

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

---

# Globální navigační satelitní systémy a jejich využití v praxi

Učební texty k semináři

---

Autoři:

Ing. Zdeněk Láska (Geodis Brno, spol. s r.o.)

Martin Tešnar (Geodis Brno, spol. s r.o.)

Ing. Jaroslav Slabý (Geodis Brno, spol. s r.o.)

Ing. Jan Sukup (Geodis Brno, spol. s r.o.)

Datum:

9. září 2010

Centrum pro rozvoj výzkumu pokročilých řídicích a senzorických technologií CZ.1.07/2.3.00/09.0031

TENTO STUDIJNÍ MATERIÁL JE SPOLUFINANCOVÁN EVROPSKÝM SOCIÁLNÍM FONDĚM A STÁTNÍM ROZPOČTEM ČESKÉ REPUBLIKY



## OBSAH

Obsah .....	1
1. Souřadnicové systémy, teorie gnss .....	3
1.1. Tělesa nahrazující Zemi .....	3
1.2. Souřadnicové systémy.....	4
1.3. Transformace mezi souřadnicovými systémy.....	5
1.4. Globální navigační satelitové systémy (GNSS).....	6
1.4.1. GPS .....	6
1.4.2. GLONASS.....	7
1.4.3. GALILEO .....	7
1.5. Data GNSS .....	8
1.5.1. Data vysílaná družicemi .....	8
1.5.2. Data vysílaná referenčními stanicemi.....	9
1.6. Principy určování polohy .....	9
1.6.1. Absolutní určování polohy .....	10
1.6.2. Relativní určování polohy .....	10
1.7. Faktory ovlivňující kvalitu měření.....	11
2. Metoda RTK a její využití .....	14
2.1. Metody určování polohy obecně.....	14
2.2. Principy DGNSS, RTK.....	15
2.3. Metody šíření signálu, skladba systému.....	16
2.4. Permanentní GNSS sítě a jejich služby .....	17
2.4.1. Sítě pro veřejnost .....	18
2.5. GNSS Servery, castery, klienti.....	22
2.6. Data RTK, standardy, používané formáty .....	24
2.7. NTRIP komunikační protokol .....	26
2.8. Přesnost, praxe, limitující faktory RTK.....	28
3. Používané technologie, software a technika .....	31
3.1. Programy pro zpracování GPS měření.....	31

3.1.1.	Firmware .....	31
3.1.2.	Programy pro zpracování měřených dat.....	31
3.1.3.	Programy pro ovládání GPS přijímačů .....	32
3.1.4.	Speciální programy .....	33
3.1.5.	Programovací jazyk GRIL.....	34
3.2.	Typy GNSS přijímačů .....	35
3.2.1.	Modulární GNSS přijímače.....	35
3.2.2.	Integrovaný přijímač GR-3 .....	38
3.2.3.	OEM deska G3 160T.....	38
3.3.	Limity použití.....	39
3.4.	Aplikace přesných GNSS technologií .....	40
3.4.1.	Aplikace RTK technologií v geodezii.....	40
3.4.2.	Aplikace RTK technologií ve stavebnictví.....	41
3.4.3.	Digitální modely.....	43
3.4.4.	Aplikace přesných RTK technologií v zemědělství .....	44
4.	Mobilní mapování.....	49
4.1.	Úvod.....	49
4.2.	Popis technologie .....	50
4.3.	Konfigurace mobilního mapovacího systému .....	50
4.4.	Mobilní mapovací systém IP-S2 Topcon.....	52
4.5.	Možné aplikace pro mobilní mapovací systém IP-S2.....	55
4.6.	Sběr dat mobilním mapovacím systémem IP-S2 .....	56
4.7.	Zpracování dat z mobilního mapovacího systému IP-S2 .....	57
4.8.	Ověření funkčnosti systému IP-S2 .....	60
4.9.	Aplikace pro vyhodnocení zájmových informací .....	63
4.10.	Závěr.....	67
	Seznam použité literatury .....	68

# 1. SOUŘADNICOVÉ SYSTÉMY, TEORIE GNSS

Ing. Zdeněk Láška

*Tato kapitola se zabývá stručným popisem souřadnicových systémů používaných v ČR, popisem GNSS systémů a principy určování polohy.*

---

## 1.1. Tělesa nahrazující Zemi

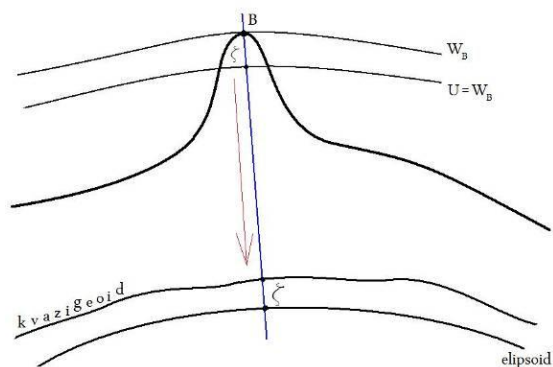
Všichni víme, že Země má přibližně tvar koule zploštělé na pólech. Pro přesné určování polohy však potřebujeme nahradit Zemi exaktně matematicky definovaným tělesem, které se co nejvíce přibližuje skutečnému tvaru Země.

### **GEOID**

Ekvipotenciální plocha o tíhovém potenciálu  $W_0$ . Je ztotožněná se střední hladinou moří a oceánů prodlouženou i pod kontinenty. Geoid nelze exaktně matematicky popsat. Vektor tíhového zrychlení je ve všech místech geoidu na geoid kolmý.

### **KVAZIGEOID**

Náhradní geometrická plocha geoidu, která je matematicky definovatelná.



Výšky k němu vztažené jsou tzv. výšky normální.

Není hladinová plocha, vznikne přičtením rozdílu  $\zeta$  skutečné a normální tíže v daném bodě k elipsoidu (Obrázek 1.1).

Zaveden Moloděnským v roce 1945. Výšky  $B_{pv}$  se vztahují ke kvazigeoidu.

**Obrázek 1.1** Kvazigeoid

## **ELIPSOID**

V geodézii se prakticky výhradně používá rotační elipsoid, protože jeho matematická definice je jednoduchá a jednoznačná. Rotační elipsoid vznikne rotací elipsy kolem jedné z jejích os. V případě zemského rotačního elipsoidu se malá osa elipsoidu ztotožňuje s osou rotace Země a velká poloosa vytváří při své rotaci rovinu rovníku. Lépe by sice tvar Země vystihoval trojosý elipsoid, ale výpočty by byly složitější. Rotační elipsoid je dán velikostí hlavní poloosy ( $a$ ) a zploštěním ( $f$ ).

## **KOULE**

Nejjednodušší těleso, používá se často pro aproximaci menšího území, kde vhodnou volbou poloměru koule se můžeme značně přiblížit elipsoidu.

## 1.2. Souřadnicové systémy

Soustava údajů umožňujících určení polohy ve zvolené vztažné soustavě.

**S-JTSK** – (systém jednotné trigonometrické sítě katastrální) rovinný, ČR, SR, dvojité konformní kuželové zobrazení, el. Bessel 1841

**Bpv** – (Balt po vyrovnání) výškový systém, nulový výškový bod v Kronštadtu, používá normální Moloděnského výšky.

**WGS84** – vojenský prostorový systém, el. WGS 84, geocentrický, poslední realizace byla ztotožněna s ITRS 2000, výšky elipsoidické

**ITRS** – celosvětový prostorový, GRS 80, výšky elipsoidické

**ETRS** – evropský prostorový geocentrický, GRS 80, výšky elipsoidické. Je svázán s euroasijskou deskou, tudíž změny polohy bodů na evropském kontinentu v tomto systému jsou řádově menší než v ITRS.

**UTM** – (universal transversal mercator), rovinný, příčné válcové mercatorovo zobrazení, pásy široké  $6^\circ$ , el. WGS 84

### 1.3. Transformace mezi souřadnicovými systémy

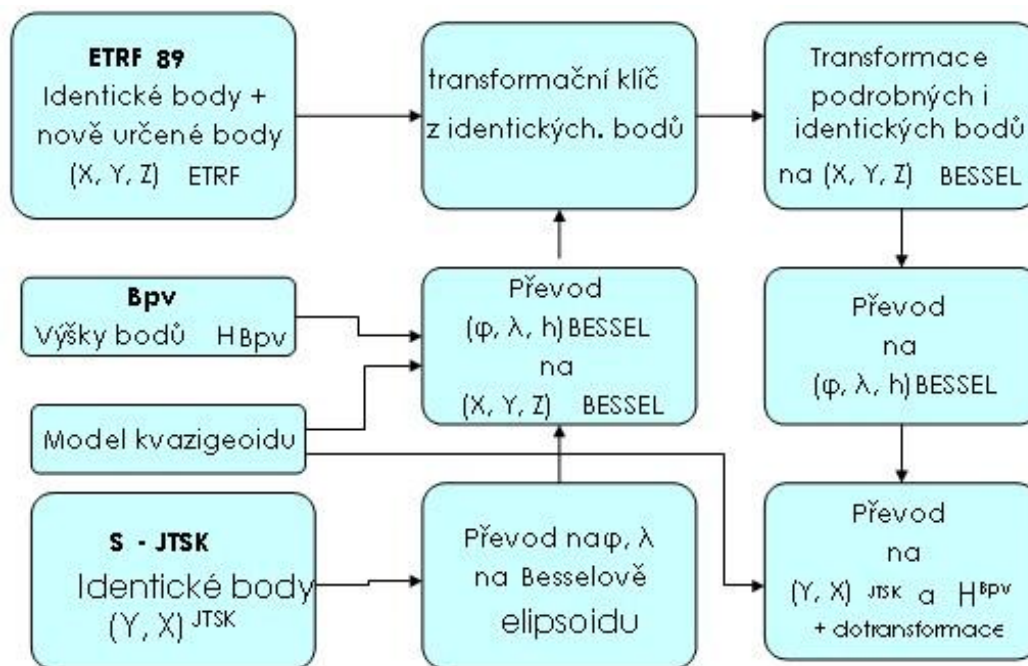
**WGS 84–UTM** – nejjednodušší, shodný elipsoid, pouze kartografické zobrazení

**ITRS2000–ETRS1989** – program na stránkách EUREF, nutno zahrnout roční pohyby stanic

**ETRS1989-S-JTSK** – převod souřadnic  $(x,y,z)_{GRS80} - (x,y,z)_{Bessel}$

- konformní zobrazení z Besselova elipsoidu na Gaussovu kouli
- konformní kuželové zobrazení z gaussovy koule do roviny
- Normální Moloděnského výšku ( $B_{pv}$ ) získáme přičtením výškové anomálie kvazigeoidu a elipsoidu k elipsoidické výšce (ETRS 89)

Pro převod souřadnic  $x,y,z$  mezi elipsoidy GRS80 a Bessel používáme podobnostní transformaci, kde z identických bodů v obou souřadnicových systémech získáme posuny v osách  $x,y,z$ , rotace kolem os  $x,y,z$ , a změnu měřítka.



Obrázek 1.2 Schéma převodu souřadnic ETRS 89 na JTSK a Bpv

## 1.4. Globální navigační satelitové systémy (GNSS)

Struktura většiny GNSS je obdobná a liší se v zásadě pouze v technických detailech. Lze ji rozdělit na tři základní složky: kosmický, řídicí a uživatelský segment.

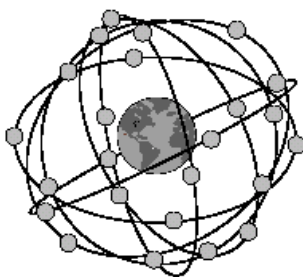
**Kosmický segment** - zahrnuje aktivní umělé družice Země, jejichž poloha je kontinuálně určována v jednotné celosvětové geocentrické souřadnicové soustavě. Družice obíhají po téměř kruhových drahách ve výšce cca 20000 km nad Zemí. Každá družice je vybavena přijímačem, vysílačem a atomovými hodinami. Elektrickou energii získává pomocí solárních panelů a svou polohu je schopna korigovat pomocí raketových motorů.

**Řídicí segment** – vytváří a udržuje systémový čas, průběžně monitoruje a koordinuje činnost celého systému, provádí manévry satelitů (korekce drah satelitů). Skládá se z hlavní řídicí stanice a několika monitorovacích stanic, které nepřetržitě přijímají signály ze všech družic. Tyto data se zpracují v hlavním řídicím centru, vypočtou se korekce drah a hodin družic a ty jsou vysílány na družice. Družice pak tyto informace vysílají v navigační zprávě uživatelům.

**Uživatelský segment** - zahrnuje pozemní přijímače schopné přijímat a zpracovávat družicové GNSS signály.

### 1.4.1. GPS

Americký vojenský navigační systém, někdy označovaný jako NAVSTAR (Navigation System using Time and Ranging). Plně funkční od 17.7.1995.

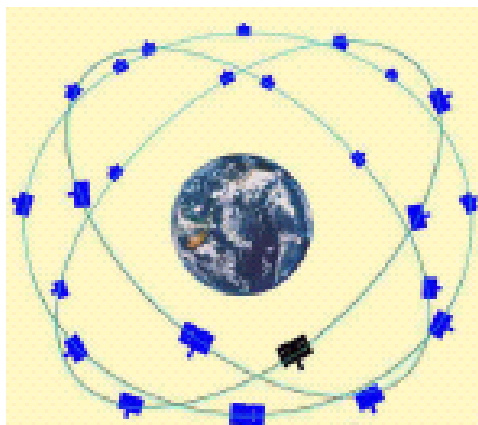


Vysílá na frekvencích L1 (1575,42 Mhz), L2 (1227,60 Mhz) a L5 (1176,45 Mhz) na tyto nosné vlny se moduluje P-kód, C/A kód, L1C nebo L2C kód. Všechny družice vysílají na stejných frekvencích, ale každá družice používá odlišnou sekvenci kódů.



### 1.4.2. *GLONASS*

Ruský vojenský navigační systém, vyvíjený od roku 1972. Na rozdíl od GPS



používá frekvenční identifikace družic (FDMA – frequency division multiple access). Všechny družice používají stejnou sekvenci C/A a P kódů, ale každá družice vysílá odlišné nosné frekvence L1 a L2 ( $f_1=1602 \text{ Mhz} + 0,5625n$ ,  $f_2=1246 \text{ Mhz} + 0,4375n$ , kde  $n$ ...číslo frekvenčního kanálu družice  $n=-7,-6,\dots,5,6$ ). Plánovaný počet družic je 21+3 rozmístěných rovnoměrně na 3 oběžných drahách.

Dalšími rozdíly jsou používání geocentrického systému PZ90 pro definování poloh a rychlostí družic a používání systémového času GLONASST.

### 1.4.3. *GALILEO*

Evropský civilní navigační systém, který je ve fázi vývoje. Předpokládáné spuštění v roce 2014, ale stále se oddaluje.

Plánovaný počet družic 27+3, na 3 oběžných drahách. Stejně jako GPS by měl využívat kódovou identifikaci družic, které budou vysílat na shodných nosných frekvencích L1 (1575,42 Mhz), E5a (1176,45 Mhz), E5b (1207,140 Mhz) a E6 (1278,75 Mhz).

V tabulce č.1.1 je porovnání základních parametrů jednotlivých navigačních systémů.

GNSS	GPS	GLONASS	GALILEO
začátek vývoje	1973	1972	2001
start první družice	1978	1982	2005
celkový počet družic	21 + 3 náhradní	21 + 3 náhradní	27 + 3 náhradní
dráhové roviny	6	3	3
sklon k rovníku	55°	65°	56°

výška nad Zemí	20 180 km	19 100 km	23 222 km
oběžná doba	11 h 58 min	11 h 15 min	14 h 05 min
souřadnicový systém	WGS 84	PZ90	GTRF
časový systém	GPST	GLONASS T	GST
charakteristika signálu	kódová identifikace	frekvenční identifikace	kódová identifikace
frekvence	L1 , L2 , (L5)	L1 , L2 , (L5)	E5a , E5b , E6 , E2-L1-E1

Tabulka 1.1 porovnání základních parametrů jednotlivých GNSS

## 1.5. Data GNSS

K určení polohy GNSS přijímače nám slouží data vysílaná družicemi a u diferenčních metod také data vysílaná z jiných přijímačů.

### 1.5.1. *Data vysílaná družicemi*

Každá družice vysílá rádiový signál na několika nosných vlnách (L1, L2, L5). Na tyto nosné vlny se modulují pseudonáhodné kódy (C/A, P, Y, L1C, ...) a navigační zprávy.

**Navigační zpráva** – je na nosnou vlnu modulována ve formě binárního kódu, kódovaného pomocí fázového posunu nosných vln. Navigační zpráva obsahuje:

- parametry dráhy družice
- čas vysílání počátku zprávy
- přesné keplerovské efemeridy družice
- korekce hodin družice
- almanach – méně přesné parametry všech družic systému
- koeficienty ionosférického modelu
- stav družice (health), ...

### 1.5.2. *Data vysílaná referenčními stanicemi*

Při diferenčním určování polohy musíme mít k dispozici data měřená na retenční stanici, jejíž polohu přesně známe. Nejčastěji referenční stanice vysílá korekce měřených pseudovzdáleností k jednotlivým družicím (rozdíl vzdálenosti měřené a vypočtené ze známých souřadnic). Tyto data jsou nejčastěji šířeny přes internet pomocí NTRIP protokolu.

## 1.6. Principy určování polohy

### **Kódová měření**

Přijímače generují repliku kódu v závislosti na čtení vlastních hodin. Tuto repliku potom porovnávají s kódem získaným z přijímané vlny a určují časový posun mezi nimi. V případě, že chod hodin družice i přijímače je bezchybný, časový posun odpovídá transitnímu času, po který signál překonával vzdálenost mezi družicí a přijímačem. Vynásobením transitního času rychlostí světla získáváme vzdálenost družice - přijímač. Tuto měřenou vzdálenost nazýváme pseudovzdáleností. V případě C/A kódu systému GPS, odpovídá jeden bit vlně o délce 300m. Uvažujeme-li přesnost synchronizace kódů 1%, pak maximální přesnost polohy bez uvážení dalších vlivů je cca 3m. Využití P kódu je řádově desetkrát přesnější.

