

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Hornicko – geologická fakulta  
Institut geodézie a důlního měřictví**

## **Speciální geodézie**

**učební texty**

**Autor : Prof. Ing. Jan Schenk, CSc.**

**Ostrava 2002**

# Obsah

Obsah.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Úvod.....	3
1 Elektronické tachymetry .....	3
1.1 Principy funkce elektronických tachymetrů.....	4
1.1.1 Principy registrace naměřených úhlů.....	4
1.1.2 Principy měření vzdálenosti.....	6
1.2 Aplikační programy.....	6
1.3 Příprava tachymetru k měření .....	7
1.4 Vlastní měření .....	7
1.5 Technická data vybraných tachymetrů.....	7
2 Digitální nivelační přístroje.....	10
2.1 Princip funkce digitálních nivelačních přístrojů .....	10
2.2 Aplikační programy.....	10
2.3 Příprava nivelačního přístroje k měření .....	10
2.4 Vlastní měření .....	10
2.5 Technické parametry digitálních nivelačních přístrojů.....	11
3 Globální polohové systémy.....	13
3.1 Popis systému.....	14
3.1.1 Kosmický segment.....	14
3.1.2 Řídící segment.....	15
3.1.3 Uživatelský segment .....	16
3.2 Jak GPS pracuje .....	16
3.3 Navigace – kódové měření.....	17
3.4 Zdroje chyb měření .....	18
3.4.1 Ionosférická a atmosférická refrakce .....	18
3.4.2 Chyby hodin družice a přijímače .....	19
3.4.3 Multipath.....	19
3.4.4 Snížení přesnosti .....	20
3.4.5 Výběrový přístup (S/A – Selective Availability).....	21
3.4.6 Anti-Spoofing (A-S).....	21
3.5 Diferenční metody měření (DGPS) v reálném čase.....	22
3.5.1 Referenční přijímač .....	22
3.5.2 Podrobný (rover) přijímač.....	22
3.5.3 Další podrobnosti .....	23
3.6 Relativní fázové měření a řešení ambiguit.....	23
3.6.1 Využití fázových měření .....	23
3.6.2 Dvojitá diference .....	24
3.6.3 Ambiguity a jejich řešení .....	24
3.7 Geodetická měření s GPS.....	25
3.7.1 Výhody GPS.....	26
3.7.2 Omezení GPS .....	26
3.7.3 Metody měření .....	27
3.7.4 Technická data GPS přijímačů Leica systému 300 a 500 .....	27

# Úvod

Předmět „Speciální geodézie“ je zaměřen na získání praktických zkušeností s elektronickými měřicími přístroji. Studenti se mají seznámit s elektronickými přístroji určenými především pro práci v polohovém a výškovém bodovém poli, které vlastní náš institut. Proto je těžiště výuky v seminářích, ve kterých se procvičí základní metody měření a jejich využití při řešení některých geodetických úloh.

Dnešní geodetické přístroje vycházejí buď z klasických optických přístrojů (teodolity, dálkoměry, nivelační přístroje), nebo jsou založeny na úplně nových principech (GPS, prostorové skenování apod.).

Představiteli digitalizovaných klasických přístrojů jsou elektronické tachymetry (totální stanice), které spojují funkce teodolitu a dálkoměru do jednoho celku. Umožňují měření prostorových souřadnic, automatické ukládání naměřených údajů a řešení pomocí bohatého software řady geodetických úloh přímo v poli. Uložená data lze přenášet do počítače a použít při zpracování v grafických software.

Podobnou cestou šla i automatizace nivelačních prací, kdy metrické dělení latí bylo nahrazeno kódovým, což umožnilo opět automatické ukládání čtení na latí do paměti a výpočet převýšení a dalších údajů přímo v poli.

V devadesátých létech minulého století se rozvinula družicová navigace. Byl vybudován globální polohový systém NAVSTAR a GLONASS, které umožňují během vteřiny určit polohu na zemi. Geodetické využití je založeno především na relativním určování polohy pomocí fázových měření, čímž se dosahuje milimetrové prostorové přesnosti.

V poslední době byl vyvinut přístroj, který je založen na skenování prostoru s milimetrovou rozlišovací schopností na vzdálenost 50 m, s využitím především v inženýrské geodézii.

To vše vede k takovému řešení, aby byla zaručena

- *bezproblémová komunikace* mezi měřicími systémy a zpracovatelským software,
- *flexibilita systému*, který sestává z jednotlivých měřicích přístrojů a softwarových modulů. Ta má umožnit flexibilní správu dat získaných různými přístroji tak, aby bylo zaručeno jednoduché řešení úlohy a její zpracování,
- *možnost dalšího rozvoje systému*, ať už formou inovace přístrojů nebo software. Systém musí umožnit kompatibilitu mezi starými a novými měřicími prostředky a zpracováním jimi získaných dat.

Obecná tendence vývoje tedy spočívá omezit v co největší míře práci v terénu jejím automatizováním, ukládáním naměřených dat na paměťová média a jejich jednoduchým přenosem pro další zpracování v kanceláři. Při měření jsou získávané další údaje, ze kterých lze lépe analyzovat průběh měření, hlídat dodržování stanovených odchylek apod.

## 1 Elektronické tachymetry

Elektronické tachymetry se s výhodou používají na zhušťování bodových polí, při mapovacích pracích, v oblasti inženýrské geodézie při vytyčování, kontrole geometrických parametrů stavebních objektů, při měření pohybů a deformací apod. Elektronické tachymetry se skládají z měřicího a cílového zařízení.

Elektronické tachymetry umožňují měřit úhlové, délkové a výškové parametry potřebné pro určení prostorové polohy bodů. Jejich konstrukce umožňuje vysokou automatizaci měřicích prací, jejich primární zpracování a registraci. Automatizace je realizována mikropočítači, které jsou zabudované přímo v přístroji.

Každý určovaný bod je třeba signalizovat cílovým zařízením (u laserových dálkoměrů pro kratší délky do 100 m odpadá). Cílové zařízení se skládá ze záměrného terče, na který cílíme záměrnou přímkou dalekohledu, a odrazného hranolového systému (odrazné folie), na který cílíme elektronickou osou dálkoměru. U moderních přístrojů jsou obě osy totožné.

Obsluha měřících přístrojů je obvykle klasická, tj. měřič provádí zacílení a zaostření přístroje na daný cíl. Vyšší stupeň automatizace tvoří tzv. motorizované měřící systémy, kdy přístroj je vybaven servomotory a čidly. Pomocí čidel se registruje odražený laserový paprsek od pohyblivého se hranolu, které pak dávají povely servomotorům k otáčení dalekohledu podle vertikální a horizontální osy za hranolem. Zde mluvíme o tzv. jednomužné obsluze, kdy měřič signalizuje jednotlivé body a tachymetr sám provádí na jeho pokyn záznam naměřených údajů. V tomto případě někdy mluvíme o měřících robotech.

## 1.1 Principy funkce elektronických tachymetrů

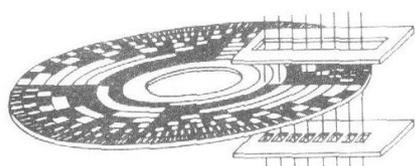
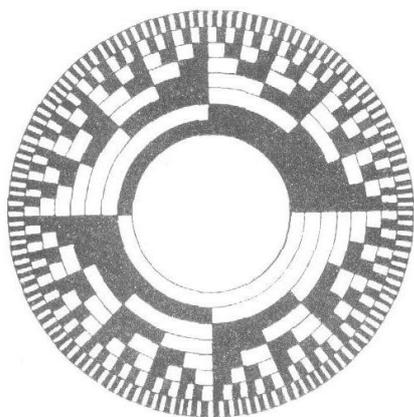
Jelikož tachymetry spojují funkci měření úhlů a měření délek do jednoho celku, je registrace úhlů a délek založená na různých principech.

### 1.1.1 Principy registrace naměřených úhlů

Rozeznáváme tři metody registrace naměřených úhlů: kódovou metodu, inkrementální metodu a dynamickou metodu.

#### 1.1.1.1 Kódová metoda

Základem této metody je dělený kruh s nanesenou kódovou maskou, která rozděljuje kruh na světlá a tmavá políčka. Nejmenší stopa udává blok intervalu. Snímání se provádí optoelektronickými světelnými diodami a fotodiodami, které jsou uspořádány v páru po obou stranách děleného kruhu (obr.2.1). Fotodiodami je registrován průchod – světlé pole nebo neprůchod – tmavé pole kruhu, čímž dostaneme pro každou stopu kódového kruhu střídavou informaci - světlá, tmavá. Vzniklé elektrické signály se elektricky přetransformují do desítkové soustavy. Tímto způsobem lze snímat intervaly 0,25 až 1,5 mgon.



Obr. č. 1.1: Kódový dělený kruh a jeho snímání

#### 1.1.1.2 Inkrementální metoda

Při analogově-číslíkovém převodu podle inkrementální metody se používají radiální čárové rastry jako u pevných dělených kruhů. Rastry představují stále rostoucí řadu stejně velkých bíločerných polí (inkrementů), které se snímají elektronicky. K tomu se využívají fotodiody s funkcí světelné mřížky. Zatím co kruh s inkrementy je spojen s limbem, světelná mřížka se pohybuje spolu s alhidádou. Fotodiody pak registrují počet inkrementů mezi základní a novou polohou alhidády. Tímto způsobem nelze určit směr, ale jen rozlišit relativní

počet inkrementů daného úhlu. Proto tuto metodu považujeme za relativní, zatím co kódovou za absolutní. Geodetickou přesnost dosáhneme interpolací, např. pomocí jevu moiré.

