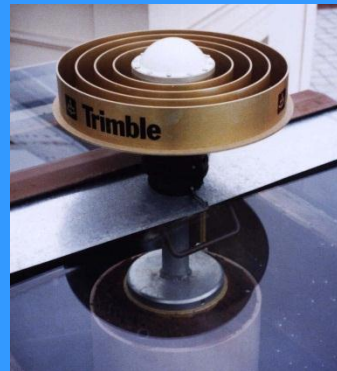


# GNSS



1119 AD



First reference to a compass being used for navigation at sea, by Chinese writer Zhu Yu.

1460



The quadrant, a tool subsequently developed into the sextant, first employed in marine navigation to measure latitude.

1610



Galileo Galilei discovers the first four moons of Jupiter. He realises their motion makes them a kind of clock that can be observed anywhere on Earth, and uses them to help establish longitude more accurately.

1773



Racklever

John Harrison's marine chronometer solves the problem of measuring longitude at sea.

1817



Otto Buchenberger

First gyroscope constructed by Johann von Bohnenberger.

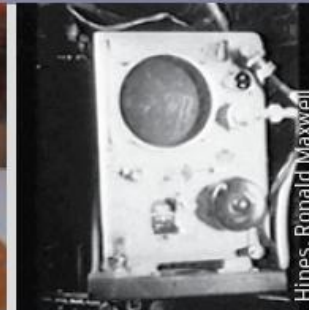
1908



Anschütz im Schnitt

Steel ships make traditional compasses less reliable; first gyrocompass developed.

1942



Hines, Ronald Maxwell

Radio navigation systems developed for aerial warfare during World War II, including the Long-Range Navigation (LORAN) system.

1957



1960



1978



1993



Sputnik launched; study of its signal shows that Doppler shift can be used to derive ground position.

US Transit satellite launched, first in a series delivering Doppler-based ranging.

Navstar 1, the first GPS satellite, is launched.

GPS becomes fully operational, with 24 satellites.

2005



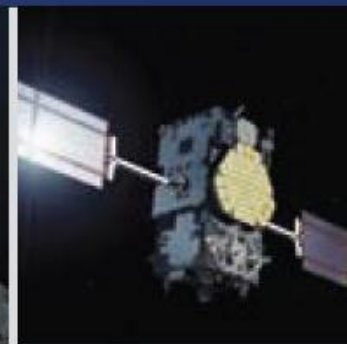
Launch of ESA's GIOVE-A satellite, securing radio frequencies for the upcoming constellation.

2008



Launch of ESA's GIOVE-B satellite, carrying the most accurate atomic clock ever used for satellite navigation.

2011



Launch of the first IOV satellites.

# **GNSS - Global Navigation Satellite Systems**

- souhrnné pojmenování několika již funkčních i nově budovaných družicových navigačních systémů
- slouží zejména k určení polohy a k navigaci – určení směru a rychlosti pohybu
- globální (celosvětové, funkční 24 hod a za jakéhokoliv počasí, přístupné pro kohokoliv kdo má přijímač)

## **Stávající systémy**

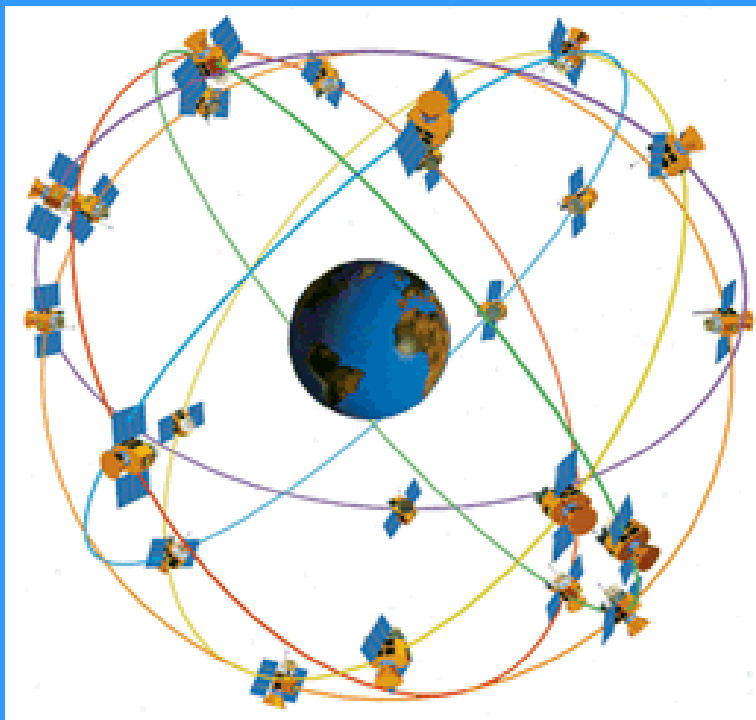
- již funkční: americký NAVSTAR-GPS a ruský GLONASS
- budované: evropský Galileo, čínský Beidou/Compass, resp. indický IRNSS a japonský QZSS.

## Součásti GNSS – tzv. segmenty

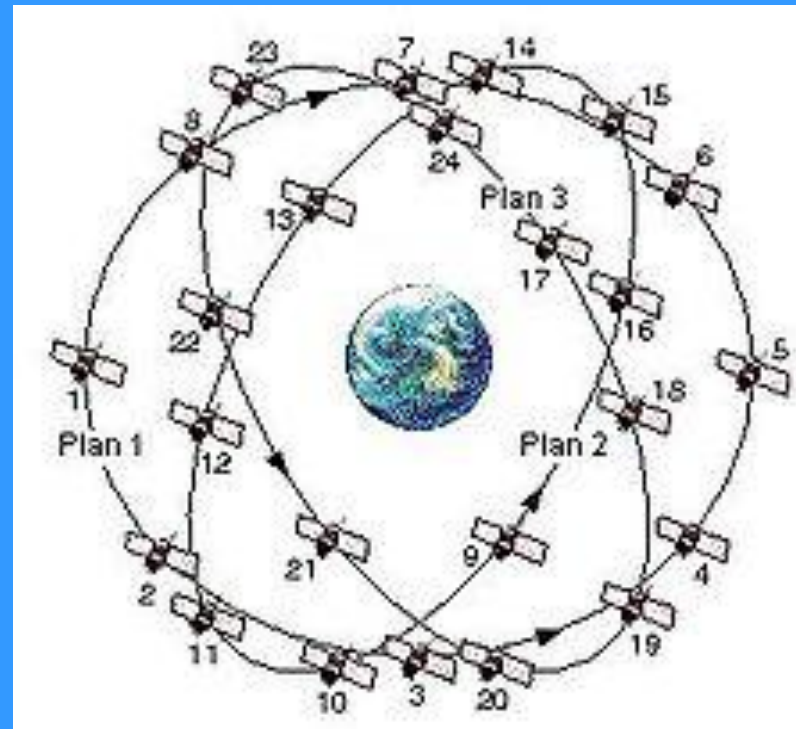
- kosmický segment
- řídicí segment
- uživatelský segment
- podpůrný segment

