



# GNSS – VYUŽITÍ PRO TĚLOVÝCHOVU

LUDEK ŽALUD



## K ČEMU LZE POUŽÍT?

- Analýza tréninku
- Analýza sportovních aktivit
- Navigace při sportovních aktivitách
- Tréninkový deník
- Dlouhodobé sledování výkonnosti
- Porovnání s dalšími sportovci
- Bezpečnost

# CYKLISTIKA

- Ideální pro většinu druhů cyklistiky
- Rutinně využíváno pro hobby i profi
- Navigace, měření výkonnosti





## BĚH

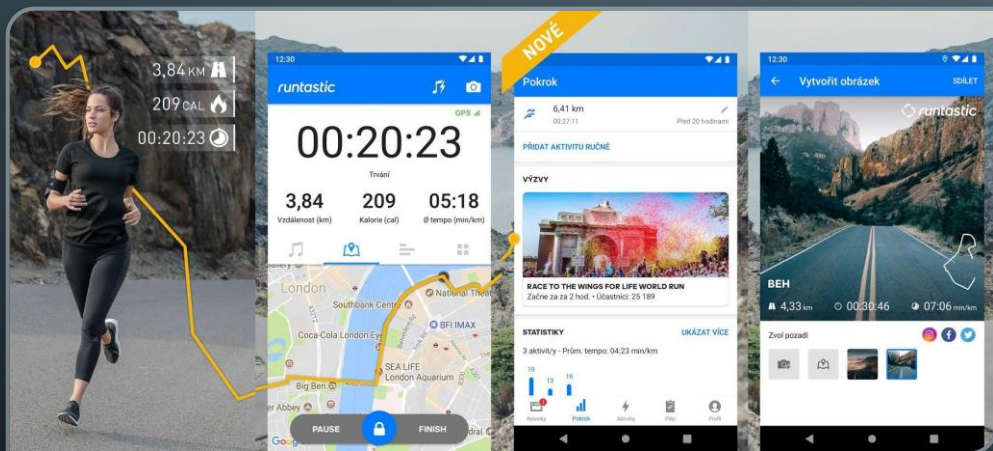
- Nelze používat uvnitř budov
- Nelze dobře používat ve vodě
- Může mít problém v lese, údolích, apod.



# LYŽOVÁNÍ – SJEZD, SKIALPINISMUS

- Rychlosti přes 130 km/h
- Teploty pod  $-20^{\circ}\text{C}$
- Přesnost pod 20 cm
- Nízká hmotnost (pod 500g, 4 hodiny provozu)

# MOBILNÍ TELEFONY



- Obsahují často kvalitní GNSS přijmač
- Jsou skoro vždy připojeny k síti – sdílení dat, porovnání, záloha, bezpečnost, ...

# GNSS A SOUŘADNÉ SYSTÉMY

Luděk Žalud

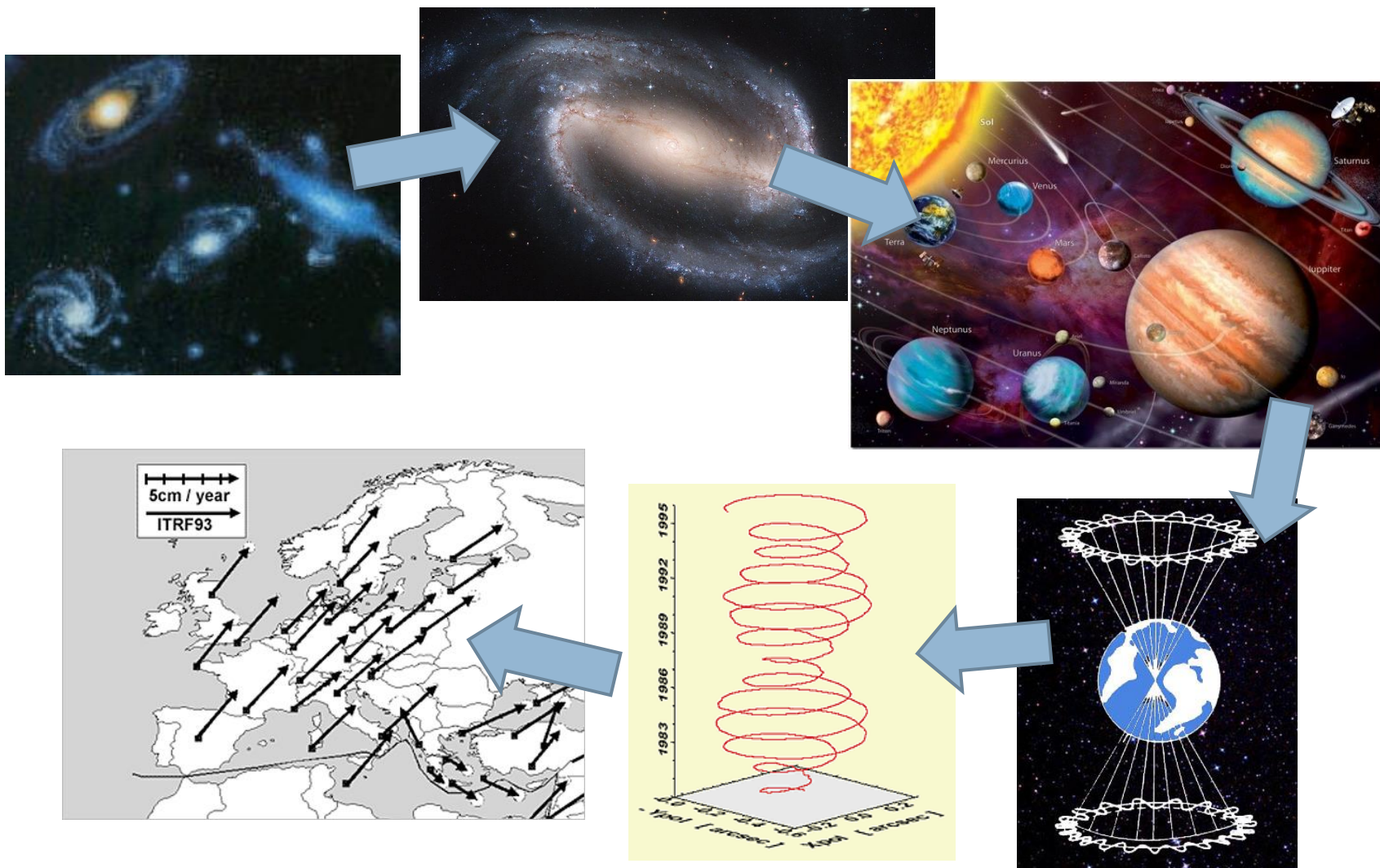
# Otázky

---

- Co je to absolutní určení pozice?
- Vůči čemu mám určovat polohu robotu?



# Absolutní určení polohy?



# Globální prostorové s.s.

- **Země** koule musí být aproximována nějakým tělesem
  - koule
  - rotační elipsoid
  - geoid

# Koule

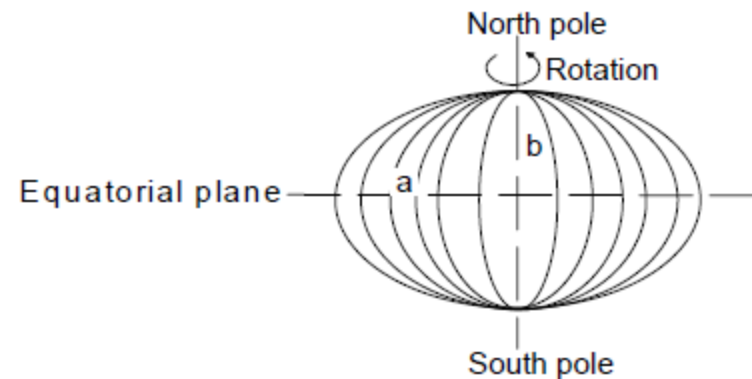
- ▣ **Matematicky jednoduchý tvar**
- ▣ **Přílišné zjednodušení**
- ▣ **Určena pouze po měření**
- ▣ **Chyba oproti geoidu v řádu desítek kilometrů**

# Rotační elipsoid

- Pouze dva parametry
  - ▣  $a$  – rovníkový poloměr
  - ▣  $b$  – polární poloměr
- Používá se dnes nejčastěji pro georeferenční systémy
  - ▣ Latitude – zeměpisná šířka
  - ▣ Longitude – zeměpisná délka
  - ▣ Elevation – výška
- Zero meridian – nultý poledník – prochází bývalou astronomickou observatoří v Greenwichi v Anglii
- Rovník – nejdelší rovnoběžka, čára spojující body s nulovou zeměpisnou šířkou. Průsečnice zemského povrchu s rovinou, procházející středem Země a kolmou k zemské ose.

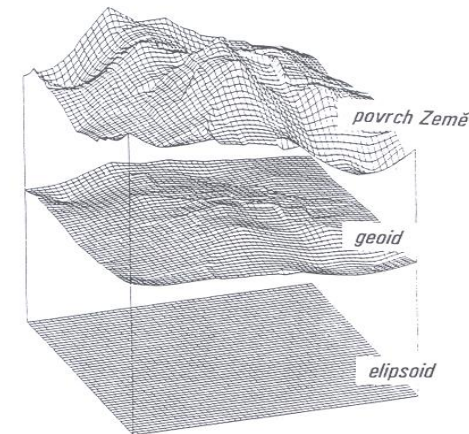
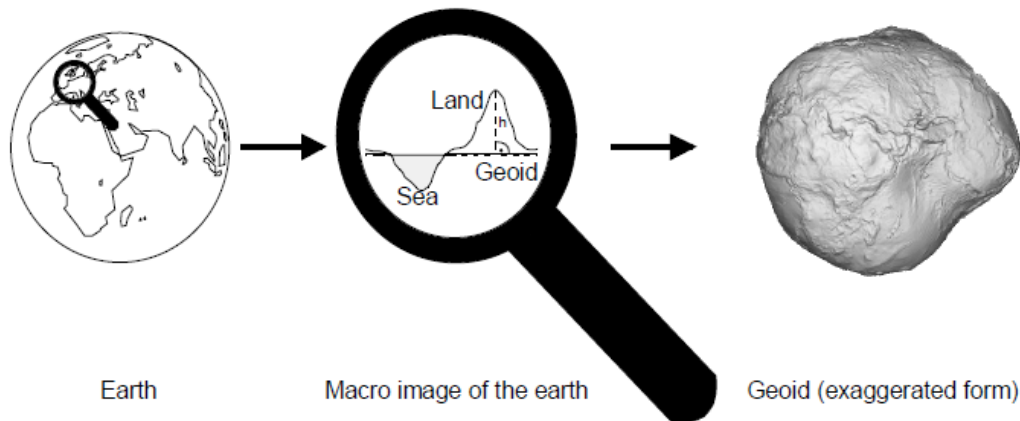
# Rotační elipsoid

- Geoid je matematicky příliš složitý objekt
- Je definován dvěma parametry
  - ▣ Rovníkový
  - ▣ Osa od severního k jižnímu pólu



# Geoid

- Geoid je teoretické těleso, jehož povrch vždy protíná gravitační pole v pravých úhlech
- Odpovídá hladině hypotetického zemského oceánu – problém s určením nuly
- Používá se jako referenční objekt pro měření výšky

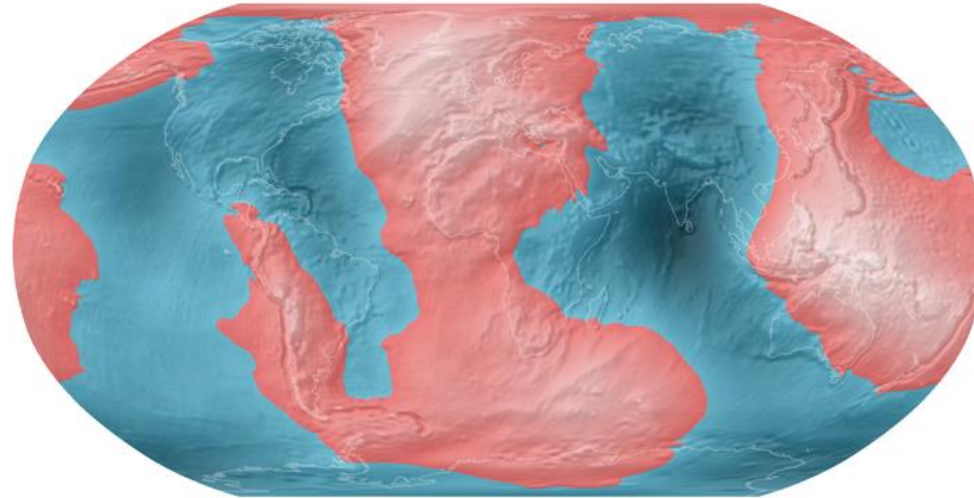


Zdroj: wikipedia.org

# Geoid

- Geoid se vůči zemskému elipsoidu může lišit až o  $\pm 100\text{m}$ .

**Deviation of the Geoid from the idealized figure of the Earth**  
(difference between the EGM96 geoid and the WGS84 reference ellipsoid)



Red areas are above the idealized ellipsoid; blue areas are below.



