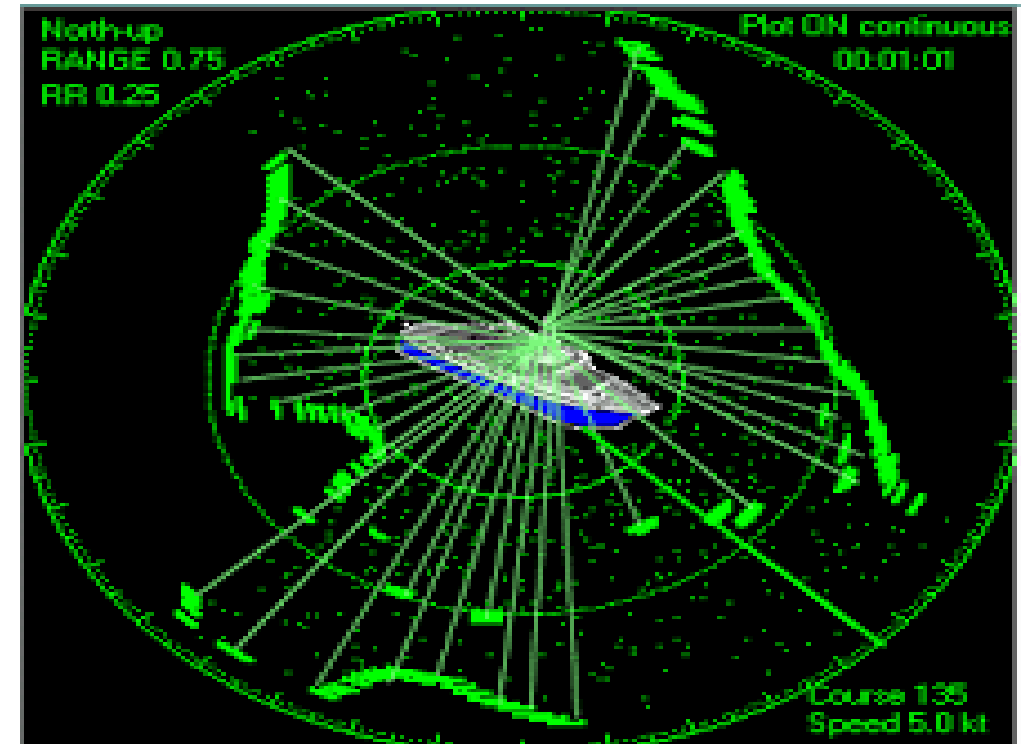
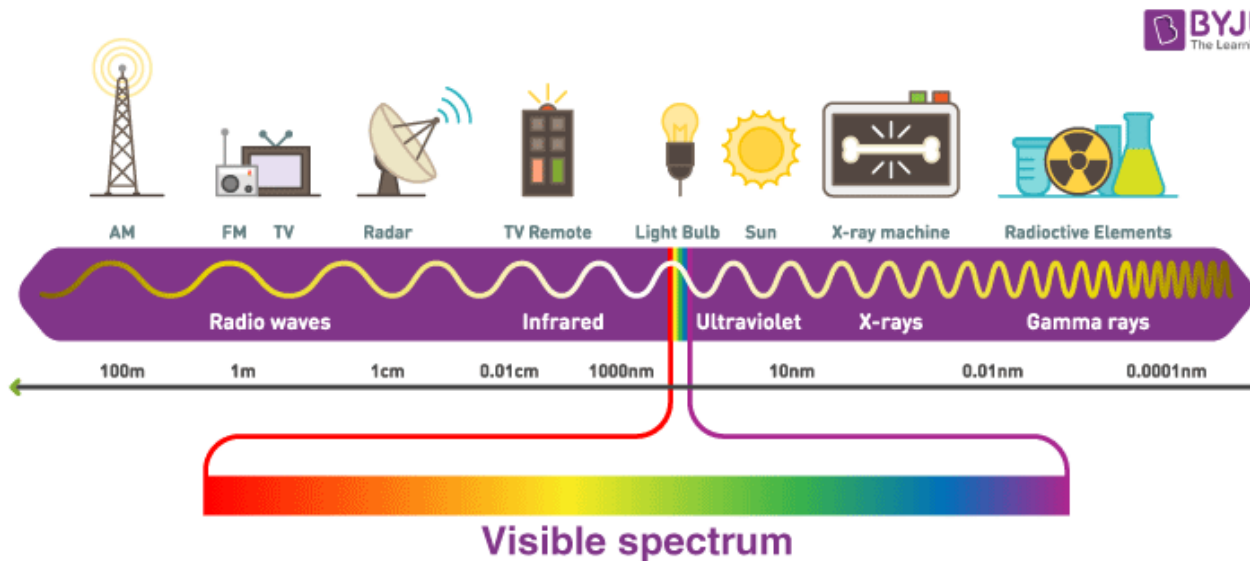
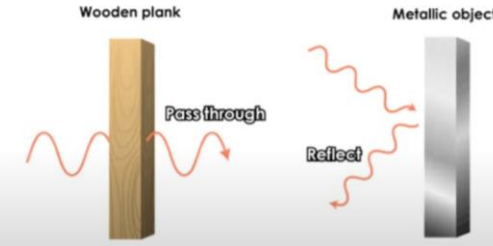
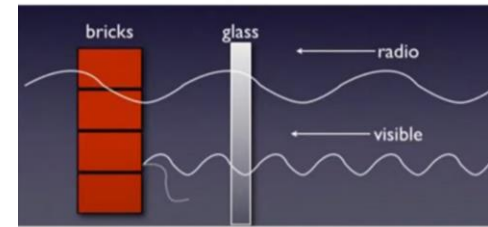
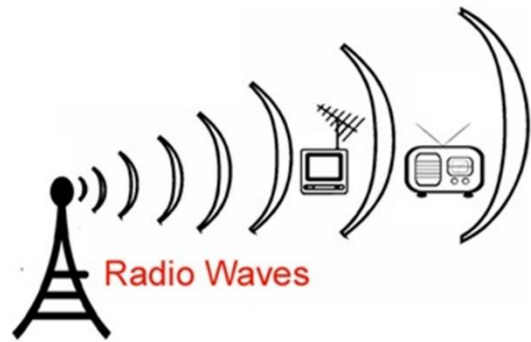