# Kosmický segment

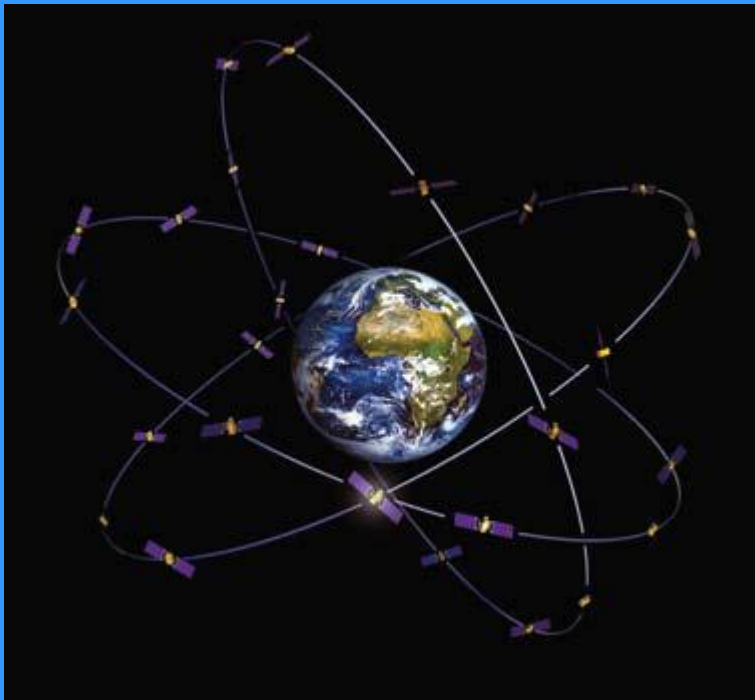
- družice GNSS obíhají Zemi v několika oběžných rovinách skloněných vůči rovníku o  $55 - 65^\circ$
- obíhají na středně vysokých drahách 19 000 – 24 000 km nad Zemí (MEO-Medium Earth Orbit), dráhy jsou elipsy blízké kružnicím



GPS



Glonass



Galileo

## Porovnání vybraných parametrů kosmických segmentů

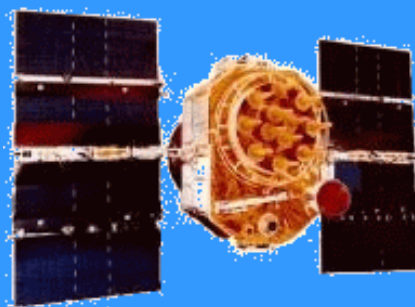
Parametr	NAVSTAR	ГЛОНАСС	Galileo
Počet oběžných rovin	6	3	3
Projektovaný počet satelitů	21+3	21+3	27+3
Poloměr drah [km]	26560	25510	30000
Sklon rovin k rovníku [°]	55	65	56
Doba oběhu [hh:mm]	11:58	11:15	14:00
Aktuální počet satelitů (4/2012)	31	24	2



- <http://tycho.usno.navy.mil/gpsinfo.html>
- <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/>
- <http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>

## Základní vybavení družice

- generátor frekvence (atomové hodiny, oscilátor, frekvenční standard) - césiové, rubídiové, vodíkový maser, až 4 na družici
- antény vysílací i přijímací,
- stabilizační setrvačníky, solární panely, baterie, raketové motorky, odrazné hranoly aj.



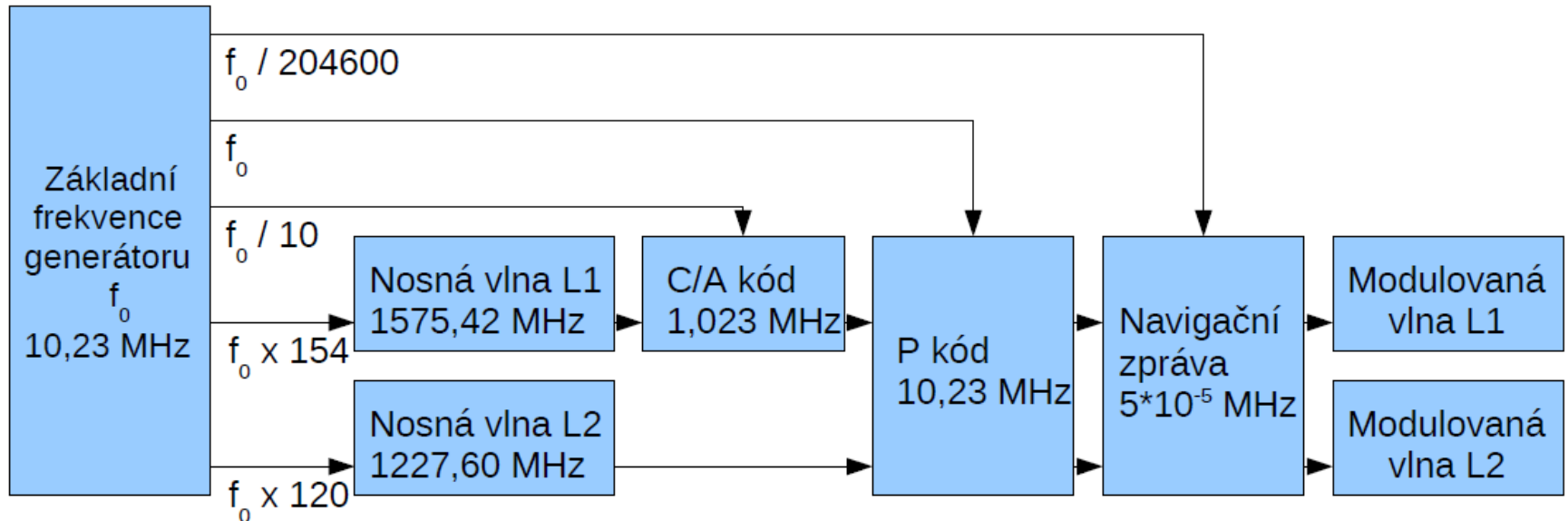
Ukázky GPS družic bloku I, II a IIa a bloku IIF

<http://www.beruna.cz/rs/index.php?text=51-druzice-v-systemu-gps-jak-bylo-je-a-bude>

# Vysílaný signál

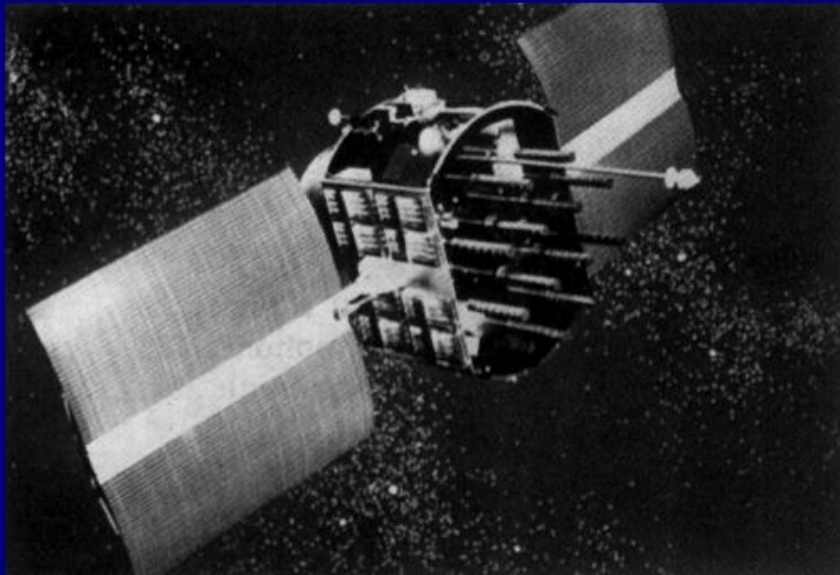
- dvě (v blízké budoucnosti více) nosné frekvence
  - radiové vlny ve frekvenčním rozsahu 1 – 2 GHz (vlnová délka 0,15 – 0,30 m)
- nosná vlna je fázově modulována
  - pseudonáhodnými šumovými kódy (časové značky)
  - navigační zprávou (parametry drah družic a jejich hodin)