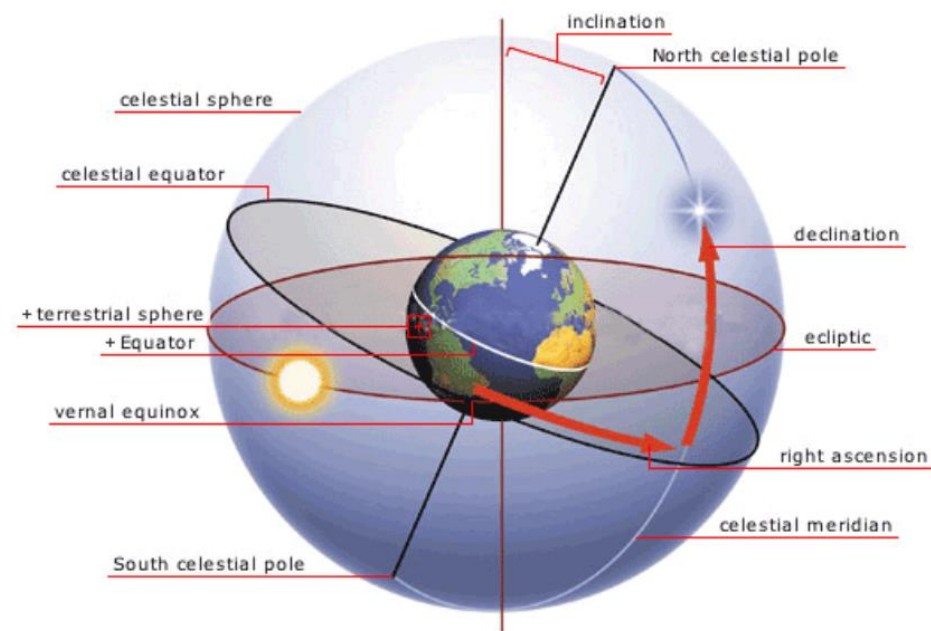
# Souřadné systémy





# ICRS - International Celestial Reference System

- Souřadnicový systém, který není vázán na Zemi
- Referenční rámec je tvořen souřadnicem i objektu na nebeské sféře
- Realizován vzdáleným rádiovými zdroji (kvasary) a dalšími mimogalaktickými objekty
  - ▣ Velká vzdálenost od Země => "pevné body ve Vesmíru"
- Počátek souřadnicové soustavy X, Y, Z leží v barycentru Sluneční soustavy



# Pozemské souřadnicové systémy

## PROSTOROVÉ

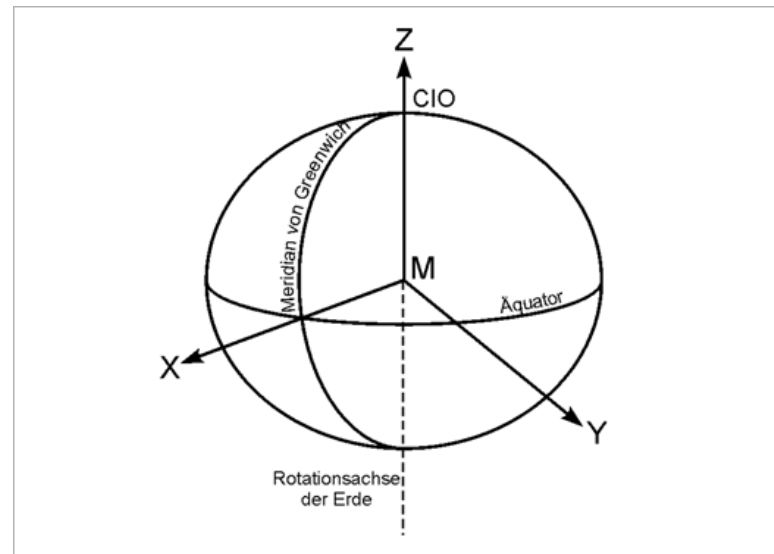
- WGS84
- ETRS89
- ITRS

## ROVINNÉ

- S-JTSK
- UTM

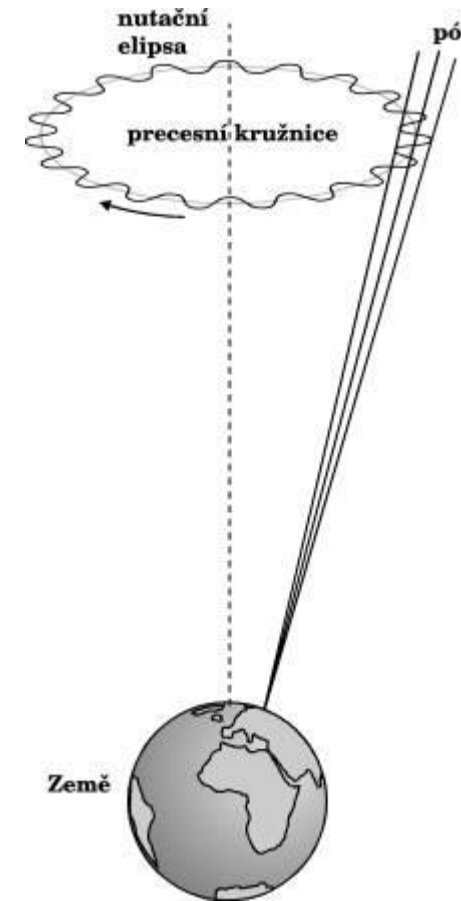
# ITRS - International Terrestrial Reference System

- **Počátek** ve hmotném středu Země
- **Osa z** je totožná s konvenčním mezinárodním počátkem C D
- **Osa x** leží v rovině greenwickského poledníku
- **Osa y** doplňuje systém na pravotočivý
- Elipsoid GRS80
- Referenční rámec realizován pomocí bodů ležících na povrchu Země
- Body mají souřadnice definované jako funkce času



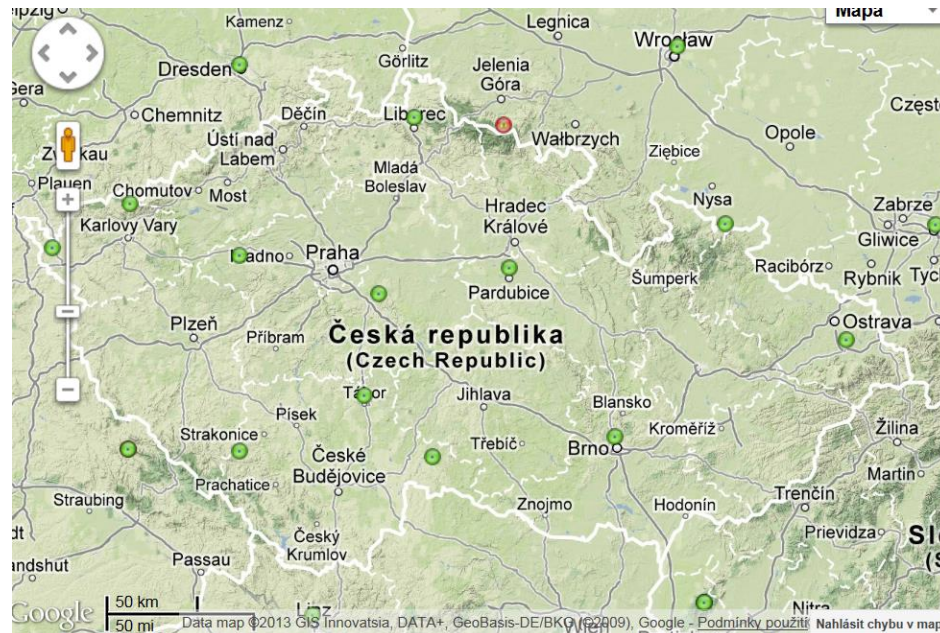
# Vztah ITRS x ICRS

- Nebeský a terestrický systém jsou mezi sebou vázány tzv. parametry orientace Země (EOP – Earth Orientation Parameters).
- Oba systémy jsou časově proměnné.
  - ▣ ITRS díky jevům precese, nutace, pohybům pólů, pohybům kontinentů nebo vlivem variace v rotaci země (změna délky dne).
  - ▣ ICRS nestálostí vzdálených kosmických objektů a dalších vlivy.
  - ▣ Z tohoto pohledu je systém ICRS přesnějším systémem.



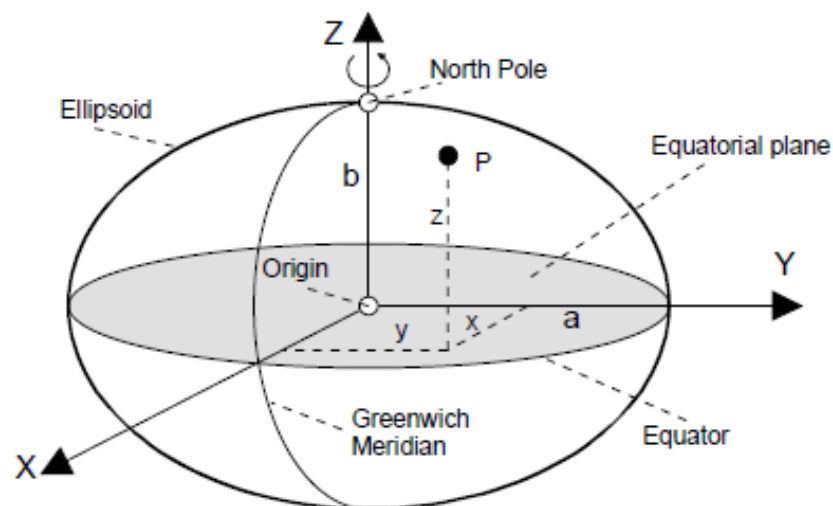
# ETRS89

- Vznikl zakonzervováním pohybu Evropských stanic v epoše 1989.0
- K tomuto systému je také přiřazen referenční rámec ETRF, který má úzkou vazbu na ITRF, pro každou realizaci ITRF existuje příslušný ETRF.
- V současné době Mezinárodní geodetická asociace doporučuje používat referenční rámec ETRF2000, který je vázán na ITRF2000.



# WGS-84

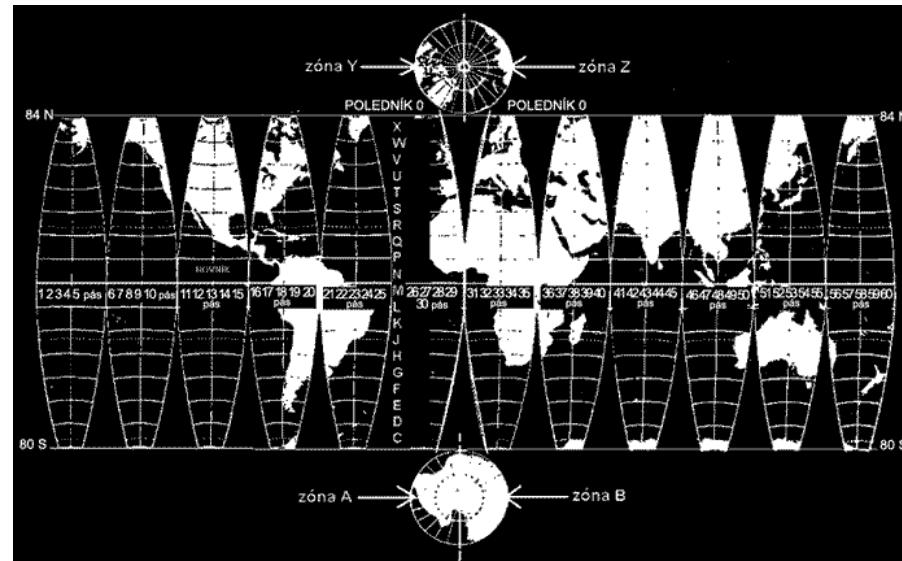
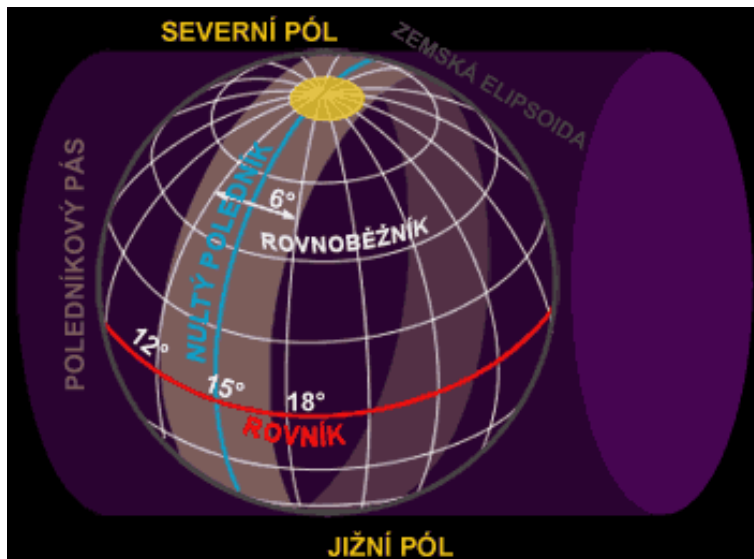
- World Geocentric System 1984
- Geodetický standard vydaný ministerstvem obrany USA
- 3D, geocentricky položený, Kartézské souřadnice, pravotočivý
- Používaný v GPS
  - ▣ Periodicky aktualizovaný, aktualizace označena WGS84(Gnnn)
    - nnn číslo GPS týdne
  - ▣ Rozdíl mezi WGS84 a ITRS dosahují hodnot v řádu cm
    - WGS84(G1150) a ITRF2000



Parameter of WGS-84 Reference Ellipsoids		
Semi major axis a (m)	Semi minor axis b (m)	Flattening (1: ....)
6,378,137.00	6,356,752.31	298,257223563

# WGS-84

- Systém má počátek v hmotném středu Země
- Osa Z je totožná s osou rotace Země v roce 1984.
- Osy X a Y leží v rovině rovníku.
- Počátek a orientace jeho os X, Y, Z jsou realizovány pomocí 12 pozemských stanic se známými přesnými souřadnicemi, které nepřetržitě monitorují dráhy družic systému GPS-NAVSTAR.
- Kartografické zobrazení UTM v šestistupňových pásích.



