

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

2123522

**HODNOTENIE ABSOLÚTNEJ A RELATÍVNEJ
PRESNOSTI SATELITNEJ NAVIGÁCIE STROJOVÝCH
SÚPRAV A JEJ VPLYV NA REALIZÁCIU POĽNÝCH
OPERÁCIÍ**

2011

Marek Golčiter, Bc.

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

**HODNOTENIE ABSOLÚTNEJ A RELATÍVNEJ
PRESNOSTI SATELITNEJ NAVIGÁCIE STROJOVÝCH
SÚPRAV A JEJ VPLYV NA REALIZÁCIU POĽNÝCH
OPERÁCIÍ**

Diplomová práca

Študijný program:	Poľnohospodárska technika
Študijný odbor:	4112800 Poľnohospodárska a lesnícka technika
Školiace pracovisko:	Katedra strojov a výrobných systémov
Školiteľ:	Jana Galambošová, Ing., MPhil., PhD.

NITRA 2011

Marek Golčiter, Bc.

Abstrakt

Satelitná navigácia umožňuje využívanie moderných technológií v poľnohospodárstve ako sú presné poľnohospodárstvo, CTF a pod. Ich cieľom je znižovanie nákladov na pestovanie poľných plodín efektívnou aplikáciou vstupov. V rastlinnej výrobe nachádza satelitná navigácia uplatnenie predovšetkým pri navigácii strojových súprav. Využitím satelitnej navigácie je možné obmedziť vynechávky a prekrytia, využívať všetok disponibilný pracovný čas a tým zvyšovať ekonomickú efektívnosť pestovania plodín.

Predkladaná diplomová práca sa zaoberá hodnotením absolútnej a relatívnej presnosti dvoch typov satelitnej navigácie strojových súprav: systému John Deere Autotrack Integrated s príjmom satelitného korekčného signálu SF2 a univerzálneho systému Trimble Autopilot s korekčným signálom RTK. Prvý systém, inštalovaný výrobcom dosahoval deklarovanú absolútnu aj relatívnu presnosť. Pri hodnotení druhého systému, boli namerané nepresnosti navádzania stroja, pričom príjem RTK signálu bol bezproblémový. Z tohto dôvodu bolo potrebné realizovať nové nakalibrovanie a odstrániť vplyv veľkého výkyvu kabíny počas jazdy.

Pri hodnotení navigácie z pohľadu výkonnosti sme sa zamerali na porovnanie rôznych spôsobov otáčania na úvrati. Na základe výsledkov je možné potvrdiť, že využívanie satelitnej navigácie umožňuje zvoliť spôsob otáčania na úvratiach, čo pri určitých šírkach záberu a polomeroch otáčania prináša časové úspory v čase otáčok. Ďalšími prínosmi je eliminácia utlačenia pôdy na úvratiach a uľahčenie práce obsluhu.

Kľúčové slová: GNSS, GPS, satelitná navigácia strojových súprav, absolútna presnosť, relatívna presnosť

Abstract

Implementation of modern technologies in crop production as precision farming and CTF is based on the use of satellite navigation systems. Aim of these technologies is to reduce production costs through effective application of inputs. In the area of crop production is used mainly for machinery guidance. By this means it is possible to avoid skips and overlaps during field operations as well as all available time can be fully used. The overall economic efficiency is increased.

Submitted thesis deals with determining the absolute and relative precision of two satellite guidance systems: John Deere Autotrack Integrated with the SF2 correction signal and the Trimble Autopilot system with RTK signal. The former mentioned reached values declared by the producer in terms of absolute as well as relative precision. While assessing the second system, it was observed that despite the high quality receiving of the RTK signal, the precision of guidance was not adequate. In order to remove this, new calibration as well as elimination of the cabin movement effect was necessary.

In terms of evaluating the satellite guidance from the field efficiency point of view, different ways of headland turning were assessed. Based on obtained results it can be concluded that using the satellite guidance enables selection of turning pattern at headlands what can bring for selected implement widths and steering radius bring time savings.

Key words: GNSS, GPS, machinery guidance systems, absolute precision, relative precision

ČESTNÉ VYHLÁSENIE

Podpísaný Marek Golčiter vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Satelitná navigácia strojových súprav a možnosti jej využitia pre pestovanie poľných plodín“ vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak hore uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre, 26. apríla 2011

.....

POĎAKOVANIE

Týmto sa chcem poďakovať Ing. Jane Galambošovej, MPhil., PhD. za odborné vedenie, cenné rady, usmerňovanie a pomoc pri písaní mojej diplomovej práce.

Obsah

Úvod.....	9
1 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky	10
1.1 Satelitná navigácia	10
1.1.1 Globálny navigačný satelitný systém – GNSS.....	10
1.1.2 GPS (Global positioning system).....	11
1.1.2.1 Diferenčný GPS (DGPS).....	12
1.1.3 Glonass	14
1.1.4 Galileo	15
1.1.5 Ďalšie satelitné systémy	20
1.2 Využitie satelitnej navigácie pri pestovaní poľných plodín.....	22
1.2.1 Ručné prijímače GPS	22
1.2.2 GPS v rámci presného poľnohospodárstva.....	23
1.2.3 Navigácia strojových súprav	24
1.2.4 GPS a CTF.....	27
1.3 Komerčne dostupné systémy.....	28
1.3.1 GreenStar od firmy John Deere.....	28
1.3.2 Trimble	32
1.3.3 AutoFarm a AG Leader.....	35
1.3.4 Navigácia TopCon.....	37
2 Cieľ práce.....	39
3 Metodika.....	40
3.1 Hodnotenie absolútnej a relatívnej presnosti	40
3.2 Hodnotenie vplyvu využívania satelitnej navigácie z pohľadu výkonnosti strojovej súpravy.....	41
4 Vlastná práca	43
4.1 Hodnotenie absolútnej a relatívnej presnosti	43
4.1.1 John Deere Autotrack Integrated.....	43
4.1.2 Trimble	44
4.2 Hodnotenie vplyvu využívania satelitnej navigácie z pohľadu výkonnosti strojovej súpravy.....	50
5 Diskusia	52

6	Návrh na využitie výsledkov	55
7	Záver	56
8	Použitá literatúra	57

Zoznam skratiek

CTF	Riadený pohyb strojov po poli
DGPS	Diferenčný globálny polohový systém
DSS	Decision support systems (Nástroj na podporu rozhodovania)
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service (Európska geostacionárna navigačná služba)
GLONASS	Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (ruský družicový navigačný systém)
GNSS	Globálny navigačný satelitný systém
GPS	Globálny polohový systém
RTK	Real time kinematics (korekčný signál s vysokou presnosťou)
SF	Star Fire (korekčný signál spoločnosti John Deere)

Úvod

Efektívne využívanie strojov pri poľných operáciách a efektívna aplikácia vstupov je základným predpokladom pre konkurencieschopnú výrobu poľných plodín. Za týmto účelom sa v súčasnosti do poľnej výroby implementujú moderné technológie, ako presné poľnohospodárstvo, systém riadeného pohybu strojov po poli a pod. Základným predpokladom je získavanie a využívanie informácií o geografickej polohe, čo umožňuje satelitná navigácia. Geograficky lokalizované informácie sa využívajú v systéme zberu úrody, hnojenia, spracovania pôdy, sejby. Najrozšírenejšou aplikáciou je satelitná navigácia strojových súprav. V súčasnosti je na trhu dostupných viacero systémov s rôznymi presnosťami a rôznym spôsobom riadenia stroja. So zvyšujúcou sa kvalitou korekčného signálu narastajú aj investičné, resp. prevádzkové náklady. Z tohto dôvodu je potrebné poznať požiadavky na presnosti satelitnej navigácie pre jednotlivé technologické zásahy, resp. pre jednotlivé technológie.

Predkladaná diplomová práca sa zaoberá problematikou hodnotenia absolútnej a relatívnej presnosti navigačných satelitných systémov implementovaných na poľnohospodárskych strojových súpravách.

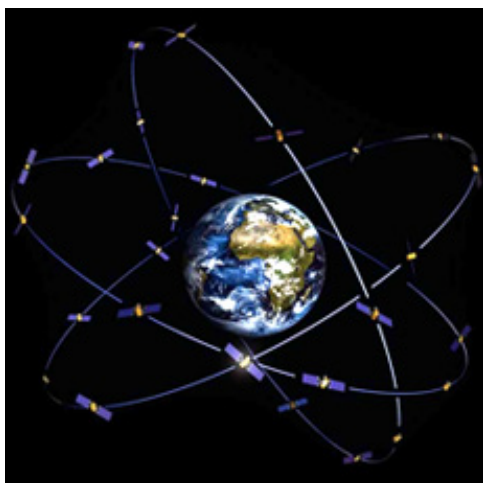
1 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

1.1 Satelitná navigácia

1.1.1 Globálny navigačný satelitný systém – GNSS

Jedným z prvých navigačných systémov, ktorý bol uvedený do prevádzky ešte počas II. Svetovej vojny (1940), bol systém LORAN (Long Range Navigation). LORAN bola rozvinutá a vylepšená americká verzia systému GEE (skratka z anglického "grid" a vysloveného písmena "G" v angličtine). GEE alebo AMES typ 7000 bol anglický rádiometrický systém používaný počas II. Svetovej vojny. Prvé verzie systému LORAN mali dosah 1930km. Systém LORAN bol intenzívne využívaný americkým a anglickým loďstvom.

Bol tiež známy pod skratkou "LRN" (Loomist Radio Navigation), pričom svoje



Obrázok 1-1 Satelity na obežnej dráhe (NASA, 2011)

pomenovanie získal po milionárovi a fyzikovi Alfredovi Lee Loomistovi, ktorý zohrával významnú úlohu vo vojenskom vývoji a výskume počas II. svetovej vojny. Systém vysielal pulzový rádiový signál z hlavných a vedľajších staníc. Navigačná metóda, ktorú poskytoval LORAN fungovala na princípe merania časového rozdielu medzi príjmom

signálu pre niekoľko dvojíc vysielačov a polohu prijímača bolo možné určiť s presnosťou 18 - 90m 95% času. Súčasná verzia tohto systému označovaná ako LORAN-C pracuje s nízkymi frekvenciami v pásme 90 – 110 kHz, okrem tejto verzie existovali aj verzie LORAN-A, LORAN-B, LORAN-D a neoficiálne aj LORAN-F (Švarda, 2007).

Globálny satelitný navigačný systém (GNSS) je štandardný všeobecný pojem pre satelitné navigačné systémy, ktoré zabezpečujú autonómne geo-priestorové polohy s globálnym pokrytím. GNSS umožňuje pomocou malých elektronických prijímačov

určiť ich polohu (zemepisná dĺžka, zemepisná šírka a nadmorská výška) s presnosťou na niekoľko metrov pomocou signálov prenášaných zo satelitov.

GNSS-1 je prvá generácia systému a je kombináciou existujúcich systémov satelitnej navigácie (GPS a GLONASS), a so satelitnými rozširujúcimi systémami (SBAS) alebo pozemných systémov rozširujúcich služieb (GBAS). V Spojených štátoch je satelitnou zložkou Wide Area Augmentation System rozširujúci systém (WAAS), v Európe je Európsky geostacionárne navigačný systém European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS).

GNSS-2 je druhou generáciou systémov, ktoré samostatne poskytujú komplexný civilný satelitný navigačný systém. Patrí sem Európsky polohovací systém Galileo. Tieto systémy poskytujú presnosť a integritu na monitorovanie potrebné pre občiansku navigáciu.

Global Positioning System, zvyčajne nazývaný GPS (oficiálne označovaný ako NAVSTAR GPS - NAVigation Signal for Timing And Ranging), je jediný satelitný navigačný systém ktorý je globálne používaný na zistenie presnej pozície a poskytujúci veľmi presnú časovú referenciu. Je schopný poskytovať údaje o polohe nezávisle na počasi 24 hodín denne. Ide o pasívny družicový dĺžkomerný systém. Cieľom prevádzkovateľa tohto systému, Ministerstva obrany USA, pôvodne bolo, aby vojenské jednotky mohli presne určovať polohu, rýchlosť a čas v jednotnom referenčnom systéme. Z uvedeného vyplýva, že systém bol vyvíjaný najmä pre vojenské účely, ale americký kongres neskôr schválil jeho využitie s určitými obmedzeniami aj pre civilný sektor (Nozdrovický, 2011).