### **Fázová měření**

Fázová měření využívají určování pseudovzdáleností pomocí nosných vln L1 a L2. Protože přibližná vlnová délka L1 je 19cm a L2 je 24cm, jsme při shodné přesnosti synchronizace vln jako u předchozího kódového měření (1%) schopni určit fázový doměrek s milimetrovou přesností. Protože ale u klasické sinusové vlny nelze určit čas jejího odeslání (jako je tomu u dálkoměrných kódů), obsahují fázová měření nejednoznačnost (ambiguity) v počtu celých vlnových délek. Ambiguity se počítají vyrovnáním stejně jako ostatní neznámé v systému rovnic fázových pozorování. V této fázi získáme přibližné hodnoty, které však nejsou celočíselné. Tyto hodnoty se zaokrouhlí na celá čísla a provede se nové vyrovnání. Existuje mnoho metod řešení ambiguit, použití se volí v závislosti na délce observace.

## Dopplerovská měření

V důsledku relativního pohybu družic vůči přijímači se průběžně mění frekvence přijímaného signálu. Dopplerovský posun frekvence je měřen na nosné vlně. Tento posun se určitou dobu měří a pak je na základě získaných údajů vypočtena změna radiální vzdálenosti mezi družicí a přijímačem. Tato měření se využívají spíše k určení rychlosti pohybu přijímače.

Všechny používané metody určování polohy využívají některý z výše uvedených způsobů měření pseudovzdáleností.

### 1.6.1. *Absolutní určování polohy*

Za předpokladu, že známe přesné dráhy družic a přesné korekce hodin družic, jsme touto metodou schopni určit svou polohu s přesností řádově centimetrů. Pro dosažení takové přesnosti potřebujeme alespoň dvanácti hodinový záznam dat na určovaném bodě. Výhodou tohoto způsobu výpočtu je to, že nám stačí jedna GPS aparatura. Jsme schopni určit svou polohu přesně kdekoli na zemi, bez nutnosti existence referenčních sítí v naší blízkosti. Nevýhodou pro větší rozšíření v praxi je to, že je nutná velmi dlouhá observace na určovaném bodě a to, že tento výpočet neumožňují firemní softwary. Nevýhodou je také to, že přesné efemeridy určené např. centrem IGS jsou k dispozici s několikadenním zpožděním. [5]

### 1.6.2. *Relativní určování polohy*

Pro relativní určování polohy je nutné mít současně měřená data na dvou bodech. Výhodou je podstatně kratší doba měření, nevýhodou je nutnost vlastnit dvě GNSS aparatury, což odpadá, pokud se v blízkosti nachází nějaká permanentní stanice poskytující data.

V praxi se využívá několik metod měření:

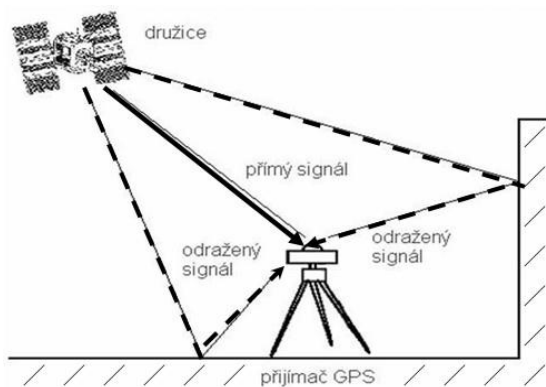
- a) Statická metoda
- b) Rychlá statická metoda
- c) Kinematická metoda
- d) RTK (real time kinematic)
- e) DGNS

## 1.7. Faktory ovlivňující kvalitu měření

**Stav družic** – družice je v navigační zprávě označena jako *zdravá/nezdravá*, (správná poloha na oběžné dráze, funkčnost)

**Poměr signál/šum** – poměr užitečných informací v signálu a jeho šumu, čím menší číslo, tím horší přesnost. Oslabení signálu může být způsobeno např. průchodem korunami stromů, nízkou polohou družice nad horizontem, ...

**Vícecestné šíření (multipath)** - GPS přijímač zpracovává nejen přímo přijatý



ale také signál odražený od blízkých ploch, čímž dochází k interferenci těchto signálů a chybám ve zpracování měření (Obr. 1.3). Kódová měření mohou mít chyby až 50 m, fázová měření až 10 cm.

Obrázek 1.3 zobrazení multipath

**Platnost a přesnost efemerid** – existuje několik druhů efemerid, každý typ má jinou přesnost udávaných parametrů a je dostupný v jiném čase. Tabulka č. 1.2 ukazuje parametry jednotlivých druhů efemerid

Efemerida	přesnost polohy/hodin	k dispozici	zdroj
vysílaná (broadcast)	~ 2 m / 7 ns	reálný čas	navigační zpráva
ultra-rapid (predikce)	~ 10 cm / 5 ns	reálný čas	IGS datová centra
ultra-rapid (výpočet)	< 5 cm / 0,2 ns	po 3 hod.	IGS datová centra
rapid	< 5 cm / 0,1 ns	po 17 hod.	IGS datová centra
přesná (precise)	~ 2 cm / <0,1 ns	po ~ 13 dnech	IGS datová centra

Tabulka 1.2 porovnání jednotlivých druhů efemerid

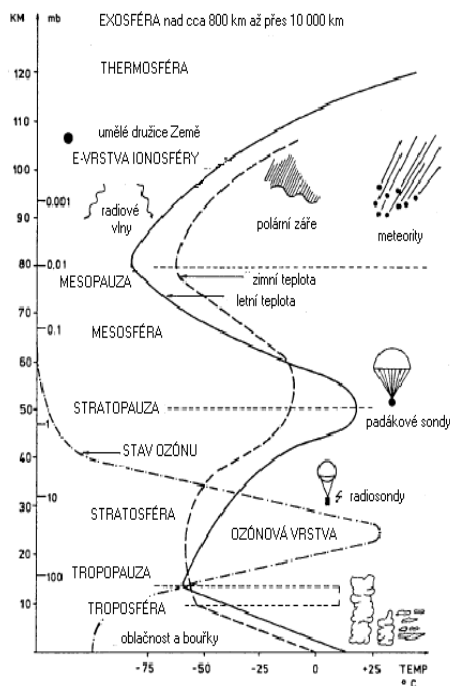
**Počet a geometrické uspořádání viditelných družic** – abychom byli schopni vypočítat polohu (X,Y,Z,T), je minimální počet viditelných družic 4. Ideální je mít jednu družici v zenitu a zbylé tři s elevací kolem 20°, svírající horizontální úhel 120°. Kvalitu geometrického uspořádání nám určuje základní parametr snížení přesnosti DOP

**Přesnost hodin na družicích** – na družicích se pro uchování času a nosných frekvencí používají cesiové, rubidiové nebo vodíkové oscilátory, jejichž stabilita je  $10^{-11}$  až  $10^{-13}$  za 24 hodin.

Přibližné korekce hodin družice na GPS čas jsou vysílány v navigační zprávě (součást Broadcast Ephemid). Přesné korekce jsou pak určovány se zpožděním z měřených dat a jsou dostupné v rámci přesných efemerid.

**Chyba hodin přijímače** – protože přesnost hodin v přijímači je o několik řádů horší než na družici, jsou korekce hodin přijímače řádově vyšší. Obvykle se korekce určují pro jednotlivé epochy měření v rámci výpočtu polohy (proto musíme měřit min. na 4 družice)

**Vliv atmosféry** – rádiové signály jsou nejvíce ovlivněny Ionosférou a Troposférou.



**Obrázek 1.4 profil atmosféry**

Ionosféra je disperzní část atmosféry obsahující volné elektrony a ionty, přibližně mezi 50 – 1000 Km od povrchu Země. Způsobuje tzv. **ionosférickou refrakci**. Ionosferická refrakce je závislá na množství volných elektronů v jednotce objemu atmosféry. Je různá pro kódová a fázová měření, je závislá na frekvenci procházejících vln. Odstraňuje se měřením na obou frekvencích vytvořením vhodné lineární kombinace (L1+L2... označuje se jako Ionofree), zaváděním ionosférických korekcí z navigační zprávy, nebo použitím regionálních/globálních modelů ionosféry. Pro malá území lze považovat vliv ionosféry za stejný a při tvoření diferencí se její vliv z větší části vyruší.

Troposféra je neutrální vrstva sahající do výšky cca 10 – 18 Km. Způsobuje tzv. **troposférickou refrakci**, která je závislá na hustotě prostředí a na rozdíl od ionosférické není závislá na frekvenci nosné vlny. Maximální troposférické ovlivnění dosahuje hodnot 2.3 m ve směru zenitu a až 25 m pro družice s elevací kolem 15°. Pro kratší vektory předpokládáme, že se vliv troposféry při tvorbě diferencí vyloučí. Další možností redukce vlivu troposférické refrakce je použití standardního modelu atmosféry nebo výpočet parametrů troposféry z GPS měření na známých bodech.

V tabulce 1.3 jsou uvedeny přibližné hodnoty jednotlivých systematických vlivů na GNSS určování polohy.

Zdroj chyb	Vliv na absolutní určení GPS polohy	Vliv na relativní určení GPS polohy
dráhy družic BE (PE)	3 – 5 m (0.03 – 0.1 m)	0,1- 0,2 ppm (1-3 ppb)
hodiny družic BE (PE)	3 - 5 m (0.05 - 0.2 m)	-
fázová centra antén družic	1 - 2 m	0 - 0.1 m
ionosféra (L1 bez korekce)	1- 100 m	0,08 - 8 ppm
troposféra (stand. model)	0.05 – 0.4 m	0.01 – 1.0 m
fázová centra antén přijímačů	0.01 – 0.1 m	0.01 – 0.1 m
multipath - kódová (fázová) měření	1 - 10 m (0.01 – 0.05 m)	2 - 20 m (0.02 – 0.1 m)
šum signálu	0.2 - 5 mm	0.6 - 10 mm

**Tabulka 1.3 porovnání vlivů na přesnost GNSS**

## 2. METODA RTK A JEJÍ VYUŽITÍ

Martin Tešnar

### 2.1. Metody určování polohy obecně

Řada metod se v běžné praxi stává historií, nejčastěji se používá měření RTK s použitím korekcí z permanentních sítí ...

**Absolutní určování polohy** – pro určení s dostatečnou přesností je nutná velmi dlouhá observace. Měří se pouze s jedinou stanicí.

**Relativní určování polohy:**

Statická metoda – princip: dlouhé observace (v řádech hodin) pro dostatečně kvalitní řešení ambiguit. Počítá se v postprocessingu s využitím dat z báze a roveru. V praxi málo používaná. Využití – přesné aplikace (geodynamika, bodové základy,...), dlouhé vektory (až stovky km), při výpočtu se bere v úvahu celá řada faktorů, je možné použít i jednofrekvenční stanice, pak je ale délka vektoru omezena. Přesnost cca 3-5mm.

Rychlá statická – Rapid Static. Kratší observace (minuty až desítky minut). Opět postprocessing a data z báze i roveru. Kratší vektory (řádově desítky kilometrů). Využití – určení polohy do přesnosti cca 5-10mm - nejčastěji používaná postprocessingová metoda. Nevýhoda – dlouhá doba měření, minuty až desítky minut. Musí být dvoufrekvenční GPS.

Stop and Go – postprocessing. Napřed se měří inicializace (minuty), pak se měří podrobné měření (vteřiny na určovaném bodě). Data báze i rover. Málo používaná, přesnost srovnatelná s RTK. Nevýhoda – při přerušení nutná nová inicializace. Výsledek z roveru je kombinace statických a kinematických dat.

Kinematická – jako Stop and Go, ale při výpadku není potřeba znova inicializovat – ambiguity se určují i za pohybu na základě přesných kódových měření (technologie on-the-fly – přijímač se umí inicializovat i za pohybu). Zase postprocessing. Využití – zpravidla na mobilních zařízeních – monitoring trajektorií, atd.



Data pro statické metody jsou buď binární nebo RINEX - Receiver Independent Exchange Format - výměnný formát., může obsahovat observační, navigační a meteorologická data (používané verze 2.1 a 3.0, může být komprimován Hatanaka kompresí). Data z referenční stanice mohou být i vypočtená nějakým síťovým způsobem – takzvané „virtuální stanice“.

Metody pro získávání souřadnic v reálném čase v diferenciálním módu, zbytek bude probráno dále:

- DGNSS s korekcemi ze satelitu
- DGNSS (korekce při použití kódového měření)
- RTK (korekce při použití fázového měření)

Poslední dvě metody mohou obsahovat korekce poslané z vlastní báze, ze síťové stanice nebo modelované nějakým síťovým řešením (VRS, plošné). Metoda RTK je v současnosti nejrozšířenější pro sběr podrobných dat. Dále následují podrobnosti ...

## 2.2. Principy DGNSS, RTK

Na rover stanici se v reálném čase přijímají kromě vlastních dat ze satelitů také korekce nutné pro úspěšné řešení ambiguity. Korekce jsou opravy chyb hodin pro jednotlivé satelity a chyb z atmosféry (získané na základě známé polohy referenční stanice). Korekce jsou předávány buď ze satelitu – systém SBAS, v Evropě EGNOS (dva geostacionární satelity Inmarsat-3), nebo z pozemních bází.

Z pozemních bází může být zdrojem korekcí vlastní báze, báze nějaké permanentní sítě nebo vypočtené korekce nějaké sítě.

Při použití korekcí u kódového měření mluvíme o DGNSS (často používaný termín je DGPS), u fázového měření o RTK (Real Time Kinematic).

Korekce mohou být přenášeny pomocí radia, GSM, datových služeb mobilních operátorů (nejčastěji GPRS), mohou být například součástí datových toků RDS některých rádií. V současnosti nejpoužívanějším zdrojem korekcí jsou NTRIP castery, ze kterých se data odebírají prostřednictvím internetu.

Výpočty – ambiguity - jsou řešeny na rover stanici v reálném čase, výpočty řeší buď externí zařízení s klientským softwarem (např. PDA připojené k GPS), nebo přímo firmware GPS přijímače (např. Topcon).

### 2.3. Metody šíření signálu, skladba systému

- Korekce ze satelitu

Jak již bylo řečeno, v Evropě je to EGNOS se svými dvěma satelity, na které jsou korekce nahrávány z pozemního segmentu. Korekce DGNS pro kódové měření jsou zpracovávány přímo z GNSS dat na roveru.

- Korekce z vlastní báze

K bázi je připojen příslušný modem – radio, GSM nebo GPRS. V software na bázi na základě její známé polohy jsou v reálném čase řešeny korekce a posílány na modem. Rover se připojí přes svůj modem, odebírá kromě dat ze satelitů i korekce z báze a v reálném čase řeší ambiguity. Používá se jak pro kódové tak pro fázové měření – pro DGNS i RTK. Používá se i varianta, že na bázi je software, který jako server posílá korekce na internetový caster, ze kterého si klienti berou korekce – viz.dále.

- Korekce z permanentních sítí

Provozovatel sítě permanentních referenčních stanic může provozovat ústřednu pro připojení klientů prostřednictvím GSM. Případně může provozovat systém, kde korekce jsou dostupné na určitém serveru na jeho portech. Nejčastější způsob je ale provozování NTRIP casteru (viz.dále), který je zdrojem služeb a korekcí pro uživatele. Ti se připojují k internetu zpravidla prostřednictvím datových služeb mobilních operátorů.

## 2.4. Permanentní GNSS síť a jejich služby

Permanentní síť ref.stanic mají obvykle následující skladbu. Na daném území jsou rozmístěny referenční stanice. Na jejich vzdálenosti a hustotě jsou závislé služby sítě. Stanice jsou připojeny přes internet (buď přímo nebo přes nějaký počítač) k operačnímu centru. Zde na serverech běží hlavní prvky sítě, které poskytují služby klientům (zpravidla připojeným opět přes internet).

Permanentní síť zpravidla poskytuje následující služby:

- data pro postprocessing
  - o RINEX
  - o RINEX virtuální stanice
- RTK korekce
  - o RTCM 2.3
  - o RTCM 3.0
  - o RTCM 3.1
  - o VRS
  - o Plošné korekce
- DGNSS korekce

Některé služby umožňují kromě RTK korekcí zasílat i difference korekcí z dalších stanic, případně mohou být RTK korekce o tyto difference již opraveny.

Sítě mohou poskytovat korekce buď přímo z vybrané referenční stanice nebo automaticky přiřazené – nejbližší funkční stanice. V tomto případě musí být odeslána z rover stanice do sítě zpráva o poloze – GGA zpráva podle standardu NMEA – National Marine Electronics Association.

Služby VRS a Plošné korekce jsou takzvané síťové služby. I v tomto případě musí systém obdržet zprávu o poloze rover stanice. VRS – virtuální referenční stanice je stanice modelovaná poblíž rover aparatury, k ní jsou přepočteny korekce

z okolních stanic a poskytovány pro daný rover. Plošné korekce jsou korekce z nejbližší stanice ořízené o síťové řešení všech stanic sítě.

#### 2.4.1. *Sítě pro veřejnost*

##### - EVROPA

- EPN - EUREF Permanent Network

Na stránce <http://epncb.oma.be/> , na následujícím obrázku jsou zobrazeny stanice EUREF na území ČR:



**Obrázek 2.1 Stanice EUREF v České republice**

Síť poskytuje ze svých stanic RINEX data pro postprocessing, dále DGNSS a RTK korekce z vybraných stanic. Při použití je potřeba dávat pozor na souřadnice jednotlivých stanic, jsou zde rozcestníky na převody do různých systémů a jejich realizací.

- **Česká republika:**

V České republice jsou 3 celoplošné GNSS sítě, které za poplatek poskytují data svým registrovaným uživatelům.

- CZEPOS – státem provozovaná síť

Na stránce <http://czepos.cuzk.cz>



**Obrázek 2.2** Permanentní GNSS síť CZEPOS

Síť poskytuje data pro postprocessing ve formátu RINEX, dále DGNSS, RTK a síťové korekce.

- TopNET – privátní síť provozovaná firmou GEODIS Brno

Na stránce <http://topnet.geodis.cz>



**Obrázek 2.3** Permanentní GNSS síť TopNET

Síť poskytuje data pro postprocessing ve formátu RINEX, dále DGNSS, RTK a síťové korekce.

- Trimble VRS Now Czech – privátní síť provozovaná firmou Trimble. Síť poskytuje DGNSS a síťové korekce.