GLOBÁLNE NAVIGAČNÉ SATELITNÉ SYSTÉMY (GNSS)

PREDNÁŠKA 2

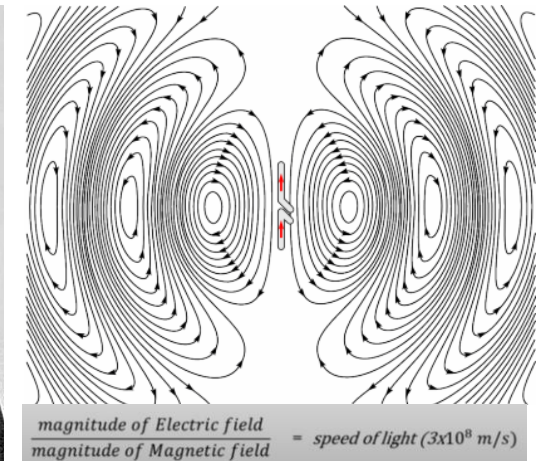
ZÁKLADNÉ PRINCÍPY RÁDIOVEJ NAVIGÁCIE a LOKALIZÁCIE



- **Rádiová navigácia a lokalizácia** je založená **na detekcii rádiových vln**
- **objav rádiových vln** v r. **1887** Heinrichom Hertzom
- V r. **1904** nemecké námorné lode začínajú používať **rádiové vlny** ako doplnkový systém k vtedajším **navigačným systémom (dosah 3 km)**