1.1.2 GPS (Global positioning system)

Kozmická zložka GPS systému je tvorená sústavou družíc, rozmiestnených na šiestych obežných dráhach vysielajúcich navigačné signály. Ako bolo spomenuté už skôr, systém je tvorený 24 družicami z ktorých je 21 navigačných a tri sú aktívne záložné. Družice obiehajú vo výške 20 200 km nad povrchom a rovnakú vzájomnú polohu nad daným bodom zopakujú za 11 h 58 min. Každá družica je vybavená prijímacou a vysielacou anténou, atómovými hodinami, palivom pre trysky pohonu, akumulátormi ktoré majú k dispozícii solárne panely s plochou 7,2 m² a radom ďalších prístrojov, ktoré slúžia pre navigáciu alebo iné špeciálne účely (napr. pre detekciu

výbuchu jadrových náloží). Družica prijíma, spracováva, uchováva a vysiela informácie z/do pozemného riadiaceho centra, na základe ktorých môže korigovať svoju dráhu tryskami, alebo informuje o svojom stave riadiace centrum. Družice bloku II sú vybavené ochranou proti elektromagnetickému impulzu pri jadrovom výbuchu. Každá z družíc váži približne 900 kg a cena jednej je odhadovaná na približne 50 miliónov dolárov. Riadiaca zložka je zodpovedná za plynulý chod celého systému. Táto zložka je tvorená systémom hlavnej riadiacej stanice, štyroch monitorovacích pozemných staníc umiestnených v rôznych častiach sveta a troch vysielacích staníc, ktoré komunikujú s družicami. Hlavná riadiaca stanica (MCS - Master Station Control) je umiestnená v opevnenom bunkri v Skalistých horách blízko leteckej základni Falcon v Colorade a má špeciálnu ochranu. Monitorovacie stanice pasívne sledujú družice, prijímajú ich dáta, a tieto predávajú MCS. Tu sú na základe prijatých dát vypočítané presné parametre obežných dráh (efemeridy) a korekcie hodín pre jednotlivé družice. Vysielacie stanice potom tieto parametre minimálne raz denne odovzdajú družiciam. Tie potom vysielajú pomocou rádiových signálov efemeridy svojich obežných dráh a presný čas užívateľom do GPS prijímačov.

Užívateľská zložka je tvorená GPS prijímačmi, užívateľmi samotnými, vyhodnocovacími nástrojmi a postupmi potrebnými k vyhodnoteniu meraní. GPS prijímače vykonávajú na základe prijatých signálov z družíc predbežné výpočty polohy, rýchlosti a času. Pre výpočet všetkých štyroch súradníc je potrebné prijímať signály aspoň zo štyroch družíc. Prijímače sa delia na jednokanálové a viackanálové. Jednokanálové prijímače sú vybavené len jedným vstupným kanálom, takže pri sledovaní viacerých družíc musia postupne prepínať tento vstupný kanál na jednotlivé družice. Viackanálové prijímače majú dostatočný počet vstupných kanálov, aby mohli súčasne sledovať všetky dostupné družice a tým zvyšovať presnosť výpočtu. Jednou zo základných úloh GPS je navigácia v trojrozmernom priestore. V poslednom čase nastal prudký rozvoj výroby GPS prijímačov v ručnom prevedení, ktorý by sa dal porovnať s rozvojom mobilnej komunikácie v posledných piatich rokoch (Nozdrovický, 2011).

1.1.2.1 Diferenčný GPS (DGPS)

Diferenčný prijímač GPS pri svojich meraniach využíva skutočnosť, že ak dva prijímače GPS v rovnakom čase vykonávajú merania vzdialenosti k družiciam (určujú svoju polohu) a sú navzájom vzdialené tak, že sa dá povedať, že na meranie vzdialenosti využívajú tie isté družice (to platí asi do vzdialenosti 200 km), platí že:

signály od družíc prichádzajú k prijímačom po takmer identických dráhach a teda sú zaťažené takmer identickou chybou spôsobenou prechodom signálu vrstvami atmosféry, obidva prijímače budú (keďže na meranie používali identické družice a v rovnakom čase) zaťažené rovnakou chybou zámerného znepresnenia (pre obidva prijímače sa vysiela rovnaký kód C/A).

Ak sa použijú merania vykonané týmito prijímačmi na určenie ich vzájomnej vzdialenosti, chyby obidvoch prijímačov sa vyrušia a takto získaná hodnota vzdialenosti je presnejšia. Ak je navyše jeden z prijímačov referenčný (je známa jeho presná poloha), potom je možné v každom časovom okamihu merania z rozdielu skutočnej a nameranej polohy určiť chybu merania referenčného prijímača. Hodnotu tejto chyby je potom možné použiť na spresnenie meraní polohy iných prijímačov nachádzajúcich sa v okolí tohto prijímača (200 km).

Prijímače DGPS umožňujú týmto spôsobom spresňovať merania iných prijímačov v reálnom čase. Práve pre túto vlastnosť sa DGPS používajú predovšetkým na navigáciu. **(Nozdrovický, 2011)**

EGNOS je spoločný projekt ESA, Európskej agentúry a Európskej organizácie pre bezpečnosť vzdušnej navigácie. Je to prvý stupeň Európskeho globálneho navigačného systému, označovaný ako GNSS-1. Rozširuje existujúce systémy GPS a GLONASS. Projekt začal v roku 1996. Je predchodca Galilea, označovaného ako GNSS-2. Úlohou EGNOS-u je poskytovanie garantovanej navigačnej služby založenej na navigačných systémoch GPS a GLONASS so zabezpečením vysokej presnosti, integrity a dostupnosti. Vesmírny segment EGNOS-u pozostáva z troch geostacionárnych družíc. Inmarsat III pre východnú časť Atlantického oceánu, Inmarsat III pre oblasť Indického oceánu a nový ESA telekomunikačný satelit Artemis. Navyše spracováva signály z GPS a GLONASS družíc. Pozemný segment pozostáva zo siete monitorovacích staníc RIMS, napojených na hlavné kontrolné centrá. RIMS sú prevažne umiestnené v Európe. Egnos bol spustený do testovacej prevádzky v roku 2004 a dnes je plne dostupný. **(VUS, 2011)**

1.1.3 Glonass

GLONASS (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система) je ruský družicový navigačný systém.

Nosným prvkom systému je 24 družíc, krúžiacich nad povrchom Zeme na troch orbitálnych dráhach so sklonom $64,8^\circ$, a výškou 19100 km.

Pri aktivácii jestvujúcich 18 družíc na obežnej dráhe, systém zabezpečuje plnú navigačnú dostupnosť na celom území Ruska so 100% pokrytím. Na ostatných častiach Zeme pri tomto pokrytí je možná dostupnosť polovičná. Plná dostupnosť na celej zemi je s 21 družicami a tromi záložnými.

Princíp merania polohy je analogický s americkým systémom GPS (NAVSTAR) prvá družica systému GLONASS bola vypustená na orbitálnu dráhu zeme v ZSSR dňa 12. októbra 1982. 24. septembra bol komplet družicového navigačného systému spustený oficiálne do prevádzky.



Obrázok 1-2 Družica Glonass (Google, 2011)

Podľa vyhlásení hlavného konštruktéra ruského navigačného systému GLONASS Juraja Urličiča, by mal systém dosiahnuť globálny dosah do začiatku roku 2010.

Činnosť zariadenia.

Družicový navigačný systém GLONASS nepretržite vysiela navigačné signály dvoch typov:

1. navigačný signál štandardnej presnosti (стандартной точности (ST) v prenosovom pásme L1 (frekvencia 1,6GHz), táto informácia je dostupná všetkým používateľom na miestnej aj svetovej úrovni a zabezpečuje pri prevádzke prijímačov systému GLONASS možnosti prijímania:

- horizontálne súradnice s presnosťou 50-70 m (pravdepodobnosť 99,7%);
- vertikálnych súradníc s presnosťou 70 m (pravdepodobnosť 99,7%);
- výpočet vektoru rýchlosti s presnosťou 0,15 m/s (pravdepodobnosť 99,7%)
- časového signálu s presnosťou 0,7 μ s (pravdepodobnosť 99,7%).

Tieto presnosti je prirodzene možno zlepšiť použitím diferenciálnej metódy merania súradníc, alebo doplnením špeciálnymi metódami merania polohy v priestore.

2. navigačný signál vysokej presnosti (высокой точности (VT) v prenosovom pásme L1 a L2 (frekvencia 1,2GHz). Navigačný signál VT je hlavne určený pre potreby Ministerstva obrany ruskej federácie a jeho neobmedzovaná prevádzka nie je v súčasnosti uvoľnená. Uvoľnenia signálu VT pre oblasť civilného využitia je v súčasnosti v štádiu rokovaní.

K získaniu priestorových súradníc a časového signálu s požadovanou presnosťou je potrebné prijať a spracovať navigačné signály od minimálne štyroch družíc systému GLONASS. Pri prijímaní navigačných rádiových signálov prijímačom sú využité známe rádiotechnické metódy merania vzdialenosti od viditeľných družíc pri známej rýchlosti šírenia signálu.

Súčasne s prijímaním signálu a zistením vzdialenosti družice, prijímač automaticky vykoná operácie dekódovania časových značiek a kódovanej informácie o polohe družice, z ktorej bol signál prijatý. Kódovaná informácia (číslícová) opisuje polohu danej družice v priestore a čase (efemeridy), v základe zviazanou s pravouhlým súradnicovým systémom. Okrem toho signál obsahuje polohy ostatných družíc systému (almanach) z pohľadu keplerovských parametrov orbít a obsahuje niektoré ďalšie dôležité parametre.

Výsledky merania a údaje v kódovanej informácii predstavujú vstupné dáta pre výpočet navigačnej úlohy k získaniu zemepisných súradníc a parametrov pohybu. Navigačné výpočty sú riešené automaticky v číslicovom počítači zariadenia prijímača, pri tom je použitá aproximačná metóda najmenších štvorcov. Výsledkom výpočtov sú tri súradnice polohopisné, rýchlosť zariadenia s prijímačom a časová synchronizácia na vysoko presný čas. (Nozdrovický, 2011)

1.1.4 Galileo

Počiatkom 90-tych rokov zvažovala Európska Únia svoj postoj k vytvoreniu vlastného polohového systému. Bola vypracovaná analýza existujúcich navigačných systémov a možnosti ich využitia pre Európu. Na jej základe bolo uvažovaných viacero variantov. Prvý variant, ktorý je označovaný ako EGNOS, alebo GNSS-1, spočíval v orientácii na existujúce systémy GPS a GLONASS, v ich dobudovaní a spoločnom

využívaní. Systém EGNOS sa začal budovať, ale pretože sa začal klásť veľký význam na to, aby to bol systém nezávislý od akéhokoľvek štátu a armády, pristúpilo sa k druhému variantu, GNSS-2. V tomto období sa ešte nehovorilo konkrétne o systéme Galileo, ale cieľ bol vybudovať vlastný civilný navigačný systém. Dňa 17. júna 1999 vydala Európska dopravná rada ETC (kolektívny orgán európskych ministrov dopravy), na odporúčanie Európskej únie (EU) a Európskej vesmírnej agentúry (ESA) rozhodnutie, na základe ktorého sa začalo s prípravnou fázou projektu Galileo. Do vývoja bolo zapojených mnoho spoločností a vedeckých inštitúcií s cieľom definovať základné časti tohto projektu. Táto prípravná fáza pozostávala z viacerých projektov:

- GALA – definuje celkovú štruktúru a architektúru
- GEMINUS – vznikla na podporu služieb definovaných Galileom
- INTEG – na integrovanie systému EGNOS do Galilea
- SAGA – na podporu štandardizácie systému Galileo
- GalileoSat – na definíciu vesmírneho segmentu systému
- GUST – na špecifikáciu a certifikáciu prijímačov pre systém Galileo
- SARGAL – možnosť využitia záchranného systému SAR pomocou družíc



Obrázok 1-3 Družica Galileo (google, 2011)

Ako nutné požiadavky pre projekt boli vyšpecifikované požiadavky na prenos v určení polohy s polomerom pod 10 m v 95% času. Garancia presnosti času 33 nanosekúnd s 95% istotou. Celosvetová dostupnosť systému má byť nepretržitá v 99,7% času . Vybudovanie kompletného systému Galileo a spustenie do komerčnej prevádzky sa plánuje v roku 2011. Celý projekt bude pozostávať z troch fáz:

1. definícia systému (2003 - 2006)
2. vývoj systému (2006 - 2008)
3. rozmiestnenie a komerčná prevádzka (2008-2011)

Definícia systému

Na základe projektov, ktoré vznikli v prípravnej fáze, za účasti členských štátov EU a súkromných investorov vznikol obraz budúceho systému:

- architektúra lokálnych komponentov,
- prispôsobenie systému potrebám užívateľa,
- spolupráca Galilea a iných systémov (GNSS, GSM/UMTS ...),
- koordinácia a ochrana frekvencií používaných Galileom,
- štandardizácia a certifikácia,
- definícia právneho a regulačného rámca (**ESA, 2011**).

