

JIHOČESKÁ UNIVERZITA

V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

KATEDRA ZEMĚDĚLSKÉ TECHNIKY A SLUŽEB

STUDIJNÍ PROGRAM: ZEMĚDĚLSTVÍ

OBOR: ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA, OBCHOD SERVIS A SLUŽBY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VYUŽITÍ DIFERENČNÍHO GPS PŘI OCHRANĚ ROSTLIN

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Marie Šístková, CSc.

Autor práce:

Tomáš Blaško

2009

10

Katedra: Zemědělské techniky a služeb

Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: Tomáš Blaško

Studijní program: B4131 Zemědělství

Studijní obor: Zemědělská technika, obchod, servis a služby

Název tématu: Využití diferenčního GPS při ochraně rostlin

Zásady pro vypracování:

(v zásadách pro vypracování uveďte cíl práce a metodický postup)

Cíl práce: Zhodnocení přínosu využití diferenčního GPS při řízení samojízdného postřikovače. V práci je nutno se zaměřit na problematiku přesnosti navádění jednotlivých pozičních systémů dostupných na trhu, posouzení jejich vhodnosti vč. jednoduchého ekonomického hodnocení.

1. Technologie GPS a dGPS
2. Využití GPS v zemědělství, možnosti v ČR
3. Metodika a měření
4. Vyhodnocení měření
5. Ekonomické vyhodnocení přínosu

Rozsah grafických prací: Dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 30 – 50 stran

Přílohy:

Seznam odborné literatury:

Neubauer a kolektiv: Stroje pro rostlinnou výrobu, SZN Praha, 1986

Černý, J., Steiner, I.: GPS od A do Z, Picodas Praha, 2006

Hrdina, Z., Pánek, P., Vejražka, F.: Rádiové určování polohy, ČVUT Praha, 1995

Brodský L., Vaněk V. (2000): Získávání podkladů pro precizní hospodaření. Sborník „Racionální použití průmyslových hnojiv“. KAVR, ČZU Praha, 23-29.

<http://www.navcomtech.com/>

Odborné časopisy a Internet

Materialy firmy John Deere

Vedoucí diplomové práce: Ing. Marie Šístková, CSc.

Konzultant:

Datum zadání bakalářské práce: 31. 3. 2008

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. 4. 2009

L.S.

Ing. Antonín Jelínek, CSc.

Vedoucí katedry

prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.

Děkan

V Českých Budějovicích dne

4. března

2009

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Využití diferenčního GPS při ochraně rostlin“ zpracoval na základě vlastních zjištění a materiálů uvedených v seznamu literatury.

V Českých Budějovicích dne 30. března 2009

.....

Tomáš Blaško

Poděkování:

Touto cestou děkuji všem, kteří se radou i jakoukoli pomocí podíleli na této práci. Především Ing. Ludvíkovi Frieblovi, PhD., Ing. Marii Šítkové, CSc. A Ing. Janu Beerovi z firmy Agrozet České Budějovice za cenné rady, které mi poskytovali při zpracování této bakalářské práce.

1.Úvod.....	10
2.Literární přehled.....	12
2.1 systém GPS a jeho využití.....	12
2.1.1 GNSS (GPS/GLONASS/DGPS).....	12
2.1.2 Praktické využití GPS.....	12
2.2 Funkce GPS.....	13
2.2.1 Kosmický segment.....	13
2.2.2 Řídící a kontrolní segment.....	14
2.2.3 Uživatelský segment.....	14
2.2.4 Uživatelé GPS.....	15
2.3 Přesnost navádění.....	16
2.4 Rozšíření GPS.....	18
2.4.1Diferenční GPS.....	18
2.4.2 WADGPS.....	19
2.5 Využití v zemědělství.....	21
2.5.1 Princip fungování GPS	22
2.5.2 Manuální navádění.....	23
2.5.3 Automatické navádění.....	23
2.5.4 Systémy Greenstar.....	24
3. Cíl práce.....	31
4. Metodika.....	32
4.1 Navrhované metody výpočtů.....	36
5. Naměřené hodnoty a výsledky.....	38
5.1 Obsluha bez navádění.....	38
5.2 Obsluha s pěnovým značkovačem.....	41

5.3 Obsluha s GPS- signál SF1	44
5.4 Obsluha s GPS- signál SF2	47
5.5 Zhodnocení	50
6. Ekonomické hodnocení	53
7. Závěr	55
8. Přehled použité literatury	56

1. ÚVOD

V posledních letech se začíná do popředí dostávat trend hospodaření označovaný u nás jako precizní zemědělství (precision farming). Jestliže standardní zemědělství nahlíží na pole jako na homogenní prostředí, pak precizní zemědělství se zakládá na skutečnosti, že různé části jednoho pole se od sebe mohou velmi lišit a podle toho je zapotřebí přizpůsobit i jejich obdělávání. Precizní zemědělství, nazývané také jako lokálně cílené hospodaření, znamená z technického hlediska využívání moderních informačních technologií v zemědělské výrobě.

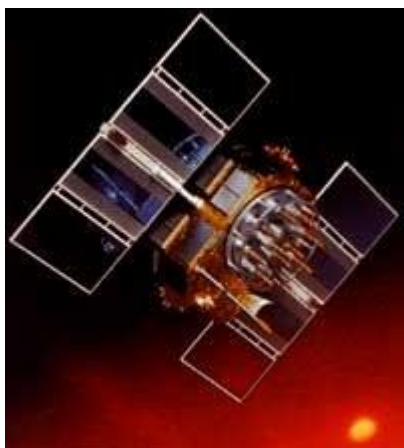
V precizním zemědělství je kladen velký důraz na snížení množství používaných hnojiv a chemikálií, které vede ke snižování nákladů i negativního ekologického dopadu na životní prostředí. Dalším cílem precizního zemědělství je snižování výdajů za strojní práce v zemědělství, které představují vysoký podíl z celkové výše nákladů zemědělské produkce. V podmínkách vyspělého zemědělství přitom ceny strojní práce představují 35 až 50 % celkových fixních nákladů. V případě že bude mechanizace využívána efektivnějšími způsoby, může to prvovýrobcům přinést významné úspory nákladů. V průběhu posledních let začíná být GPS využíváno k navigaci pracovních jízd při setí, sklizení, hnojení a ochraně rostlin. Tato technologie umožňuje pracovat se stroji i v noci či za špatných viditelnostních podmínek, dále pak nahrazuje použití pěnových značkovačů, značkářů nebo kolejových meziřádků. Princip, na kterém jednotlivé navigátory pracují, se u různých výrobců příliš neliší.

K výhodám navádění pomocí GPS v zemědělství patří vysoká produktivita – méně přesahů vede k menšímu počtu cest přes pole, což vede k menšímu utužení půdy a úspoře času a nákladů na pracovní síly a vstupy. Dále pak zpřesněním přejezdů na polích se stihne obhospodařit více hektarů, a to i v prašných podmínkách a za snížené viditelnosti. Používáním GPS se zlepšuje výkonnost pracovníků a snižuje se jejich stres a únava. Systém se dá snadno a v krátkém čase instalovat a mezi jednotlivými vozidly přesunovat. (1)

2. Literární přehled

2.1 Technologie GPS

2.1.1 GNSS (GPS/GLONASS/DGPS) – Global Navigation satellite system(s) (Global Positioning system/Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistěma/Differential Global Positioning system) představují nové technologie CNS (Communication, Navigation, surveillance), založené na výsledcích programů kosmického výzkumu ve světě. [5]



Global Positioning systém, zkráceně GPS, je vojenský polohový družicový systém (obr. 1) provozovaný Ministerstvem obrany Spojených států amerických, s jehož pomocí je možno určit polohu a přesný čas kdekoli na Zemi nebo nad Zemí s přesností první

Obrázek 1: Vyobrazení družice

desítky metrů. Přesnost GPS lze s použitím dalších metod ještě zvýšit až na jednotky centimetrů. Část služeb tohoto systému s omezenou přesností je volně k dispozici i civilním uživatelům. Projekt navazuje na předchozí GNSS Transit a rozšiřuje ho především kvalitou, dostupností, přesností a službami. Původní název systému je

NAVSTAR GPS (*Navigation signal Timing and Ranging Global Positioning system*), který nese také družice, které systém GPS využívá ke své činnosti. [3]

2.1.2 Praktické využití GPS

- Vojenské účely - Zařízení pro příjem GPS jsou integrovány do letadel, tanků, lodí i ponorek, tanků i pozemní vojenské techniky. Kromě navigačních aktivit je systém využíván k označování cílů a navádění raket.
- Letectví - Navigační systémy letadel pomáhají při řízení téměř všech manévřů. Jedná se o pomoc při vzletu i přistávání stroje, dále kontrolu dodržování předem naplánované trasy letadel, kontrolu polohy letadel nad oceánem.
- Životní prostředí - satelitní navigace umožňuje vyhodnocovat přesné informace o přírodních jevech, které probíhají na velkých plochách a sledovat tím například rychlost postupu lesních požárů, vzdušných vírů apod.

- Námořní doprava - GPS je využívána pro navigaci při cestách oceány, také pro zmapování a označení nebezpečných míst, mělčin, k navedení do oblastí s optimálním výskytem ryb a za jeho pomoci jsou lodě schopny mapovat cesty migrace ryb.
- Záchranný systém – GPS umožňuje rychlé určení místa nehody, požáru, ztroskotání lodi nebo letadla a rychlé navedení na místo nehody.
- Železniční doprava – Většina železničních soustav je provozována na jednokolejných tratích. Určení polohy vlaků s pomocí GPS pomáhá předcházet nehodám, zachovávat plynulost dopravy a minimalizuje nákladná zpoždění.
- Volný čas - Technologie satelitní navigace umožňuje absolvovat cesty v neznámých oblastech - určuje polohu, směr, rychlost, vzdálenost a čas.
- Vesmírné projekty - satelitní posiluje vesmírný výzkum a operace prováděné ve vesmírném prostoru, řídí a kontroluje polohu satelitů na oběžné dráze.
- Zeměměřičství, mapování - satelitní navigace je využívána k přesnému stanovování linií nebo komplexních věcí při výstavbě infrastruktury v urbanistických centrech.
- Čas - Díky přesnosti atomových hodin používaných v družicích je satelitní navigační systém využíván k synchronizaci hodin.

2.2 Funkce GPS

Systém GPS lze rozdělit do tří segmentů:

- kosmický,
- řídící,
- uživatelský.

2.2.1 Kosmický segment byl projektován na 24 družic, ale nyní je využíván až na mezí počet 32, pro další navyšování počtu bude třeba změna vysílaného signálu.

Družice vysílají v pásmech, která jsou zvolena záměrně tak, aby byla minimálně ovlivněna meteorologickými vlivy. Přiděleno je několik frekvencí a každé frekvenci odpovídá jeden vysílací kanál:

- L1 (1575,42 MHz), kde je vysílán C/A kód je dostupná pro civilní uživatele, dále je šířen vojenský, který je šifrovaný a přístupný pouze pro autorizované uživatele.
- L2 (1227,62 MHz), kde je vysílán vojenský kód.
- L3 (1381,05 MHz) vysílá signály, které obsahují data monitorování startů balistických raket, detekci jaderných výbuchů a dalších vysokoenergetických zdrojů
- L4 (1841,40 MHz) se využívá pro měření ionosferické refrakce. Průchod signálu ionosférou způsobuje zpoždění radiového signálu, která se promítá do chyb při určení polohy. Toto ionosférické zpoždění lze eliminovat, jestliže měříme zpoždění na dvou kmitočtech, nebo získáním korekcí.
- L5 (1176,45 MHz) se plánuje jako civilní signál - tato frekvence spadá do mezinárodně chráněné oblasti letecké navigace.

2.2.2 Řídící a kontrolní segment monitoruje kosmický segment, zasílá povely družicím, provádí jejich manévry a údržbu atomových hodin. Řídící a kontrolní segment zajišťuje

- data pro model ionosférické refrakce
- predikce dráhy družice, tzv. efemerid
- korekce atomových hodin
- přibližné pozice ostatních družic a jejich zdravotní stav

2.2.3 Uživatelský segment družice vysílá signál, který je možno přijímat speciálními pozemskými přijímači. Přijímač signálu GPS vyžaduje signály nejméně od čtyř satelitů, aby bylo možno určit jeho polohu kdekoli na Zemi. Přesnost určování polohy je závislá mimo jiné i na okamžitých vlastnostech atmosféry. Z těchto důvodů zpravidla není pouhý příjem signálu GPS vhodný pro určování polohy v zemědělství.