Na stránce <http://www.geotronics.cz/index.php/trimble-vrs-now>

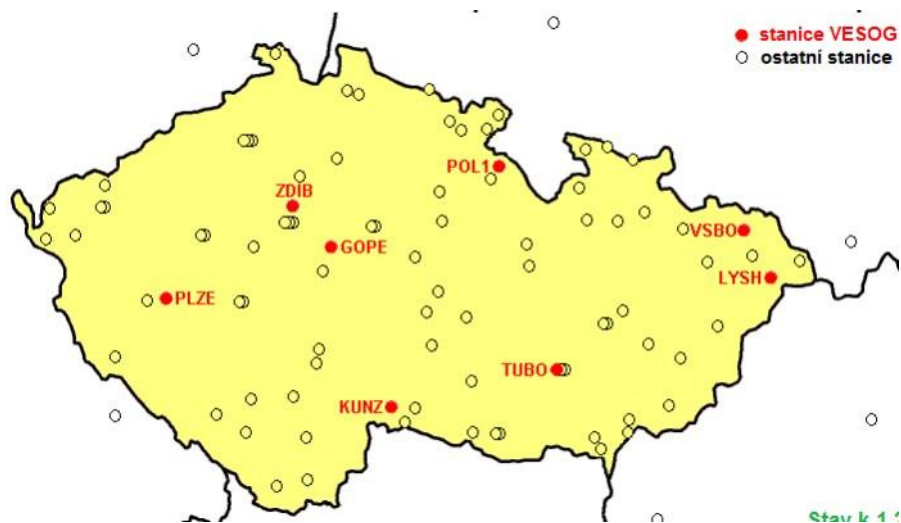


**Obrázek 2.4** Permanentní GNSS síť Trimble VRS Now

Kromě toho je u nás v provozu řada dalších sítí nebo jednotlivých permanentních GNSS stanic. Nejsou obvykle přímo využívány veřejností, ale některé jejich stanice jsou součástí výše uvedených sítí. Nejznámější z nich jsou následující:

### VESOG

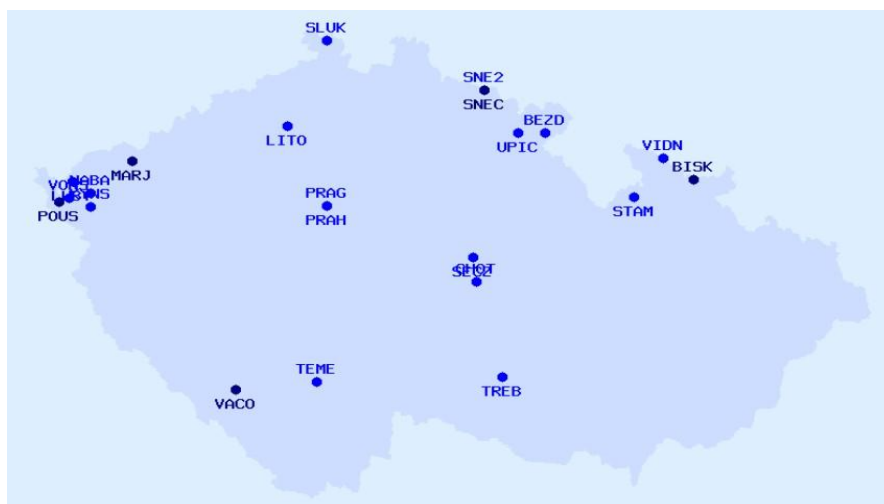
Výzkumná a experimentální síť provozovaná VUGTK. Stránky <http://oko.asu.cas.cz/vesog/about.html>.



Obrázek 2.5 Permanentní GNSS síť VESOG

### GEONAS

Geodynamická síť Akademie věd ČR. Stránky <http://www.geonas.irms.cas.cz/>.



Obrázek 2.6 Permanentní GNSS síť GEONAS

## 2.5. GNSS Servery, castery, klienti

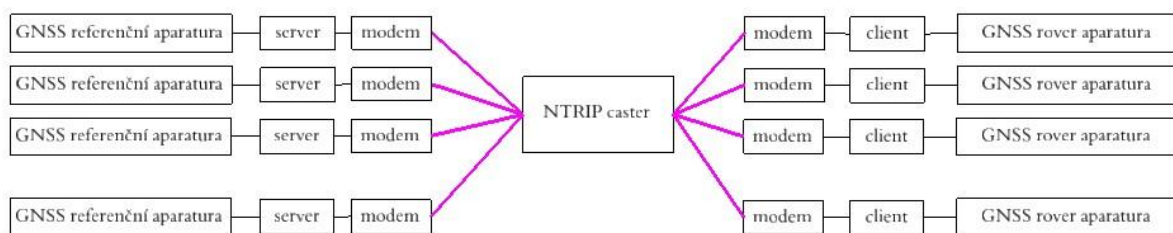
Obvyklá skladba permanentní sítě je následující:



Obrázek 2.7 Stručná skladba permanentní sítě

Referenční stanice ve složení GPS aparatura + modem jsou připojeny k internetu a poskytují data pro operační centrum sítě. Rover stanice ve složení aparatura + modem odebírají data z operačního centra. Jsou připojeny přes internet prostřednictvím datových služeb mobilních operátorů.

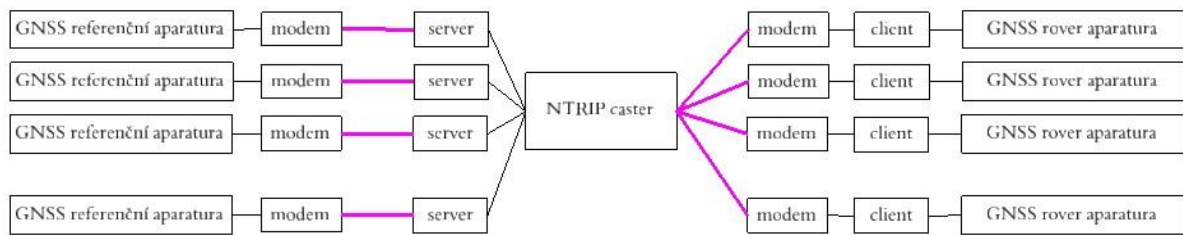
Při podrobnějším pohledu má taková síť tuto strukturu:



Obrázek 2.8 Podrobná struktura permanentní sítě



Server aplikace může být i součástí operačního centra:



Obrázek 2.9 Podrobná struktura permanentní sítě

## Server

Je aplikace (firmware, software), která slouží jako zdroj dat pro NTRIP caster. Zajišťuje komunikaci systému GNSS s referenční aparaturou a v podstatě ji připojuje k NTRIP casteru. S referenční aparaturou zpravidla komunikuje buď přímo prostřednictvím sériového, USB kabelu a podobně nebo na dálku prostřednictvím TCP/IP protokolu.

## NTRIP caster

Je část systému, ze kterého odebírají rover aparatury za pomoci klientské aplikace data. O NTRIP komunikačním protokolu bude řeč dále. NTRIP caster poskytuje data ve formě určitých služeb dostupných z takzvaných mountpointů. Seznam a popis obsahu mountpointů je k dispozici ve formě sourcetable.

## Client

Je aplikace – software nebo firmware, která slouží ke komunikaci GNSS rover aparatury a NTRIP casteru. Umožňuje načíst sourcetable z casteru a odebírat data z určité služby – mountpointu. Může také posílat údaje na caster o poloze roveru – NMEA GGA zprávy, nezbytné pro některé služby casteru.

Pokud permanentní síť poskytuje i VRS nebo plošné korekce, je modul, který má na starosti síťové řešení, součástí systému a spolupracuje s NTRIP casterem.

Nedílnou součástí permanentních sítí jsou i ostatní „podpůrné mechanismy“ na stahování a ukládání dat, distribuce dat pro postprocessing, monitoring,

zálohování, výstražné systémy, informační systémy pro uživatele, systémy poskytující informace o kondici sítě, zejména kvalitě řešení síťových služeb, atd.

Speciální klienti (nejznámější je např. „GNSS internet radio“) – mohou sloužit i jako server na přeposílání dat, dále existují různé klientské aplikace na analýzy, převody, monitoring.

Jako zdroj informací o těchto aplikacích může posloužit např. stránka <http://igs.bkg.bund.de/ntrip/download> německého „ Bundesamt für Kartographie und Geodäsie“.

## 2.6. Data RTK, standardy, používané formáty

- CMR, CMR+ ... Compact Measurement Record - tyto formáty se používají zřídka, původně jej zavedl Trimble, který ho dodnes využívá, ostatní technologie jej podporují z důvodu kompatibility – obsahuje zprávy o korekcích, informace o poloze a parametrech referenční stanice
- RTCM formát ... nejpoužívanější komunikační formát. Autoritou, která tento standard definuje a obhospodařuje je „Radio Technical Commission For Maritime Services“ – stránky <http://www.rtcn.org/> . Je zde možnost i objednání definice těchto standardů. V současnosti se používají verze RTCM 2.0 – 2.3, 3.0 a 3.1. Tato data jsou složena ze zpráv v určitém formátu. Formáty 3.0 a 3.1 jsou úspornější na data a proto je výhodnější jejich používání z hlediska závislosti rover technologie na kvalitě datových přenosů.

Následující tabulka ukazuje obsah zpráv RTCM 2.x:

RTCM Message Type	Description
1	Differential GPS Corrections
2	Delta Differential GPS Corrections
3	GPS Reference Station Parameters
4	Reference Station Datum
5	GPS Constellation Health
6	GPS Null Name
7	DGPS Beacon Almanac
8	Pseudolite Almanac
9	GPS Partial Correction Set
10	P-Code Differential Correction
11	C/A Code, L1, L2 Delta Corrections
12	Pseudolite Station Parameter
13	Ground Transmitter Parameter
14	GPS Time of Week
15	Ionospheric Delay Message
16	GPS Special Message
17	GPS Ephemerides
18	RTK Uncorrected Carrier Phases
19	RTK Uncorrected Pseudorange
20	RTK Carrier Phase Corrections
21	RTK Pseudorange Corrections
22	Extended Reference Station Parameters
23	Antenna Type Definition
24	Reference Station: Antenna Reference Point (ARP) Parameter
25, 26	Undefined
27	Extended DGPS Radiobeacon Almanac
28...30	Undefined
31	Differential GLONASS Corrections
32	Differential GLONASS Reference Station
33	GLONASS Constellation Health
34	GLONASS Partial Differential Correction Set GLONASS Null Name (N<=1)
35	GLONASS Radiobeacon Almanac
36	GLONASS Special Message
37	GNSS System Time Offset
38..58	Undefined
59	Proprietary Message
60..63	Multipurpose Usage

Tabulka 2.1 Zprávy RTCM 2.x

A tato tabulka zprávy RTCM 3.x:

Group Name	Message Type	Message Description
Observations	1001	L1-only GPS RTK Observables
	1002	Extended L1-Only GPS RTK Observables
	1003	L1 & L2 GPS RTK Observables
	1004	Extended L1 & L2 GPS RTK Observables
	1005	L1 Only GLONASS RTK Observables
	1006	Extended L1-Only GLONASS RTK Observables
	1007	L1 & L2 GLONASS RTK Observables
	1008	Extended L1 & L2 GPS RTK Observables
Station Coordinates	1009	Stationary RTK Reference Station ARP
	1010	Stationary RTK Reference ARP with Antenna Height
Antenna Description	1011	Antenna Descriptor
	1012	Antenna Descriptor & Serial Number
Auxiliary Operation Information	1013	System Parameters

**Tabulka 2.2 Zprávy RTCM 3.x**

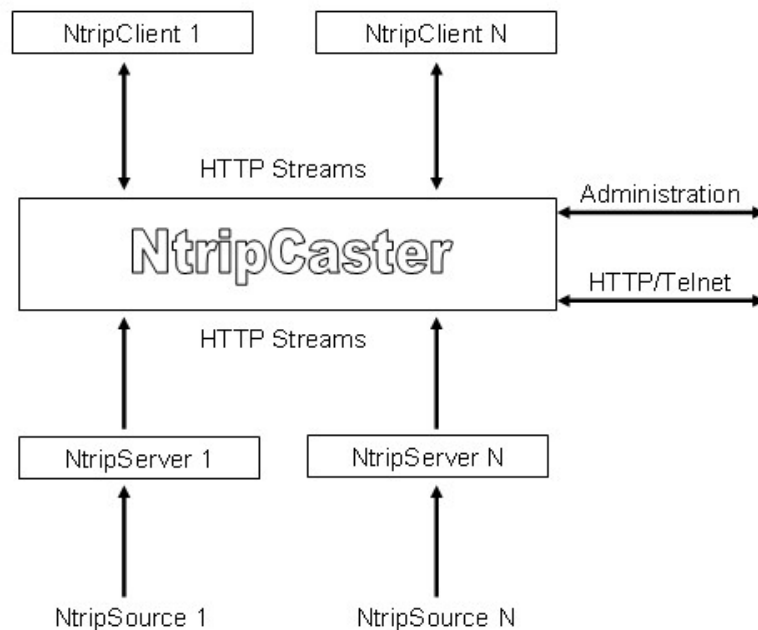
Příklad - data pro DGNSS měření ve formátu RTCM jsou složena ze zpráv 1, 3 a 31. RTK korekce RTCM 2.3 mohou obsahovat následující zprávy: 3, 18, 19, 22 a 24 (ne všechny jsou vždy povinné) a RTK korekce RTCM 3.0 mohou být složeny ze zpráv 1003, 1005, 1007, 1011 a 1033.

## 2.7. NTRIP komunikační protokol

NTRIP je komunikační protokol určený pro přenos diferenciálních korekcí prostřednictvím internetu. Je založen na protokolu HTTP. Podporuje také šíření dat pomocí datových služeb mobilních operátorů - GSM, GPRS, EDGE, UMTS, ...

NTRIP se skládá z NTRIP serveru, casteru a klienta, o jejich funkci bylo psáno výše, s tím, že v terminologii HTTP je caster serverem a NTRIP caster a klient jsou HTTP klienti.

Složení systému NTRIP ukazuje následující obrázek:



**Obrázek 2.10 Složení NTRIP systému**

NTRIP caster je HTTP server, který komunikuje na jedné straně s NTRIP servery a na straně druhé s NTRIP klienty. NTRIP caster komunikuje se servery a klienty (libovolné množství) na určité adrese a portech. Přístup z obou stran je autorizován uživatelským jménem a heslem.

NTRIP server s casterem komunikuje prostřednictvím zprávy SOURCE.

NTRIP klient s casterem komunikuje následujícím způsobem. Klient pošle požadavek GET s uvedením datového zdroje. Pokud ten existuje, caster odpoví zprávou ICY 200 OK a zahájí přenos, pokud ne, caster pošle zprávu SOURCETABLE 200 OK a pošle zdrojovou tabulku mountpointů.

Tabulka SOURCETABLE poskytuje záznamy typu STR – datové toky, CAS – castery a NET – sítě toků. STR jsou standardní mountpointy, ze kterých klienti odebírají data.

Tabulka vypadá například následovně (výřez ze sourcetable EUREF dostupné na adrese <http://www.euref-ip.net:2101>):

```
SOURCETABLE 200 OK
Server: NTRIP Caster 2.0.14/2.0
Date: Tue, 17 Aug 2010 15:16:12 GMT
Connection: close
Content-Type: text/plain
Content-Length: 18247

CAS:www.euref-ip.net;2101;EUREF-IP;BKG;0;DEU;50.12;8.69;http://www.euref-ip.net/home
CAS:rtcm-ntrip.org;2101;NtripInfoCaster;BKG;0;DEU;50.12;8.69;http://www.rtcn-ntrip.org/home
NET:EUREF;EUREF;B;N;http://www.epncb.oma.be/euref_IP;http://www.epncb.oma.be:80/stations/log/skl;htt
NET:GREF;BKG;B;Y;http://igs.bkg.bund.de;http://igs.bkg.bund.de:80/root_ftp/GREF/station/rnxskl;gref-
NET:Misc;BKG;B;N;http://igs.bkg.bund.de/root_ftp/NTRIP/streams/streamlist_euref-ip.htm;http://igs.bk
STR:ACORO;Coruna;RTCM 3.1;1004(1),1006(30),1008(30),1019(120);2;GPS;EUREF;ESP;43.36;351.60;0;0;LEICA
STR:AJACO;Ajaccio;RTCM 3.1;1004(1),1006(15),1008(60),1012(1),1033(60);2;GPS+GLO;EUREF;FRÀ;41.93;8.76
STR:ALACO;Alicante;RTCM 2.3;1(1),3(10),18(1),19(1),22(10),23(10),24(10),59(10);2;GPS;EUREF;ESP;38.34
STR:ALBAO;Albacete;RTCM 2.1;1(1),3(10),16(120),18(1),19(1),59(10);2;GPS;EUREF;ESP;38.98;358.14;0;0;T
STR:ALMEO;Almeria;RTCM 2.3;1(1),3(10),18(1),19(1),22(10),23(10),24(10),59(10);2;GPS;EUREF;ESP;36.85;
STR:AUT10;Thessaloniki;RTCM 3.0;1004(1),1006(10),1008(10);2;GPS;EUREF;GRC;40.57;23.00;0;0;LEICA GRX1
STR:BELFO;Belfast;RTCM 3.1;1004(1),1006(15),1008(15),1012(1);2;GPS+GLO;EUREF;GBR;54.34;-5.55;0;0;LEI
```

**Obrázek 2.11 Výřez sourcetable EUREF**

Podrobnější informace lze nalézt v dokumentu Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (<http://www.rtcn.org>), případně v překladu od Jiřího Hansliana.

## 2.8. Přesnost, praxe, limitující faktory RTK

### Co vše má vliv na přesnost:

- Na straně systému:
  - Stav GNSS – především počet a poloha družic, v případě příjmu diferenčních korekcí ze satelitu kvalita korekcí a poloha příslušné družice
  - Služba sítě – při používání sítí kvalita síťových řešení – plošné a VRS korekce, spolehlivost systému generující korekce
  - Kondice – jednotlivé prvky sítě – stav stanic, funkčnost serverů, casterů, mechanismů generující služby,
  - Komunikace v síti – spojení a komunikace stanic s operačním centrem, komunikace casteru s klienty

- Na straně klienta:
  - Stav GNSS – opět počty a poloha satelitů, kvalita příjmu signálu, atmosférické vlivy
  - Poloha klienta – vzhledem k permanentním stanicím nebo k vlastním bázím
  - Komunikace – dostupnost a kvalita datových služeb mobilních operátorů, GSM, GPRS, EDGE, UMTS, komunikace s vlastní bází (i např. radio), komunikace s perm.sítí, příp. kvalita příjmu korekcí ze satelitů
  - Lokální podmínky – rušení, vícecestné šíření signálů, viditelnost satelitů, chvilkové zákryty satelitů, ... (les, pohyb, ulice, infrastruktura, ...)
  - Kondice přijímače – především stav hardware, funkčnost a vhodná verze operačního systému, firmware a software, stav komunikačního rozhraní

Přibližné teoretické přesnosti:

- DGNSS satelit 0.2 – 1.0 m
- DGNSS pozemní 0.1 – 0.3 m
- RTK pozemní 0.02 m

## Praktické poznatky, přesnost, využitelnost, kdy systém funguje a kdy nefunguje:

GEODIS má bohaté zkušenosti s GNSS měřeními – přes 15 let, na začátku jsme dováželi Ashtech, pak jsme řadu let měřili s aparaturami Leica, časem jsme je doplnili o Javad, ze kterých se stal Topcon, který i prodáváme a servisujeme. V současnosti, kromě toho, že provozujeme permanentní síť, také shromažďujeme poznatky našich cca 20 měřických skupin s GNSS v ČR a cca 20 skupin v zahraničí.