Vývoj systému

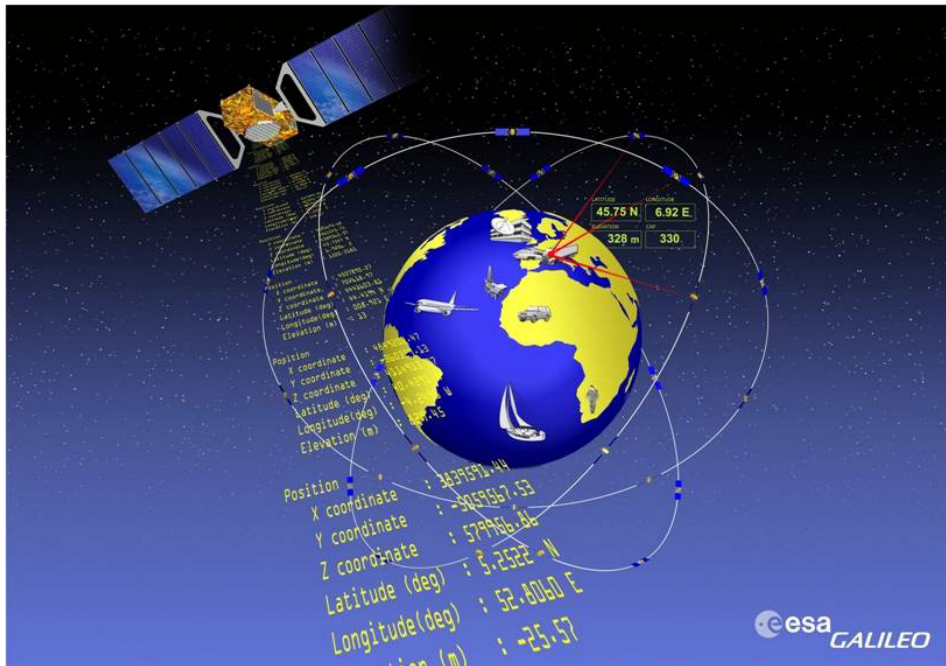
Fáza vývoja a overovania teoretických predpokladov obsahuje podrobný popis a následnú výrobu a stavbu viacerých prvkov sústavy: družice, pozemné stanice, užívateľské prijímače. Toto si bude vyžadovať vypustenie prototypov družíc a vybudovanie časti pozemských monitorovacích centier a infraštruktúry. Zároveň bude možný vývoj prijímačov a testovanie frekvencií, pridelených Medzinárodným telekomunikačným úradom. Táto fáza je riadená spoločnosťou Galileo Joint Undertaking. Financovanie bude realizované z verejných zdrojov.

Rozmiestnenie a komerčná prevádzka

Fáza rozmiestnenia družíc na orbity bude závislá na predchádzajúcom overovaní a testovaní, ale predpokladá sa postupné vypúšťanie družíc na obežnú dráhu plynule od roku 2006 a posledná družica má by vypustená a systém sprístupnený pre verejné používanie v roku 2009. Financovanie tejto časti projektu bude realizované z verejných aj súkromných zdrojov. Po spustení projektu majú byť náklady hradené iba z príjmov za poskytované služby.

Cena systému

Prvý stanovený rozpočet predstavoval 740 mil. €. Hraničná cena pre celý systém bola definovaná na menej ako 3 mld. €, čo predstavuje náklady rovnajúce sa približne výstavbe 150 km úseku diaľnice. Neskoršie štúdie ukázali, že táto cena nebude konečná, celkový odhad je asi 3,4 mld. €.



Obrázok 1-4 Satelitný systém Galileo (esa, 2011)

Systém Galileo sa bude skladať zo štyroch hlavných súčastí, tzv. komponentov.

Globálny komponent – zahrňuje kozmický a pozemný riadiaci segment. Globálny komponent zahrňuje vesmírny a pozemný segment. Vesmírny segment systému Galileo bude pozostávať z 30 družíc v troch pravidelných obežných dráhach. V každej dráhe bude 10 družíc, z toho jedna bude aktívna záloha. Sklon dráh družíc voči rovníku bude 56° , čo zabezpečí dobrý príjem signálu aj v severských častiach Európy. Družice sa budú pohybovať vo výške približne 23 616 km nad povrchom Zeme. Jedna perióda bude trvať 14h 4min a konfigurácia sa zopakuje raz za 10 dní.

Regionálny komponent – bude poskytovať nezávislé informácie o integrite signálov Galilea. Tieto informácie budú prístupné regionálnemu poskytovateľovi tejto služby a budú šírené prostredníctvom špeciálnych autorizovaných kanálov. Týchto kanálov je v systéme Galileo definovaných 8, tzn. že na svete môže byť definovaných až 8 nezávislých regiónov s **Lokálny komponent** – má za úlohu ďalej skvalitňovať služby poskytované regionálnymi komponentmi.

Bude poskytovať, kde to bude potrebné, zvýšený výkon systému a možnosť kombinácie Galilea s inými systémami GNSS, pozemnými polohovými systémami a komunikačnými systémami na miestnom základe. Na šírenie informácií budú využívané predovšetkým existujúce pozemné komunikačné systémy. Toto umožní ďalšie zvýšenie presnosti a integrity v okolí letísk, prístavov, veľkých vodných nádrží a v husto

zastavaných oblastiach. Vzhľadom na štyri kategórie služieb Galilea budú vytvorené tieto prvky:

Presné navigačné prvky (Local Precision Navigation Elements) budú poskytovať signály miestnych diferenčných korekcií (napr. vysielaním dát prostredníctvom rádia, alebo GSM)

Navigačné prvky s miestnou podporou (Locally Assisted Navigation Elements) môžu byť použité na jedno alebo dvojcestnú komunikáciu (napr. pomocou GSM alebo UMTS) ako pomoc pre používateľov prijímačov pri určovaní polohy v ťažkých prírodných podmienkach

Miestne rozšírenie navigačných prvkov (Local Augmented-Availability Navigation Elements). Miestne stanice vysielajúce podobný signál ako satelity Galilea, tzv. pseudolity, sa použijú tam, kde bude potrebné zvýšiť dostupnosť ľubovoľnej služby Galilea v definovanom priestore. Zvýšenie presnosti nastane zlepšením geometrie spôsobeným vhodným umiestnením pseudolitu.

Užívateľský komponent - hlavný dôraz je kladený na to, aby mali prijímače konkurencie schopný výkon a náklady porovnateľné s ostatnými systémami ako aj potreba prispôsobenia sa k novým potrebám užívateľov a možnosť multimodálneho využitia (možnosť spracovávať viacero rôznych signálov spolu).

Pozemný riadiaci segment pozostáva z nasledujúcich súčastí :

- TT&C staníc (Tracking, Telemetry & Command) ktoré budú mať za úlohu komunikáciu s družicami
- 9 ULS staníc (Up-link stations) tieto vysielacie stanice budú vysielat' do družíc navigačné správy
- 30 staníc GSS (Galileo Sensor stations), ktoré budú preberat' signály z družíc pre kontrolu integrity a časovej synchronizácie, rovnomerne rozmiestnených po povrchu Zeme
- 2 pozemných monitorovacích centier GCC (Ground Control centres)
- ďalšie lokálne segmenty pre miestne rozšírenie integrity, presnosti, dostupnosti a kontinuity signálu, závislé od vyžadovaných podmienok (Molenaar, 2007).

1.1.5 Ďalšie satelitné systémy

Čína začala s vlastným projektom Beidou (v preklade Veľký voz) už v roku 1983, keď vznikli prvé požiadavky na vznik navigačného systému. Vtedajší Twinsat regional navigation system mal pozostávať z dvoch geostacionárnych satelitov. Tento koncept prešiel testovacou fázou a ukázal, že presnosť Twinsat systému je porovnateľná s GPS. Po úspešnom otestovaní bol v roku 1993 oficiálne spustený program Beidou, ktorý mal vo finálnej fáze pozostávať zo štyroch geostacionárnych družíc, dvoch aktívnych a dvoch záložných. Tie sa nachádzajú vo výške približne 35 700 km.

Pre porovnanie, družice GPS obiehajú zem vo výške 20 200 kilometrov, Glonassu 19 100 kilometrov a Galilea 23 222 kilometrov.

V roku 2000 boli na obežnú dráhu vypustené satelity Beidou 1A a Beidou 1B, 1C v roku 2003 a 1D vo februári roku 2009. Systém pozostávajúci zo štyroch satelitov funguje vo fáze Beidou-1 a jeho pokrytie zaberá iba Čínu a najbližšie oblasti.



Obrázok 1-5 Princíp Čínskeho Beidou (Google, 2011)

Do budúcnosti plánuje Čína pretvoriť regionálny systém Beidou-1 na globálny Beidou-2 alebo Compass. Ten má využívať až 35 satelitov. Pre civilné účely má byť systém prístupný s presnosťou 10 metrov. Prvé dve družice pre projekt Beidou-2 boli vypustené začiatkom tohto roka. Napriek svojmu vlastnému perspektívnemu systému si Čína necháva dvere otvorené rôznymi smermi. V roku 2003 sa pripojila k

európskemu projektu Galileo a zaviazala sa počas nasledujúcich rokov preinvestovať 230 miliónov eur.



Obrázok 1-6 Indický satelitný systém (Mobilmania, 2009)

India vyvíja vlastný navigačný systém IRNSS (Indian Regional Navigational Satellite System), napriek podieľaniu sa na ruskom GLONASSe. Ten na rozdiel od spomínaných amerických a ruských systémov nemá pôsobiť globálne, ale už ako názov napovedá, iba v príslušnom regióne. IRNSS má pokryť celú Indiu a okruh vo vzdialenosti od 1500 do 2000 km. IRNSS je pomerne čerstvou záležitosťou; indická vláda schválila projekt iba v máji 2006 s cieľom realizovať projekt do siedmich rokov. Zápal pre vesmírne projekty v Indii naberá na obrátkach. Navigačnému systému IRNSS má sekundovať korekčný GAGAN (GPS Aided Geo Augmented Navigation), ktorý sa má stať obdobou európskeho EGNOSu alebo amerického WAASu. Samozrejme bude kompatibilný s GPS a pravdepodobne aj s WASSom a európskym Galileom. Ako demonštráciu vlastnej technickej vyspelosti plánuje India v tomto projekte využiť moderné satelity GSAT-4, ktoré pochádzajú z dielne tamojších inžinierov (Mobilmania, 2009).

1.2 Využitie satelitnej navigácie pri pestovaní poľných plodín

Presné určovanie polohy je možno využiť pre veľké množstvo operácií priamo pri pestovaní poľných plodín i pre vytvorenie informačných systémov slúžiacich pre podporu rozhodovania (DSS – decision support systems) Systém GPS sa v súčasnej dobe využíva pre manuálne a automatické navádzanie poľnohospodárskych strojov pri pohybe po poliach (aplikácie agrochemikálií, spracovanie pôdy, mechanickej kultivácie, siatí, zbere...), pri variabilnej aplikácii hnojív a pesticídov a pri siatí s variabilným výsevom a ďalej pri zhromažďovaní dát a mapovaní („field scouting“, hranice pozemkov, výmery, vzdialenosti, prekážky na pozemkoch, cesty a ďalšie bodové, čiarové a plošné prvky) (Milata, 2006).

1.2.1 Ručné prijímače GPS



Obrázok 1-7 Ručný navigačný prístroj GARMIN

Globálne navigačné systémy si našli svoje uplatnenie aj v oblasti merania pozemkov kvôli presnému určeniu polohy a rozlohy danej parcely. Hlavné dôvody týchto meraní sú agrodotácie, ktoré podniky a poľnohospodári čerpajú z Európskej únie.