Heinrich Rudolf Hertz



Cestujúce elektromagnetické vlny

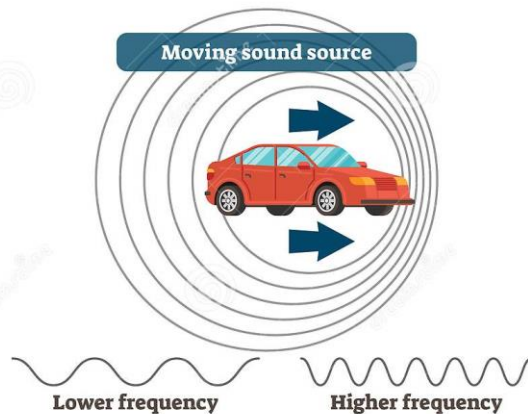
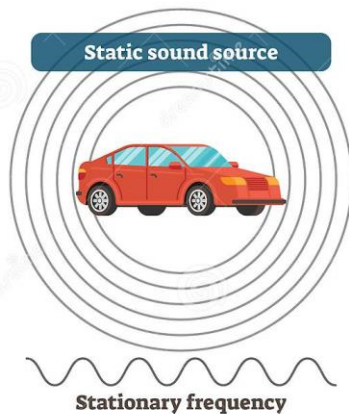
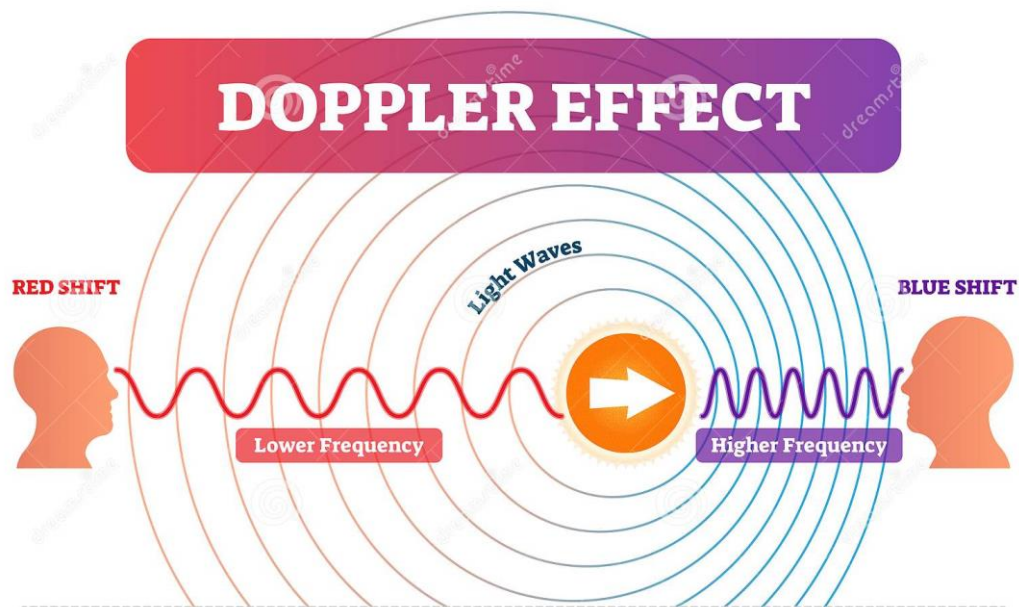
- Merané fyzikálne veličiny:
 - **absolútna doba šírenia** rádiovej vlny (zdroj – detektor)
 - **rozdiel doby šírenia** aspoň troch rôznych rádiových vln
 - **smer príchodu** rádiových vln zo známych vysieláčov
 - príp. sa využíva meranie založené na **Dopplerovom jave**

(zmena vlnovej dĺžky (a teda frekvencie) elektromagnetických alebo akustických vln vyvolaná relatívnym pohybom zdroja a pozorovateľa)



Christian Johann Doppler

DOPPLER EFFECT



- zmena vlnovej dĺžky (a teda frekvencie) elektromagnetických alebo akustických vln vyvolaná relatívnym pohybom zdroja a pozorovateľa

