1}$
Signál SF 1 (+/- 15 cm)	Zdarma

Pro sklízecí mlátičku je využíván SF 3 signál pouze 3 měsíce, cena za využití je tedy 5000 Kč. Jednorázová investice za GPS navigaci pro sklízecí mlátičku činila celkem 84 500 a roční tarif za přesnější určení polohy 5000Kč. Rychlost návratnosti investice za GPS navigaci pro tuto formu pořízení a činí 4 roky. Při dodatečném pořízení je počítáno s využitím balíčku Auto Trac za cenu 255 000 Kč a návratnost investice pak činí 11 let.

5. Diskuze

Porovnáním systémů řízení pohybu sklízecí mlátičky při sklizni, tedy manuálně řízeného stroje obsluhou bez použití technologie navádění a technologie automatického navádění pomocí GPS navigace, bylo zjištěno, že systém automatického navádění pomocí GPS navigace je ve všech kritériích měření výhodnější.

Pokus byl prováděn na dvou shodně vyměřených plochách s výměrou 1,095 ha, vzdálených několik metrů od sebe, tak aby byly zachovány stejné podmínky. Šířka pozemku byla určena v závislosti na skutečném záběru žacího adaptéru při automatickém navádění. Díky této skutečnosti se využila celá možná šířka žacího adaptéru a mohli být porovnány obě metody řízení. Při sklizni bez GPS navigace se ukázal faktor obsluhy, který spočíval v nestálém držení přesné šířky. I když měl pozemek relativně malou plochu a řidič stroje se snažil o co nejpřesnější držení celé šířky adaptéru, po deseti přejezdech se ukázala nepřesnost manuálního řízení vůči automatickému navádění. Počet přejezdů u manuálního řízení v důsledku chyb bylo jedenáct a u automatického řízení deset. Nesklizená část při jedenáctém přejezdu u manuálního řízení nezabírala celou šířku žací lišty (v průměru polovinu šířky), proto mohla být zvolena větší rychlost. Rozdíl mezi manuálním a automatickým řízením je závislý na ploše která je sklízena, s narůstající plochou se výhody automatického navádění zvětšují, v praxi tak může být rozdíl výsledků větší, než bylo vypočteno z pokusu. Čas byl měřen od začátku sklizně po konec a rozdíl mezi metodami činil 2,16 minut. Hustota porostu byla téměř stejná, proto mohla být zvolena konstantní rychlost sklizně 3,5 $km \cdot h^{-1}$ při využití celého záběru. Data o potřebě paliva byla zjištěna pomocí integrovaného čidla a následně vypočtena řídící jednotkou. Díky jednotným otáčkám motoru, stejným terénním podmínkám a hustotou porostu se spotřeba paliva zásadně neliší, proto byla vypočtena stejná hodinová spotřeba pro oba pokusy (38,72 $l \cdot h^{-1}$), která vychází z celkové průměrné spotřeby sklizně celého pole, na kterém byl pokus prováděn. Při převedení hodinové spotřeby paliva na spotřebu v litrech paliva na hektar pro jednotlivé pokusy dosahuje se rozdílu 1,3 l ve prospěch automatického navádění, dále platí, že s rostoucí plochou se bude rozdíl spotřeby zvyšovat. Pro ekonomické zhodnocení bylo počítáno s celkovou plochou podniku, která je sklízena touto mlátičkou, platí pro jeden rok. Rozdíl paliva po přepočtu na celkovou plochu byla 823,95 l po vyčíslení v korunách

činila úspora 23564,89 Kč. Obsluha mlátičky je odměňována hodinovou sazbou a tvoří ji dva pracovníci, proto je počítáno s dvěma mzdami. Úspora času byla 19,48 hodiny, při hodinových nákladech podniku za mzdu 134 Kč·h^{-1} činila úspora 5220,64 Kč. Celková úspora paliva a času je vyčíslena na 28785,53 Kč. Úspora času byla přepočítána pouze na mzdu pracovníků, ale postupem doby bude z hlediska času a přejezdů zasahovat do úspor opotřebitelnost stroje a náklady na údržbu stroje. Výše úspory není u sklízecí mlátičky tak citelná, a to z několika důvodů. Jedná se o poměrně krátkou sezonní činnost stroje, úspory závisí na velikosti celkové sklizené plochy za rok.