Uživatelé pomocí GPS přijímače přijímají signály z jednotlivých družic, které jsou v danou chvíli nad obzorem. Na základě přijatých dat (časových značek z jednotlivých družic a znalosti jejich polohy) a předem definovaných parametrů přijímač vypočítá polohu antény, nadmořskou výšku a zobrazí přesný datum a čas. Komunikace probíhá pouze od družic k uživateli, GPS přijímač je tedy pasivní.

Pro zpřesnění celého systému je třeba dodat ještě další signál o známé poloze jeho zdroje (diferenční signál). Tento signál může být přijímán z pozemní referenční stanice nebo z jiné, tzv. stacionární družice. Pozemní referenční stanice mají omezený dosah, ale poplatek za jejich používání bývá poměrně nízký. Naopak družicové referenční signály jsou k dispozici prakticky kdekoliv, ale poplatek za jejich příjem je vyšší.

Rozdělení přijímačů podle přijímaných pásem:

- jednofrekvenční
- dvoufrekvenční
- vícefrekvenční (připravují se pro pásmo L5)

Rozdělení přijímačů podle kanálů:

- jednokanálové (používané v raných fázích projektu GPS)
- vícekanálové

Rozdělení přijímačů podle principu výpočtů:

- kódové
- fázové

Běžně dostupné přijímače k amatérskému (tj. negeodetickému a nevojenskému) využití se vyrábí jako jednofrekvenční, vícekanálové a kódové.

2.2.4 Uživatelé GPS

Uživatelé využívající systém GPS můžeme rozdělit do dvou skupin:

- autorizovaní uživatelé (vojenský sektor USA a vybrané spojenecké armády) mající k dispozici dekodovací klíče ke kódu na frekvencích L1 a L2. Tito uživatelé mají zaručenou vyšší přesnost systému. Uplatňují se především v aplikacích:
 - podpora velení a vojáků v poli,
 - doprava,
 - navádění zbraňových systémů,
 - vojenská geodézie a mapování,
 - a přesný čas ($<10^{-7}$ s).

- ostatní uživatelé (především civilní sektor) mohou využívat mají k dispozici C/A kód na frekvencích L1. Typickými profesemi a odvětvími civilních uživatelů jsou:
 - doprava (pozemní doprava, letectví, námořnictvo, kosmické lety),
 - geologie a geofyzika,
 - geodézie a geografické informační systémy,
 - archeologie,
 - lesnictví a zemědělství,
 - turistika a zábava,
 - a přesný čas ($<10^{-6}$ s).

2.3 Přesnost měření

Přesnost měření ovlivňují zejména, efemeridy družic, družicové hodiny, ionosférická refrakce, troposférická refrakce, vícecestné šíření signál, přijímač

2.3.1 Efemeridy

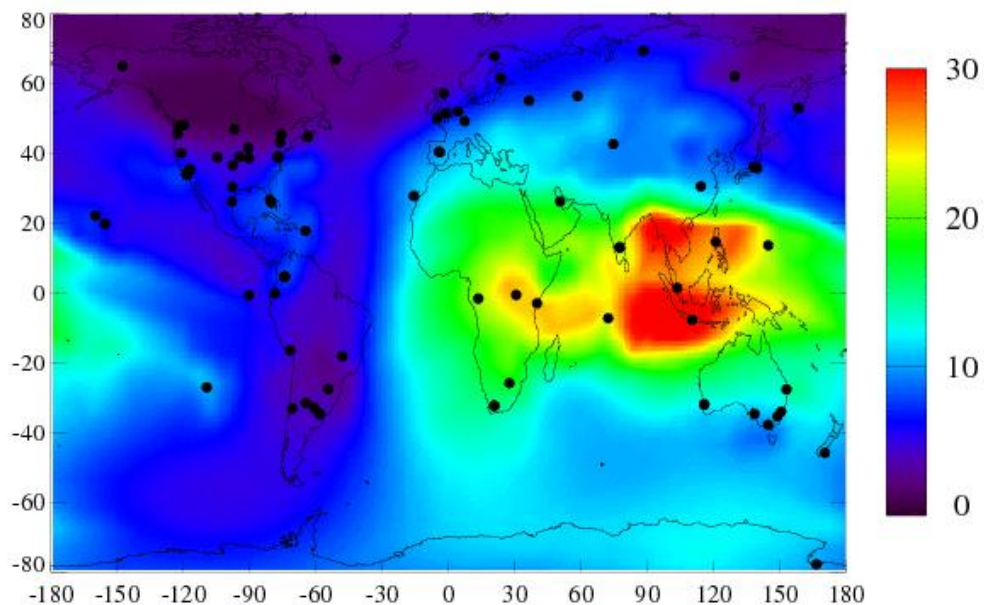
Efemeridy jsou predikované polohy družic na oběžných drahách. Protože se pohybují po téměř kruhových, mírně elipsovitých drahách velkou rychlostí a ve velké vzdálenosti od Země, jsou jejich dráhy stabilní a dobře matematicky popsitelné, ale přesto se vlivem kolísání tíhových sil Země, slunce a Měsíce a sluneční jaderné aktivity jejich dráha mírně mění.

2.3.2 Družicové hodiny a relativistické efekty

Družice obsahují atomové hodiny s rubidiovým nebo cesiovým oscilátorem. Jsou velmi stabilní, ale pro výpočet je třeba přesných a synchronních hodin na všech družicích i na Zemi.

2.3.3 Ionosférická a troposférická refrakce

Radiový signál vysílaný z družice se ve vzdálenosti 500-20200km od povrchu šíří téměř vakuem. Ionosféra, která se nachází v rozmezí 50-500km nad povrchem země, obsahuje množství volných elektronů a iontů, které způsobují refrakci (lom) radiového signálu, tedy jeho delší dráhu a zpoždění. Stav ionosféry ovlivňuje aktuální i cyklická (11 let) aktivita slunce, globální meteorologické vlivy, roční období, fáze dne. V přijímačích je implementován základní model, který tyto změny zohledňuje a navigační zpráva obsahuje vstupní parametry pro jeho výpočet. Analýzou signálu na různých kmitočtech (L1, L2) lze tuto chybu eliminovat, protože změna rychlosti radiového signálu ionosférou je frekvenčně závislá. Obdobný vliv má troposféra, která se nachází ve vzdálenostech od 0-15 km. Její stav ovlivňují především lokální meteorologické vlivy jako je teplota, tlak, vlhkost vzduchu. Její možnost predikce je pro globální systém minimální a eliminuje se diferenčními systémy nebo lokálními modely. Model ionosférické refrakce je vyobrazen na obrázku 2.



Obrázek 2: Ukázka modelu ionosférická refrakce

Refrakce se dá potlačit několika způsoby:

- zavedením modelu ionosférické refrakce přímo do přístroje,
- měřením dvoukmitočtovou metodou – družice vysílá dva signály na dvou frekvencích
- a referenčním měřením

Ionosférická a troposférická refrakce představuje největší přirozenou neúmyslnou chybu systému GPS. [2]

2.3.4 Vícecestné šíření signálu a přijímač

Pokud je anténa přijímače částečně zastíněna nebo jsou v blízkosti odrazivé materiály existuje, možnost, že přijímá také signály odražené a tedy opožděné. Velikost této chyby je závislá na vlastnostech okolí a míře zastínění.

2.3.5 Selektivní dostupnost (Selective Availability)

Od 25. března 1990 byla do C/A kódu radiového signálu zanášena umělá chyba. Toto opatření pod názvem Selective Availability (SA) mělo zabránit zneužití např. možnosti navádět balistické rakety, pomocí nepřesných efemerid a časových značek. SA způsobovalo chybu 45 m horizontálně. Tuto chybu bylo možno výrazně potlačit diferenčním měřením nebo dlouhodobým statickým měřením. Protože USA vyvinuly systém, jak lokálně rušit signál GPS, bylo SA zrušeno a přesnost kódového měření polohy se tak zvýšila na první desítku metrů.

2.4 Rozšíření GPS

2.4.1 Diferenční GPS (angl. Differential GPS) byl donedávna způsob, jak zmírnit dosah záměrné chyby systému SA. Nyní patří mezi metody rozšiřující (angl. augmentation) systém GPS. Tato metoda výrazně zvyšuje přesnost určování polohy v reálném čase. Diferenční GPS (DGPS) využívá skutečnosti, že difference údajů změřených dvěma blízkými přijímači jsou zatíženy podstatně menšími chybami než samotné změřené údaje. To je možné vzhledem k vysoké korelaci chyb obou měření. Diferenční metody tedy umožňují přesné měření vektorů vzájemné polohy mezi dvěma nebo více blízkými přijímači. Pokud jsou známy přesné geocentrické souřadnice některého z přijímačů, je pak samozřejmě možné určovat diferenčními metodami i geocentrické souřadnice ostatních přijímačů zapojených do téhož diferenčního systému.

Chyby měření dvou nepříliš vzdálených přijímačů jsou téměř totožné. Signál se šíří od družice k oběma přijímačům po téměř shodných drahách, proto ionosférické i troposférické zpoždění musí být téměř stejné. Vzhledem k těmto okolnostem se nabízí možnost umístit jeden přijímač do bodu se známou polohou a vytvořit tak referenční

stanici, která provádí měření ke všem viditelným družicím, změřené vzdálenosti porovnává s vypočtenými předpokládanými hodnotami a jejich rozdíly vysílá rádiovým kanálem k uživatelům ve svém okolí. V přijímači uživatele se přijaté korekce použijí k opravě měření a tak se významně zvýší přesnost určení jeho polohy. [1]

2.4.2 WAGDPS

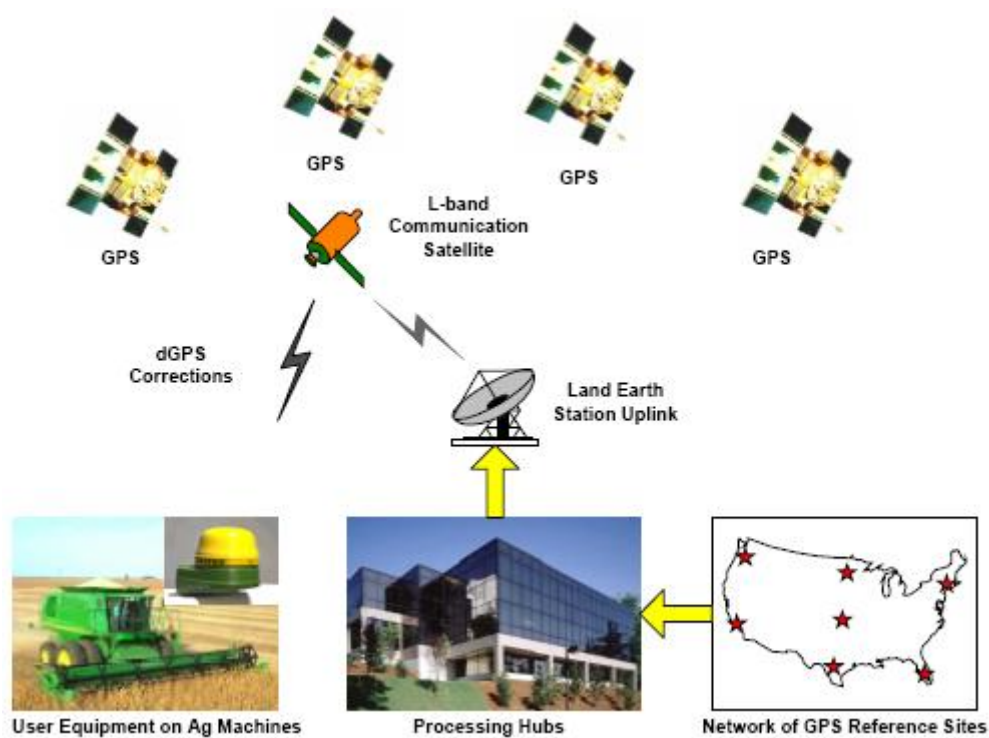
V běžných systémech DGPS generuje referenční stanice korekce zdánlivé vzdálenosti a vysílá je k uživatelům ve svém okolí. Ti je používají k opravě vlastních měření. Korekce jsou přitom použitelné jen v omezené oblasti kolem referenční stanice, v níž jsou měření uživatelů i referenční stanice zatíženy téměř stejným ionosférickým a troposférickým zpožděním. Další omezení dosahu referenční stanice je dáno podmínkou viditelnosti stejných družic referenční stanicí i uživatelem. Tento typ diferenčních systémů se někdy označuje jako lokální diferenční GPS. Pokrytí velkých území lokálními diferenčními systémy tedy není příliš efektivní. Projekty, které si kladou za cíl podstatné zpřesnění GPS na území celých kontinentů nebo dokonce na podstatné části povrchu Země, proto vycházejí z poněkud jiné, složitější metody diferenčního měření, která se označuje jako velkoplošné diferenční GPS nebo WAGDPS (Wide Area Differential GPS). [1]

NavCom technology Inc. vlastněna firmou John Deere spolu se skupinou Precision Farming Group of John Deere navrhly a uvedly systém WAGDPS, který poskytuje nový stupeň přesnosti v kontinentálních vzdálenostech. Systém je navržen pro přijímače přijímající dvoufrekvenční pásmo. To dovoluje vyhnout se dvěma největším zdrojům chyb v činnosti systému WAGDPS – vlivu ionosféry a vícecestného šíření.