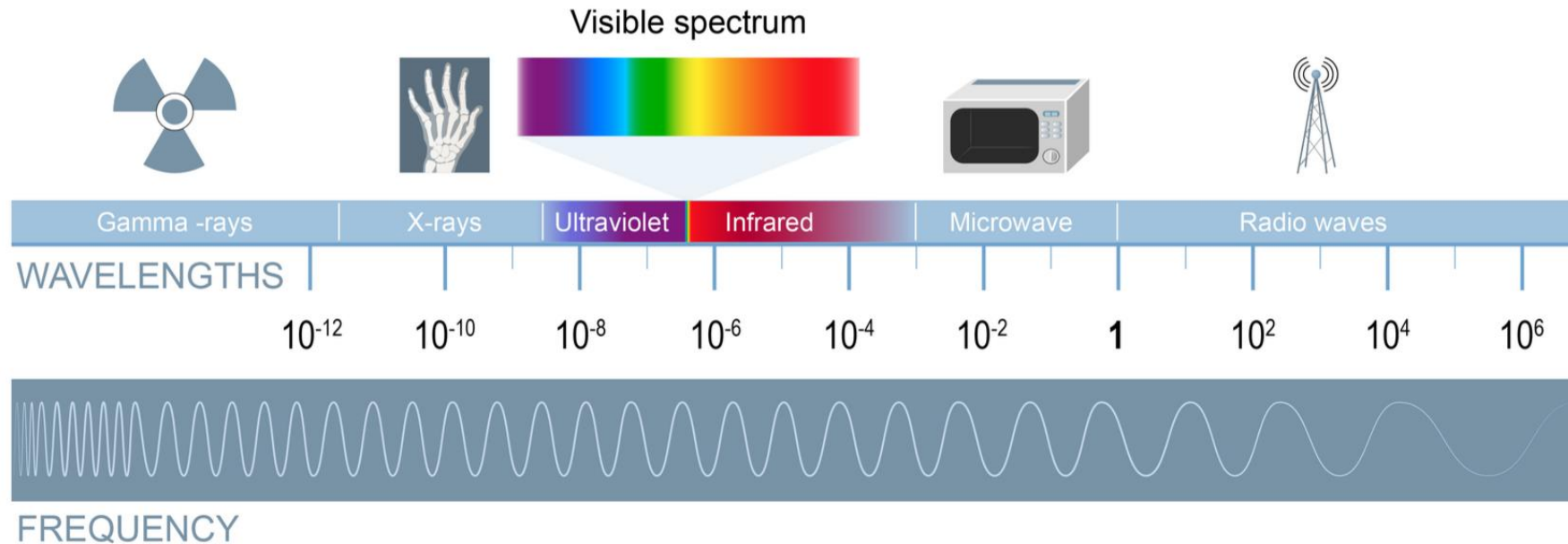
1) Aká je vlnová dĺžka žiarenia s frekvenciou 2.4 GHz?

Vlnová dĺžka je vzdialenosť, v priebehu ktorej sa tvar vlny zopakuje a meria sa v metroch, najčastejšie v nanometroch (nm, 10^{-9} m) alebo v mikrometroch (μm , 10^{-6} m).

Frekvencia definuje počet opakovaní vlny za sekundu a meria sa v hertzoch (Hz).

Rýchlosť šírenia sa EMG žiarenia vo vákuu je konštantná ($c = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