Na tieto účely sa využívajú ručné GPS prístroje, najlepšie vybavené s čo najcitlivejším prijímačom napr. SiRF III, a najväčším počtom kanálov a najlepšie s korekčným signálom

RTK cez mobilnú GPRS sieť. Najviac rozšírené sú ručné prístroje od Americkej firmy Garmin poprípade veľmi rozšírené meracie prístroje LEICA, ktoré majú aj Slovenský kontrolóri dotácií.

Princíp merania rozlohy týmto prístrojom je veľmi jednoduchý, stačí obísť okrajom celého poľa a vrátiť sa na miesto, kde sa meranie začínalo a potom už len vyhodnotiť dáta. Všetky tieto informácie sa dajú z prístroja stiahnuť, následne vložiť ich do počítača a robiť si tak kompletnú dokumentáciu. Prístroj dokáže zaznamenávať aj nadmorskú výšku, čiže sa dajú vyhodnotiť aj úrovne svahovitosti.

1.2.2 GPS v rámci presného poľnohospodárstva.

Presné poľnohospodárstvo (Precision Farming, Precision Agriculture resp. Site-specific Farming) je dôležitý prostriedok umožňujúci efektívne využívať vstupy vynakladané v rastlinnej výrobe v jednotlivých technologických operáciách. Celý systém presného poľnohospodárstva sa opiera o presne definovaný systém informácií, ktoré sú vzťahované k špecifickému miestu v rámci pozemku. Základným cieľom presného poľnohospodárstva je efektívne využitie potenciálu pôdnych podmienok v rámci daného pozemku (**Nozdrovický a Kavka, 2006**).

Presné poľnohospodárstvo možno jednoducho považovať za metódu hospodárenia, ktorá umožňuje efektívne a aktívne rozhodovať v premenlivých podmienkach našich polí. Zohľadňovanie variabilných podmienok, ktoré sa vyskytujú na poliach (priestorovo premenlivá úroda, štruktúra pôdy, vlhkosť alebo sklon pozemku) umožňuje optimalizovať vynakladané vstupy a maximalizovať dosahované výstupy. Umožňuje znížiť množstvo aplikovaných vstupov alebo ich aplikovať s variabilnou dávkou a dosiahnuť vyššie výnosy. Presnejšou aplikáciou hnojív a pesticídov je lepšie chrániť životné prostredie, ďalšie prínosy je možné vidieť taktiež v dôsledne vedenej dokumentácii (**John Deere, 2006, a Nozdrovický 2005**).

Problematika presného poľnohospodárstva v sebe integruje prelínanie informatiky, nových technológií a snahy obstať v konkurencii súčasnej výroby. Snaha zaviesť vo svojom podniku presné hospodárenie predpokladá predovšetkým nájsť silu "chcieť byť dokonale informovaný" - teda zaviesť systém presného sledovania výrobného procesu. Takáto snaha nemusí byť okamžite spojená s veľkou investíciou do elektronických monitorovacích a riadiacich prvkov. V počiatočných krokoch je potrebné orientovať svoje úsilie aj na vzdelávanie ľudí (**Rataj, 2000**).

Podľa **Nozdrovického (2005)** možno zložky presného hospodárenia na pôde definovať nasledovnými atribútmi:

- určovanie geografickej polohy mobilných a stacionárnych objektov,
- mapovanie stavu pôdneho prostredia,
- mapovanie stavu pôdneho porastu (výskyt burín, chorôb a škodcov), využívanie technológie polohovo premenlivého dávkovania hlavných vstupov (hnojív a pesticídov)
- mapovanie úrody poľných plodín,
- zhromažďovanie časovo dlhodobých záznamov a informácií,

- využívanie expertných systémov a databáz znalostí pre podporu rozhodovania.

Nevyhnutnou súčasťou každého kroku v tomto systéme je informácia o geografickej polohe. Každá informácia (zberaná, vyhodnocovaná a analyzovaná) má svoju presnú geografickú lokalizáciu.



Obrázok 1-8 Systém monitorovania úrody, snímač hmotnostného toku zrna a snímač vlhkosti zrna od John Deere (2011)

1.2.3 Navigácia strojových súprav

Navigácia strojových súprav sa využíva v poľnohospodárskej výrobe pri pestovaní poľných plodín. Základné komponenty zariadení na navigáciu sú: prijímač (anténa), riadiaca jednotka, operačný display, prípadne systém asistovaného alebo automatického riadenia (Autopilot).



Obrázok 1-9 Satelitná navigácia v praxi (JD, 2011)

Využívanie satelitnej navigácie prináša nasledovné výhody (**Kukučka, 2008**):

- Efektívnejšie využívanie priemyselných hnojív, pesticídov a pod., čo môže podniku ušetriť nemalé finančné prostriedky, ktoré môže investovať do iných častí odvetvia.
- Nižšia spotreba paliva o 4-5%
- Úspora mzdových nákladov 10-15%
- Predĺženie pracovnej zmeny vďaka presnému navádzaniu aj v noci
- Zníženie únavy obsluhy uľahčením práce a zvýšením pracovného komfortu
- Univerzálnosť použitia, teda možnosť prenášať komponenty systému na iné stroje aj iných značiek

Spôsoby akými sa dá navigácia používať, nie sú nikde limitované a záleží na obsluhu akým spôsobom si zvolí dané pole obrábať. Či už sa jedná o klasický rovný smer, zákruty alebo elipsoidy, toto všetko je možné a plne k dispozícii. (**Stombaugh, 2007**)

Pri určovaní polohy GPS prijímačom sú ďalšie chyby vnášaná **nepresnosťou hodín a zaokrúhľovaním**. Napriek synchronizácii hodín na prijímači s časom na satelite predstavuje ich nepresnosť chybu približne 2m. Zaokrúhľovanie a chyby výpočtu vnášajú chybu do 1m.

Ďalšie chyby určovania polohy GPS prijímačmi majú svoje vysvetlenie v teórii relativity. Tieto však predstavujú veľmi nízke hodnoty.

Ako vyplýva z uvedeného, výsledná chyba prijímača GPS signálu je tvorená viacerými zložkami (tab.), pričom predstavuje nepresnosť $\pm 15\text{m}$. Jednotlivé hodnoty nie sú konštantné, ale sa menia. Uvedené hodnoty sú približné.

Je dôležité si uvedomiť, že pri hodnotení presnosti GPS signálu (respektíve určovania polohy GPS prijímačom) možno hovoriť o dvoch typoch presností. Ide o tzv. **„pass to pass“ (relatívnu)** presnosť, ktorá udáva presnosť určenia geografickej polohy vzhľadom na predchádzajúcu polohu s predpokladom, že nasledujúca jazda (resp. určovanie polohy) je v časovom horizonte do 15 minút.

Opakované určenie geografickej polohy (zameranie daného bodu a podobne), t.j **absolútna presnosť je vždy nižšia.**

Pri využívaní GPS prijímačov je potrebné tieto skutočnosti zohľadniť.

Tabuľka 1-10 Hodnoty HDOP a počet satelitov

Zdroj chyby	Chyba (v metroch)
Ionosférický efekt	±5
Posun obežných dráh satelitov	±2,5
Chyba hodín satelitu	±2
Viaccestný efekt	±1
Troposférický efekt	±0,5
Výpočet a zaokrúhľovanie	±1

V súčasnosti je možné riadiť strojové súpravy tromi spôsobmi:

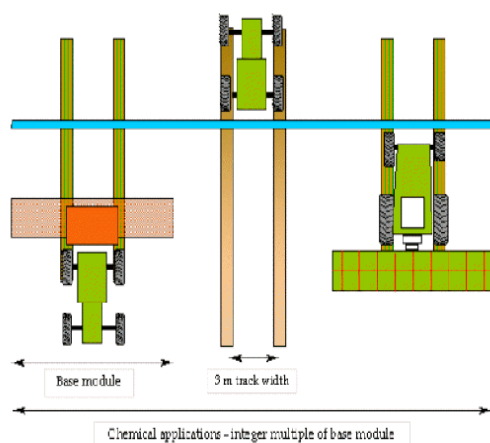
- **Manuálne** – operátor riadi stroj na základe zobrazovacích prvkov na monitore navigačného zariadenia,
- **Systém asistovaného riadenia** – zariadenie otáča volantom a tým sa zásadne znižuje únava operátora,
- **Systém automatického riadenia (autopilotom)** – systém je pripojený na hydrauliku riadenia poľnohospodárskeho stroja a s použitím GPS údajov riadi stroj automaticky, presne po požadovanej dráhe. Aj tu môžu byť využité rôzne úrovne presnosti riadenia stroja. Najčastejšie sú však autopiloty využívané so systémom RTK. (Nozdrovický 2008)



Obrázok 1-11 Spôsoby navádzacích kriviek (AG Leader, 2011)

1.2.4 GPS a CTF

Pri technológii riadeného pohybu strojov po poli sa zhutnenie obmedzuje na veľmi malú vopred určenú plochu pozemku. Táto plocha môže byť znížená z takmer 127 % pri neriadenom pohybe strojov na 33 – 5 % v závislosti od stupňa CTF, ktorý farmár využíva. Systém (na základe zosúladenia záberov strojov resp. rozchodov kolies) využíva spoločné koľaje počas všetkých operácií. Nevyhnutnou podmienkou je potom udržanie strojov v daných koľajach, čo umožňujú systémy navádzania strojov. Vzhľadom na možnosť využiť satelitnú navigáciu sa táto technológia stala dostupnou aj pre väčšie pozemky (Havránková, 2007).



Obrázok 1-12 Obrázok znázorňujúci zladenie záberov (CTF, 2009)

Vhodnou agrotechnickou operáciou a zvolením správneho stroja, sa dajú získať optimálne výsledky. V praxi to znamená opakované použitie toho istého prejazdu dráhy pre každú operáciu a najideálnejšie je, aby mali všetky tieto stroje rovnaký rozchod kolies a pre všetky nastaviť špecifický záber, určiť základný modul ideálneho záberu alebo násobok tohto záberu. Percentuálny podiel oblasti bez utlačenia prejazdmi môže byť zredukovaný na 30 - 40% dokonca s dvoma odlišnými dráhami. Obrázok (1-11) ukazuje ako sa dá optimalizovať technológia CTF zvolená zo sejačky, žacieho kombajnu a postrekovača..

1.3 Komerčne dostupné systémy

1.3.1 GreenStar od firmy John Deere

StarFire iTC DGPS prijímač s integrovaným snímačom sklonu.

Hlavou časťou prijímača StarFire iTC je integrovaný snímač sklonu, automaticky kompenzuje všetky polohy, upravuje prijaté výpočty z družice, zabezpečuje kompenzáciu nerovností a bočných sklonov na poli.



Obrázok 1-13 Obrázok znázorňujúci korekciu sklonu (JD, 2010)

Voliteľná presnosť

Prijímač StarFire iTC, je kompatibilný so všetkými tromi možnými satelitnými signálmi, ktoré sú v tejto dobe využívané. Je možné využívať všetky 3 úrovne presnosti (SF1, SF2, RTK) (obr. 1-13). Pomocou prijímaču sa dá navádzať buď manuálne (Parallel Tracking) alebo plne automaticky s najmodernejším systémom AutoTrack a AutoTrack Universal.

Porovnanie presnosti signálov John Deere pre navádzanie strojov†		
RTK		
	SF2	
		SF1
2 cm	10 cm	30 cm

† Merané na prijímači *95 %-ná presnosť nadväznosti susedných jazd počas 15 minút času práce

Obrázok 1-14 Presnosti signálov(JD,2010)



Obrázok 1-15 Vľavo zostava komponentov pri najlacnejšom riešení, vpravo pri RTK systéme

Signál SF1 (presnosť +/- 30cm) je bezplatný signál diferenciálnych korekcií.

Je vhodný pre:

- prípravu pôdy,
- postrek,
- použitie na pastvinách, napr. rozmetanie hnoja alebo hnojiva .