Tyto skupiny kromě vlastní praxe zejména pomáhají ověřovat služby naší i ostatních permanentních sítí, pomáhají ověřovat nové GNSS technologie – často i dlouho před jejich uvedením na trh.

Co se týká používání jednotlivých technologií, nelze některé označit jako horší a jiné lepší. Pro každý účel je potřeba zvolit vhodnou metodu a techniku v závislosti na požadovaném výsledku, potřebné rychlosti a kvalitě sběru dat, přizpůsobení lokálním podmínkám – zda použít korekce ze satelitu, vlastních bází nebo nějaké permanentní sítě, zvážit metody šíření signálu (limity pro radiová vysílání, služby operátorů, jejich kvalita, pokrytí a ceny). V případě permanentních sítí je potřeba zvolit také vhodné služby – někdy je vhodnější připojení na konkrétní bázi, jindy je vhodné zvolit některou ze síťových služeb.

Ne vždy je možné také dosahovat teoretických přesností. Přesnost se může v reálném čase často měnit v závislosti na zvolených technologiích. Některé metody nejsou vhodné pro určité typy prací a požadované přesnosti např. ve výškách. U RTK je důležité zvolit vhodné kontrolní mechanismy pro ověřování výsledků.

Obdobná pravidla platí i pro postprocessing – je třeba zvolit správné metody výpočtů, vyrovnání a transformací a převodů, v závislosti na prováděném druhu prací.



### 3. POUŽÍVANÉ TECHNOLOGIE, SOFTWARE A TECHNIKA

Ing. Jaroslav Slabý

#### 3.1. Programy pro zpracování GPS měření

V souvislosti s GPS systémy můžeme mluvit o čtyřech typech programů

##### 3.1.1. *Firmware*

Programy řídící veškerou činnost GPS přijímače

Zpracování satelitních signálů

Výpočet polohy

Kontrolní funkce přijímače

Definice vstupních a výstupních datových formátů

RTK procesor

Organizace I/O portů

Řízení napájení



##### 3.1.2. *Programy pro zpracování měřených dat*

Programy pro kancelářské zpracování dat získaných statickou, rychlou statickou, stop and go a kinematickou metodou

###### **Vědecký program Bernese**

GNSS postprocessing software vyvinutý Astronomical institute, University of Bern využívaný hlavně vědeckými ústavami pro zpracování dlouhodobých kampaní například při sledování pohybů zemské kůry.

###### **Komerční programy**

Komerční programy pro zpracování měřených dat vyvinuté jednotlivými výrobci GPS přijímačů obsahují obvykle:

Import měřených dat (binárních nebo ve výměnném formátu RINEX)

Vyhledávání chybných dat

Editace měřených dat

Výpočet vektorů mezi Base a Rover přijímačem

Vyrovnání sítí tvořených měřenými vektory

## Exporty výsledků

Z bodu	Na bod	Zac.mereni	Doba trvani	Hor. presnost (m)	Vert. presnost (m)	Azimut	Vzdaleness (m)	Vyskovy uhel	Metod
Svitavy	TBRN	24.10.2007 10:00:00	1:30:05	0.021	0.031	168°53'21.3207	62760.700	-0°29'49.9066	PP
2410	Svitavy	24.10.2007 10:00:00	1:30:05	0.014	0.022	306°48'26.0245	38784.530	0°31'20.7666	PP
2410	TBRN	24.10.2007 10:00:00	1:30:05	0.016	0.024	206°41'07.9141	42995.800	0°07'15.8433	PP
2410	5002_GIKG	24.10.2007 12:12:25	0:12:20	0.007	0.011	128°04'06.5308	3815.732	5°46'59.8702	PP
2410	4001_GIKG	24.10.2007 10:04:30	0:49:40	0.005	0.006	346°35'06.3258	10468.153	2°39'56.4384	PP
4001_GIKG	Svitavy	24.10.2007 10:04:30	0:49:40	0.012	0.017	294°30'20.8780	31466.302	-0°11'05.2391	PP
4001_GIKG	TBRN	24.10.2007 10:04:30	0:49:40	0.019	0.028	199°08'09.8262	51438.729	-0°31'13.2301	PP
2410	4002_GIKG	24.10.2007 11:06:20	0:17:30	0.004	0.007	347°04'49.4996	10443.945	2°39'42.3116	PP
4002_GIKG	Svitavy	24.10.2007 11:06:20	0:17:30	0.012	0.019	294°26'28.3684	31552.532	-0°10'54.1297	PP
4002_GIKG	TBRN	24.10.2007 11:06:20	0:17:30	0.017	0.030	199°14'10.8717	51466.678	-0°31'05.5615	PP
2410	5001_GIKG	24.10.2007 11:56:50	0:12:00	0.005	0.008	128°52'43.2076	3930.431	5°39'32.6297	PP

Obrázek 3.1 Ukázka tabulkového zobrazení vypočítaných vektorů

### 3.1.3. Programy pro ovládání GPS přijímačů

Programy pro ovládání GPS přijímačů a ukládání dat běžících v terénních záznamnících většinou pod operačním systémem Windows CE nebo Windows Mobile mají obvykle následující funkce:

Management zakázek

Nastavení profilů měření např. statické, RTK, síťové RTK, DGPS

Ovládání GPS přijímače dle zvolené metody měření

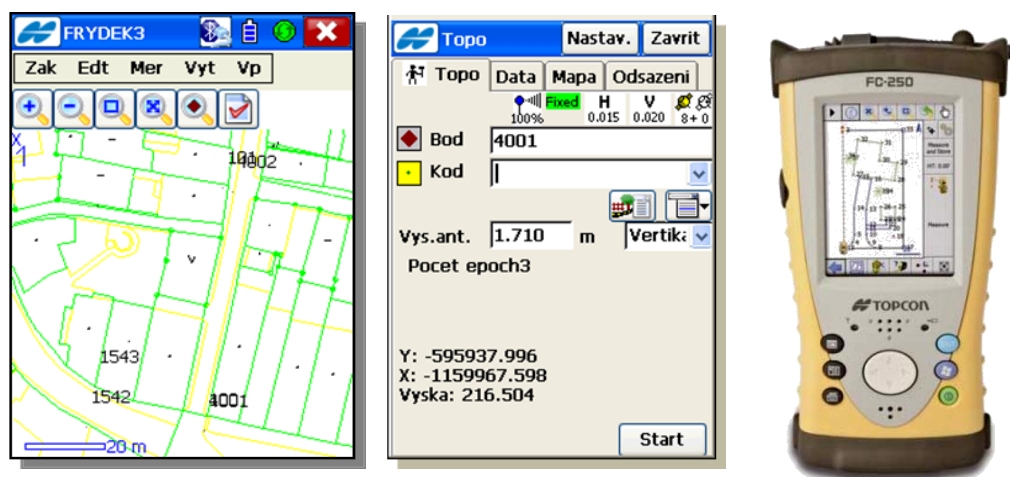
Zobrazení parametrů přijímaných signal

Zob

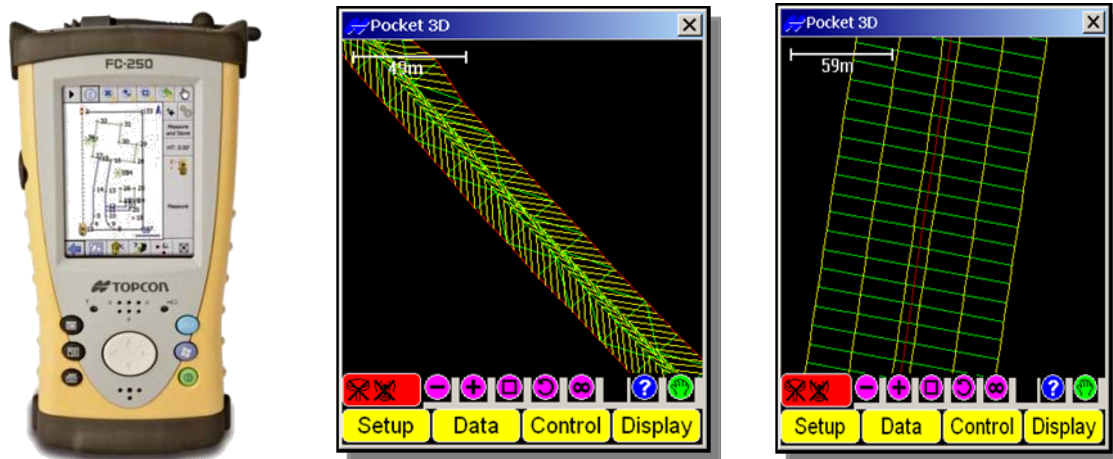
Dopočetní úlohy (souřadnicové výpočty)

Transformační parametryrazení parametrů určené plochy

Vstupy a výstupy ve standardních textových a grafických formátech



Obrázek 3.2 Ukázka geodetického programu TopSURV

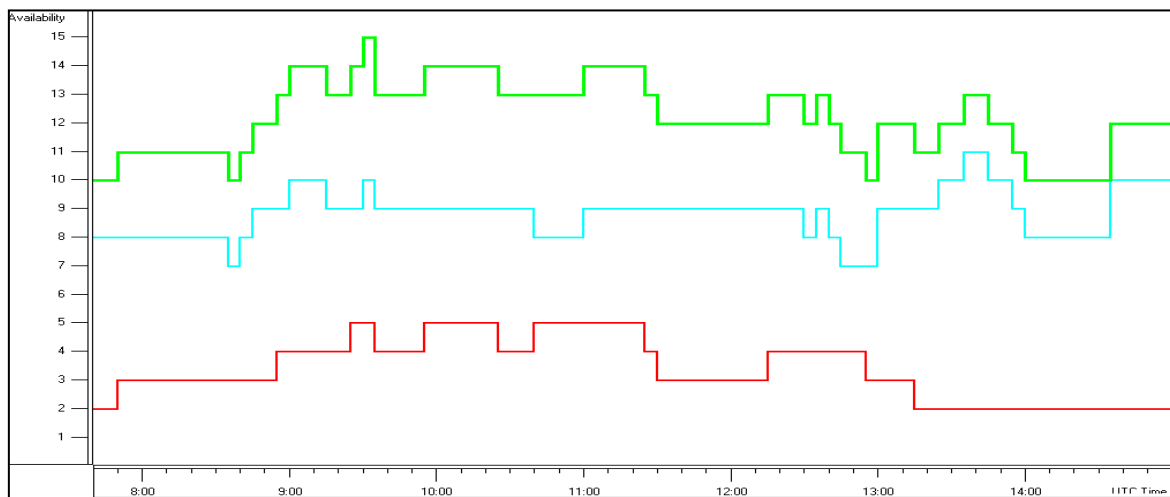


Obrázek 3.3 Ukázka programu 3D Pocked vhodného pro práci s 3D modely ve stavebnictví

### 3.1.4. Speciální programy

#### Plánovací programy

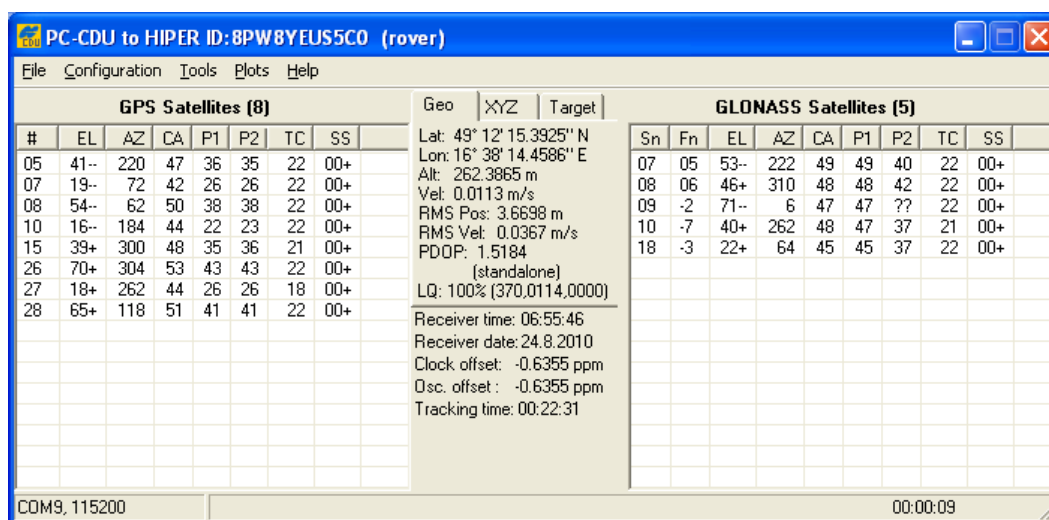
Umožňují na základě informací o drahách satelitů a přibližné poloze měření určit dopředu počet viditelných satelitů a hodnotu PDOP v definovaném časovém úseku. Obvykle je rovněž možné simulovat překážky, které jsou v místě měření a mohou omezit příjem satelitních signálů.



Obrázek 3.4 Ukázka zobrazení plánovacího programu – počet viditelných GPS a GLONASS satelitů ve stanoveném časovém úseku

## Program pro kontrolu a konfiguraci GNSS přijímače

Program umožňuje po připojení přijímače sledovat vybrané parametry sledovaných satelitů jako např. azimut, elevační úhel, poměr signál šum na jednotlivých kódech (C/A, P1, P2) jak je satelit využíván při určování polohy apod. Umožňuje nastavení implicitní konfigurace přijímače. Z pohledu programování je možné pomocí tohoto programu v manuálním modu posílat do přijímače GRIL příkazy a sledovat reakce přijímače, testovat různé funkce přijímače, které nejsou při běžných aplikacích dostupné.



The screenshot shows the PC-CDU software interface for a rover. The title bar reads "PC-CDU to HIPER ID:8PW8YEUS5C0 (rover)". The menu bar includes "File", "Configuration", "Tools", "Plots", and "Help". The main window is divided into several sections:

- GPS Satellites (8):** A table with columns #, EL, AZ, CA, P1, P2, TC, and SS. The data rows are: 05 (41-, 220, 47, 36, 35, 22, 00+), 07 (19-, 72, 42, 26, 26, 22, 00+), 08 (54-, 62, 50, 38, 38, 22, 00+), 10 (16-, 184, 44, 22, 23, 22, 00+), 15 (39+, 300, 48, 35, 36, 21, 00+), 26 (70+, 304, 53, 43, 43, 22, 00+), 27 (18+, 262, 44, 26, 26, 18, 00+), 28 (65+, 118, 51, 41, 41, 22, 00+).
- Geo XYZ Target:** Latitude: 49° 12' 15.3925" N, Longitude: 16° 38' 14.4586" E, Altitude: 262.3865 m, Velocity: 0.0113 m/s, RMS Pos: 3.6698 m, RMS Vel: 0.0367 m/s, PDOP: 1.5184 (standalone), LQ: 100% (370,0114,0000).
- Receiver time:** 06:55:46
- Receiver date:** 24.8.2010
- Clock offset:** -0.6355 ppm
- Dsc. offset:** -0.6355 ppm
- Tracking time:** 00:22:31
- GLONASS Satellites (5):** A table with columns Sn, Fn, EL, AZ, CA, P1, P2, TC, and SS. The data rows are: 07 (05, 53-, 222, 49, 49, 40, 22, 00+), 08 (06, 46+, 310, 48, 48, 42, 22, 00+), 09 (-2, 71-, 6, 47, 47, ??, 22, 00+), 10 (-7, 40+, 262, 48, 47, 37, 21, 00+), 18 (-3, 22+, 64, 45, 45, 37, 22, 00+).

The status bar at the bottom left shows "COM9, 115200" and the bottom right shows "00:00:09".

Obrázek 3.5 Úvodní zobrazení programu PC CDU – zobrazení parametrů přijímaných satelitních signálů

### 3.1.5. Programovací jazyk GRIL

GRIL je aplikační jazyk umožňující uživateli efektivně komunikovat s GNSS přijímači přístupem ke všem jejich možnostem a funkcím. Komunikace s přijímači je dosažena pomocí předdefinovaných příkazů a zpráv.

**Ukázka sekvence příkazů pro aktivaci příjmu DGPS korekcí systému Egnos a odesílání definovaných NMEA zpráv na výstupní port**

```
%set,/par/lock/waas/sat/120,on
%%set,/par/lock/waas/sat/124,on
%%set,pos/mode/cur,cd
%%em,,/msg/nmea/GGA:1
%%em,,/msg/nmea/GST:1
%%em,,/msg/nmea/GSA:1
%%em,,/msg/nmea/GSV:1
%%em,,/msg/nmea/RMC:1
```

## 3.2. Typy GNSS přijímačů

Každý geodetický GNSS přijímač, aby se mohl využívat pro RTK aplikace, musí obsahovat následující komponenty:

GNSS přijímač v minimální konfiguraci GPS L1,L2

GNSS anténu

Polní kontrolér s ovládacím programem

Radio modem

GSM/GPRS modem

Tyto komponenty mohou být použity buď odděleně, spojeny kabelem nebo pomocí BlueTooth, nebo jsou integrovány v jednom pouzdru.

### 3.2.1. Modulární GNSS přijímače



GNSS přijímač NET-G3



GNSS anténa CR-G3

#### Paradigm G3 chip

Počet kanálů	72
GPS	L1, L2 a L5 carrier, CA, L1P, L2P, L2C
GLONASS	L1 a L2 carrier, L1CA,
L2CA, L1P, L2P	
GALILEO	E2-L1-E1, E5, E6
DGPS přesnost	H: 10mm+1ppm V: 15mm+1ppm
Postprocessing	H: 3mm+0.5ppm V: 5mm+0.5ppm
WAAS/EGNOS	ANO
Chip Rate	20Hz
Frekvence	od 50 do 250 MHz
Rozměry	12 x 12 mm
Energetická spotřeba	< 0.5W



Pohled zezadu



Pohled zepředu



## I/O porty přijímače NET G3

### 1 USB

### 1 Ethernet

Ethernet port (12 pin ODU-MINI-SNAP) – používaný pro připojení přijímače do sítě.

