

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Analýza jízdy vozidla řízeného Trimble AutoPilot

Tomáš Krejčí

Bakalářská práce

2014

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš Krejčí**
Osobní číslo: **I11273**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Analýza jízdy vozidla řízeného Trimble AutoPilot**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

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

Práce bude zaměřena na vyhodnocení jízdy traktoru ze souřadnic (GPS) zaznamenaných z NMEA komunikace v systému Trimble AutoPilot. Tento systém umožňuje řízení směru pohybu vozidla (je tvořen nejčastěji kombinací navigace CFX-750 nebo FmX s NavController II nebo EZ-Pilot plus další komponenty).

Náplní bakalářské práce bude konstrukce zařízení pro přenos, záznam a zpracování navigačních zpráv a údajů o poloze. Zařízení bude umožňovat ukládání dat na SD kartu, ovládání bude realizováno pomocí tlačítek a vybrané informace se budou zobrazovat na LCD displeji.

Pro vyhodnocení zaznamenaných dat bude vytvořen software pro PC, který bude umožňovat grafické zobrazení zaznamenaných dat, základní statistické vyhodnocení dat (odchylky od zvolené trajektorie pohybu) a tisk protokolu o pohybu vozidla.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

Autopilot automated steering system. [online]. [cit. 2013-11-12].

Dostupné z: <http://www.trimble.com/Agriculture/autopilot.aspx>

ATmega88. [online]. [cit. 2013-11-12].

Dostupné z: <http://www.atmel.com/devices/ATMEGA88PA.aspx>

NMEA-0183 messages. [online]. [cit. 2013-11-12].

Dostupné z: [http://www.trimble.com/OEM_ReceiverHelp/V4.44/en/](http://www.trimble.com/OEM_ReceiverHelp/V4.44/en/NMEA-0183messages_MessageOverview.html)

[NMEA-0183messages_MessageOverview.html](http://www.trimble.com/OEM_ReceiverHelp/V4.44/en/NMEA-0183messages_MessageOverview.html)

Vincenty formula for distance between two Latitude/Longitude points. [online].

[cit. 2013-11-12]. Dostupné z:

<http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong-vincenty.html>

FatFs - Generic FAT File System Module. [online]. [cit. 2013-11-12].

Dostupné z: http://elm-chan.org/fsw/ff/00index_e.html

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.

Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce:

20. prosince 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

9. května 2014



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan



L.S.



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2014

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 9. 5. 2014

Tomáš Krejčí

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Zdeňku Němcovi za pomoc při tvorbě této bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat Romanu Krejčímu a Ing. Pavlu Milatovi za zasvěcení do této problematiky a poskytnutí potřebných zařízení pro realizaci této bakalářské práce.

V neposlední řadě děkuji mé rodině a přátelům za podporu při studiích a tvorbě této práce.

Anotace

Tato práce se zabývá analýzou jízdy vozidla řízeného systémem automatického řízení pomocí globálních navigačních systémů (GNSS). V práci jsou popsány globální navigační systémy, určení polohy pomocí těchto systémů a služby korekcí pro zpřesnění polohy. Následně jsou popsány systémy pro automatické řízení vozidel. Dále je popsán vyvinutý zařízení pro záznam pozic vozidla a vyvinuté programy, které ze zaznamenaných pozic analyzují jízdu vozidla. Nakonec byla provedena série měření GNSS signálů s různými korekcemi a měření jízdy vozidla řízeného systémem automatického řízení.

Klíčová slova

automatické řízení, určování polohy, korekce polohy, GNSS, GPS, RTK, Trimble

Title

Movement Analysis of the Vehicle Controlled by Trimble AutoPilot System

Annotation

This thesis deals with the analysis of the drive of a vehicle driven by a system of automatic control of global navigational systems (GNSS). The thesis describes the global navigation systems, positioning using these systems and services for the accuracy improvement of a position. Subsequently, systems for automatic control of vehicles are described. Furthermore, a developed device for recording of vehicle positions and developed programs are described, which analyse the drive of a vehicle from the recorded positions. Finally, set of measurements of GNSS signals with various corrections and measurements of the drive of a vehicle driven by system of automatic control were carried out.

Keywords

automatic vehicle control, positioning, corrections, GNSS, GPS, RTK, Trimble

Obsah

Obsah	7
Úvod	9
1 Družicové systémy pro určování polohy	10
1.1 Globální navigační satelitní systémy	10
1.1.1 GPS	10
1.1.2 GLONASS	12
1.1.3 Galileo	12
1.1.4 Další	13
1.2 Princip určení polohy	13
1.2.1 Kódové měření	13
1.2.2 Fázové měření	14
1.3 Korekce pozice	15
1.3.1 DGPS	15
1.3.2 RTK	16
1.3.3 VRS	18
1.3.4 EGNOS	19
1.3.5 OmniSTAR	19
1.3.6 Ostatní doplňkové služby	19
1.3.7 Shrnutí a dostupnost	20
2 Systémy pro automatické řízení	21
2.1 Naváděcí displej	21
2.1.1 CFX-750	21
2.1.2 FMX	22
2.2 Řídicí systém	23
2.2.1 AutoPilot	24
2.2.2 EZ-Pilot	24
2.2.3 EZ-Steer	26
3 NMEA Recorder	27
3.1 Popis hardware	27
3.2 Popis software	31

3.3 NMEA zprávy	33
4 Programy pro analýzu	34
4.1 AutoPilot Analyzer	34
4.2 NMEA Analyzer	36
4.3 Použité výpočty pro analýzu.....	37
4.3.1 Lineární regrese	37
4.3.2 Aritmetická průměrná odchylka	38
4.3.3 Směrodatná odchylka	38
4.3.4 Normální rozdělení	39
5 Měření a analýza dat	40
5.1 Statické	40
5.1.1 VRS	40
5.1.2 EGNOS	41
5.1.3 GPS + GLONASS	42
5.1.4 OmniStar XP	43
5.1.5 Zaměření stejné pozice	44
5.1.6 Shrnutí	45
5.2 Jízda.....	45
6 Závěr.....	49
Seznam zkratk.....	50
Seznam obrázků.....	51
Seznam tabulek.....	53
Literatura	54
Příloha A – NMEA Recorder – DPS.....	56
Příloha B – NMEA Recorder – Seznam součástí.....	58
Příloha C – NMEA Recorder – Krabička a štítek.....	59
Příloha D – Protokoly z měření.....	60
Příloha E – Přesné zemědělství	71

Úvod

Určování polohy pomocí globálních navigačních systémů (GNSS) se v posledních letech velmi rozšířilo do mnoha odvětví. Už neslouží jen vojenským a vědeckým aplikacím. GNSS se používá v automobilové navigaci, při pěší turistice, geografickém zaměřování (digitalizaci katastrálních map), sledování vlaků a v mnoha dalších odvětvích.

Jedním z dalších odvětví je i zemědělství, kde se GNSS používá pro automatické řízení a monitorování vozidel. Systémy automatického řízení jistým způsobem mění směr jízdy vozidla dle pokynů navigačního zařízení. Tyto navigační zařízení dokáží vést vozidlo po přímé linii či křivce, nebo po jejich kombinaci. Tento plán jízdy může být definován až na daném místě, nebo může být vytvořen předem dle aktuálního stavu pole či pěstované plodiny, pro maximální efektivitu práce. Do mapy jízdy lze vložit i překážky (strom, stožár elektrického vedení), kterým se vozidlo vyhne. Navigační zařízení také ovládá připojené zařízení za vozidlo, například dokáže spínat jednotlivé řádky secího stroje či zapínat a vypínat sekce postřikovače tak, aby nedocházelo k aplikaci postřiku vícekrát. Ukázky z použití jsou v příloze E. Další funkcí je monitorování práce stroje a odesílání dat do centrály podniku.

Celá práce je soustředěna do pěti kapitol. V první jsou popsány globální navigační systémy a služby korekcí pro zpřesnění polohy. Ve druhé jsou popsány systémy automatického řízení. Třetí a čtvrtá kapitola popisuje realizaci zařízení pro záznam pozic vozidla a programy pro analýzu jeho jízdy ze zaznamenaných pozic. Poslední kapitola je zaměřená na měření pozice za pomoci různých korekčních služeb a analýza jízdy traktoru řízeného systémem automatického řízení.

1 Družicové systémy pro určování polohy

1.1 Globální navigační satelitní systémy

Globální družicový polohový systém je služba umožňující určit polohu na základě vysílaných signálů ze satelitů s přesností několika metrů. Ve speciálních aplikacích lze dosáhnout milimetrové přesnosti. Mezi hlavní a funkční navigační systémy patří americký GPS a ruský GLONASS, ve fázi vývoje je evropský Galileo a čínský Compass. Některé přijímače dokáží využít více systémů najednou (např. GPS + GLONASS) pro určení pozice v hůře dostupných místech.

1.1.1 GPS

GPS je v současnosti nejpoužívanější navigační systém. Jeho vývoj začal v padesátých letech armádou USA s původním označením NAVSTAR GPS. Systém GPS je tvořen třemi segmenty popsanými níže.

- Kosmický segment – Kosmický segment je plně funkční v případě, že je na oběžných drahách minimálně 24 družic. GPS satelity jsou umístěny v šesti maloexcentrických elipsách (kruhové dráhy) se sklonem 55° k rovině rovníku a pohybují se ve výšce přibližně 20 tisíc kilometrů od povrchu Země. Rychlost pohybu satelitu je 11 300 km/h. Každá družice za jeden den uskuteční dva oběhy kolem Země (jeden oběh přesně za 11 hodin a 58 minut). Satelit obsahuje až čtyři atomové hodiny pro stabilitu vysílaného signálu (relativní přesnost dosahuje 10^{-14} s za den).
- Řídicí segment – Řídicí segment se skládá z 18 monitorovacích stanic, tří pozemních vysílačů povelů a hlavního řídicího střediska. Řídicí segment vysílá jednou denně povely pro udržení družic ve správném směru a údržbu atomových hodin.
- Uživatelský segment – Přijímače GPS signálu jsou pasivní zařízení přijímající signál z družic. Na základě přijímaných dat určují GPS přijímače polohu antény přijímače. Ty můžeme rozdělit do několika kategorií. Kategorie jsou děleny podle kanálu, pásma a principu určení pseudovzdálenosti.

Rozdělení přijímačů podle kanálu (časový duplex):

- Jednakanálové, kdy v daný okamžik přijímá signál od jedné družice a pak přepne na další, to trvá cca 20 ms.
- Vícekanálové, kde pro každou družici je vyčleněn samotný fyzický kanál, přijímá tedy signál od více družic najednou.

Rozdělení přijímačů podle pásma (frekvenční duplex):

- Jednofrekvenční (L1). Z družice je přijímán pouze kmitočet 1575,42 MHz.

- Dvoufrekvenční (L1 + L2). Z družice jsou přijímány dva kmitočty 1575,42 MHz a 1227,60 MHz. To umožňuje provádět ionosférické korekce.
- Vícefrekvenční (příprava na L5). Z družice je přijímán i kmitočet 1176,45 MHz. Patří do chráněné oblasti, které je málo rušené.

Rozdělení přijímačů podle principu výpočtu pseudovzdálenosti:

- Kódové. Využívá korelaci C/A nebo P kódu.
- Fázové. Měření fáze nosné vlny.

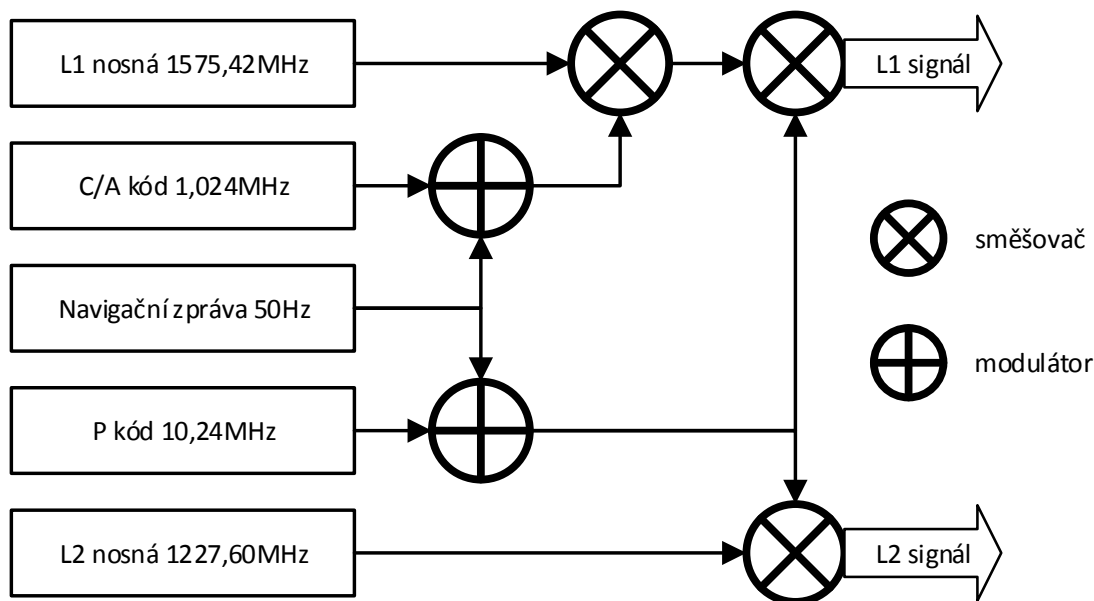
GPS přijímač je tvořen anténou (oddělaná nebo přímo v přijímači), předzesilovačem (přímo u antény), radiofrekvenční jednotkou (zpracování signálu, filtrace), mikrokontrolérem (výpočet pseudovzdálenosti) a komunikační jednotkou (styk s uživatelem).

Základní frekvence hodin satelitu je $f_0 = 10,23 \text{ MHz}$ od té jsou odvozeny nosné frekvence signálů $L1 = 1575,42 \text{ MHz}$ ($154 * f_0$, vlnová délka 19 cm) a $L2 = 1227,60 \text{ MHz}$ ($120 * f_0$, vlnová délka 24 cm). Satelity vysílají signál kódově modulovaný (CDMA).

Pseudonáhodný C/A kód je 1023 bitů dlouhý a je vysílán každou milisekundu ($f = 1,023 \text{ MHz}$). Každý satelit má vlastní pseudonáhodný kód. Slouží pro kódové měření a identifikaci satelitu. Je modulován na L1 a dostupný pro civilní uživatele.

P kód je $2,3547 \times 10^{14}$ bitů dlouhý a je vysílán po 266 dnech ($f = 10,23 \text{ MHz}$). P kód je modulován na L1 a L2. Šifrování je prováděno Y kódem (označení P(Y)). Složení L1 a L2 znázorňuje obrázek 1.1.

Navigační zpráva je 1500 bitů dlouhá a vysílána frekvencí 50 Hz. Obsahuje informace o pozici jednotlivých satelitů, systémový čas, různé korekce hodin a ionosférického zpoždění a stav satelitů. Pozice satelitu tzv. efemeridy jsou pravidelně aktualizovány pozemními stanicemi. Tyto informace slouží k určení pozice a rychlosti uživatele (přijímače).
[6][7][11]



Obrázek 1.1 – Složení L1 a L2 [17]

1.1.2 GLONASS

GLONAS má stejně jako GPS kosmický, řídicí a uživatelský segment. Kosmickou část tvoří minimálně 24 satelitů ve třech orbitálních drahách po 120°. V každé rovině je 8 satelitů po 45°. Satelity jsou ve výšce přibližně 19100 km, každý satelit dokončí svou dráhu za 11 hodin a 15 minut. Řídící centra se nacházejí po celém území Ruska a starají se o monitorování stavu, korekce orbitálních parametrů a nahrávání navigačních dat. Uživatelský segment je obdobný jako u GPS.

Satelity vysílají signál frekvenčně modulovaný FDMA (pro GNSS netypické, vyžaduje širší šířku pásma) na několika daných kmitočtech:

$$L1 = 1602 + n * 0,56250 \text{ MHz} \quad (1.1)$$

$$L2 = 1246 + n * 0,43750 \text{ MHz} \quad (1.2)$$

kde n je od -7 do 6, tedy 14 frekvencí. Tento počet je dostačující, protože dva satelity jsou vždy proti sobě a není tedy možné přijmout signál z obou zároveň.

V plánu jsou ještě další frekvence, např. L5 na kódové modulaci CDMA pro kompatibilitu s GPS a Galileo. L1 je veřejný a je L2 pro oprávněné uživatele.

Určení polohy je obdobné jako u GPS.

Výhodou systému GLONASS je, že díky rozmístění satelitů poskytuje signál i u pólů Země. [12]

1.1.3 Galileo

Galileo je Evropský globální družicový navigační systém spolupracující se systémem GPS a GLONASS. Systém má být tvořen 30 operačními družicemi obíhajícími ve výšce přibližně 23 222 km nad povrchem Země po drahách se sklonem 56° ve třech rovinách,

vzájemně vůči sobě posunutých o 120° . Každá dráha bude mít 9 pozic pro družice a 1 pozici jako zálohu.

Veřejně dostupný signál bude využívat dvě pásma. Bude také poskytovat signál pro autorizované uživatele s lepší přesností. Z většiny míst v Evropě bude šest až osm satelitů vždy viditelných. Přesnost systému by měla být několik centimetrů.

Sídlo projektu je od roku 2010 v Praze. Momentálně je v provozu 14 satelitů, okolo roku 2015 by mělo začít poskytovat služby 18 satelitů a do roku 2020 by měl být systém plně zprovozněn, tedy na oběžné dráze bude všech 30 satelitů. [20][23]

1.1.4 Další

- DORIS – francouzský systém
- Compass – (dříve Beidou) čínský systém, pokrývá území od Číny po Austrálii
- QZSS – japonský systém pracující s referenčními stanicemi, centimetrová přesnost

1.2 Princip určení polohy

Základní princip je v určení tzv. pseudovzdálenosti (předpokládaná vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem). Vlivem ionosféry, atmosféry, chybou hodin a odchylkou předpokládané polohy satelitu je ovlivněna přesnost pseudovzdálenosti. Pokud je známá pozice satelitu (tuto informaci přijímač určí z navigační zprávy) a je změřena pseudovzdálenost, lze vypočítat polohu přijímače. Pseudovzdálenost lze určit:

- fázi C/A nebo P kódu (nečastější princip, rychlý a levný),
- Dopplerovým jevem frekvenčního posunu,
- fázi nosné vlny (velmi přesné),
- interferometrického měření. [6][7][11]

1.2.1 Kódové měření

K určení vzdálenosti mezi družicí a anténou přijímače se využívá měření doby šíření elektromagnetického vlnění (signálu).