Medzi prínosy patrí:

- Eliminácia prekrývania
- Zníženie vstupných nákladov
- Vyšší komfort obsluhy
- Vyššia výkonnosť súprav na poli
- Znížená spotreba paliva

Signál SF2 (presnosť +/- 10 cm)je vhodný pre:

- Kombajnový zber
- Postrek/Hnojenie
- Siatie/Výsadbu
- Kosenie tráv

Medzi prínosy patrí:

- Siatie bez značkovačov
- Zníženie vstupných nákladov
- Eliminácia prekrývania
- Vyšší komfort obsluhy
- Vyššia plošná výkonnosť
- Zníženie spotreby paliva

Signál RTK má opakovateľnú presnosť +/- 2 cm (obr. 1-15). Systém RTK sa skladá z lokálnej základnej stanice (RS- Referenčná stanica) umiestnenej na poli alebo v jeho blízkosti, ktorá prostredníctvom RTK vysielača vysiela prístroju StarFire iTC na vozidle vybaveným RTK korekciám. Základná stanica sleduje postavenie GPS satelitov a priebežne vypočítava pozície.. Je vhodný pre:

- Siatie riadkovaných plodín
- Pásová ochrana rastlín (plečkovanie...)
- Riadenie postrekov a akúkoľvek činnosť súvisiacu s riadeným chodom



Obrázok 1-16 RTK stanica na poli (JD, 2010)

Medzi prínosy patrí:

- Vysoká presnosť, opakovateľné navádzanie
- Jediná základná stanica pre viac strojov
- RTK sieť
- Pozitívny dopad na produktivitu a efektivitu
- Nižšie utlačanie pôdy

Pretože základná stanica pozná presnú geografickú polohu, je možné stanoviť chyby v reálnom čase. Táto chyba je potom pomocou RTK vysielača vyslaná vozidlu, kde prijímač vozidla tuto informáciu použije k vypočítaniu vysoko presnej, opravenej pozície.

Funkcia **RTK Extend** (obr. 1-16) udržuje systém RTK v plnej činnosti v prípade, že sa v zornom uhle dočasne vyskytnú prekážky: Ak bol prijímač StarFire iTC zapnutý viac ako jednu hodinu, udrží funkcie RTK-Extend presnosti RTK po dobu až 15 minút od okamihu, kedy došlo ku strate signálu základnej stanice (poprípade po dobu 2 minút, ak bol prijímač zapnutý menej ako hodinu).



Obrázok 1-17 RTK prijímač s názorním funkcie RTK Extend (deere, 2009)



Obrázok 1-17 Systém iGuide v teréne (deere, 2011)

Systém **iGuide** (obr. 1-17) je jednoducho nastaviteľný na displeji GreenStar. Prijímač StarFire iTC namontovaný na náradí odošle svoju presnú polohu do systému AutoTrac umiestneného v traktore. Traktor potom zmení svoju stopu a

kompenzuje tak odchýlenie náradia a navádza náradie do stopy, čo má za následok perfektné napojenie riadkov (StromPraha, 2010)

1.3.2 Trimble

System rovnobežných jazd po pozemku AgGPS PSO (Parallel Swathing Option) slúži ako vodítka šoféra stroja, pre dodržiavanie presných vzdialeností pri jazde s decimetrovou presnosťou. Skladá sa z GPS/DGPS antény a prijímača a svetelnej lišty, poprípade je možné pridať display a zariadenie pre ukladanie dát o jazdách. Operátor stroja sleduje v periférnej časti svojho zorného poľa sfarbenie LED diód na svetelnej lište. Ak ide presne v správnej vzdialenosti od predchádzajúcej jazdy, vidí zelenú farbu diód



v strede lišty, pri odchýlení sa z polohy vpravo alebo vľavo sa rozsvetujú červené diódy ďalej od stredu podľa smeru a veľkosti odchýlky. System ďalej poskytuje veľké množstvo ďalších funkcií ako označovanie úvatí a varovanie pri ich prechádzaní, navigácia do miesta kde bola prerušená aplikácia, počítanie poradi

Obrázok 1-18 Svetelná lišta s displejom Trimble (Trimble, 2011) záberov, presné meranie plôch pozemku a vzdialeností aplikovanej plochy, výpočet priemernej odchýlky od správnej polohy pri aplikácii a iné. Jazdy po pozemku tak možno robiť po priamkach i po krivkách s veľkým množstvom rôznych variant. AgGPS PSO navigačný systém sa používa pri aplikácii pesticídov a hnojív tam, kde nie sú koľajové riadky, pri príprave a spracovaní pôdy a najnovšie bol vyskúšaný aj pri navádzaní pri siatí v najťažších podmienkach (Leadingfarmers, 2010).

AgGPS PSO prináša výrazne zvýšenie presnosti vzdialeností jazd, zvýšenie rýchlosti strojov, zníženie únavy šoféra, možnosť orientácie bez obmedzenia aj v noci, za hmly či pri veľkej prašnosti. Z toho vyplývajú veľmi značné úspory na aplikovaných agrochemikáliách, pohonných hmôt, zvýšenie denného výkonu stroja, eliminácia negatívnych účinkov nedodržania pracovného záberu.



Obrázok 1-19 Vlajkový display od Trimble (Trimble, 2010)
 revolúciou v poľných operáciách. (Trimble, 2010)

Najnovším produktom firmy Trimble je automatické riadenie traktorov a samochodných strojov na pozemkoch podľa GPS bez zásahu šoféra – Trimble Autopilot a to buď s presnosťou 1cm (RTK Autopilot), alebo s presnosťou 10cm (DGPS Autopilot). Tento systém je

Firma Trimble ponúka dva základné systémy riadenia strojových súprav:

Systém asistovaného riadenia - EZ-Steer (obr. 1-20) je kombinácia prijímacej antény, riadiacej jednotky, jednoduchého monochromatického alebo farebného displaya s lištou osadenou led diódami a elektromotorčeka ktorý sa upevní na volant.



Obrázok 1-20 Motorček na volant a kompletná sada EZ Steer (Trimble, 2010)

Výhody:

- Lacný dostupný systém s jednoduchou obsluhou.
- Žiadne dodatočné montovanie do riadenia traktora, ľahká zámena z jedného stroja do druhého.

Nevýhody:

- Menšia presnosť tejto kombinácie vzhľadom k prešmykovaní motorčeka o volant.

TRIMBLE AUTOPILOT (obr. 1-21), je úplne automatický systém, ktorý dokáže stroj bez ľudského zásahu navádzať a ovládať po poli.

Výhody:

- Maximálna presnosť s použitím RTK až na +/- 2cm
- Možnosť pracovať 24 hodín denne, v akýchkoľvek viditeľných podmienok.
- Odbremenenie obsluhy, tá sa môže plne venovať náradíu ktorá je agregované s ťažným prostriedkom.

Nevýhody:

- Cenová dostupnosť,
- Predplatenie signálu na maximálnu presnosť,
- Zložitý zásah do riadenia ťažného prostriedku.



Obrázok 1-21 Automatický systém navádzania a potrebné komponenty (Leadingfarmers, 2011)

1.3.3 *AutoFarm a AG Leader*

AutoFarm a AG Leader ponúka kompletný program na precízne poľnohospodárstvo, pomocou svojich GPS produktov umožňuje vizuálnu navigáciu strojov pomocou displeja AutoFARM ATC (obr. 1-22), ako aj systémy asistovaného a automatického riadenia (od najjednoduchších - AutoFarm OnTrac až po najprecíznejšie AutoFarm RTK AutoSteer).



Obrázok 1-22 Volant OnTrac2 (Cultiva, 2011)

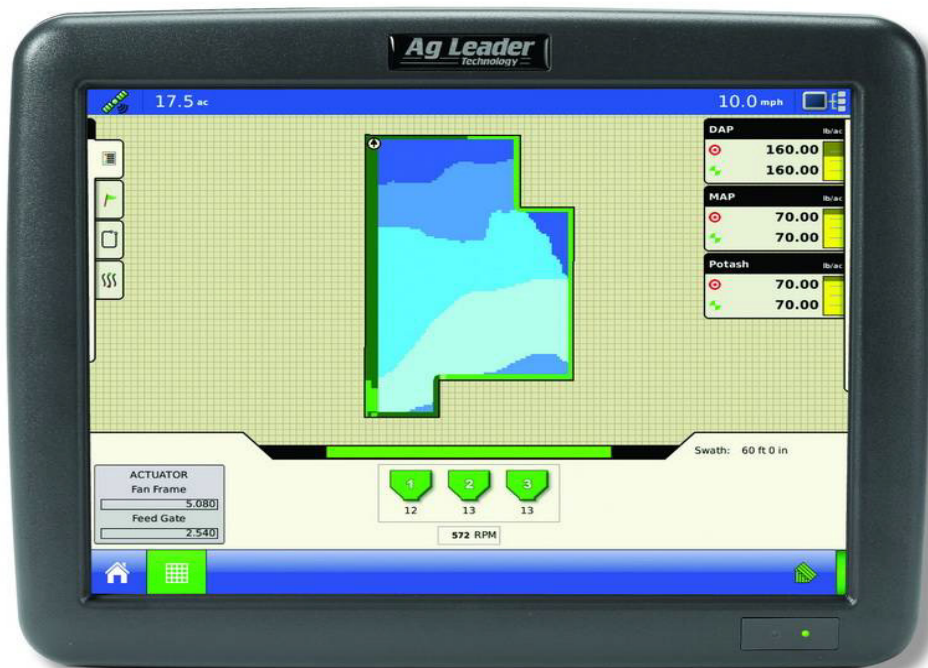
OnTrac2

Systém využíva mechanickú jednotku, ktorú je možné použiť vo viacerých strojoch. Obsahuje servo-motorček s prídavným volantom, ktorým je možné získať plnohodnotnú navigáciu pre strojové súpravy schopnej hnojiť, postrekovať, spracovávať pôdu či vykonávať žatvu.

Všetky funkcie sú zobrazované na displeji ATC od najjednoduchšieho merania rozlohy polí, až po najzložitejšie použitie využívané v modernej technológii GIS (meranie pozemkov, meranie výnosov, vyhodnocovanie výnosov a následná variabilná aplikácia).

RightTrack je progresívny riadiaci GPS systém, ktorý umožňuje presnejšie uloženie semien, chemikálií a hnojív. Prekrývanie je maximálne eliminované čo umožňuje nižšie hektárové náklady, ale vyššie hektárové výnosy.

Úspora nákladov sa pohybuje okolo 5%, kvôli úspore hnojív, nafta a chemikálií. Zvýšená produktivita a zisk, presnejšie uloženie semien a ich následným variabilným hnojením sa uplatňuje vysoká produktivita práce.



Obrázok 1-23 Dotykový display (AG Leader, 2011)

RTK AutoSteer

AutoFarm RTK AutoSteer dokáže riadiť strojovú súpravu s presnosťou do 2 cm. AutoSteer je prenosný systém zo stroja na stroj, čiže môže byť použitý celoročne.

Systém firmy AuroFarm využíva patentovanú duálnu strešnú anténu s technológiou 7D ParaDyme. Je najdokonalejším automatickým systémom riadenia v teréne. Patentovaný



Obrázok 1-24 Duálna anténa ParaDyme (AG Leader, 2011)

dual-antény latový modul umožňuje operátorovi riadenie s centimetrovou presnosťou, znižuje vstupné náklady a únavu pri zvýšení presnosti.

- Vysoká presnosť automatického riadenia „bez rúk“.
- Dual-antény systém prináša Logic7D technológiu poskytujúcu centimetrovú presnosť pri riadení vozidla.
- Sleduje sklony, zvlnenia a odbočenia vždy s bezkonkurenčnou presnosťou a opakovateľnosťou.
- Požiadavka o technickú podporu priamo z displeja INTEGRA alebo EDGE, čo umožňuje technikom predajcu možnosť úpravy systému na diaľku.
- Kompletné nastavenie s displejmi INTEGRA alebo EDGE.

- Poloha a smer jazdy je vždy známy, aj keď nie je vozidlo v pohybe.
- Rýchle pripojenie na líniu, bez nutnosti senzora uhlu kolies - dopredu alebo dozadu.
- Plná kalibrácia riadiaceho systému s jednoduchým trojkrokovým autokalibračným postupom.
- Navádzacie schémy vrátane AB, A +, identickej krivky, adaptívnej krivky, schémy Pivot a SmartPath™ (vydaná v roku 2010).
- Prenos ParaDyme systému z jedného zariadenia na iné rýchlo a bez použitia náradia.
- Vstavaný GSM modem pre príjem z ref. siete.
- Poskytuje GPS presnosť s použitím korekcií WAAS / EGNOS, Omnistar XP / HP a RTK.