# WGS84

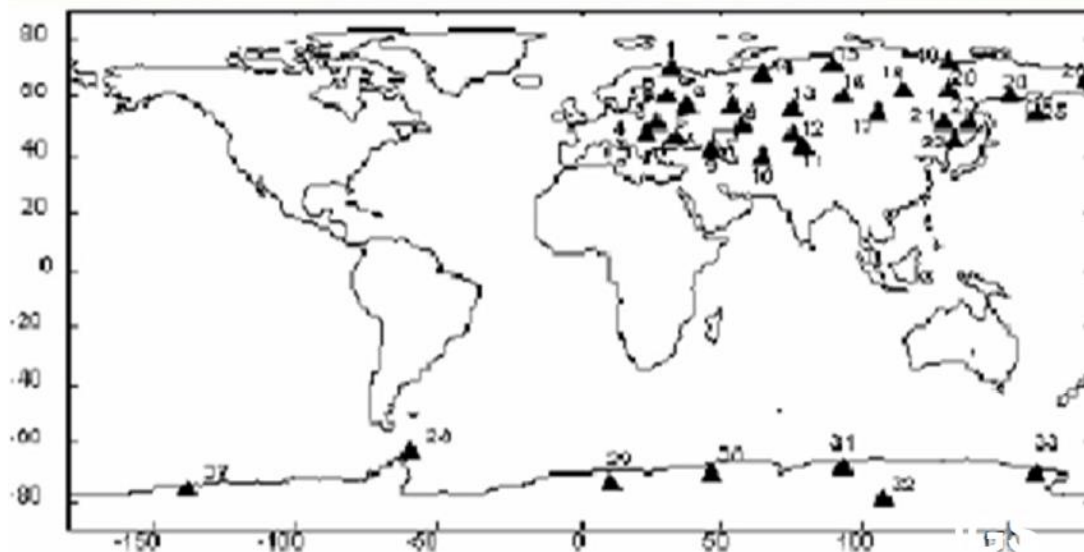
- World Geodetic System – navržen speciálně pro GPS
- Vznikl v roce 1984, byl naposledy upraven v r. 2004)
- Středem je gravitační střed Země
- Nulový poledník umístěn 5,31 arc sec. od Greenwichského nultého poledníku (102,5m)
  - ▣ Rovníková osa 6 378 137m
  - ▣ Polární osa 6 356 752.3142m
  - ▣ Zploštění 21 384km, tj. 0,335%
- V Evropě používána obdoba – ETRS89, pohybuje se s Evropskou deskou, zatímco WGS je vztažen k průměru pohybu desek na Zemi.



# Referenční systém PZ-90

- Používán pro navigační systém GALILEO
- V roce 2007 aktualizován na PZ-90.02
- Transformace mezi ITRF2000 a PZ-90.02 velmi jednoduchá

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{ITRF2000} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{PZ-90.02} + \begin{bmatrix} -0.36 \text{ m} \\ 0.08 \text{ m} \\ 0.18 \text{ m} \end{bmatrix}$$

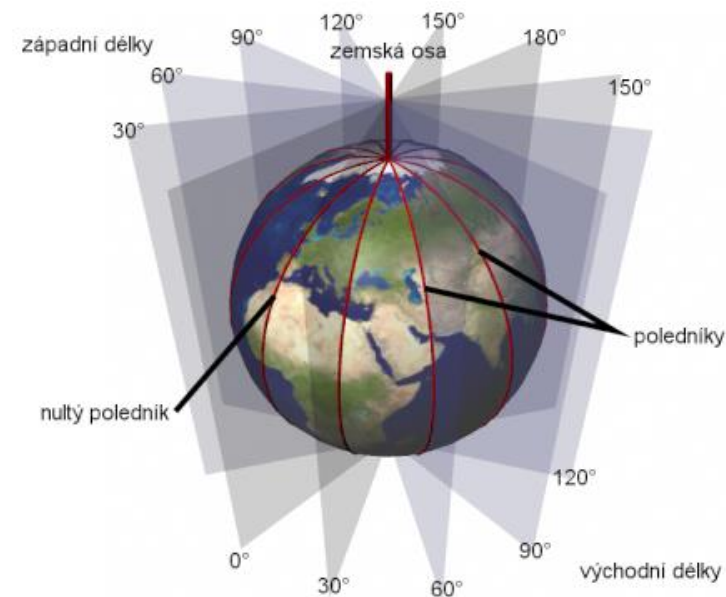
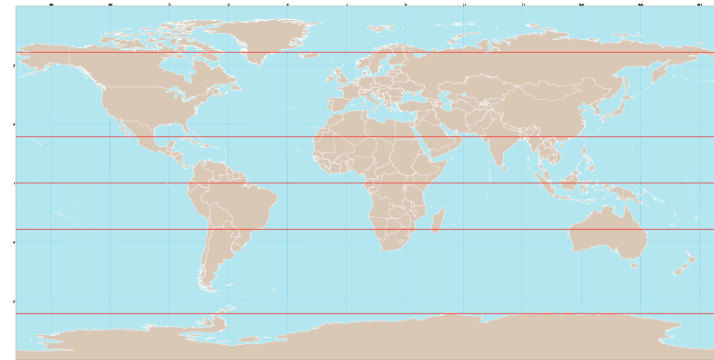


# Srovnání ITRS, WGS-84, PZ-90

	ITRS	WGS-84	PZ-90
Délka hlavní poloosy $a$	6 378 137,0 m	6 378 137,0 m	6 378 136,0 m
Převrácená hodnota zploštění $1/f$	298,257 222 101	298,257 223 563	298,257 839 303
Úhlová rychlost Země	$7\,292\,115,0 \cdot 10^{-11}$ rad/s	$7\,292\,115,0 \cdot 10^{-11}$ rad/s	$7\,292\,115,0 \cdot 10^{-11}$ rad/s
Gravitační konstanta		$3\,986\,004,418 \cdot 10^8$ m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	$3\,986\,004,4 \cdot 10^8$ m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
Rychlost světla ve vakuu		$2,997\,924\,58 \cdot 10^8$ m/s	$2,997\,924\,58 \cdot 10^8$ m/s

# Zeměpisná šířka a délka

- Zeměpisná šířka (Latitude)
  - od severu k jihu
    - Severní polokoule – s.š., angl. N
    - Jižní polokoule – j.š., angl. S
- Zeměpisná délka (Longitude) – východ západ
  - Východní polokoule – v.d.
  - Západní polokoule – z.d.
- Ve stupních



# Výška

- V metrech od referenčního (rotačního) elipsoidu
- Neukazuje tedy skutečnou nadmořskou výšku
- V ČR jde o rozdíl asi + 40 ÷ **48m** vůči geoidu

# Nevýhody globálních s.s. pro robotiku

- Dva údaje jsou ve stupních, jeden v metrech
- Přepočtený rozměr na metry u šířky a délky není stejný a souvisí se zeměpisnou šířkou
  - ▣ V ČR je to přibližně :
    - 1 vteřina šířky – 30m
    - 1 vteřina délky – 20m
- Není možné jednoduše počítat vzdálenosti
- Problémy jsou i se vzájemnými azimuty

# GNSS – co to je?

- Global Navigation Satellite System
- služba umožňující za pomoci družic autonomní prostorové určování polohy s celosvětovým pokrytím
- v současnosti jsou dva plně funkční GNSS - NAVSTAR GPS a GLONASS, brzy bude i Galileo
  
- 1. generace – GPS, GLONASS, podpůrné SBAS, GBAS
- 2. generace – GPS-III, Galileo, Compass

# NAVSTAR GPS

- NAVSTAR GPS ( Navigation System by Timing and Ranging Global Positioning System) – je radiofrekvenční navigační systém pracující v každém počasí s celosvětovým pokrytím
- Provozován americkým ministerstvem obrany – Department of Defence (DoD)



# GPS - historie

- Projekt navazuje na předchozí GNSS Transit (1964-1996)
- Vývoj zahájen v roce 1973
- 1974-1979 – testy na pozemních stanicích, experimentální přijímač
- 1978-1985 – vypuštění 11 družic
- 1979 – návrh rozšířen z původních 18 na 24 družic
- 1980 – začátek vypouštění družic s detekcí jaderných výbuchů (reakce na zákaz jaderných testů mezi USA a SSSR)
- 1990 – válka v Zálivu – dočasně deaktivována selektivní dostupnost (SA) – nedostatek armádních přijímačů
- 17.1.1994 - plná operační dostupnost (umístěno 24 družic)
- 1.5.2000 – zrušení SA



# GPS - princip

- **Přijímač** používá zprávy, které přijme pro zjištění doby letu signálu od satelitu
- **Tyto doby současně** se známou polohou satelitu jsou použity pro zjištění polohy přijímače pomocí triangulace
- **Nezávislý výpočet** může být opakován každých 6s
- **Nepřímě** může být spočtena rychlost a směr – ze změny pozice

# GPS - princip

- **Známe-li čas přijetí zprávy  $t_r$  a čas odeslání zprávy  $t_i$ , pak doba letu signálu je  $(t_r - t_i)$ , vzdálenost překonaná paprskem  $P_i$  se vypočte z:**

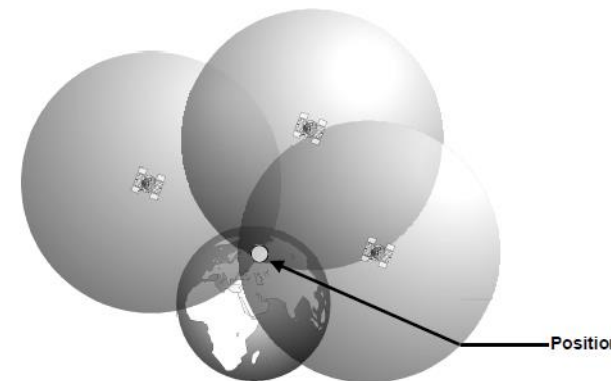
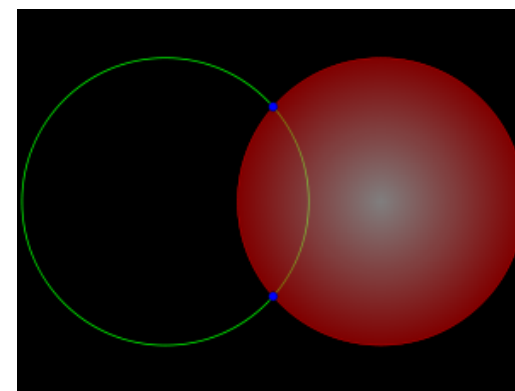
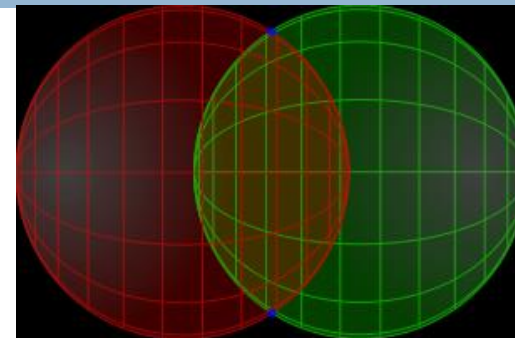
$$P_i = (t_r - t_i) * c,$$