Příklad modulace nosných vln – NAVSTAR GPS



# NAVSTAR GPS

- NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System
- v dnešní době téměř výhradně používaný
- první satelit vypuštěn v roce 1978
- systém spravován armádou USA
- v současné době 31 satelitů
- L1 – civilní C/A a vojenský P kód
- L2 – vojenský P kód
- nově vypouštěné družice IIR-M (dnes 7) vysílají i civilní kód na L2 (L2C) a nové vojenské kódy M na L1 i L2
- u další generace IIF je plánováno přidání frekvence L5



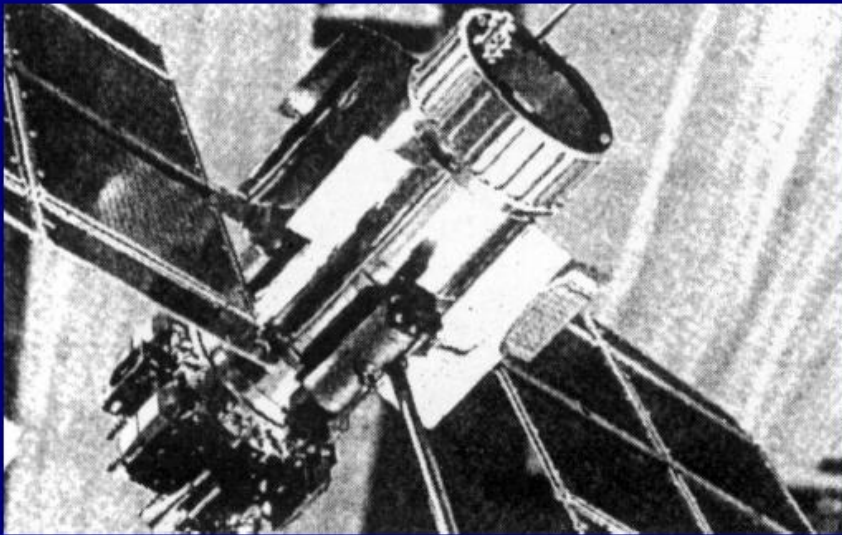
První generace „Block I“  
na drahách 1978 - 95



Druhá generace „Block II/IIA/IIR/IIR-M“  
na drahách od 1989

# ГЛОНАСС (GLONASS)

- ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система (GLObal'naja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistema)
- první prototyp vyroben v roce 1982
- systém spravován Ozbrojenými silami Ruské federace a kosmickou agenturou Roskosmos
- ГЛОНАСС („Ураган“) : L1 – civilní a vojenský kód, L2 – vojenský kód
- ГЛОНАСС-М („Ураган-М“) : L1, L2 – civilní a vojenský kód
- v současné době v kosmu 19 satelitů novější generace ГЛОНАСС-М
- u další generace ГЛОНАСС-К je plánováno přidání frekvence L3



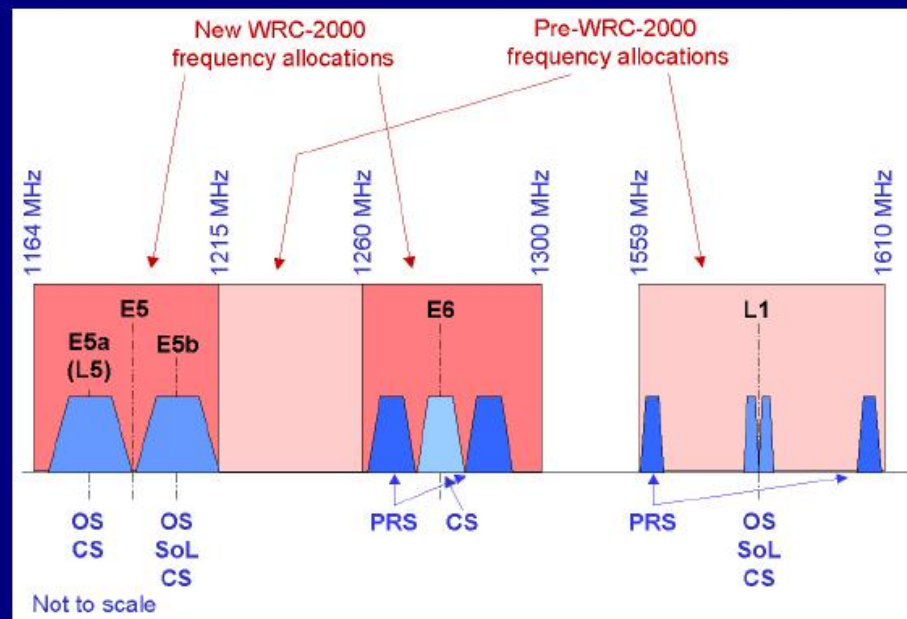
První generace „Ураган - bloky IIa, IIb a IIv“  
na drahách 1985 - 2009



Druhá generace „Ураган-М“  
na drahách od 2001

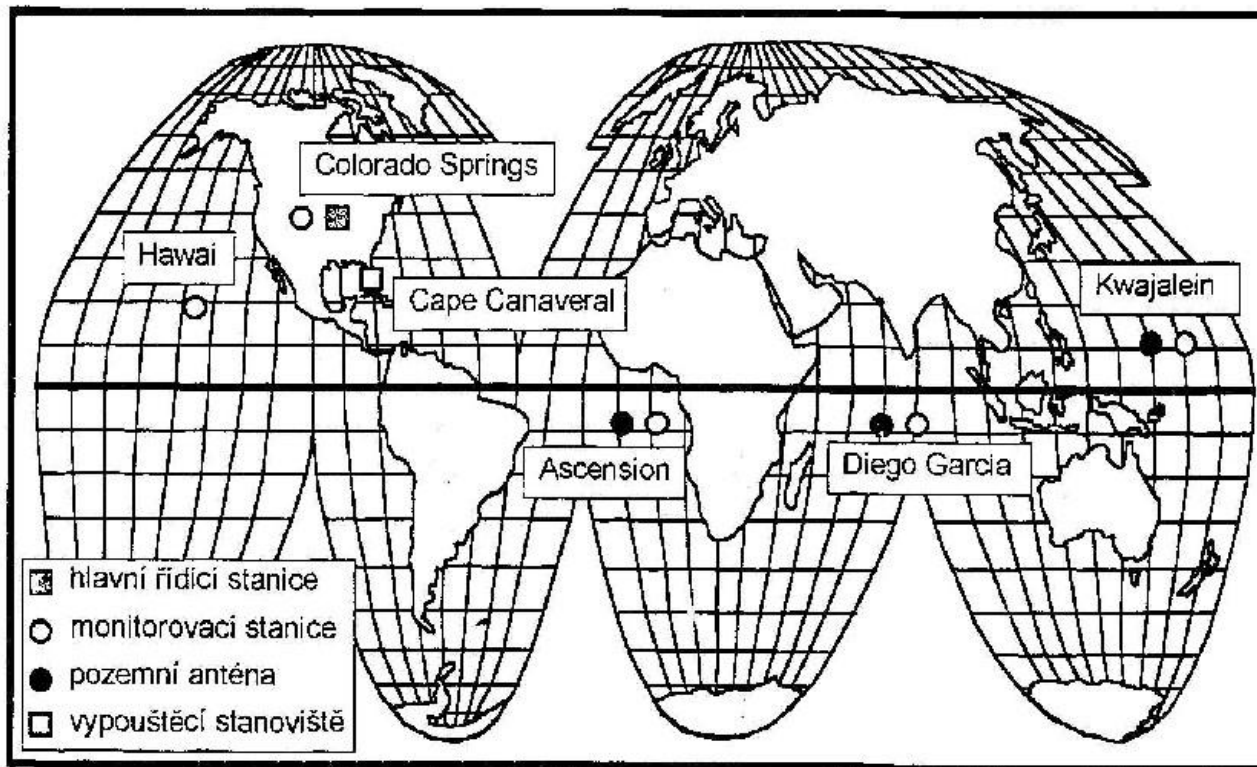
# Galileo

- v roce 2005 byl vypuštěn první testovací satelit GIOVE-A (viz obr.),  
v roce 2008 druhý GIOVE-B
- 4 operační satelity do konce roku 2010, dalších 26 do roku 2013
- systém financuje EU a buduje ESA (European Space Agency)
- je civilním systémem
- vysíláno má být 10 kódových zpráv na 4 frekvencích