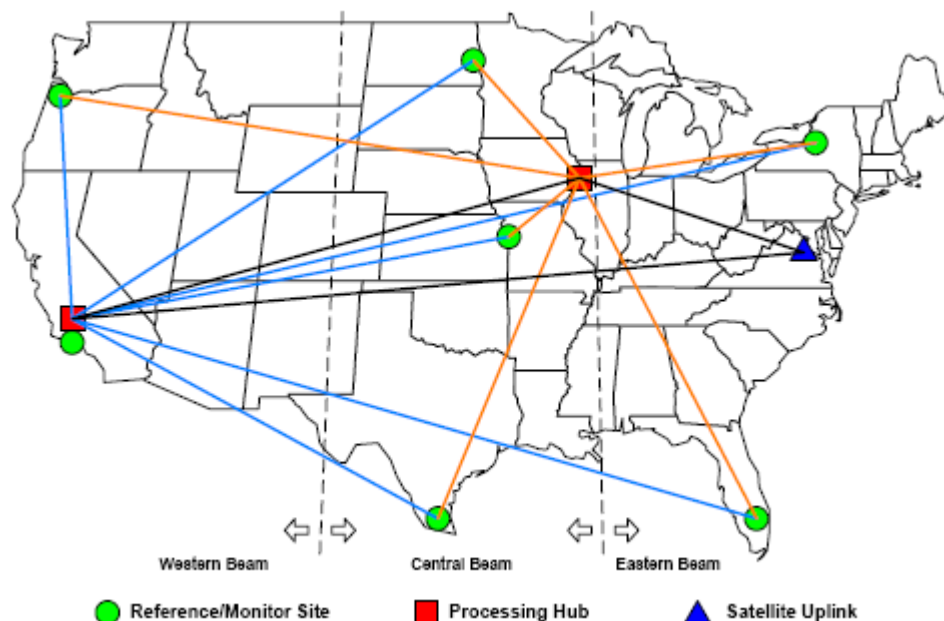
Dále pak systém pracuje s L-band satelitem, který užívá jednu multifunkční anténu přijímající obě frekvence GPS (L1 a L2).

Obrázek 3 a 4 ukazuje StarFire WAGDPS systém. Na koncepční úrovni je stejný jako ostatní velkoplošné DGPS systémy (např. WAAS), má však některé výhody. Jeho princip spočívá v monitorovacích stanicích, které jsou rozmístěné na území spojených států. Tyto stanice provádí měření ke všem právě viditelným družicím a posílají je ke dvěma hlavním stanicím. Hlavní stanice zkombinují informace od všech monitorovacích stanic, které je obklopují a družic, které se nacházejí v dosahu hlavních stanic a na základě těchto informací vytvoří velkoplošné korekce (založené na refrakčně

opravených měření). Korekce jsou posílány pozemními linkami k pozemní geostacionární stanici, k L-band satelitu, kde jsou aktualizovány a rozšířeny k uživatelům napříč územím spojených států. Uživatelé vybavy StarFire obdrží korekce vysílány komunikačními satelity a aplikují je na svoje naměřené, (refrakčně opravené) hodnoty. Takovouto opravou svého měření dosáhnou mnohem větší přesnosti.



Obrázek 3: SystémWADGPS [7]



Obrázek 4: Systém WADGPS [7]

2.5 Využití v zemědělství

Během posledních let se vývoj systémů navigace používaných v zemědělství posunul kupředu. Nejdůležitějším kritériem činnosti navigace je přesnost. Dochází k jejímu postupnému zvyšování až ke dnešní, výrobci udávané odchylce, která se pohybuje i pod hodnotou menší než pět cm v horizontální rovině.

Ve vývoji systémů navigace přispěli ke zvýšení přesnosti i výrobci naváděcích systémů. Ti uvedli na trh systémy s automatizovaným řízením pracovních souprav. Tím byl nahrazen systém se světelnou lištou a později i LCD monitorem, podle kterého řidič vede pracovní soupravu ve zvolené stopě. Novým prvkem se stal i systém upravující velikost pracovního záběru na svahu, tzv. kompenzátor nerovnosti terénu či svahové dostupnosti.

Dalším prvkem, který prošel určitým vývojem, je způsob vedení paralelních jízd. Zpočátku bylo možné vedení paralelních jízd pouze po přímkách. Dnes je umožněno navádění nejen po křivkách, ale i po uzavřených a jiných možných cyklech, včetně jízd se souvratí.

Rozšířily se i možnosti funkcí, jako je ukládání dat během vykonávané práce do paměti, spolupráce s výnosovými mapami, kdy se dají pomocí vhodných strojů variabilně aplikovat dávky hnojiv nebo postřiků.

2.5.1 Princip funkce GPS

Základem každého systému navigace pro manuální řízení je anténa, integrovaný GPS/DGPS přijímač, světelná lišta, popřípadě grafický LCD monitor. Automatizované navádění strojů navíc obsahuje snímače polohy, řídicí jednotku a další hydraulické prvky. Anténa se umísťuje na střechu stroje. Pomocí kabeláže je anténa propojena s integrovaným GPS/DGPS přijímačem. Přijímač je ve většině případů 12kanálový, což umožňuje sledovat až 12 družic najednou, a tím se zvýší přesnost jízd. Dále mohou být přijímače jedno nebo dvoufrekvenční. Obnovovací frekvence GPS se udává od 1 Hz (pro méně přesné zařízení) přes 5 Hz až po vyšší frekvenci 10 Hz. To znamená, že update signálu GPS nastane 1x, 5x nebo 10x za sekundu. Přesnost samozřejmě závisí na příjmu signálu, pro potřeby zemědělství se převážně používá signál DGPS a nově RTK, který je však omezen vzdáleností od monitorovací stanice. Přijímače signálu GPS/DGPS mohou být dále jednofrekvenční, dvoufrekvenční nebo fázové. Fázové přijímače nosných vln jsou určeny pro nejpreciznější měření, používají se pro příjem RTK signálu. Na počátku jakékoliv práce se nejprve navolí pracovní záběr stroje a zvolí se program navádění – jízdy po přímce, jízdy po křivce, jízdy v uzavřených cyklech atd. Určí se příjem signálu, umožňuje-li to anténa a přijímač, zda půjde o signál GPS, o diferenciální GPS nebo RTK. Pomocí satelitní navigace je pracovní souprava vedena ve zvolené stopě. Ta je definována při první jízdě, kdy se označí počáteční a koncový bod pracovní jízdy. Od ní se virtuálně vytvoří všechny možné rovnoběžné stopy na zemském povrchu. Pro následující jízdu si můžeme vybrat jakoukoliv rovnoběžnou dráhu, od první navolené, posunutou o násobek pracovního záběru. Od první navolené dráhy se ostatní číslují kladně a záporně, podle smyslu otáčení pracovní soupravy. Na pozemku je možné vyznačit možnou překážku, například větší kámen či sloup elektrického vedení a jiné. Při přerušení práce v důsledku vyprázdnění zásobníku na osivo, chemický postřik nebo na průmyslové hnojivo, či z jiného důvodu je možno si dané místo označit a po doplnění materiálu se pomocí navigátoru na toto místo vrátit. Navigátor současně měří rychlost stroje a také výměru pozemku. Další předností je to, že před příjezdem k souvrati se ozve akustický signál, což znamená, že není možné přejet pozemek. Celý systém je schopen pracovat v rozsahu pojezdové rychlosti od 0 do 38 km/h. Počítač v řídicí jednotce uchovává data o průjezdu a tyto záznamy je možné využít při následujících operacích. Tzn., že při stejném záběru strojů může souprava pojíždět po stejných stopách. Také jsou tato data využitelná při lokálně

diferencované aplikaci hnojiv nebo ochranných látek na jednom pozemku v průběhu několika let. Do paměti počítače je možné zadat několik typů nářadí i různé pozemky.

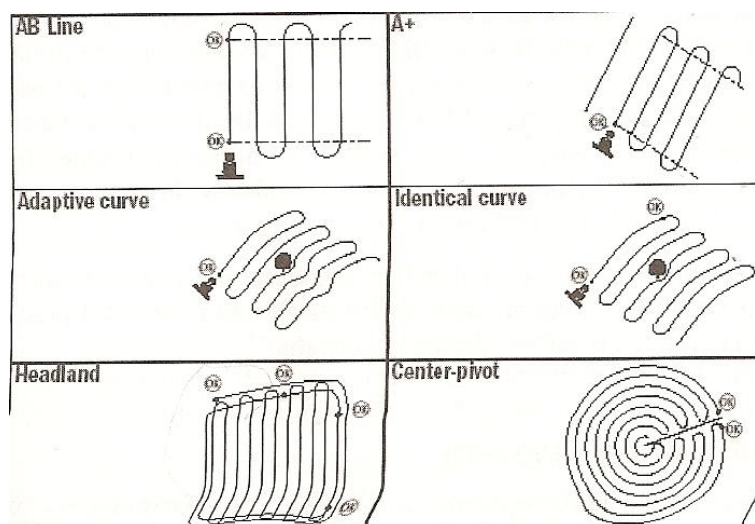
2.5.2 Manuální navádění

Manuálním naváděním představuje řízení pracovní soupravy samotným člověkem – řidičem. Ten stroj navádí v určené stopě pomocí monitoru nebo za pomoci světelné lišty. Světelnou lištu je možné umístit i mimo řídící kabinu nebo na přední kapotáž, kde je také zaručen spolehlivý výhled jak na pozemek, tak i na světelnou lištu. Světelná lišta má podobu panelu, ve kterém se po celé jeho délce nacházejí LED diody. Diody se v případě vychýlení ze zadané stopy rozsvítí na pravé či levé straně panelu a tím dá řidiči znamení o vychýlení jízdy v daném směru. Čím větší je hodnota odchylky, tím se rozsvítí více diod. Novější typy již mají grafickou LCD obrazovku, která usnadňuje navigaci při otáčení na souvratích, při vjíždění do další paralelní jízdy a při řízení jízd po křivkách. Na monitoru je zachycena stopa, po které se má pracovní souprava pohybovat. Tento způsob zobrazení je přehlednější a jednodušší pro včasnou reakci na případnou odchylku od správného směru jízdy. Kromě světelného upozornění mohou být řidiči o směru jízdy informováni také akustickými signály. Oba tyto způsoby předávají řidiči informaci o směru jízdy a jsou v dnešní době hojně rozšířené mezi všemi výrobci navigačních systémů. Manuální navádění pracovních souprav je nejvíce limitováno přesností obsluhy.

2.5.3 Automatické systémy

Automatické naváděcí systémy jsou na českém trhu od počátku roku 2002. Tyto systémy dále rozšiřují navigační systémy řízené manuálně. Svou funkcí se až na způsob řízení podobají navigátorům pro manuální řízení. Zastupují práci samotného řidiče během polních prací. Tyto navigátory jsou náročnější na přijímaný diferenční signál. Automatizace v řízení stroje se zakládá v nahrazení řidiče jednotkou řízení, která za pomoci polohových snímačů volantu, snímačů natočení kol, hydraulických prvků řízení a spínače aktivace automatického navádění, řídí pracovní soupravu. Další způsob automatického řízení je ovládání řídicího volantu díky elektromotoru, který je k němu připojený viz obrázek deset. Stejně prvky s manuálním naváděním, anténa a přijímač DGPS zabezpečují přesné snímání polohy. Při zjištění odchylky od správné polohy vysílá řídící jednotka signál hydraulickým prvkům řízení a ty vrátí soupravu do požadované polohy. Náplň práce řidiče se tím pádem omezuje pouze na aktivaci

systemu a částečné navádění do následující jízdy. Navigátor se deaktivuje každým pohybem volantu. Na konci každé jízdy, když se pracovní souprava otáčí na souvrati a najíždí do další následující stopy, stačí otočit volantem v daném směru a navigátor se vypne. K další jízdě je stroj naveden pod minimálním úhlem 45 stupňů od určené jízdy a navigátor může být jednoduše, pomocí spínače, aktivován. Pracovní souprava se pak sama automaticky vrátí do určené stopy a dále pokračuje v námi daném směru. Na obrázku 5 můžeme vidět možnosti otáčení na souvrati. [6]



Obrázek 5: Možnosti navádění [1]

2.5.4 Systémy GreenStar

John Deere pracuje se třemi typy naváděcích systémů Green star – Parallel Tracking, Auto Track Universal nebo Auto Track Universal 200. K jejich činnosti je zapotřebí poziční přijímač starFires polu s displejem GreenStar či GreenStar2 viz obrázek 8 a 9. Naváděcí systémy může využívat tři druhy signálů.