$$\lambda = c/f$$



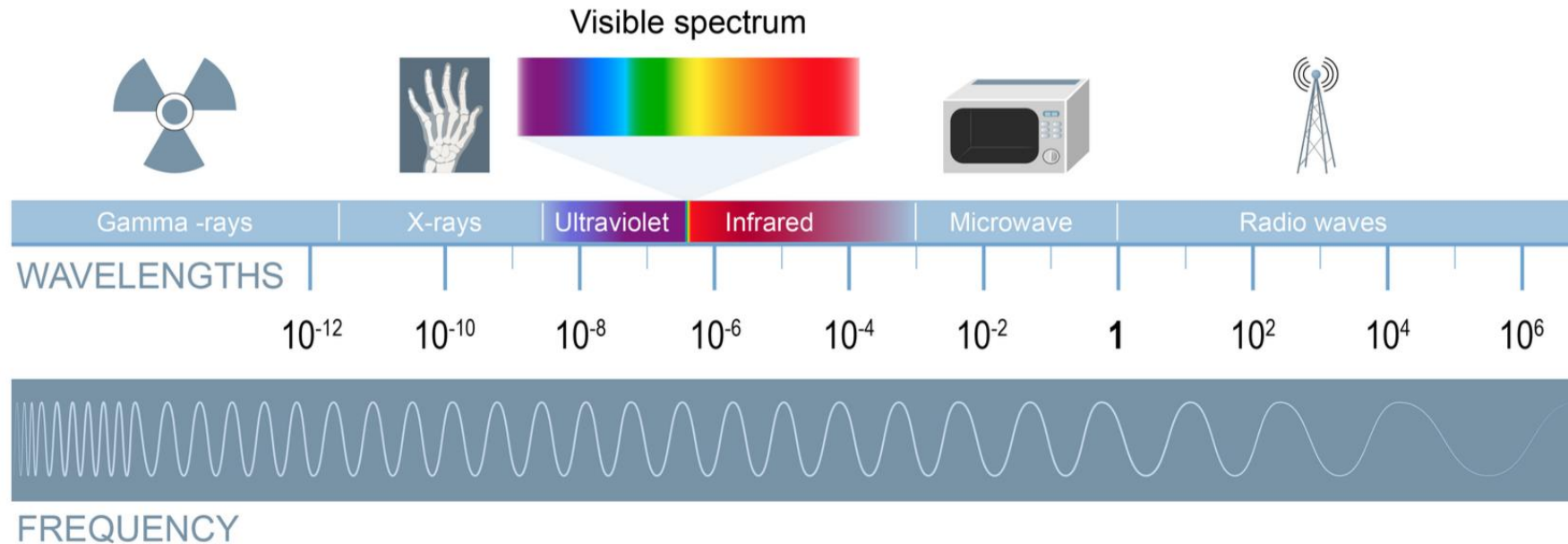
1) Aká je vlnová dĺžka žiarenia s frekvenciou 2.4 GHz?

Vlnová dĺžka je vzdialenosť, v priebehu ktorej sa tvar vlny zopakuje a meria sa v metroch, najčastejšie v nanometroch (nm, 10^{-9} m) alebo v mikrometroch (μm , 10^{-6} m).

Frekvencia definuje počet opakovaní vlny za sekundu a meria sa v hertzoch (Hz).

Rýchlosť šírenia sa EMG žiarenia vo vákuu je konštantná ($c = 299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

$$\lambda = c/f = 299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}/2\,400\,000\,000\text{ Hz}$$



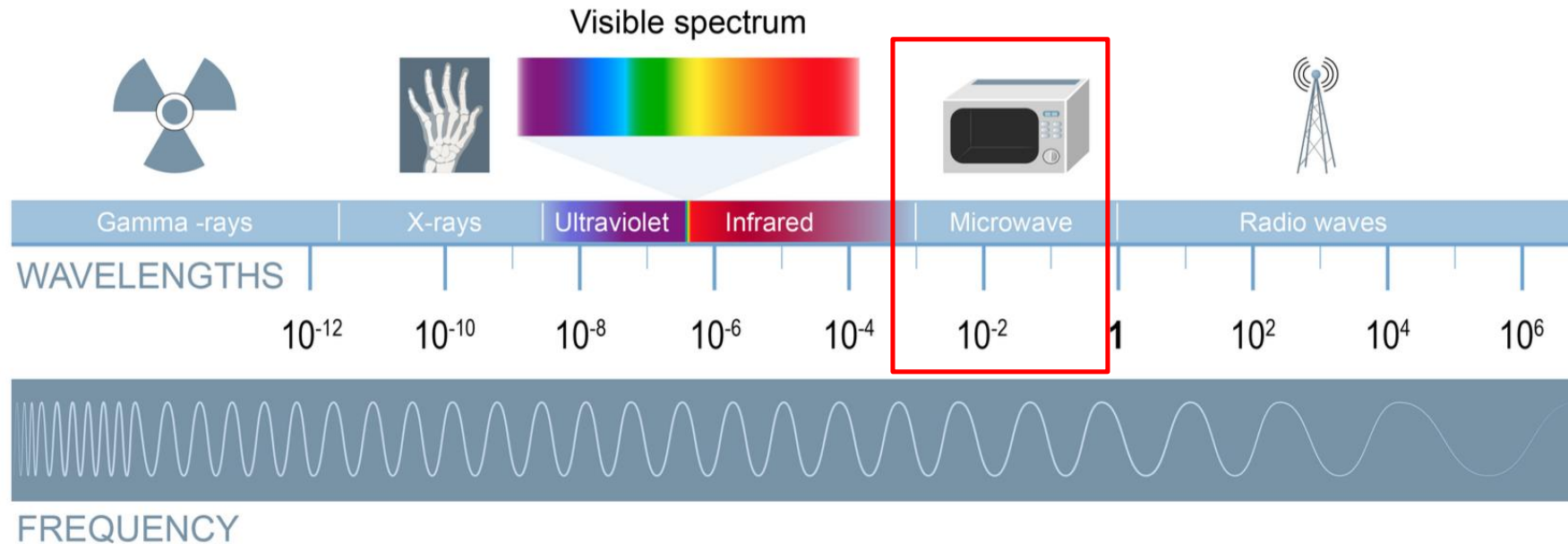
1) Aká je vlnová dĺžka žiarenia s frekvenciou 2.4 GHz?