## Řídící segment

- sestává z monitorovacích a řídicích stanic
- uchovává časový normál (pozemní atomové hodiny)
- přijímá signály z družic
- provádí výpočet drah družic a chodu jejich hodin
- vysílá tyto informace na družice, odkud jsou šířeny v navigační zprávě






Původní řídicí  
segment systému  
NAVSTAR - GPS

# Řídící segment systému GLONASS

## Схема размещения средств наземного сегмента СРНС ГЛОНАСС



-  – Центр управления системой (ЦУС)
-  – Квантово-оптические станции (КОС)
-  – Командные станции слежения (КСС)  
(цифра – номер ОКИК дислокации КСС)

- СКФ – Система контроля фаз
- КС – Контрольная станция
- АКП – Аппаратура контроля поля
- ЦС – Центральный синхронизатор



# Řídící segment systému Galileo



Galileo Control Centre,  
Fucino, Italy



Galileo Control Centre,  
Oberpfaffenhofen, Germany



Galileo ground  
station, Kourou,  
French Guiana



Galileo in-orbit testing facilities,  
Redu, Belgium



TTC antenna, Kiruna, Sweden



Sensor station, Svalbard, Norway

New Caledonia, South Pacific, site of a Galileo  
uplink and sensor station

## **Uživatelský segment**

široka paleta typů zařízení sloužící koncovým uživatelům

- jejich přesnost a využití závisí na počtu přijímaných frekvencí (u GPS jednofrekvenční a dvoufrekvenční), přijímaných signálů (kódových, fázových) a korekčních údajů z podpůrného segmentu

- začínají se posazovat a do budoucna poroste počet zařízení kombinujících více systémů NAVSTAR, GLONASS a Galileo

### **Hlavní součásti zařízení**

- anténa (samostatná, vestavěná)

- přijímač (oscilátor - křemenné hodiny, demodulátor, korelátor, fazový článek + čítač, paměť, napájení (baterie)

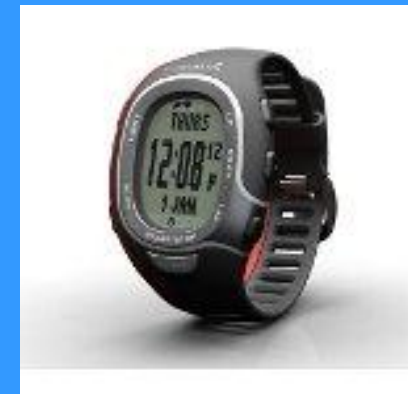
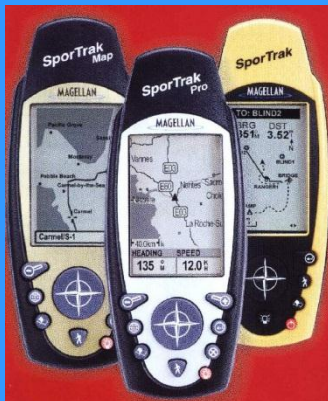
-zařízení pro mobilní připojení...

- speciální přijímače jsou jen pro příjem časového signálu

## Geodetické družicové aparatury (Trimble, Leica, Topcon, Javad, ..)



## Navigační GPS přijímače (Garmin, .....



## Podpůrný segment

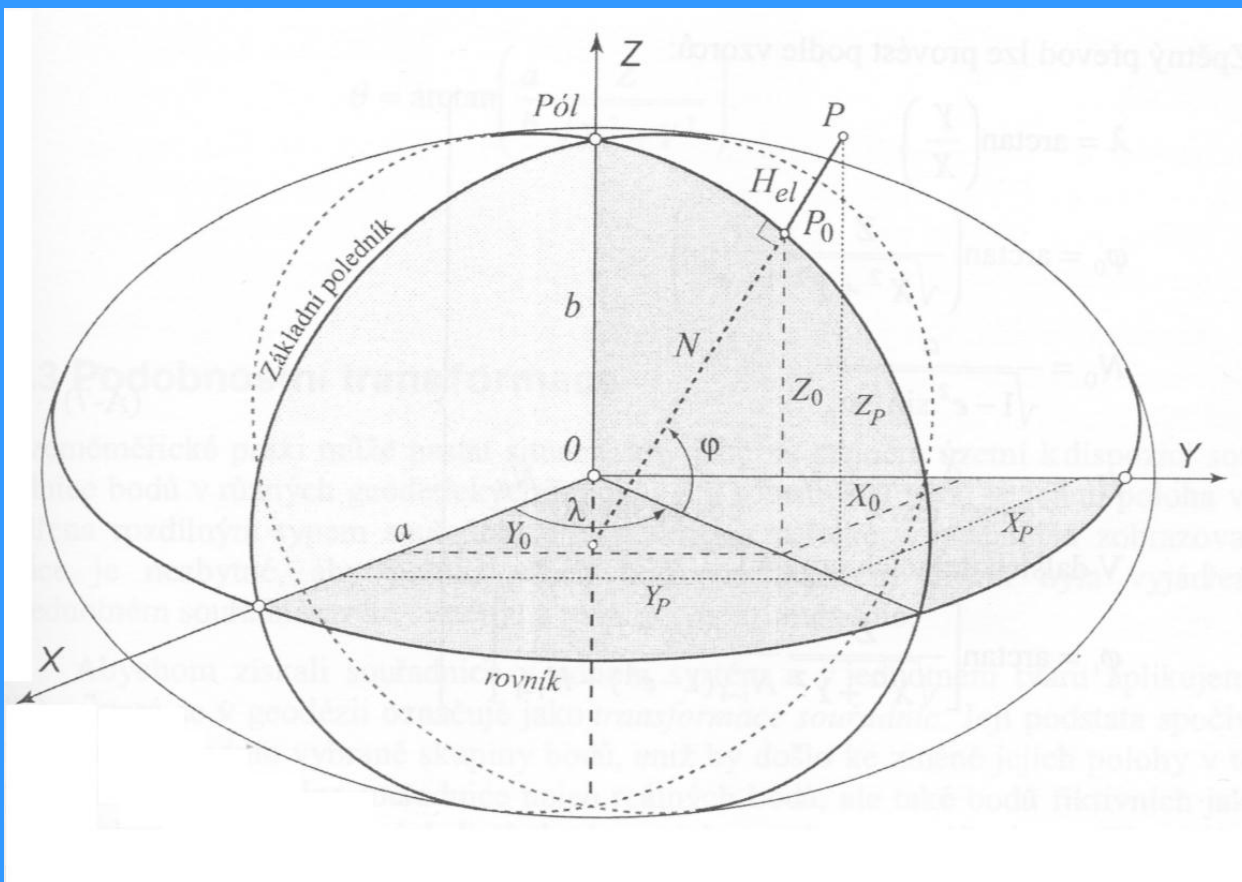
systemy zvyšující v reálném čase základní přesnost GNSS:

- Družicové systémy - pomocí družic na geostacionárních drahách – SBAS (Satellite Based Augmentation Systems) např. EGNOS, WAAS, Omnistar, ...