Systém Auto Trac Universal 200, který můžeme vidět na obrázku 6, 7 je schválen společností John Deere pro více než 300 modelů od společností John Deere, Case IH, Caterpillar, Claas, Deutz-Fahr, Fendt, Massey-Ferguson, Mc Cormick, New Holland a další.



Obrázek 6: Stroje využívající AutoTrac [8]

Signál, který určuje stupeň přesnosti:

- SF1: přesnost +/- 30 cm
- SF2: přesnost +/- 10 cm
- RTK: opakovatelná přesnost +/- 2 cm

John Deere Guidance Signal Accuracy Comparison ⁺		
RTK		
	SF2	
		SF1
2 cm	10 cm	30 cm

Obrázek 7: Porovnání přesnosti orientačních signálů [8]

2.5.5 Systém GreenStar a jeho součásti

Komponenty sady AutoTrack Universal



Obrázek 8: Obrazovka GreenStar I [8]



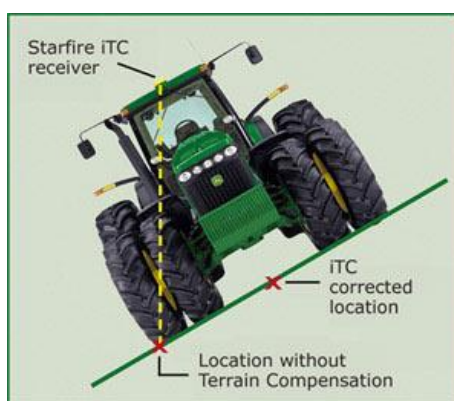
Obrázek 9: Obrazovka GreenStar II [8]



Obrázek 10: Elektrický volant [8]

Poziční přijímač starFire iTC

Uvnitř pozičního přijímače starFire iTC je integrovaný modul pro terénní korekci, který automaticky koriguje všechny výpočty pozic provedené na základě satelitního signálu, aby tím zarovnal terénní nerovnosti a svahy viz obrázek 11 a 12. Přijímač iTC spolupracuje se systémem EGNOS- bezplatná evropská služba diferenčních korekcí.



Obrázek 11: Využití svahové korekce [8]



Obrázek 12: Poziční přijímač [8]

EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay service*) je aplikace systému sBAS (Satellite Based Augmentation system), který doplňuje a vylepšuje vlastnosti GPS v Evropě.

Považuje se jako předstupeň pro GNSS Galileo a proto je část družic v testovacím provozu, nemá žádnou garantovanou dostupnost.

Provozovatelem systému je Evropská kosmická agentura (ESA, *European space Agency*), jejíž činnost zabezpečuje 34 pozemních monitorovacích stanic a několik geostacionárních družic vlastněných komerčními subjekty.

Rozdělení družic

- Inmarsat, AOR-E 3F2, (15,5° W), PRN 120, #ID 33 - určen pro vysílání
- Artemis, IOR, (21,5° E), PRN 124, #ID 37 - určen pro testování
- Inmarsat, IOR-W 3F5, (25,0° E), PRN 126, #ID 39 - určen pro vysílání

Družice vysílají na stejné frekvenci jako GPS L1, tj. 1575.42 MHz.

Mapa pozemních monitorovacích stanic systému EGNOS

Pozemní stanice získávají korekční data charakteristická pro území Evropy a za pomoci družic jsou vysílána k uživatelům. Jeho hlavní přínosy jsou data pro přesnější určení polohy a včasné varování pro případ poruchy některé družice GPS. Jedná se zejména o korekci jevů:

- informace o integritě systému GPS,
- dlouhodobé odchylky družic od jejich předpokládaných drah,
- dlouhodobé a krátkodobé odchylky atomových hodin družic,
- parametry pro ionosférický model,
- a almanach a navigační zpráva EGNOS družice.

Jako indikaci příjmu korekcí se na displeji přijímače GPS může zobrazit zkratka DGPS, sBAS, EGNOS nebo WAAS s čísly nových družic podle #ID nad počet nebo místo standardní družice systému GPS.

Družice systému EGNOS jsou vzhledem k rovníkové poloze v našich zeměpisných šířkách nízko nad obzorem. Proto je využití vhodné uvažovat především v leteckém provozu.

2.5.5.1 Signál SF1

- Přesnost +/- 30-cm,
- funkčnost v zakřiveném a přímém směru,
- BEZPLATNÝ SF1 signál diferenciálních korekcí.

Signál SF1 je vynikajícím výchozím bodem pro:

- orbu,
- postřik
- a použití na pastvinách, např. rozmetání kejdy nebo hnojiva.

Mezi přínosy patří:

- snížené překrývání,
- snížené vstupní náklady,
- vyšší komfort obsluhy,
- vyšší provozní rychlosti na poli
- a snížená spotřeba paliva.



Obrázek13 - Polní práce řízené signálem sF1[8]

2.5.5.2 Signál SF2

- Přesnost +/- 10 cm,
- funkčnost v zakřiveném a přímém směru,
- a pružné doby aktivace pro sF2 signál diferenciálních korekcí.

Ideální pro

- Sklizeň,
- postřik/hnojení,
- setí/sadbu,
- a sklizeň pícnin.

Mezi přínosy patří

- setí bez znamének,
- snížené vstupní náklady,
- snížené překrývání,
- vyšší komfort obsluhy
- vyšší provozní rychlosti na poli

- Snížená spotřeba paliva



Obrázek 14- Polní práce řízená signálem sF2[8]

2.5.5.3 RTK

Systém RTK se skládá z lokální základní stanice umístěné na poli nebo v jeho blízkosti, která prostřednictvím RTK rádia vysílá přístroji starFire iTC na vozidle vybaveném RTK korekce.

Základní stanice sleduje postavení GPS satelitů a průběžně vypočítává pozici. Protože se základní stanice nepohybuje, je možné chyby spočítat v reálném čase. Tato chyba je poté pomocí RTK rádia vyslána vozidlu, kde přijímač vozidla tuto informaci použije k vypočítání vysoce přesné, opravené pozice.

Signál RTK

- Opakovatelná přesnost +/- 2 cm
- Funkčnost v zakřiveném a přímém směru
- Vyžaduje speciální základní stanici, bez ročních licenčních poplatků
- Funkce RTK-Extend, která je v oboru výjimečná

Ideální pro

- Setí řádkových plodin
- Pásové obdělávání
- Řízení postřiku
- a jakoukoli činnost související s řízením provozu

Mezi přínosy patří:

- Vysoká přesnost, opakovatelné navádění
- Jedná základní stanice pro více strojů
- RTK síť

- Pozitivní dopad na produktivitu a efektivitu
- a nižší stlačování půdy



Obrázek 15- signál RTK[8]

Výhody systému AutoTrac oproti ručnímu řízení při postřiku:

- vnější přesahy na holém pozemku bez naváděcích značek
- funkce značení pro návrat zpět po plnění – rychlejší než praporek
- v porovnání s pěnovými značkami je zaručena odolnost proti větru
- vyšší přesnost postřiku a provozní pojezdové rychlost
- vyšší pohodlí obsluhy a soustředění na funkce postřikovače
- simultánní dokumentace aplikace postřiku

3. CÍL PRÁCE

Cílem této práce bylo zhodnotit využití diferenčního GPS při řízení samojízdného postřikovače, zjistit a porovnat přesnost navádění jednotlivých pozičních systémů dostupných na našem trhu, posoudit jejich vhodnost použití a na závěr provést jednoduché ekonomické vyhodnocení.

Tato práce by také měla posloužit k získání přehledu o možnostech využití GPS, jejich výhodách a nevýhodách.

4. METODIKA

Cílem práce bylo porovnání přesnosti navádění jednotlivých naváděcích systémů dostupných na našem trhu. Jsou to tyto způsoby:

- manuální navádění,
- navádění pomocí pěnového značkovače,
- navádění pomocí GPS signál SF1,
- a navádění pomocí GPS signál SF2.

Zjišťování přesnosti navádění těchto jednotlivých systémů je v praxi – za běžného provozu technicky neproveditelné, a proto bylo provedeno zkušebním měřením na zkušební louce. Při tomto měření přesnosti navádění byl pro samojízdný postřikovač **John Deer 5430 i** vytyčený zkušební úsek (viz obr. 16), na kterém byla prováděna veškerá měření.

S_c -vyznačená dráha- $|AD|$ [m]

s_r - rozjezdová dráha - $|AB| = s_{25}$ [m]

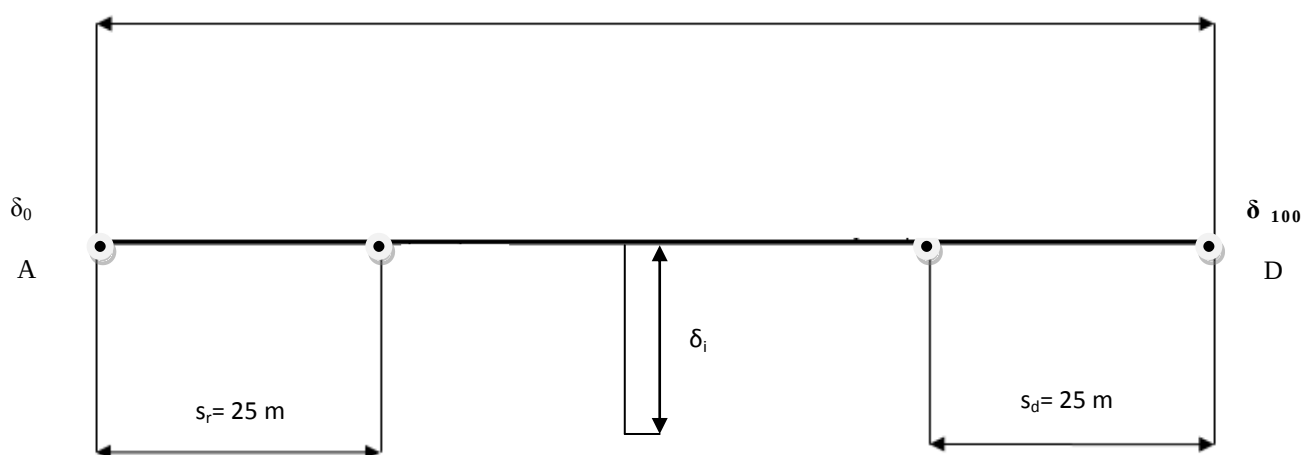
s_d - dojezdová dráha - $|CD|$ [m]

δ_i - i-tá měřená odchylka, odchylka po ujetí dráhy δ_i [m]

δ_1 - první měřená odchylka [m]

δ_{100} - s-tá měřená odchylka [m]

s_c - 100m



Obrázek 16: Schéma vytyčeného zkušebního úseku

Stroj ovládala obsluha s příslušným oprávněním. Při měření stroj udržoval na úseku B-C konstantní rychlost 8,5 km/h. Ramena postřikovače byla vysunuta na co nejmenší vzdálenost od země, a to za pomoci kopírovacího zařízení. Měření probíhalo na rovném travnatém úseku za bezvětří. Rychlost větru byla měřena anemometrem a zaznamenávána po 15 metrech. Stroj vyznačenou dráhu projel celkem čtyřikrát. Poprvé obsluha projela podél vyznačené dráhy. Podruhé kopírovala dráhu, kterou stroj řízený obsluhou vyznačil pěnovým značkovačem. Při třetí jízdě byl naváděn s pomocí GPS signál SF1 a čtvrtou jízdu provedl s naváděním GPS pomocí signálu SF2.

PĚNOVÝ ZNAČKOVAC			
Vzdálenost od C do D [m]	Vzdálenost X [cm]	Teplota [°C]	rychlost větru [km/h]
1	20	19	3
2	30	19	
3	30	19	
4	40	19	
5	60	19	
6	50	19	
7	60	19	
8	60	19	
9	55	19	
10	30	19	

Obrázek 17: Formulář pro zaznamenávání údajů

Technické parametry samojízdného postřikovače John Deere 5430i

Podvozek: robustní, vařený podvozek z vysokotažné oceli, světlá výška stroje 1,2 m (při použití pneumatik 300/95R52 Kléber super-3; kompletní zakrytování podvozku postřikovače.