### 1.1.1.3 Dynamická metoda

Tato metoda spojuje metody absolutní (kódové) a relativní (inkrementální) metody. Rotující impulsový kruh (obr. 2.2) má 1024 rysek, které jsou odděleny stejně širokými mezerami. Ryska a mezera mají nejen úhlovou hodnotu  $\alpha_0$ , ale tím, že rotují, mají také časový rozměr  $T_0$ , který je funkcí frekvence rotace  $f_{Hz}$ . Vztah mezi uvedenými veličinami je

$$\alpha_0 = \frac{400 gon}{1024} = 0,3906 gon \quad T_0 = \frac{1024}{f_{Hz}} = 330 \mu s \quad (1.1)$$

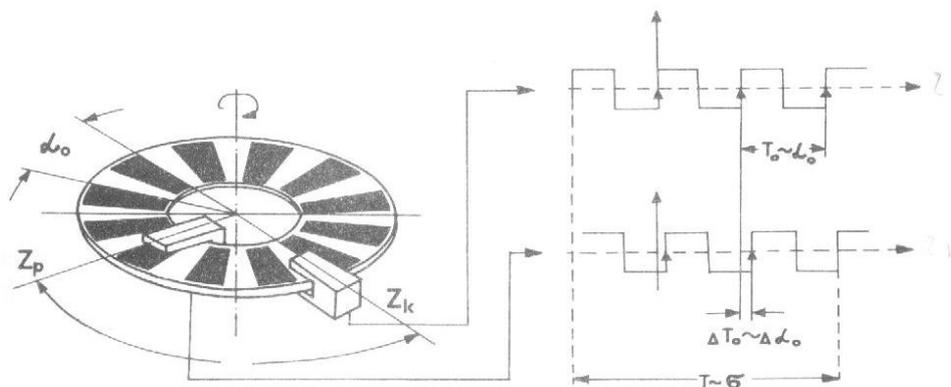
Nulu děleného kruhu tvoří snímač  $Z_k$ , který je pevný a nachází se na vnější straně impulzového kruhu. Snímač  $Z_p$  je spojený s alhidádou a je umístěný nad vnitřní stranou impulzového kruhu. Zdrojem světla jsou luminiscenční diody. Úhel  $\sigma$  je daný buď v časových jednotkách

$$T = N \cdot T_0 + \Delta T_0 \quad (1.2)$$

nebo v úhlových jednotkách

$$\sigma = N \cdot \alpha_0 + \Delta \alpha_0 \quad (1.3)$$

Když rotuje mřížka impulzového kruhu před fotodiodami, vzniká v nich fotoproud, který můžeme postupně přeměnit na provoúhlé kmity a ty na impulzy. Oba fotoproudy, a tedy i impulzy, budou od sebe fázově posunuté v závislosti na  $N$  a  $\Delta T_0$ . Fázový posun dostaneme určením počtu  $N$  celých impulsů a určením rozdílu  $\Delta T_0 (= \Delta \alpha_0)$  mezi impulzy obou signálů.



Obr. č. 1.2: Dynamické snímání děleného kruhu

Pro hrubé čtení se na impulsním kruhu nachází vhodná značka, když ji zachytí snímač  $Z_k$ , vznikne signál, který otevře elektronické hradlo a příslušné impulzy jsou vedené do čítače, ve kterém se postupně zaznamenává jejich počet. Když snímač zachytí značku, elektronické hradlo se uzavře a v čítači bude  $N$  impulsů. Jemné odečtení se určí pomocí vysokofrekvenčních impulsů. Mikroprocesor všechno převede na úhlové hodnoty, které se zobrazí na displeji. Tento způsob použila jako první firma Wild (dnes Leica) u přístrojů T2000. K vyloučení chyby z excentricity alhidády jsou v přístroji zabudované vždy dva od sebe diametrálně posunuté snímače  $Z_k$  a  $Z_p$ . Fázový posun se určí asi 1500 krát a výsledný úhel je průměrem s velkou pravděpodobností bez chyby z dělení kruhu a vlivu excentricity. Frekvence rotace kruhu je kontrolována a její chod upravuje zpětná vazba.

### 1.1.2 Principy měření vzdálenosti

Měření vzdálenosti se provádí elektropoptickými dálkoměry obvykle malého dosahu. Jako zdroj elektromagnetického vlnění bývá obvykle používáno infračervené a laserové světlo. Z funkčního hlediska rozlišujeme fázové, impulsní a kmitočtové dálkoměry. Vzdálenost můžeme měřit jednorázově nebo opakovaně, hrubě (vytyčování) nebo přesně. Naměřené hodnoty se opravují jednak o fyzikální redukce, matematické redukce a kartografické redukce.

#### 1.1.2.1 Fázové dálkoměry

Měřená vzdálenost je dána výrazem

$$d = N \cdot U + r \quad (1.4)$$

kde  $N$  je počet celých period, tj. počet celých vln na trati  $2d$ ,  $U = \lambda/2$  - vlnový modul (pracovní délka) a  $r$  doměrek. Měřená délka se rozpadne na celý počet půlvln a doměrek, který lze určit z fázového rozdílu

$$r = \frac{\Delta\varphi_d}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (1.5)$$

Počet celých modulů se odhaduje, přičemž odhad se ulehčuje zabudování několika modulačních frekvencí s vhodným vzájemným poměrem nebo s plynule laditelnou modulační frekvencí.

#### 1.1.2.2 Impulsní a kmitočtové dálkoměry

Impulsní dálkoměr využívá přímé měření tranzitního času  $\tau$  podle vzorce

$$d = c \cdot \frac{\tau}{2} \quad (1.6)$$

kde  $c$  je rychlost elektromagnetických vln.

Kmitočtový dálkoměr využívá pro určení délky změřený kmitočtový rozdíl.

Tyto dálkoměry se používají především pro speciální geodetické úlohy (v kosmické geodézii, pro navigační účely apod.). předpokládají vybavení velmi přesnými atomovými hodinami s přesností v určení času asi  $10^{-9}$ sec.

## 1.2 Aplikační programy

Elektronické tachymetry jsou vybaveny obvykle aplikačními programy, které rozšiřují jejich funkčnost. Výsledkem je větší rozsah použití a zjednodušení měřických prací v terénu. Používáním interně uložených hodnot je uživatel chráněn před zadáním chybných dat. V rámci programů lze používat jak body s danými souřadnicemi, tak i měřené body.

V přístrojích bývají nainstalované obvykle tyto programy:

- *orientace* – je program pro vložení stanoviska přístroje a orientačních bodů,
- *volné stanovisko* – je program pro určení polohy a výšky stanoviska měřením na známé body,
- *měření* – je základní program pro zaměření neomezeného počtu bodů,
- *vytyčování* – program pro polohové i výškové vytyčování
- *odvozená vzdálenost* – je program pro určení vzdálenosti a převýšení mezi dvěma body,
- *výpočet plochy* – umožňuje vypočítat plochu mezi zaměřenými body,

- *výška nepřístupných bodů* – program pro stanovení výšky stavby, elektrického vedení apod.

### 1.3 Příprava tachymetru k měření

Před zahájením měření musí se zkontrolovat nastavení přístroje, tj. obvykle tyto parametry:

- *nastavení systému* – patří sem zvuková signalizace stisknutí tlačítka; výstup dat; automatické vypínání přístroje, není-li s ním danou dobu manipulováno; formát ukládání dat aj.
- *nastavení úhlů* – nastavuje se typ kompenzátoru; orientace vodorovného kruhu (vpravo-vlevo); nastavení vertikálního úhlu (výškový-zenitový); formát registrovaných úhlů a nejmenší odečtená jednotka
- *nastavení jednotek* – úhly; délky; teplota; tlak
- *nastavení dálkoměru* – režim dálkoměru; typy hranolů a jejich konstanty; atmosférické parametry
- *nastavení komunikace* – parametry pro přenos dat mezi přístrojem a počítačem
- *nastavení data a času*

### 1.4 Vlastní měření

Vlastní měření je závislé na úloze, kterou měřím. Přesto je možné stanovit tento postup, který se obvykle používá u všech typů tachymetrů:

- *zadání zakázky* – užívá se k rozlišení uložených dat
- *vložení souřadnic stanoviska a výšky stroje*
- *vložení souřadnic orientačních bodů*
- *zahájení vlastního měření* podle použitého programu.

### 1.5 Technická data vybraných tachymetrů

Protože se jednotlivé tachymetry od sebe vzájemně liší budou dále probrány základní charakteristiky tachymetrů, které jsou ve vlastnictví institutu.

Tabulka č. 1.1: Technická data vybraných elektronických dálkoměrů

Přístroj	GTS 6A	TCR307	TC 1700
Firma	Topcon	Leica	Leica
<b>Dalekohled:</b>			
zvětšení	30 x	30 x	30 x
nejkratší záměra		1,7 m	1,7 m
zorné pole	1°30'	1° 30'	1° 30'
<b>Měření úhlů:</b>			
přesnost odečtení	2'' ; 0,6 mgon	7'' ; 2 mgon	1,5'' ; 0,5 mgon
nejmenší jednotka	0,7'' ; 0,2 mgon	1'' ; 0,5mgon	
<b>Citlivost libely:</b>			
krabicová	10' / 2 mm	6' / 2 mm	4' / 2 mm
elektronická	ne	20'' / 2 mm	2'' / 2 mm
alhidádová	30'' / 2 mm		
<b>Olovnice:</b>			
typ	optická	laserová	optická

Přístroj	GTS 6A	TCR307	TC 1700
<b>Přesnost dostředění</b>	0,8 mm / 1,5 m	0,8 mm / 1,5 m	<b>0,8 mm / 1,5 m</b>
<b>průměr stopy laseru</b>		2,5 mm / 1,5 m	-
<b>Kompenzátor:</b>			
<b>typ</b>	dvojosý kapalinový	dvojosý, kapalinový	dvojosý, kapalinový
<b>rozsah urovnání</b>	3' ; 55 mgon	4' ; 70 mgon	5,4' ; 100 mgon
<b>přesnost urovnání</b>	0,7'' ; 0,2 mgon	1'' ; 0,7 mgon	0,3'' ; 0,1 mgon
<b>Napájení</b>			
<b>baterie</b>	držadlová	Ni + Mh	
<b>napětí, výkon</b>	8,4V; 1,8Ah	6V; 1,8 Ah	12V; 1,2 Ah
<b>Počet měření:</b>			
<b>úhly</b>	do 10h	do 4h	do 3h
<b>úhly a vzdálenosti</b>	do 2,5h	do 1000 záměr	do 600 záměr
<b>Automatické opravy:</b>			
<b>kolimační chyba</b>	ne	ano	ano
<b>indexová chyba</b>	ano	ano	ano
<b>zakřivení Země</b>	ano	ano	ano
<b>refrakce</b>	ano	ano	ano
<b>korekce sklonu</b>	ano	ano	ano
<b>excentricita kruhu</b>	ano	ne	<b>ano</b>
<b>Registrace:</b>			
<b>typ paměti</b>	karta 6 kbyte	vnitřní	karta PCMCIA 2 Mbyte
<b>kapacita</b>		do 4000 bloků	do 8000 bloků
<b>rozhraní RS232</b>		ano	ano
<b>Teplotní rozsah:</b>			
<b>provozní</b>	-20°C až +50°C	-20°C až +50°C	<b>-20°C až +50°C</b>

Tabulka č. 1.2: Parametry dálkoměrů elektronických tachymetrů z tab. 2.1

Přístroj	GTS 6A	TCR 307		TC 1700
<b>Typ dálkoměru</b>	infračervený	infračervený	laserový	infračervený
<b>Přesnost; doba:</b>				
<b>standard</b>	3mm+2ppm; 3,5s	2mm+2ppm; 1s	5mm+2ppm; 2,5s	2mm+2ppm; 3,5s
<b>rychlé</b>	-	5mm+2ppm; 0,5s	-	-
<b>tracking</b>	10mm+2ppm; 0,6s	5mm+2ppm; 0,3s	5mm+2ppm; 1s	5mm+2ppm; 0,3s
<b>odrazné štítky</b>	-	5mm+2ppm; 0,5s	-	-
<b>bez hranolu</b>	-	-	3mm+2ppm; 3s	-
<b>Dosah: viditelnost - 5 / 20 / 40 km</b>				
<b>1 hranol</b>	- / 2 / 2,3 km	2,3 / 3 / 3,5 km	1,5 / 5 / a více km	1,2 / 2,5 / 3,5 km
<b>3 hranoly</b>	- / 2,7 / 3,1 km	2,3 / 4,5 / 5,4 km	2 / 7 / a více km	1,5 / 3,5 / 5 km
<b>9 hranolů</b>	- / 3,6 / 4,2 km	-	-	-
<b>360°hranol</b>	-	0,8 / 1,5 / 2 km	-	-
<b>štítek 6x6 cm</b>	-	150 / 250 / 250 m	-	-
<b>minihranol</b>	-	0,8 / 1,2 / 2 km	-	-
<b>bez hranolu</b>	-	-	do 80 m	-