- Pozemní systémy - stanice permanentně provozovaných přijímačů či jejich sítě) např. CZEPOS, SAPOS, SKPOS, SWEPOS, ....Poskytují výpočet několika možných typů korekcí a distribuce těchto korekcí koncovému uživateli (radio, GSM, internet)

# Souřadnicový systém WGS-84

- kartézský souřadnicový systém WGS-84 je definován geometrickými a dynamickými parametry



**Geometrické parametry elipsoidu WGS-84:**  
a ... hl. poloosa [m]  
f ... zploštění

**Dynamické parametry:**  
 $\omega$ ... úhlová rychlost rotace Země [rad s<sup>-1</sup>]

$J_2$  ... Stokesův zonální koeficient 2. stupně

$GM$  ... geocentrická gravitační konstanta [m<sup>3</sup>s<sup>-2</sup>]

Ukázka číselných hodnot pravoúhlých souřadnic v [m]:

X = 3 920 890,225    Y = 1 182 869,142    Z = 4 874 664,898

# Princip určení polohy

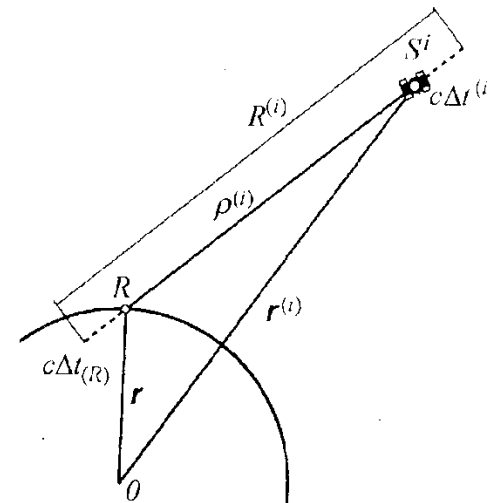
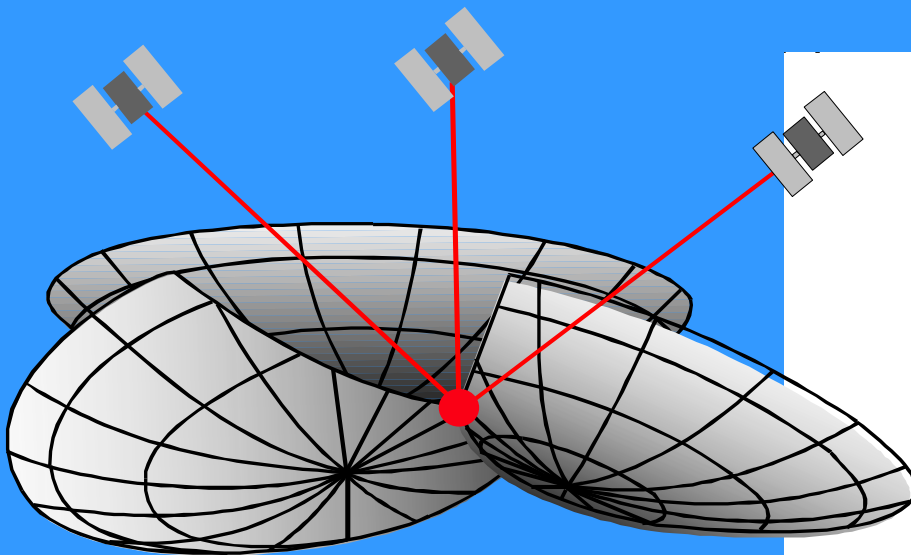
- zpracováním signálu současně z minimálně 4 satelitů je určena prostorová poloha ve světovém geocentrickém souřadnicovém systému WGS-84
- princip určení polohy založen na měření časového intervalu šíření signálu od satelitu po přijímací aparaturu

$$d = c \cdot t$$

kde  $d$  ... pseudovzdálenost

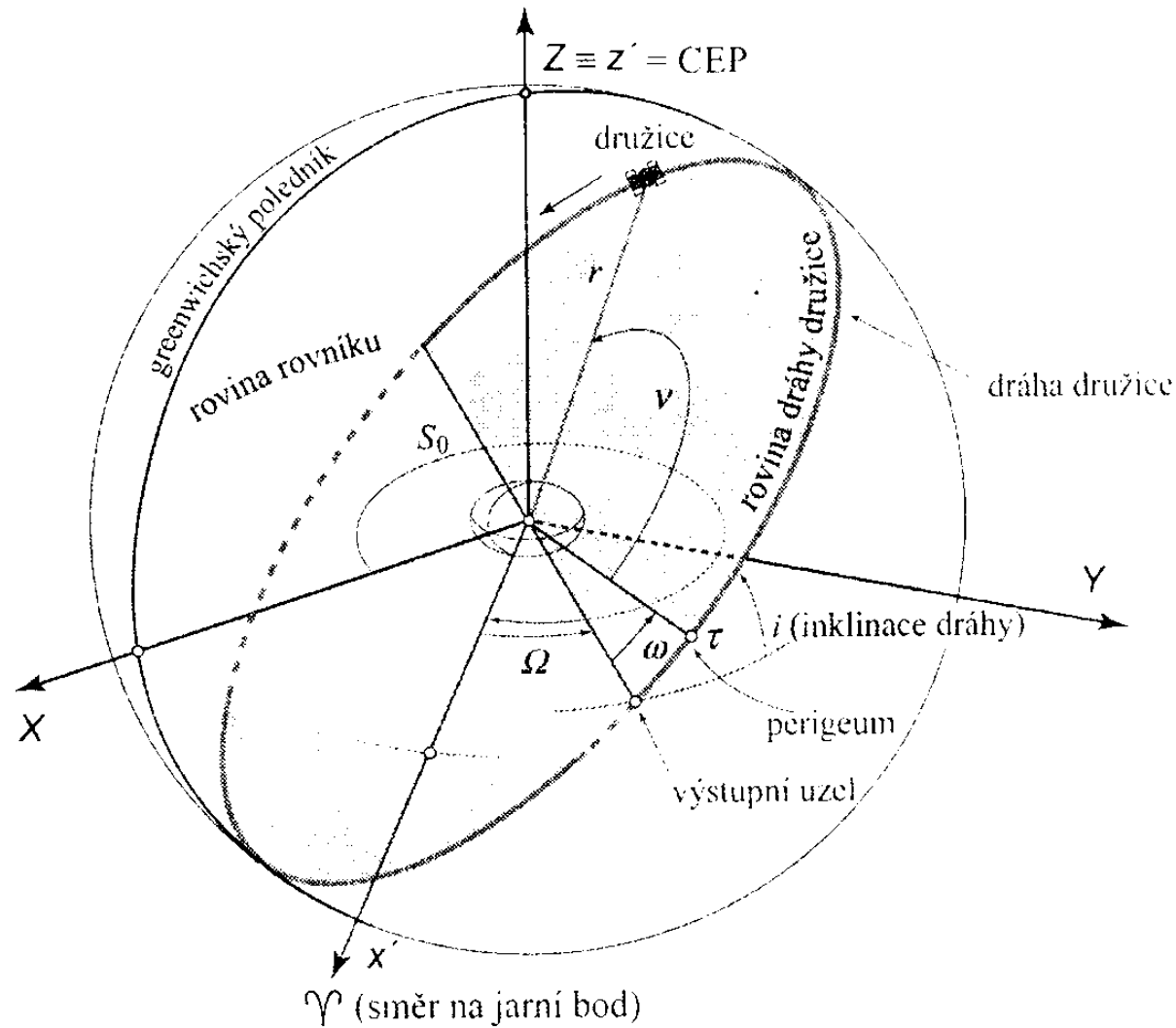
$c$  ... rychlost šíření elektromag. vln