Motor: John Deere Power Tech 6,8 l, šestiválec, emisní norma Tier III; výkon motoru při jmenovitých otáčkách 2100 ot.min⁻¹, 158 kW (215 hp), záloha točivého momentu sedm %, maximální výkon 169 kw, palivová nádrž o objemu 290 litrů

Pohon: Nezávislý hydrostatický pohon všech kol se dvěma tandemovými čerpadly, čtyřmi hydromotory kol umístěných na koncových planetových převodech, čtyřstupňová elektro-hydraulická převodovka s plynulým řazením převodových stupňů pod zatížením.

Brzdy: Primární provozní brzda - hydropohon, sekundární provozní brzdy- kotoučové.

Odpružení: Nezávislé hydropneumatické odpružení všech čtyř kol, plně automatický

systém odpružení – automatické nastavení vzduchových tlumičů při změnách zatížení stroje; motorem poháněný kompresor, nastavitelné vzduchové tlumiče v rozmezí 20 cm,

Řízení: Pokročilé módy řízení: (koordinovaný pohyb všech čtyř kol, krabí chod s nastavitelným úhlem zadní natočení zadní nápravy, řízení pouze přední nápravy – postřík); automatické vycentrování zadní nápravy při přepnutí do módu řízení pouze přední nápravy; Automatické zapínání zvoleného řídicího módu (možnost volby) pomocí zapnutí/vypnutí hlavního ventilu postříku (HMS); nožní pedál pro zapnutí souvratového řídicího módu (koordinovaný pohyb všech kol-kopírování stop).

Kabina: Kabina z traktorů JD 5020, Auto Trac a Green star ready, vzduchová sedačka s integrovaným panelem Command Arm, nastavitelný sloupek řízení, multifunkční Command Arm s integrovanými funkcemi na páce hydropohonu; topení, ventilace, klimatizace; přetlaková kabina s vzduchovou filtrací, a aktivním uhlíkovým filtrem, dvě zpětná zrcátka (pravé elektro. ovládané); programovatelné zpoždění zhasnutí světel; elektricky sklápěné palubní schůdky s automatickým zdvihem při rozjetí a sklopením po zatažení ruční brzdy. GreenStar display 2600 s univerzálním ovládacím modulem.

Nádrž: Hlavní nádrž na postřík o objemu 4000 l (5% extra kapacita, max. objem 4200 litrů, dno nádrže strmě vysvahováno, horní plnicí otvor 400 mm s košovým sítem; digitální indikátor hladiny kapaliny (čitelný na GS2 2600 v kabině), suchý indikátor hladiny kapaliny s centrálně umístěným plovákem, vysokotlaké míchání pomocí čtyř hydroinjektorů a elektrickým zapnutím/vypnutím (manuálně a automaticky dle množství kapaliny v nádrži), rotační proplachovací trysky v horní části nádrže.

Filtry: solution komand system (postříkový systém): tlačítkový postříkový ovládací panel pro plnění vody a chemikálií, míchání, postřík a proplach; automatický více-cyklový proplachovací systém ovládaný přes přes solution Command systém. Nádrž na přimíchávání chemikálií 55 l s rotační proplachovací hlavou, proplachovací nádrž 400 litrů s recirkulačním ventilem a indikátorem hladiny, nádrž na mytí rukou 20 litrů.

Ramena: Trojrozměrná ramena z vysokotahné oceli, elektro-hydraulické nastavení výšky ramen (50-250 cm), paralelogramový zvedací mechanismus s dusíkatým tlumičem a transportní zámkem; elektrohydraulické skládání/rozkládání ramen svezávislým skládáním koncových sekcí ramen (levé/pravé), centrální sekce ramen svertikálním a horizontálním odpružením, elektrohydraulické ovládání náklonu ramen, variabilní geometrie ramen (individuální zvedání a spouštění ramen), třisměrná protinárazová ochrana koncových sekcí ramen, valivá ložiska ve všech spojovacích

částech ramen, postřikové vedení z nerez oceli s rychlo-upínacími spojkami. Pětinasobné držáky trysek, membránový proti-odkapový systém [6].

Hodnoty naměřených údajů ze zkušebních měření jsou dále uvedeny v kapitole 5 Naměřené hodnoty a výsledky (tabulka 1 až 4; graf 1 až 4).

4.1 Navrhované metody výpočtů

Výpočty jsou navrženy podle literatury [3].

4.1.1 Celková zasažená plocha

Celková zasažená plocha s_n je stanovena jako násobek celkové dráhy a záběru postřikovače, viz následující vzorce

$$S_n = s_n \cdot r \quad (1)$$

kde n je počet měření, r je záběr postřikovače a s_n je teoretická dráha po ujetí n metrů odpovídající eukleidovské vzdálenosti bodu A a ideální polohy stroje při n -tém měření.

4.1.2 Plošná odchylka od ideální zasažené plochy

$$\Delta S_n = \sum_{i=1}^n |\delta_i| (s_i - s_{i-1}), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

kde δ_i je hodnota i -tého pozorování a s_i je i -tá teoretická dráha postřikovače.

4.1.3 Průměrná absolutní odchylka

Průměrná absolutní odchylka, je jedním z ukazatelů přesnosti navádění a vyplývá z následujícího vzorce

$$\bar{\delta}_a = \frac{\sum_{i=1}^n |\delta_i|}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

kde δ_i je hodnota i -tého pozorování, n je počet měření.

4.1.4 Směrodatná odchylka

Dalším ukazatelem pro výpočet přesnosti navádění a posouzení variability je směrodatná odchylka vyplývající z následujícího vzorečku

$$\sigma_{\delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_i - \bar{\delta})^2}{n}}, i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

kde δ_i je hodnota i-tého pozorování, n je počet pozorování a $\bar{\delta}$ je průměrná hodnota všech pozorování.

Maximální odchylka je dána vztahem

$$\delta_{max} = \max(\delta_i),$$

Minimální odchylka je dána vztahem

$$\delta_{min} = \min(\delta_i)$$

4.1.5 Relativní nepřesnost zasažené plochy

$$\frac{\Delta S_n}{S_n} = [\%] \quad (5)$$

4.1.6 Celková ujetá dráha

Pro výpočet celkové ujeté dráhy jsem použil metodu lineární interpolace:

$$s_u = \sum_{i=1}^n (s_i - s_{i-1})^2 + (\delta_i - \delta_{i-1})^2, \delta_0 = 0, i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

4.1.7 Odchylka od celkové dráhy

Relativní odchylku celkové ujeté dráhy od teoretické dráhy jsem vypočítal jako

$$\Delta s = s_u - s_n \quad (7)$$

4.1.8 Nákladová odchylka na postřik

Je vypočítána ze vztahu:

$$\Delta C_p = \frac{\Delta S_n}{S_n} C_p \quad (8)$$

kde C jsou náklady na hektar, ΔC_p skutečné náklady, ΔS_n plošná odchylka a s_n skutečná plocha. Tento ukazatel odráží náklady související s nepřesností při aplikaci postřiku vycházející z plošné odchylky viz (2) a nákladů na postřik.

4.1.9 Časová odchylka

Je dána vzorcem:

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v} \quad (9)$$

kde ΔS je odchylka od celkové dráhy a v je rychlost stroje.

4.1.10 Nákladová odchylka na čas

Tento ukazatel odráží náklady související s neefektivním využitím času. Základem pro výpočet jsou mzdové náklady a náklady na palivo. Pro zabezpečení srovnatelnosti s (8) se musí tyto náklady přepočítat na hektar.

$$\Delta C_m = \Delta t (C_m + C_n) \frac{10^4}{S_n} \quad (10)$$

kde C_m jsou mzdové náklady odpovídající času a C_n jsou náklady odpovídající spotřebě paliva za 1s.

5. NAMĚŘENÉ HODNOTY A VÝSLEDKY

5. 1 Obsluha bez navádění

ODCHYLKY BEZ NAVÁDĚNÍ							
i	[cm]	i	[cm]	i	[cm]	i	[cm]
1	0,00	26	14,00	51	-39,00	76	2,00
2	-6,00	27	15,00	52	15,00	77	44,00
3	-46,00	28	10,00	53	55,00	78	-86,00
4	-17,00	29	19,00	54	14,00	79	-27,00
5	-8,00	30	-3,00	55	-61,00	80	26,00
6	67,00	31	23,00	56	45,00	81	67,00
7	-50,00	32	-18,00	57	20,00	82	30,00
8	-16,00	33	-16,00	58	26,00	83	-24,00
9	90,00	34	-3,00	59	-21,00	84	29,00
10	45,00	35	24,00	60	-22,00	85	17,00
11	46,00	36	26,00	61	-4,00	86	3,00
12	0,00	37	-23,00	62	66,00	87	54,00
13	41,00	38	-64,00	63	-1,00	88	-23,00
14	-8,00	39	11,00	64	-11,00	89	-26,00
15	-39,00	40	-39,00	65	0,00	90	15,00
16	20,00	41	38,00	66	48,00	91	93,00
17	3,00	42	72,00	67	20,00	92	-4,00
18	-3,00	43	57,00	68	52,00	93	30,00
19	-6,00	44	39,00	69	-27,00	94	94,00
20	25,00	45	6,00	70	48,00	95	-13,00
21	26,00	46	55,00	71	-16,00	96	-29,00
22	-10,00	47	40,00	72	28,00	97	5,00
23	37,00	48	29,00	73	45,00	98	-15,00
24	21,00	49	-26,00	74	-1,00	99	67,00
25	-28,00	50	-13,00	75	56,00	100	29,00

Tabulka 1: Naměřené hodnoty při obsluze bez navádění

Výpočet celkové zasažené plochy (4.1.1)

$$S_n = 100 \cdot 24 = 2400 \text{ [m}^2\text{]}$$

Výpočet plošné odchylky od ideální zasažené plochy (4.1.2)

$$\Delta S_n = \sum_{i=1}^n |\delta_i| (s_i - s_{i-1}) = 29,59 \text{ [m}^2\text{]}$$

Výpočet průměrné absolutní odchylky (4.1.3)

$$\bar{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^n |\delta_i|}{n} = \frac{2959}{100} = 29,59 \text{ [cm]}$$

Výpočet směrodatné odchylky (4.1.4)

$$\sigma_{\delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_i - \bar{\delta})^2}{n}} = 22,23 \text{ [cm]}$$

Výpočet maximální odchylky

$$\delta_{max} = \max(\delta_i) = 94,00 \text{ [cm]}$$

Výpočet minimální odchylky

$$\delta_{min} = \min(\delta_i) = -86,00 \text{ [cm]}$$

Výpočet relativní nepřesnosti zasažené plochy (4.1.5)

$$\frac{\Delta S_n}{S_n} = 4,44 \text{ [%]}$$

Výpočet celkové ujeté dráhy (4.1.6)

$$s_u = \sum_{i=1}^n \sqrt{(s_i - s_{i-1})^2 + (\delta_i - \delta_{i-1})^2} = 110,66 \text{ [m]}$$

Výpočet odchylky od celkové dráhy (4.1.7)

$$\Delta s = s_u - s_n = 10,66 \text{ [m]}$$

Výpočet nákladová odchylky na postřík (4.1.8)

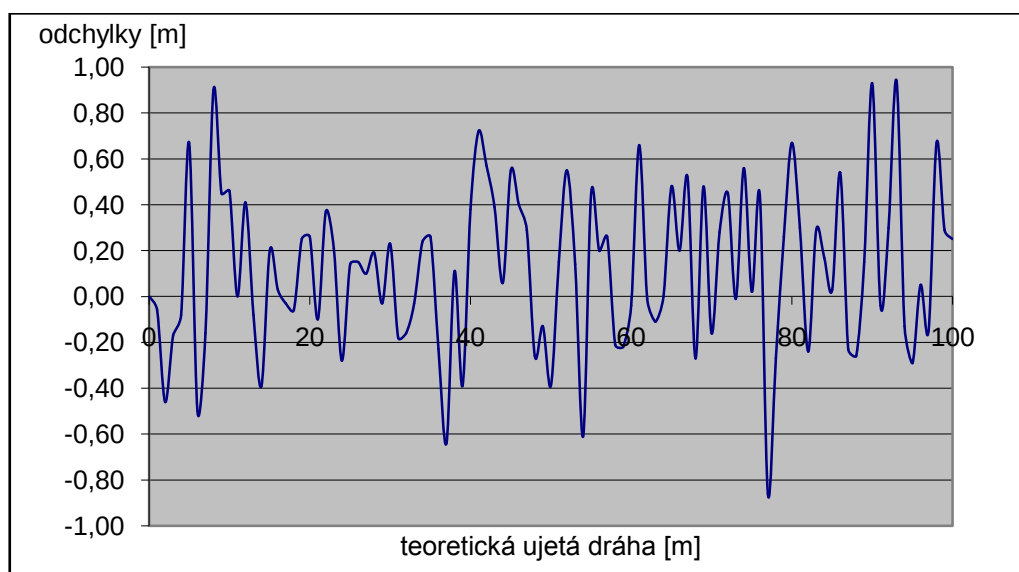
$$\frac{\Delta S_n}{S_n} C = 55,48 \text{ [Kč/ha]}$$