Přesným naváděním vzniká úspora na méně aspektech (čas, spotřeba paliva), než např. u setí (čas, spotřeba paliva, osivo, průmyslová hnojiva). Jak uvádí ve své práci Domša, ve které porovnával efektivitu činnosti secích strojů pracujících s použitím GPS technologie a bez ní: „Výsledky měření naznačují, že využití navigace je ve všech směrech výhodnější, dokáže ušetřit osivo, pohonné hmoty ale i čas“ [10]. Porovnáním výsledků sklizně sklízecí mlátičkou a setí obilnin obecně platí, že při použití GPS navigace při setí je efektivnější než při sklizni obilnin. Ptáčník uvádí ve svém článku, že produktivita sklízecí mlátičky se při použití GPS navádění zvedne o 14 %. Poukazuje také na všestranné využití GPS navigace firmy John Deere, kterou lze jednoduše přendat mezi sklízecí mlátičkou a traktory John Deere, ale i s dalšími značkami [27]. V pokusu, který je v práci popsán bylo vypočteno zvýšení produktivity o 8 %. Se zvětšující se plochou roste rozdíl v produktivitě.

Závěr

Problematika určování polohy pomocí globálních navigačních systémů je velmi složitá. Zařízeních, které využívají technologie určování polohy každým rokem přibývá, proto je neustále kladen velký důraz na přesnost a dostupnost GNSS. Vznikají různé formy poskytování korekčních dat, rozšiřuje se infrastruktura satelitů na oběžných drahách, přibývají pozemní stanice a zdokonalují se samotné přijímače signálů.

V zemědělství jsou systémy GNSS společně s daty GIS využívány pro mapování pozemků. Poměrně novějším využitím je automatické navádění zemědělské techniky po pozemku. Stroj se pohybuje po určených stopách bez zásahu obsluhy, je schopen se na souvrati sám otočit a pokračovat v práci. Začíná postupné zkoušení autonomních traktorů, řízených z centrálního místa nebo využití jednoho řidiče k ovládání dvou traktorů na pozemku, vše je zatím ve stádiu pokusů a vývoje. Aktuálně se řeší v souvislosti s přesným naváděním strojů eliminace přejeté plochy pozemku, sjednocují se rozchody kol strojů a zařízení, prováděné operace probíhají ve stejných stopách, např. technologie CTF.

Praktická část práce se zabývala porovnáním technologií automatického navádění s GPS navigací a manuálního řízení stroje obsluhou. Při samotném pokusu, který byl prováděn na ploše 1,095 ha, se po několika přejezdech ukázal rozdíl v nedodržení přesného záběru stroje u manuálního řízení obsluhou. Při početních operací se potvrdil rozdíl obou metod i to, že automatické navádění s GPS navigací je ve většině bodech výhodnější. Sklízecí mlátička řízená pomocí automatického navádění měla nižší spotřebu o 1,3 litru na hektar a kratší čas práce o 2,16 minut za hektar. Pro daný podnik, který vlastní sklízecí mlátičku je výhodnější využít navigaci pro více strojů. Na jaře může být navigace využita u přípravy půdy, setí, nebo hnojení, stejně tak může být využita i po skončení sklizně sklízecí mlátičkou. Výhodou je, že podnik využívá traktory značky John Deere, u kterých je vzájemné přeinstalování navigace ze stroje na stroj velmi snadné. Pokud podnik bude využívat GPS navigaci pouze u sklízecí mlátičky návratnost investice je 4 roky, ale je zde počítáno pouze se zjištěnými údaji. Jestliže se při sklizni velkých ploch zvyšuje produktivita, bude se zvyšovat rychlost návratnosti investice. Musí být bráno v úvahu i to, že pomocí výnosových map se může přizpůsobit dávka hnojiv, kde vznikne další úspora a opět se tak krátí návratnost investice. Podnik, ve kterém byl pokus

prováděn, vlastnil jednu GPS navigaci, a to na sklízecí mlátičce. V letošním roce byla pořízena druhá, a to na traktor, s kterým bude probíhat setí, příprava půdy a podmítka. I když se jedná o relativně malý podnik, vydává se postupně vstříc novým technologiím, s uvědoměním si jejich výhod a kladných vlastností, zejména v šetrnosti k půdě a životnímu prostředí.

Seznam použité literatury

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

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

[3] STEINER, Ivo a Jiří ČERNÝ. *GPS od A do Z*. 4., aktualiz. vyd. Praha: eNav, 2006. ISBN 8023975161.

[4] RATAJ, Vladimír, Jana GALAMBOŠOVÁ, Miroslav MACÁK a Ladislav NOZDROVICKÝ. *Presné poľnohospodárstvo: systém - stroje - skúsenosti : vysokoškolská učebnica*. Praha: Profi Press, 2014. ISBN 9788086726649.

[5] Zemědělec. Praha: Profi Press, 2018, XXVI (4).

[6] Mechanizace zemědělství. Praha 2: ProfiPress, 2015, LXV. (5).

[7] firemní literatura John Deere, cit. [cit. 2018-02-06]

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

[9] Mechanizace zemědělství. Praha 2: ProfiPress, 2017, LXVII. (12).