### 4 seriové porty

Seriové porty (9 pin D-shell connector) – používané pro komunikaci mezi přijímačem a externím zařízením.

### 2 napájecí porty

#### 1 Even marker

Event Marker port (BNC konektor) – používaný pro vstup událostí synchronizovaný se specifickým časem.

#### 1 pps

PPS port (BNC konektor) – používaný pro generování signálů - jednoho pulsu za sekundu. Puls je synchronizován ve specifickém čase.

#### 1 vstup externí frekvence

Port pro vstup externí frekvence (BNC konektor) – používaný pro vstup externí frekvence nebo výstup interní frekvence přijímače. Jsou akceptovány externí frekvence 5, 10 nebo 20 MHz

#### 1 slot na CF kartu až 8 GB

Data uložená na CF kartě jsou přístupná přes seriový, USB nebo Ethernet port.

## GNSS antény

Důležitý parametr antény je odsazení fázového centra antény od referenčního bodu antény (ARP).

Ukázka kalibračních parametrů antény PG-A1

Nazev	Kal. sada anten odsazeni(C1) (mm)	Polomer (mm)	L1 Base odsazeni(A1) (mm)	L2 Base odsazeni(A2) (mm)	L1 Easting offset(E1) (mm)	L2 Easting offset(E2) (mm)	L1 Northing offset(N1) (mm)	L2 Northing offset(N2) (mm)	Plane Easting
-------	--------------------------------------	--------------	---------------------------	---------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	---------------

PG-A1	Default absolute	89.7	35.5	52.6	8.0	25.1	1.7	-0.8	1.3	0.3
-------	------------------	------	------	------	-----	------	-----	------	-----	-----



**PG-A1**



**Anténa CR-G3**



**Anténa CR-G3 s krytem**

### Vlastnosti

Frekvence	L1/L2; GPS/GLONASS
Rozsah 1	1217-1260 MHz
Rozsah 2	1565-1620 MHz
L5 GPS	
Váha	492 gramů
Rozměry	141.6 x 141.6 x 53.7 mm
LNA zisk	32 ± 2 db
Výst. impedance.	50 Ohm
Konektor	TNC
Pracovní teplota	
Rozsah	-40 to +55

### Externí modemy

GSM/GPRS modem Wavecom fastrack



Radio modem Satel  
Frekvence 481.81MHz



### 3.2.2. *Integrovaný přijímač GR-3*

#### **Paradigm G3 chip**

Integrovaný GNSS přijímač, anténa, baterie, radiomodem, GSM/GPRS modem. Slot na externí SD kartu a GSM/GPRS SIM kartu.



- 1 x USB port
- 1x seriový port
- 1x BlueTooth
- 1x externí napájení
- 2x ovládací klávesy
- 6x LED kontrolky

Interní radiomodem

Interní GSM/GPRS modem



Wavecom Wismo Quik Q2686H



GSM/GPRS Quad band Module

### 3.2.3. *OEM deska G3 160T*

Integrovaný G3 chip. G3160T je deska která umí sledovat signály ze všech tří satelitních polohovacích systémů GPS-GLONASS-Galileo. Je založena na standardním Eurocard formátu ( 168x 100x15 mm). 72 univerzálních



sledovacích kanálů umožňuje sledovat GPS L1, L2, L2C a L5 stejně tak signály GLONASS a Galileo.



OEM G3160T



Vývojová sada

### 3.3. Limity použití

#### **Interference**

Činnost GPS přijímače může být častokrát omezena, nebo úplně přerušena při přítomnosti vnitropásmové interference a rušení signálů. Hrozba vnitropásmové interference a rušení signálů se denně zvyšuje se zaváděním nových komunikačních systémů (radiové frekvenční spektrum se stále více zaplňuje.) Hrozba není pouze od samotných interferenčních signálů ale také od jejich harmonických, které působí uvnitř GPS pásma.

#### **Vedlejší vlnové odrazy**

Vedlejší vlnové odrazy (multipath) jsou jedním z nejvýznamnějších zdrojů chyb při GPS měření.

Anténa s tlumícím prstencem RegAnt může zmírnit účinky vedlejších odražených signálů od objektů pod anténou. Tato technika neovlivňuje účinky vedlejších odrazů od objektů nad anténou (např. vysoké budovy nebo stromy).

Snížení efektu vedlejších odrazů signálu od objektů nad anténou je možné volitelnou funkcí redukující vedlejší vlnové odrazy při zpracování signálu.

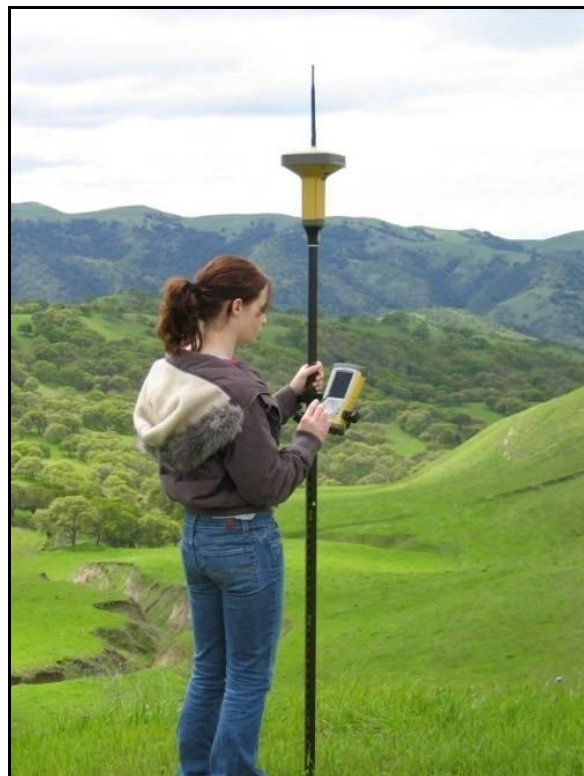
#### **Radiomodem**

Dosah radiomodemu je závislý na mnoha faktorech. Použité frekvenční pásmo je v rozsahu UHF a maximální výstupní výkon 1W. Přenosová rychlost mezi přijímačem a modemem je 19200 baud. Pokud je požadováno provozování RTK měření na větší vzdálenosti je vhodné použít pro přenos RTCM korekcí GSM/GPRS modem. Rychlost rádiového spojení je omezující faktor pro posílání RTCM korekčních zpráv z referenční stanice k roveru. Ve skutečnosti, kvalita rádia a spolehlivost rádiového spojení je naprosto rozhodující pro úspěšné použití RTK.

### 3.4. Aplikace přesných GNSS technologií

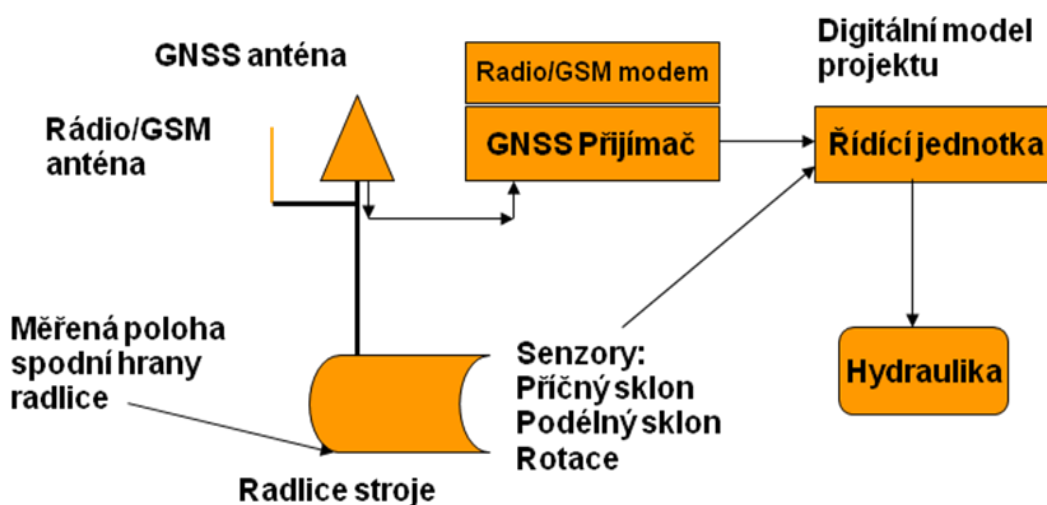
#### 3.4.1. *Aplikace RTK technologií v geodezii*

V geodezii se RTK technologie využívají v nejjednodušší formě jako jedna z metod určování polohy při zaměřování nebo vytyčování. RTK metody přinesly do oboru geodézie obrovský potenciál a mimořádným způsobem zvýšily produktivitu geodetických prací.



### 3.4.2. Aplikace RTK technologií ve stavebnictví

GNSS RTK technologie se ve stavebnictví aplikují kromě běžného použití při zaměřování a vytyčování hlavně do řízení zemních stavebních strojů. Dá se říci, že zahájily etapu automatizace stavebních prací. Princip řízení zemních strojů spočívá v určení přesné polohy a výšky jednoho bodu na pracovním nástroji stroje pomocí GNSS přijímače (RTK technologií). Takto určená 3D poloha (až 20x za vteřinu) je spolu s informacemi ze senzorů náklonu, v počítači (řídící jednotce) umístěném v kabině, porovnávána s polohou, výškou a náklony v digitálním modelu projektu. Zjištěný rozdíl mezi skutečnou a projektovanou výškou a sklony je převeden na elektrické hodnoty, které zavírají nebo otevírají proporcionální ventily řídící hydraulické válce ovládající sklon a výšku pracovního nástroje.



Obrázek 3.6 Schéma řídicího systému graderu

RTK korekce je možné získat z vlastní referenční stanice umístěné v místě stavby nebo ze sítě permanentních stanic. Jedna referenční stanice může prostřednictvím radiomodemu pokrýt přesnými RTK korekcemi oblast několika km a může je využívat neomezený počet řízených strojů a geodetických roverů.



Řídicí jednotka

Rover box

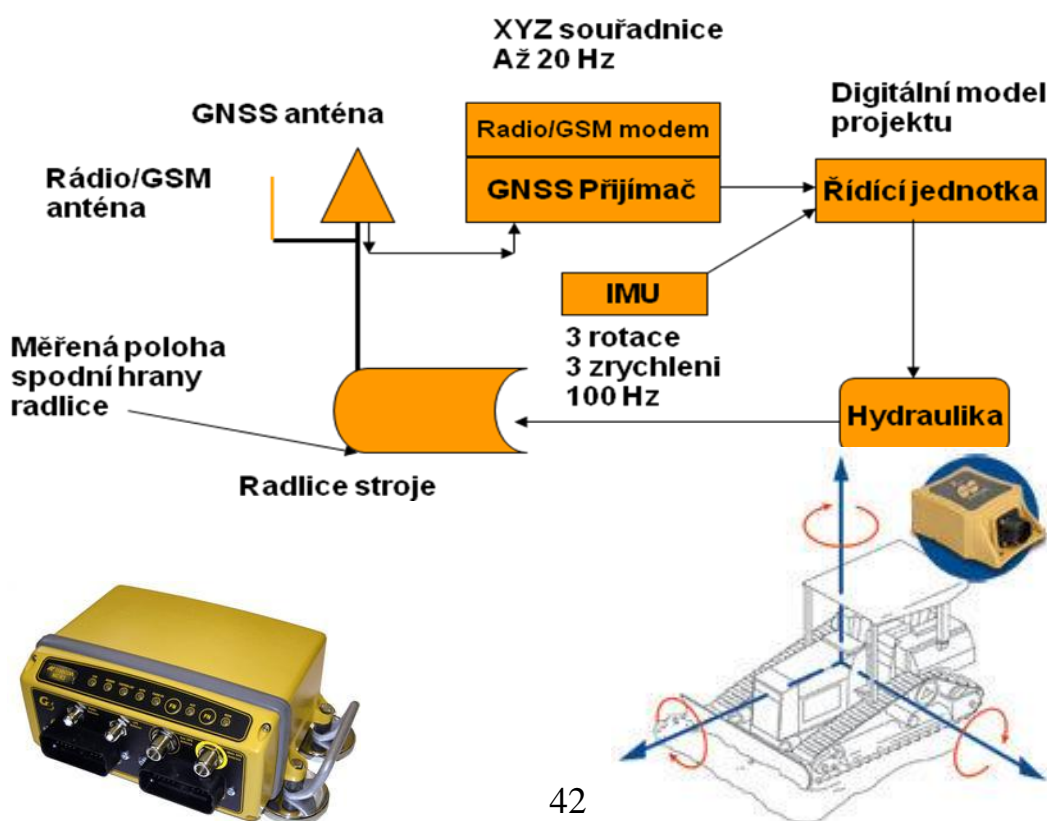
Senzor příčného sklonu

Senzor podélného skl.



Obrázek 3.7 3D GPS systém nainstalovaný na graderu

V současné době se začínají na stavbách objevovat nové systémy řízení zemních strojů, u kterých jsou nahrazeny klasické kapalinové senzory náklonu IMU jednotkou, která měří všechny potřebné náklony stroje frekvencí 100Hz. Systém nainstalovaný na buldozeru umožňuje provádět kvalitně terénní úpravy při maximální rychlosti stroje.



GNSS přijímač a řídicí jednotka mc<sup>2</sup>

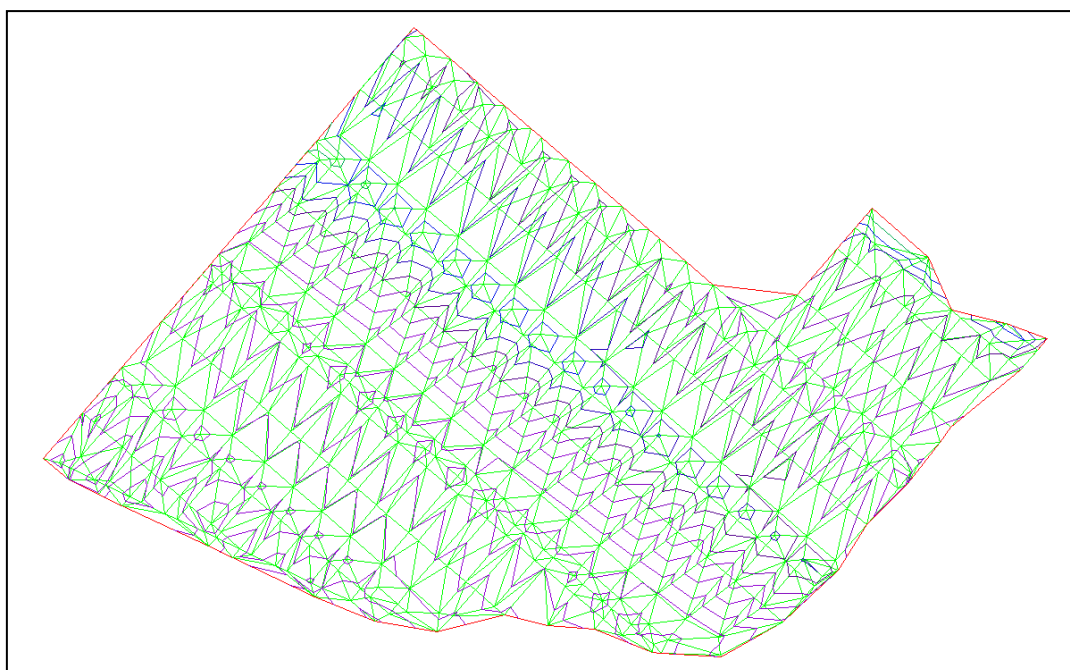
IMU na buldozeru



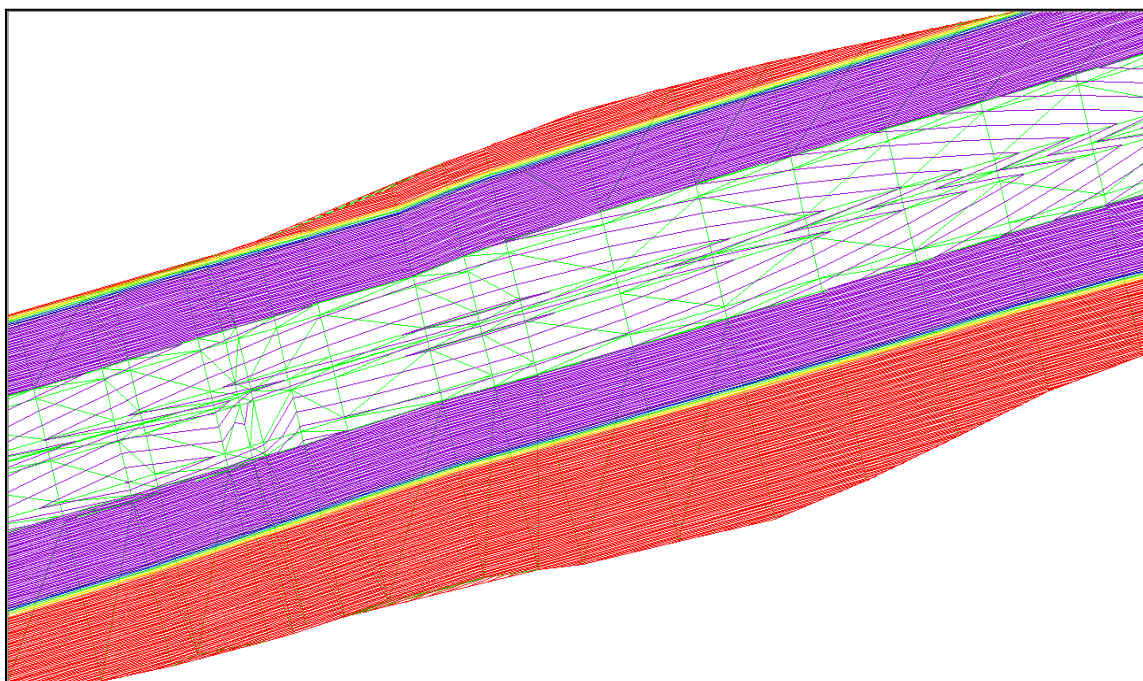
Obrázek 3.8 Buldozer s nainstalovaným řídicím systémem MC<sup>2</sup>

### 3.4.3. *Digitální modely*

Aby se mohl projekt terénních prací realizovat pomocí 3D GPS řízeným zemním strojem, musí být projekt vytvořen jako digitální model. Projekty terénních prací se většinou týkají ploch v rovině, ploch s proměnlivým příčným a podélným spádem a liniových staveb. 3D modely jsou většinou tvořeny jako nepravidelné trojúhelníkové sítě.