Výpočet časová odchylky (4.1.9)

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{10,661}{2,36} = 4,51 \text{ [s]}$$

Výpočet nákladové odchylky na čas (4.1.10)

$$\Delta C_m = \Delta t(C_m + C_n) \frac{10^4}{S_n} = 18,8 \text{ [s]}$$



Graf 1- Odchylky bez navádění

5. 2 Obsluha s pěnovým značkovačem

ODCHYLKY PĚNOVÝ ZNAČKOVAC							
i	[cm]	i	[cm]	i	[cm]	i	[cm]
1	0,00	26	-10,00	51	15,00	76	-5,00
2	19,00	27	7,00	52	-8,00	77	12,00
3	42,00	28	30,00	53	12,00	78	32,00
4	-33,00	29	12,00	54	2,00	79	41,00
5	-4,00	30	-2,00	55	5,00	80	19,00
6	-1,00	31	17,00	56	12,00	81	10,00
7	19,00	32	-10,00	57	-13,00	82	4,00
8	-30,00	33	-5,00	58	-40,00	83	25,00
9	-22,00	34	-13,00	59	41,00	84	-9,00
10	1,00	35	-26,00	60	29,00	85	-21,00
11	0,00	36	3,00	61	21,00	86	6,00
12	31,00	37	3,00	62	-19,00	87	9,00
13	12,00	38	14,00	63	-22,00	88	12,00
14	7,00	39	-11,00	64	24,00	89	-13,00
15	-6,00	40	6,00	65	-5,00	90	27,00
16	12,00	41	4,00	66	15,00	91	15,00
17	21,00	42	-40,00	67	-32,00	92	0,00
18	-15,00	43	14,00	68	-5,00	93	18,00
19	-1,00	44	25,00	69	19,00	94	37,00
20	-13,00	45	26,00	70	-21,00	95	1,00
21	15,00	46	-3,00	71	-1,00	96	8,00
22	-27,00	47	-6,00	72	-2,00	97	13,00
23	-4,00	48	4,00	73	0,00	98	10,00
24	12,00	49	1,00	74	19,00	99	42,00
25	16,00	50	16,00	75	32,00	100	15,00

Tabulka 2: Pěnový značkovač

Výpočet celkové zasažené plochy

$$S_n = 100 \cdot 24 = 2400 \text{ [m}^2\text{]}$$

Výpočet plošné odchylky od ideální zasažené plochy

$$\Delta S_n = \sum_{i=1}^n |\delta_i| (s_i - s_{i-1}) = 15,03 \text{ [m}^2\text{]}$$

Výpočet průměrné odchylky

$$\bar{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^n |\delta_i|}{n} = \frac{1503}{100} = 15,03 \text{ [cm]}$$

Výpočet směrodatné odchylky

$$\sigma_{\delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_i - \bar{\delta})^2}{n}} = 11,23 \text{ [cm]}$$

Výpočet maximální odchylky:

$$\delta_{max} = \max(\delta_i) = 42,00$$

Výpočet minimální odchylky:

$$\delta_{min} = \min(\delta_i) = -40,00$$

Výpočet relativní nepřesnosti zasažené plochy

$$\frac{\Delta S_n}{S_n} = 0,062 \text{ [%]}$$

Výpočet celkové ujeté dráhy

$$s_u = \sum_{i=1}^n \sqrt{(s_i - s_{i-1})^2 + (\delta_i - \delta_{i-1})^2} = 102,90 \text{ [m]}$$

Výpočet odchylky od celkové dráhy

$$\Delta s = s_u - s_n = 2,90 \text{ [m]}$$

Výpočet nákladové odchylky na postřik

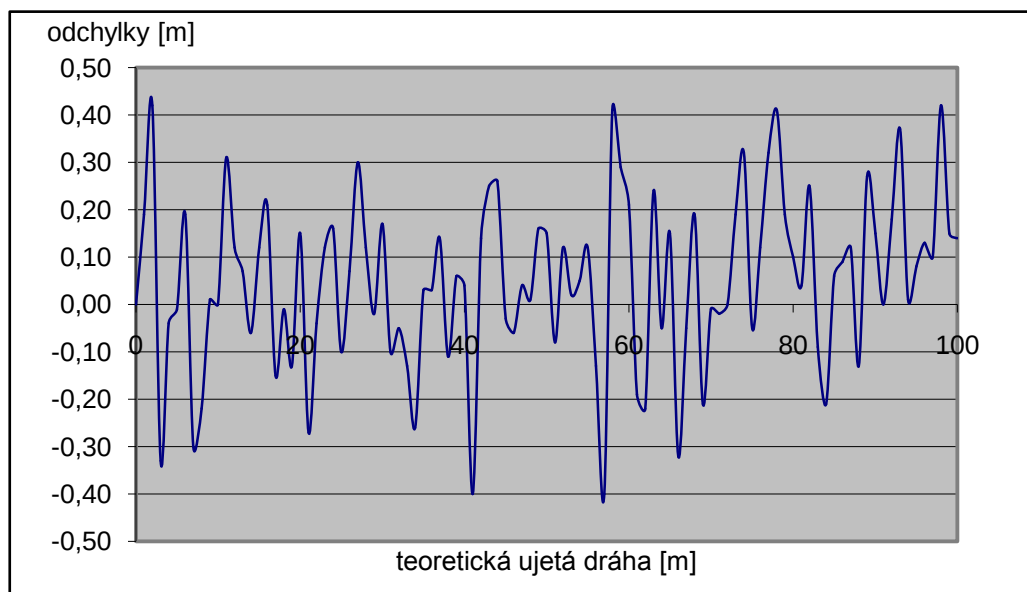
$$\frac{\Delta S_n}{S_n} C = 28,18 \text{ [Kč/ha]}$$

Výpočet časová odchylky

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{2,90}{2,36} = 1,22 \text{ [s]}$$

Výpočet nákladové odchylky na čas

$$\Delta C_m = \Delta t (C_m + C_n) \frac{10^4}{S_n} = 5,11 \text{ [s]}$$



Graf 2: Odchylky pěnový značkovač

5. 3 Obsluha s GPS- signál SF1

ODCHYLKY s POMOCÍ GPS- SIGNÁL SF1							
i	[cm]	i	[cm]	i	[cm]	i	[cm]
1	0,00	26	8,00	51	14,00	76	13,00
2	-1,00	27	9,00	52	14,00	77	15,00
3	-3,00	28	9,00	53	16,00	78	8,00
4	-4,00	29	10,00	54	17,00	79	7,00
5	-5,00	30	10,00	55	12,00	80	8,00
6	-1,00	31	11,00	56	13,00	81	10,00
7	-3,00	32	9,00	57	14,00	82	12,00
8	-5,00	33	7,00	58	16,00	83	10,00
9	1,00	34	6,00	59	13,00	84	12,00
10	2,00	35	8,00	60	12,00	85	12,00
11	4,00	36	10,00	61	11,00	86	11,00
12	4,00	37	7,00	62	13,00	87	12,00
13	5,00	38	3,00	63	12,00	88	10,00
14	4,00	39	3,00	64	10,00	89	9,00
15	3,00	40	1,00	65	9,00	90	9,00
16	4,00	41	4,00	66	10,00	91	13,00
17	4,00	42	8,00	67	11,00	92	11,00
18	4,00	43	10,00	68	12,00	93	13,00
19	3,00	44	12,00	69	11,00	94	17,00
20	5,00	45	12,00	70	12,00	95	14,00
21	7,00	46	14,00	71	9,00	96	12,00
22	6,00	47	17,00	72	11,00	97	11,00
23	6,00	48	19,00	73	13,00	98	11,00
24	8,00	49	18,00	74	12,00	99	13,00
25	7,00	50	16,00	75	14,00	100	14,00

Tabulka 3: Signál SF1

Výpočet celkové zasažené plochy

$$S_n = 100 \cdot 24 = 2400 \text{ [m}^2\text{]}$$

Výpočet plošné odchylky od ideální zasažené plochy

$$\Delta S_n = \sum_{i=1}^n |\delta_i| (s_i - s_{i-1}) = 9,48 \text{ [m}^2\text{]}$$

Výpočet průměrné absolutní odchylky

$$\bar{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^n |\delta_i|}{n} = \frac{948}{100} = 9,48 \text{ [cm]}$$

Výpočet směrodatné odchylky

$$\sigma_{\delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_i - \bar{\delta})^2}{n}} = 4,36 \text{ [cm]}$$

Výpočet maximální odchylky:

$$\delta_{max} = \max(\delta_i) = 19,00$$

Výpočet minimální odchylky:

$$\delta_{min} = \min(\delta_i) = -5,00$$

Výpočet relativní nepřesnosti zasažené plochy

$$\frac{\Delta S_n}{S_n} = 0,003 \text{ [%]}$$

Výpočet celkové ujeté dráha

$$s_u = \sum_{i=1}^n \sqrt{(s_i - s_{i-1})^2 + (\delta_i - \delta_{i-1})^2} = 100,02 \text{ [m]}$$

Výpočet odchylky od celkové dráhy

$$\Delta s = s_u - s_n = 0,21 \text{ [m]}$$

Výpočet nákladové odchylky na postřik

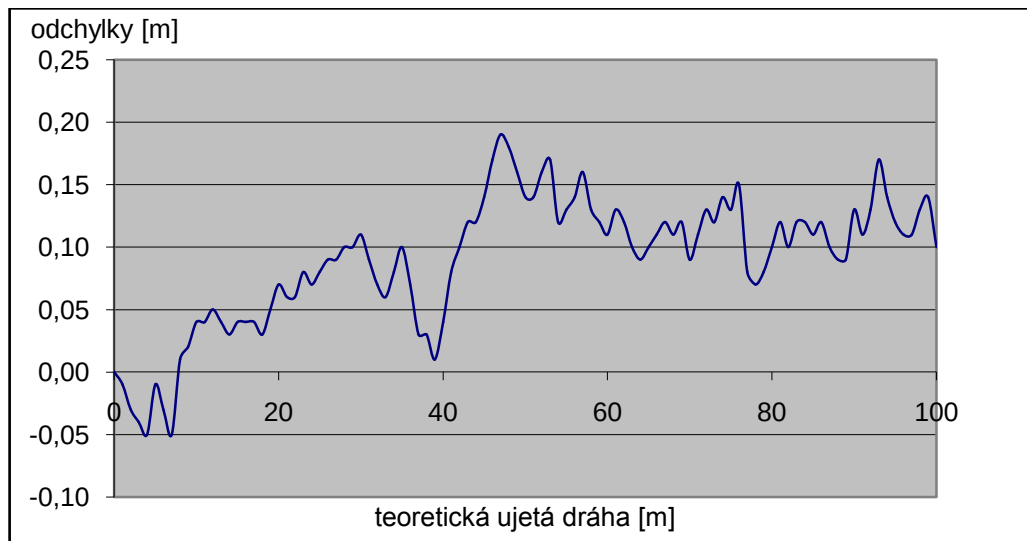
$$\frac{\Delta S_n}{S_n} C = 17,77 \text{ [Kč/ha]}$$

Výpočet časové odchylky

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{0,021}{2,36} = 0,0089 \text{ [s]}$$

Výpočet nákladové odchylky na čas

$$\Delta C_m = \Delta t (C_m + C_n) \frac{10^4}{S_n} = 0,03 \text{ [s]}$$



Graf 3: Odchylky s pomocí GPS- signál SF1

5. 4 Obsluha s GPS- signál SF2

ODCHYLKY s POMOCÍ GPS- SIGNÁL SF2							
i	[cm]	i	[cm]	i	[cm]	i	[cm]
1	0,00	26	2,00	51	-3,00	76	0,00
2	0,00	27	2,00	52	-3,00	77	0,00
3	0,00	28	1,00	53	-3,00	78	1,00
4	0,00	29	1,00	54	-2,00	79	0,00
5	0,00	30	0,00	55	-3,00	80	0,00
6	2,00	31	1,00	56	-2,00	81	1,00
7	1,00	32	1,00	57	-3,00	82	2,00
8	1,00	33	1,00	58	-4,00	83	3,00
9	1,00	34	1,00	59	-4,00	84	3,00
10	1,00	35	1,00	60	-3,00	85	3,00
11	2,00	36	0,00	61	-3,00	86	4,00
12	1,00	37	0,00	62	-3,00	87	4,00
13	1,00	38	1,00	63	-3,00	88	5,00
14	2,00	39	2,00	64	-3,00	89	4,00
15	2,00	40	1,00	65	-3,00	90	3,00
16	2,00	41	1,00	66	-2,00	91	3,00
17	3,00	42	1,00	67	-2,00	92	4,00
18	3,00	43	1,00	68	-2,00	93	4,00
19	3,00	44	-2,00	69	-2,00	94	4,00
20	3,00	45	-2,00	70	-2,00	95	3,00
21	2,00	46	-2,00	71	-1,00	96	4,00
22	2,00	47	-3,00	72	-1,00	97	5,00
23	3,00	48	-3,00	73	-1,00	98	4,00
24	2,00	49	-4,00	74	-1,00	99	5,00
25	1,00	50	-4,00	75	-1,00	100	5,00