1.3.4 Navigácia TopCon



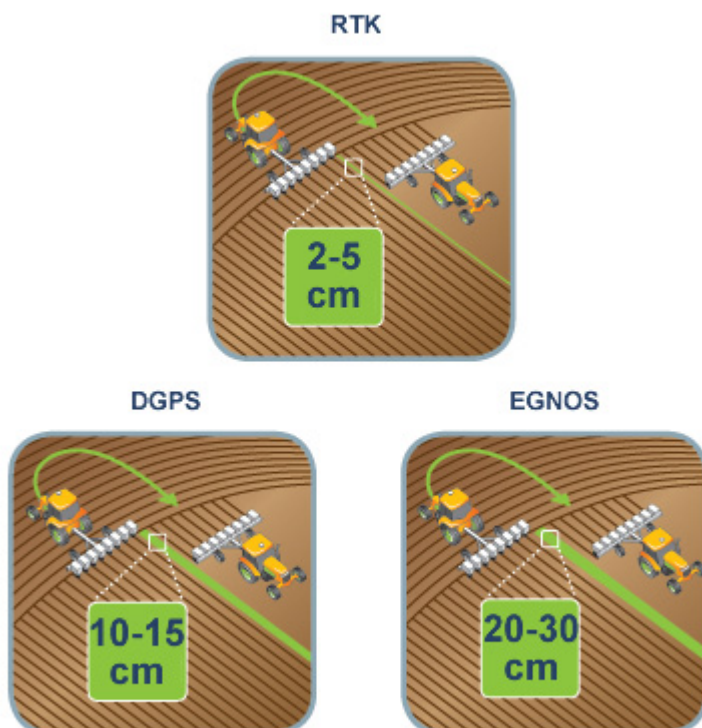
AES-25

(obr.1-25) umožňuje použitie systému PCS-150 a PCS-350 od firmy Topcon na traktoroch, ktoré nie sú továrne pripravené pre

Obrázok 1-25 Systém AES 25 (Geodis, 2011)

automatické riadenie. Elektronický volant poskytne plnohodnotné automatické riadenie s presnosťou 2cm. Zaisťuje teda prakticky také isté výsledky ako traktor, ktorý je továrne pripravený na automatické riadenie. To všetko bez zásahu do originálnej konštrukcie či hydrauliky stroja. Elektronický volant je vlastne elektromotorom, ktorý neobsahuje žiadne prevodové ústrojenstvo, takže ide o absolútne bez údržbové zariadenie. Volant i celý systém je veľmi jednoducho prenosný, takže sa môže ľubovoľne prenášať medzi stroji.

GPS diferenciálne korekcie



Obrázok 1-26 presnosti signálov (AG Leader, 2011)

- Plná kompenzácia nakloneného terénu
- Rýchla a presná reakcia
- Pracuje i na spätný chod
- Jednoducho prenosný
- Žiadne zásahy do originálnej konštrukcie či hydrauliky
- Bez údržbový
- Plnohodnotné automatické riadenie (NIE asistované) (**geodis, 2011**)

Navigácie TopCon je možné použiť na všetky dostupné presnosti. Či je to už voľne šíriteľný EGNOS alebo platený RTK signál, ktorý zabezpečí maximálnu presnosť pri ktorýchkoľvek poľných operáciách.

2 Cieľ práce

Cieľom diplomovej práce je zhodnotiť absolútnu a relatívnu presnosť vybraných typov satelitnej navigácie. Sledovať presnosť satelitnej navigácie pri meraniach s časovým odstupom. Zamerať sa na možnosti využitia satelitnej navigácie z pohľadu výkonnosti strojových súprav.

3 Metodika

3.1 Hodnotenie absolútnej a relatívnej presnosti

Meranie absolútnej a relatívnej presnosti bolo vykonávané na Vysokoškolskom poľnohospodárskom podniku SPU v Kolíňanoch. Experiment bol zameraný na dva systémy (od dvoch výrobcov) s rôznou presnosťou, pričom išlo v oboch prípadoch o systémy automatického navádzania a riadenia stroja (tzv. autopiloty). Prvý systém je montovaný priamo výrobcom, druhý systém je dodávaný ako univerzálny, montovateľný na akýkoľvek typ traktora.

Autotrack Integrated (firma John Deere)

Systém pozostáva z antény StarFire, dotykového monitora GreenStar 2600, ktoré sú priamo napojené na riadiacu jednotku hydrauliky traktora John Deere 8230. Pre tento systém bol Vysokoškolským poľnohospodárskym podnikom zaplatený a teda sprístupnený korekčný signál SF2 s presnosťou do 10cm.



Obrázok 3-1 Prijímač StarFire a dotykový display (JD, 2010)

Trimble Autopilot

Systém je univerzálny, na VPP Kolíňany bol namontovaný na traktore NewHolland T6070. Vzhľadom k tomu, že traktor nemal predprípravu na satelitnú navigáciu bol systém dodatočne namontovaný dodávateľom navigačného zariadenia. Sada pozostáva z snímačov natočenia kolies prednej nápravy, hydraulického rozvádzača na riadenie nápravy, antény, riadiacej jednotky a monitora na sledovanie a ovládanie tohto systému. Navigačný systém Trimble pracoval s korekčným RTK signálom, ktorý bol prenášaný pomocou GPRS signálu prostredníctvom mobilného operátora Orange. Signál je získavaný z korekčných staníc SK-POS, ktoré prevádzkuje Slovenský

geodetický a kartografický ústav. Pre tento stroj bola zaplatená licencia s 2,5cm presnosťou.

Pri hodnotení týchto dvoch systémov sme postupovali podľa jednotného postupu, a to:

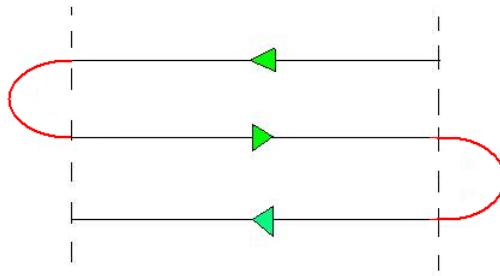
- a) zadanie AB línie v navigačnom systéme,
- b) vyznačenie pozície zadných kolies (min. 30 m od A), pričom A je miesto aktivovania autopilota,
- c) opakované meranie relatívnej presnosti – časový odstup jazd max 2 minúty,
- d) opakované meranie absolútnej presnosti - časový odstup jazdy min 1 deň.

Všetky merania sme realizovali na jednej línii. Pri každej jazde bol stroj zastavený na vyznačenej ploche, boli odmerané pozície zadných kolies od pôvodnej pozície pri zadaní AB línie. Vzhľadom k tomu, že zakreslená čiara bola široká asi 5cm, merali sme od stredu čiary po kraj pneumatiky. Hodnoty boli zaznamenané a spracované štatisticky. Pri každom meraní bol zapísaný počet dostupných satelitov, hodnota HDOP.

3.2 Hodnotenie vplyvu využívania satelitnej navigácie z pohľadu výkonnosti strojovej súpravy

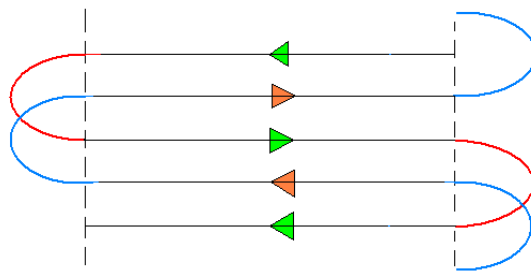
Využívanie satelitnej navigácie ovplyvňuje celkové nasadenie strojovej súpravy pri realizácii poľných operácií. Existuje predpoklad, že okrem presnosti prekrývania jednotlivých záberov, umožňuje znižovať čas otáčok a tým zvyšuje výkonnosť celej súpravy. Spôsob, akým sa bude súprava otáčať na úvrati je potrebné zväziť vzhľadom na šírku pracovného záberu a celkovú dĺžku súpravy. Spôsob otáčania ovplyvňuje výkonnosť súpravy a mieru utlačania pôdy. Satelitná navigácia umožňuje realizovať pracovné operácie spôsobom, kedy nie je nutná nadväznosť jednotlivých jazd. Vplyv využívania satelitnej navigácie na spôsob a dĺžku otáčok na úvratiach bol hodnotený počas experimentálneho merania pri spracovaní pôdy. Časy jednotlivých otáčok boli porovnávané pri člňkovom spôsobe jazdy:

a) Pri nadväznosti jednotlivých jász (obr.3-2)



Obrázok 3-2 Nadväznosti jász

b) Pri jazde oblíniu (obr.3-3)



Obrázok 3-3 Nadväznosti jász oblíniu

Merané časové úseky sú zvýraznené červenou a modrou farbou. Namerané hodnoty boli štatisticky spracované a porovnané. Na ich základe boli sformulované odporúčania.

4 Vlastná práca

4.1 Hodnotenie absolútnej a relatívnej presnosti

4.1.1 John Deere Autotrack Integrated

Experimentálne meranie bolo realizované na ploche v areáli VPP SPU Kolíňany. Na základe stanovenej metodiky bola dňa 18.11.2010 v systéme obvyklým spôsobom zadaná AB línia. Zemepisná šírka bodu A je 48.36402083°, zemepisná dĺžka bodu A je 18.20208023°, kurz jazdy je 258.3037). Po prejdení 30 metrov boli zakreslené čiary vymedzujúce zadné kolesá traktora. Odchýlky ďalších jazd boli merané pomocou dĺžkového meradla od stredu čiary po kraj pneumatiky. Autopilot pri každej jazde aktivoval operátor traktora pri začiatku bodu A, riadenie stroja autopilotom bolo na dĺžke cca 30m, čo zodpovedá dĺžke kedy autopilot vyrovná stroj na požadovanú trasu po tom, ako ho operátor naviedol k nájazdu vždy pod iným uhlom. Meranie prebiehalo v rôznych časových intervaloch (tab. 4-2) Podmienky merania sú uvedené v tabuľke 4-1.

Tabuľka 4-1 Hodnoty HDOP a počet satelitov

Termín merania	HDOP	Počet satelitov
18.11.2010	1,3	9
17.2.2011	1,5	9
2.3.2011	1,7	9
22.3.2011	1,0	10

Tabuľka 4-2 Absolútna presnosť

Termín merania	Absolútna presnosť (prvá jazda)	Absolútna presnosť (priemerne za daný počet meraní)
18.11.2010	Zadanie AB	Zadanie AB
17.2.2011	4,5	1,39
2.3.2011	6	4,87
22.3.2011	1	2,28

Tabuľka 4-3 Štatistické parametre absolútnej presnosti

Parameter	18.11.2010	18.11.2010	17.2.2011	2.3.2011	23.3.2011
Priemer	1,11	2,00	1,39	4,87	2,28
Medián	1,00	2,25	1,00	5,50	1,00
Modus	1,00	2,50	1,00	5,50	1,00
Minimum	0,00	0,00	0,50	0,00	1,00
Maximum	2,00	5,00	4,50	6,50	6,00

Tabuľka 4-4 Relatívna presnosť

Termín merania	Relatívna presnosť Priemerná odchýlka od prvej jazdy
18.11.2010	Zadanie AB
17.2.2011	3,50
2.3.2011	1,36
22.3.2011	1,44

Počas meraní navigačný systém prijímal signály od 8-10 satelitov a hodnota HDOP sa pohybovala v rozmedzí od 1 do 1,7. Merania absolútnej presnosti boli realizované s odstupom 3 až 4 mesiacov. Štatistické parametre sú uvedené v tabuľke 4-3. Z nameraných údajov vyplýva, že presnosť ovplyvňuje najmä prvá jazda po zapnutí navigačného systému (tab. 4-4), pri opakovaní sa presnosť zvyšuje. Hodnoty absolútnej presnosti zodpovedajú hodnotám deklarovaným výrobcom.

Relatívna presnosť, teda odchýlky medzi jednotlivými jazdami sa pohybovali od 1,44 do 3,5 cm.

4.1.2 Trimble

Zaznamenanie AB línie pre hodnotenie systému Trimble bolo dňa 3.11.2010. Experimentálne merania boli realizované podľa stanovenej metodiky. Celková trasa jazdy predstavovala približne 60m. Línia bola zaznamenaná prostredníctvom monitora EZ Guide 500 (obr. 4-4).



Obrázok 4-5 Detail na čiary a meradlo

Počet satelitov sa pri meraniach realizovaných systémom Trimble zhodoval s počtom, ktorý využíval systém John Deere. Príjem RTK signálu prostredníctvom GPRS technológie však zvýšil presnosť celého systému. Hodnoty HDOP sa pohybovali od 0,9 po 1,4. Hodnoty HDOP.