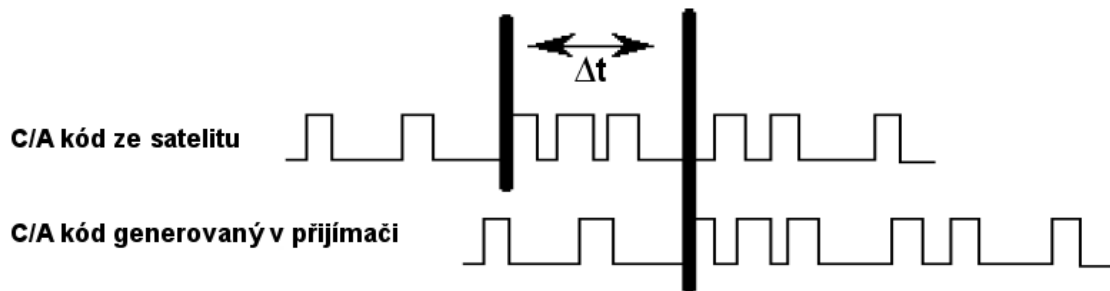
Družice periodicky (každou milisekundu) vysílá C/A kód. Přijímač přijme tento kód a začne generovat jeho kopii (také periodicky po 1ms). Po přijetí kódu z družice, který je oproti generovanému v přijímači zpožděn (zpoždění je závislé na vzdálenosti satelitu, parametrech ionosféry a dalších vlivech) se přijatý a generovaný kód se porovnají, je změřen časový posuv mezi kódy. Toto posunutí signálů se zjišťuje pomocí korelace, jak znázorňuje obrázek 1.2. Vysílaný a generovaný kód byl vytvořený ve stejný okamžik t_0 , v čase t_1 dorazil vysílaný kód do přijímače. Rozdíl t_0 a t_1 odpovídá času, který potřebuje signál k překonání dráhy satelit – přijímač a chybě hodin. Získaný časový posuv (1.4) je využit pro výpočet (1.3) pseudovzdálenosti:

$$r = c * \Delta t \quad (1.3)$$

kde r - je pseudovzdálenost

c - je rychlost světla ve vakuu (299 792 458 m/s)

$$\Delta t = t_1 - t_0 \quad (1.4)$$



Obrázek 1.2 – Kód generovaný satelitem a přijímačem a jejich časový posuv [9]

Ze znalosti tří pseudovzdáleností lze vypočítat souřadnice X , Y , Z (zeměpisná šířka, zeměpisná výška a nadmořská výška). Pro korekci chyby hodin přijímače je potřeba čtvrtý satelit.

$$r_i = (t_i + \Delta t)c = \sqrt{(x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2 + (z_i - Z)^2} \quad (1.5)$$

kde r_i – pseudovzdálenost od i -tého satelitu

t_i – doba šíření signálu od i -tého satelitu

Δt – časová odchylka (chyba) přijímače od systémového času GPS

c – je rychlost světla ve vakuu

x_i, y_i, z_i – známé souřadnice satelitu

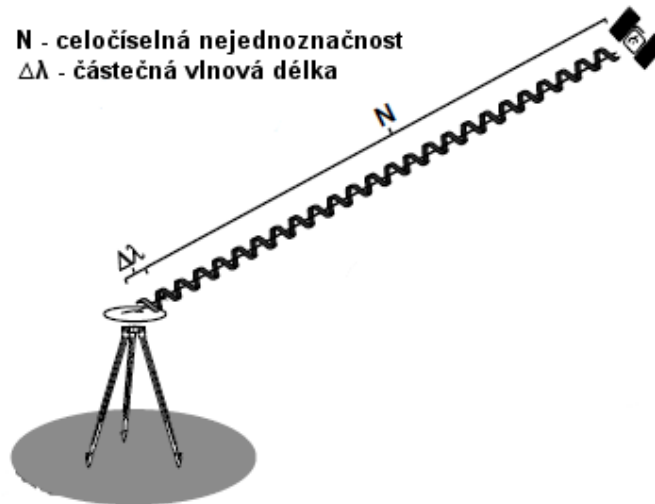
X, Y, Z – neznámé souřadnice přijímače

1.2.2 Fázové měření

Vychází z měření fáze elektromagnetické vlny. Za předpokladu, že je přijímač schopen změřit až 1/100 nosné vlny, pak při délce vln $\lambda_1 = 19$ cm je možné určit pseudovzdálenosti pomocí fázových měření s přesností na milimetry. Zde vyvstává problém, že přijímač sice určí fázi, ale není možné určit počet vln mezi vysílačem a přijímačem (viz. Obrázek 1.3). Pro řešení se používá metoda celočíselné nejednoznačnosti. To je hlavním úkolem sítě RTK (viz. kapitola 1.3.2 RTK). Používané metody:

- statická (měření několik hodin až dní),
- rychlá statická,

- Stop and go,
- RKT a další.



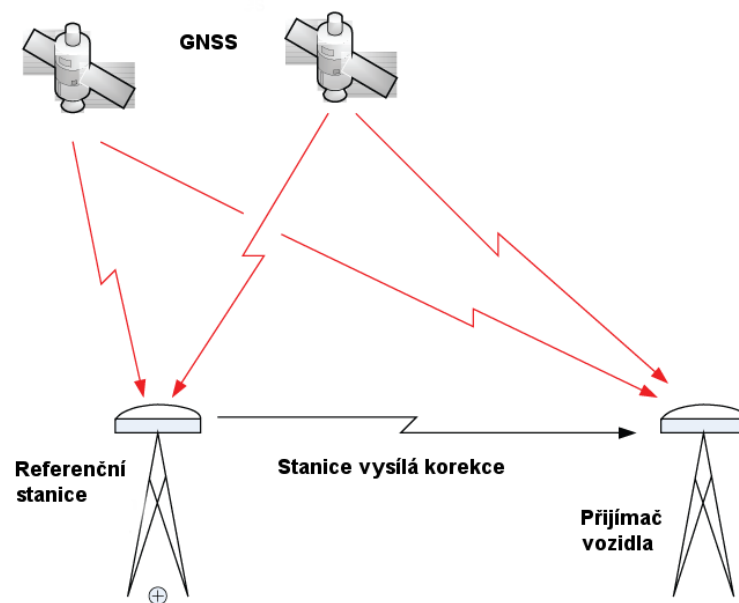
Obrázek 1.3 – Fázové měření [9]

1.3 Korekce pozice

Korekce pozice se používají všude tam, kde je potřeba určit pozici s větší přesností než v základu poskytují GNSS. Například navádění lodí v průplavech, monitorování letadel v okolí letišť, zemědělství, geografické zaměřování apod.

1.3.1 DGPS

Princip DGPS je, že existuje tzv. referenční stanice se známou správnou pozicí. Referenční stanice zjistí svou pozici pomocí GPS, a porovná tuto pozici se správnou, z rozdílu si určí chybu měření (viz. Obrázek 1.4). Tato chyba bude přibližně stejná pro přijímače v okolí této referenční stanice (s rostoucí vzdáleností roste nepřesnost). Takto použité chyby se nazývají korekce. Ty se k uživateli dostávají například pomocí mobilního internetu či rádiového datového systému (pouze v okolí stanice). [21]



Obrázek 1.4 – Princip DGPS [21]

1.3.2 RTK

RTK je metoda pro šíření korekcí v reálném čase. Princip RTK je podobný jako u DGPS. Pro určení pseudovzdálenosti využívá měření nosné fáze, čímž dosáhneme přesnosti řádově cm. Existuje síť pevných referenčních stanic, u nás provozující společnosti Trimble VRS Now Czech, CZEPOS, TopNet.

RTK je kinematické mapování s komunikačním spojením mezi základnou (referenční stanicí) a přijímačem vozidla. Základnová stanice se nachází na známém místě. Stanice měří svou pozici z viditelných satelitů a poté ji vysílá se známou pozicí do přijímače vozidla. Vozidlo změří svou pozici a zpracuje ji s daty od základové stanice. Z nich pak vypočítá své přesnější umístění. Pokud komunikace mezi stanicí a vozidlem je rádiová, může stanice obsloužit neomezený počet vozidel, pokud je použit například mobilní telefon pro komunikaci, může být počet vozidel omezen. [9][21]

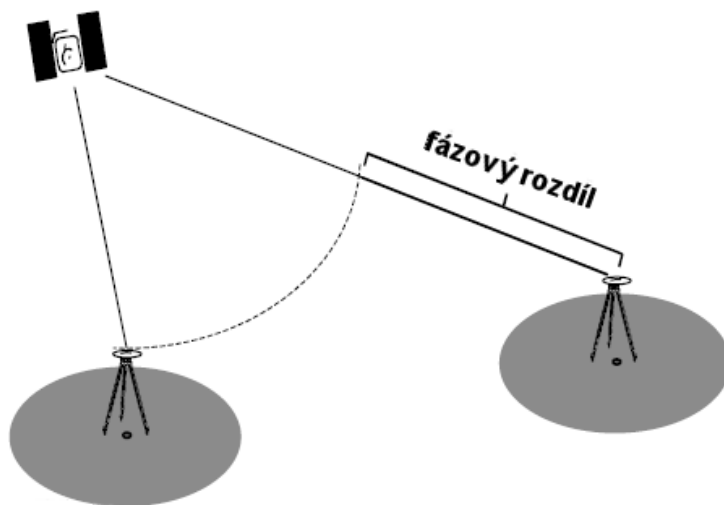
Měření fáze nosné kruhově polarizované vlny

- Přijímač průběžně počítá počet celých vlnových délek, ale neví přesně, kolik jich bylo (celočíslná nejednoznačnost). Předtím, než je celočíslná nejednoznačnost vyřešena, je typ řešení polohy znám, jako „float“. Tedy hodnoty nejednoznačnosti mají desetinnou část. Po inicializaci RTK je nejednoznačnost vyřešena.

Inicializace RTK

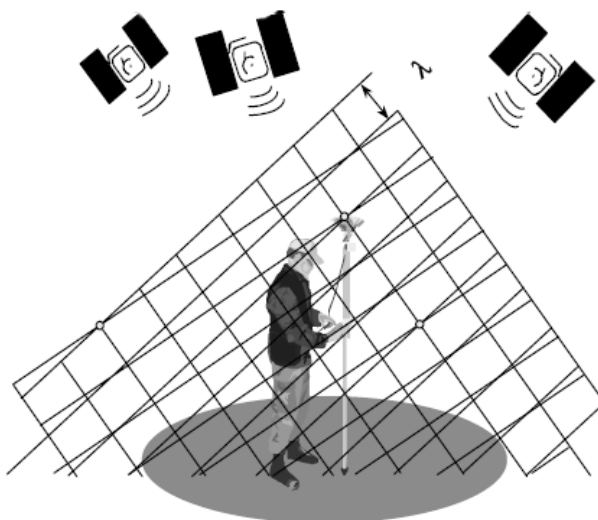
- Měření fázových rozdílů – Neexistuje žádný způsob jak správně určit celá čísla pomocí jednoho přijímače. K vyřešení celočíslné nejednoznačnosti jsou potřeba dva přijímače, které přijímají signál ze stejného satelitu. Signál jednoho přijímače se používá jako referenční. Je-li tento referenční signál srovnán se signálem

druhého přijímače, je určen fázový rozdíl mezi nimi (viz. Obrázek 1.5). Fázové rozdíly jsou odvozeny ze všech dostupných satelitů.



Obrázek 1.5 – Fázový rozdíl mezi přijímači [9]

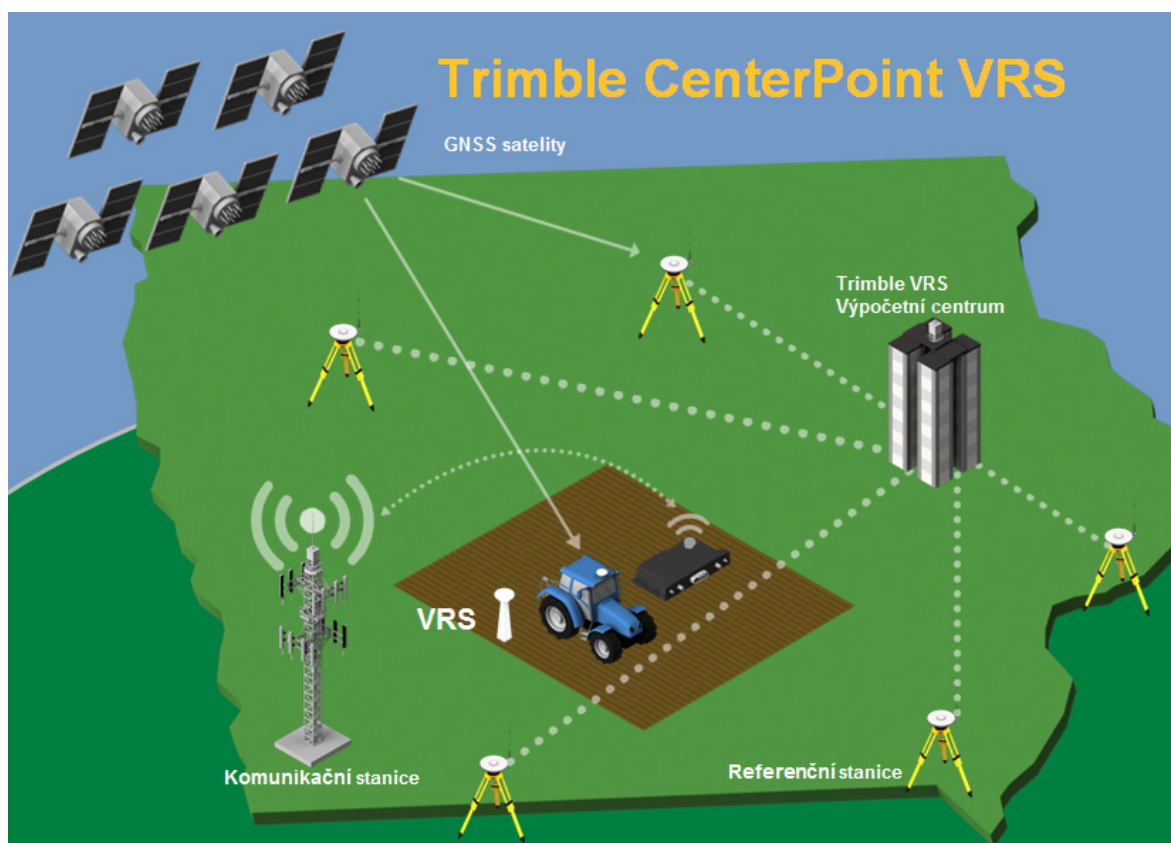
- Počáteční odhad celých čísel – odhad je počítán na základě pseudonáhodného kódu (C/A). Očekávaná odchylka (chyba) těchto odhadů definuje rozsah vyhledávání pozice kolem neznámé pozice antény vozidla. Tento rozsah obsahuje 3D matici bodů, každý bod propojený s kombinací celých čísel (viz. Obrázek 1.6).
- Vyhledání nejlepší kombinace – hledání zahrnuje řadu výpočtů každé celočíselné kombinace pozice vozidla. Správná kombinace se určí na základě statistického testu definující kvalitu řešení. Každý takový test vyžaduje alespoň pět viditelných satelitů.



Obrázek 1.6 – Řešení celých čísel [9]

1.3.3 VRS

VRS umožňuje měření polohy s okamžitým přístupem ke korekcím v reálném čase s využitím sítě stálých (fixních) neustále operujících referenčních stanic. Metoda VRS rozšiřuje použití RTK na celou oblast v rámci sítě referenčních stanic. Přesnost na centimetr je nyní dostupná na vyžádání, kdekoliv v síti. Síť referenčních stanic společnosti Trimble je trvale umístěna (obvykle 50–70 km od sebe) v rámci celého regionu. Předplatitel služby VRS společnosti Trimble zapne svůj přijímač GNSS a pro každý individuální přijímač dojde k vygenerování “virtuální” referenční stanice. Centrální server pro VRS používá vlastní software pro vytvoření korekčního modelu specifického regionu, který je pokrytý sítí VRS. Údaje z fixních referenčních stanic jsou přenášeny do centrálního serveru Trimble VRS. Jsou aplikovány vysoce sofistikované modely za účelem snížit atmosférické narušení satelitních pozorování. Síťový procesor provádí kontroly integrity na všech pozorovatelných, zatímco kontroly kvality se provádí na datech z každé fixní referenční stanice. Jakmile je integrita dat ověřena, vytvoří se řada korekčních zpráv ve standardním formátu tak, jako by pocházely z virtuální referenční stanice. Tyto korekce RTK se pak přenesou na přijímač přes mobilní modem. To je rovněž velmi rychlé. Po zapnutí přijímače obdržíte korekce během několika sekund. Princip VRS znázorňuje obrázek 1.7. [8]



Obrázek 1.7 – Princip VRS [13]

1.3.4 EGNOS

EGNOS je prvním celoevropským satelitním navigačním systémem. Skládá se z pozemních monitorovacích stanic (zhruba 40), tří satelitů, jejichž signály doplňují ty GPS pro poskytnutí přesnější polohy a spolehlivosti signálu. Poskytnutá data jsou vhodná pro bezpečnostní řízení, jako jsou přistání letadla, manévrování lodí v úzkých kanálech a sledování vlaků. EGNOS poskytuje tři služby:

- Open Service EGNOS – je poskytován zdarma, satelitním signálem do GPS přijímačů. Jeho přesnost je mezi 1-3 m horizontálně a 2-4 m vertikálně,
- Commercial Data Distribution Service – pro profesionální uživatele, přístup na servery ke korekcím z pozemních stanic (přesné korekce v reálném čase),
- Safety of Life service – převážně určena pro letectví.

EGNOS shromažďuje data z monitorovacích pozemních stanic RIMs. Každý GPS satelit je sledován několika RIMs. Čtyři řídicí centra monitorují údaje z RIMs pro generování korekcí a zpráv integrity o každém satelitu. Tyto informace jsou šesti pozemskými navigačními stanicemi přenášeny na satelity EGNOS a odtud jsou vysílány uživatelům. [10]

1.3.5 OmniSTAR

Celosvětová síť OmniSTAR poskytující korekce, které zlepšují přesnost určení polohy z GPS signálu. Více než 100 referenčních stanic rozmístěných po celém světě sleduje GPS signál v reálném čase. Z informací těchto stanic generuje korekce pro přijímače podporující korekce OmniSTAR, prostřednictvím satelitu nebo internetu (dříve rádiem). Služby OmniSTAR jsou placené v rámci předplatného a jsou pod následujícím označením.

- HP – Nejpresnější služba, modelování korekce z celé sítě stanic s využitím měření nosné fáze L1 a L2.
- G2 – K GPS přidává satelity GLONASS, vodný do míst se špatným signálem.
- XP – Využívá měření fáze L1 a L2.
- VBS – Pouze měření pseudokódu L1. [4]

1.3.6 Ostatní doplňkové služby

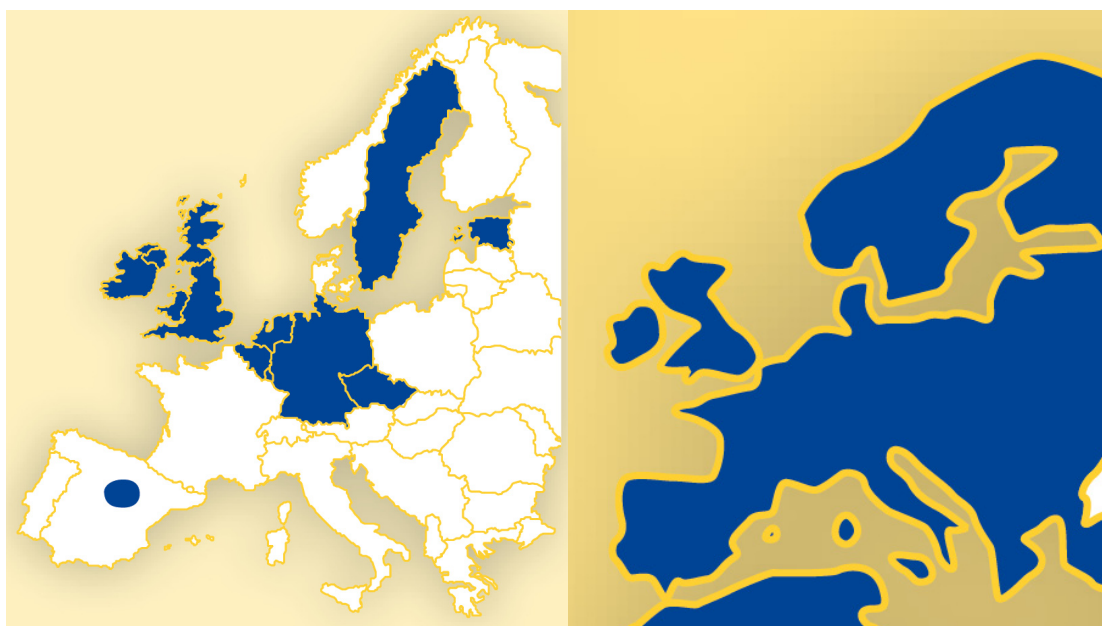
- Trimble xFill je technologie poskytující korekce RTK přes satelit v případě výpadku GSM komunikace po dobu 20 minutu. [4]
- Trimble RangePoint RTX poskytuje korekce pomocí satelitu s přesností do 50 cm. Příjem umožňují jen některé přijímače firmy Trimble. [4]

1.3.7 Shrnutí a dostupnost

V následující tabulce 1.1 jsou shrnuty vybrané korekce. Obrázek 1.8 znázorňuje dostupnost VRS a OmniStar XP v Evropě. Za zmínku stojí, že Česká republika patří k málo zemím EU, kde je VRS dostupný.