Tabulka 4: Signál SF2

Výpočet celkové zasažené plochy

$$S_n = 100 \cdot 24 = 2400 \text{ [m}^2\text{]}$$

Výpočet plošné odchylky od ideální zasažené plochy

$$\Delta S_n = \sum_{i=1}^n |\delta_i| (s_i - s_{i-1}) = 2,14 \text{ [m}^2\text{]}$$

Výpočet průměrné absolutní odchylky

$$\bar{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^n |\delta_i|}{n} = \frac{214}{100} = 2,14 [\text{cm}]$$

Výpočet směrodatné odchylky

$$\sigma_{\delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_i - \bar{\delta})^2}{n}} = 3,14 [\text{cm}]$$

Výpočet maximální odchylky:

$$\delta_{max} = \max(\delta_i) = 5,00$$

Výpočet minimální odchylky:

$$\delta_{min} = \min(\delta_i) = -4,00$$

Výpočet relativní nepřesnosti zasažené plochy

$$\frac{\Delta S_n}{S_n} = 0,0004 [\%]$$

Výpočet celkové ujeté dráhy

$$s_u = \sum_{i=1}^n \sqrt{(s_i - s_{i-1})^2 + (\delta_i - \delta_{i-1})^2} = 100,0029 [\text{m}]$$

Výpočet odchylky od celkové dráhy

$$\Delta s = s_u - s_n = 0,0029 [\text{m}]$$

Výpočet nákladové odchylky na postřík

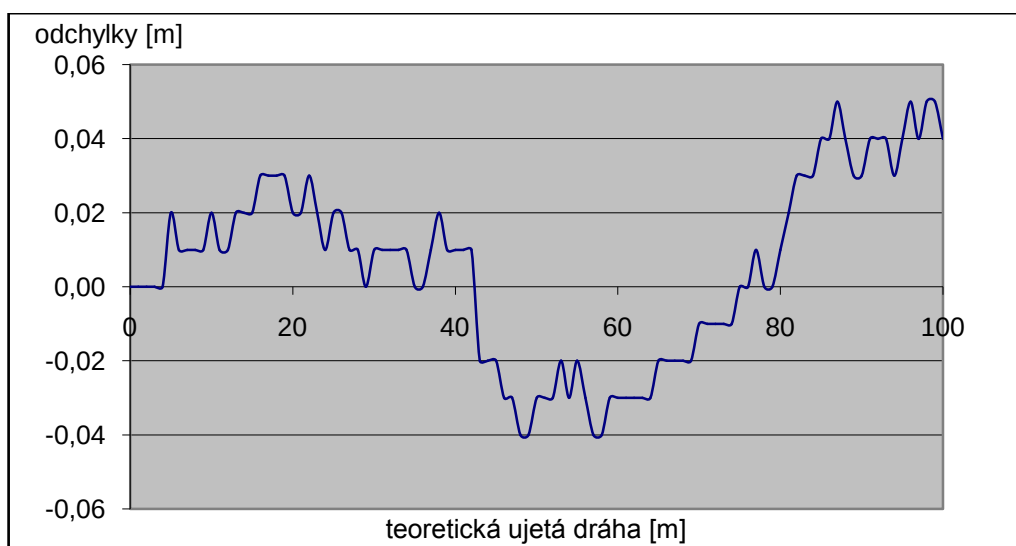
$$\frac{\Delta S_n}{S_n} C = 4,01 \text{ [Kč/ha]}$$

Výpočet časové odchylky

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{0,0029}{2,36} = 0,001 \text{ [s]}$$

Výpočet nákladové odchylky na čas

$$\Delta C_m = \Delta t (C_m + C_n) \frac{10^4}{S_n} = 0,00 \text{ [s]}$$



Graf 4: Odchylky s pomocí GPS- signál SF2

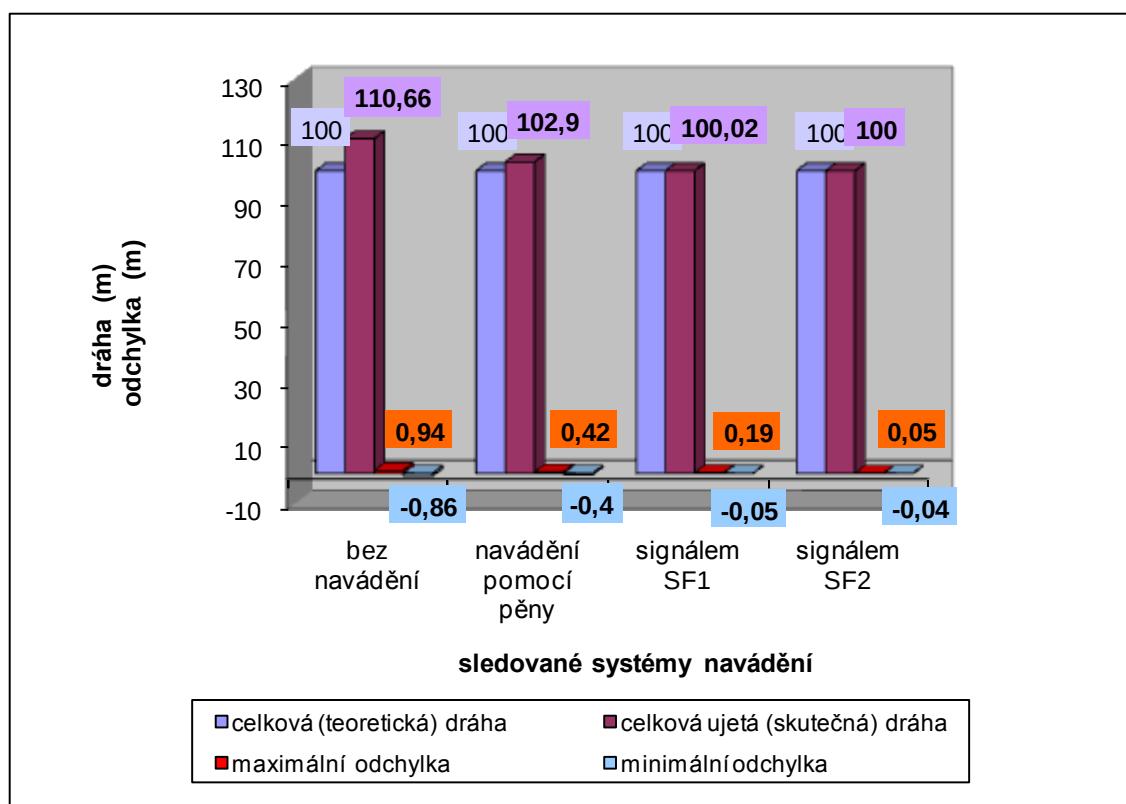
5. 5 Zhodnocení

V následujících sloupcích tabulky 5 jsou uvedeny hodnoty vycházející z mých propočtů. Již z výsledků je patrná efektivnost využití GPS při zemědělských činnostech.

	BEZ NAVÁDĚNÍ	S POMOCÍ PĚNY	SIGNÁL SF1	SIGNÁL SF2	JEDNOTKY
ΔS	29,59	15,03	9,48	2,14	[m ²]
Δs	10,66	2,90	0,02	0,00	[m]
δ_{max}	94,00	42,00	19,00	5,00	[cm]
δ_{min}	-86,00	-40,00	-5,00	-4,00	[cm]
Δt	18,81	5,11	0,03	0,00	[s/ha]

Tabulka 5: Zhodnocení výsledků u jednotlivých způsobů navádění

Pro přehlednější znázornění můžeme v grafu 5 pozorovat rozdíl zasažených ploch s různými typy navádění.



Graf 5: Porovnání celkové ujeté dráhy a odchylek u sledovaných systémů navádění

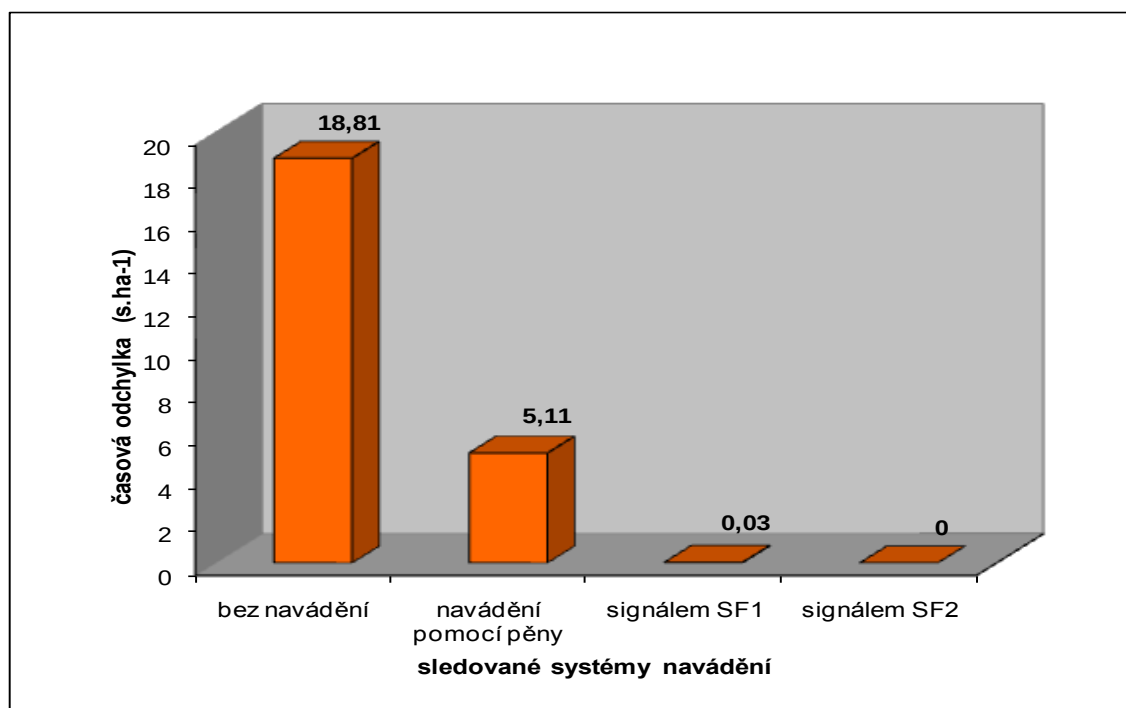
Po zpracování všech dat jsem došel k tomuto závěru. V prvním případě při jízdě bez navádění dopadlo vyhodnocení podle očekávání. Stroj byl naváděn obsluhou, kdy řidič při rychlosti 8,5 km/h musel sledovat záběr postřikovače (24 m) a snažit se, aby jeho jízda měla co nejmenší přesahy a vynechávky. Při jeho jízdě docházelo k vysokým odchylkám. Například mezi 77 a 78 metrem dosáhl rozdílu až 1,3 metru. Další výsledky jsou v tabulce 5.

Při dalším měření byla obsluha naváděna pomocí pěnového značkovače. Již zde můžeme sledovat vysoké úspory oproti předchozímu měření bez navádění. Postřikovač při každém hektaru postříkal 15 m² navíc (viz tabulka 5) a ztratil tím 5 s (viz tabulka 6).

Při použití navádění GPS- signál SF1 obsluha nastavila konstantní rychlost a stroj byl naváděn sám až k souvrati. Maximální odchylka mezi měřenými body dosáhla hodnoty 0,2 metru, úspora postřiku oproti pěnovému značkovači se výrazně změnila.

Při použití placeného signálu SF2 byly přesahy a vynechávky již minimální. Rozdíl mezi signálem SF1 a SF2 jsou vysoké, k úsporám dochází hlavně na postřiku. Plocha, která byla ošetřena vícekrát nepřesahuje 3 m² a čas navíc je téměř nulový (viz tabulka 6).

Pro přehlednost jsou časové odchylky u jednotlivých systémů navádění zpracovány graficky (viz graf 6).