kde:  $i$  ... číslo satelitu

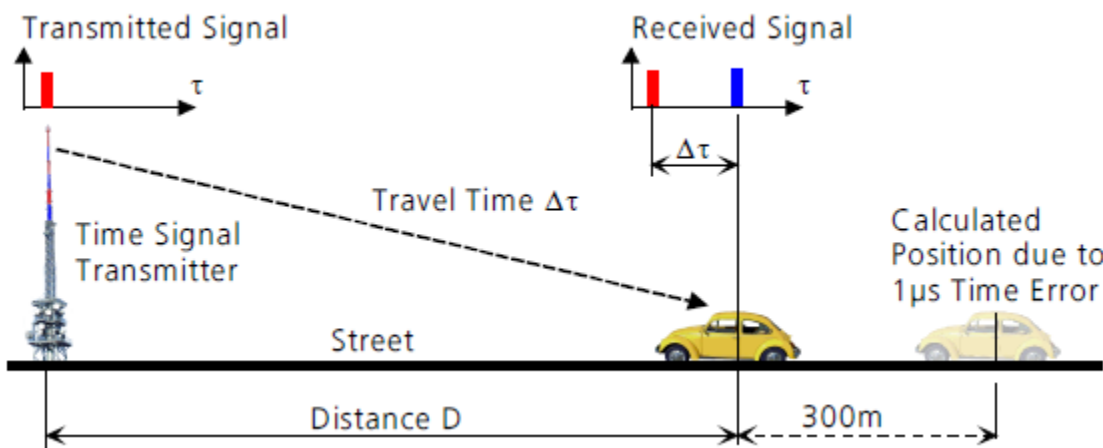
$c$  ... rychlost světla v prostředí

# GPS - triangulace

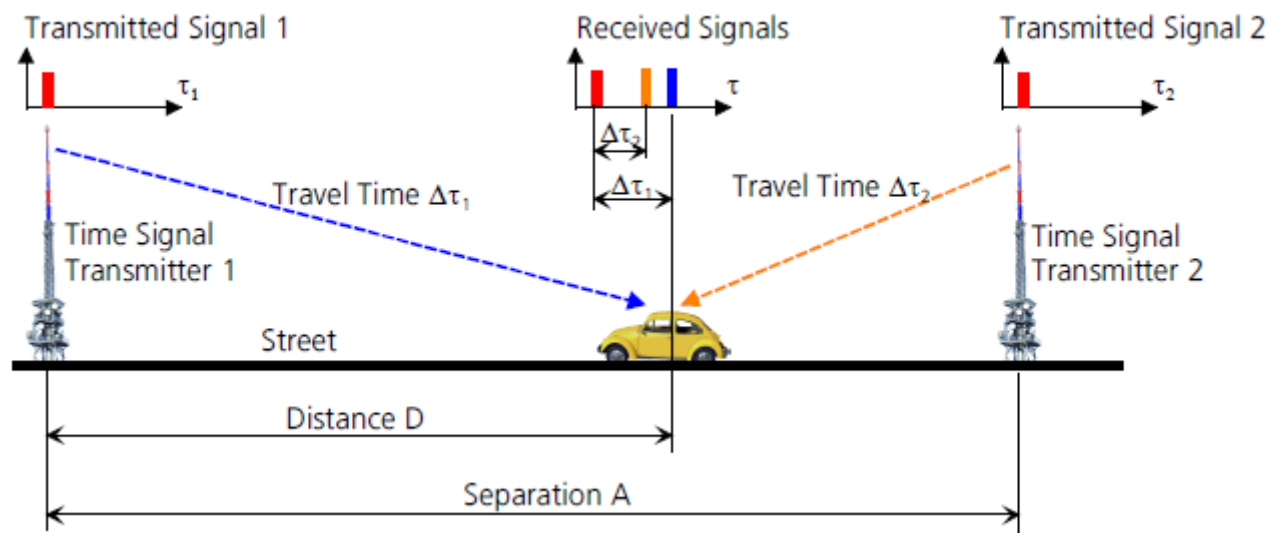
- Pro obecné určení polohy jsou třeba 4 satelity
  - 3 pro určení polohy
  - 1 pro určení času – čas musí být určen a synchronizován velmi přesně – měří se rychlost světla
- Ve speciálních případech stačí méně satelitů – některé z proměnných musí být známy (známá předchozí pozice, známá nadmořská výška, ...)



# Triangulace s časem



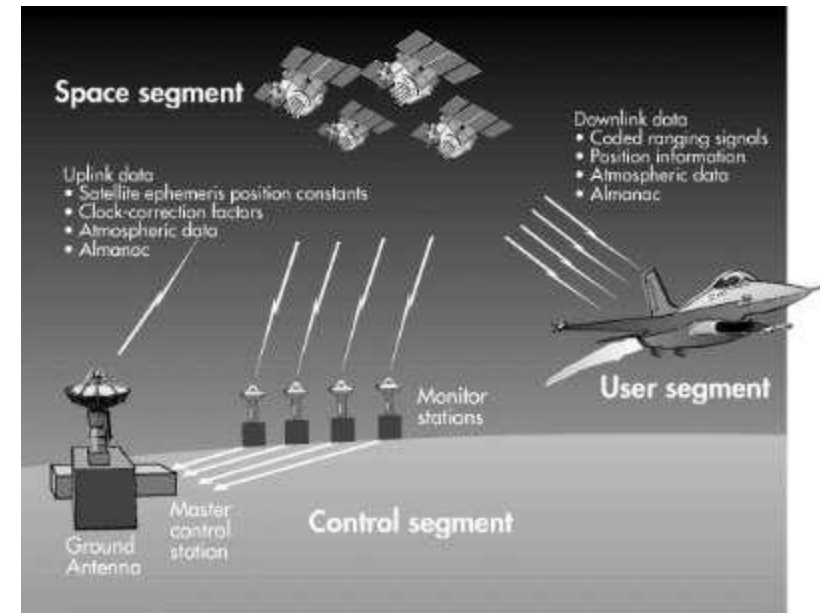
$$D = \Delta\tau \cdot c$$



$$D = \frac{(\Delta\tau_1 - \Delta\tau_2) \cdot c + A}{2}$$

# GPS

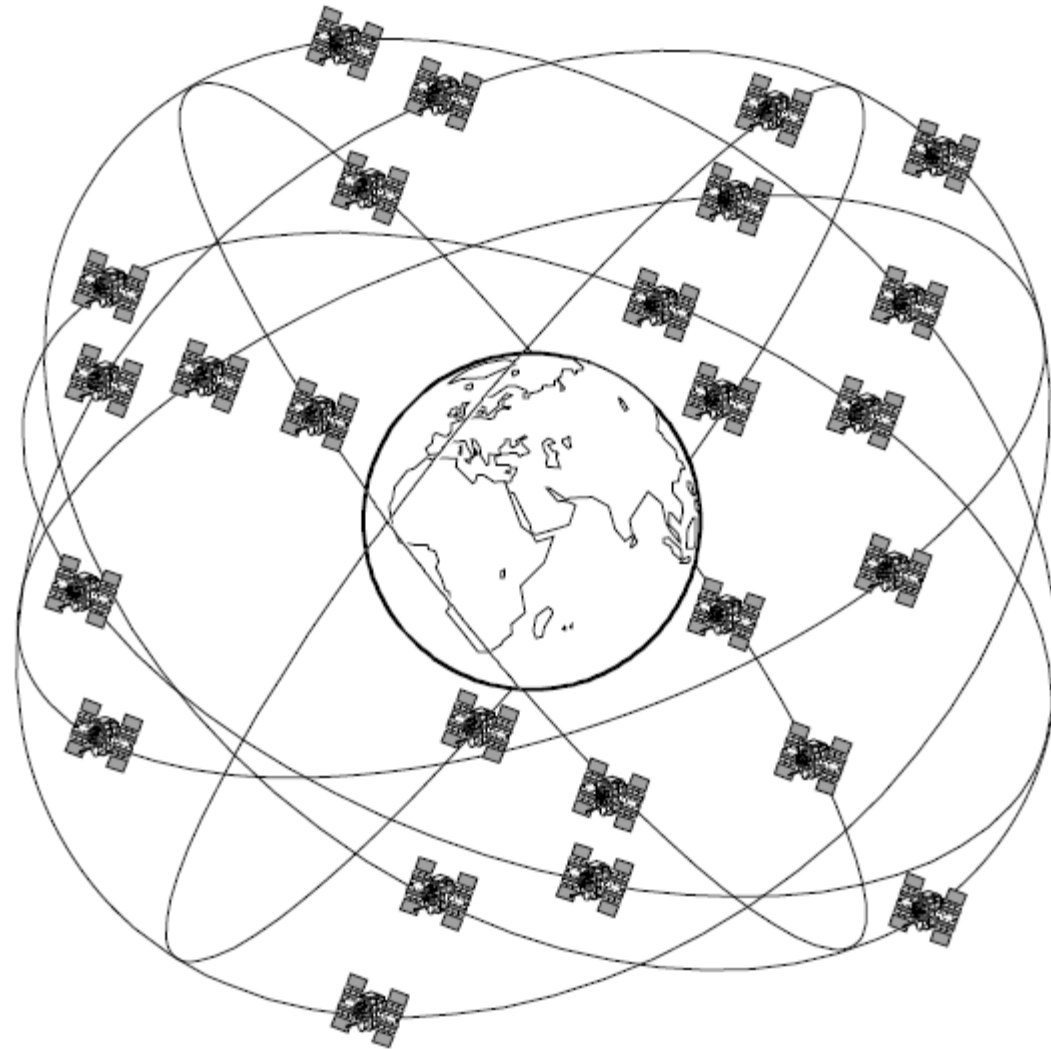
- 3 segmenty
  - Kosmický
  - Řídicí
  - Uživatelský