Tabulka 1.1 – Porovnání vybraných korekcí

Korekce	Přesnost krátkodobá ¹	Přesnost dlouhodobá ²	Přenos korekcí	GNSS systém	Cena ³
DGPS	25 cm	1 m	rádio	GPS	25000
EGNOS	25 cm	1,3 m	satelit ESAT	GPS	zdarma
OmniStar VBS	25 cm	1 m	satelit Inmarsat	GPS	20000
OmniStar XP	10 cm	20 cm	satelit ESAT	GPS	25000
OmniStar HP	7,5 cm	20 cm	satelit ESAT	GPS	35000
RTK	2,5 cm	2,5 cm	rádio nebo GMS modem	GPS, GLONASS	25000
VRS	3 cm	3 cm	rádio nebo GMS modem	GPS, GLONASS	44000



Obrázek 1.8 – Dostupnost Trimble VRS (vlevo) a OmniStar XP v Evropě [4]

¹15 minut

²meziročně

³[kč] bez DPH, přibližná hodnota, vychází z ceníku společnosti Leading Farmers a CZEPOS

2 Systémy pro automatické řízení

Systémy automatického řízení umožňující automatizované nebo alespoň asistované řízení vozidla za pomoci GNSS. Systém lze rozdělit na dvě základní části:

- naváděcí displej, (přijímač GNSS) dává povely řídicímu systému,
- řídicí systém, mění směr jízdy vozidla.

Tyto systémy se používají pro tzv. přesné zemědělství. Technologie přesného stanovení polohy pracovního stroje a návazně i přesné aplikace šetří nejen čas, ale významně i finanční náklady na setí, aplikaci postřiků a hnojiv při plném využívání pracovního záběru stroje. Nedochází např. k vynechávkám nebo přesahům při setí a aplikaci postřiků, které může rostlinu spálit. Dále umožňuje monitorování strojů a půdy pro plánování.

V následujících částech jsou představeny nejběžnější systémy pro automatické řízení.

2.1 Naváděcí displej

2.1.1 CFX-750

CFX-750 je navigační systém společnosti Trimble s dotykovou obrazovkou za dostupnou cenu. Je možné jej použít pro systémy automatického řízení a pro operace přesného zemědělství. Navigační systém CFX-750 (viz. Obrázek 2.1) zvyšuje efektivitu polních operací při setí, sázení, přípravě půdy, aplikaci pesticidů a hnojiv. Kompatibilní se systémem pro inteligentní řízení sekcí a dávkování. Klíčové vlastnosti:

- funkce navádění pro manuální řízení (pomocí světelné lišty),
- možnost připojit na automatické nebo asistované řízení,
- dotyková obrazovka (úhlopříčka 20 cm),
- integrovaný GPS přijímač pro L1 a L2, možnost příjem GLONASS,
- možnost korekcí OmniStar, instalace rádía pro RTK,
- možnost připojení kamery. [22]



Obrázek 2.1 – Trimble CFX-750 [22]

2.1.2 FMX

Model FMX (viz. Obrázek 2.2) je nejvyšší model společnosti Trimble. Oproti CFX-750, obsahuje navíc:

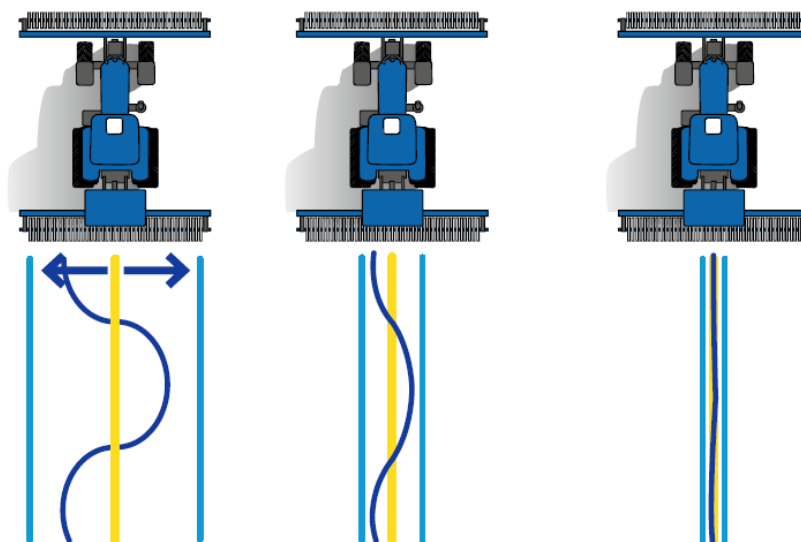
- dva samostatné přijímače GPS + GLONASS pro zajištění lepší dostupnosti signálů,
- displej s úhlopříčkou 30 cm,
- integrované rádio pro RTK,
- umožňuje připojení více pracovního nářadí. [22]



Obrázek 2.2 – Trimble FMX [22]

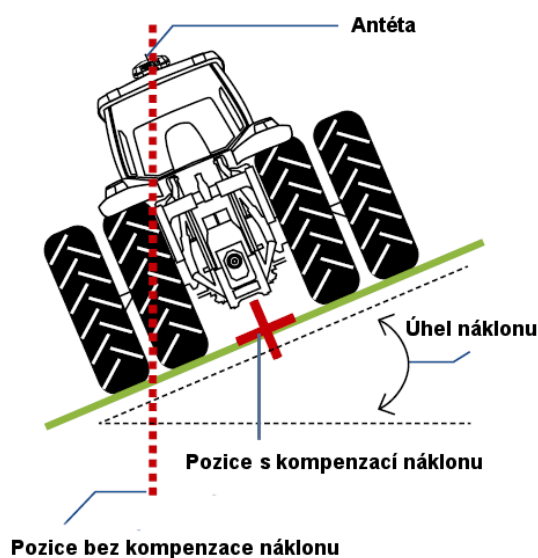
2.2 Řídicí systém

Řídicí systém řídí vozidlo. Tyto systémy lze rozdělit na asistované a automatické. Asistované řízení je připojeno jako nástavba vozidla (EZ-Steer, EZ-Pilot). Automatické řízení je připojeno na vnitřní systém vozidla (AutoPilot). Srovnání systému znázorňuje obrázek 2.3.



Obrázek 2.3 – Manuální jízda, EZ-Pilot, AutoPilot [14]

Zmíněné systémy podporují kompenzaci náklonu, čidlo T2 či T3. Pokud vozidlo jede po svahu tak pozice antény je odlišná od správné pozice (viz. Obrázek 2.4). Čidlo tuto odchylku kompenzuje.



Obrázek 2.4 – Princip kompenzace náklonu [22]

2.2.1 AutoPilot

Trimble AgGPS Autopilot je systém, který se nainstaluje na hydraulický systém vozidla a s použitím navigačního displeje řídí stroj automaticky po požadované dráze ve tvaru přímky, křivky, centrálního pívotu nebo jejich kombinací s centimetrovou přesností. Základen je NavII Controler (viz. Obrázek 2.5), který v sobě obsahuje čidlo kompenzace náklonu T3.

K systému Autopilot je potřeba, pokud vozidlo není připraveno z výroby, nainstalovat akční a snímací komponenty (hydraulický ventil, senzor natočení kol). [22]



Obrázek 2.5 – NavII Controler [22]

2.2.2 EZ-Pilot

Trimble EZ-Pilot je systém asistovaného řízení vozidla. EZ-Pilot (viz. Obrázek 2.6) otáčí volantem pomocí elektromotoru na základě pokynů z navigačního displeje. Instalace zachová možnost používání původního volantu a možností jeho nastavení.

K systému EZ-pilot je třeba „platform kit“ - instalační sada specifická pro příslušný typ vozidla, na který se bude EZ-Pilot instalovat (viz. Obrázek 2.7).



Obrázek 2.6 – EZ-Pilot [22]



Obrázek 2.7 – Ukázka instalace EZ-Pilot [24]

2.2.3 EZ-Steer

Trimble EZ-Steer je systém asistovaného řízení vozidla. EZ-Steer (viz. Obrázek 2.8) otáčí volantem pomocí tření malého kolečka, otáčené servomotorem. Tento systém je určen převážně pro starší typy vozidel.



Obrázek 2.8 – Příklad instalace EZ-Steer [22]

3 NMEA Recorder

NMEA Recorder je zařízení vyvinuté v rámci této bakalářské práce. NMEA Recorder (viz. Obrázek 3.1) čte NMEA zprávy z navigačního displeje a následně je uloží na paměťovou kartu SD. Zařízení je umístěno v hliníkové krabičce (viz. Obrázek 3.5), ve vrchní části je vyfrézovaný otvor pro LCD displej, na pravé straně (viz. Obrázek 3.4) je konektor CAN9, kterým je přivedeno napájení a data v podobě NMEA zpráv na komunikační lince RS232, na levé straně (viz. Obrázek 3.3) je otvor a pro SD kartu a tlačítko ovládající zařízení. Základní parametry zařízení jsou v tabulce 3.1.

Tabulka 3.1 – Parametry NMEA Recorderu

Parametry NMEA Recorderu	
Napájecí napětí	12V (min.6V, max. 15V)
Napájecí proud	100mA, při 12V
Maximální frekvence zápisu NMEA GGA	10Hz
Souborový systém	FAT32
Podporované přenosové rychlosti	9600, 16200, 32400Bd
Ukládané soubory	DATAxxxx.dat, kde xxx je pořadové číslo



Obrázek 3.1 – NMEA Recorder

3.1 Popis hardware

Jádrem je mikroprocesor ATmega644PA [5]. Jedná se o 8bit mikroprocesor s 64 kB FLASH paměti pro program, 4 kB SRAM a 2 kB EEPROM. Taktován krystalovým oscilátorem na 8 MHz.

Schéma zapojení zařízení je na obrázku 3.2.

Napájecí napětí je přivedeno na konektor X1 pin 9 a přes diodu na stabilizátor IC3 stabilizující 5 V pro podsvícení LCD, toto napětí je dále stabilizováno na 3,3 V pro napájení všech ostatních komponentů.

Paměťová karta je s mikroprocesorem propojena sběrnici SPI, signály CLK, MOSI a MISO. Signál CS slouží k aktivaci karty a signál INT_SD signalizuje, zda je karta vložena či vyjmuta. Kondenzátor C15 potlačuje záskoky generované mechanickým spínačem pouzdra karty. Karta je napájena napětím 3,3 V.

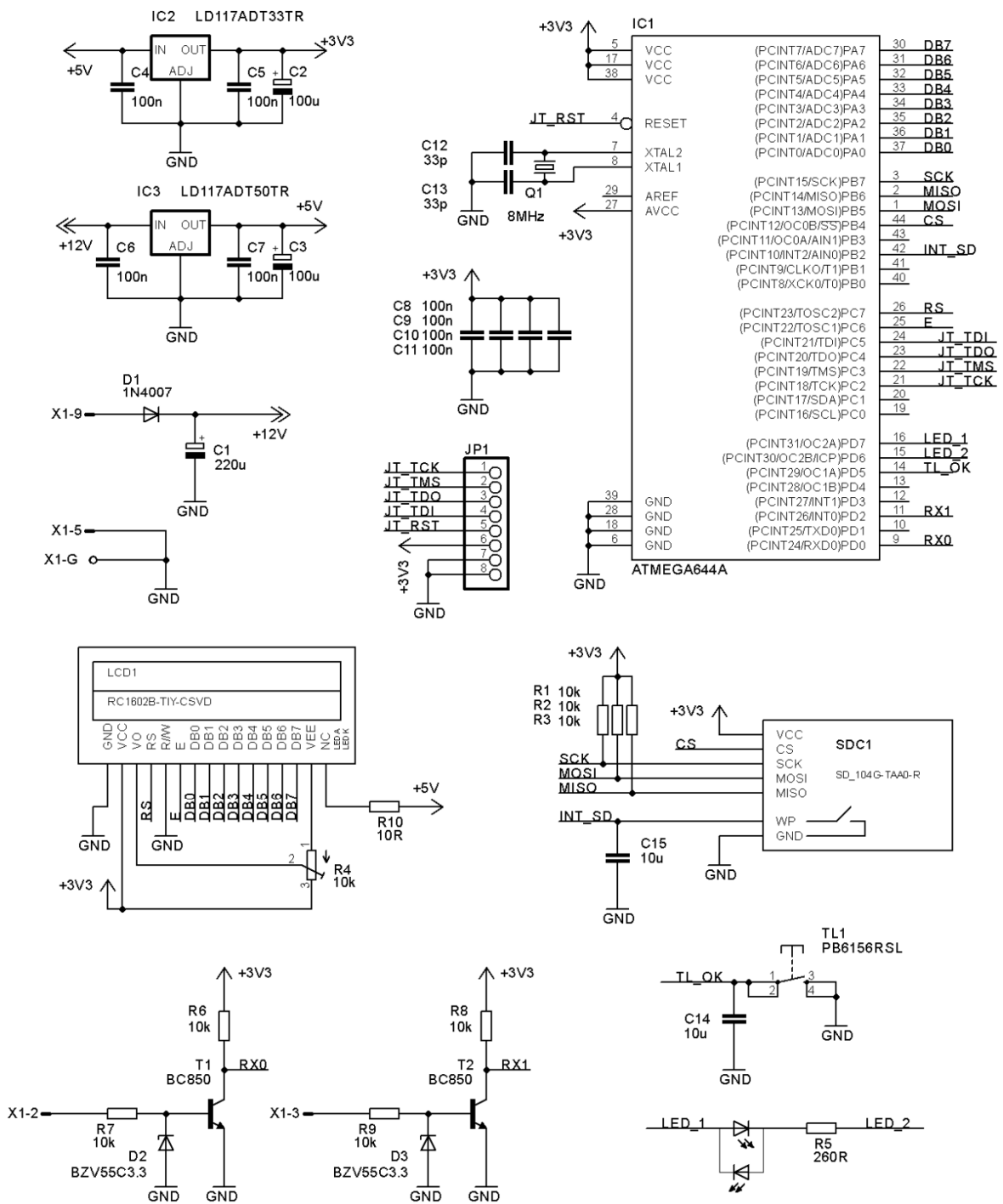
NMEA zprávy na RS232 jsou přijímány na konektoru X1 pin 2. RS232 má obrácenou logiku, tedy log1 je interpretována napětím -15V a log0 napětím +15V. RS232 má stejný formát rámce jako UART v mikroprocesoru. Převod napěťových úrovní provádí tranzistor T1. Když RS232 vyšle log0 tak T1 je otevřen a uzemní signál RX0 čímž interpretuje log0 pro UART, pokud RS232 vyšle log1 tak T1 je zavřen a na signál RX0 je přivedeno přes R6 napájecí napětí, což interpretuje log1 pro UART. Zenerova dioda D2 chrání tranzistor proti přepětí.

LCD displej má dva řádky a 16 znaků na řádek. Je použit typ s technologií FSNT. Datová komunikace je 8 bitová (signály P_{Bn}) plus řídicí signály RS (výběr data/příkaz) a E (potvrzení). Kontrast je nastavován trimrem R4. Rezistor R10 omezuje proud pro LED podsvícení.

Tlačítko TL1 je podsvícené dvojicí LED (červené a zelené). C14 omezuje záskoky a log1 je pomocí vnitřního pull-up rezistoru v mikroprocesoru. R5 omezuje proud LED. Volbou logické úrovně signálů LED_1 a LED_2 je vybrána příslušná barva LED.

Konektor JP1 slouží k připojení programovacího a ladícího rozhraní JTAG.

Celé zapojení je navrženo na dvoustranné DPS (viz. Obrázek 3.7 a Obrázek 3.6). Výrobní data DPS jsou v příloze A. Seznam použitých součástek je v příloze B. V příloze C je štítek na čelní panel a nákres rozměrů pro otvory.



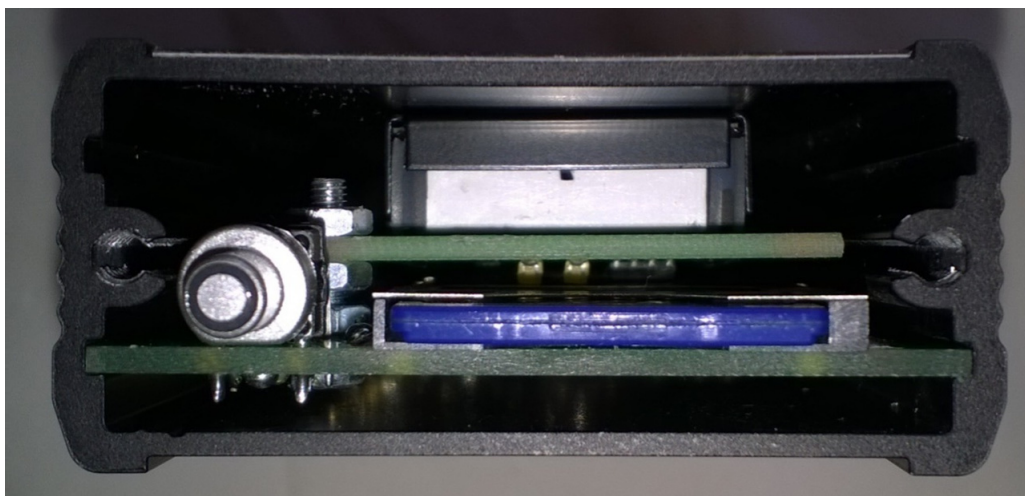
Obrázek 3.2 – NMEA Recorder – schéma zapojení



Obrázek 3.3 – NMEA Recorder – levý bok



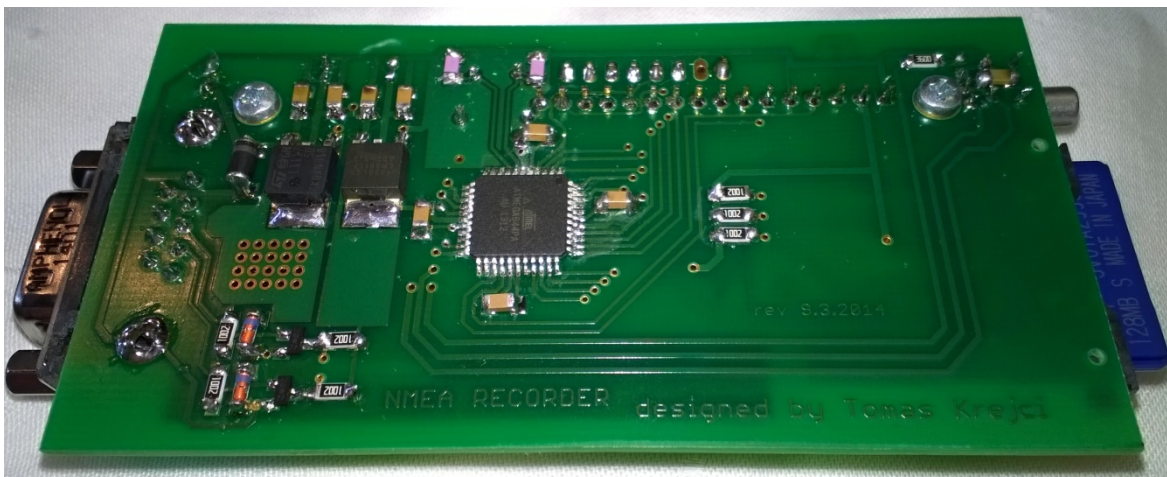
Obrázek 3.4 – NMEA Recorder – pravý bok



Obrázek 3.5 – NMEA Recorder – umístění DPS



Obrázek 3.6 – NMEA Recorder – osazená DPS s LCD



Obrázek 3.7 – NMEA Recorder – osazená DPS

3.2 Popis software

Po přivedení napájení je provedena inicializace zařízení a program se zacyklí a zobrazuje stav zařízení kde:

- blikající zelená LED – příjem dat,
- blikající červená LED – zápis NMEA zprávy na SD kartu,
- svítící zelená LED – úspěšná inicializace SD karty,
- svítící červená LED – signalizuje chybu,
- v případě zapnutého záznamu zobrazuje na LCD aktuální souřadnice.