Obrázek 3.9 Ukázka 3D modelu odstavného parkoviště v automobilce Peugeot Citroen v Trnavě ve formátu TIN



Obrázek 3.10 3D model části dálnice D1 směrem na Kroměříž

#### 3.4.4. *Aplikace přesných RTK technologií v zemědělství*

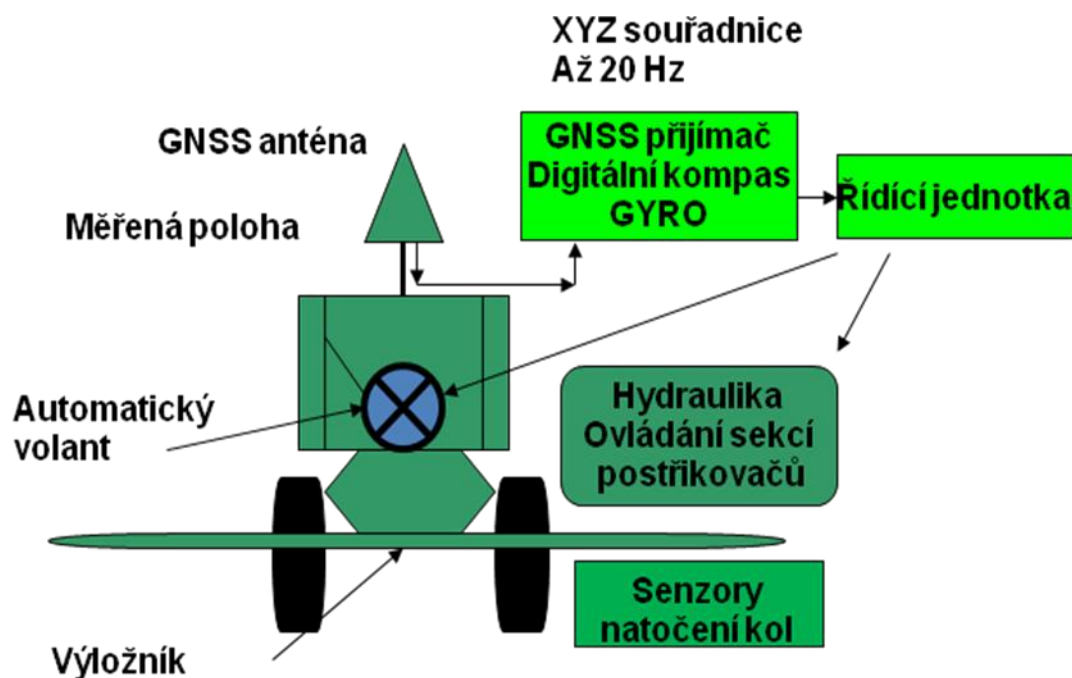
Přesné zemědělství kombinující vysoce přesnou GNSS technologii, sofistikovaný software, řízení stroje měřící systémy, systémy analyzující sklizeň, monitoring počasí a telematiku, mění tvář zemědělství po celém světě. Umožňuje farmářům na všech úrovních od malých rodinných farem po velké agro společnosti, dosáhnout výrazného zvýšení efektivity farem. Přínosy zahrnují zvýšení výnosů, časové úspory, vyšší produktivitu, snížení znečištění, nižší používání vody a přesné aplikace živin, osiv a vody.



a

## System 150

Komplexní systém automatického řízení zemědělských strojů s flexibilními volbami přesnosti.



Obrázek 3.11 Schéma systému GNSS řízení zemního stroje



GNSS přijímač



Řídící konzola



Automatický Volant

### AGI-3 GNSS satelitní přijímač

#### Integrovaný Paradigm G3 chip

AGI-3 integruje přijímač, kontroler a anténu. Je dostupný s rádiem 900 nebo 450-MHz pro použití v RTK systému. Může také pracovat v síti permanentních stanic.

AGI-3 není pouze GNSS přijímač, ale kompletní zemědělské řešení pro automatické řízení směru stroje. Přijímač obsahuje funkci „GYRO“ kompenzace naklonění, přijímač GNSS, přijímač všech DGNSS signálů včetně tříkonstelační satelitů a dostupných korekčních RTK.



Obrázek 3.12 Umístění GNSS přijímače na střeše traktoru

### Řídící konzola

Připojením k GNSS přijímači je řídicí konzola schopna identifikovat přesné souřadnice GNSS přijímače umístěného na vozidle.



### Mapování hranic

S funkcí mapování hranic pozemku je možné vytvořit vnější obrysy pole, které je možné kdykoliv v budoucnosti znovu použít pro jakoukoliv aplikaci na poli. Tím, že je známa přesná výměra a tvar pole je možné daleko lépe plánovat množství postřiků aplikovaných na poli a dobu, kterou bude třeba pro práci.





Obrázek 3.13 Setba provedená GNSS řídicím systémem

### Automatické mapování pokrytí

Hlavním přínosem funkce mapování pokrytí pole je zpětná vazba a kontrola kvality provedené práce na poli. Mapování je spouštěno automaticky při sepnutí hlavního spínače na postřikovači nebo rozmetadle a po skončení pracovního dne je možné tyto zprávy jednoduše pomocí USB paměti přenést do stolního počítače pro následnou analýzu a archivaci.

### Automatická kontrola sekcí postřikovače

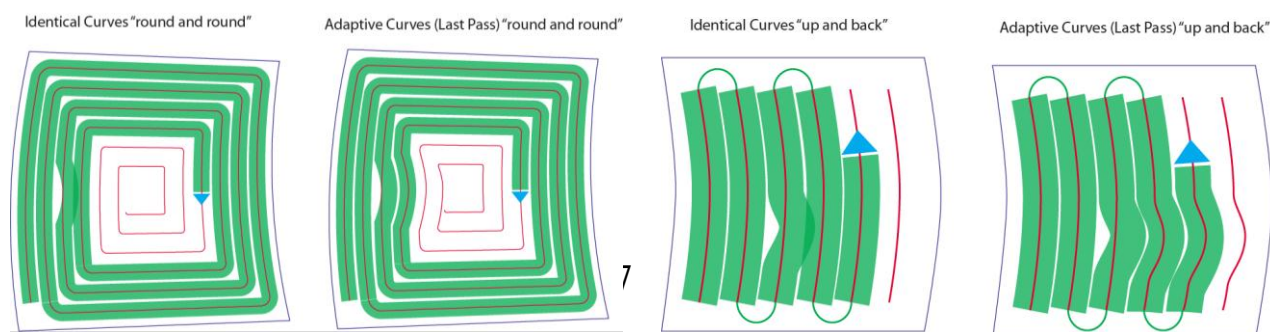
S použitím volitelného příslušenství pro automatickou kontrolu sekcí postřikovače, systém automaticky odpíná jednu až 10 sekcí ramene postřikovače tak, aby nedocházelo k opětovné aplikaci postřiku

### Automatické řízení směru jízdy stroje



Systém umožňuje automatické řízení směru jízdy traktoru nebo samochodného postřikovače. Systém obsahuje funkci rozpoznání hranic pozemku a souvrátí a tím zjednodušuje obrat stroje a navedení do dalšího řádku.

Obrázek 3.14 Univerzální automatický volant



**Obrázek 3.15 Vzory automatického řízení jízdy směru traktoru**

## 4. MOBILNÍ MAPOVÁNÍ

Ing. Jan Sukup

*Tato kapitola je věnována technologii mobilního mapování. První část se zabývá stručným představením technologie a obecním popisem mobilních mapovacích systémů. Hlavní část je zaměřena na popis mobilního mapovacího systému IP-S2, na způsob sběru dat a dále pak na zpracování pořízených dat. V závěru jsou zmíněny výsledky provedených testů a jsou zde nastíněny možnosti využití této technologie.*

---

### 4.1. Úvod

Technologický vývoj v oblasti pořizování a zpracování záznamů GNSS přijímačů v kombinaci s využitím záznamů inerciálních měřících jednotek (IMU) značně pokročil a na trhu se postupně objevilo několik zařízení, které lze využít pro řešení různých technických úloh souvisejících s pořizováním dat pro potřeby mapování nebo GIS aplikací. Souhrnně se o těchto technologiích hovoří jako o metodách mobilního mapování. Postupný technický vývoj GNSS/INS systémů (*Global Navigation Satellite System / Inercial Navigation System*), a především posun ve způsobu zpracování dat, která tato zařízení poskytují, vedl k tomu, že některé současné systémy na trhu dosahují zajímavých výsledků. A to, co se týče porovnání rychlosti sběru dat, detailu, se kterým dokumentují zájmové území, výsledné polohové přesnosti a nakonec i pořizovací ceny dat. Přední světoví výrobci těchto zařízení, jakými jsou například *TOPCON*, *Trimble*, *Applanix*, či *Riegl*, se snaží především o zvýšení přesnosti svých systémů v situacích, kdy dochází ke ztrátě GNSS signálu. Díky integraci dvou navzájem se doplňujících navigačních technologií jsou mobilní mapovací systémy (MMS) schopné po výpadku rychle obnovit příjem signálu, vyřešit *ambiguity* a přejít tak opětovně k fixnímu řešení polohy, které zaručuje spolehlivost a žádanou přesnost. Od dosahované přesnosti je pak přímo odvozena využitelnost těchto systémů pro vybrané aplikace a obory lidské činnosti.

## 4.2. Popis technologie

Pod pojmem mobilní mapování se rozumí unikátní technologie umožňující rychlý a především také efektivní sběr geoinformačních dat a to zejména v zastavěných částech území, kde dochází k rychlým změnám infrastruktury budov, silnic atd., a které není možné dostatečně efektivně zachytit tradičními metodami mapování. Základem jsou mobilní mapovací systémy sloužící pro samotný sběr dat v terénu, které se umísťují především na auta, ale i na čtyřkolky, lodě, vlaky, vrtulníky a jiné, dokonce i bezpilotní létající prostředky. V závislosti na zvoleném prostředku tak lze mapovat komunikace s přilehlým okolím, břehy řek, či železniční koridory. Nedílnou součástí této technologie jsou aplikace sloužící ke zpracování pořízených dat a aplikace pro následné vyhodnocení zájmových informací z nich.

## 4.3. Konfigurace mobilního mapovacího systému

Mobilní mapovací systémy se sice mohou dle výrobce lišit, ale některé prvky mají společné. Postupný vývoj systémů přinesl určitou snahu o unifikaci řešení. Od původních systémů, které byly doslova přidrátovány na střeše mobilního prostředku, se přešlo k sofistikovaným řešením s řídicí jednotkou, *GNSS* přijímačem, *IMU* a externími odometry připojitelnými ke kolům vozidla. Odometry mohou být nahrazeny připojením systému přes *CAN-BUS* sběrnici přímo ke komunikačnímu rozhraní automobilu. Tato zařízení tvoří základ *MMS* a slouží především pro určování jeho polohy a pro georeferencování dat ze senzorů sloužících k samotné dokumentaci zájmového území. Mezi taková zařízení patří především různé typy digitálních kamer a laserových skenerů. Celý systém je většinou ovládán řídicím počítačem, obvykle průmyslovým nebo notebookem uzpůsobeným pro sběr dat. Nároky jsou kladeny především na kapacitu a rychlost harddisků, výkon procesorů a grafických karet. Neméně důležitá jsou i komunikační rozhraní, přes která dochází ke komunikaci a přenosu dat mezi počítačem a mobilním mapovacím systémem. Určitý standard je komunikace přes sériové porty, ať už fyzické či virtuálně vytvořené, nebo přes *ethernet*. Pro přenos velkého objemu obrazových dat z digitálních kamer postupným vývojem vykrystalizovala víceméně tři řešení. Jsou to *GigE Vision*<sup>®</sup>,

*FireWire* a *Camera Link*. V některých případech, kdy jsou používány kamery s nižším rozlišením, lze použít i klasické *USB* rozhraní.

Počet a rozmístění digitálních kamer závisí především na typu aplikace, pro kterou jsou data sbírána a na způsobu, jakým budou informace ze snímku získávány. Pro některé aplikace je vhodné umísťovat kamery tak, aby snímky z nich společně tvořily stereoskopické páry a umožňovaly tak stereo měření. Naopak v jiných situacích míří kamery každá na jinou stranu např. do kříže tak, aby bylo dosaženo co největšího pokrytí přilehlého okolí dráhy pohybu systému a byly minimalizovány zakryté prostory s tím, že vyhodnocování zájmových objektů ze snímků je založeno na prostorovém protínání vpřed. Mezi parametry, jež je potřeba sledovat u digitálních kamer používaných pro mobilní mapování, patří v první řadě rozlišení čipů. V pozemních aplikacích se rozlišení pohybuje většinou do 5 až 10 Mpx, zatímco u leteckých aplikací je nutné použít kamery o rozlišení v řádu desítek *megapixelů*. Je to především z toho důvodu, že vzdálenost dokumentovaného předmětu od *MMS* je při leteckých aplikacích mnohonásobně větší, než je tomu v případě pozemních aplikací. S tím souvisí i volba vhodného objektivu, kde je potřeba sledovat především jeho ohniskovou vzdálenost, která nám společně s rozlišením čipu definuje detail rozlišení zachyceného objektivu. Dalším parametrem objektivů je i *FOV (Field of View)*, které nám definuje šířku záběru. A jedním z posledních důležitých parametrů je počet snímků, které je kamera schopná pořídit za vteřinu, tzv. *frame rate*.

Některé ze systémů mobilního mapování jsou vybaveny laserovými skenery. Na začátku vývoje byly používány pouze *3D* laserové skenery, které dovolovaly ve statickém režimu po zastavení automobilu naskenovat okolí vozidla a případně pořídit digitální snímky. V současné době jsou používány systémy složené z více *2D* skenerů, které skenují povrch v dynamickém režimu za pohybu systému po trajektorii. Třetí rozměr je tím pádem získáván změnou polohy systému skenerů v čase. Konfigurace skenerů na vozidle je variabilní vzhledem k počtu a typu skenerů a na požadovaném výstupu skenovaných dat. Skenery se rozlišují především svým efektivním dosahem, který je v případě levnějších typů několik desítek metrů. Cenově náročnější typy na druhou stranu dovolují skenovat i do vzdálenosti 200-300 metrů. Kromě dosahu skenerů je potřeba sledovat i skenovací frekvenci, zorné pole, atd.

#### 4.4. Mobilní mapovací systém IP-S2 Topcon

Jedním ze zmíněných výrobců *MMS* je firma *TOPCON*, která nabízí dodávku systému v různých konfiguracích podle zájmu zákazníka. Na obrázku 4.1 je zobrazena základní konfigurace mobilního mapovacího systému *IP-S2* umístěná na osobním vozidle.



**Obrázek 4.1** Základní konfigurace mobilního mapovacího systému *IP-S2*

Základem tohoto systému je zkalibrovaná konstrukce, zvaná *cube*, která slouží k uchycení většiny senzorů. Nejdůležitější částí je *IP-S2 box* neboli řídicí jednotka zajišťující synchronizaci všech připojených zařízení. Řídicí jednotka je připojena přes *ethernet* kabel do počítače a pomocí speciálního programu je

možné *MMS* ovládat a ukládat data pro následné zpracování. Mobilní mapovací systém *IP-S2* se dále skládá z těchto zařízení:

- GNSS přijímač
  - *GNSS* přijímač slouží pro určování polohy mobilního mapovacího systému v prostoru a zajišťuje přesnou synchronizaci systému s *GPS* časem.
- IMU
  - Inerciální měřicí jednotka určuje orientaci díky využití dat ze tří gyroskopů a tří akcelerometrů umístěných v osách vzájemně na sebe kolmých.
- Externí odometr (2x)
  - Díky externím odometrům lze měřit rychlost a ujetou vzdálenost s vysokou přesností.
- Laserový skener (3x)
  - Laserové skenery mapují zájmové území pomocí mračna laserových bodů vytvářejících prostorový 3D model.
- Sférická digitální kamera
  - Sférická kamera pořizuje snímky o vysokém rozlišení, které realisticky dokumentují zájmové území.

Parametry jednotlivých zařízení jsou uvedeny v tabulce 4.1.

GNSS COMPONENT	
Channels	40 channels, all-in-view, L1 GPS, L1/L2 GPS, L1/L2 GLONASS, L1/L2 GPS + L1/L2 GLONASS, WAAS
Low signal tracking	Down to 30 dBHz
Cold / warm start	< 60 sec / < 10 sec
Reacquisition	< 1 sec
Vibration	Up to 30 g's of dynamic
Advanced firmware function	Multipath Mitigation, Co-Op Tracking
Real time position & raw data	Up to 20 Hz update rate
RTCM SC104 v2.1 and 2.2	Input /Output
NMEA 0183 v2.1, 2.2, 2.3 & 3.0	Output

IMU	
Data rate	100 Hz
Gyro bias/drift rate	1°/hr
POWER	
Input supply voltage	9V to 28V
PHYSICAL	
Size / weight	20 cm x 23 cm x 11 cm / 3.6 kg
ENVIRONMENTAL	
Temperature operating storage	-30° to +60°C -45° to +80°C
I/O PORTS	
CAN Bus	OBDII - MOLEX-9 Pin
Encoder	TTL quadrature input
Ethernet	100 Base-T
USB 2.0	Host input /output
RS-232-/422	Up to 2 Mb/s
High-speed digital I/O (x4)	LVDS 400 Mb/s
LASER SCANNER	
Scanning angle/angular resolution	180°/1° Angular Resolution - option side looking 2 x
	90°/0.5° Angular Resolution - option back looking 1 x
Typically measurement accuracy	± 45 mm
Typical range	30 m
Date rate	75 Hz via Ethernet
SPHERICAL DIGITAL CAMERA	
Image sensor	Sony 2.0 MP 1/18" ICX274
Max resolution	1600x1200 (HxV)
Frame rate (max resolution)	15 FPS JPEG compressed
Optics	Six high quality 3,3 mm focal length microlenses
Panorama stitching resolution	5400x2700

**Tabulka 4.1 Parametry zařízení tvořících mobilní mapovací systém IP-S2**

Kromě řídicí jednotky je systém tvořen dvoufrekvenčním GNSS přijímačem schopným přijímat signál jak z GPS, tak z GLONASS satelitů při frekvenci záznamu dat 10 Hz. Použité IMU s frekvencí 100 Hz a stabilitou 1°/hod od firmy Honeywell je svou kvalitou srovnatelné např. se systémem IMU Litton 200, popř. systémem IMAR FSAS, které patří k nejlepším zařízením této kategorie na světě. V případě aplikací, kde není vysoký požadavek na přesnost výstupů, lze použít inerciální měřící jednotky založené na MEMS technologii (*Micro-Electro-Mechanical Systems*). Pro přesné určování rychlosti MMS jsou používány dva externí odometry, popř. informace z CAN-BUS sběrnice automobilu. Systém IP-S2 je v základní verzi vybaven speciální sférickou kamerou a třemi optickými laserovými skenery, z toho dva jsou boční a jeden směřuje za, nebo před



vozidlo v závislosti na konfiguraci. Dle požadavků zákazníka je možné připojit do systému až šest klasických digitálních kamer vhodných pro mobilní mapování a rovněž až šest laserových skenerů. Synchronizace senzorů zajišťuje speciální časová deska pracující s vnitřní přesností 15 ns.