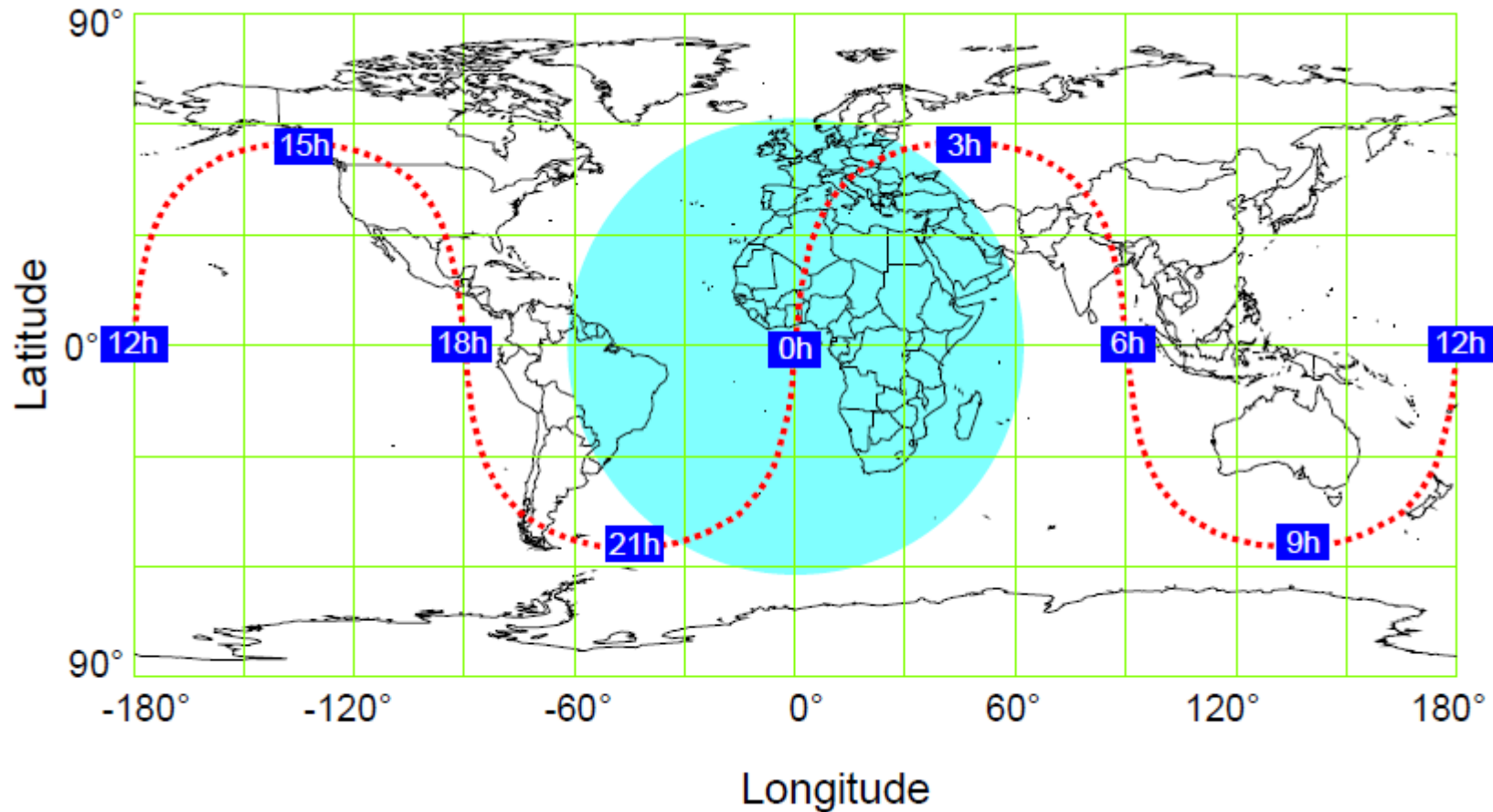
# GPS – kosmický segment

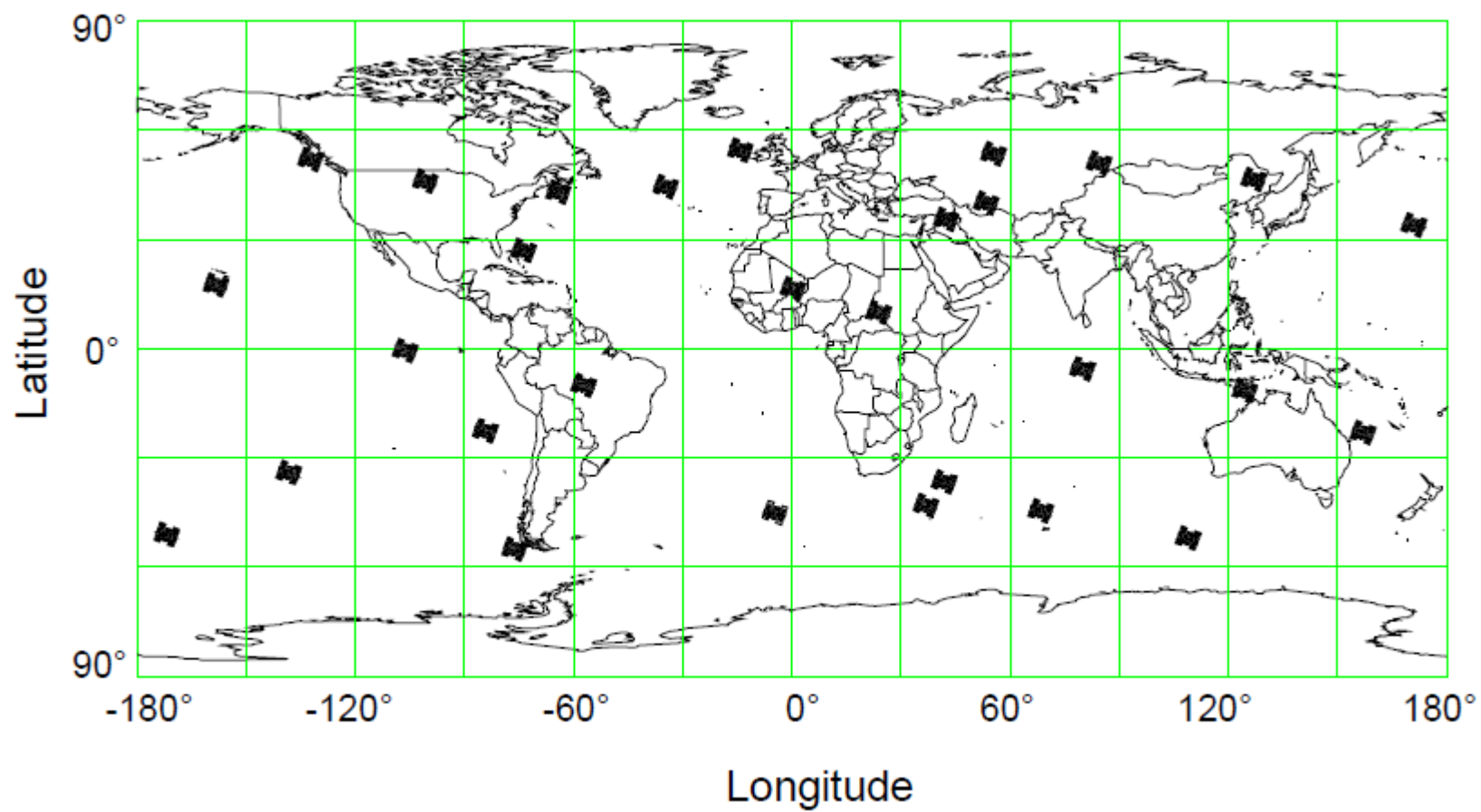
- Původně projektován pro 24 družic (z toho 3 záložní), nyní je používáno 31, což je mezní počet pro současné kódování
- Družice nejsou geostacionární – obíhají Zemi ve výšce 20 200Km na 6 kruhových drahách se sklonem  $55^\circ$
- Dráhy jsou vzájemně posunuty o  $60^\circ$
- Na každé dráze měly být původně 4 pravidelně rozmístěné satelity, nyní je 5-6 nepravidelně uspořádaných
- Doba oběhu družice kolem Země je 11h58m, rychlost 12 000 km/h





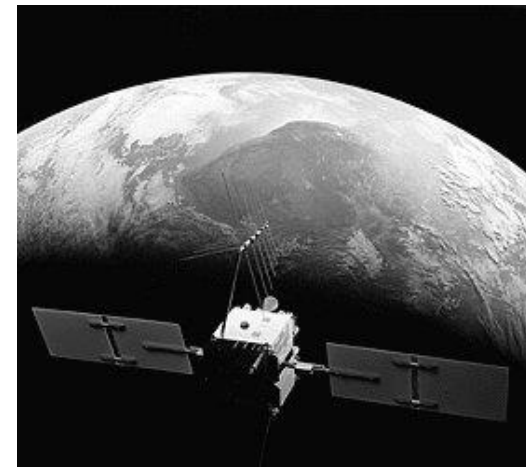
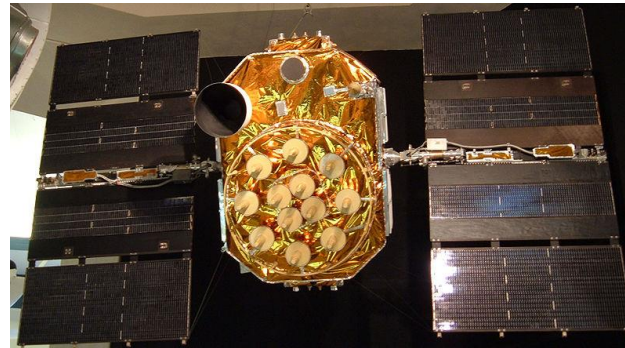
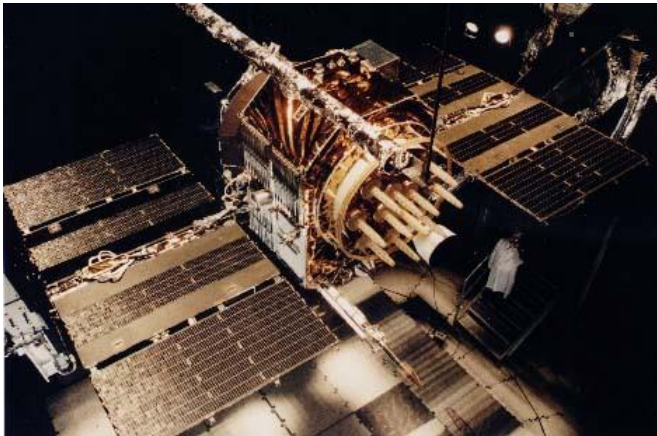
# 24h pohyb satelitu a jeho efektivní dosah





# GPS - družice

- Z každého místa na země kouli jsou viditelné vždy a lespůň čtyři satelity (rozumí se pochopitelně viditelnost a ideálních podmínek).
- Satelity mají i malé vyrovnávací raketové motory pro dorovnávací změny kurzu.



# GPS - družice

- Hmotnost 1 800 kg
- 3-4 atomové hodiny s rubidiovým nebo cesiovým oscilátorem
- 12 antén pro vysílání v L-pásmu (1 000-2 000 GHz)
- Antény pro komunikaci s pozemními kontrolními stanicemi (2 204,4 MHz)
- Antény pro vzájemnou komunikaci mezi družicemi (UHF)
- Optické, rentgenové a elektromagnetické snímače pro detekci jaderných výbuchů a startů balistických raket
- Solární panely a baterie

# GPS – historie a budoucnost - satelity

• Stav k 29. 12. 2009

Block	Launch Period	Satellite launches				Currently in orbit and healthy
		Success	Failure	In preparation	Planned	
I	1978–1985	10	1	0	0	0
II	1989–1990	9	0	0	0	0
IIA	1990–1997	19	0	0	0	11 of the 19 launched
IIR	1997–2004	12	1	0	0	12 of the 13 launched
IIR-M	2005–2009	8	0	0	0	7 of the 8 launched
IIF	2010–2011	0	0	10	0	0
IIIA	2014–?	0	0	0	12	0
IIIB		0	0	0	8	0
IIIC		0	0	0	16	0
Total		58	2	10	36	30

# GPS – řídicí segment



- velitelství - Navstar Headquarters na letecké základně Los Angeles v Californii v USA
- řídicí středisko (MSC, Master Control Station), na letecké základně Schriever USAF v Colorado Springs, 2nd Space Operations Sq.
- záložní řídicí středisko (BMCS, Backup Master Control Station) umístěné v Gaithersburg (Maryland, USA) přebírá cvičně 4× do roka řízení systému, v nouzi je připravena do 24 hodin
- 3 povelové stanice (Ground Antenna), které jsou umístěny na základnách USAF: Kwajalein, Diego Garcia, Ascension Island případně i Cape Canaveral
- 18 monitorovacích stanic (Monitor Stations), které jsou umístěny na základnách USAF
- Řídicí a kontrolní segment monitoruje kosmický segment, zasílá povely družicím, provádí jejich manévry a údržbu atomových hodin. Výsledek jejich monitoringu je zveřejňován v navigační zprávě každé družice a jejich platnost je řádově několik hodin

# Signál - charakteristika

- GPS L1 - 1575.42 MHz
  - SPS (C/A – Coarse Acquisition) nebo SPS (Standards Positioning Services), od bloku IIR-M možnost vysílat vojenský M kód
- GPS L2 - 1227.62 MHz
  - P(Y)-code PPS (Precision Positioning Service), od bloku IIR-M možnost vysílat vojenský M kód a civilní C kód
- GPS L3 – 1381.05 MHz
  - Od bloku IIR vysílá signály, které obsahují data monitorování startů balistických raket, detekci jaderných výbuchů a dalších vysokoenergetických zdrojů
- GPS L4 – 1841.40 MHz
  - Pro měření ionosférické refrakce, je možné dopřesnění pozice měřením zpoždění průchodu ionosférou na dvou kmitočtech
- GPS L5 - 1176.45MHz
  - Plánován jako Safety-of-Life (SoL) signál,
- <http://www.navtechgps.com/extra/GNSSfacts.asp>

# GPS – přenášené informace

- Čas, kdy byla zpráva vyslána
- Přesná orbitální informace daného satelitu (**ephemeris**)
- Stav systému, přibližné orbity všech satelitů (**almanac**)



# Rádiové vysílání

- CDMA – Code Division Multiple Access – stejná frekvence pro všechny družice; používá se PNR (Pseudo Random Numbers) kódování; na základě znalosti tohoto kódu je možné signály od ostatních družic odfiltrovat – používá GPS a Galileo
- FDMA – Frequency Division Multiple Acces – každá družice vysílá na unikátní frekvenci; je třeba velkého počtu frekvencí, vzniká jí interference – používá GLONASS
- TDMA – Time Division Multiple Access – každá družice vysílá v jiném čase – nepoužívá se

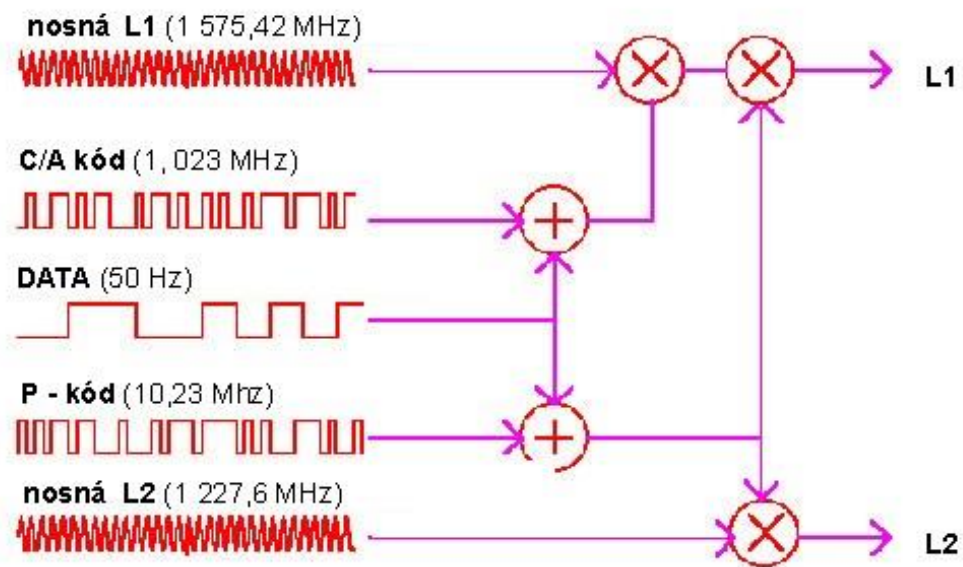
# Kódování – navigační zpráva

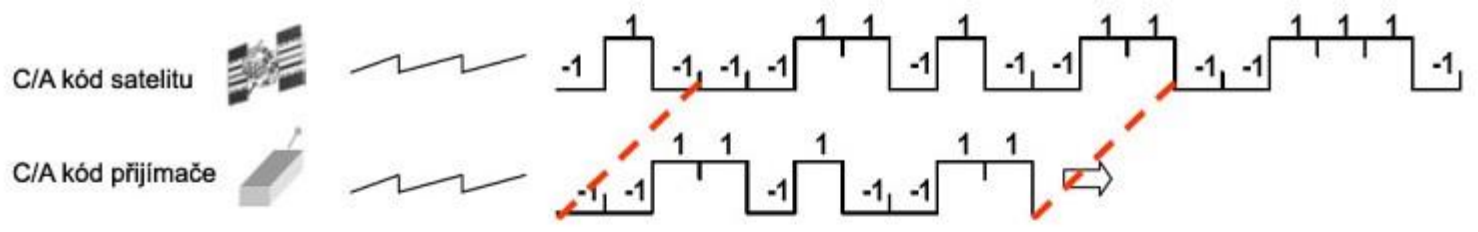
- Signál s nízkou frekvencí přidáný na L1 – satelitní orbity, korekce času, stav satelitu