Výměna SD karty vyvolá přerušení, a pokud je karta vložena, provede její inicializaci.

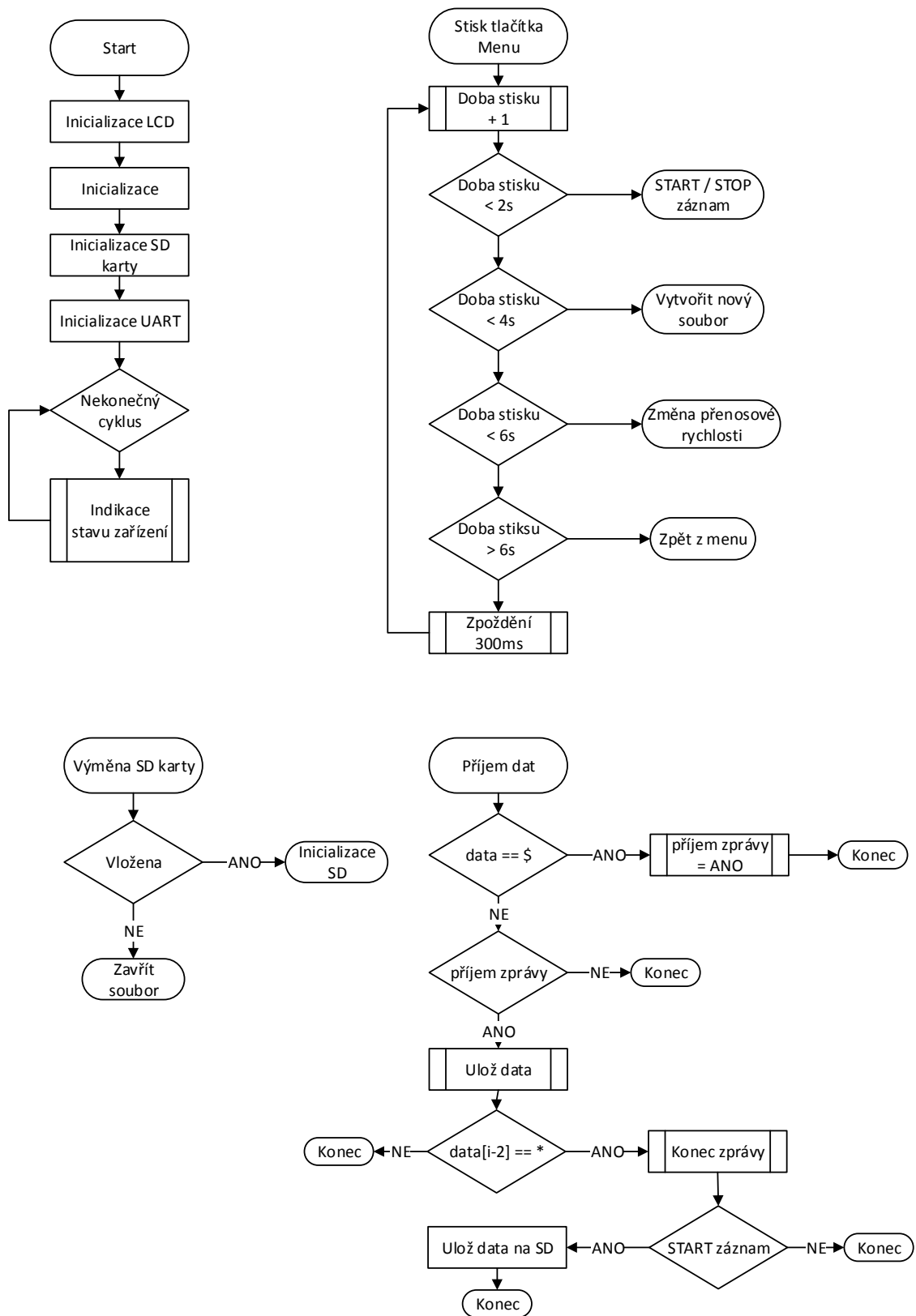
Stisk tlačítka vyvolá přerušení a podle toho, jak dlouho bude stisknuto, se provede příslušný úkol

- Start / Stop záznam – zapne nebo vypne funkci ukládání na SD kartu,
- Vytvoří nový soubor – vytvoří nový soubor s vyšším pořadovým číslem,
- Změna přenosové rychlosti – změní přenosovou rychlost pro příjem dat.

Při přijetí NMEA zprávy a povoleném záznamu uloží přijatou zprávu na konec otevřeného souboru na SD kartě.

Inicializace SD karty vytvoří soubor s příslušným pořadovým číslem (např. DATA0014.dat), pokud tento soubor již na SD kartě existuje, otevře ho a ukládání bude probíhat na jeho konec. Pro práci s SD kartou ve formátu FAT32 je použita knihovna od [19].

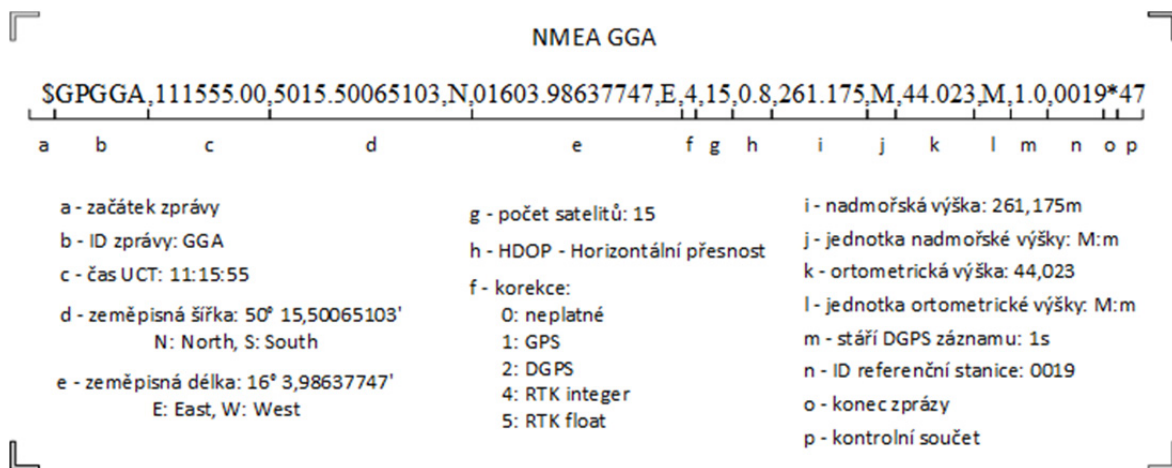
Bližší informace o programu popisuje vývojový diagram na obrázek 3.8.



Obrázek 3.8 – NMEA Recorder – vývojový diagram

3.3 NMEA zprávy

Jsou standardizované (NMEA-0183) zprávy používané v GNSS. Obsahují informace o poloze, času, stavu satelitů,... Každá zpráva začíná „\$“ a končí „*“ + kontrolní součet, informace jsou odděleny „;“. Zde je využito zpráv typu „GGA“ které obsahují hlavně pozici a čas. Obsah zprávy GGA popisuje obrázek 3.9. [3]



Obrázek 3.9 – NMEA GGA

4 Programy pro analýzu

Programy pro analýzu byly v rámci této bakalářské práce vyvinuty na platformě .NET Framework 4.5. Kompatibilní od Windows Vista do Windows 8.1.

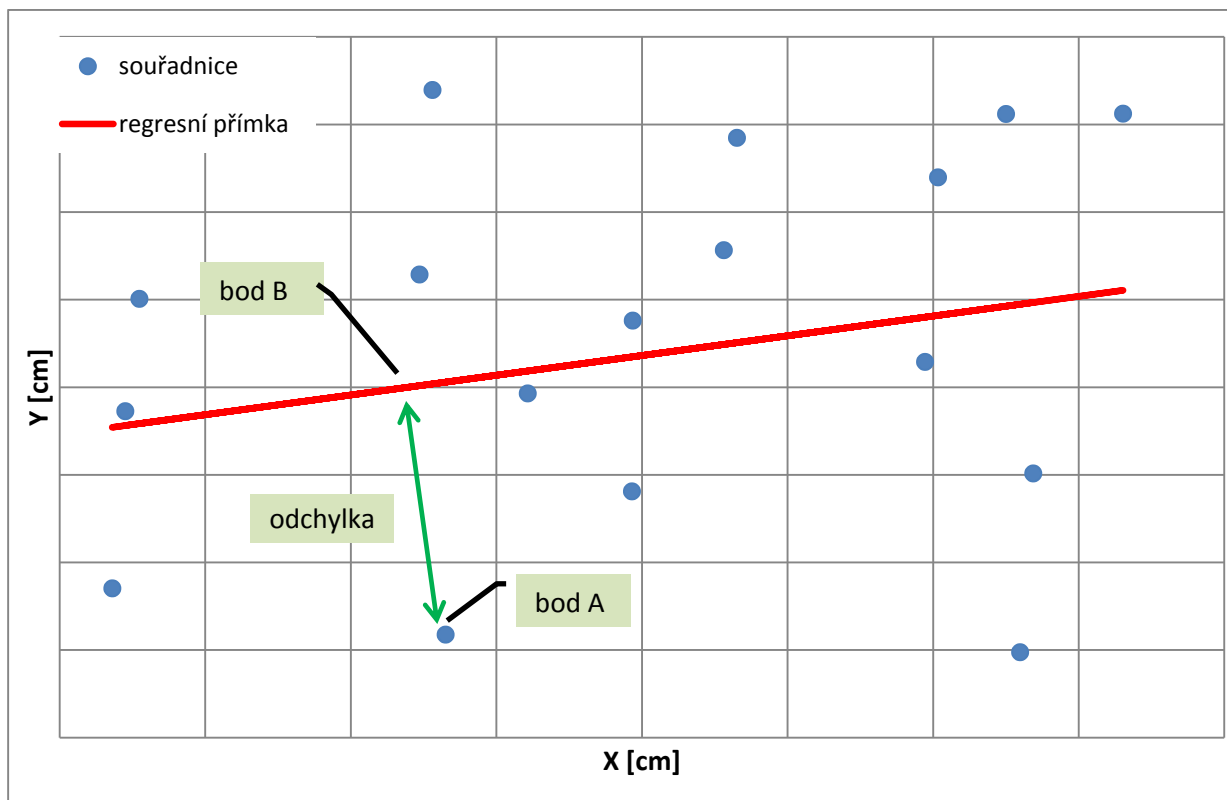
4.1 AutoPilot Analyzer

Jedná se o program, který ze zaznamenaných NMEA zpráv vyhodnotí jízdu vozidla. Umožňuje tisk protokolu s analyzovanými daty.

Stiskem tlačítka *Přidat* je vybrán soubor vytvořený NMEA Recorderm. Program zkontroluje kontrolní součet NMEA zpráv a ze správných vyčte informace souřadnice, čas, počet satelitů, typ korekcí.

Analýza je pak provedena v následujících krocích:

- počet satelitů – aritmetický průměr ze všech zpráv
- použité korekce – celočíselný a aritmetický průměr ze všech zpráv
- odchylka – ze zaznamenaných souřadnic určí lineární regresní přímku, která dané souřadnice protíná. Následně ke každé souřadnici (bod A) určí souřadnice na přímce (bod B) kolmo na bod A. Vzdálenost mezi body A a B vyjadřuje odchylku viz. obrázek 4.1.
- směrodatná odchylka – z určených odchylek počítá směrodatnou odchylku
- průměrná odchylka – aritmetický průměr ze všech odchylek
- extrém – vyhledá maximální odchylky (zápornou i kladnou)
- ujetá vzdálenost – vzdálenost mezi první a poslední pozicí (předpokládá se, že vozidlo jelo stále vpřed)
- GPS čas – čas prvního a posledního záznamu

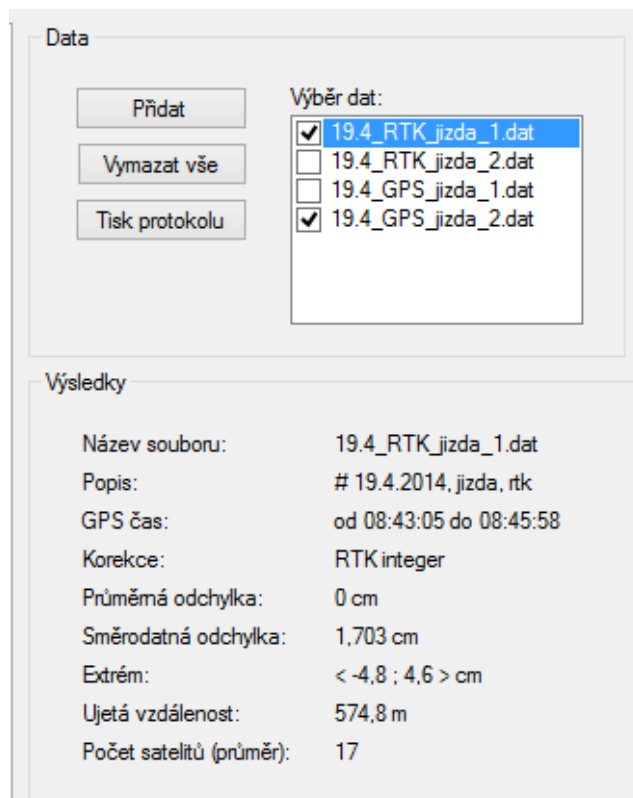


Obrázek 4.1 – Určení odchylky

Změřená data se ukládají do třídy *Výsledky* a následně je přidán načtený soubor do okna pro výběr zobrazení analyzovaných dat.

Kliknutím na načtený soubor ve výběrovém okně se zobrazí výsledky analýzy (viz. Obrázek 4.2) a zaškrtnutím zobrazí výsledky do grafu odchylek a normálního rozdělení.

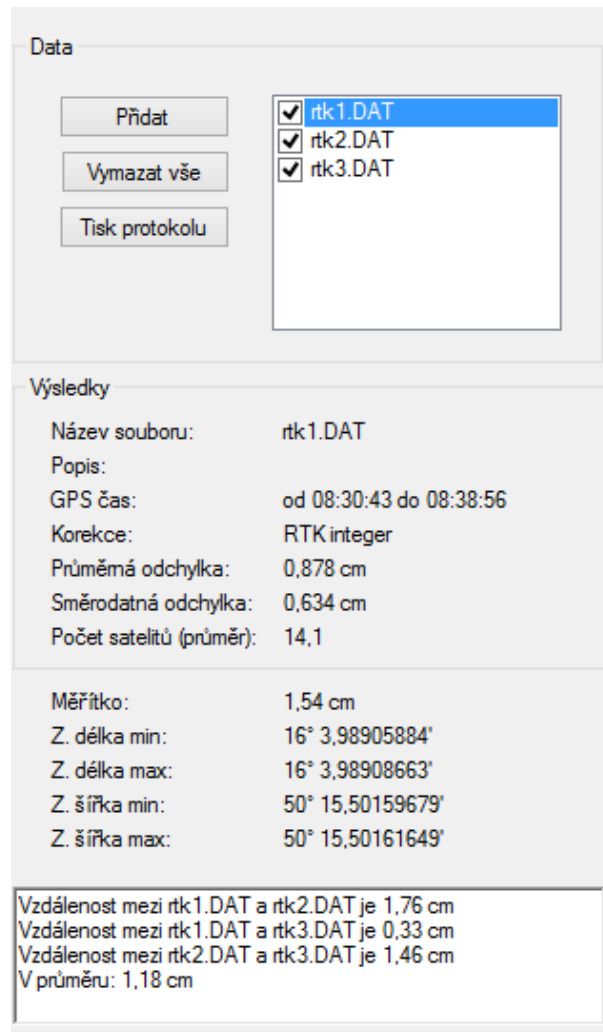
Kliknutím na *Tisk protokolu* program vytvoří sestavu k tisku, obsahuje výsledky všech načtených souborů a zobrazené grafy.



Obrázek 4.2 – AutoPilot Analyzer – načtená data a zobrazení výsledků

4.2 NMEA Analyzer

NMEA Analyzer velmi podobný jako AutoPilot Analyzer, je přizpůsoben pro analýzu statických měření pozice. Statická analýza je pro vyhodnocení a porovnání jednotlivých korekcí polohy. Výsledky analýzy znázorňuje obrázek 4.3.