Tabulka č. 1.3: Používané metody měření a programy vybraných tachymetrů

Typ tachymetru	GTS 6A	TCR 307	TC 1700
<b>Měření vod. úhlů:</b>			
pravotočivé / levotočivé	ano	ano	ano
repeticí	ano	ne	ne
<b>Měření vert. úhlů:</b>			
výškové / zenitové	ano	ano	ano
sklon v %	ano	ano	ano
<b>Měření vzdálenosti:</b>			
souvislé	ano	ano	ano
n-násobné	ano	ne	ne
hrubé	ano	ano	ano
tracking	ano	ano	ano
<b>Měření polohy:</b>			
Hz a V úhel; šikmá délka	ano	ne	ano
Hz a V úhel; vod. délka	ne	ano	ano
Hz úhel; vod. délka; převýšení	ano	ne	ano
Hz úhel; šikmá délka; převýšení	ne	ano	ano
souřadnice X, Y, Z	ano	ano	ano
<b>Programy:</b>			
Výpočet směrnic ze souřadnic	ano	ano	
Vytyčování	ano	ano	ano*
Uchování souřadnic bodu	poslední bod	všechny body	všechny body
Určení nepřístupné výšky	ano	ano	
Určení odvozené vzdálenosti	ano	ano	ano*
Odsazení hranolu	ano		
Určení orientace a výšky stanoviště		ano	ano*
Výpočet plochy		ano	
Volné stanoviště		ano	ano*
Kombinované protínání zpět			ano*
Zkoušení a rektifikace	ano	ano	ano*
Referenční přímka			ano*

*Poznámka:* Programy označené hvězdičkou nejsou přístupné.

Další podrobnosti o nastavování potřebných parametrů tachymetru, postup při měření jednotlivých úloh (kap. 2.4), převodu naměřených dat do počítače je uveden v manuálech tachymetrů a stručných návodech:

TOPCON, *Příruční návod GTS-6*

LEICA, *TPS300 Basic Series, Návod pro TC(R)303/305/307*

SCHENK, J. *Návody na cvičení s elektronickým tachymetrem TCR 307*. učební text, IGDM, VŠB-TU Ostrava 2001

LEICA, *TPS – System 1000 – User manual*

SCHENK, J. *Návody na cvičení s elektronickým tachymetrem TC 1700*, učební text, IGDM, VŠB-TU Ostrava 2000

## 2 Digitální nivelační přístroje

Digitální nivelační přístroje jsou kompenzátorové přístroje, patří tedy do kategorie automatických nivelačních přístrojů. Proti optomechanickým nivelačním přístrojům měření je provedeno elektronicky, proto měřič může pracovat rychle a bez stresu. Další předností takového systému je jednoduchá obsluha přístroje bez chyb v odečtení a zápisu do zápisníku, automatický výpočet výšek během měření a registrace dat.

### 2.1 Princip funkce digitálních nivelačních přístrojů

Nivelační latě jsou opatřeny kódovou stupnicí, která po zaostření přístroje se zobrazí v rovině nitkového kříže. V téže rovině je umístěn světlocitlivý obrazový snímač, který rozliší tmavé a světlé části kódové latě a elektronickou cestou pomocí mikroprocesoru vytvoří odečtení latě, respektive i horizontální vzdálenost k latí. Měření se registruje v paměti přístroje a po změření se převede do počítače, kde se pomocí zpracovatelského software dále zpracuje.

Přístroje podle citlivosti obrazového snímače (počtu pixelů) se rozdělují na technické, přesné a velmi přesné, které používají invarové latě s kódovou stupnicí.

### 2.2 Aplikační programy

Pomocí digitálního nivelačního přístroje můžeme provádět:

- *pořadovou nivelaci*, kdy jsou k dispozici různé způsoby měření převýšení na stanovisku. V podstatě je to technická nivelace tedy čtení systémem  $z, p$ ;  $z, p$  a přesná nebo velmi přesná nivelace se čtením  $z_1, p_1, p_2, z_2$ ;  $z_1, p_1, p_2, z_2$  nebo jejich modifikace,
- *plošná nivelace*, kdy pouze určujeme výšky bodů z jednoho postavení,
- *vytyčování*, kdy po zadání výšky bodu se postupným zvedáním nebo spouštěním latě vytyčí zadaná výška,
- *adjustaci přístroje*, především kontrolu vodorovnosti záměrné přímky.

### 2.3 Příprava nivelačního přístroje k měření

Před měřením provedeme vždy kontrolu:

- *vodorovnosti záměrné přímky*, která se může porušit dopravou. Bez této kontroly může být při nestejně dlouhých záměrech použití nezkontrolovaného přístroje zdrojem chyb,
- *nastavení systému*, jedná se o nastavení přesnosti měření, délkových jednotek, typu latí, způsobu registrace apod.
- *nastavení aplikačního programu*, podle typu programu se vyžaduje stanovit mezní odchylky např. mezi dvojným odečtením latě, mezi délkou záměry zpět a vpřed apod.

### 2.4 Vlastní měření

Vlastní měření lze rozdělit na měření bez záznamu do paměti a se záznamem do paměti. Při měření se záznamem se obvykle vyžaduje zadat zakázku, výšku výchozího bodu, zkontrolovat mezní odchylky apod. Vlastní měření je pak vedeno na displeji, kde se objevují požadavky na čtení vzad, vpřed, objevuje se naměřené převýšení, informace o nedodržení zadaných odchylek, požadavky na nové odečtení latě apod.

Protože digitální nivelační přístroj je vybaven světlocitlivým prvkem, který není chráněn uzávěrkou jako u digitálních fotoaparátů, je třeba při měření zachovávat určitá opatření:

- *necílit přímo do slunce* – zacílení přímo do slunce může poškodit jak zrak, tak i světlocitlivý prvek,
- *chránit laťovou kódovou stupnici před poškozením a zašpiněním* – poškození nebo zašpinění stupnice snižuje přesnost měření, případně ho vůbec znemožní,
- *chránit přístroj před nárazem* – přístroj přepravovat v bedně, během měření by se měl přenášet v ruce za držadlo,
- *stavět lať v dostatečně osvětleném místě* – osvětlení musí být rovnoměrné po celé délce latě, lať nesmí být přesvětlena dopadem slunečních paprsků (stačí mírně lať natočit), někdy pomůže zakrytí okuláru v případě méně osvětlené latě,
- *v zorném poli musí být vidět minimálně 2/3 latě* – větší zakrytí latě větvemi znemožní odečtení latě.

## 2.5 Technické parametry digitálních nivelačních přístrojů

Podobně jako v předchozí kapitole budou uvedeny pouze parametry dvou nivelačních přístrojů, které institut vlastní.

Tabulka č. 2.1: Technické parametry digitálních nivelačních přístrojů.

<b>Přístroj</b>	DL 101	NA 3003
<b>Firma</b>	Topcon	Leica
<b>Dalekohled:</b>		
<b>zvětšení</b>	32 x	24 x
<b>zorné pole</b>	1°20'	2°
<b>Kompenzátor:</b>		
<b>typ</b>	kyvadlový s kontrolou rozsahu	kyvadlový s kontrolou rozsahu
<b>rozsah urovnání</b>	12'	12'
<b>přesnost urovnání</b>	0,3''	0,4''
<b>Citlivost libely:</b>		
<b>krabicová</b>	10' / 2 mm	8' / 2 mm
<b>Střední km chyba dvojité nivelace:</b>		
<b>s invarovou latí</b>	0,4 mm	0,4 mm
<b>se standardní latí</b>	1,0 mm	1,2 mm
<b>Nejmenší čtení</b>		
<b>standardní měření</b>	0,1 mm	0,1 mm
<b>přesné</b>	0,01 mm	0,01 mm
<b>Rozsah měření</b>		
<b>invarové latě</b>	2 až 60 m	1,8 až 60 m
<b>standardní latě</b>	2 až 100 m	1,8 až 100 m
<b>Přesnost měření vzdálenosti</b>		
<b>elektronické</b>	1 až 5 cm	1 až 5 cm
<b>optické</b>	0,2 až 0,5 m	0,2 až 0,5 m
<b>Doba měření:</b>		
<b>odečtení latě</b>	4 sec.	4 sec.
<b>Registrace:</b>		
<b>typ paměti</b>	vnitřní	karta
<b>kapacita</b>	128 kByte	64 kByte
<b>rozhraní RS 232</b>	ano	ano

Přístroj	DL 101	NA 3003
<b>Napájení:</b>		
<b>baterie</b>	NiCd	NiCd
<b>napětí, výkon</b>	7,2V (10h provozu)	12V; 0,5Ah (8h provozu)
<b>Teplotní rozsah:</b>		
<b>provozní</b>	-20°C až +50°C	-20°C až +50°C

Tabulka č. 2.2: Používané metody měření a programy vybraných nivelačních přístrojů

Přístroj	DL 101	NA 3003
<b>Odečtení latě:</b>		
<b>průběžné</b>	ano	ano
<b>n-násobné</b>	1-99	1-99
<b>obrácená lat'</b>	ano	ano
<b>Měření:</b>		
<b>standardní</b>	<b>odečtení latě a vzdálenosti</b>	<b>odečtení latě a vzdálenosti</b>
<b>Pořadová nivelace:</b>		
<b>zpět, vpřed</b>	ano	ano
<b>zpět1,zpět2, vpřed1,vpřed2</b>	ano	
<b>zpět1,vpřed1,vpřed2,zpět2</b>	ano	ano
<b>Vytyčování</b>	ano	ano
<b>Rektifikace</b>	ano	ano

Další podrobnosti o nastavování potřebných parametrů nivelačních přístrojů, postup při měření jednotlivých úloh (kap. 3.2), převodu naměřených dat do počítače je uveden v manuálech tachymetrů a stručných návodech:

TOPCON. *Manual TOPCON DL101, DL102*

SCHENK, J. *Návody na cvičení s elektronickými nivelačními přístroji fy TOPCON.* učební text, IGDM, VŠB-TU Ostrava, 1997

LEICA, *WILD NA 2002/3003.* Leica AG, Heerbrugg, Švýcarsko, 1994

SCHENK, J. *Stručný návod pro použití nivelačního přístroje WILD NA3003.* Učební text, IGDM, VŠB-TU Ostrava 1997

### 3 Globální polohové systémy

GPS je zkratka odvozena ze systému NAVSTAR GPS, což je akronymum z **NAV**igation **S**ystém with **T**ime And **R**anging - **G**lobal **P**ositioning **S**ystém, tedy je to Navigační systém, kterým můžeme určit naši polohu v daném čase na Zemi, když máme potřebné zařízení.