# Kódování - PRC

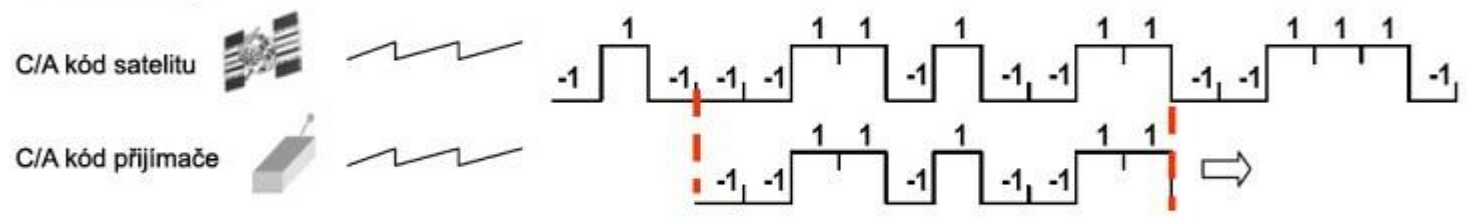
- PRC - Pseudo Random Code – složitý kód v binární soustavě „podobný“ náhodnému
  - ▣ Kód je unikátní pro každý satelit – umožňuje jeho identifikaci korelací a zároveň určení doby šíření signálu, pro všechny satelity na jedné nosné
  - ▣ Je složité tento signál zarušit
  - ▣ Signál je vytvořen tak, aby bylo možné jej „zesílit“ ze šumu – malé antény – za cenu velmi nízkého datového toku
- C/A – Coarse Acquisition – modulován na L1, 1MHz, 1023bitů – civilní použití
- P – Precise – modulován na L1 a L2, 10MHz (mnohem přesněji) – kryptován, pouze pro vojenské přijímače, dekryptovaný se značí Y, je složitější a hůře dosažitelný – vojenské přístroje nejdříve zachytí C/A a potom P. Protože je modulován na dvě nosné, je možné použít sofistikované algoritmy pro eliminaci chyb šířením v atmosféře

- Zpráva má 25 rámců o celkovém trvání 12,5 minut
- Rámec trvá 30 sekund, je složen z 1500 bitů a rozdělen na 5 subrámců po 300 bitech
- Datový tok je 50Hz

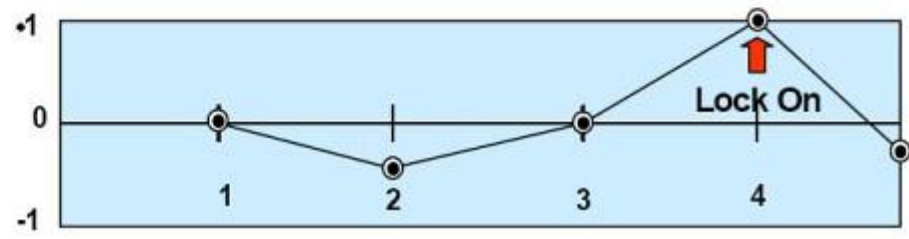




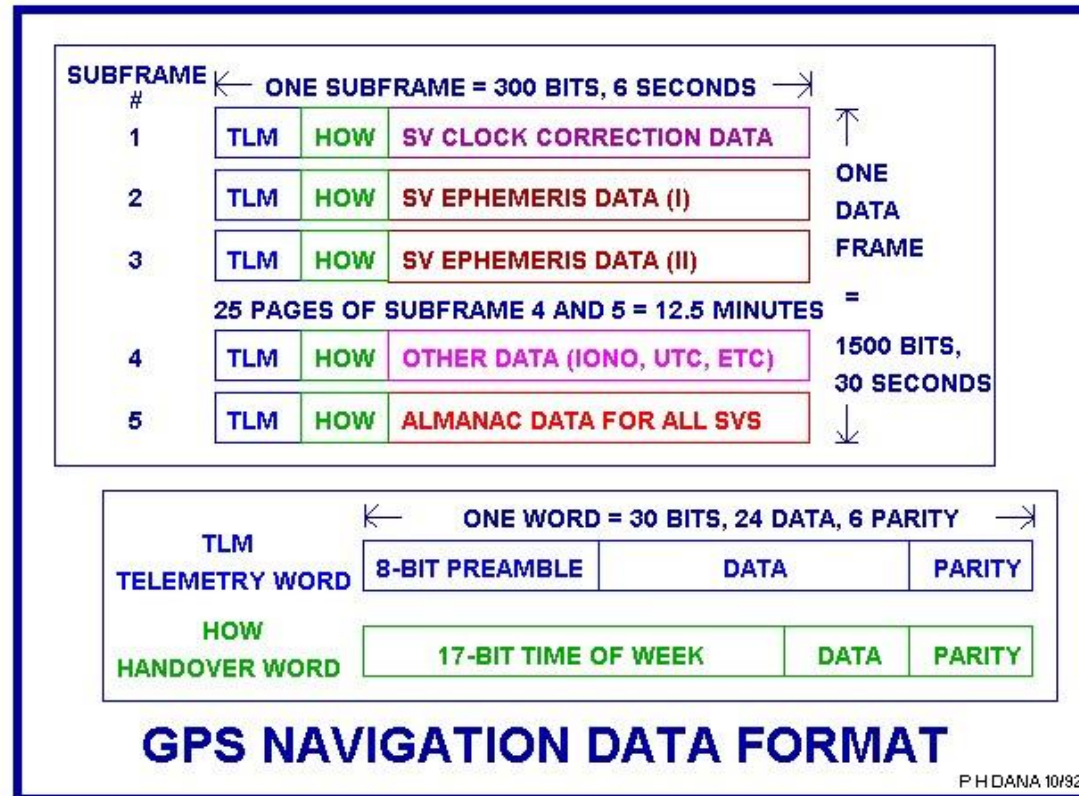
**Posun o 3 bity:**



Průběh hodnot autokorelační funkce:



- Efemerida – astronomické určení polohy tělesa v čase, přesný čas, odhad zpoždění signálu v čase
- Almanac – databáze dalších satelitních stanic



# Určení pozice satelitu

- Díky výšce, ve které se pohybují je jejich pohyb velmi jednoduše popsateľný – almanac
- Department of Defence (DOD) měří velmi přesně aktuální pozici satelitů (výška, pozice, rychlost) – chyby efemeridy (orbity) – gravitační ovlivněním ěsíkem, sluncem, solární radiací – tato informace je pak vysílána ve zprávě

# Zdroje chyb

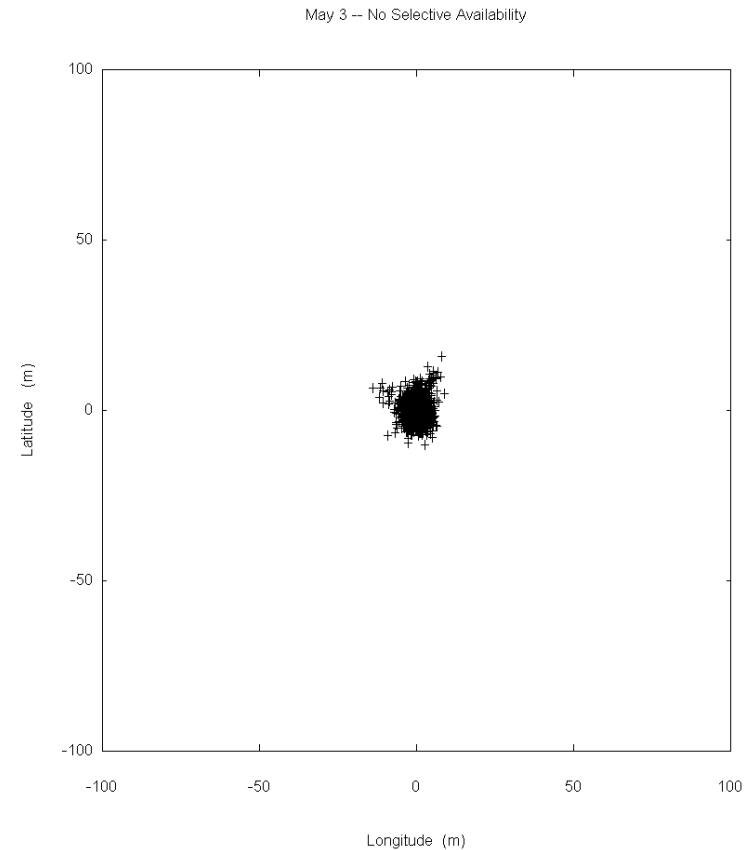
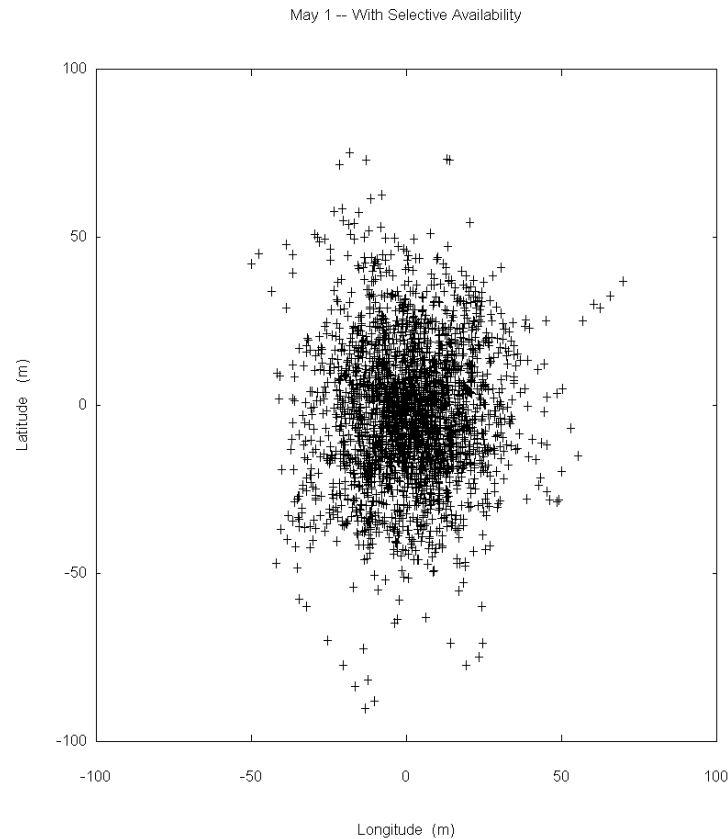
- **Rychlost šíření signálu**
  - Ionosféra (200km) – nabité částice
  - Troposféra (50km) – vodní pára - mraky
- ❖ Modelování typického chování během dne
- ❖ Dvojitá nosná – drahé přijímače
  
- **Multipath**
  - Budovy, příroda
- ❖ Pokročilé zpracování signálu
  
- **Chyby vzniklé na satelitu**
  - Nepřesnosti atomových hodin
- SA – šum přidávaný do určení času, nepřesnosti orbitálních dat –
- ❖ odstraněno 1.5.2000



# Chyby - srovnání

Typická chyba [m]	Standardní GPS	Diferenciální GPS
Hodiny na satelitu	1.5	0
Chyby orbity	2.5	0
Ionosféra	5.0	0.4
Troposféra	0.5	0.2
Šum přijmače	0.3	0.3
Multipath	0.6	0.6

# SA – Selective Availability



- 24h data, květen 2000, Kentucky USA
- pův. plánováno do r. 2006
- [http://www.ngs.noaa.gov/FGCS/info/sans\\_SA/compare/ERLA.htm](http://www.ngs.noaa.gov/FGCS/info/sans_SA/compare/ERLA.htm)

# Pojmy

- **Almanac** - A set of parameters included in the GPS satellite navigation message that a receiver uses to predict the approximate location of a satellite. The almanac contains information about all of the satellites in the constellation.
- **accuracy.** How close a fix comes to the actual position.
- **acquisition.** The ability to find and lock on to satellite signals for ranging.