Namerané hodnoty odchýlok zadných kolies od ideálnej čiary sa pohybovali pre prvú jazdu od 0 do 7,5 cm a priemerne opakovaním jazd od 0,7 do 11,7 (tabuľka 4-6).

Tabuľka 4-6 Hodnoty HDOP a počet satelitov

Termín merania	HDOP	Počet satelitov
3.11.2010	0,9	9
4.11.2010	1,4	9
18.11.2010	1,1	9
10.12.2010	0,9	9
19.12.2010	1,1	9
17.2.2011	1,0	9
2.3.2011	0,9	9
9.3.2011	0,9	10

Tabuľka 4-7 Absolútna presnosť

Termín merania	Absolútna presnosť (prvá jazda)	Absolútna presnosť (priemerne za daný počet meraní)
3.11.2010	Zadanie AB	Zadanie AB
4.11.2010	1	1,2
18.11.2010	0	5,8
10.12.2010	7	5
19.12.2010	3,5	7,5
17.2.2011	10	8,1
2.3.2011	7,5	11,7
9.3.2011	0	0,7

Na základe realizovaných meraní bolo zistené, že napriek kvalitnému príjmu RTK signálu, ktorý dokumentujú hodnoty HDOP, odchýlka kolies bola veľká, resp. v niektorých prípadoch sa zvyšovala opakovanými jazdami. Hodnoty absolútnej presnosti navigácie tabuľka 4-6 teda nezodpovedali hodnotám udávaným výrobcom. Pričom sme predpokladali, že chybu do systému vnášajú kontrolné členy autopilota. Relatívna presnosť jednotlivých jász je uvedené v tabuľke 4-8. Priemerné hodnoty sa pohybujú od 0,2 cm po 6,4 cm. Minimálne odchýlky počas meraní dosahovali 0 a maximálne hodnoty sa vyskytovali počas merania dňa 2.3.2011 a to 16,5 cm (tabuľka 4-7).

Tabuľka 4-8 Štatistické parametre meraní absolútnej presnosti systému Trimble

Parameter	3.11. 2010	4.11. 2010	18.11. 2010	10.12. 2010	19.12. 2010	17.2. 2011	2.3. 2011	9.3. 2011
Priemer	1,15	1,30	5,77	4,97	7,50	8,10	11,67	1,10
Medián	1,00	1,00	7,00	4,50	8,50	8,75	11,50	0,75
Modus	0,50	1,00	7,00	1,00	3,50	11,00	12,00	0,50
Minimum	0,00	0,50	0,00	1,00	3,00	1,00	7,50	0,00
Maximum	2,50	3,00	10,00	9,50	11,50	12,50	16,50	3,50

Tabuľka 4-9 Relatívna presnosť

Termín merania	Relatívna presnosť Priemerná odchýlka od prvej jazdy
3.11.2010	Zadanie AB
4.11.2010	0,2
18.11.2010	6,4
10.12.2010	2,2
19.12.2010	4,4
17.2.2011	2,1
2.3.2011	4,5
9.3.2011	0,8

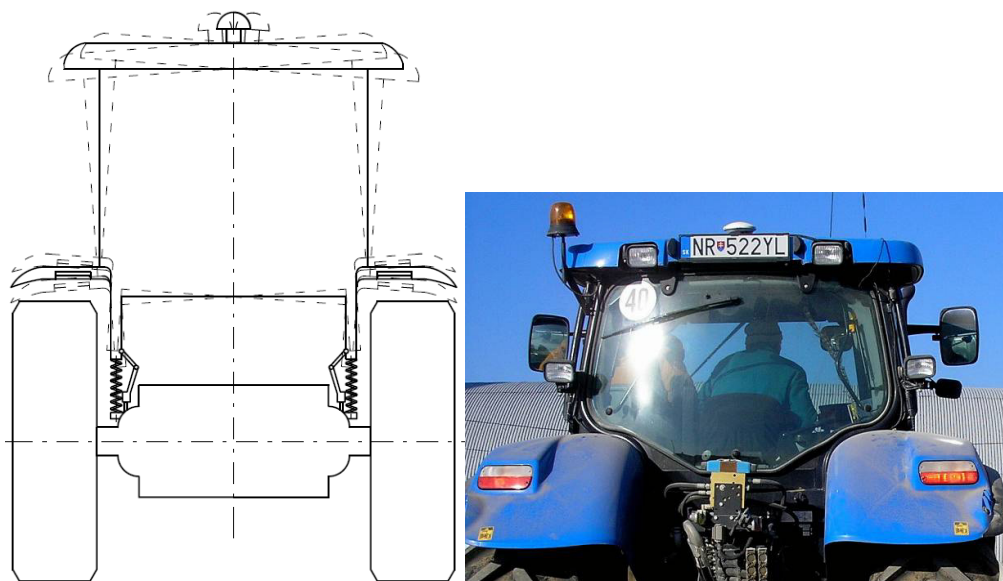
Pri hľadaní príčin boli analyzované jednotlivé vplyvy na prácu systému. V prvom kroku boli analyzované nastavenia systému. Vzhľadom k tomu, že navigačné zariadenie reaguje na odchýlky rádovo v cm, každý pohyb antény zapríčiňuje rýchlu reakciu kontrolera a následne zmenu natočenia kolies. Citlivosť systému ovplyvňujú dve hodnoty. Ide o tzv. agresivitu, ktorá ovplyvňuje rýchlosť reakcie systému na zmenu polohy antény. Táto je však ovplyvnená dvoma parametrami, ktoré je potrebné nastaviť prostredníctvom servisného zásahu v kontroleri: agresivita riadenia a agresivity pripojenia.

Tieto hodnoty je potrebné nastaviť pre každý typ traktora individuálne. Vzhľadom k tomu, že navigačný systém traktora je využívaný na VPP SPU Koliňany predovšetkým pri sejbe kukurice na osivo, vznikla požiadavka na nastavenie týchto hodnôt tak, aby autopilot riadil stroj od čo najkratšej vzdialenosti od úvrate. Nesprávnym nastavením týchto hodnôt môže mať za následok nepriamu jazdu stroja (obr. 4-2)



Obrázok 4-2 Nepriama jazda pri zle nastavených hodnotách (Galambošová, 2011)

Výsledky našich meraní poukázali aj na fakt, že pri takto nastavených hodnotách autopilot reaguje na odchýlky veľmi agresívne. Problém však vzniká tým, že kabína je odpružená a má veľký výkyv pri jazde po nerovnom teréne (obr. 4-3),



Obrázok 4-3 Schéma odpruženia traktora a kabína s anténou zozadu

pričom kolesá majú požadovanú pozíciu. Autopilot však mení ich natočenie, aj keď to nie je potrebné.

Za týmto účelom sa potom anténa s gyroskopom demontovala a pripevnila sa na vyrobený rám spojený s pevnou časťou zadnej nápravy. Toto riešenie prispelo k vylepšeniu používania systému v praxi.



Obrázok 4-4 Umiestnenie antény na pevný rám a navigačný display v kabíne traktora



Obrázok 4-5 Rámový držiak prijímacej antény a N-Senzora uchytený o pevnú časť rámu

Z toho vyplýva, že síce tento navigačný systém je univerzálny a je možné ho namontovať na rôzne značky traktora, ale pre každý traktor môže byť problémom nájsť optimálne nastavenie a doladenie celého systému ako funkčného celku.

Po doladení systému sa práca systému autopilot vylepšila (obr. 4-6).



Obrázok 4-6 Rovné jazdy po doladení celého navigačného systému (Galambošová, 2011)

4.2 Hodnotenie vplyvu využívania satelitnej navigácie z pohľadu výkonnosti strojovej súpravy

Meranie sa vykonávalo v obci Koliňany na parcele Tehelňa (obr. 4-7). Použitý bol traktor JD 8230 s diskovým podmietačom Lemken Rubin so záberom 6m (obr. 4-8).



Obrázok 4-7 Satelitná snímka parcely Tehelňa



Obrázok 4-8 Traktor John Deere a prijímacia anténa StarFire

Z nameraných hodnôt vyplýva, že pri zábere 6m a danom polomere otáčania traktora je výhodnejšie jazdiť „každý druhý záber“. Priemerný čas otáčania na úvrati pri tomto spôsobe predstavoval 10,73 sekundy a pri jazdách ktoré nadväzovali na seba bola priemerná hodnota 13,23 sekundy (tab.4-9). Okrem časovej úspory je možné vidieť prínosy najmä pri eliminácii utlačenia pôdy na úvratiach a v uľahčení práce obsluhu.

Tabuľka 4-9 Vyhodnotenie dĺžky otočiek

Jazdy oblínou	
Str. hodnota	10,73
Smer. odchýlka	1,28
Minimum	8,49
Maximum	13,15
Počet	38
Pri nadväznosti jász	
Str. hodnota	13,23
Smer. odchýlka	0,94
Minimum	11,52
Maximum	14,83
Počet	34

5 Diskusia

V snahe čo najefektívnejšie využiť modernú techniku, zabezpečiť jej optimálnu výkonnosť a dosiahnuť čo najlepšie využitie pracovného záberu, sa satelitné navigačné systémy javia ako vhodný nástroj pre splnenie tohto cieľa.

Satelitné navádzanie strojov prináša poľnohospodárom prínos v podobe šetrenia vstupov ale aj prínos v podobe zvýšenia výkonnosti a zníženia únavy obsluhy. Napriek týmto výhodám sa vo väčšej miere začne používať satelitná navigácia pravdepodobne znížením jej nadobúdacej ceny, čím sa stane dostupnejšou pre ešte viac prvovýrobcov. **(Kukučka, 2008)**.

Rozšírenie satelitnej navigácie v praxi umožnilo rozšírenie technológií ako napr. technológia riadeného pohybu strojov po poli. Okrem relatívnej presnosti je preto potrebné, aby satelitná navigácia spĺňala požiadavky aj v rámci absolútnej presnosti **(Galambošová, 2008)**. Hodnoteniu efektívnosti práce strojových súprav so satelitnou navigáciou sa na Slovensku venovali viacerí autori **Švarda (2008)**, **Magdolen – Rataj (2008)**, **Havránková a Rataj (2004)**, ktorí uvádzajú, že z hľadiska presnosti riadenia je satelitná navigácia jedným z najpresnejších systémov, avšak za dodržania podmienky že je vybavená automatickým riadením. V rámci predkladanej práce sme sa zamerali na analýzu absolútnych a relatívnych presností satelitných navigácií, pričom hodnotené boli systémy automatického riadenia (autopiloty). Pri meraní boli použité dva satelitné systémy rôznych značiek a korekčných signálov. Pri hodnotení prvého systému montovaného výrobcom značky John Deere bolo zistené, že spĺňa deklarované hodnoty presnosti SF2 (do 10cm) a to ako absolútne, tak aj relatívne. Navigačný systém Trimble, dodávaný ako univerzálny, prijímal korekčný signál RTK prostredníctvom GPRS technológie. Napriek vysokej presnosti samotného signálu systém počas meraní neriadil stroj s dostatočnou presnosťou. Hodnota sa mala pohybovať do 2,5cm vďaka korekčnému signálu RTK, no namerané hodnoty vysoko presiahli túto presnosť a najvyššia chyba predstavovala hodnotu 16,5cm. Pri analýze činnosti bolo zistené, že je potrebné prenastaviť hodnoty tzv. agresivity riadenia a rovnako eliminovať vplyv výkyvu kabíny, ktorý v prípade montáže tohto systému na traktor New Holland T 6070 negatívne ovplyvňoval prácu autopilota. Výsledky meraní boli priamo využité ako vstupné informácie pri zásahu servisných technikov. Po tomto zásahu pracuje systém s požadovanou presnosťou.

V rámci hodnotenia kvality príjmu korekčného signálu pomocou GPRS technológie, je možné konštatovať, že systém pracoval spoľahlivo.

Griffin (2005) porovnával štyri typy GPS navigácií odlišných presností. Prvé dve navigácie boli so svetelnými lištami s presnosťou +/- 30cm a +/- 10cm, druhé dve boli plne automatické s presnosťou +/- 10cm a RTK +/- 1cm. Hodnotili presnosť jednotlivých navigácií (prekrytie), ekonomickú analýzu investícií a návratnosti týchto systémov. Jednoznačný výsledok určil, že čím je väčšia obrábaná plocha, tým je využívanie navigačných systémov efektívnejšie.