Vlnová dĺžka je vzdialenosť, v priebehu ktorej sa tvar vlny zopakuje a meria sa v metroch, najčastejšie v nanometroch (nm, 10^{-9} m) alebo v mikrometroch (μm , 10^{-6} m).

Frekvencia definuje počet opakovaní vlny za sekundu a meria sa v hertzoch (Hz).

Rýchlosť šírenia sa EMG žiarenia vo vákuu je konštantná ($c = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

$$\lambda = c/f = 0,1249 \text{ m} = 12 \text{ cm} = \text{mikrovlnné}$$



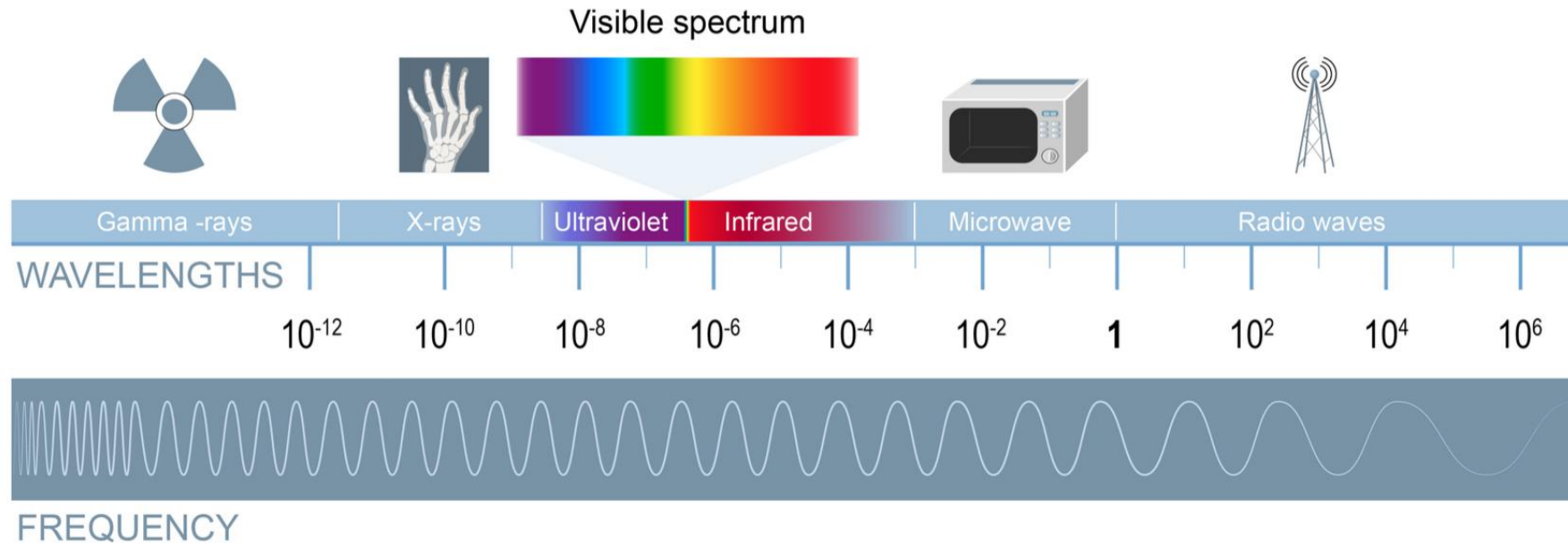
2) Aká je vlnová dĺžka žiarenia s frekvenciou 86.6 MHz?