# GPS - zajímavosti

- Pokud by došlo ke zničení pozemních stanic řídicího segmentu, přejdou družice do režimu AUTONAV (Autonomous Navigation Mode), ve kterém jsou schopny pracovat automaticky až 6 měsíců. Režim nikdy nenastal a neví se jestli a jak byl testován.
- Řídicí segment vydává zprávy GPS NANU (Notice Advisory to NAVSTAR Users), kde jsou zveřejněny odstávky družic, zpětné informace o stavu družic, atd.
- Z USA nesmí být exportovány GPS přijímače bez omezení výšky na 18 km a rychlosti 515 m/s – navádění raket
- Při synchronizaci výpočtech musí být počítáno i s relativistickými efekty (speciální TR - rychlost pohybu satelitu, obecná TR – menší gravitace vlivem vzdálenosti od Země) a s Sagnacovým efektem vlivem otáčení Země

# GPS

- V Česku je nečastěji viditelnost na 8 družic, nejméně na 6, nejvíce na 12 (konec 2008)

# GPS – modernizace - GPSIII

- 1998 iniciováno Bílým domem, 2000 autorizováno U.S. kongresem pod názvem GPSIII
- Nové pozemní stanice, nové satelity s přidáním navigačního signálu
- Vyšší přesnost a dosažitelnost
- Cílové datum 2013
- Civilní L2 code
- Vojenský M code
- Safety of Life L5 – 1176.45MHz – plánováno od IIF
- Nový L1 – zesílení 1.5dB, „lepší“ nosná (pro snazší RTK?), lepší kompatibilita s Galileo L1

# L2C

- 1 227.6MHz
- Od IIR-M
- Zaměřeno na : **měření zpoždění v ionosféře**, vyšší spolehlivost v případě rušení
  - Zpoždění v ionosféře je nyní největším zdrojem chyb
  - Vznikne civilní dvojfrekvenční přijmač
- 2PRN sekvence
  - CM (Civilian Moderate length) – 10 230bitů, každých 20ms
  - CL (Civilian Long length code) – 767 250, každých 1500ms
  - Datový tok 511 500bps, multiplexováno na 1 023 000bps
- CM modulováno navigační zprávou 25bps s forward error correction, CL je bez dat – bude se dobře vyhledávat (24dB „correlation protection“)
- O 2.3dB slabší než L1 C/A
- L2 má o 65% větší ionosférickou chybu

# M-Code

- Především vyšší odolnost vůči rušení a horší prolomitelnost
- Přenášen na L1 a L2 – většina výkonu mimo P(Y) a C/A
- Oproti P(Y) může být používán autonomně, tj. bez C/A
- Spot beam – několik set km v průměru pro použití v určité oblasti – zesílení od 20dB (100x větší výkon)
  - ▣ 2 antény
- Bez spot beam od IIR-M, plně funkčníu Block III



# Diferenciální GPS

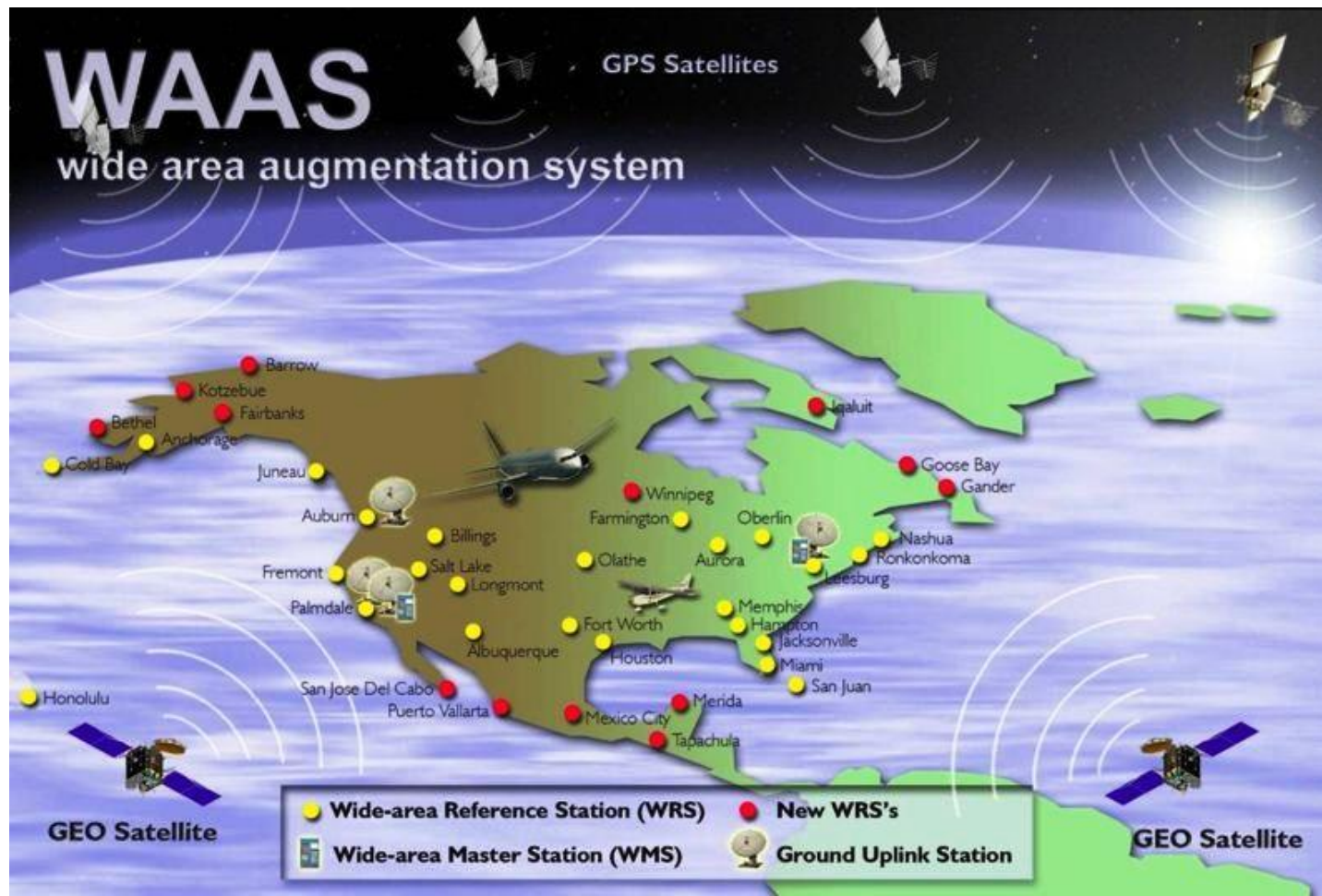
- Jeden ze způsobů jak zpřesnit výsledky GPS
- SBAS, GBAS
- V Česku CzePos – 27 referenčních stanic – kódová měření 0.25m, fázová 0.015m, cena cca 1kč/minuta
- On-line o off-line řešení

# SBAS – Satellite Based Augmentation System

- Rozšíření GNSS systému s velkým plošným rozsahem
- Satelity + několik pozemních stanic
- Na základě iniciativy ICAO (International Civil Aviation Organization) musí přenášet zprávy kompatibilní s americkým WAAS
- Cílem je zvýšit přesnost, dostupnost a spolehlivost
- Satelity jsou geostacionární
- Deviation Correction (DC)

# WAAS – Wide Area Augmentation System

- Severní Amerika a Havaj



# EGNOS – European Geostationary Navigation Overlay Service

- Podpora GPS, Glonass, Galileo
- Provozuje ESA, předstupeň Galileo – část družic v testovacím provozu
- Od 2005, oficiální start (funkční) 1.10.2009
- 3 geostacionární satelity, síť >40 pozemních stanic, 4 kontrolní stanice
- Přibližná přesnost v praxi 2m (oficiálně 7m)
- Nízká elevace (30° ve střední Evropě) – vhodné zejména pro letadla, problémy v urbanistických oblastech -> SISNeT

[http://www.esa.int/esaNA/SEM2HGF280G\\_egnos\\_0.html](http://www.esa.int/esaNA/SEM2HGF280G_egnos_0.html)

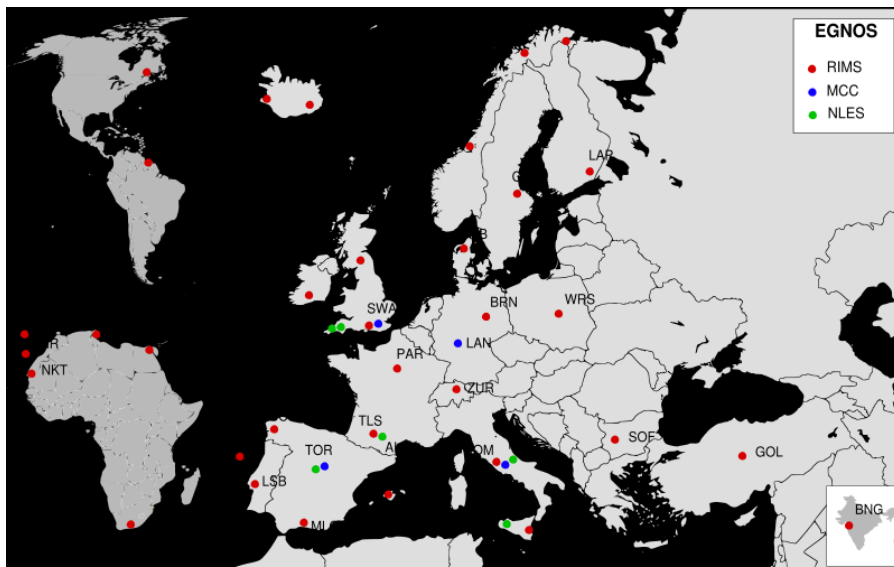
[http://www.egnos-pro.esa.int/IMAGETech/imagetech\\_realtime\\_html.html](http://www.egnos-pro.esa.int/IMAGETech/imagetech_realtime_html.html)

Satellite Name & Details	NMEA / PRN	Location	Stav
<a href="#">Atlantic Ocean Region-East</a>	NMEA #33 / PRN #120	15.5°W	vysílání
<a href="#">ARTEMIS</a>	NMEA #37 / PRN #124	21.5°E	testování
<a href="#">Europe Middle East Africa</a>	NMEA #39 / PRN #126	25°E	vysílání
<a href="#">Indian Ocean</a>	NMEA #44 / PRN #131	64.5°E	nepoužívá se
from 2011: <a href="#">Sirius 5</a> <sup>[2]</sup>		5.0°E	



# EGNOS – pozemní segment

- 34 **RIMS** (**R**anging and **I**ntegrity **M**onitoring **S**tations) – přijímají signál z US GPS satelitů,
- 4 **MCC** (**M**ission **C**ontrol **C**enters) – zpracování dat a výpočet korekcí,
- 6 **NLES** (**N**avigation **L**and **E**arth **S**tations) – přeposílání dat na tři geostacionární satelitní transpondéry.



# EGNOS - zpráva

- Stejná frekvence jako GPS L1, 500bps, FEC (forward error correction)
- Zpráva je dlouhá 250 bitů, z toho 212 data
  - ▣ informace o integritě systému GPS
  - ▣ dlouhodobé odchylky družic od jejich předpokládaných drah
  - ▣ dlouhodobé a krátkodobé odchylky atomových hodin družic
  - ▣ parametry pro ionosférický model pro Evropu
  - ▣ almanach a navigační zpráva EGNOS družice

# RTK

- Real-Time Kinematics
- carrier phase (vs. code phase u běžného měření) – u GPS často označován Carrier-Phase Enhancement (CPGPS)
- Integer ambiguity
- Použitelné pro GPS, GLONASS, Galileo
- Jedna referenční stanice poskytuje korekční data v reálném čase až k centimetrové přesnosti

# RTK - vysvětlení

- Běžná přesnost při korelaci je 1% šířky bitu
- Pro C/A u L1 GPS, kde je šířka bitu  $0,98\mu\text{s}$  je to tedy cca  $0,01\mu\text{s}$ , což představuje asi 3 metry
- U P(Y) kódu je 10x rychlejší spreading code, takže je tato principiální nepřesnost cca 30cm
- U L1 je délka vlny 19cm, přesnost měření vzdálenosti je tedy asi 1,9mm
- POZOR – jde o teoretickou přesnost měření vzdálenosti od satelitů bez všech dalších chyb

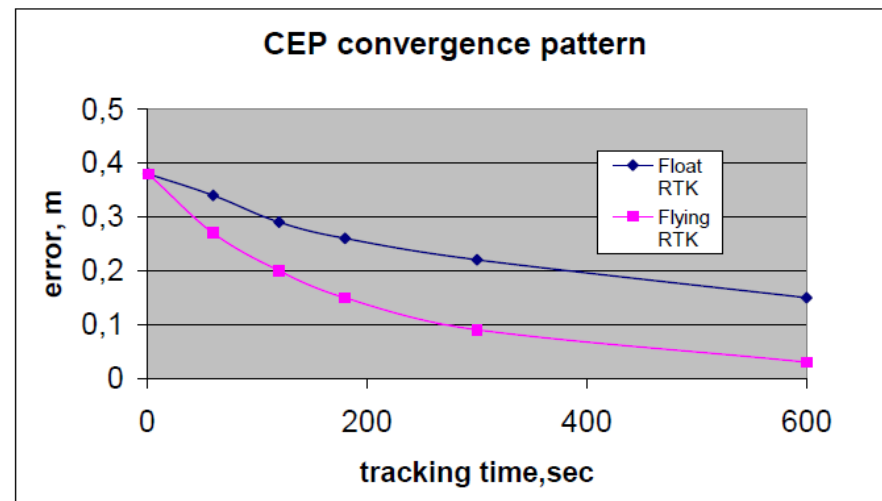


# Chyby – geometrické rozmístění družic

- Chybu měření obecně ovlivňuje rozmístění družic na hemisféře – **DOP** (Dilution of Precision)
  - HDOP – Horizontální
  - VDOP – Vertikální
  - PDOP – prostorový
  - TDOP – časový
  - GDOP – geometrický
- V českých zemích lze očekávat průměrné hodnoty PDOP  $P=1.9$  s rozsahem 1.35-3.6

# RTK - vysvětlení

- Největším problémem RTK je „srovnání“ signálů
- GNSS „spreading“ kódy jsou navrženy tak, aby „srovnání“ bylo snadné a jednoznačné
- Chyby jsou tedy v násobcích vzdálenosti odpovídající délce vlny – cca 19cm – tzv. **integer ambiguity problem**
- Tento je řešen statisticky (komparací s C/A a vzdálenostmi od dalších satelitů) – tj. řešení konverguje
- Typická potřebná doba asi 10 minut