[10] DOMŠA, Jan. *Využití GPS u zemědělské techniky pro pěstování rostlin* [online]. České Budějovice, 2016 [cit. 2018-03-27]. Bakalářská práce. JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH.

Internetové zdroje

[11] https://www.gps.gov/ [cit. 2017-12-20]

[12] http://www.czechspaceportal.cz/ [cit. 2018-02-06].

[13] http://slideplayer.cz/slide/3386859 [cit. 2018-03-27]

[14] http://johndeeredistributor.cz/ [cit. 2018-02-06]

[15] http://docplayer.cz/46869135-Vyuziti-systemu-gps-u-techniky-pro-pestovani-rostlin-bakalarska-prace.html [cit. 2018-03-27]

[16] https://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/ [cit. 2018-2-21]

[17] http://www.omnistar.com/Home.aspx [cit. 2018-2-21]

[18] https://www.navcomtech.com/en/index.html [cit. 2018-2-21]

[19] http://czepos.cuzk.cz/_servicesProducts.aspx [cit. 2018-2-21]

[20] https://www.svetandroida.cz/gps-princip-201503/#comments [cit. 2018-3-12]

[21] http://www.agrics.cz [cit. 2018-3-13]

[22] http://rlhtechs.com/Trimble%20Ag/EZ%20Steer.htm, [cit. 2018-3-13]

[23] https://www.pekass.eu/trimble-ez-pilot_457.html, [cit. 2018-3-13]

[24] http://www.edotace.cz/clanky/precizni-zemedelstvi-aneb-jake-vyhody-nabizeji-moderni-technologie [cit. 2018-03-05].

[25] https://myjohndeere.deere.com [cit. 2018-3-13]

[26] https://www.agrozet.cz/clanky-a-recenze/navigace.html [cit. 2018-3-13]

[27] http://mechanizaceweb.cz/doprejte-si-pohodovou-sklizen/ [cit. 2018-03-27]

Seznam obrázků

Obrázek 1 Zobrazení šesti kruhových rovin systému GPS [2]
Obrázek 2 Schéma GNSS přijímače [13]
Obrázek 3 Princip družicového navigačního systému DGPS [1]
Obrázek 4 Schéma použití RTK [14]
Obrázek 5 Schéma použití VRS [15]
Obrázek 6 Rozdělení služeb CZEPOS [19]
Obrázek 7 2D zobrazení určování polohy [20]
Obrázek 8 LED diodová vodící lišta [21]
Obrázek 9 LCD obrazovka spojena s LED diodovou naváděcí lištou [21]
Obrázek 10 Elektromotor pro ovládání volantu [22]
Obrázek 11 Výměnný volant se zabudovaným elektromotorem [23]
Obrázek 12 Schéma výbavy traktoru pro automatické navádění [21]
Obrázek 13 Nabídka typů křivek navádění stroje [2]
Obrázek 14 Vychýlení polohy GPS přijímače na svahu [21]
Obrázek 15 Kompenzace terénu TCM v rovinách x, y, z [14]
Obrázek 16 Schéma komponentů systému precizního zemědělství v rostlinné výrobě [1]
Obrázek 17 IsoMatch Tellus PRO obrazovka s duální funkci sledování dvou procesů [5]
Obrázek 18 Systém OutTrack [6]
Obrázek 19 Systém TwinTrac [6]
Obrázek 20 Systém AdTrac [6]
Obrázek 21 Systém HalfTrac [6]
Obrázek 22 Obrys suchého výnosu [25]
Obrázek 23 Oblasti vylepšení sklízecí mlátičky [14]
Obrázek 24 Základní prvky sklízecí mlátičky pro precizní zemědělství [1]
Obrázek 25 a) čidlo se světelným paprskem b) lopatkové odměrné kolo [1]
Obrázek 26 Určení hmotnosti zrna [1]
Obrázek 27 Naměřené pozemky pomocí aplikace GPS Fields Area Measure.
Obrázek 28 Naměřené pozemky pomocí navigace sklízecí mlátičky
Obrázek 29 Vyměřený pozemek č. 1
Obrázek 30 Vyměřený pozemek č. 2

Seznam tabulek

Tabulka 1 Hodnoty pro výpočty
Tabulka 2 Naměřené hodnoty sklizně bez navádění GPS navigací
Tabulka 3 Naměřené hodnoty sklizně s naváděním GPS navigací
Tabulka 4 Výsledky systémů s GPS a bez GPS navádění
Tabulka 5 Celkové náklady obou systémů
Tabulka 6 Pořizovací ceny jednotlivých služeb [26]

Seznam grafů

Graf 1 Porovnání spotřeby paliva
Graf 2 Náklady za mzdu