Doposud jsme určovali svoji polohu vzhledem ke známým objektům, které jsme viděli, tedy relativně vůči nim. Horší to bylo, když takové objekty nebylo vidět, když jsme byli uprostřed pouště nebo na moři. Tento problém se řešil pomocí Slunce a hvězd. Rovněž na zemi geodeti a vědci používali známé referenční body k určování polohy.

Tyto metody pracovaly dobře s jistou spolehlivostí. Slunce a hvězdy nejsou vidět, když je zamračeno. Rovněž ani velmi přesným astronomickým měřením nemůže být poloha určena velmi přesně.

Po druhé světové válce, bylo v ministerstvu obrany USA zřejmé, že by se mělo nalézt řešení problému určení absolutní polohy s danou přesností. Během následujících 25 let proběhlo několik projektů a pokusů jako byly Transit, Timation, Loran, Decca aj. Všechny tyto projekty uměly určit polohu, ale byly limitovány přesností nebo funkcí.

Od začátku 1970 byl navržen nový projekt - GPS. Tento projekt sliboval splnit všechny požadavky ministerstva, zejména že bude schopný určit přesně polohu na libovolném místě Země v každé době a za jakéhokoliv počasí.

GPS je systém založený na družicích, který využívá rozložení 24 družic k určení naší přesné polohy. Je důležité definovat přesnost v poloze bodu. Pro turistu nebo vojáka v poušti stačí přesnost 15m. Pro loď v pobřežních vodách je to 5m a pro geodetická měření 1cm a méně. GPS může používat všechny tyto přesnosti ve všech svých aplikacích, rozdíl vyplývá z použitých GPS přijímačů a použité techniky měření.



Obr. č. 3.1 Aplikace GPS pro civilní účely

GPS bylo původně určeno k vojenskému využití a po určité době k měření Země. Brzy po původním určení byl systém uvolněn i pro civilní využití a ne pouze pro určování polohy lidí (to bylo i vojenské využití). První dvě hlavní civilní aplikace byla námořní navigace a geodetické měření. Nynější aplikace se zaměřují od navigace vozidel až po řízení nákladních lodí k automatické konstrukci strojů. Příklady využití jsou na obr. 4.1.

### 3.1 Popis systému

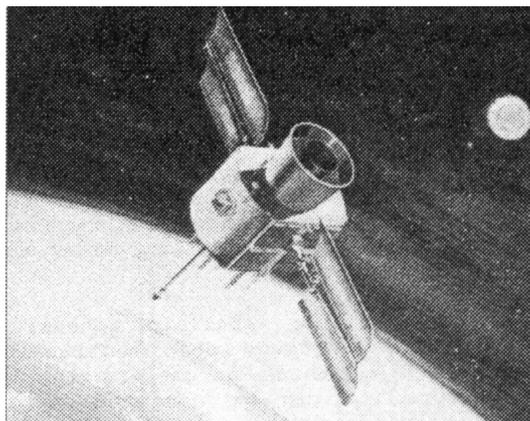
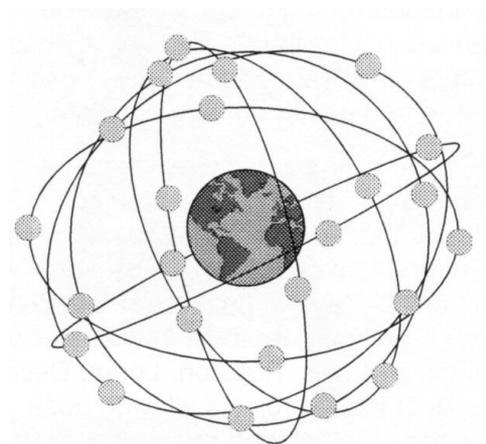
Celý GPS systém se skládá ze tří segmentů:

- kosmický segment – družice obíhající kolem Země
- řídicí segment – stanice umístěné podél rovníku, které kontrolují a řídí družice
- uživatelský segment- přijímače GPS signálu.

#### 3.1.1 Kosmický segment

Kosmický segment se skládá z 24 družic, které obletí Zemi ve výšce 20200km vždy za 12 hodin. Družice obíhají po šesti drahách, které jsou 55°skloněné k rovníku. V současné době obíhá 27 družic kolem Země.

Kosmický segment je tak vytvořen, aby v každém místě na Zemi a v každé době byly vidět alespoň 4 družice, které jsou 15° nad obzorem. Čtyři družice jsou minimem, který musí být vidět pro většinu aplikací. Pokusy ukázaly, že je vidět obvykle 5 družic nad 15° a hodně často i 6 nebo 7 družic.



Obr. č. 3.2: Rozmístění družic kolem Země a tvar GPS družice

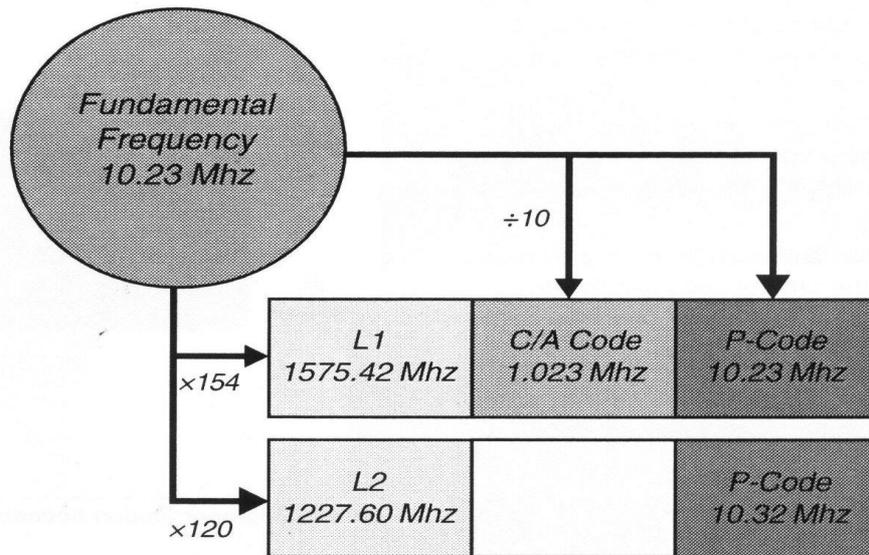
Každá družice je vybavena velmi přesnými atomovými hodinami. Hodiny pracují na operační frekvenci 10,23MHz. Ta se používá ke generování signálu, který je vysílán z družice.

Družice vysílají na dvou konstantních vlnových délkách. Tyto přenosové vlny jsou vysílány k Zemi rychlostí světla. Vlny jsou odvozeny ze základní frekvence a generovány pomocí velmi přesných atomových hodin.

L1 frekvence je vysílána na frekvenci 1575,42 MHz ( $10,23 \times 154$ )

L2 frekvence na frekvenci 1227,60 MHz ( $10,23 \times 120$ )

Frekvence L1 přenáší dva kódy. C/A kód (Coarse/Acquisition Code (hrubý/volný kód) je modulován na 1,023 MHz ( $10,23 / 10$ ) a P-code (přesný kód) na 10,23 MHz. Na frekvenci L1 je modulován pouze P-code na 10,23 MHz.

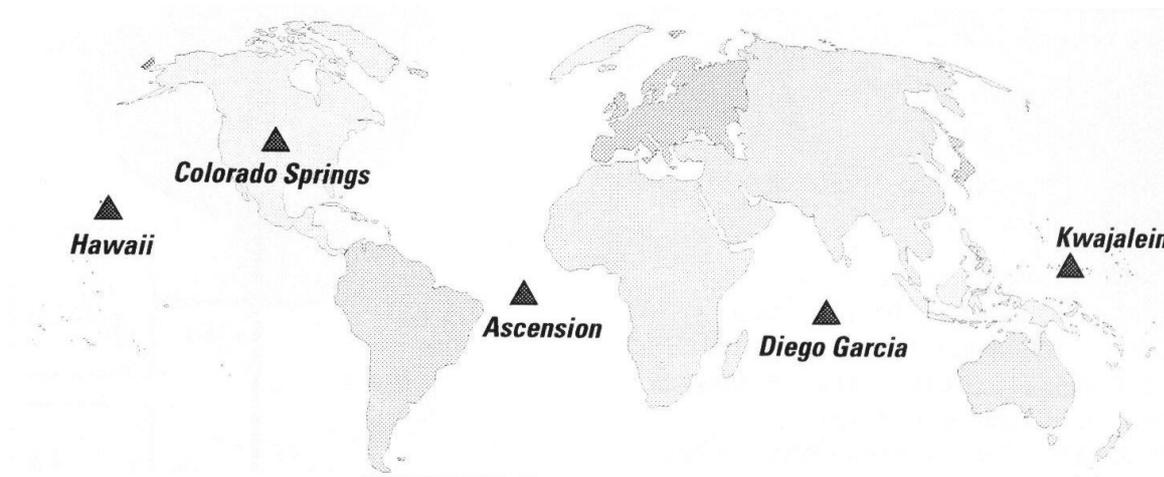


Obr. č. 3.3: Struktura družicového signálu

GPS přijímače užívají různé kódy k rozlišení družic. Kódy se používají k určení tzv. pseudovzdáleností k výpočtu polohy přijímače.

### 3.1.2 Řídící segment

Řídící segment se skládá z jedné hlavní stanice, 5 monitorovacích stanic a 4 základních monitorovacích stanic vybavených anténami



Obr. č. 3.4: Rozmístění pozemních stanic řídicího systému GPS

Řídící segment vysílá na družice zprávy o jejich orbitální poloze, kalibruje a synchronizuje družicové hodiny.

Vyslaná zpráva obsahuje funkci určující dráhu každé družice a předpověď dráhy na následujících 24 hodin. Tato informace je uložena na každé družici, které ji periodicky vysílají ve formě almanachu. To umožňuje GPS přijímači poznat, kdy může být signál dané družice v daném místě přijímán.

Družicové signály jsou zachycovány na stanicích Ascension, Diego Garcia a Kwajalein. Měření jsou zasílána do hlavní řídicí stanice v Colorado Springs, kde se určují

chyby každé družice. Informace jsou zasílány zpět na čtyři monitorovací stanice, které jsou vybavené vysílacími anténami, k dodání zpráv na družice.