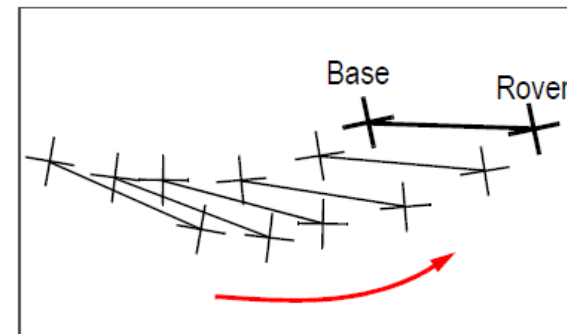
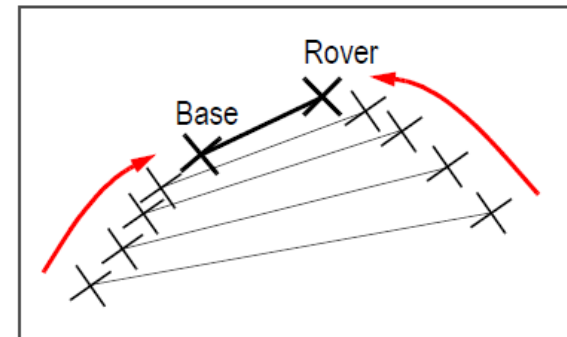
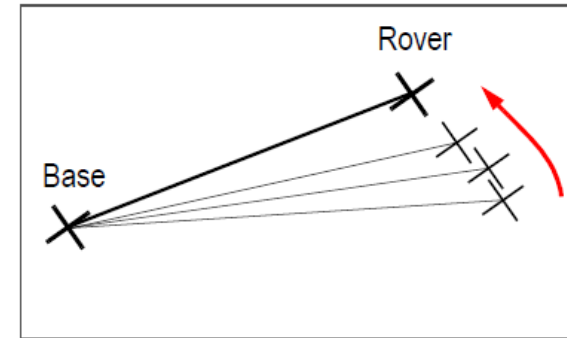


# RTK - vysvětlení

- V praxi jedna základnová stanice (Base Station) a více mobilních stanic (Rover)
- Base station přeposílá fázinosné a ta je v Roveru porovnávána
- Obvyklá maximální přesnost
  - ▣ 1 cm  $\pm$  2 ppm (parts per milion) horizontálně
  - ▣ 2 cm  $\pm$  2 ppm vertikálně
- Virtual Reference Station (VRS) – síť referenčních stanic, stanice je vypočtena – přesnost závisí na četnosti stanic

# RTK - typy

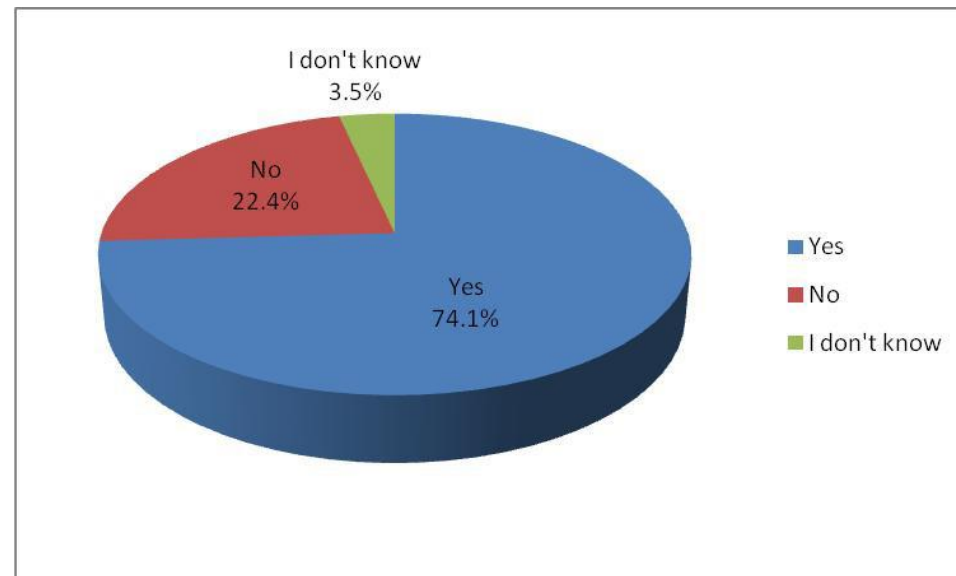
- Poplatné firemnímu řešení
- Magellan
  - ▣ Běžné RTK
  - ▣ Moving Base
    - Teoreticky stejná přesnost jako běžná RTK
  - ▣ Heading
    - Dvě antény připevněny na vozidle, dva přijímače propojeny sériovou linkou
    - Vzdálenost antén musí být známa s milimetrovou přesností
    - Vzdálenost může být v řádu desítek metrů
    - Přesnost je funkcí vzdálenosti – lineárně stoupá se vzdáleností



# RTK

- PDOP
- GPS-only RTK
- RTK potřebuje alespoň 6 satelitů nad 12 stupňů a PDOP (position dilution of precision) menší než 3.0
- Velmi často je používán GLONASS a 2-frekvenční přístroje

***“Do you or your crews experience GPS “brownouts” where you have to wait for the GPS constellation to change before you can continue using your GPS system?”***



# A-GPS

- Použití především v mobilních telefonech – je třeba připojení k síti
- Především zrychlení přímé lokalizace, dále **umožnění příjmu** ve špatných podmínkách
- 2 hlavní přístupy:
  - ▣ Zaslání podpůrných informací
    - Almanac, ephemeris
    - Přesný čas
    - „augmentation“ data ?
  - ▣ Off-board výpočet
    - Server má kvalitní GPS data a dostatečný výpočetní výkon
- Často bývá kombinováno s dalšími systémy, např. triangulace pomocí známých pozic BTS

# GPS - konfigurace

- Cena startu GPS satelitu je cca \$150M
- V současnosti- 30-31 satelitů v operačním nasazení s tím, že některé jsou pouze párovány a nepodávají žádnou další informaci pro lokalizaci (paired orbits), slouží jako záloha – krouží velmi blízko satelitů s největší pravděpodobností se shání
- V současnosti není příliš diskuse o vypouštění dalších satelitů, ale o jejich jiné konfiguraci

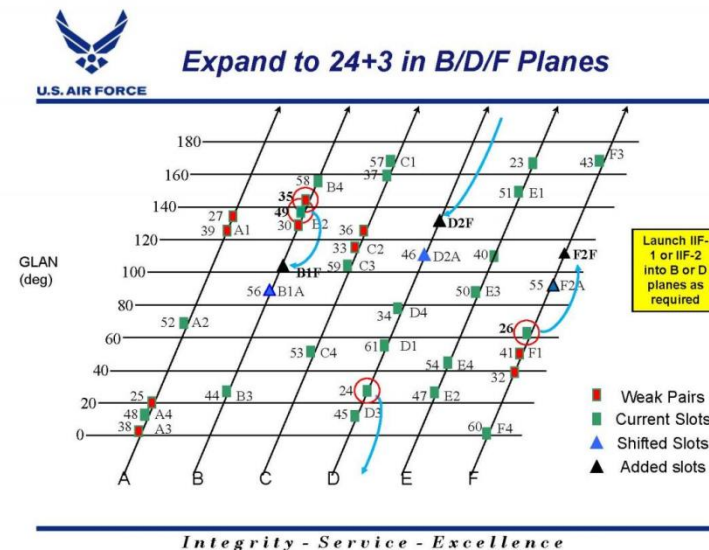
# GPS – konfigurace 24+3

- Začátkem ledna 2010 byla ze strany U.S. Air Force nahlášena změna konfigurace satelitů GPS ze 21+3 na 24+3
- Předpokládaný efekt:
  - ▣ Zlepšené pokrytí v Afganistánu
  - ▣ Více viditelných satelitů – menší brownouty, důležité především pro RTK, kde je potřeba viditelnost alespoň 6 satelitů



# GPS – konfigurace 24 + 3

- Přemístěny jsou „staré“ satelity SVN24, SVN26 (Block-IIA – 1991, 1992) a nový SVN49 (Block-IIRM – 2009, není)
- Doba pro přesun na nové pozice je řádově v měsících
  - ▣ SVN24 – 12 měsíců – 1/2011
  - ▣ SVN49 – 4 měsíce - 5/2010
  - ▣ SVN26 – 3 měsíce – 5/2010
- Nejvíce ovlivněny budou RTK a GIS přístroje, nejméně consumer-grade



# Galileo

- Autonomní evropský GNSS.
- Na rozdíl od GPS a Glonass je řízen CIVILNÍ správou.
- Výstavbu zajišťuje Evropská unie reprezentovaná Evropskou komisí a Ev. Kosmickou agenturou
- Původně mělbýt v provozu od 2010, nyní je spuštění v plánu od r.2020 (konec února 2020 – stále není v plném provozu).
- <https://www.gsa.europa.eu/>

# Galileo

- Plný systém 30 družic (27 operačních, 3 záložní).
- 3 kruhové dráhy ve výšce 23 222 km – na každé z nich jeden záložní satelit.
- Úhel s rovníkem  $56^\circ$ , bez potíží funkční do  $75^\circ$  s.š.
- Přesnost základní služby lepší než 1m (3Q 2019 – přesnost každého satelitu lepší než 0,5 m).

# Galileo



- - E1 1575.42MHz
- E2 1561.098MHz
- E5 1191.795MHz
- E6 1278.75MHz
- 26. 1. 2010 podepsány první tři hlavní sm. buvy na uvedení systém u Galileo do plného provozu
- <http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>

# Galileo

- Předpokládá se lepší přesnost než GPS – přibližně 1 metr
- Politický cíl - systém nezávislý na USA a Rusku – problémy s možností rušit Galileo nezávisle na GPS – původně stejné frekvence, Čína x USA
- Základní přesnost OS – Open Service) bude zdarma, vyšší placená (CS Commercial Service, PRS – Public Regulated Service, SoL – Safety of Life Service)
- 1164-1214 MHz, 1563-1591 MHz
- 2 testovací satelity – GIOVE-A, GIOVE-B, 2012 další dvě družice
- 12. 3. 2013 – první zaměření prvního cíle na Zemi
- 3. 12. 2014 – vystoupení první družice na správnou oběžnou dráhu

# Galileo – druhy služeb

- Základní služba (Open Service – OS) – zdarma
- Komerční služba (Commercial Service – CS) – další dva signály chráněné kódováním (přístupový klíč)
- Veřejně regulovaná služba (Public Regulated Service – PRS) – bezpečnostní služby státu
- Vyhledávací a záchranná služba (Search and Rescue service – SAR) – nouzová lokalizace, možnost oboustranné komunikace

# Galileo – služby

- Dual-frequency (E1 a E5a) – konec ledna 2020 – 41 mob. telefonů umí přijímat, včetně např. Samsung Galaxy Note 10.
- eCall – všechny nově certifikované osobní vozy od 1.4.2018 v EU musí mít; založen na Glonass – přinárazu (alespoň 2 snímače – akcelerometr, předpínač pásů, .. ).
- Search and Rescue Return Link Service (SAR RLS) – testováno v únoru 2020 v Praze – potvrzovací zpráva přes samotný Galileo – 5 minut (max 30 minut). Cospas-Sarsat systém.

# GLONASS

- **ГЛО**бальная **НА**вигационная **СП**утниковая **СИ**стема, tr.:  
*Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistěma*
- Vývoj zahájen 1970, roky 1996-2001 – úpadek, od 2001 znovuobnovení.
- Od r. 2011 plně globální pokrytí
- Nyní 24 satelitů



# Glonass

- L1 1597-1605MHz SPS: bandwidth  $\sim 1.022\text{MHz}$  to 1st sinc nulls, centered at each GLONASS L1 SV frequency.
- L2 1240-1260MHz PPS (on L1 & L2) bandwidth  $10.22\text{MHz}$  centered at each GLONASS L2 SV frequency.

# Doporučená literatura

- Rapant, P.: Družicové polohové systémy. VŠB-TU Ostrava, 2002. 200 str. ISBN 80-248-0124-8
- CZEPOS Česká síť referenčních stanic GNSS

# Odkazy

- CZEPOS - [czepos.cuzk.cz](http://czepos.cuzk.cz)
- <http://www.gpsworld.com>
- <http://www.gpsworld.com/gps/gps-references-6438>
- <http://gge.unb.ca/Resources/HowDoesGPSWork.html>
- <http://www.trimble.com/gps/index.shtml>
- <http://www.insidegnss.com/>
- [http://www.u-blox.com/images/stories/Resources/gps\\_compendiumgps-x-02007.pdf](http://www.u-blox.com/images/stories/Resources/gps_compendiumgps-x-02007.pdf)

# Magellan MB 500 OEM

- \$5,995.00
- PCBA MB 500
  - RTK Base [K]
  - SBAS Tracking [Y]
  - 1 PPS(Timing Pulse Output) [L]
  - Event Marker (Photogrammetry) [E]
  - 10-Hz Position/Raw Data Update Rate [T]
  - Advanced Multipath Mitigation [C]
- <http://earthsurface.com/index.cfm?fuseaction=detail&id=85598&product=169>

# Modul TRIMBLE BD 992-INS

- 336 kanálů na vstup (x2)
- Podpora Glonass a BeiDou
- Opkovací frekvencě až 100 Hz
- Vestavěná INS (tight integration)
- 100x60x12mm, 62g
- Spotřeba typicky 1,5W
  
- <http://www.trimble.com/GNSS-Inertial/BD992-INS-Board.aspx>