$t$  ... tranzitní čas



Obr. 3-16 Princip určení vzdálenosti mezi přijímačem a družicí GPS

# Dráha družice v systému WGS-84



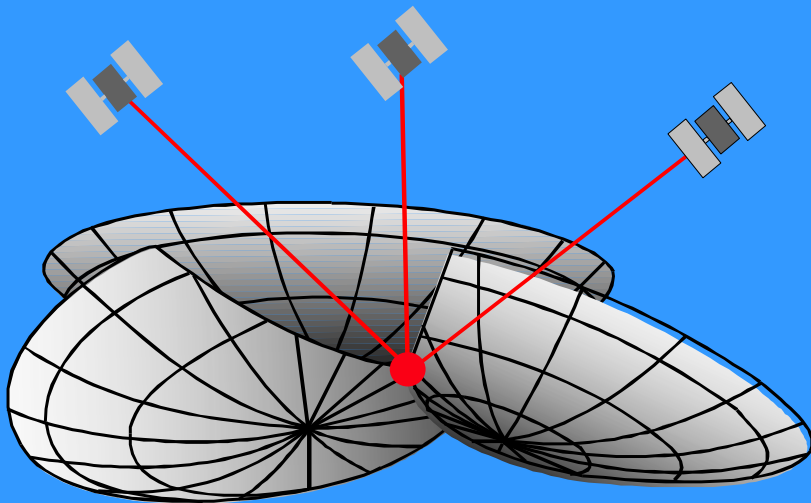
Obr. 2-13 *Dráha družice v prostoru*

# Metody určování polohy

## Absolutní určení polohy

– při použití 1 přijímací družicové aparatury

Přesnost určení prostorové polohy  
v reálném čase 3 m až 10 m  
postprocessing 0,5 m – 2 m



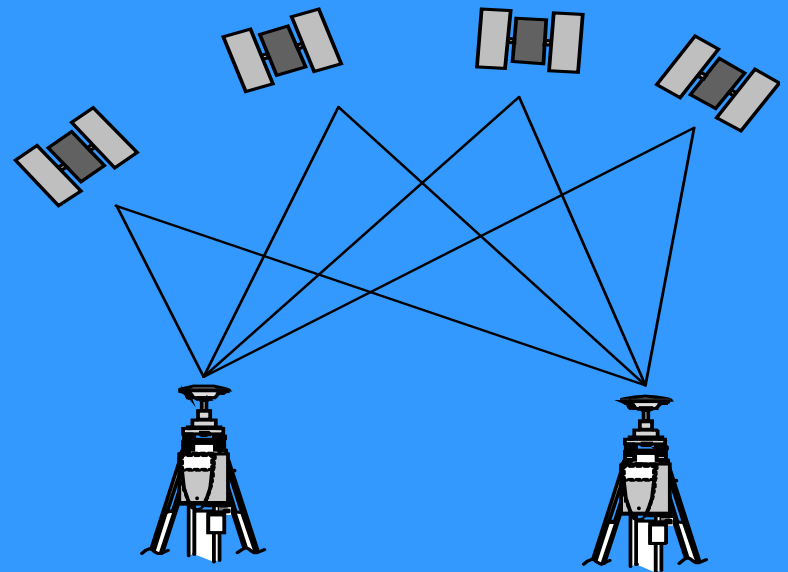
## Relativní určení polohy

– použití min. 2 a více současně měřících družicových aparatur  
Přesnost určení prostorové polohy  
v reálném čase

**DGPS (kódově)** 0,1 m až 1 m

**RTK (fázově)** 20 mm až 5 mm

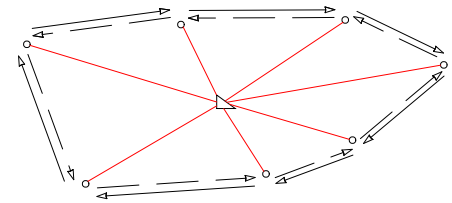
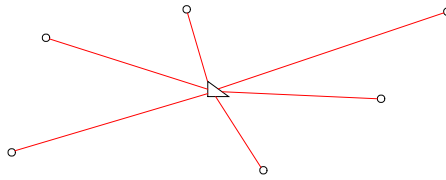
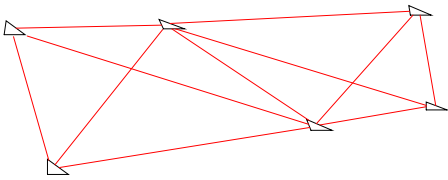
**postprocessing** 20 mm až 3 mm



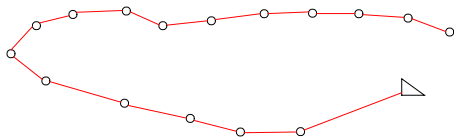


# Relativní metody měření v geodetických aplikacích

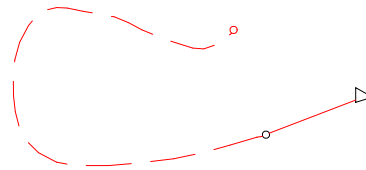
**statická (Static, Rapid static)** – interval příjmu dat 30 sec. (10, 15 sec.), dlouhé observační doby (více než 1hod.), přesnost 10 mm až 3mm



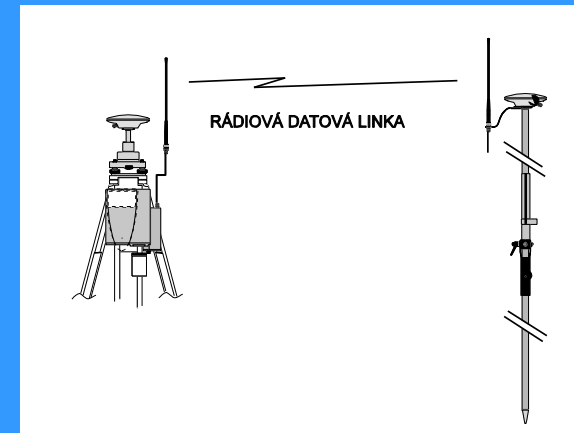
**Stop & Go** – počáteční inicializace cca 10 min, pak měření na bodě 3 epochy, interval záznamu dat 2-5 sec. přesnost 1-2 cm