#### 4.5. Možné aplikace pro mobilní mapovací systém IP-S2

Mobilní mapovací systém *IP-S2*, na jehož vývoji a testování se významně podílela i společnost *GEODIS BRNO*, byl prvotně určen především pro umístění na automobilu a dokumentaci silnic. Vzhledem k tomu, že jsou senzory připevněny na kalibrované konstrukci, je možné použít *MMS IP-S2* i na jiném pohyblivém prostředku.

V případě využití na železnici lze systém umístit například na speciální vozík (obrázek 4.2). Výsledná data mohou sloužit pro detailní prostorovou dokumentaci železničních koridorů, inspekci trati, dále pak pro inventarizaci železničních prvků (výhybky, sloupy, značky a jiné). Data mohou být dále využita pro měření průjezdných profilů tunelů, přilehlých kabelů a sloupů, či stromů.



Obrázek 4.2 Využití pro železniční aplikace

Při využití systému *IP-S2* na vodě (obrázek 4.3) je možné mapovat břehy řek, jezer či přehrad. Stejně jak na pozemních komunikacích, tak i podél splavných řek jsou umístěny dopravní značky, které upravují způsob plavby a kotvení.



Obrázek 4.3 Využití pro říční aplikace

#### 4.6. Sběr dat mobilním mapovacím systémem *IP-S2*

Prvotním krokem při technologii mobilního mapování je pořízení dat v zájmové lokalitě. Samotné ovládání probíhá pomocí webové aplikace, kde je možné

zkontrolovat správnou funkčnost dílčích zařízení a nastavit jejich parametry. Těmi jsou především offsety a orientace vůči sobě, které se zjišťují během kalibrace. V případě digitálních kamer je potřeba zvolit jeden ze dvou režimů řízení expozice. Přitom první je založený na časovém intervalu a druhý, více využívaný, na intervalu vzdálenostním, při kterém kamery exponují v závislosti na ujeté vzdálenosti. Je tedy zcela na uživateli zvolit si, jak hustě mají být data pořizována. Po nastavení parametrů pro sběr dat a spuštění ukládání dat ze všech senzorů je zpravidla ještě nutné před započítím jízdy chvíli vyčkat, většinou 2-5 minut, a sbírat statická data. Ta jsou nutná pro proces nazývaný *static alignment*, pod kterým si lze představit způsob výpočtu inicializačních hodnot orientace *IMU*. V praxi se občas vyskytuje rovněž *kinematic alignment* nevyžadující statická data a používaný především u *IMU* založených na technologii *MEMS*. V obou případech je výhodné na začátku sběru dat provést *static alignment* a následně *kinematic alignment*, při kterém je doporučeno jet tak, aby změny v *headingu* byly pokud možno co největší a výpočetní proces měl tak dostatek dat pro správný výpočet polohy a orientace systému. Vzhledem k tomu, že se výpočet trajektorie provádí jak „směrem vpřed“, tak „vzad“, je potřeba ukončit sběr dat stejným způsobem jakým byl zahájen. Začínat by se mělo vždy na místech, kde je dobré pokrytí *GNSS* signálem, čímž je zaručeno kvalitní polohové řešení. Špatné provedení inicializačního procesu může mít za následek znehodnocení několikahodinového měření a je proto vhodné věnovat této části sběru dat zvýšenou pozornost.

#### 4.7. Zpracování dat z mobilního mapovacího systému IP-S2

Po pořízení dat v terénu přichází na řadu jejich zpracování, tzv. *post-processing*. U mobilního mapovacího systému *IP-S2* by se dal pomyslně rozdělit do tří částí. Prvním krokem je výpočet trajektorie pohybu *MMS*, protože od něj jsou odvozovány všechny následující výpočty orientací a poloh ostatních senzorů. Další kroky zahrnují zpracování snímků z digitálních kamer a zpracování dat z laserových skenerů.

Způsob výpočtu trajektorie je postaven na integraci dat z *GNSS* přijímače, *IMU*, externích odometrů a dat z *CAN-BUS* sběrnice, což umožňuje dosáhnout požadovaných přesností i v místech, kde je samotné *GNSS* polohové řešení

nespolehlivé či dokonce nemožné. Tak je tomu zejména ve městech, kde příjem signálu z jednotlivých satelitů blokují vysoké budovy, stromy a jiné konstrukce. Absolutní poloha systému vypočtená pomocí *GNSS* technologie slouží ke kompenzaci chyb v měření získaných z inerciální měřicí jednotky. A naopak v relativně krátkém časovém okamžiku stabilní pozice určená *IMU* může být použita k překonání míst, kdy dojde k výpadku *GPS* řešení. Dodatečné informace jsou rovněž získávány z odometrů měřících rychlost a ujetou vzdálenost v závislosti na otáčení kol nápravy. V praxi se ustálily dvě metody výpočtu trajektorie označované většinou jako *loosely* a *tightly coupled*. V obou případech se využívají Kalmánovy filtry s tím rozdílem, že při metodě *loosely coupled* je nejdříve spočítána trajektorie na základě diferenciální metody *GNSS*. Ta je následně používána při zpracování dat z *IMU* pro update polohy a rychlosti (obrázek 4.4). Při použití metody *tightly coupled* probíhá zpracování *GNSS/INS* dat současně a je tak možné použít již dvou satelitů pro tzv. fázový update, což představuje značnou výhodu v náročných podmínkách na příjem signálu z družic.



Obrázek 4.4 Vypočtená trajektorie

V poslední době se občas využívá i metoda označovaná zkratkou *PPP* (*Precise Point Position*) umožňující výpočet trajektorie bez použití referenční stanice. Nevýhodou tohoto způsobu výpočtu je však delší konvergence ke správnému řešení. Využitelnost nachází především v leteckých aplikacích, kde nedochází tolik k výpadkům *GNSS* signálu. Jakýkoliv výpadek totiž způsobí přerušení

konvergence a tak se poloha začíná řešit znovu, což při dynamických aplikacích způsobuje značné problémy. Určovat trajektorii lze také přímo v terénu, tehdy hovoříme o *real-time* řešení. To ale z podstaty věci nemůže být tak kvalitní jako řešení získané až následným zpracováním a to především díky možnosti počítat trajektorii v obou směrech.

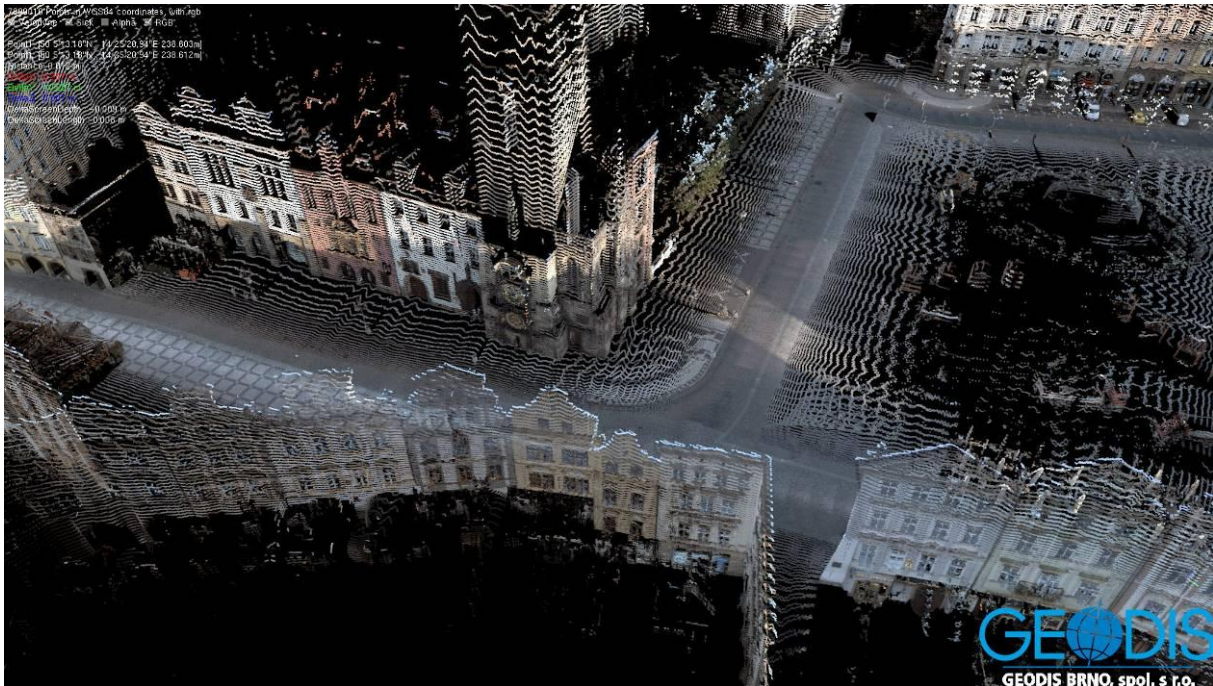
Zpracování obrazových dat závisí na typu použitých digitálních kamer. Některé kamery ukládají snímky přímo v klasických formátech, jakými jsou např. *JPEG*, *TIFF* nebo *BMP*. Jiné používají různé *raw* formáty umožňující zvýšit datový přenos během sběru dat a pořizovat až desítky snímků za vteřinu při vysokém rozlišení. Za to ale kladou větší časové nároky při následném zpracování těchto dat. V případě *MMS IP-S2* a použití speciální sférické kamery se během zpracování vytvářejí panoramatické snímky (obrázek 4.5) s vysokým rozlišením 5400x2700 pixelů. K takto vytvořeným snímkům se následně vypočítávají prvky vnější orientace na základě vypočtené trajektorie. Výsledná data může uživatel využít např. v aplikaci *PanoramaGIS*<sup>®</sup>, která byla pro tento účel společností *GEODIS BRNO* vyvinuta.



**Obrázek 4.5 Panoramatický snímek – Praha, Staroměstské náměstí**

Posledním krokem je zpracování dat z laserových skenerů. Naměřená data, kterými jsou informace o tranzitním času vyslaných paprsků a intenzitě vráceného obrazu, jsou přegenerována do mračna laserových bodů. To může být následně obarveno pořízenými snímky, čímž dojde k vytvoření realistického 3D modelu zájmového území (obrázek 4.6). Během sběru dat je vytvořeno řádově několik desítek miliónů laserových bodů. Každý bod nese informaci o

poloze definované souřadnicemi v daném souřadnicovém systému, intenzitě odrazu a barvě rozdělené většinou do tří složek *RGB*. Pro vyhodnocení informací z laserových mračen bodů je možné použít přímo aplikaci *Spatial Factory* vyvíjenou společností *TOPCON* pro data pořízená mobilním mapovacím systémem *IP-S2*.



**Obrázek 4.6** Obarvené mračno laserových bodů – Praha, Staroměstské náměstí

Nedílnou součástí zpracování dat je i následná transformace výstupů do zvolených národních souřadnicových systémů. V případě prvků vnější orientace to vyžaduje značné znalosti při převodu orientačních úhlů a v případě laserových bodů zas kvalitní algoritmus transformace pro převod souborů o velikosti několik gigabytů s milióny informací.

#### 4.8. Ověření funkčnosti systému *IP-S2*

Mobilní mapovací systém *IP-S2* vyvíjený firmou *TOPCON* ve spolupráci s firmou *GEODIS BRNO* byl podroben zkoušení na testovacím polygonu zbudovaném na dálnici *D1* v úseku Kývalka – Holubice a na dálnici *D2* od křížení s dálnicí *D1* po Blučinu. Na tomto úseku bylo najeto přes 40 km při testovací jízdě, během které byly pořizovány snímky ve vzdálenostech po 2,5 m.

Část testu byla zaměřena na ověření a testování přesnosti výpočtu trajektorie ve výšce. Pro analýzu byly použity prvky vnější orientace k pořízeným snímkům, respektive jen jejich Z-ová souřadnice. Testování přesnosti výpočtu této souřadnicové složky bylo založeno na předpokladu, že výška středu kamery nad terénem by měla být konstantní. Pokud pak známe digitální model terénu (*DTM*) v místech, kde byl prováděn sběr dat, můžeme vypočítat výšku kamery jako rozdíl Z-ové souřadnice pro projekční střed a Z-ové souřadnice průmětu projekčního středu na terén. Takto vypočtenou vzdálenost je možné porovnat se skutečnou výškou středu kamery nad terénem a z odchylek získat jisté charakteristiky přesnosti. Odchylka v Z-ové souřadnici i-tého projekčního středu  $\Delta Z_i$  byla tedy vypočtena dle vzorce  $\Delta Z_i = h_{syst} - Z_{EO_i} - Z_{DTM_i}$ , kde:

$h_{syst}$  je měřená svislá vzdálenost od země po střed sférické kamery,

$Z_{EO_i}$  je Z-ová souřadnice i-tého projekčního středu (z prvků vnější orientace),

$Z_{DTM_i}$  je Z-ová souřadnice i-tého projekčního středu (průmět na *DTM*),

$i = 1, .. n$  definuje počet testovaných projekčních středů.

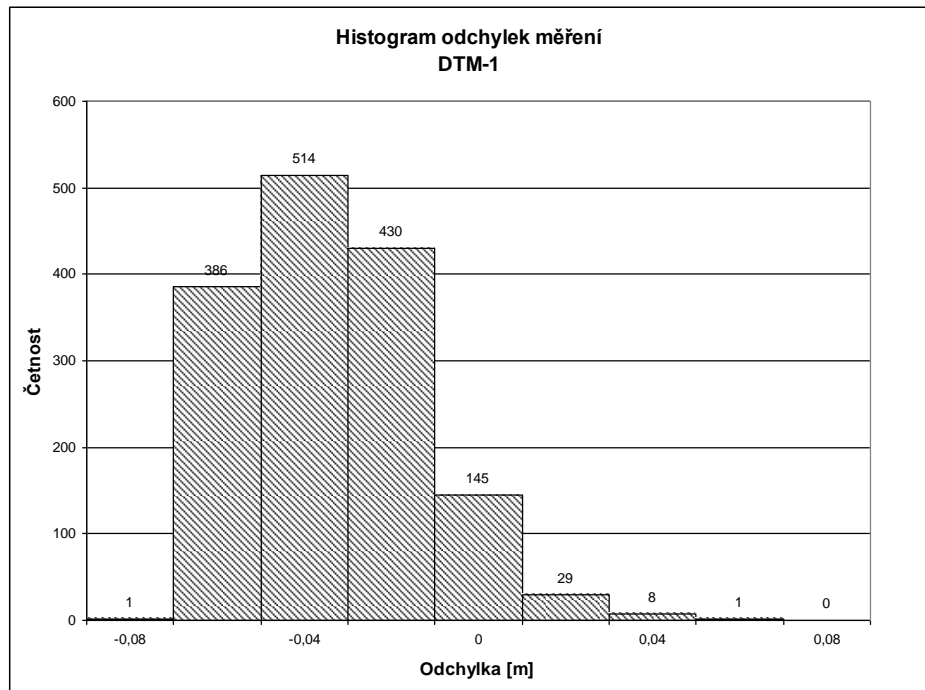
Základním předpokladem pro testování je použití dostatečně přesného digitálního modelu terénu. Toho bylo v tomto případě dosaženo zaměřením dvou úseků (*DTM-1* a *DTM-2*), každý o délce 4 km, metodou přesné nivelace. Přesnost takto vytvořeného modelu na dálnici je lepší než 1 cm. Z vypočtených odchylek byla vypočtena střední chyba  $\sigma_Z$  pro první a druhý úsek ze vzorce:

$$\sigma_Z = \sqrt{\frac{\sum \Delta z_i^2}{n}}, \text{ kde}$$

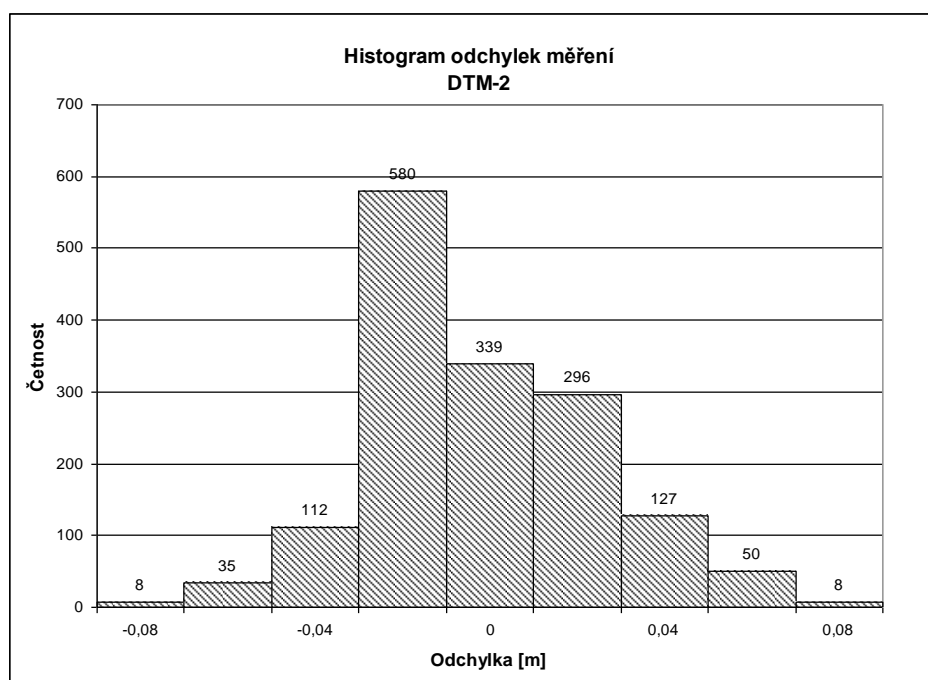
$\Delta Z_i$  je odchylka v Z-ové souřadnici i-tého projekčního středu,

$n$  je počet testovaných projekčních středů.