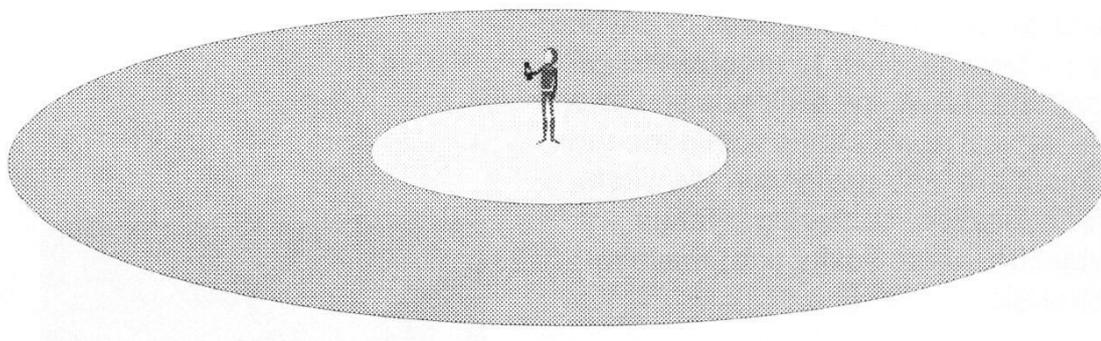
### 3.1.3 Uživatelský segment

Uživatelský segment se skládá z nejrůznějších GPS přijímačů, kterými se určuje poloha a čas. Typickou aplikací je navigace turistů, lokace vozidel, geodetická měření, námořní navigace, letecká navigace, kontrola strojů aj.

## 3.2 Jak GPS pracuje

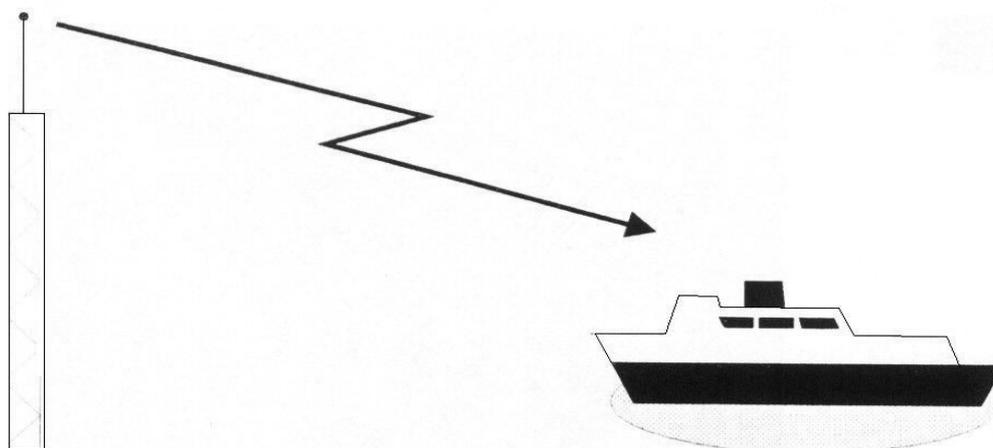
Je několik různých metod k získání polohy pomocí GPS. Metody závisí na požadované přesnosti a typu GPS přijímače. Obecně můžeme metody rozdělit na tři základní třídy:

- **Autonomní navigace** s použitím jednoho samostatného přijímače. Používají ho turisté, lodě na širém moři, armáda. Přesnost v určení polohy je lepší než 100 m pro civilní potřeby a lepší než 20 m pro vojsko.



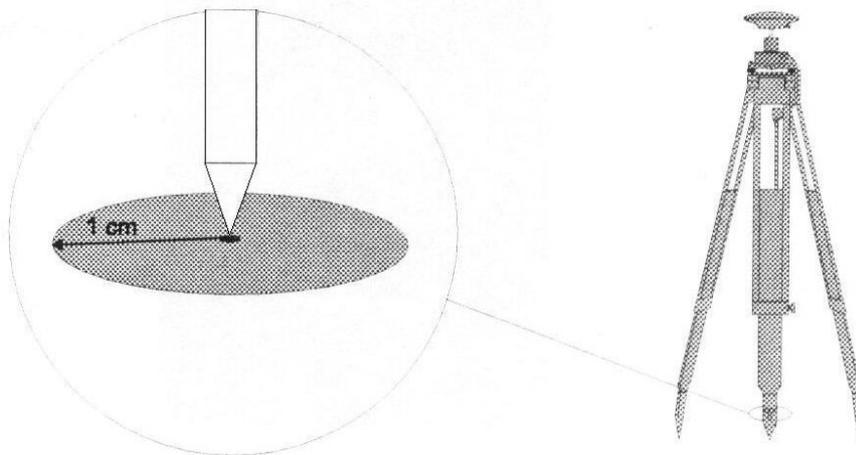
Obr. č. 3.5: Příklad určení polohy autonomním přijímačem

- **Diferenciálně opravovaná poloha.** Více známá pod zkratkou DGPS, ta dává přesnost mezi 0,5 – 5 m. Užívá se pro navigaci u pobřeží, sběr GIS dat, přesné hospodaření apod.



Obr. č. 3.6: Princip diferenční metody

- **Relativní fázová měření.** Dává přesnost od 0,5 do 20 mm. Užívá se v geodézii, při kontrole pohybu strojů apod.



Obr. č. 3.7 Přesnost v určení bodu je závislá na správné centraci GPS antény.

### 3.3 Navigace – kódové měření



Je to nejjednodušší technické využívání GPS přijímače k okamžitému určení polohy a výšky v dané době. Přesnost určení je lepší jak 100 m (obvykle okolo 30-50 m) pro civilní sektor a 5-15 m pro vojenské uživatele. příčina rozdílu v přesnosti civilního a vojenského využití bude vysvětleno později. Přijímače pro toto použití jsou typicky malé, jednoduše přenosné v ruce a levné.

Určení polohy pomocí GPS je založeno na změření vzdálenosti mezi družicemi a GPS přijímačem na Zemi. Každá vzdálenost může být určena pomocí GPS přijímače. Základní idea je protínání, které provedeme z provedeného měření. Když známe vzdálenosti ze tří bodů k přijímači, můžeme určit jeho polohu vzhledem k těmto bodům. Přijímač leží na kulové ploše, jejíž střed je družice a poloměr vzdálenost přijímače od družice. Protínáním takových to tří imaginárních kulových ploch je jednoznačně určena poloha přijímače.

Obr. č. 3.8: Ruční GPS přijímač

Problém s GPS je, že jsou určeny pouze pseudovzdálenosti a čas od vyslání signálu po jeho přijetí se liší.

Máme tedy čtyři neznámé k určení; Poloha (X, Y, Z) a tranzitní čas signálu. Pozorujeme-li současně čtyři družice, můžeme vytvořit čtyři rovnice a neznámé vypočítat.

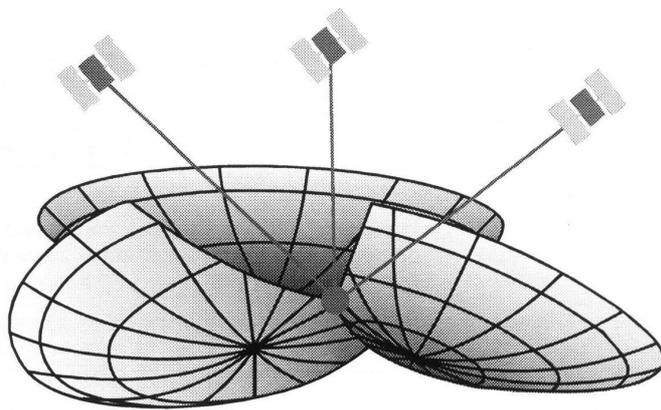
Postupně počítáme vzdálenost ke každé družici podle Newtonova zákona

$$\text{Vzdálenost} = \text{Rychlost} \times \text{Čas}$$

Na příklad, je vhodné počítat vzdálenost dráhy, kterou urazil signál z družice, známe-li rychlost signálu a čas potřebný k jeho cestě.

GPS požaduje, aby přijímač vypočetl vzdálenost mezi přijímačem a družicí.

Rychlost je rychlost rádiových vln, které mají rychlost světla, tj 290000 km/vt.

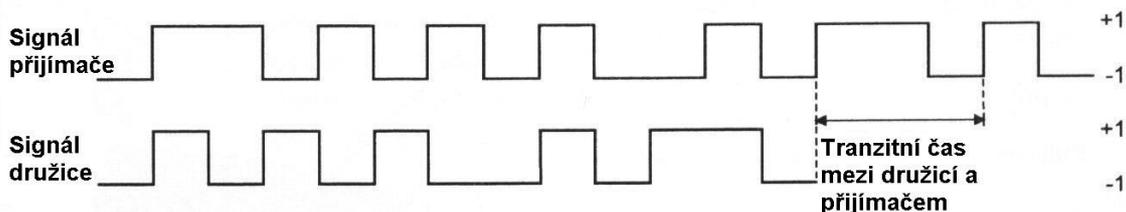


Obr. č. 3.9: Princip stanovení polohy změřením délek od tří bodů.

Čas je doba, která uplynula od vyslání signálu družicí k jeho přijetí přijímačem. To je malá nepříjemnost pro výpočet, poněvadž potřebujeme znát okamžik vyslání a okamžik příjmu signálu.

Výpočet probíhá takto:

Signál družice je modulován dvěma kódy, C/A kódem a P-kódem. C/A kód je vytvořen pomocí velmi přesných atomových hodin. Přijímač obsahuje také hodiny, které se používají ke generování C/A kódu. V přijímači se provede korelace přijatého kódu z družice a vygenerovaného kódu přijímačem.



Obr. č. 3.10: Korelace dvou signálů

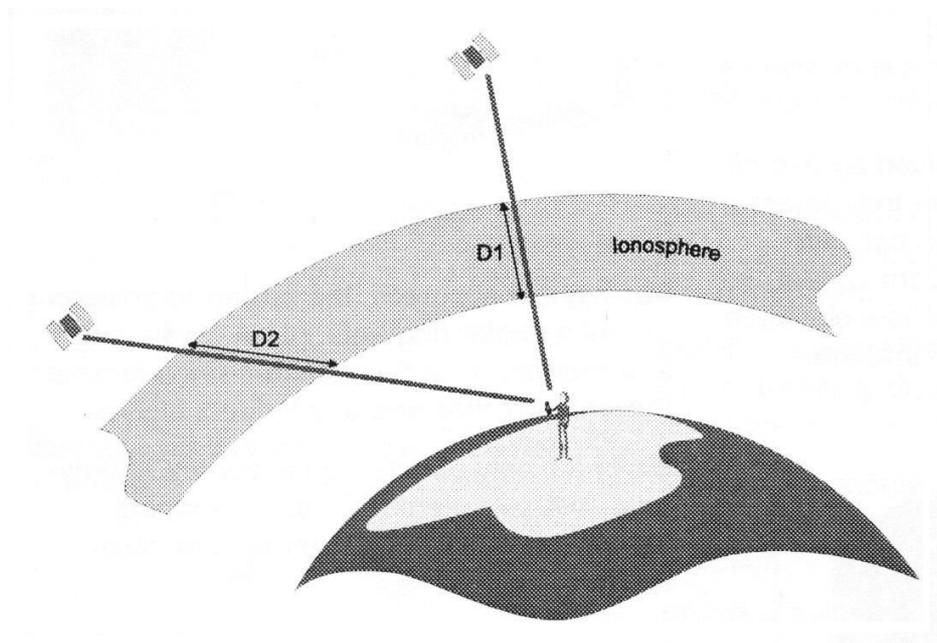
C/A kód je digitální kód, který je pseudonáhodný a nebo se jeví jako náhodný. Ve skutečnosti však není náhodný a opakuje se tisíckrát za vteřinu. Tímto způsobem je cesta rádiového signálu z družice k přijímači vypočtena. Až dosud se zdá, že určení polohy pomocí GPS je velmi přesné a bezchybné. Bohužel celá řada zdrojů chyb degraduje teoretickou polohu až o několik desítek metrů.