**Kinematická metoda**  
(Kinematic, Kinematic on the fly) - okamžitá inicializace za chodu přesnost 2-5 cm

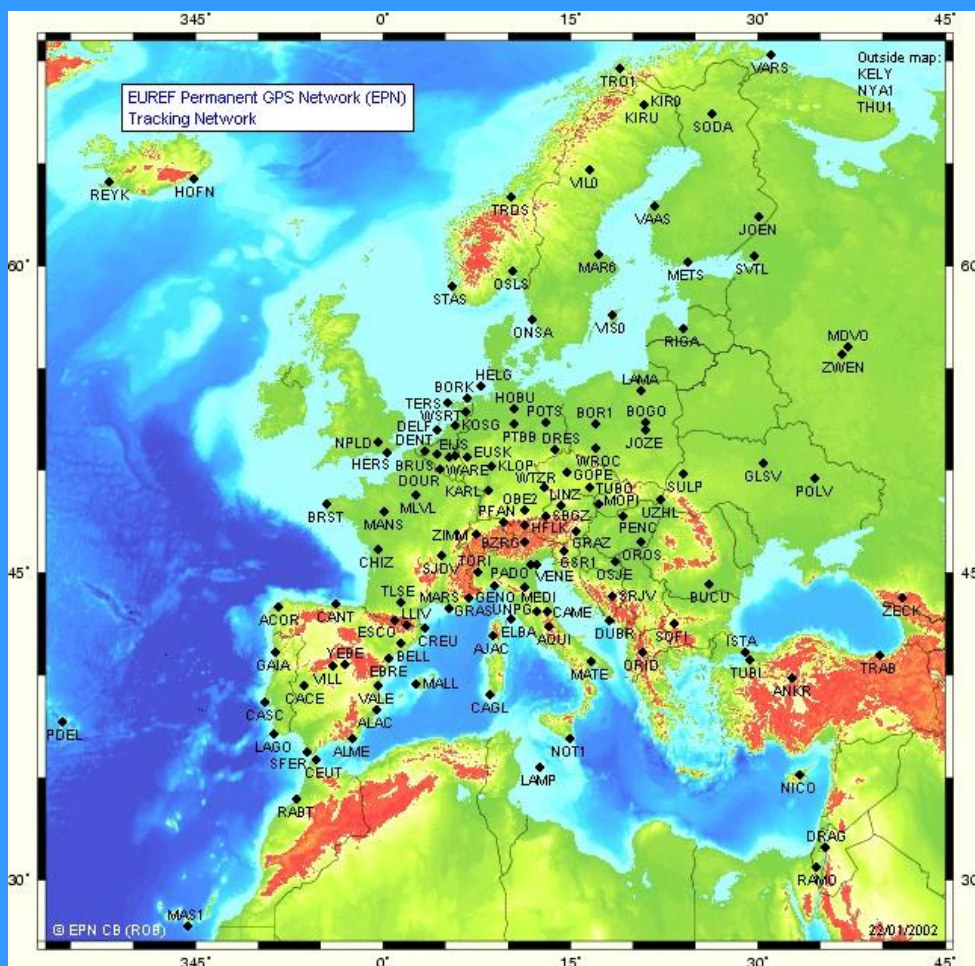


**RTK - (Real time kinematic)** – v reálném čase přesnost 20 až 5 mm

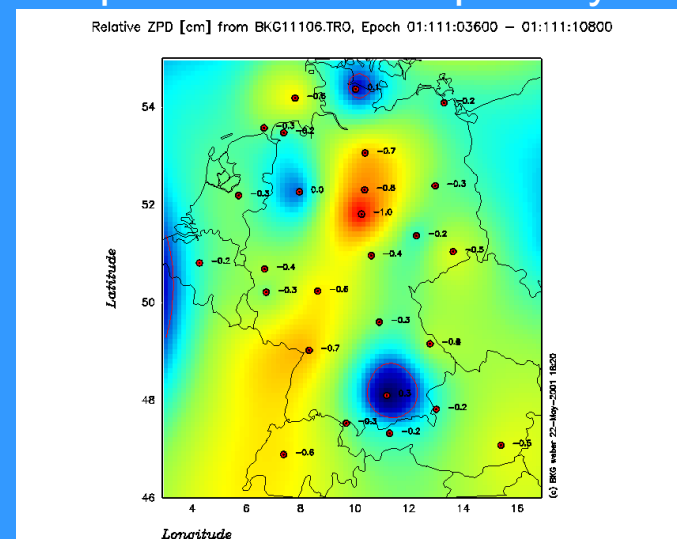


# Evropská síť permanentních stanic GPS - EUREF

- EPN - EUREF garantuje Evropský referenční systém (ETRS89)
- do sítě EUREF je aktivně zapojeno více jak 30 evropských zemí
- nejbližšími permanentními stanicemi jsou MOPI, WROC, LINZ, PENC, GRAZ, WTZR



proměnlivost troposféry



# Permanентní stanice GPS TUBO

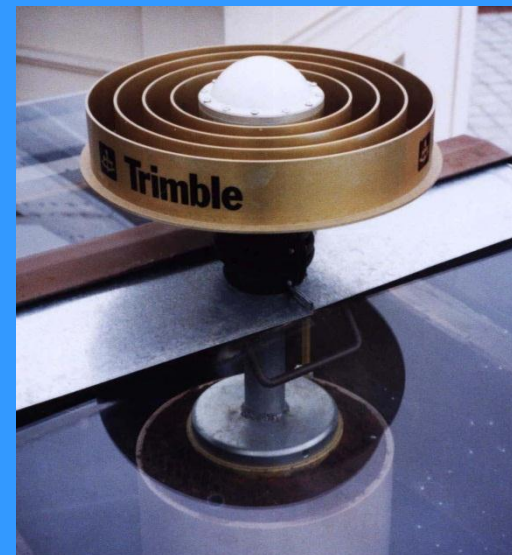


## TUBO:

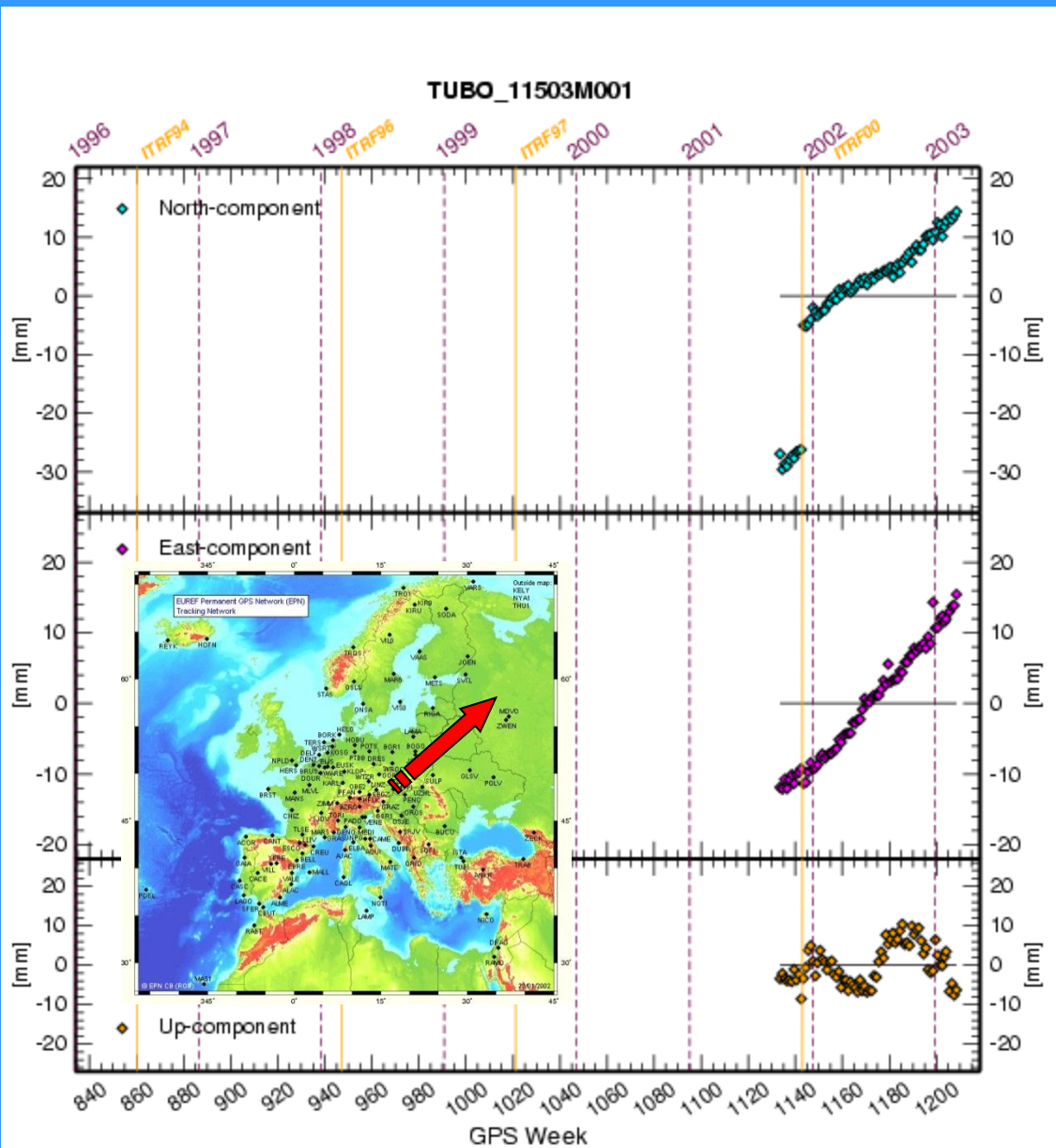
- 2. permanentní stanice sítě EUREF v ČR
- provoz zahájen 14.6.2001
- vybudováno ve spolupráci VÚGTK Zdiby – VUT v Brně