Obrázek 4.3 – NMEA Analyzer – načtená data a zobrazení výsledků

4.3 Použité výpočty pro analýzu

V následujícím textu jsou popsány důležité výpočty pro analýzu. Pro určení vzdálenosti mezi dvěma body vyjádřenými zeměpisnými souřadnicemi je použit vzorec vyvinutý Thaddeus Vincenty (1975). Počítá geografickou vzdálenost mezi dvěma body s přesností 0,5mm na elipsoidním modelu Země. [2]

4.3.1 Lineární regrese

Lineární regrese protne dané hodnoty (souřadnice) přímkou pomocí metody nejmenších čtverců. Výsledná přímka bude ve tvaru (4.5), kde hledáme optimální koeficienty a a b pro x a y představující souřadnice. [1]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \tag{4.1}$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (4.2)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \quad (4.3)$$

$$b = \bar{Y} - a * \bar{X} \quad (4.4)$$

$$y = a * x + b \quad (4.5)$$

kde n – počet hodnot

x_i, y_i – jednotlivé hodnoty (souřadnice)

\bar{X}, \bar{Y} – aritmetický průměr

a, b – výsledné koeficienty rovnice

4.3.2 Aritmetická průměrná odchylka

Aritmetický průměr je statistické vyjádření popisující typickou hodnotu. Výsledek rovnice (4.8) vrátí průměrnou naměřenou odchylku. [18]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.8)$$

kde n – počet hodnot

x_i – jednotlivé hodnoty

\bar{x} – aritmetický průměr

4.3.3 Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka je kvadratický průměr odchylek hodnot od jejich aritmetického průměru. Směrodatná odchylka (4.9) vypovídá o tom, jak si jsou jednotlivé prvky podobné. Malá směrodatná odchylka říká, že prvky jsou si podobné, naopak velká signalizuje vzájemné odlišnosti.[16]

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.9)$$

kde n – počet hodnot

x_i – jednotlivé hodnoty

\bar{x} – aritmetický průměr

s – směrodatná odchylka

4.3.4 Normální rozdělení

Normální rozdělení (Gaussova funkce (4.10)) je pravděpodobnosti spojité náhodné veličiny [15]. Gaussova funkce je symetrická okolo střední hodnoty μ s inflexním bodem v σ . V rozmezí hodnot 2σ je 68,3% všech hodnot, v rozmezí 6σ již 99,7% všech hodnot.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4.10)$$

kde σ – směrodatná odchylka

μ – průměrná odchylka

x - odchylka

5 Měření a analýza dat

V následující kapitole jsou výsledky ze statického měření pozice a jízdy vozidla řízeného systémem Trimble AutoPilot. Protokoly vytvořené programy NMEA Analyzer a AutoPilot Analyzer jsou v příloze D.

5.1 Statické

Pro měření byla použita navigace CFX-750 s anténou umístěnou na střeše domu. V průběhu několika dní byly zaznamenávány pozice s korekcemi EGNOS, VRS, OmniStar XP⁴ a bez korekcí. Frekvence zaznamenání pozice byla 1 Hz.

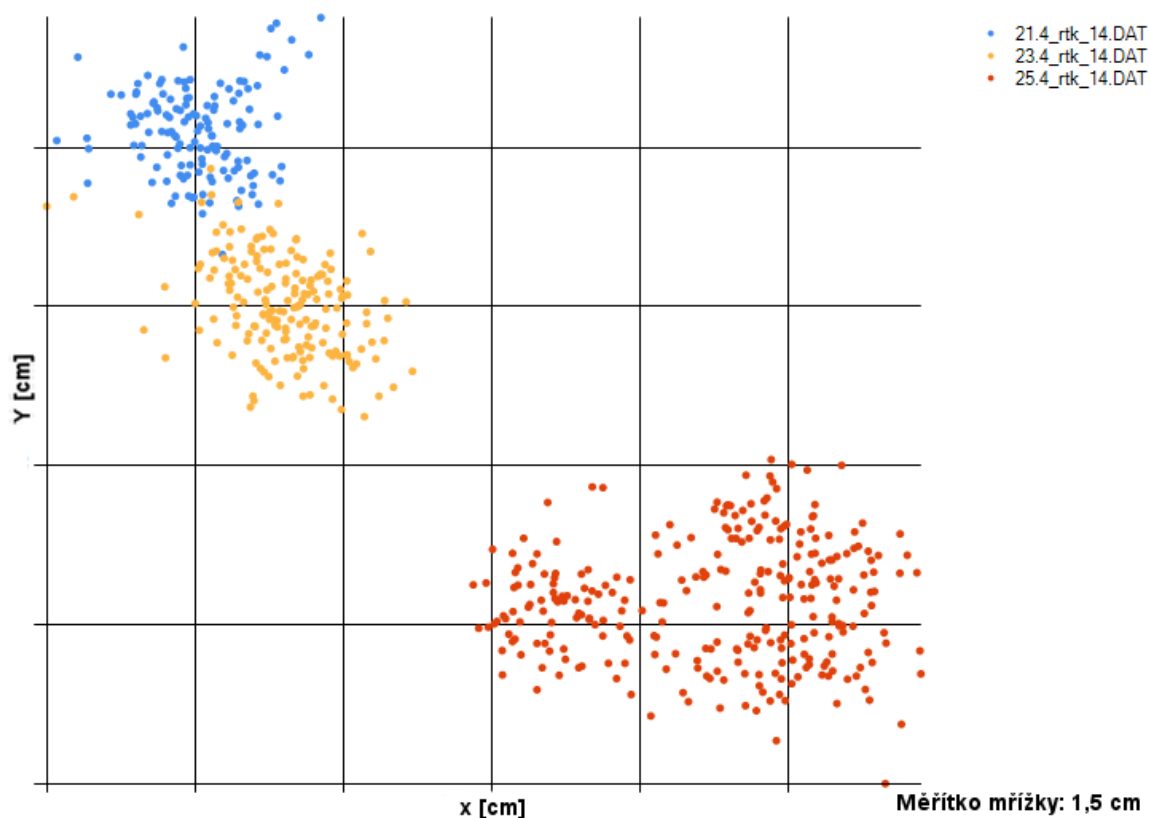
5.1.1 VRS

V tomto měření byly zaznamenány pozice s korekcemi ze sítě Trimble VRS Now Czech. Jak ukazují výsledky v tabulce 5.1, tak směrodatná odchylka se pohybovala v rozmezí 0,2 až 0,4 cm a průměrná vzdálenost mezi zaměřenými pozicemi je 3 cm. Na obrázku 5.1 jsou zaznamenané pozice, každá tečka představuje zaměřenou pozici.

Tabulka 5.1 – Výsledky statického měření – VRS

Název souboru	Korekce	Směrodatná odch.	Průměrná odch.	Počet satelitů	Datum, čas měření
21.4_rtk_14.DAT	RTK	0,23 cm	0,404 cm	14	21. 4. 2014, 14:30
23.4_rtk_14.DAT	RTK	0,278 cm	0,454 cm	14	23. 4. 2014, 14:29
25.4_rtk_14.DAT	RTK	0,381 cm	0,887 cm	14	25. 4. 2014, 14:40
Vzdálenost mezi 21.4_rtk_14.DAT a 23.4_rtk_14.DAT je 1,33 cm Vzdálenost mezi 21.4_rtk_14.DAT a 25.4_rtk_14.DAT je 4,99 cm Vzdálenost mezi 23.4_rtk_14.DAT a 25.4_rtk_14.DAT je 3,79 cm V průměru: 3,37 cm					

⁴ Realizována byla pouze dvě měření z důvodu časového omezení bezplatného přístupu.



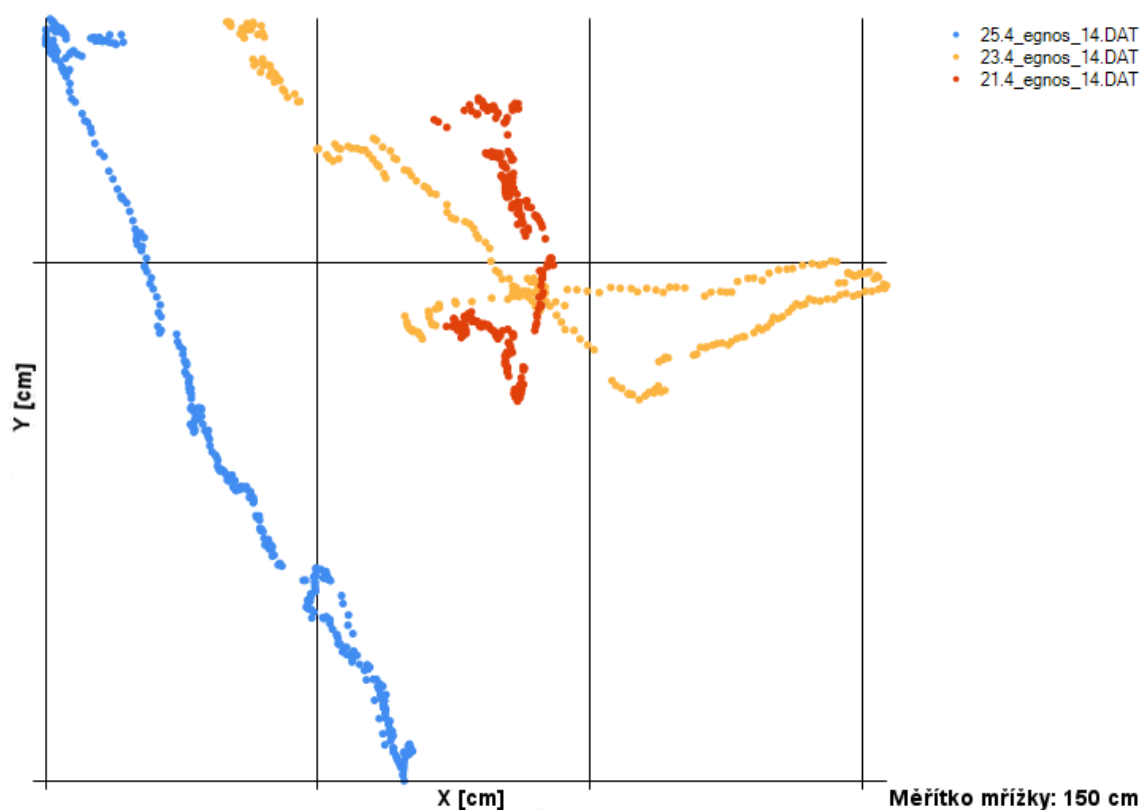
Obrázek 5.1 – Graf statického měření – VRS

5.1.2 EGNOS

V tomto měření byly zaznamenány pozice s korekcemi ze sítě EGNOS. Jak ukazují výsledky v tabulce 5.2, tak směrodatná odchylka se pohybovala v rozmezí 6 až 40 cm a průměrná vzdálenost mezi zaměřenými pozicemi je 85 cm. Na obrázku 5.2 jsou zaznamenané pozice, každá tečka představuje zaměřenou pozici.

Tabulka 5.2 – Výsledky statického měření – EGNOS

Název souboru	Korekce	Směrodatná odch.	Průměrná odch.	Počet satelitů	Datum, čas měření
21.4_egnos_14.DAT	DGPS	6,312 cm	20,88 cm	8,8	21. 4. 2014, 14:20
23.4_egnos_14.DAT	DGPS	41,971 cm	71,514 cm	7,8	23. 4. 2014, 14:20
25.4_egnos_14.DAT	DGPS	34,227 cm	61,474 cm	7,9	25. 4. 2014, 14:22
Vzdálenost mezi 25.4_egnos_14.DAT a 23.4_egnos_14.DAT je 127,57 cm Vzdálenost mezi 25.4_egnos_14.DAT a 21.4_egnos_14.DAT je 113,4 cm Vzdálenost mezi 23.4_egnos_14.DAT a 21.4_egnos_14.DAT je 14,3 cm V průměru: 85,09 cm					



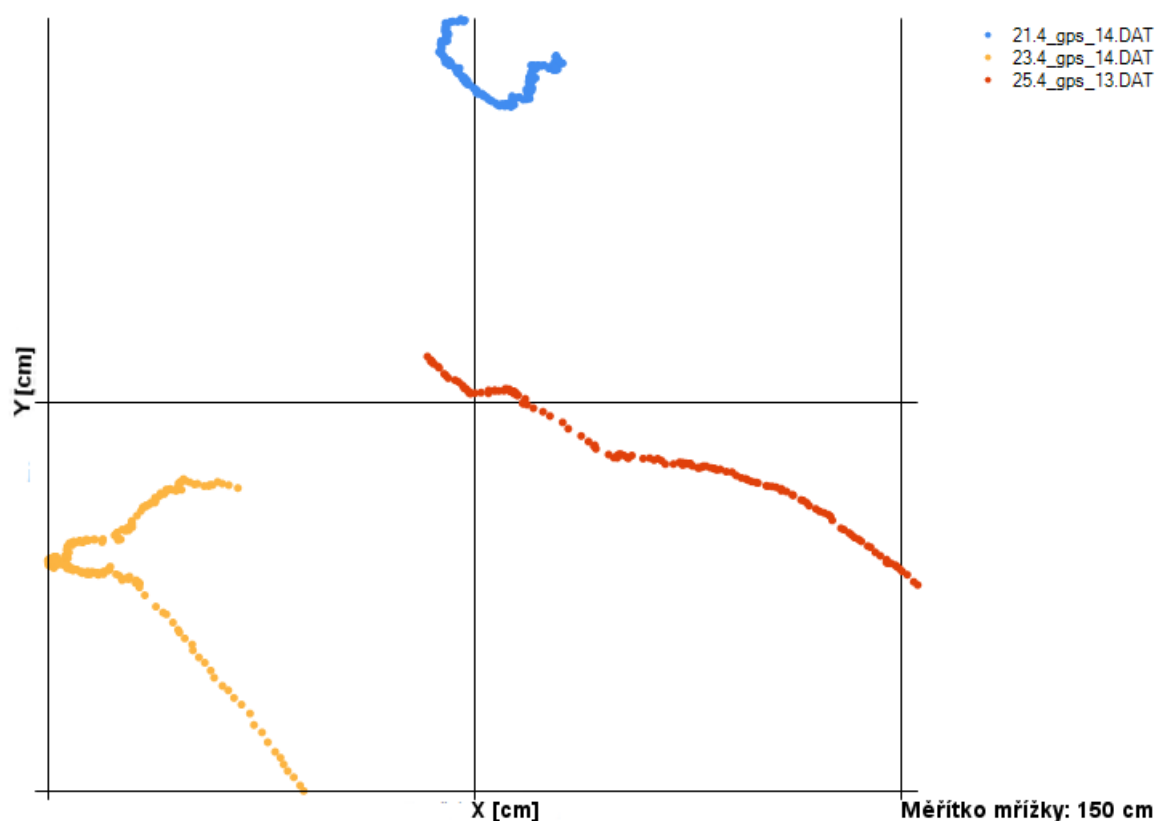
Obrázek 5.2 – Graf statického měření – EGNOS

5.1.3 GPS + GLONASS

V tomto měření byly zaznamenány pozice bez korekcí ze satelitů GPS + GLONASS. Jak ukazují výsledky v tabulce 5.3, tak směrodatná odchylka se pohybovala v rozmezí 3 až 20 cm a průměrná vzdálenost mezi zaměřenými pozicemi je 140 cm. Na obrázku 5.3 jsou zaznamenané pozice, každá tečka představuje zaměřenou pozici.

Tabulka 5.3 – Výsledky statického měření – GPS + GLONASS

Název souboru	Korekce	Směrodatná odch.	Průměrná odch.	Počet satelitů	Datum, čas měření
21.4_gps_14.DAT	GPS	3,199 cm	12,147 cm	16	21. 4. 2014, 14:30
23.4_gps_14.DAT	GPS	14,485 cm	18,651 cm	15,2	23. 4. 2014, 14:25
25.4_gps_14.DAT	GPS	21,175 cm	35,872 cm	15,9	25. 4. 2014, 13:12
Vzdálenost mezi 21.4_gps_14.DAT a 23.4_gps_14.DAT je 168,72 cm Vzdálenost mezi 21.4_gps_14.DAT a 25.4_gps_13.DAT je 115,57 cm Vzdálenost mezi 23.4_gps_14.DAT a 25.4_gps_13.DAT je 144,68 cm V průměru: 142,99 cm					



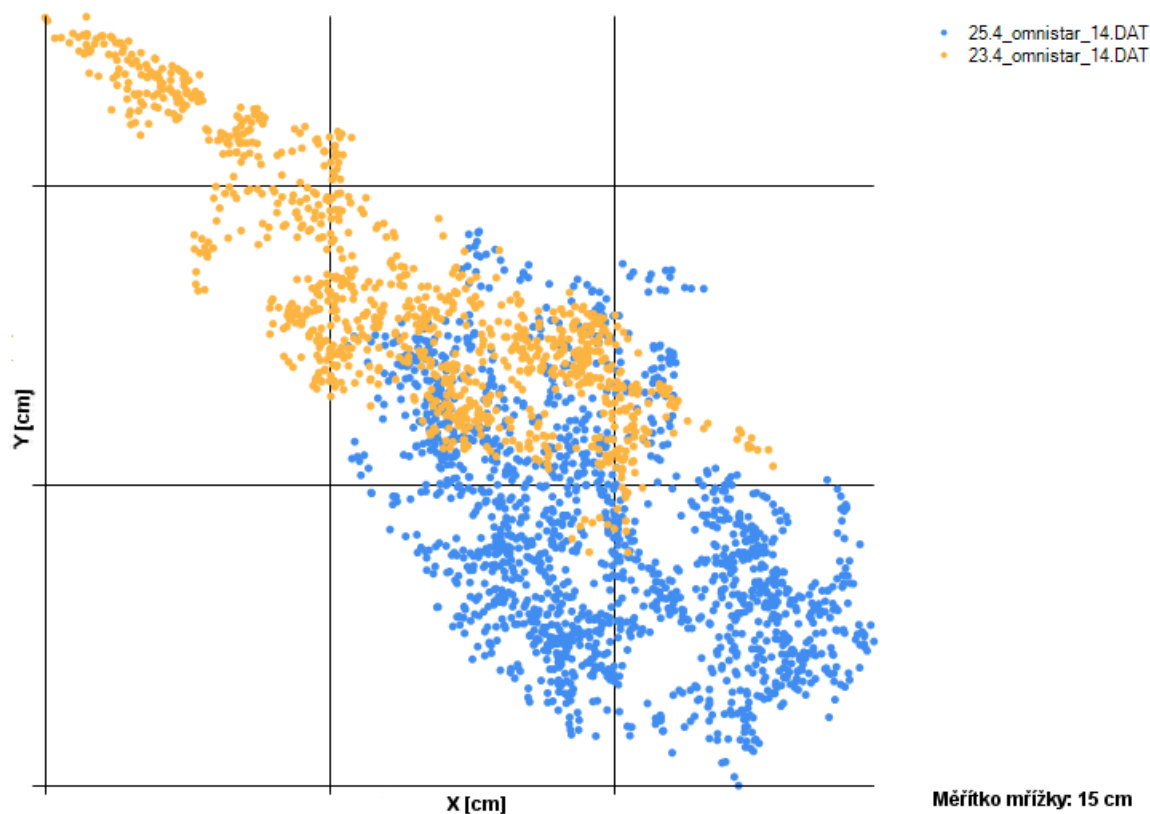
Obrázek 5.3 – Graf statického měření – GPS + GLONASS

5.1.4 OmniStar XP

V tomto měření byly zaznamenány pozice s korekcemi ze sítě OmniStar XP. Jak ukazují výsledky v tabulce 5.4, tak směrodatná odchylka se pohybovala v rozmezí 2 až 4 cm a průměrná vzdálenost mezi zaměřenými pozicemi je 11 cm. Na obrázku 5.4 jsou zaznamenané pozice, každá tečka představuje zaměřenou pozici.