### 3.4 Zdroje chyb měření

#### 3.4.1 Ionosférická a atmosférická refrakce

Když prochází družicový signál ionosférou, může se zpomalit a posunout podobně, jako když světlo prochází skleněnou deskou. Atmosférická refrakce je závislá na změně rychlosti signálu v důsledku větší hustoty vzduchu (rychlost světla je konstantní pouze ve vakuu). Ionosféra nepůsobí konstantně na signál. Je zde několik vlivů, které refrakci ovlivňují.

- Výška družic nad obzorem.** Signál z nízko letící družice je ovlivněn více než signál z družice letící blízko zenitu. Je zřejmé, že se musí zvětšit vzdálenost, když signál prochází atmosférou.



Obr. č. 3.11: Vliv výšky družice na velikost refrakce

- b. **Hustota ionosféry je závislá na Slunci.** V noci, je vliv ionosféry velmi malý. Ve dne roste vliv Slunce na ionosféru a zpomaluje signál. Hodnota hustoty ionosféry je závislá na sluneční aktivitě, která má jedenáctiletý cyklus. V roce 2000 probíhalo její maximum. Vedle toho se také může nahodile vyskytovat sluneční bouře, a také působit na ionosféru.

Ionosférická refrakce se může potlačit dvěma metodami:

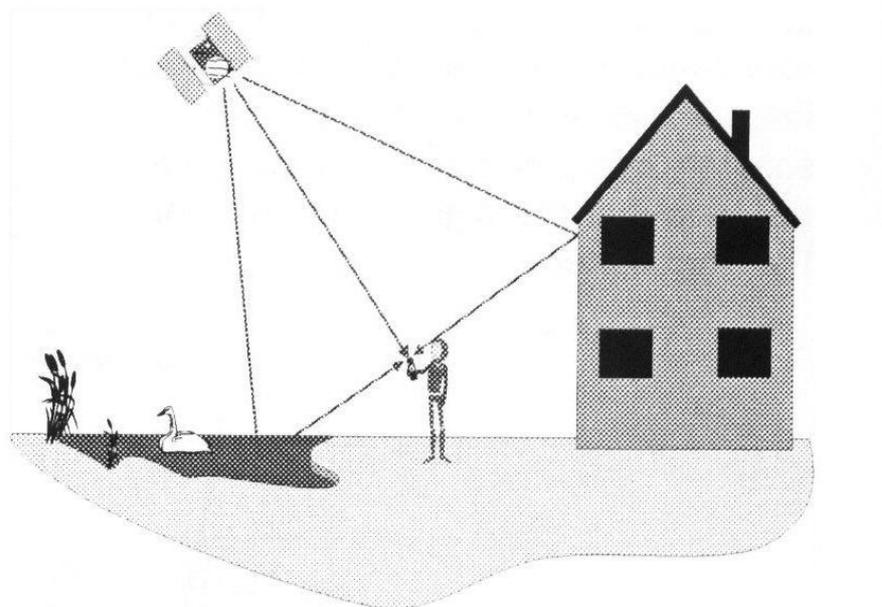
- první metoda odstraňuje průměrné snížení rychlosti světla při průchodu ionosférou. Tento korekční faktor může být aplikován pouze na průměrný stav ionosféry, které se však v čase mění. Tato metoda není optimálním řešením pro snížení vlivu ionosférické refrakce.
  - druhá metoda se používá u „dvoufrekvenčních GPS přijímačů“. Takový přijímač měří na frekvencích L1 a L2. Je známo, že rádiový signál při průchodu ionosférou je zpomalen nepřímo úměrně své frekvenci. Proto, když jsou přijaté signály srovnány, můžeme udělat přesný odhad jejich zpoždění. Je třeba zdůraznit, že to je možné pouze u dvou frekvenčních přijímačů a že většina přijímačů pro navigační využití jsou jedno frekvenční.
- c. **Také vodní pára působí na GPS signál.** Vodní pára obsažená v atmosféře působí také na GPS signál, Tento vliv, který vyvolává chybu v poloze, může být snížen užitím atmosférického modelů.

### 3.4.2 Chyby hodin družice a přijímače

*I když hodiny na družici jsou velmi přesné (chyba do 3 nanosekund), přesto se čas od času zpomalují a vzniká malá chyba, která ovlivňuje přesnost v určení polohy. Ministerstvo obrany USA monitoruje družice a pomocí řídicího segmentu může odchylku opravit, když ji zjistí.*

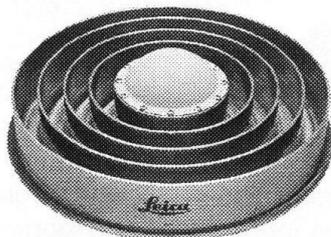
### 3.4.3 Multipath

Multipath se objeví, když anténa přijímače je umístěna blízko velké odrazné plochy, jako vodní plocha nebo budova. Družicový signál nepřichází přímo k anténě, ale zasáhne blízký objekt, odrazí se k anténě a měření je chybné.



Obr. č. 3.12: Princip vzniku Multipathu

Multipath se dá redukovat použitím speciálních antén, které jsou umístěny na základové desce (kruhový kovový disk okolo 50cm v průměru), který preventivně odstraňuje ploché signály.



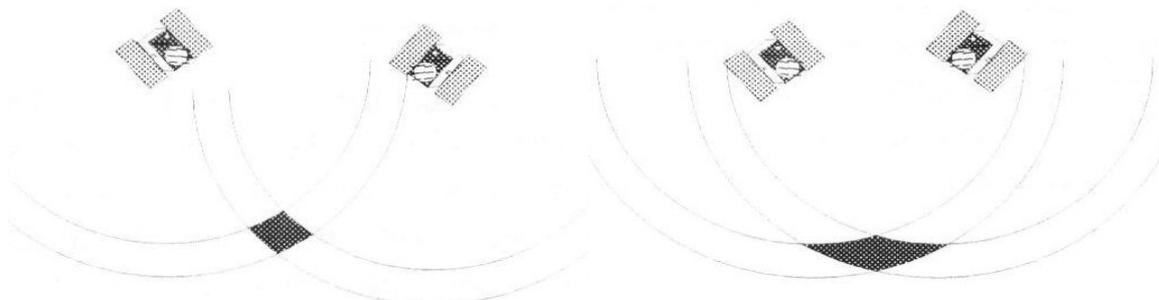
Pro větší přesnost se preferuje řešení použitím tlumící prstencové antény, která se skládá ze 4 až 5 soustředných prstenců okolo antény, které zadrží odražené signály.

Obr. č. 3.13. Prstencová anténa

Multipath působí pouze při velmi přesných měřeních. Přijímače pro jednoduchou ruční navigaci taková zařízení nepoužívají.

### 3.4.4 Snížení přesnosti

Snížení přesnosti DOP (Dilution of Precision) je míra vlivu geometrie družic a je odvozena od prostorové polohy družic na obloze. DOP může mít hlavní vliv na chybu určení polohy. Dobré rozložení družic na obloze chybu v poloze snižuje naopak nevhodné rozmístění zvětšuje (viz obr. 4.15).



Obr. č. 3.14: Princip snížení přesnosti v určení polohy

Různé typy DOP mohou být počítány pro různé rozměry.

- VDOP – udává snížení přesnosti ve vertikálním směru,
- HDOP – udává snížení přesnosti v horizontálním směru
- PDOP – udává snížení přesnosti v prostorové poloze
- GDOP – udává snížení přesnosti v poloze a čase

Nejvíce používaný ukazatel je GDOP, který je kombinací všech faktorů. Některé přijímače počítají PDOP nebo HDOP bez ohledu na čas.

Nejlepším způsobem k minimalizaci vlivu GDOP je měření v době, kde je k dispozici větší počet družic. Nicméně je třeba pamatovat, že signály z nízké nad obzorem letících družic jsou obecně zatíženy větším množstvím zdrojů chyb.

Obecně se doporučuje k dosažení nejlepších výsledků, vyloučit z měření družice, které jsou v menší výšce než  $15^\circ$  nad obzorem. Nejpřesnější se obecně vypočítá když GDOP je nižší než 8.

### 3.4.5 Výběrový přístup (S/A – Selective Availability)

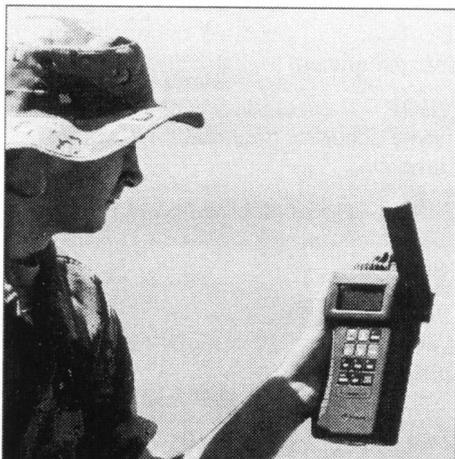
Výběrový přístup je proces, který uplatňuje ministerstvo obrany USA na GPS signál. Může nezávisle odmítnout civilním a nepřátelským ozbrojeným silám úplnou přesnost GPS úpravou družicových hodin jejich zpožděním. Navíc, efemeridy vysílané družicemi jsou trochu jiné než ve skutečnosti. Výsledkem je menší přesnost v určení polohy.

To působí problémy civilním uživatelům, kteří používají pouze jeden GPS přijímač k určení své polohy. Uživatelé diferenčních systémů s tím nemají problém.

Je třeba poznamenat, že toto znehodnocení systému GPS bylo v roce 2001 zrušeno.

### 3.4.6 Anti-Spoofing (A-S)

Anti Spoofing podobně jako S/A zabraňuje civilním a nepřátelským armádním silám v přístupu k P-kódu a proto je přístupný pouze C/A kód, který mohl být znehodnocen S/A.



Anti Spoofing zakódoval P-kód do signálu zvaného Y-kód. Pouze uživatelé vojenských GPS přijímačů (USA a jejich spojenci) mohou vygenerovat tento Y-kód.