Následující grafy zobrazují dosažené hodnoty vypočtených odchylek. Projekčních středů bylo na prvním úseku celkově porovnáno 1 514 a na druhém 1 555, což zaručuje dostatečně velký vzorek dat pro výpočet charakteristik přesnosti.



Graf 4.1 Histogram vypočtených odchylek na úseku *DTM-1*



Graf 4.2 Histogram vypočtených odchylek na úseku *DTM-2*

Histogram odchylek na úseku *DTM-1* (Graf 4.1) vykazuje normální rozdělení odchylek  $\Delta Z_i$  s možnými systematickými vlivy vzhledem k posunu středu histogramu do hodnoty  $\bar{\Delta}_{DTM-1} = -0,444m$ . Analýza histogramu z úseku *DTM-2* (Graf 4.2) vykazuje normální rozdělení odchylek  $\Delta Z_i$  opět s možnými



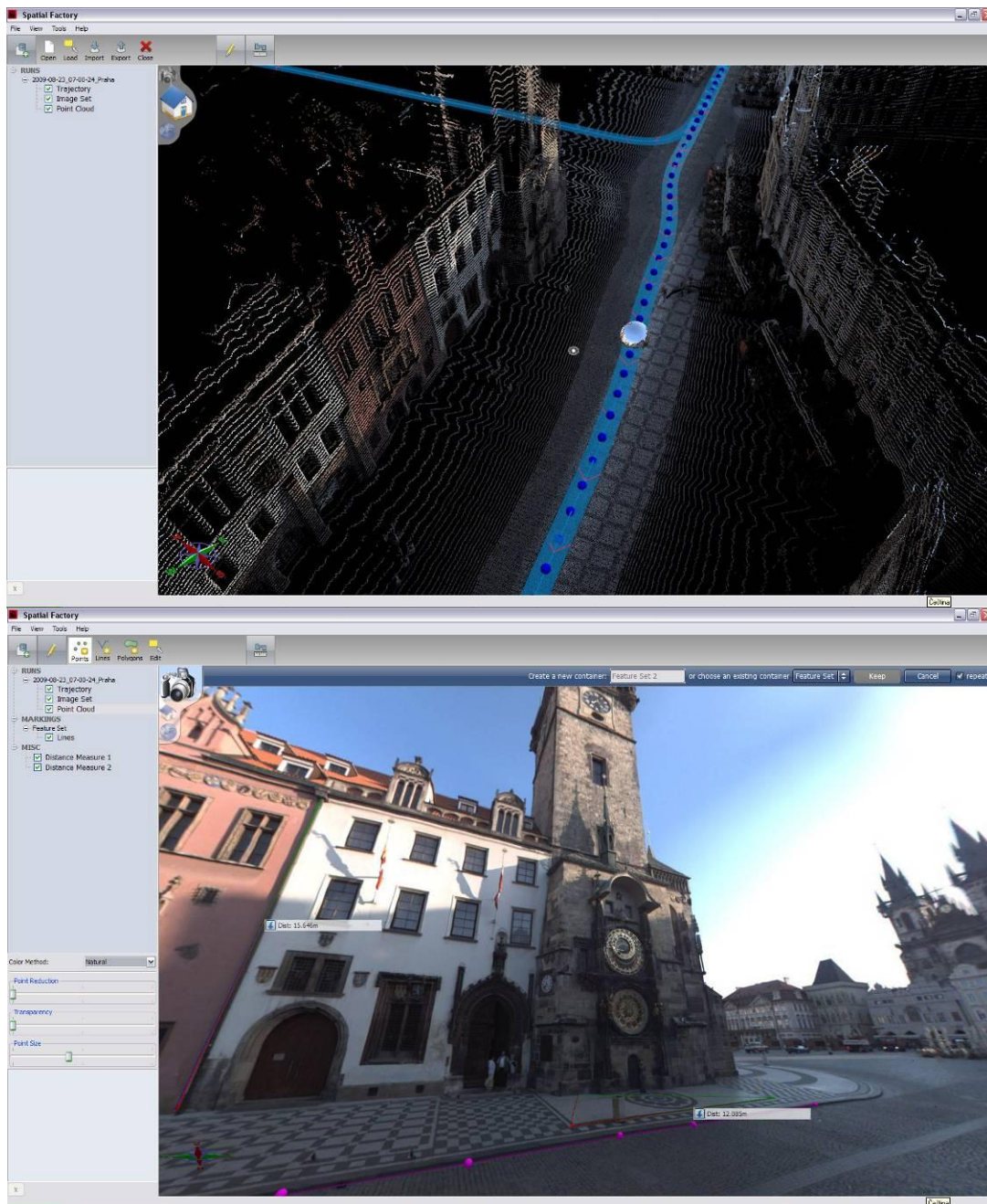
systematickými vlivy, jelikož jeho střed je posunut do hodnoty  $\bar{\Delta}_{DTM-2} = -0,012m$ . Za předpokladu, že se v měřených datech nevyskytují hrubé chyby, lze považovat průměrnou hodnotu chyby měření  $\bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_{zi}$  za odhad její systematické složky a rozdíl  $\bar{\Delta} - \Delta_{zi}$  za odhad náhodné složky chyby měření. Pro závěrečný výpočet středních chyb  $\sigma_z$  byl z testovacích souborů odstraněn vliv předpokládaných systematických chyb  $\bar{\Delta}_{DTM-1}$  a  $\bar{\Delta}_{DTM-2}$ . Jejich výskyt bude předmětem dalšího testování, nicméně jejich vliv lze pravděpodobně přičíst nedostatečně přesné kalibraci, při níž byly určeny offsety jednotlivých zařízení. Výsledky jsou shrnuty v tabulce 4.2.

	$\sigma_z$ [m]
DTM-1	0,020
DTM-2	0,028

Tabulka 4.2 Vypočtené středních chyb

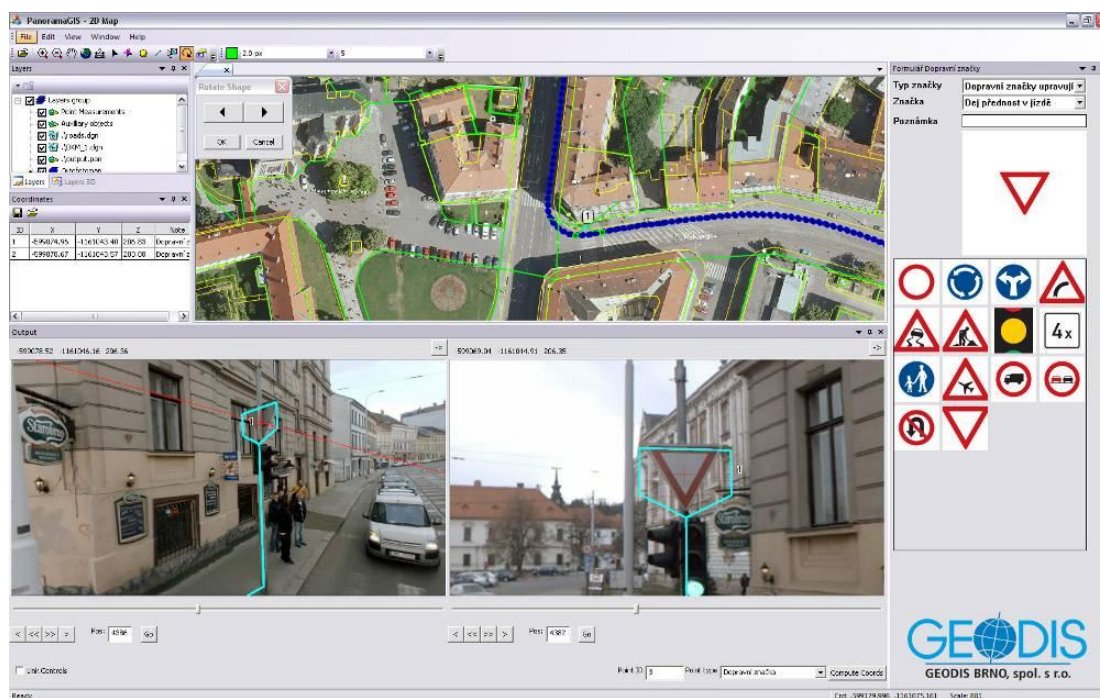
#### 4.9. Aplikace pro vyhodnocení zájmových informací

Samotná technologie mobilního mapování přináší nové možnosti jak rychle a ekonomicky pořídit geoinformační data. Pořízená data by však ztrácela na užitné hodnotě v případě, že by nebyly k dispozici aplikace, které by sloužily pro efektivní vyhodnocení zájmových informací. Mezi takové aplikace v případě mobilního mapovacího systému *IP-S2* patří *Spatial Factory* (Obrázek 4.7) a *PanoramaGIS*<sup>®</sup>.



**Obrázek 4.7 Pracovní prostředí aplikace Spatial Factory**

Aplikace *PanoramaGIS*<sup>®</sup> slouží k práci s databázemi digitálních panoramatických snímků a mračen laserových bodů. Pracovní prostředí aplikace *PanoramaGIS*<sup>®</sup> je rozděleno do několika částí (Obrázek 4.8).

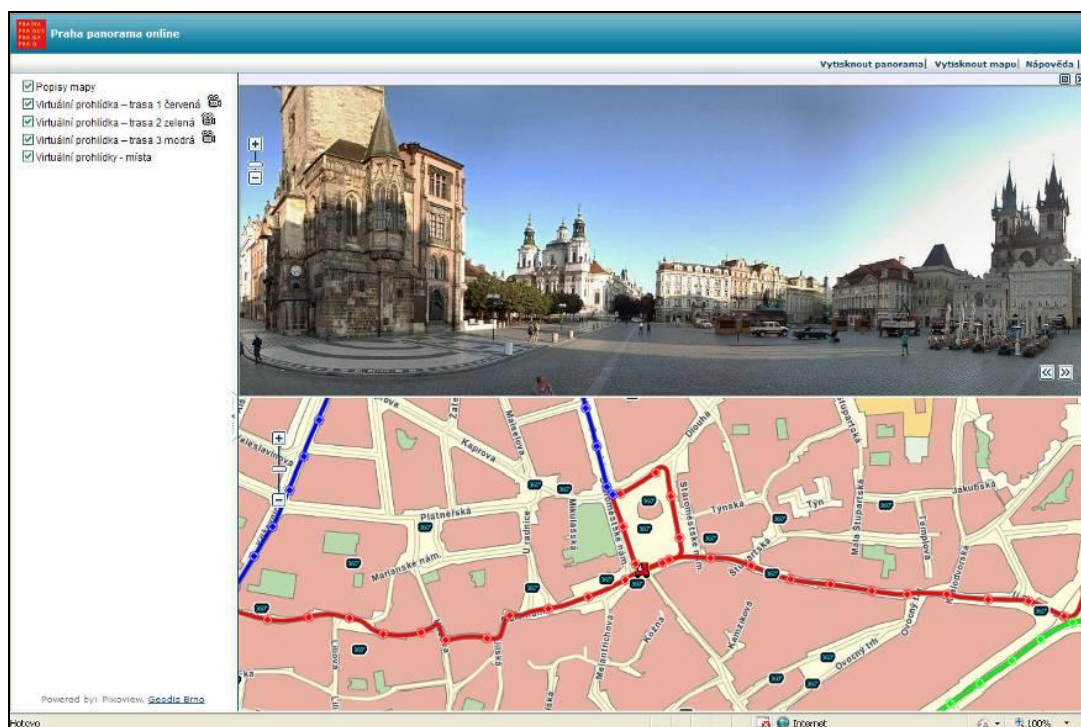


Obrázek 4.8 Pracovní prostředí aplikace PanoramaGIS®

V přehledovém okně se zobrazují v projektu otevřené vrstvy, např. ortofotomapa dokumentované oblasti. Mapu lze načíst v rastrovém formátu *TIF*, *CIT* i ve vektorovém formátu *DGN*, *DXF* a *SHP*. V okně se také vykresluje poloha projekčních středů snímků a naměřené body včetně konfigurace snímků, z nichž byly vyhodnoceny. Prohlížení panoramatických snímků a měření na nich probíhá ve dvou spodních oknech. Pohyb mezi jednotlivými snímky je zajištěn pomocí několika nástrojů. Díky nimž je práce s obsáhlou databází panoramatických snímků efektivní. Uživatel má na výběr, zda polohu bodu určí přímo z laserových dat, nebo využije měření pouze z panoramatických snímků. V tom případě je měření založeno na aplikaci metod pozemní fotogrammetrie a pro vyhodnocení zájmových bodů je nutná jejich interpretace alespoň na dvou snímcích. V obou případech tak má uživatel možnost si změřit šířku oken, podjezdnou výšku mostů, polohu dopravního značení apod. Přesnost měření je závislá na konfiguraci vybraných snímků a především pak na přesnosti výpočtu prvků vnější orientace pro jednotlivá expoziční centra. K naměřeným souřadnicím se následně dají doplnit informace o typu určovaného bodu. Od jednoduchého rozdělení vyhodnocených bodů do tříd (dopravní značení, strom listnatý, jehličnatý, kanalizační šachta atd.) může uživatel přejít k daleko sofistikovanějšímu způsobu sběru informací vytvářením detailní tabulky atributů. Získané údaje se následně dají uložit do souboru a s tím dále pracovat

– například importovat tato data do jiných GIS nebo CAD programů (*Microstation, ArcGIS*). Jednotlivé snímky jsou plně georeferencovány. To umožňuje promítnout do nich další mapové vrstvy a sledovat například průběh vlastnických hranic, či inženýrských sítí přímo v terénu.

Panoramatické snímky, pořízené mobilním mapovacím systémem, lze nabídnout zákazníkům i prostřednictvím internetu. Základem internetové aplikace *PanoramaGIS® web* (obrázek 4.9) je opět přehledové okno. V něm se zobrazuje podkladová vrstva, jakou může být ortofotomapa nebo jakákoliv tematická mapa vybraného území. Obsah v přehledovém okně se dá na přání zákazníka doplnit o další vrstvy, například o digitální katastrální mapu. Poloha jednotlivých snímků je v přehledovém okně znázorněna značkou. Po kliknutí na vybraný bod se zobrazí panoramatický snímek uložený na serveru, ve kterém se dá otáčet a zvětšovat či zmenšovat zobrazený detail. Pomocí speciálních tlačítek se spouští posun mezi pořízenými snímky vpřed či vzad. Panoramatické snímky se postupně otevírají a ikona vozidla signalizuje v mapě aktuální polohu na trase.



Obrázek 4.9 Internetová aplikace PanoramaGIS® web

## 4.10. Závěr

Mobilní mapovací systémy jsou schopné rychle pořizovat velké množství geoinformačních dat, které mají požadovaný detail a přesnost. Mobilní mapovací systémy zachycují během sběru dat ve své podstatě obraz virtuální reality, čehož je člověk v terénu stěží schopný, navíc na ulicích za plného provozu. Takto pořizená data jsou bohatá na informace, které z nich mohou být ať už vizuálně anebo prostřednictvím k tomu určených programů zjištěny a to v pohodlí kanceláří, čímž se šetří čas a zvyšuje efektivnost lidské činnosti. Nesmírnou výhodou je i možnost rychlé aktualizace dat pomocí mobilních mapovacích systémů, které jsou schopné v závislosti na dopravě detailně zmapovat řádově desítky kilometrů komunikací a přilehlých území za den.

Vzhledem k přesnostem, které lze mobilními mapovacími systémy dosáhnout a které byly ověřeny během testování, lze technologii mobilního mapování nasadit jak na úlohy méně náročné na přesnost, tak na velmi náročné dynamické mapovací postupy sběru dat na dálnicích a rychlostních komunikacích. Mobilní mapování najde své uplatnění při pasportu dopravního značení a zařízení, stejně tak inženýrských sítí a zeleně, dále pak pro potřeby územního plánování a 3D modelování měst s jejich následnou vizualizací. Nasbíraná data mohou sloužit i pro potřeby integrovaných záchranných systémů, kde poskytují cenné informace o reálné prostorové situaci, například pro potřeby protipožárních jednotek, záchranné služby, policie, či jednotek odstraňujících poruchy nebezpečného úniku plynu.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Fixel, J.: *Geodetická astronomie I. a základy kosmické geodézie*. 1. vydání. Brno: Vutium, 2000. 183 s. ISBN: 80-214-1786-2.
- [2] Švábenský, O., Fixel, J. a Weigel, J.: *Základy GPS a jeho praktické aplikace*. Brno: CERM, 1995. 123s. ISBN: 80-214-0620-8.
- [3] Hefty, J.; Gerhátová, L.; Burgan, J.: *Metóda presného určovania polohy a možnosti jej využitia pri analýze meraní GPS*. In Družicová měření a sítě v geodézii. Seminář s mezinárodní účastí ke 110. výročí založení stavební fakulty v Brně a 40. výročí obnovení studia oboru Geodézie a kartografie. Sborník referátů. Brno: ECON publishing, s.r.o., 2009. s. 77 – 83. ISBN: 978-80-86433-51-6.
- [4] *Topnet users manual*. Topcon Positioning Systems, Inc, November 2008, P/N: 7010-0868, Rev B
- [5] Švábenský, O., Machotka, R., Weigel, J.: *Seminář GPS*. Brno: VUT Brno, 2007, studijní opory.
- [6] Rapant, P.: *Družicové polohové systémy*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2002. 200s. ISBN: 80-248-0124-8.
- [7] Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (<http://www.rtcn.org>)
- [8] J.Hanzlian, Stručné představení protokolu NTRIP
- [9] Firemní dokumentace výrobce prezentovaných technologií Topcon Corporation
- [10] *Advances in Mobile Mapping Technology*, ISPRS Book Series, ISBN 978-0-415-42723-4
- [11] *Družicové metody v geodézii a katastru*, VUT Brno, ISBN: 978-80-86433-46-2
- [12] *An Introduction to GNSS*, Novatel Inc., ISBN: 978-0-9813754-0-3



Centrum pro rozvoj výzkumu pokročilých řídicích a senzorických technologií

CZ.1.07/2.3.00/09.0031

Ústav automatizace a měřicí techniky

VUT v Brně

Kolejní 2906/4

612 00 Brno

Česká Republika

<http://www.crr.vutbr.cz>

[info@crr.vutbr.cz](mailto:info@crr.vutbr.cz)