Tabulka 5.4 – Výsledky statického měření – OmniStar XP

Název souboru	Korekce	Směrodatná odch.	Průměrná odch.	Počet satelitů	Datum, čas měření
23.4_omnistar_14.DAT	RTK	3,678 cm	6,518 cm	6,1	23. 4. 2014, 13:50
25.4_omnistar_14.DAT	RTK	2,484 cm	5,821 cm	6,3	25. 4. 2014, 14:02
Vzdálenost mezi 25.4_omnistar_14.DAT a 23.4_omnistar_14.DAT je 11,41 cm V průměru: 11,41 cm					



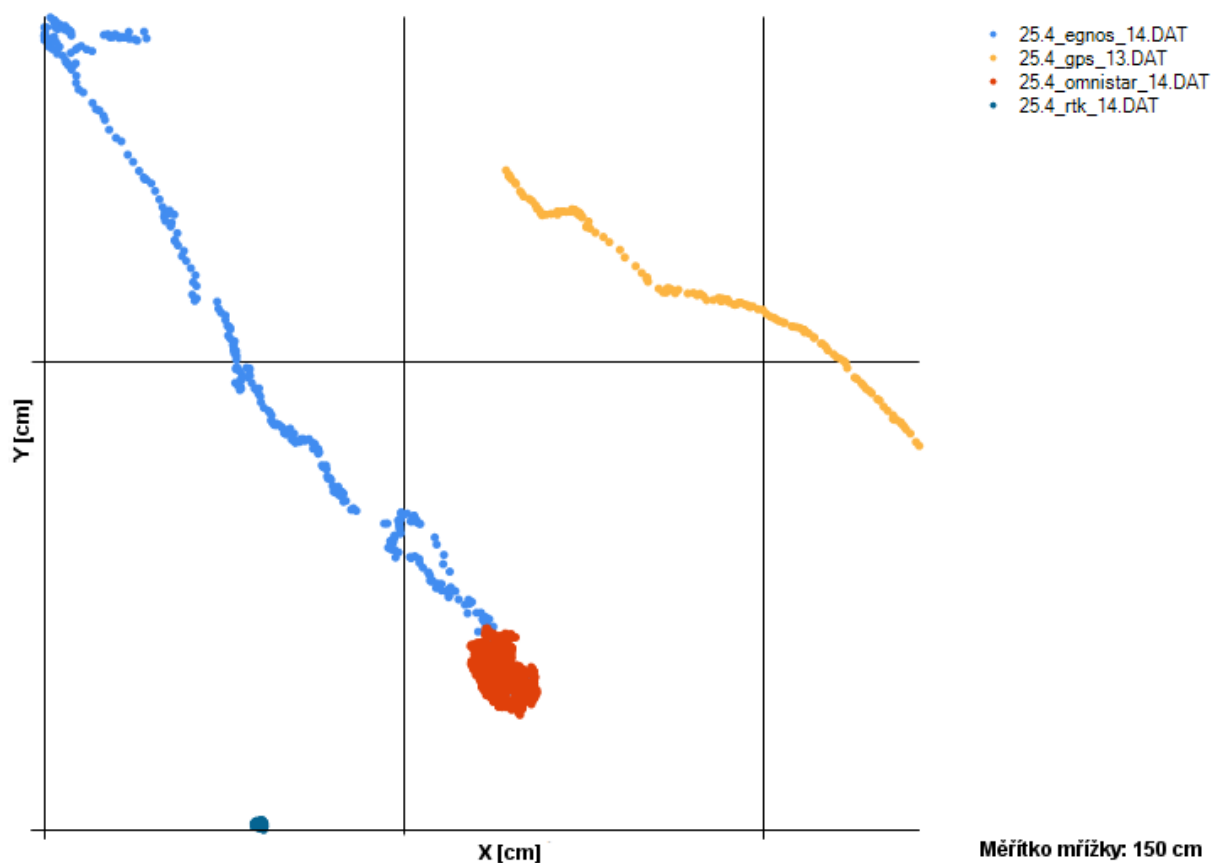
Obrázek 5.4 – Graf statického měření – OmniStar XP

5.1.5 Zaměření stejné pozice

Záznam pozic proveden během 13 a 15 hodiny. S korekcemi VRS, EGNOS, OmniStar XP a bez korekcí (GPS + GLONASS). Z výsledků v tabulce 5.5 je zřejmé, že vzdálenosti mezi pozicemi jsou okolo jednoho metru. Na obrázku 5.5 je zřetelně vidět, jak pozice s korekcemi EGNOS a GPS + GLONASS se posouvají, zatímco pozice s korekcemi VRS a OmniStar XP jsou shlukovány v bodě.

Tabulka 5.5 – Výsledky statického měření – zaměření stejné pozice

Korekce		Vzdálenost mezi nimi
EGNOS	GPS	126 cm
EGNOS	OmniStar XP	89 cm
EGNOS	RTK VRS	98 cm
GPS	OmniStar XP	107 cm
GPS	RTK VRS	183 cm
OmniStar XP	RTK VRS	82 cm
		V průměru: 114 cm



Obrázek 5.5 – Graf statického měření – zaměření stejné pozice

5.1.6 Shrnutí

V následující tabulce 5.6 jsou shrnuty naměřené odchylky pozic s různými korekcemi srovnány s odchylkami, které jsou garantovány poskytovatelem služeb. Naměřené odchylky nepřekročily garantovanou mez.

Tabulka 5.6 – Výsledky statického měření – shrnutí

Korekce	Počet satelitů	Odchylka změřená	Odchylka garantovaná
VRS	14	3 cm	3 cm
EGNOS	8	85 cm	130 cm
OmniStar XP	6	11 cm	20 cm
GPS + GLONASS	15	143 cm	x

5.2 Jízda

Měření jízdy vozidla řízeného systémem Trimble AutoPilot bylo prováděno na pásovém traktoru Challenger MT765 (viz. Obrázek 5.6). Traktor je vybaven šestiválcovým dieslovým motorem o obsahu 8,8 litrů a výkonem 222 kW, řízení je realizováno elektrohydraulickým systémem se 16-ti stupňovou převodovkou. V traktoru je nainstalován

system Trimble AutoPilot. Složený z navigačního displeje CFX-750, NavII Controleru a dvou GSM modemů (každý připojen na síť jiného operátora) pro příjem korekcí VRS. Umístění jednotlivých komponentů je na obrázcích 5.7 až 5.10. Za traktor byly zapřaženy brány.



Obrázek 5.6 – Challenger MT765



Obrázek 5.7 – Umístění navigačního displeje



Obrázek 5.8 – Umístění NavII Controleru na podleze vedle sedadla



Obrázek 5.9 – Umístění GSM modemů za sedadlem

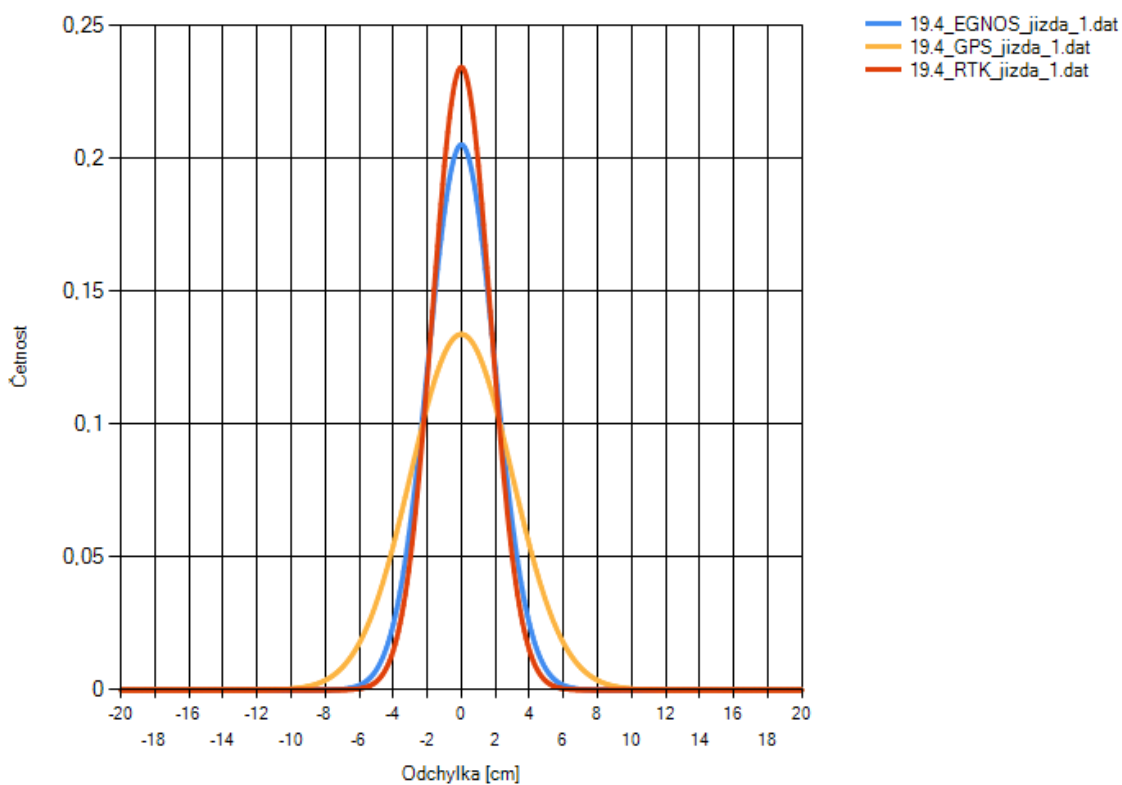


Obrázek 5.10 – Umístění dvou GSM antén a GNSS antény na střeše

Při jízdě po poli byly zaznamenávány pozice s korekcemi EGNOS,VRS a bez korekcí (GPS + GLONASS). Z výsledků v tabulce 5.7 vyplývá, že traktor jel se směrodatnou odchylkou do 3 cm. Obrázek 5.11 znázorňuje výsledné normální rozdělení pravděpodobnosti odchylek s různými korekcemi.

Tabulka 5.7 – Výsledky jízdy

Korekce	Směrodatná odchylka [cm]		Počet satelitů
	Jízda č. 1	Jízda č. 2	
EGNOS	1,945	1,814	10
RTK VRS	1,703	1,897	17
bez korekcí	2,981	2,556	18



Obrázek 5.11 – Normální rozdělení jízdy

6 Závěr

Cílem práce bylo provést analýzu jízdy vozidla řízeného systémem pro automatické řízení. Konkrétně se jednalo o měření přesnosti GNSS s použitím různých korekčních systémů a měření jízdy vozidla (traktoru) řízeného systémem Trimble AutoPilot.

V úvodu práce byly popsány momentálně nejpoužívanější globální navigační systémy GPS a GLONASS, principy určení polohy a systémy korekcí (EGNOS, RTK, OmniStar) pro zpřesnění pozice získané pomocí GNSS. V další části byly popsány systémy pro automatické řízení vozidla. Jedná se o navigační displeje (CFX-750, FMX) a řídicí systémy (AutoPilot, EZ-Pilot, EZ-Steer) od společnosti Trimble.

Pro požadovanou analýzu bylo v rámci této práce vyvinuto zařízení NMEA Recorder, které zaznamenává informace o poloze (NMEA zprávy) získané z navigačního displeje. Z těchto zaznamenaných NMEA zpráv provedou programy NMEA Analyzer a AutoPilot Analyzer (taktéž vyvinuty v rámci této práce) vyhodnocení. NMEA Analyzer je učen pro vyhodnocení statické pozice, porovnání různých korekcí a závislost zaměření pozice v průběhu času. AutoPilot Analyzer provádí vyhodnocení jízdy vozidla.

V rámci měření byly v průběhu týdne zaznamenávány pozice staticky umístěné antény a byly také provedeny záznamy jízdy vozidla řízeného systémem Trimble AutoPilot.

Z výsledků jízdy vyplývá, že AutoPilot dokázal jet se směrodatnou odchylkou pod 3 cm. Rozdíl mezi korekcemi VRS a EGNOS jsou na jednu jízdu celkem zanedbatelné. Rozdíl by byl patrný při jízdě o pár hodin později, kdyby traktor jel v jiné linii, která by byla posunuta maximálně o dlouhodobou přesnost dané korekce. Pro porovnání jízdy s různými korekcemi by musely být ve vozidle nainstalovány dva navigační displeje se společnou anténou. Z první navigace bychom četli NMEA zprávy (pozice) s korekcemi RTK (VRS), ty by sloužily jako referenční (skutečná/správná pozice) a druhá navigace s jinými korekcemi napojená na AutoPilota a porovnáním těchto dvou pozic určit odchýlení linií při jízdě. Na tento způsob měření je NMEA Recorder připraven. Bohužel toto měření vyžaduje dvoudobé plánování. Pro legitimní výsledky musí měření probíhat na jednom traktoru na stejném místě v průběhu roku, kdy traktor jezdí po daném poli.

Ze statických měření vyplývá, že pozice korekčních signálu se během týdně měnila (EGNOS 85 cm, VRS 3 cm, GPS 143 cm). Tyto rozdíly se projeví v tom, že traktor pojedí linií, která bude posunuta oproti jízdě tou samou linií někdy v minulosti. To se projeví např. překrýváním či vynecháním zasetých řádků plodiny. Z toho důvodu se používají korekce RTK (VRS), které zaručí, že traktor pojedí ve stále stejných kolejích.

Závěrem lze konstatovat, že zadání bakalářské práce bylo splněno. Potřebná zařízení a programy fungují a určitě budou ještě v praxi využita a vylepšena.

Seznam zkratek

GNSS – Global Navigation Satellite System – Globální družicový navigační systém

GPS – Global Positioning System – Globální polohovací systém

NAVSTAR GPS – Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System

RTK – Real time kinematic – Kinematická metoda měření v reálném čase

VRS – Virtual reference station – Virtuální referenční stanice

EGNOS – European Geostationary Navigation Overlay Service

RIMs – Ranging & Integrity Monitoring Stations

NMEA – National Marine Electronics Association

DPS – Deska plošných spojů

CDMA – Code Division Multiple Access

FDMA – Frequency Division Multiple Access

Seznam obrázků

Obrázek 1.1 – Složení L1 a L2 [17]	12
Obrázek 1.2 – Kód generovaný satelitem a přijímačem a jejich časový posuv [9].....	14
Obrázek 1.3 – Fázové měření [9]	15
Obrázek 1.4 – Princip DGPS [21]	16
Obrázek 1.5 – Fázový rozdíl mezi přijímači [9].....	17
Obrázek 1.6 – Řešení celých čísel [9]	17
Obrázek 1.7 – Princip VRS [13].....	18
Obrázek 1.8 – Dostupnost Trimble VRS (vlevo) a OmniStar XP v Evropě [4].....	20
Obrázek 2.1 – Trimble CFX-750 [22]	22
Obrázek 2.2 – Trimble FMX [22]	22
Obrázek 2.3 – Manuální jízda, EZ-Pilot, AutoPilot [14].....	23
Obrázek 2.4 – Princip kompenzace náklonu [22].....	23
Obrázek 2.5 – NavII Controler [22]	24
Obrázek 2.6 – EZ-Pilot [22]	25
Obrázek 2.7 – Ukázka instalace EZ-Pilot [24]	25
Obrázek 2.8 – Příklad instalace EZ-Steer [22]	26
Obrázek 3.1 – NMEA Recorder	27
Obrázek 3.2 – NMEA Recorder – schéma zapojení.....	29
Obrázek 3.3 – NMEA Recorder – levý bok	30
Obrázek 3.4 – NMEA Recorder – pravý bok	30
Obrázek 3.5 – NMEA Recorder – umístění DPS	30
Obrázek 3.6 – NMEA Recorder – osazená DPS s LCD.....	30
Obrázek 3.7 – NMEA Recorder – osazená DPS	31
Obrázek 3.8 – NMEA Recorder – vývojový diagram	32
Obrázek 3.9 – NMEA GGA	33
Obrázek 4.1 – Určení odchylky	35
Obrázek 4.2 – AutoPilot Analyzer – načtená data a zobrazení výsledků.....	36
Obrázek 4.3 – NMEA Analyzer – načtená data a zobrazení výsledků.....	37
Obrázek 5.1 – Graf statického měření – VRS	41
Obrázek 5.2 – Graf statického měření – EGNOS.....	42
Obrázek 5.3 – Graf statického měření – GPS + GLONASS	43
Obrázek 5.4 – Graf statického měření – OmniStar XP	44
Obrázek 5.5 – Graf statického měření – zaměření stejné pozice.....	45
Obrázek 5.6 – Challenger MT765	46
Obrázek 5.7 – Umístění navigačního displeje	47
Obrázek 5.8 – Umístění NavII Controleru na podleze vedle sedadla	47
Obrázek 5.9 – Umístění GSM modemů za sedadlem.....	47
Obrázek 5.10 – Umístění dvou GSM antén a GNSS antény na střeše	47
Obrázek 5.11 – Normální rozdělení jízd	48
Obrázek 6.1 – NMEA Recorder – DPS bottom.....	56
Obrázek 6.2 – NMEA Recorder – DPS top.....	56

Obrázek 6.3 – NMEA Recorder – osazení bottom.....	57
Obrázek 6.4 – NMEA Recorder – osazení top	57
Obrázek 6.5 – NMEA Recorder – štítek.....	59
Obrázek 6.6 – NMEA Recorder – výkres otvorů v krabici.....	59
Obrázek 6.7 – Pole brambor zaseté pomocí systému automatického řízení [24].....	71
Obrázek 6.8 – Pole brambor zaseté bez použití navigačního systému [24]	71
Obrázek 6.9 – Vynechaná mezera při aplikaci totálního herbicidu bez použití navigačního systému [24]	72

Seznam tabulek

Tabulka 1.1 – Porovnání vybraných korekcí.....	20
Tabulka 3.1 – Parametry NMEA Recorderu	27
Tabulka 5.1 – Výsledky statického měření – VRS.....	40
Tabulka 5.2 – Výsledky statického měření – EGNOS	41
Tabulka 5.3 – Výsledky statického měření – GPS + GLONASS	42
Tabulka 5.4 – Výsledky statického měření – OmniStar XP.....	43
Tabulka 5.5 – Výsledky statického měření – zaměření stejné pozice.....	44
Tabulka 5.6 – Výsledky statického měření – shrnutí	45
Tabulka 5.7 – Výsledky jízdy.....	48
Tabulka 6.1 – NMEA Recorder – seznam součástí	58