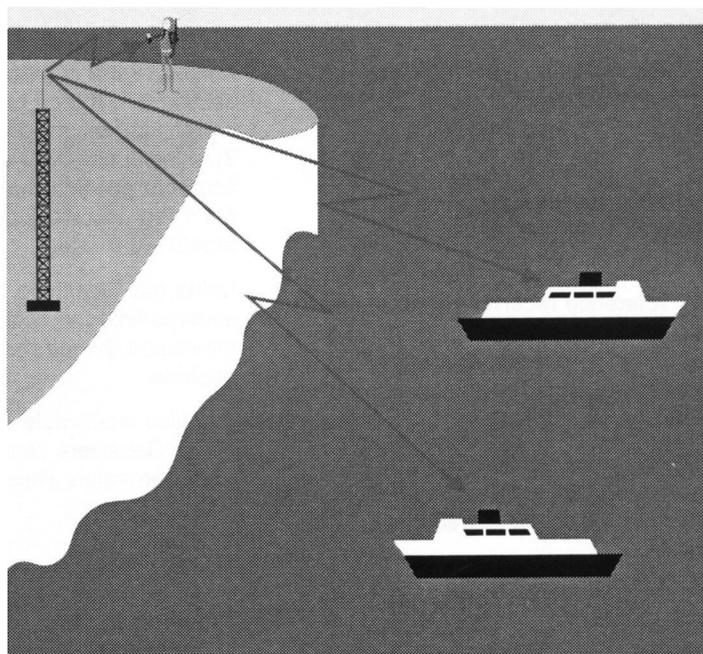
Vojenské GPS přijímače jsou více přesné proto, že nepoužívají C/A kód k výpočtu polohy, ale používají P-kód.

Obr. č. 3.15: Armádní ruční GPS přijímač

P-kód je modulován na nosné vlně 10,23MHz, kdežto C/A-kód na nosné vlně 1,023 MHz. Obecně musí být poloha vypočtena z P-kódu 10krát přesněji než z C/A kódu. Protože armádní přijímače mohou přijímat přesný Y-kód je poloha jimi určená okolo 5m, kdežto civilní přijímače podle typu dosahují přesnosti od 15 do 100m.

### 3.5 Diferenční metody měření (DGPS) v reálném čase

Řada chyb působících během měření může zcela eliminována nebo podstatně potlačena užitím diferenční metody měření. DGPS poskytuje civilním uživatelům zpřesnění polohy ze 100m na 2-3m nebo lepší a používá se v řadě civilních aplikacích.



Obr. č. 3.16: DGPS referenční stanice vysílá data uživatelům

#### 3.5.1 Referenční přijímač

Anténa referenčního přijímače se umísťuje nad bod, jehož polohu z dřívějšího měření známe. Tomuto přijímači říkáme „referenční stanice“ nebo „základnová stanice“.

Po zapnutí přijímač přijímá družicové signály a počítá svoji polohu tak, jak to bylo popsáno v kapitole 4.3.

Protože je na známém bodě, může přijímač velmi přesně odhadnout, jak se mění poloha určená z družic.

Referenční přijímač může proto určit rozdíly mezi danými a vypočtenými souřadnicemi. Tyto rozdíly jsou označeny jako korekce. K referenční stanici je připojeno rádio, kterým se tyto korekce vysílají.

#### 3.5.2 Podrobný (rover) přijímač

Podrobný přijímač je na určovaném bodě. Rovněž k tomuto přijímači je připojeno rádio, které přijímá vysílané korekce pro podrobnou stanici.

Podrobný přijímač také počítá svoji polohu z družic, jak je uvedeno v kapitole 4.3. když pro výpočet použije i získané korekce, zpřesní se podstatně výpočet polohy, i když vlastní měření bylo nepřesné.

Použitím této technologie jsou minimalizovány všechny chyby, jak byly uvedeny v kapitole 4.4 , proto je poloha určena velmi přesně.

Je také třeba poznamenat, že korekce může přijímat více podrobných stanic z jedné referenční stanice.

### 3.5.3 Další podrobnosti

DGPS byl popsán ve velmi jednoduše v předcházející kapitole. Ve skutečnosti, je to více méně rozsáhlejší problém.

Velký význam má rádiové spojení. Je řada typů rádiových spojů, které vysílají s různým dosahem a různých frekvencích. Výkon rádia je závislý na různých faktorech jako:

- Frekvence rádia
- Dosah rádia
- Typ a zisk rádiové antény
- Poloha antény

Pracovní síť přijímačů a výkonných rádiových vysílačů byla zavedena pouze u pobřeží na zabezpečené frekvenci. Tyto sítě jsou známy jako vysílací majáky. Uživatelé této služby (většinou námořní síly pohybující se u pobřeží) proto pořizují GPS přijímače, které mohou zachytit vysílání majáků. Tento systém je zaveden na pobřeží řady států.

V druhém případě může být pro přenos korekcí využita síť mobilních telefonů.

Obecně lze říci, že jak systém majáků, tak i jiné systémy pracují na soukromé bázi a jsou většinou provozovány za úplaty. Proto se také navrhuje státní systémy takové jako je Federal Aviation Authority's satellitebased Wide Area Augmentation System (WAAS) v USA, evropský European Space Agency's (ESA) aj.

Zde je užíván společný standardní formát přenosu GPS dat, tzv. RTCM formát. Ten platí pro Radio Technical Commission Naritime Services, Průmyslem sponzorovanou neziskovou organizací, Tento formát je společně užíván všude ve světě.

### 3.6 Relativní fázové měření a řešení ambiguit

Relativní fázové měření se používá hlavně v geodézii a v průmyslu, když chceme určit polohu s přesností 5 – 50 mm. Použitá metoda na rozdíl od dříve popsaných metod je založena na statistické analýze.

Relativní měření vychází z předpokladu, že současně měří nejméně dva GPS přijímače. Je podobná diferenční metodě měření která byla popsána v kapitole 4.5.

Referenční přijímač je postaven na stanovisku s určenými nebo známými souřadnicemi. Druhý přijímač se pohybuje po podrobných bodech. Mluvíme o podrobném (rover) přijímači. Počítají se základní mezi referenční a podrobnou stanicí.

Základní postup je stejný jako předešlý, měření vzdáleností od čtyř družic a výpočet polohy z těchto vzdáleností.

Velký rozdíl je však v tom, jak jsou tyto vzdálenosti určeny. V tomto místě si musíme definovat proměnlivé části GPS signálu.

**Nosná vlna.** Sinusové vlnění na frekvenci L1 a L2 vytvářené družicí. L1 vlnění je generováno o frekvenci 1575,42 MHz, L2 vlnění o frekvenci 1227,6 MHz.

**C/A kód** je modulován na nosné vlně L1 s frekvencí 1,023 MHz

**P- kód** je modulován na obou nosných vlnách L1 a L2 s frekvencí 10,23 MHz.

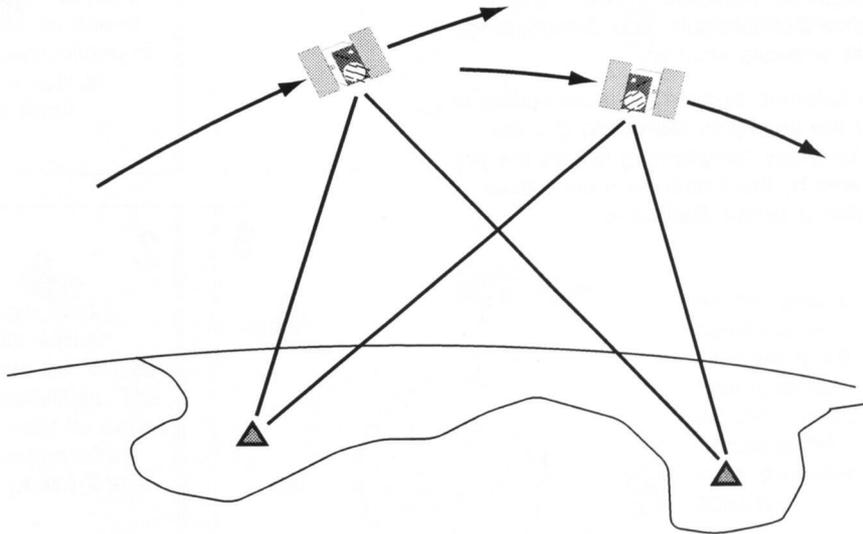
#### 3.6.1 Využití fázových měření

Fáze nosné vlny se používá, protože lze zajistit mnohem větší přesnost měření k družicím, než mohou kódová měření pomocí C/A kódu nebo P-kódu. Nosná vlna L1 má délku 19,4 cm. Když určíme počet celých vlnových délek mezi přijímačem a družicí, určíme velmi přesně vzdálenost k družici.

### 3.6.2 Dvojitá diference

Základní chybou, když určujeme polohu jedním přijímačem, je nepřesnost hodin na družici a v přijímači. Cestou k odstranění této chyby je technika známá jako dvojitá diference.

Mějme dva GPS přijímače a měřme na dvě různé družice, eliminovat chybu družicových hodin se nám podaří za předpokladu, že chybu hodin přijímače známe s přesností dostatečnou ke správnému výpočtu geometrické vzdálenosti.



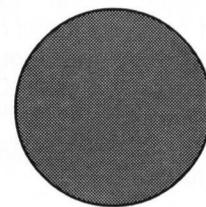
Obr. č. 3.17: Dvojitá diference

### 3.6.3 Ambiguity a jejich řešení

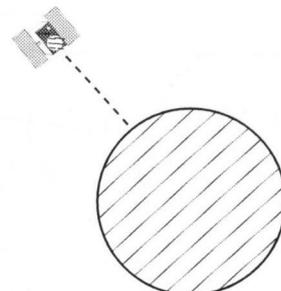
Po odstranění chyby hodin dvojitou diferencí, můžeme určit celý počet vlnových délek mezi družicí a anténou přijímače. Problémem je, že je příliš mnoho odhadů možných hodnot ke každé družici. Toto řešení jsou ambiguity. Statistickými metodami můžeme vyřešit ambiguity jako nejpravděpodobnější řešení.

Na následujících obrázcích je ukázáno, jak tato statistická metoda pracuje. Některé komplikace procesu jsou zanedbány, ale obrázky tuto metodu dobře představují.

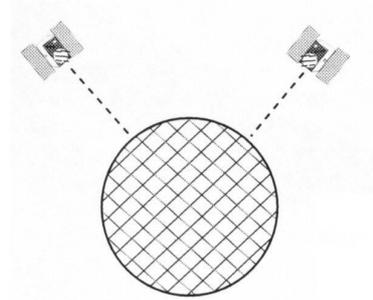
1. Diferenciální kód se použije k získání přibližné polohy. Přesné řešení musí ležet uvnitř tohoto kruhu.



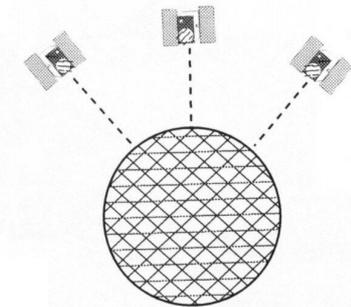
2. Řada celých vln od jedné družice protíná kružnici jak uvnitř tak vně. Přesný bod musí ležet na jedné z linií vytvořené celou vlnou uvnitř této kružnice.



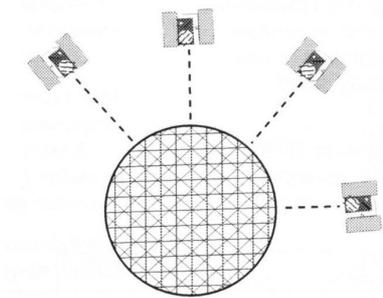
3. Když je zaměřen druhá družice, vytvoří se druhá řada celých vln. Bod musí ležet na průsečíku obou soustav čar.