## Analytická centra:

- GOP (Pecný - VÚGTK, ČR)
- OLG (Graz, Rakousko)
- SGO (Penc, FÖMI Maďarsko)
- SUT (Bratislava, Slovensko)



# Pohyb evropské kontinentální desky s bodem TUBO



pohyb ve směru S – J  
cca 20 mm / 1 rok

pohyb ve směru Z – V  
cca 25 mm / 1 rok

pohyb ve výšce  
osciluje +/- 10 mm

# Zpřístupnění dat prostřednictvím Internetu

<http://tubo.fce.vutbr.cz>

Poskytovaná data:  
zdarma

- data GPS 30s/24h
- meteorologické údaje (T, P, e%) 1min/24h

za poplatek

- primární záznam dat 1s/24h (elevace 5°)
- možno vytrždit libovolná data



PERMANENTNÍ GPS STANICE  
TUBO

ZÁKLADNÍ ÚDAJE DATA GPS METEOROLOGICKÉ ÚDAJE APLIKACE OSTATNÍ

Permanentní stanice GPS byla zprovozněna ve spolupráci VUT v Brně a VÚGTK Zdíby.

Ústav geodézie WWW VUT v Brně, Fakulta stavební Home

Permanentní stanice GPS na Fakultě stavební VUT v Brně byla uvedena do provozu dne 14. června 2001 ve spolupráci Výzkumného ústavu geodetického, topografického a kartografického ve Zdíbech - Geodetické observatoře Pecný a Ústavu geodézie Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně.



Permanentní GPS stanice je umístěna na pilíři bývalé astronomicko-geodetické observatoře Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně a nese označení TUBO. Stanice byla zařazena do mezinárodní sítě permanentních stanic EUREF. Vedle první GPS permanentní stanice GOPE provozované VÚGTK Zdíby – GO Pecný je to druhá permanentní stanice sítě EUREF v ČR. Bod TUBO je součástí sítě DOPNUL, Geodynamické sítě ČR a řady dalších sítí. Permanentní stanice je vybavena dvoufrekvenčním 12-ti kanálovým přijímačem Trimble 4700 CORS s anténou Dorne Margolin Trimble (Choke Ring).

Přijímačem jsou prováděna kódová a fázová měření pro všechny družice GPS nacházející se ve výšce alespoň 5° nad horizontem. Primární záznam dat je prováděn v intervalu 1 sekunda (1 Hz). Měřená data jsou zaznamenávána do připojeného počítače vybaveného operačním systémem Microsoft Windows 2000 Advanced server.

# Evropský civilní družicový navigační systém GALILEO

## 5 druhů služeb:

- **Základní služba (Open Service - OS)** – základní signál, poskytovaný zdarma;
- **Služba "kritická" z hlediska bezpečnosti (Safety of Life service - SoL)** – je službou, která bude primárně zlepšovat základní službu OS tím, že během několika sekund varuje uživatele v případě, že z nějakého důvodu dojde k nedodržení garantovaných limitů systému (přesnost apod.). Jedná se rozšířený signál zahrnující integrovanou funkci a je předurčena především pro bezpečnostně-kritické aplikace, které vyžadují garanci signálu. Využití je předpokládáno především v kritických dopravních aplikacích (při řízení letového provozu, automatické systémy přistávání letadel apod.). Služba by měla být certifikována z hlediska mezinárodních standardů Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO) a pravidel Otevřeného nebe (Open Sky regulations);
- **Komerční služba (Commercial Service - CS)** – na rozdíl od služby základní využívá ještě další dva signály. Tyto signály jsou chráněny díky komerčnímu kódování, které bude řízeno poskytovateli služeb a budoucím Galileo operátorem. Přístup je kontrolován na úrovni přijímače, kde se využívá přístupového klíče;
- **Veřejně regulovaná služba (Public Regulated Service - PRS)** – dva šifrované signály, s kontrolovaným přístupem a dlouhodobou podporou, určené pro státem vybrané uživatele, především pro bezpečnostní složky státu;
- **Vyhledávací a záchranná služba (Search And Rescue service - SAR)** - služba nouzové lokalizace v rámci celosvětové družicové záchranné služby COSPAS/SARSAT s možností oboustranné komunikace;

# EGNOS

## (European Geostationary Navigation Overlay Service)

- Systém **EGNOS** je evropský projekt, který formou diferenciálního signálu poskytuje korekce k signálu GPS. Korekce jsou poskytovány pro území Evropy a jsou důležité pro eliminaci chyb, jimiž jsou vysílané signály nevyhnutelně zatíženy (konkrétní chyby jsou uvedeny níže). Zpracováním diferenciálního signálu v GNSS přijímači dochází ke zpřesnění určení polohy.

EGNOS je aplikace systému SBAS (Satellite Based Augmentation System), který je vyvíjen společně Evropskou kosmickou agenturou (ESA), Evropskou komisí (EC) a Evropskou organizací pro bezpečnost leteckého provozu (EUROCONTROL).

V dubnu roku 2009 bylo převedeno veškeré vlastnictví systému EGNOS z Evropské kosmické agentury na Evropskou komisi a oficiálně byl systém spuštěn v říjnu 2009.

EGNOS je prvním dokončeným projektem EU v oblasti satelitní navigace a je současně předchůdcem projektu Galileo.

# Služby poskytované systémem EGNOS

- **základní služba (Open Service - OS)** – základní signál, poskytovaný zdarma, spuštěno 1. října 2009. Volně dostupná služba pro podporu všeobecně volně rozšířených aplikací GNSS.
- **služba "kritická" z hlediska bezpečnosti (Safety of Life service - SoL)** – rozšířený signál zahrnující informaci o integritě, která během několika vteřin oznámí uživateli snížení kvality signálu pod určitou mez. Tato služba byla certifikována 2. března 2011 a oficiálně zpřístupněna pro využití při navigaci především v letecké dopravě. Je certifikována z hlediska mezinárodních standardů Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO) a pravidel Otevřeného nebe (Open Sky Regulations) a byl k ní vydán Servis Definition Document (SDD). Tento dokument popisuje očekávaný výkon a schopnosti systému pro podporu SoL aplikací na bázi EGNOS.
- **komerční služba "EGNOS Data Access Server" (EDAS)** – momentálně dostupná v testovací verzi a plně by měla být spuštěna do poloviny roku 2012. Služba EDAS šíří data EGNOS v reálném čase prostřednictvím internetu a rozšiřuje tak možnosti pro šíření signálu EGNOS. EDAS by měl být součástí komplexního systému CDDS (Commercial Data Distribution System). Návrh architektury CDDS není dosud uzavřen, stejně tak není jasný "byznys model" této služby.