V podmienkach Slovenska porovnával prácu s navigačným systémom AutoTrac (SF2) a bez neho **Macák (2008)**. Priemerná odchýlka jednotlivých jazd pri využití satelitnej navigácie dosiahla 0,12 m.

Vzhľadom k tomu, že väčšina publikovaných výsledkov hodnotenia satelitnej navigácie hodnotí jej vplyv na výkonnosť strojových súprav z pohľadu prekrytia jednotlivých záberov. V predkladanej práci bola pozornosť venovaná využívaniu satelitnej navigácie pri jazdách na úvratiach. Z nameraných hodnôt vyplýva, že pri použitom zábere 6m a danom polomere otáčania traktora je výhodnejšie jazdiť „každý druhý záber“. Prínosy takéhoto využívania satelitnej navigácie je potrebné vidieť nie len v časovej úspore, ale najmä pri eliminácii utlačenia pôdy na úvratiach a v uľahčení práce obsluhu.

Napriek možnostiam jednotlivých navigačných systémov, rozhodujúce slovo ohľadom správneho využitia bude mať práve osoba (najčastejšie ňou býva obsluha traktora) zadávajúca hodnotu pre navigáciu do systému. Touto skutočnosťou sa čiastočne zvyšuje vedomostná požiadavka na obsluhu súpravy.

Z hľadiska ekonomických prínosov bolo zistené, že satelitná navigácia prináša úspory v týchto hlavných oblastiach: práca obsluhu a stroja, spotreba materiálových vstupov, spotreba paliva. Podľa **Švardu (2007)** je potrebné medzi efekty satelitnej navigácie zaradiť aj zníženie únavy a stresu obsluhu, možnosť pracovať za zníženej viditeľnosti (noc, hmla, prašnosť...) a vyššiu bezpečnosť pri práci. Investičné a prevádzkové náklady sú pre rôzne typy systémov navigácie a najmä pre rozdielne presnosti rôzne. Ako uvádza **Švarda (2008)** pri kúpe navigačného systému je potrebné poznať odpovede na otázky typu:

- Na akej výmere bude systém satelitnej navigácie používaný?
- Aké je zastúpenie pracovných operácií na danej výmere?
- Je daný systém univerzálny?

- Aký typ prijímača signálu?
- Aké rôzne korekčné signály môžem prijímať?

Na základe získaných ako aj publikovaných výsledkov môžeme potvrdiť slová **Nozdrovického, Rataja a Miháľa (1997)**, že navigačné systémy s automatickým riadením súpravy majú vysoké uplatnenie takmer vo všetkých operáciách vykonávaných v poľných podmienkach rastlinnej výroby. Tieto vysoko sofistikované systémy predurčujú výrobné strojové súpravy na dosahovanie ich maximálnej plošnej výkonnosti, čo v konečnom dôsledku umožňuje znižovanie doby návratnosti vynaložených finančných prostriedkov na ich obstaranie a prevádzku.

6 Návrh na využitie výsledkov

Z výsledkov práce vyplýva, že využívanie satelitnej navigácie je neoddeliteľnou súčasťou pestovania poľných plodín v súčasnosti. Určovanie geografickej polohy pomocou prijímačov GPS sa využíva v systéme presného poľnohospodárstva, pričom najväčšie uplatnenie má satelitná navigácia strojových súprav.

Výsledky meraní získané počas riešenia diplomovej práce boli priamo využité pri implementácii systému Trimble na VPP SPU Kolíňany a slúžili ako cenný zdroj informácií pri nastavovaní celého systému.

Riešenie, ktoré na ich základe vzniklo, slúži ako spresnenie postupu pri inštalácii zariadenia v podobných prípadoch.

Výstupy obsiahnuté v predkladanej práci môžu byť využité ako zdroj informácií pre manažérov v rastlinnej výrobe, ako zdroj informácií pre predmety vyučované na KSVS ako sú Presné poľnohospodárstvo, Výrobné systémy 1, Manažérstvo technického rozvoja a pod.

7 Záver

Jednou z možností znižovania nákladov na pestovanie poľných plodín je využívanie moderných technológií (ako presné poľnohospodárstvo, CTF a pod), ktoré umožňujú efektívnu aplikáciu vstupov. Nevyhnutnou súčasťou ich využívania je získavanie informácií o geografickej polohe pomocou globálnych navigačných satelitných systémov. Najrozšírenejší je systém GPS. V rastlinnej výrobe nachádza satelitná navigácia uplatnenie v rôznych oblastiach (zber údajov o variabilite pozemku, kontrola výmery pozemku, monitoring strojov). Najvýznamnejšou je oblasť navigácie strojových súprav. V súčasnosti sú komerčne dostupné viaceré systémy, s rôznou presnosťou a parametrami.

Predkladaná práca hodnotí dva systémy s rôznou presnosťou, pričom je možné konštatovať nasledovné:

Prvý systém, inštalovaný výrobcom dosahoval deklarovanú absolútnu aj relatívnu presnosť. Pri hodnotení druhého systému, ktorý je vyrábaný ako univerzálny, boli namerané nepresnosti navádzania stroja, pričom príjem RTK signálu bol bezproblémový. Z tohto dôvodu bolo potrebné realizovať nové nakalibrovanie a odstrániť vplyv veľkého výkyvu kabíny počas jazdy.

Pri hodnotení navigácie z pohľadu výkonnosti sme sa zamerali na porovnanie rôznych spôsobov otáčania na úvrati. Na základe výsledkov je možné potvrdiť, že využívanie satelitnej navigácie umožňuje zvoliť spôsob otáčania na úvratiach, čo pri určitých šírkach záberu a polomeroch otáčania prináša časové úspory v čase otáčok. Ďalšími prínosmi je eliminácia utlačenia pôdy na úvratiach a uľahčenie práce obsluhu.

Využitím satelitnej navigácie strojových súprav je možné doceliť presnú jazdu strojov po poli, pričom sú eliminované vynechávky a prekrytia záberov. Satelitná navigácia umožňuje využívať všetok disponibilný pracovný čas a tým zvyšuje ekonomickú efektívnosť pestovania plodín.

8 Použitá literatúra

1. **AG Leader 2011.** Navádzanie pomocou displaya [online]. 2011, [cit. 2011-02-25]. Dostupné na internete: <http://www.gpsfarm.com/ProductSolutions/tabid/55/Default.aspx>
2. **AUTOFARM 2009.** Product solution [online]. 2009, [cit. 2009-02-25]. Dostupné na internete: <http://www.agleader.sk/Navadzanie-Integra-Edge.html>
3. **ESA 2009.** What is Galileo?. [online]. 2009, [cit. 2009-03-20]. Dostupné na internete: http://www.esa.int/esaNA/GGGMX650NDC_galileo_0.html
4. **GEODIS, 2011.** Precízne poľnohospodárstvo [online]. 2011, [cit. 2011-1-13]. Dostupné na internete: <http://www.geodis.sk/polnohospodarstvo/precizne-polnohospodarstvo>
5. **Griffin, T. Lambert, D. – Lowenberg-DeBoer, J. 2005.** Economics of Lightbar and Auto-Guidance GPS Navigation Technologies. In Precision Agriculture 2005 . Wageningen: Wageningen Academic Publisher., s.581 – 587
6. **HAVRÁNKOVÁ, J. 2007.** Controlled Traffic Farming (riadený pohyb po poli) – prečo a ako? In Moderná mechanizácia v poľnohospodárstve, roč.10, 2007, č.8, str.22-23.
7. **JOHN DEERE. 2006B.** AMS poľnohospodárske presné rozhodovanie [online]. 2006, [cit. 2008-11-18]. Dostupné na internete: http://distributor.deere.com/sk/ag_equipment/ams/index.html?link=ag_c_level&location=ams
8. **KUKUČKA, M. 2008.** Využitie satelitnej navigácie v poľnohospodárstve (6. časť) In Moderná mechanizácia v poľnohospodárstve, roč.11, 2008, č.10, str.24-27.
9. **MACÁK, M. 2011.** Metodický postup ekonomického zhodnotenia prínosu satelitnej navigácie s automatickým riadením, In Efektívne využitie satelitnej navigácie v systéme presného poľnohospodárstva, 2010, č.10, ISBN 978-80-552-0430-7 str.65-82.
10. **MACÁK, M. 2008.** Vlastnosti granulovaných priemyselných hnojív a ich vplyv na funkciu rozhadzovačov z pohľadu požiadaviek presného poľnohospodárstva. Dizertačná práca. Nitra: SPU v Nitre.
11. **MAGDOLEN, A. – RATAJ, V. 2008.** Využití zemědělské techniky pro trvale udržitelný rozvoj [CD-ROM]. s Lednice: MZLU v Brně. . 202 – 208.ISBN 987-80-7375-1777-7.

12. **MILATA, P. 2006.** GPS navigační systémy v rostlinné výrobě = přesnost a efektivita [online]. [cit. 2009-02-20]. Dostupné na internete: <http://www.leadingfarmers.cz/>
13. **MOBILMANIA 2009.** Konkurencia pre GPS [online]. 2009, [cit. 2009-02-20]. Dostupné na internete: <http://www.mobilmania.sk/Dalsierubriky/AR.asp?ARI=8351>
14. **MOLENAAR, K. et al. 2007.** How Galileo improves farming: effects on existing and near future GNSS applications and services in agriculture. In Precision Agriculture 2007 [CD-ROM] . Wageningen: Wageningen Academic Publisher. ISBN 978-90-8686-024-1, s. 449 – 455
15. **NOZDROVICKÝ, L. 2005.** Presné poľnohospodárstvo - obsah, význam a zameranie. In Naše pole. [online]. 2005, [cit. 2008-11-13]. Dostupné na internete: <http://www.agris.cz/vzdelavani/detail.php?id=140153&iSub=1021&PHPSESSID=28da2c698fa71be62dd3244ac2b26aab>
16. **NOZDROVICKÝ, L. 2008.** Globálne satelitné navigačné systémy, Presné poľnohospodárstvo, Nitra 2008, ISBN 978-80-552-0123-8, str.5-17.
17. **NOZDROVICKÝ, L. - KAVKA, M. 2006.** Predpoklady implementácie systému presného hospodárenia na pôde. In Rozpracovanie systému presného hospodárenia na pôde v podmienkach Slovenskej republiky: zborník referátov a diskusných príspevkov z vedeckej rozpravy XXVIII. Valného zhromaždenia členov Slovenskej akadémie poľnohospodárskych vied, konaného 6. júla v kongresovej sále SPU v Nitre. Nitra: SAPV: 2006, s. 9-20. ISBN 80-89162-22-3.
18. **RATAJ, V. 2000.** Geografické informácie pre poľnohospodárstvo. [online]. 2000, [cit. 2009-01-23]. Dostupné na internete: <http://cdesign.zive.cz/Clanky/Geograficke-informacie-pre-polnohospodarstvo/sc-3-a-20019/default.aspx>
19. **RATAJ, V. 2008.** Hodnotenie ekonomickej efektívnosti satelitnej navigácie [elektronická pošta] . Správa pre: Jana Havránková. [cit. 2009-004-11] Osobná kuminikácia.
20. **STOMBAUGH, T.S. et al. 2007.** Implifications of topography on field coverage when using GPS-based guidance. In Precision Agriculture 2007 [CD-ROM] . Wageningen: Wageningen Academic Publisher. ISBN 978-90-8686-024-1, s. 449 – 455
21. **STROM PRAHA. 2010.** AMS poľnohospodárske presné rozhodovanie [online]. 2011, [cit. 2010-11-18]. Dostupné na internete: <http://www.johndeeredistributor.cz/index.php/Zemedelska-technika/Produkty/AMS>

22. **ŠVARDA 2007.** Využitie satelitnej navigácie v poľnohospodárstve (6. časť) In Moderná mechanizácia v poľnohospodárstve, roč.11, 2008, č.3, str.16-18.
23. **ŠVARDA 2007.** Využitie satelitnej navigácie v poľnohospodárstve (1. časť) In Moderná mechanizácia v poľnohospodárstve, roč.10, 2007, č.3, str.25.
24. **TRIMBLE 2009.** Guidance [online]. 2009, [cit. 2009-01-11]. Dostupné na internete: <http://trimble.com/agriculture/guidance.aspx>
25. **VUS 2009** Korekcia signálu EGNOS [online]. 2009, [cit. 2009-04-10]. Dostupné na internete: <http://www.vus.sk/>