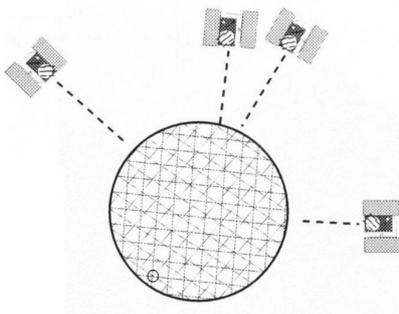
4. Přidáním třetí družice se dále zúží řešení, které bude řešení ležet v průsečíku všech tří linií.



5. Přidáním čtvrté družice se počet řešení dále zúží.



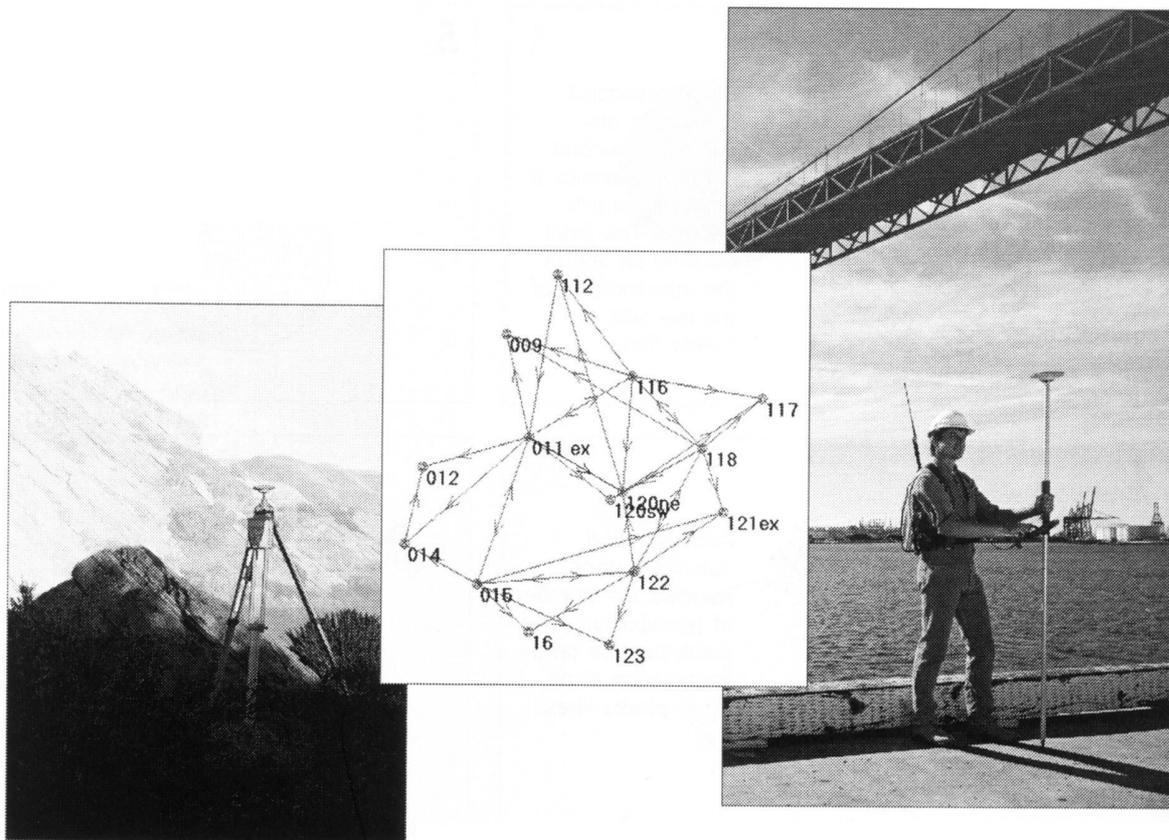
6. Jak se mění uspořádání družic, budou mít tendenci se otáčet kolem jednoho bodu, který bude nejpravděpodobnějším řešením ambiquity.



### 3.7 Geodetická měření s GPS

Pravděpodobně pro geodety a inženýry jsou více důležité praktické zkušenosti s využitím GPS než teorie GPS.

Jako jakýkoli nástroj, i GPS je pouze takové, jaký je operátor. Správný plán a příprava všech podstatných složek úspěšného měření, i uvědomění si schopností a omezení GPS.



Obr. č. 3.18: Geodetické využití GPS

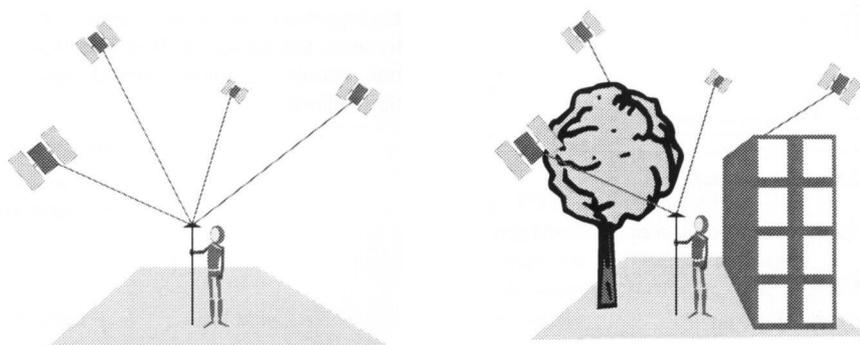
### 3.7.1 Výhody GPS

GPS má četné výhody proti klasickým měřickým metodám:

- Není nutná viditelnost mezi body
- Lze ji použít v jakoukoliv denní dobu a při jakémkoliv počasí
- Naměřené výsledky mají velmi vysokou geodetickou přesnost
- Většina prací může být provedena v kratším čase a s méně lidmi.

### 3.7.2 Omezení GPS

Aby GPS pracovalo, je nutné, aby GPS anténa mohla přijímat signál od nejméně 4 družic pohybujících se 15° nad obzorem. Současně nesmí být družicový signál blokován vysokými budovami, stromy aj. Kromě toho nelze měřit GPS uvnitř staveb, v podzemí apod. Je tedy obtížné používat GPS v centrech měst nebo v lese.



Obr. č. 3.19:  
Podmínky použití  
GPS

Tato omezení musíme nahradit klasickým měřením elektronickými tachymetry nebo jejich kombinací s GPS.

### 3.7.3 Metody měření

Existuje několik metod měření, které se mohou použít většinou měřických GPS přijímačů. Měřič může volit následující aplikace:

**Statická metoda** – Používá se pro měření dlouhých základen, v geodetických sítích, při studiu pohybů tektonických ker apod. Nabízí vysokou přesnost u dlouhých základen, ale je poměrně pomalá.

**Rychlá statická metoda** – Používá se ke zřízení podrobného bodového pole, zhušťování bodového pole atd. Nabízí vysokou přesnost u základen do 20 km a je rychlejší než statická metoda.

**Kinematická metoda** – Používá se k podrobnému mapování a měření řady bodů v rychlém sledu. Velmi účinnou cestou změření více bodů, je uzavření do smyčky. Jestliže se při měření vyskytnou překážky jako mosty, stromy, vysoké domy atd. a příjem družicových signálu klesne pod 4, musí se přijímač znovu inicializovat po dobu asi 5 – 10 minut. Patří sem STOP and GO metoda, kinematická metoda s inicializací a kinematická metoda On the Fly bez inicializace.

**RTK** – Kinematická metoda v reálném čase používá rádiové spojení k vysílání družicových dat z referenční stanice na podrobnou stanici. To dovoluje vypočítat a zobrazit souřadnice v reálném čase, kdy se měření provedlo. Používá se podobně jako kinematická metoda. Měřit lze jak ve WGS84 souřadnicích, tak i v národních souřadnicových systémech, lze dokonce i vytyčovat body podle zadaných souřadnic.

### 3.7.4 Technická data GPS přijímačů Leica systému 300 a 500

V dalším budou uvedena základní technická data GPS přijímačů, kterými je vybaven Institut geodézie a důlního měřictví na VŠB TU Ostrava.

Přijímač	SR399	SR510	SR530
Typ přijímače	Dvou frekvenční, geodetický	Jedno frekvenční, měřický	Dvou frekvenční, geodetický, RTK
Metody měření	Statická, Rychlá statická, Stop and Go, Kinematická, On the Fly	Statická, Rychlá statická, Kinematická, DGPS	Statická, Rychlá statická, Kinematická, RTK, DGPS
Měření na L1	9 kanálů, fázová měření C/A-kódu, korelace P- kódu	12 kanálů, fázová měření C/A-kódu, korelace P- kódu	12 kanálů, fázová měření C/A-kódu, korelace P- kódu
Měření na L2	9 kanálů, fázová měření P, podpora řešení P-kódu při AS	není	12 kanálů, fázová měření P, podpora řešení P-kódu při AS
Standardní anténa	Součást senzoru SR399	AT501	AT502
Přesnost měření při postprocesingu	Přesnost v poloze = přesnost základny, přesnost výšky = 2xpoloha		
Statická	5mm+1ppm	Nepoužívá se	3mm+0,5ppm
Rychlá statická	5-10mm+1ppm	5-10mm+1ppm	5mm+1ppm
Stop and Go	10-20mm+1ppm	Nepoužívá se	Nepoužívá se

Přijímač	SR399	SR510	SR530
Kinematická	10-20mm+1ppm	10-20mm+1ppm	10mm+1ppm
Navigace	50cm	30cm	30cm
Přesnost měření v reálném čase a DGPS/RTCM	Přesnost v poloze = přesnost základny, přesnost výšky = 2xpoloha		
Statická po inicializaci	Nepoužívá se	Nepoužívá se	5mm+2ppm
Podrobná po inicializaci	Nepoužívá se	Nepoužívá se	10mm+2ppm
Navigace a DGPS/RTCM	Nepoužívá se	30 cm	30 cm
Baterie	12V/7Ah - 6hod	2x6V/3,6Ah – 7,5hod	2x6V/3,6Ah – 6hod
Paměťová karta PCMCIA	2MB	16MB	16MB
Vnitřní paměť	1MB	Není k dispozici	Není k dispozici

Další podrobnosti o uvedených GPS přístrojích a metodách měření jsou uvedeny v manuálech přístrojů a metodice měření s nimi a další odborné literatuře:

*GPS - System 300*, Manuál, Leica AG, Heerbrugg, 1996

*GPS - System 500*, Manuál, Leica Geosystems AG, Heerbrugg, 2000

SCHENK, J. *Návody pro cvičení s přijímači GPS fy Leica*, Učební text pro předmět Speciální geodézie, VŠB-TU Ostrava 1996

SCHENK, J. *Leica – GPS – systém 300*, Učební text, VŠB-TU Ostrava 1999

SCHENK, J. *GPS Systém 500 – Leica Geosystems Měření v reálném čase – cvičení*, Učební text, VŠB-TU Ostrava 2002