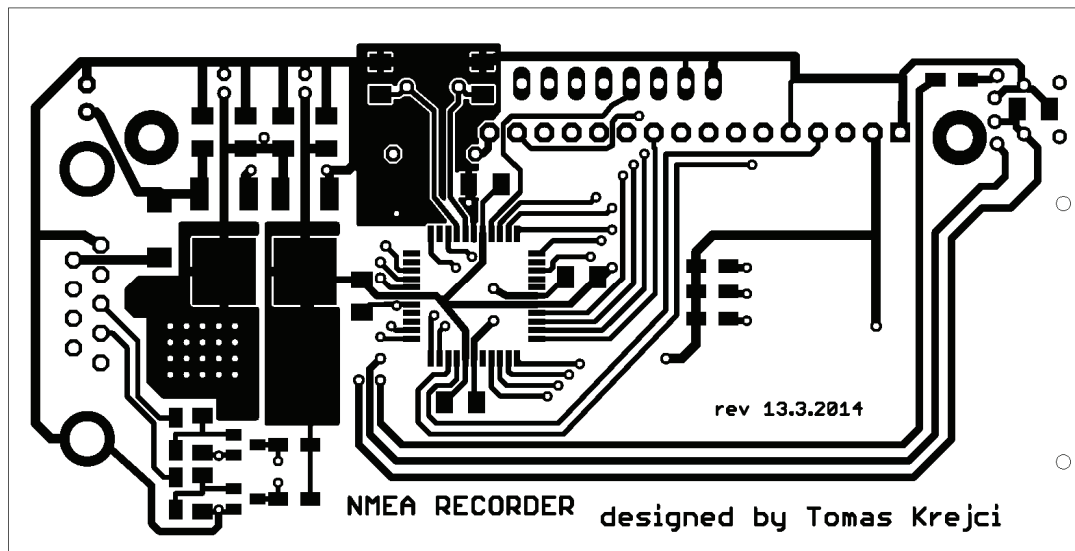
Literatura

- [1] Lineární regrese: Lineární regrese přímkou. [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~hom50/SLBSTATS/LR2/GS04.HTM>
- [2] Vincenty formula for distance between two Latitude/Longitude points. [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong-vincenty.html>
- [3] NMEA-0183 messages. [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: http://www.trimble.com/OEM_ReceiverHelp/V4.44/en/NMEA-0183messages_MessageOverview.html
- [4] Trimble Agriculture – Correction Services. [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.trimble.com/agriculture/CorrectionServices/>
- [5] Atmel Microcontroller: ATmega644PA. [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: http://www.atmel.com/Images/Atmel-8272-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega164A_PA-324A_PA-644A_PA-1284_P_datasheet.pdf
- [6] ŠVÁBENSKÝ, Otakar. Základy GPS a jeho praktické aplikace. 1. vyd. Brno: CERM, 1995, 123 s. ISBN 80-214-0620-8.
- [7] ČÁBELKA, Miroslav. Úvod do GPS. [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/ke-stazeni/vyuka/gps/skriptum-uvod-do-gps/>
- [8] Brochure - Trimble VRS Now - General - Czech. [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <https://www.trimble.com/positioning-services/vrs-now.aspx>
- [9] TRIMBLE. Real-Time Kinematic Surveying: Training Guide. [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://gpstraining.com/downloads/MANUALS-QUICK%20GUIDES/RTKTrainingRevD.pdf>
- [10] EGNOS: European Geostationary Navigation Overlay Service: Europe's first contribution to satellite navigation. Noordwijk, Netherlands: ESA Communications, c2009, 10 p. ISBN 978-929-2210-120.
- [11] RAPANT, Petr. Družicové polohové systémy. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002, 197 s. ISBN 80-248-0124-8.
- [12] GLONASS: GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM. [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://facility.unavco.org/kb/getattachment.php?data=NzI3fGlrZDUxZW4ucGRm>
- [13] Trimble Positioning Services. [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.trimble.com/Positioning-Services/>

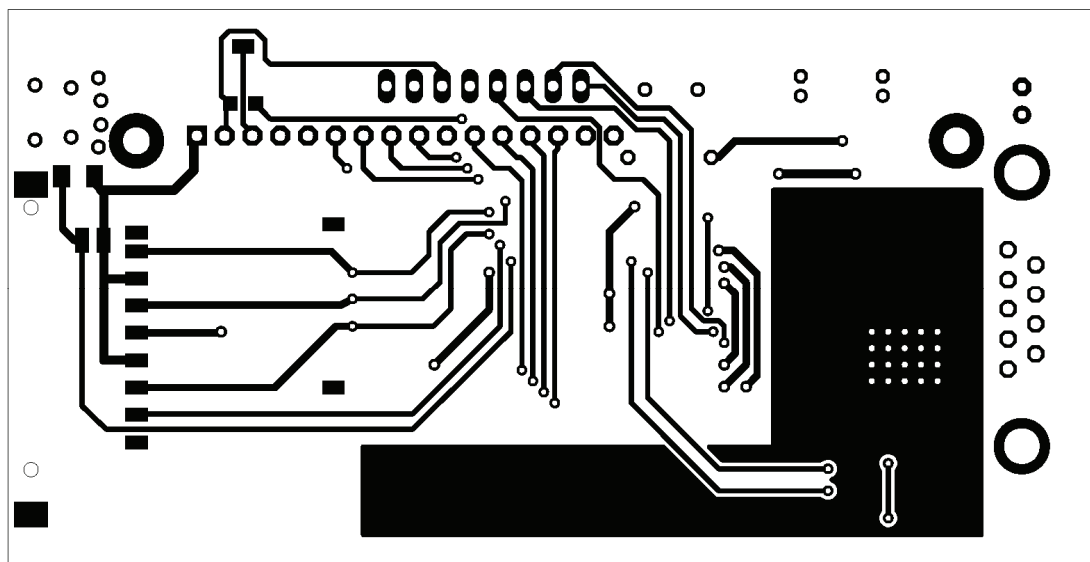
- [14] NEW HOLLAND. Precizní zemědělství. [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.eagrotec.cz/obrazky-soubory/plm-cz-3325c.pdf>
- [15] Normální rozdělení. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Normální_rozdělení
- [16] Směrodatná odchylka. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Směrodatná_odchylka
- [17] PETER H. DANA. Global Positioning System Overview. [online]. [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.html>
- [18] Aritmetický průměr. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Aritmetický_průměr
- [19] CHAN. FatFs - Generic FAT FileSystem Module. [online]. [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: http://elm-chan.org/fsw/ff/00index_e.html
- [20] Galileo. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_\(satellite_navigation\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_(satellite_navigation))
- [21] Advanced GNSS Concepts. In: [online]. [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://www.novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-4-advanced-gnss-concepts/>
- [22] Trimble Agriculture. In: [online]. [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://www.trimble.com/Agriculture/index.aspx>
- [23] Whatis Galileo. [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future_-_Galileo/What_is_Galileo
- [24] Leading Farmers a.s. [online]. [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.leadingfarmers.cz/>

Příloha A – NMEA Recorder – DPS

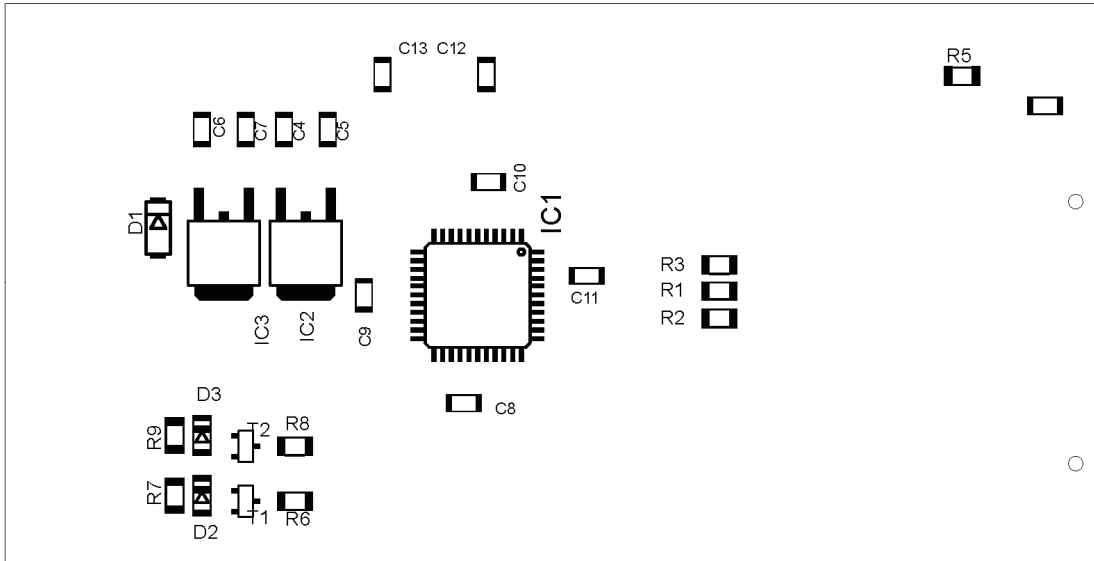
Rozměr: 100x51mm



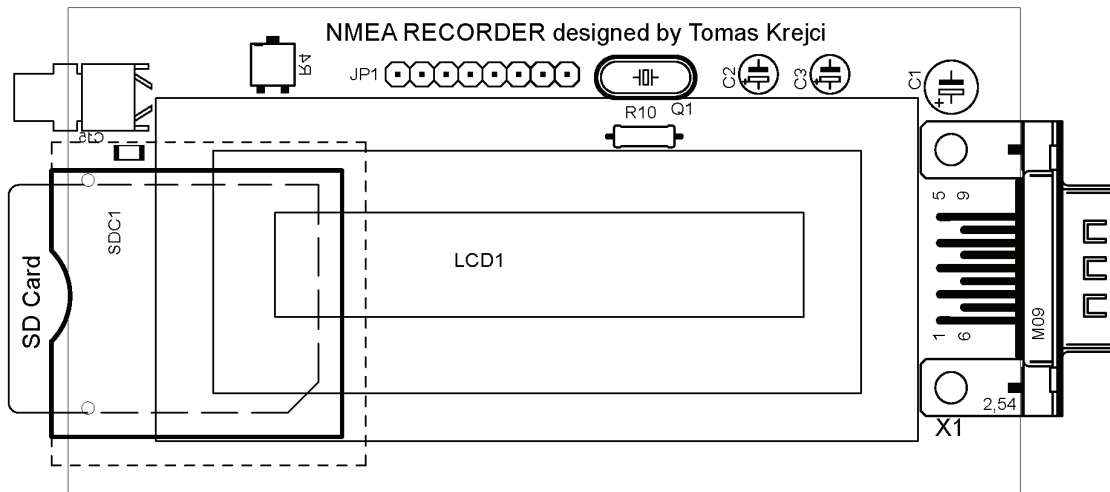
Obrázek 6.1 – NMEA Recorder – DPS bottom



Obrázek 6.2 – NMEA Recorder – DPS top



Obrázek 6.3 – NMEA Recorder –osazení bottom



Obrázek 6.4 – NMEA Recorder – osazení top

Příloha B – NMEA Recorder – Seznam součástek

Tabulka 6.1 – NMEA Recorder – seznam součástek

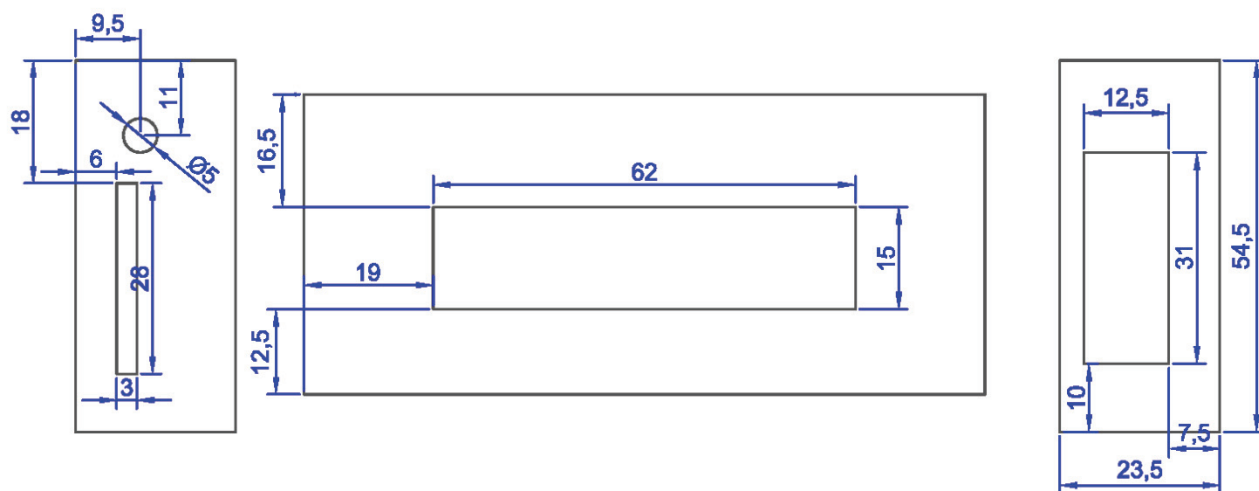
Součástka	Hodnota	Pouzdro
C1	220u	E2,5-6
C2	100u	E1,8-4
C3	100u	E1,8-4
C4	100n	C1206K
C5	100n	C1206K
C6	100n	C1206K
C7	100n	C1206K
C8	100n	C1206K
C9	100n	C1206K
C10	100n	C1206K
C11	100n	C1206K
C12	33p	C1206K
C13	33p	C1206K
C14	10u	C1206K
C15	10u	C1206K
D1	1N4007	DO214AA
D2	BZV55C3.3	SOD80C
D3	BZV55C3.3	SOD80C
IC1	ATmega644PA	TQFP44
IC2	LD117ADT33TR	DPACK
IC3	LD117ADT50TR	DPACK
JP1		1X08
LCD1	RC1602B-TIY-CSVD	RC1602B
Q1	8MHz	HC49/S
R1	10k	R1206W
R2	10k	R1206W
R3	10k	R1206W
R4	10k	SM-42/43B
R5	260R	R1206W
R6	10k	R1206W
R7	10k	R1206W
R8	10k	R1206W
R9	10k	R1206W
R10	10R	0207/7
SDC1	104G-TAA0-R	104G-TAA0-R
T1	BC850	SOT23-BEC
T2	BC851	SOT23-BEC
TL	PB6152RSL	PB6152RSL
X1	M09HP	M09HP

Příloha C – NMEA Recorder – Krabička a štítek

Rozměr: 100x44mm



Obrázek 6.5 – NMEA Recorder – štítek



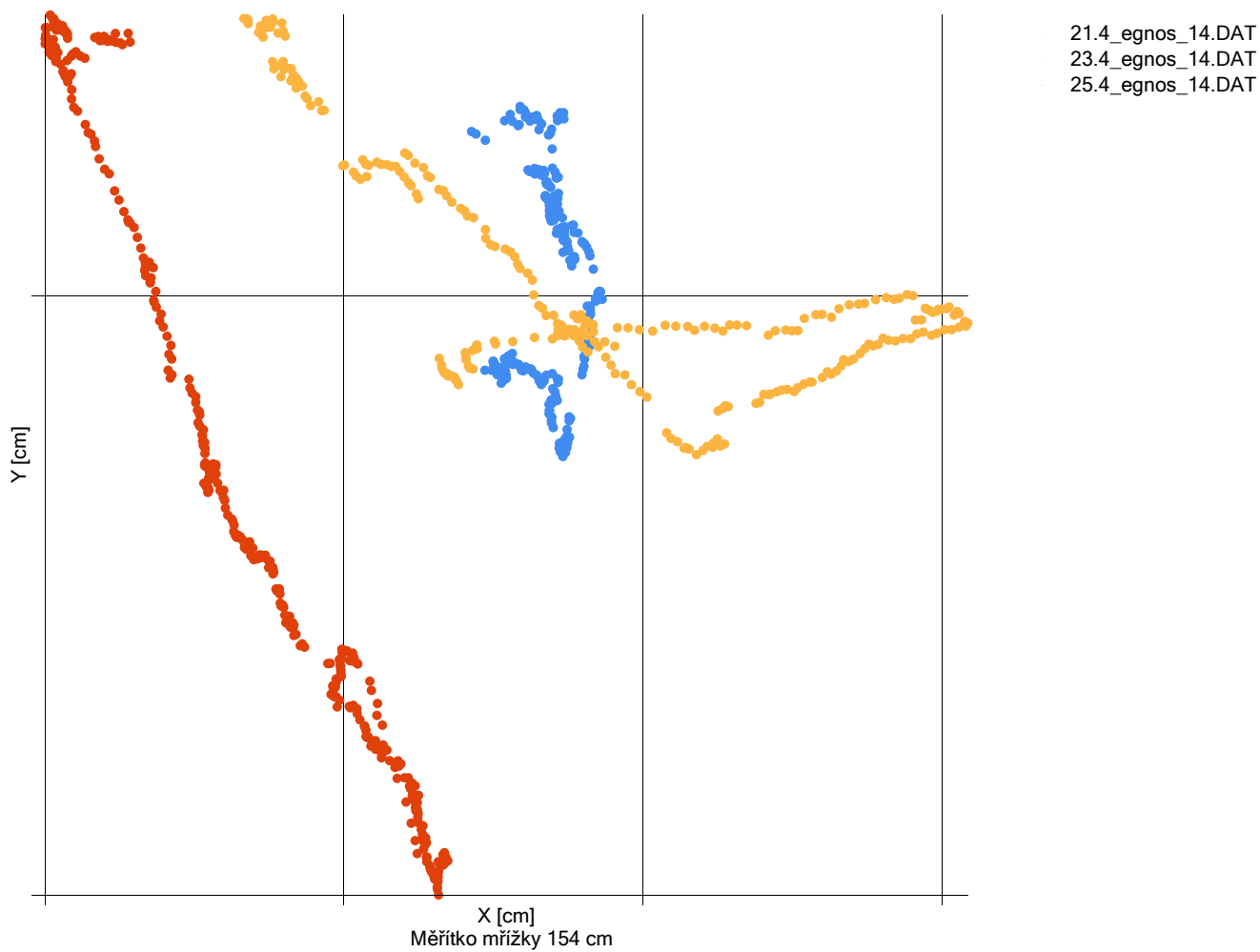
Obrázek 6.6 – NMEA Recorder – výkres otvorů v krabičce

Příloha D – Protokoly z měření

Název souboru: 21.4_egnos_14.DAT
Popis: # 21.4.2014, 14:22, egnos, staticke strecha
GPS čas: od 12:22:26 do 12:26:49
Korekce: DGPS
Průměrná odchylka: 20,88 cm
Směrodatná odchylka: 6,312 cm
Počet satelitů (průměr): 8,8

Název souboru: 23.4_egnos_14.DAT
Popis: # 23.4.2014, 14:20, egnos, staticke strecha
GPS čas: od 12:20:06 do 12:24:44
Korekce: DGPS
Průměrná odchylka: 71,514 cm
Směrodatná odchylka: 41,971 cm
Počet satelitů (průměr): 7,8

Název souboru: 25.4_egnos_14.DAT
Popis: # 25.4.2014, 14:20, egnos, staticke strecha
GPS čas: od 12:20:02 do 12:26:16
Korekce: DGPS
Průměrná odchylka: 61,474 cm
Směrodatná odchylka: 34,227 cm
Počet satelitů (průměr): 7,9