Graf 6: Porovnání časových odchylek u sledovaných systémů navádění

6. EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Po vyčíslení v korunách můžeme pozorovat propastné rozdíly při použití stroje bez navádění a pěnovým značkovačem (viz tabulka 6). Určujícím faktorem bude vždy postřik. Podle výsledků můžeme říci, že spotřeba paliva také nebude zanedbatelná (viz tabulka 6).

Aplikace postřiku bez navádění představuje náklady navíc v hodnotě 58,3244 Kč.ha⁻¹. Největší podíl na částce má postřik, který se neefektivně použije, a to buď v podobě přesahů nebo vynechávek. Použití pěnového značkovače se jeví jako druhé nejdražší – náklady navíc tvoří 28,9138 Kč.ha⁻¹. U signálu SF1 je to částka 17 Kč a u signálu SF2, který můžeme na základě mých měření považovat za nejvýhodnější, se jedná o částku 4,01 Kč. Ta je tvořena oproti ostatním způsobům navádění pouze minimálními přesahy či vynechávkami navíc, a z toho plynoucím výdajům za postřik.

V následujících sloupcích tabulky 6 jsou uvedeny rozdíly časů, mezd a nákladů na palivo. Všechny hodnoty jsou vztaženy na jeden hektar.

Pro lepší přehlednost jsou rozdíly nákladů vyhodnoceny také graficky (viz dále graf 7).

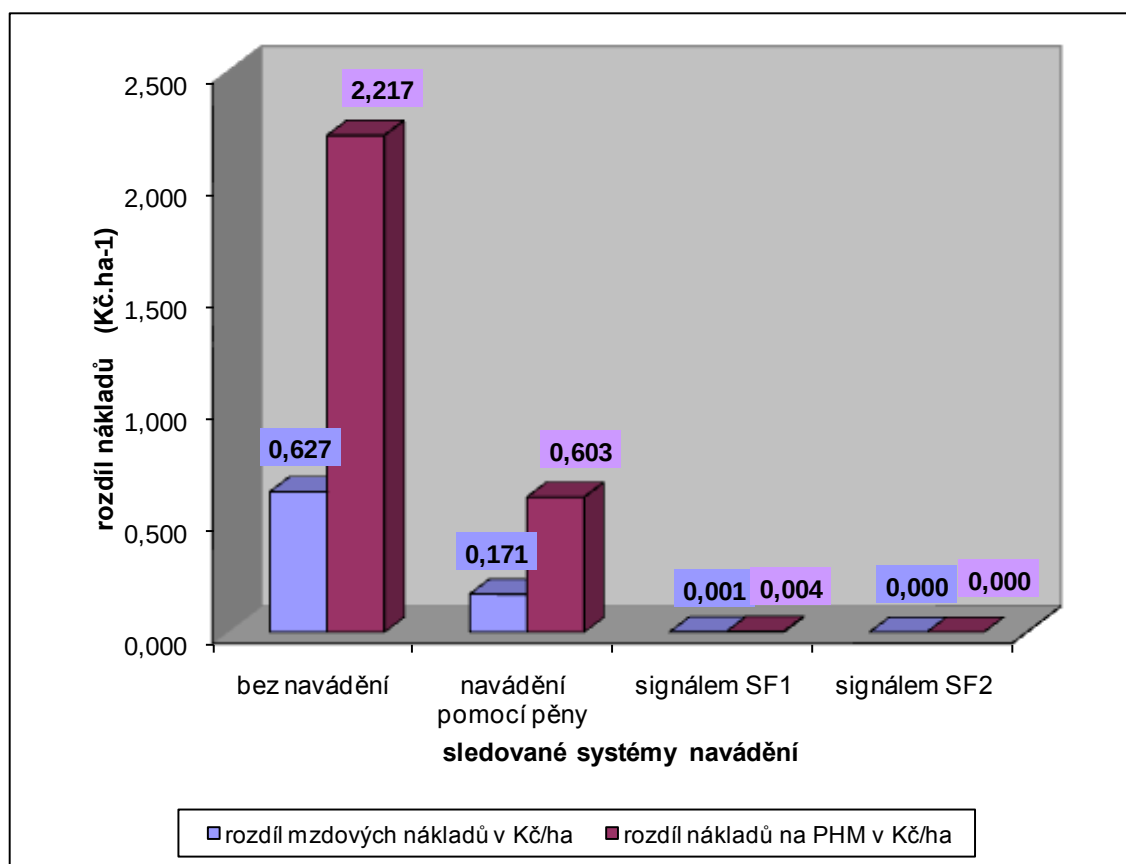
	Odchylka od celkové dráhy [m]	Odchylka od celkové dráhy [m.ha ⁻¹]	Rozdíl času [s.ha ⁻¹]	Rozdíl mzdy [Kč.ha ⁻¹]	Rozdíl nákladů na palivo [Kč.ha ⁻¹]
Bez navádění	10,6600	44,4167	18,8118	0,6271	2,2173
Pěnový značkovač	2,9000	12,0833	5,1176	0,1706	0,6032
SF 1	0,0200	0,0833	0,0353	0,0012	0,0042
SF 2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabulka 6: Ekonomické hodnocení výsledků

Ceny (tabulka 7) byly stanoveny dle aktuálního vývoje cen v roce 2009, hodinová mzda vychází z průměrného výdělku v zemědělství dle Českého statistického úřadu České republiky[12]. Spotřeba paliva na hektar je určena firemní literaturou [6].

Cena paliva	26 Kč
Hodinová mzda	120 Kč
Spotřeba/ hektar	0,8 l/ha

Tabulka 7: Doplnění tabulky 6



Graf 7: Rozdlí nákladů u sledovaných systémů navádění

Z výsledků je patrné, že při navádění za pomoci signálu SF1, ke kterému musíme použít sadu GreenStar I, s cenou pohybující se okolo 250 000 Kč, se návratnost oproti navádění pomocí obsluhy pohybuje okolo 6165, 22 ha. Při porovnání pěnového značkovače a signálu SF1 je již návratnost vyšší, pohybující se okolo 22 000 hektarů. V případě signálu SF2 musíme počítat s dražším hardwarem, jehož pořizovací cena se pohybuje okolo 360 000 Kč a 15 000 Kč za roční licenci. Vstupní investice je sice vyšší, ale návratnost se pohybuje okolo 6628,61 ha při srovnání navádění pomocí obsluhy a signálu SF2. V případě, že bychom počítali s pěnovým značkovačem a signálem SF2, pak je návratnost v horizontu 14 457 ha. S touto návratností počítáme jen pro využití postřikovače při ochraně rostlin. V případě využití i při jiných činnostech se návratnost zkracuje. Ve své práci nemám zohledněné náklady spojené s údržbou a opotřebením stroje, které určitě nebudou zanedbatelné a kde také nepřehlídíme ke komfortu obsluhy.

7. ZÁVĚR

Důvodem, proč se tato práce zabývá naváděním zemědělských strojů, jsou nové možnosti v této oblasti. Ceny prostředků pro ochranu rostlin, průmyslových hnojiv, pohonných hmot, strojů a práce tvoří nemalé náklady každého zemědělce, využívání technologie GPS však tyto položky může snížit. Navádění výrazně omezuje přesahy a vynechávky na zemědělských pozemcích, současně navíc mohou být monitorovány pozemky a rozmístění dávek po pozemku.

Hlavním cílem této práce bylo zhodnocení přesnosti čtyř druhů navádění měřených na zvoleném pozemku. Po změření jsem se snažil porovnat získané výsledky mezi sebou a zhodnotit je z ekonomického hlediska - zda je investice do moderního systému rentabilní. Zajímalo mě také, jaká kombinace druhů navádění je nejvýhodnější.

Je zapotřebí zmínit přínos navádění pomocí GPS pro práci v zemědělství. V popředí stojí snížení výskytu přesahů a vynechávek. Jestliže přesahy znamenají vyšší spotřebu paliva, jsou pak vynechávky naopak spojeny s nižší spotřebou hnojiv a absencí ochrany rostlin, což je nežádoucí. S využitím GPS klesá počet přejezdů a z toho vyplývajících nechtěných důsledků. V konečném efektu tak snížíme spotřebu neobnovitelných zdrojů v podobě nafty a zároveň ochráníme rostliny. Další nespornou výhodou GPS je umožnění práce v noci, i za snížených viditelnostních podmínek a v neposlední řadě je ušetřen čas, práce a je zvýšen komfort obsluhy.

Pokud nebudu sledovat jen ekonomické hledisko, je důležité zdůraznit přínos pro životní prostředí vzhledem k nižším dávkám prostředků chemické ochrany rostlin.

Návratnost investic do zařízení GPS nespočívá pouze v ploše. Univerzálnost GPS umožňuje jeho používání nejen při ochraně rostlin, ale i při dalších polních pracích – setí, hnojení, podmítce a sklizni. S komplexnějším využíváním variability systému GPS se návratnost investic do koupě mnohonásobně zkracuje.

Vyplývající doporučení plynoucí z mé práce jasně hovoří pro využívání GPS, budeme-li účelně přihlížet ke dvěma faktorům ovlivňujícím jeho rentabilitu, a to jak k velikosti zemědělské plochy, tak k využívané variabilitě zařízení GPS.

8. PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

Knihy

- [1] Hrdina, Z., Pánek, P., Vejražka, F. *Rádiové určování polohy*. vyd.1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995. 267 s. ISBN 80-01-01386-3
- [2] Jonák, J., *Linkové a bezdrátové technické prostředky používané pro komunikaci a určování zeměpisné polohy*. vyd. 1. Praha: Policejní akademie České republiky, 2002. 116 s. ISBN 80-7251-096-7
- [3] Kaňok, M., *Statistické metody v managementu*. Vyd. 1. Praha : České vysoké učení technické, 2002. 242 s.
- [4] Šebesta, J., *Radiolokace a radionavigace*, Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2004. 133 s. ISBN 80-214-2482-6
- [5] Kumhála, F., et al. *Zemědělská technika: stroje a technologie pro rostlinnou výrobu*. vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2007. 426 s. ISBN 978-80-213-1701-7
- [6] Vosecký, S., *Radionavigace*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 236 s. ISBN 80-7204-448-6
- [7] firemní literatura

Elektronické zdroje

- [7] http://www.navcomtech.com/Support/Download/John%20Deere's%20StarFire%20system_WADGPS.pdf
- [8] <http://www.distributor.deere.com/cz/products/ag/ams/index.html>
- [9] http://gis.vsb.cz/Rapant/Vyukove_Materialy/2006_2007/LS_GNPS/GNPS_X.pdf
- [10] <http://www.navcomtech.com/>
- [11] <http://www.wikipedia.cz>
- [12] <http://www.czso.cz>

Přehled obrázků, tabulek, grafů

Seznam obrázků:

- Obrázek 1– Vyobrazení družice 12
- Obrázek 2- Ukázka modelu ionosférické refrakce 17
- Obrázek 3- systém WADGPS 20
- Obrázek 4- systém WADGPS 21
- Obrázek 5- Možnosti navádění 24
- Obrázek 6- stroje využívající AutoTrac 25
- Obrázek 7- stroje využívající AutoTrac 25
- Obrázek 8- Obrazovka Greenstar I 25
- Obrázek 9- Obrazovka Greenstar II 25
- Obrázek 10- Elektrický volant 26
- Obrázek 11- Využití svahové korekce 26
- Obrázek 12- Poziční přijímač 26
- Obrázek 13- Polní práce řízené signálem SF1 28
- Obrázek 14- Polní práce řízené signálem SF2 29
- Obrázek 15- signál RTK 30
- Obrázek 16- Náčrt metodického zpracování 33
- Obrázek 17- Formulář pro zaznamenávání údajů 32

Seznam tabulek:

- Tabulka 1- Odchylky bez navádění 39
- Tabulka 2- Odchylky s pěnovým značkovačem 42
- Tabulka 3- Odchylky s pomocí GPS- signál sF1 45
- Tabulka 4- Odchylky s pomocí GPS- signál sF1 48
- Tabulka 5- Zhodnocení výsledků 50
- Tabulka 6- Hodnocení výsledků
- Tabulka 7- Doplnění tabulky 6
- Tabulka 8- Cenové rozdíly

Seznam grafů:

Graf 1- Odchyly bez navádění 41

Graf 2- Odchyly pěnový značkovač 44

Graf 3- Odchyly s pomocí GPS- signál SF1 47

Graf 4- Odchyly s pomocí GPS- signál SF1 50

Graf 5- Porovnání celkové ujeté dráhy a odchylek u sledovaných systémů navádění

Graf 6- Graf 6: Porovnání časových odchylek u sledovaných systémů navádění

Graf 7- Rozdíl nákladů u sledovaných systémů navádění