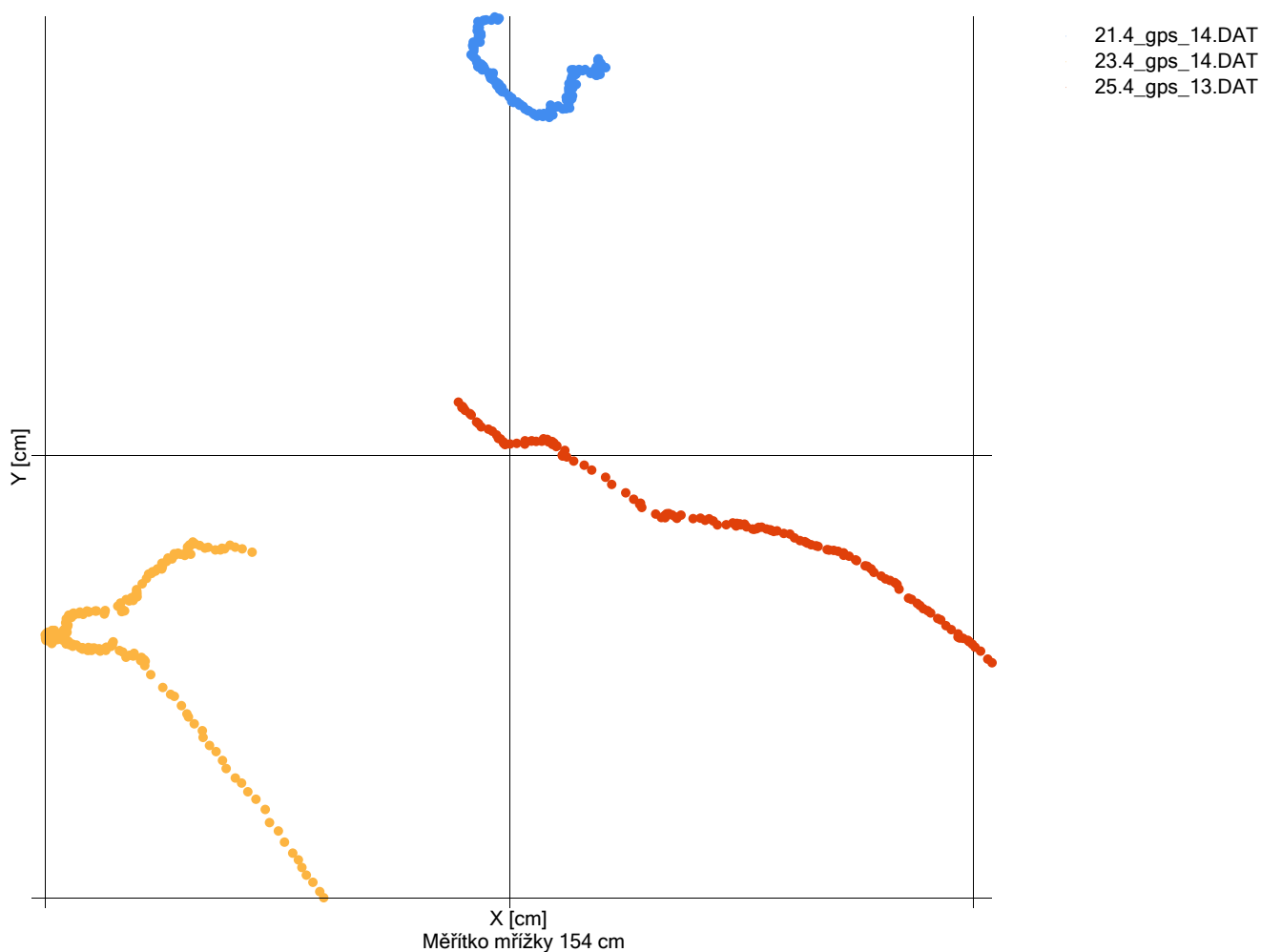


Měřítko: 153,93 cm
 Z. délka min: 16° 3,98600539'
 Z. délka max: 16° 3,98785761'
 Z. šířka min: 50° 15,50080884'
 Z. šířka max: 50° 15,50169036'
 Vzdálenost mezi 21.4_egnos_14.DAT a 23.4_egnos_14.DAT je 14,3 cm
 Vzdálenost mezi 21.4_egnos_14.DAT a 25.4_egnos_14.DAT je 113,4 cm
 Vzdálenost mezi 23.4_egnos_14.DAT a 25.4_egnos_14.DAT je 127,57 cm
 V průměru: 85,09 cm

Název souboru: 21.4_gps_14.DAT
Popis: # 21.4.2014, 14:27, gps, staticke strecha
GPS čas: od 12:27:02 do 12:29:57
Korekce: GPS
Průměrná odchylka: 12,147 cm
Směrodatná odchylka: 3,199 cm
Počet satelitů (průměr): 16

Název souboru: 23.4_gps_14.DAT
Popis: # 23.4.2014, 14:25, gps, staticke strecha
GPS čas: od 12:25:01 do 12:28:40
Korekce: GPS
Průměrná odchylka: 18,651 cm
Směrodatná odchylka: 14,485 cm
Počet satelitů (průměr): 15,2

Název souboru: 25.4_gps_13.DAT
Popis: # 25.4.2014, 13:12, gps, staticke strecha
GPS čas: od 11:12:45 do 11:15:01
Korekce: GPS
Průměrná odchylka: 35,872 cm
Směrodatná odchylka: 21,175 cm
Počet satelitů (průměr): 15,9

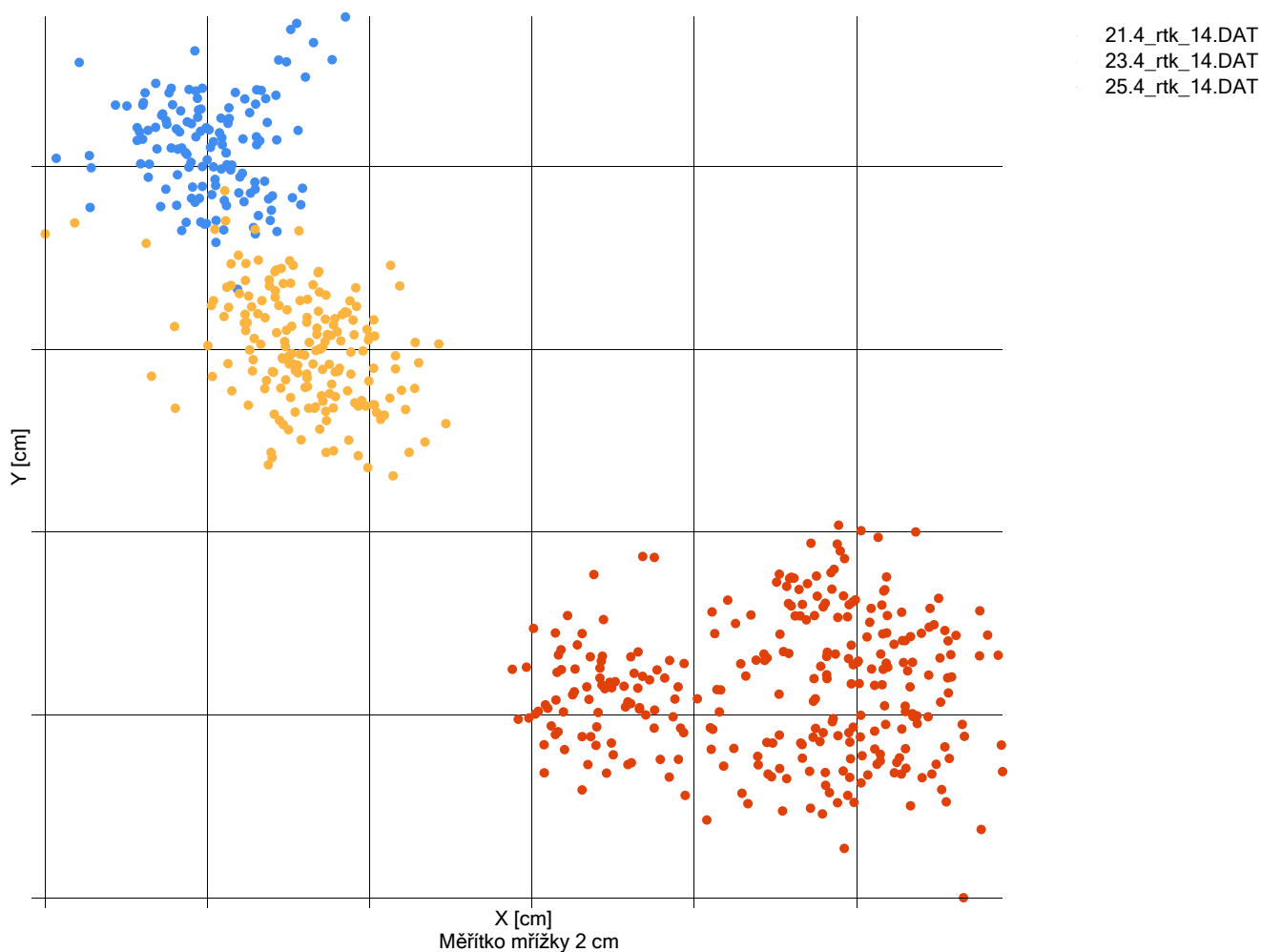


Měřítko: 153,93 cm
 Z. délka min: 16° 3,98624203'
 Z. délka max: 16° 3,98746575'
 Z. šířka min: 50° 15,50082178'
 Z. šířka max: 50° 15,50201656'
 Vzdálenost mezi 21.4_gps_14.DAT a 23.4_gps_14.DAT je 168,72 cm
 Vzdálenost mezi 21.4_gps_14.DAT a 25.4_gps_13.DAT je 115,57 cm
 Vzdálenost mezi 23.4_gps_14.DAT a 25.4_gps_13.DAT je 144,68 cm
 V průměru: 142,99 cm

Název souboru: 21.4_rtk_14.DAT
Popis: # 21.4.2014, 14:30, rtk, staticke strecha
GPS čas: od 12:30:57 do 12:33:12
Korekce: RTK integer
Průměrná odchylka: 0,404 cm
Směrodatná odchylka: 0,23 cm
Počet satelitů (průměr): 14

Název souboru: 23.4_rtk_14.DAT
Popis: # 23.4.2014, 14:29, rtk, staticke strecha
GPS čas: od 12:29:07 do 12:32:09
Korekce: RTK integer
Průměrná odchylka: 0,454 cm
Směrodatná odchylka: 0,278 cm
Počet satelitů (průměr): 14

Název souboru: 25.4_rtk_14.DAT
Popis: # 25.4.2014, 14:40, rtk, staticke strecha
GPS čas: od 12:40:04 do 12:44:48
Korekce: RTK integer
Průměrná odchylka: 0,887 cm
Směrodatná odchylka: 0,381 cm
Počet satelitů (průměr): 14



Měřítko: 1,54 cm
 Z. délka min: 16° 3,98633772'
 Z. délka max: 16° 3,98637311'
 Z. šířka min: 50° 15,50064769'
 Z. šířka max: 50° 15,50067666'
 Vzdálenost mezi 21.4_rtk_14.DAT a 23.4_rtk_14.DAT je 1,33 cm
 Vzdálenost mezi 21.4_rtk_14.DAT a 25.4_rtk_14.DAT je 4,99 cm
 Vzdálenost mezi 23.4_rtk_14.DAT a 25.4_rtk_14.DAT je 3,79 cm
 V průměru: 3,37 cm

Název souboru: 23.4_omnistar_14.DAT
Popis: # 23.4.2014, 14:02, omnistar, staticke strecha
GPS čas: od 12:02:02 do 12:18:53
Korekce: RTK integer
Průměrná odchylka: 6,518 cm
Směrodatná odchylka: 3,678 cm
Počet satelitů (průměr): 6,1

Název souboru: 25.4_omnistar_14.DAT
Popis: # 25.4.2014, 13:50, omnistar, staticke strecha
GPS čas: od 11:52:34 do 12:19:01
Korekce: RTK integer
Průměrná odchylka: 5,821 cm
Směrodatná odchylka: 2,484 cm
Počet satelitů (průměr): 6,3



23.4_omnistar_14.DAT
25.4_omnistar_14.DAT

Měřítka: 15,39 cm
 Z. délka min: 16° 3,986653'
 Z. délka max: 16° 3,98682783'
 Z. šířka min: 50° 15,50079522'
 Z. šířka max: 50° 15,50094922'
 Vzdálenost mezi 23.4_omnistar_14.DAT a 25.4_omnistar_14.DAT je 11,41 cm
 V průměru: 11,41 cm

Název souboru: 19.4_EGNOS_jizda_1.dat
Popis: # 19.4.2014, jizda, egnos
GPS čas: od 08:58:26 do 09:00:44
Korekce: DGPS
Průměrná odchylka: 0 cm
Směrodatná odchylka: 1,945 cm
Extrém: < -4,7 ; 6,4 > cm
Ujetá vzdálenost: 530,4 m
Počet satelitů (průměr): 10,9

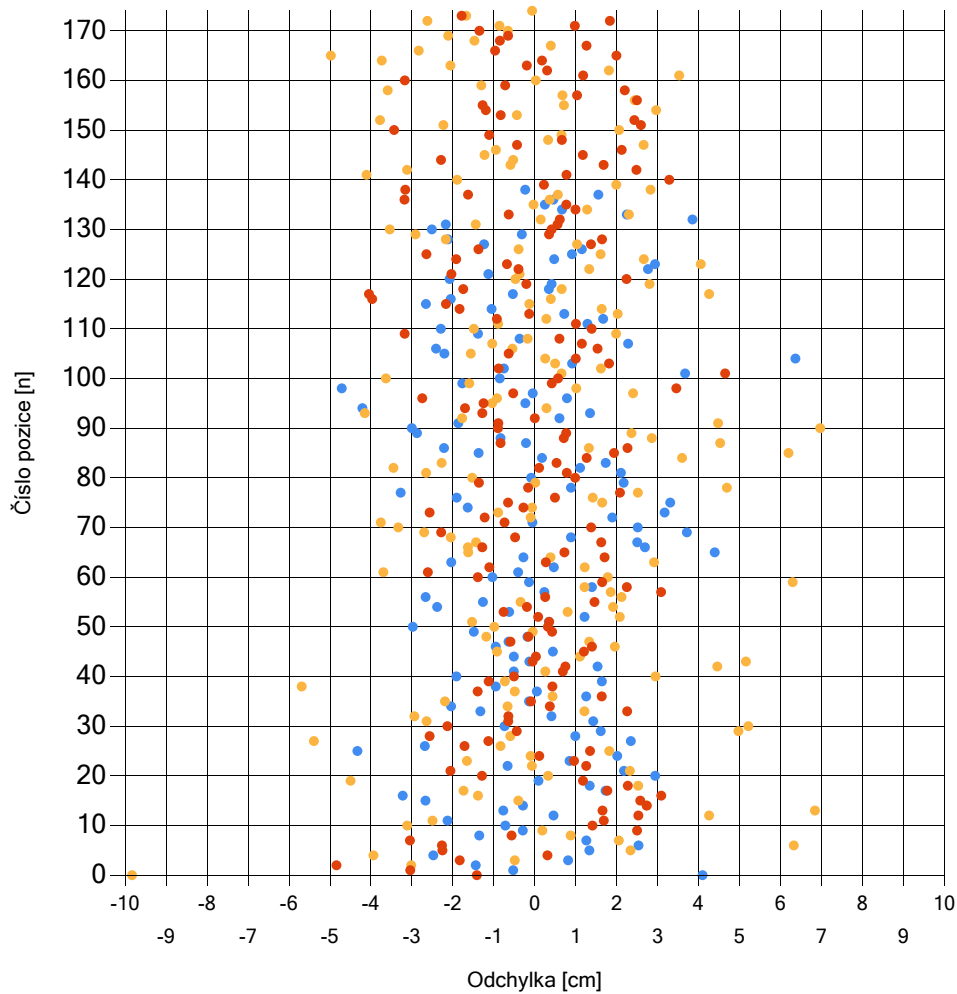
Název souboru: 19.4_EGNOS_jizda_2.dat
Popis: # 19.4.2014, jizda, egnos
GPS čas: od 08:54:43 do 08:57:38
Korekce: DGPS
Průměrná odchylka: 0 cm
Směrodatná odchylka: 1,814 cm
Extrém: < -4,9 ; 5,8 > cm
Ujetá vzdálenost: 647,7 m
Počet satelitů (průměr): 10

Název souboru: 19.4_GPS_jizda_1.dat
Popis: # 19.4.2014, jizda, gps
GPS čas: od 09:02:09 do 09:05:04
Korekce: GPS
Průměrná odchylka: 0 cm
Směrodatná odchylka: 2,981 cm
Extrém: < -18,7 ; 7 > cm
Ujetá vzdálenost: 645,3 m
Počet satelitů (průměr): 18,5

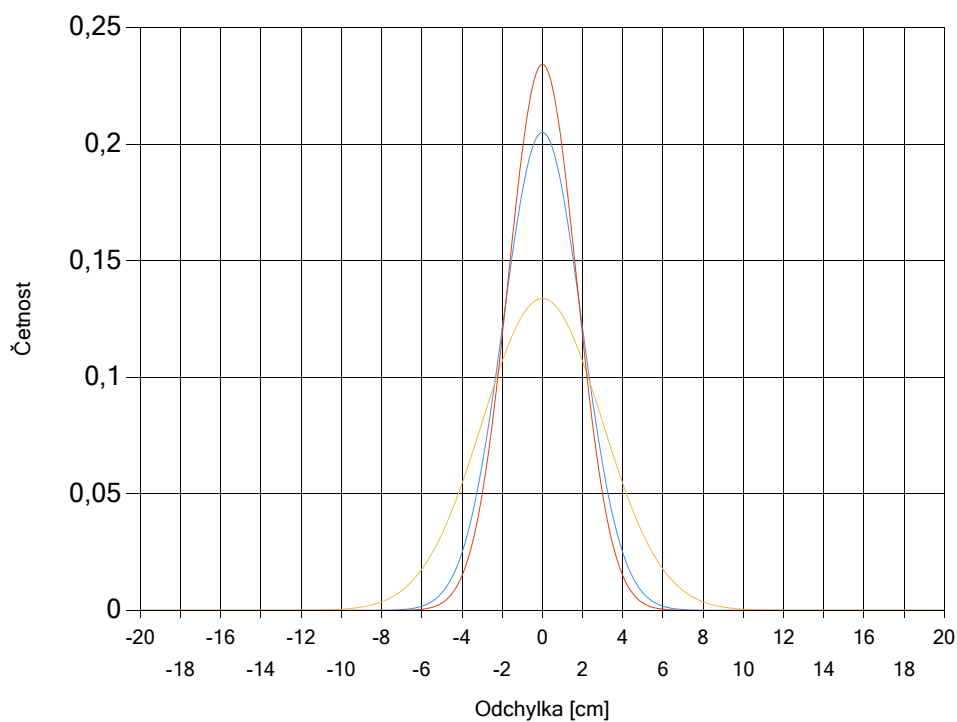
Název souboru: 19.4_GPS_jizda_2.dat
Popis: # 19.4.2014, jizda, gps
GPS čas: od 09:08:49 do 09:11:55
Korekce: GPS
Průměrná odchylka: 0 cm
Směrodatná odchylka: 2,566 cm
Extrém: < -7,7 ; 13,8 > cm
Ujetá vzdálenost: 667 m
Počet satelitů (průměr): 18,3

Název souboru: 19.4_RTK_jizda_1.dat
Popis: # 19.4.2014, jizda, rtk
GPS čas: od 08:43:05 do 08:45:58
Korekce: RTK integer
Průměrná odchylka: 0 cm
Směrodatná odchylka: 1,703 cm
Extrém: < -4,8 ; 4,6 > cm
Ujetá vzdálenost: 574,8 m
Počet satelitů (průměr): 17

Název souboru: 19.4_RTK_jizda_2.dat
Popis: # 19.4.2014, jizda, rtk
GPS čas: od 08:50:18 do 08:52:32
Korekce: RTK integer
Průměrná odchylka: 0 cm
Směrodatná odchylka: 1,897 cm
Extrém: < -4,7 ; 5,9 > cm
Ujetá vzdálenost: 500,7 m
Počet satelitů (průměr): 17



19.4_EGNOS_jizda_1.dat
19.4_GPS_jizda_1.dat
19.4_RTK_jizda_1.dat



19.4_EGNOS_jizda_1.dat
19.4_GPS_jizda_1.dat
19.4_RTK_jizda_1.dat

Příloha E – Přesné zemědělství



Obrázek 6.7 – Pole brambor zaseté pomocí systému automatického řízení [24]



Obrázek 6.8 – Pole brambor zaseté bez použití navigačního systému [24]



Obrázek 6.9 – Vynechaná mezera při aplikaci totálního herbicidu bez použití navigačního systému [24]