Vlnová dĺžka je vzdialenosť, v priebehu ktorej sa tvar vlny zopakuje a meria sa v metroch, najčastejšie v nanometroch (nm, 10^{-9} m) alebo v mikrometroch (μm , 10^{-6} m).

Frekvencia definuje počet opakovaní vlny za sekundu a meria sa v hertzoch (Hz).

Rýchlosť šírenia sa EMG žiarenia vo vákuu je konštantná ($c = 299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

$$\lambda = c/f$$



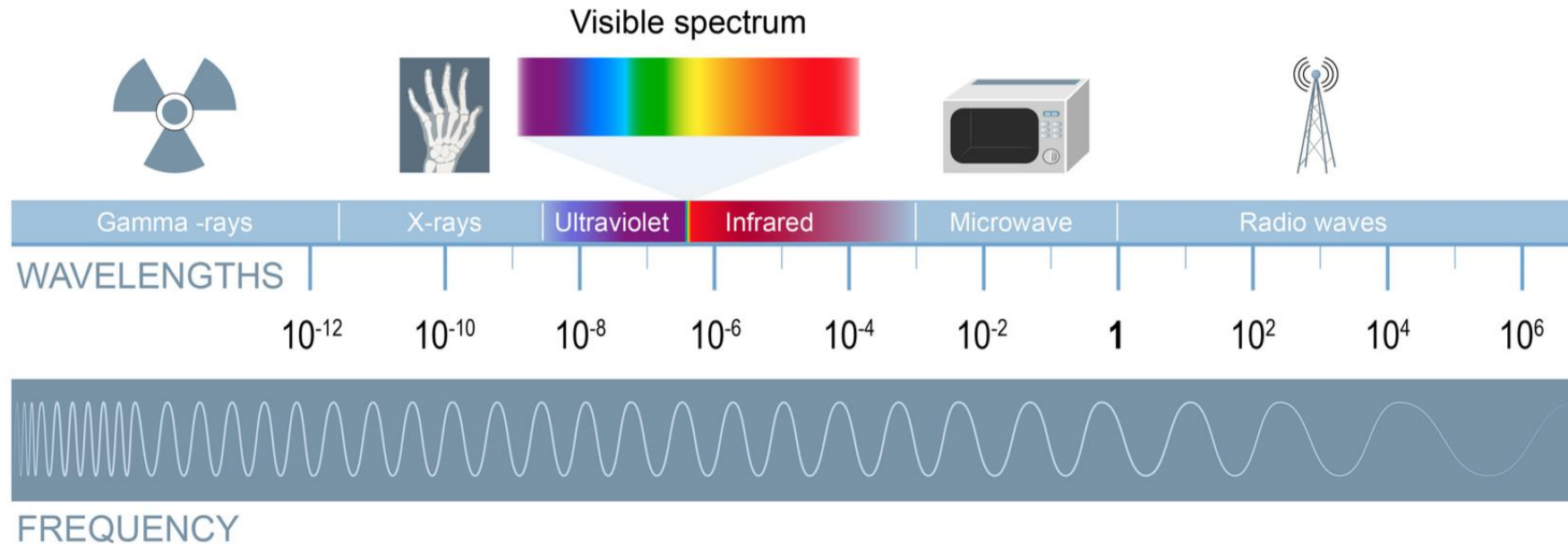
2) Aká je vlnová dĺžka žiarenia s frekvenciou 86.6 MHz?

Vlnová dĺžka je vzdialenosť, v priebehu ktorej sa tvar vlny zopakuje a meria sa v metroch, najčastejšie v nanometroch (nm, 10^{-9} m) alebo v mikrometroch (μm , 10^{-6} m).

Frekvencia definuje počet opakovaní vlny za sekundu a meria sa v hertzoch (Hz).

Rýchlosť šírenia sa EMG žiarenia vo vákuu je konštantná ($c = 299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

$$\lambda = c/f = 299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}/86\,600\,000\text{ Hz}$$



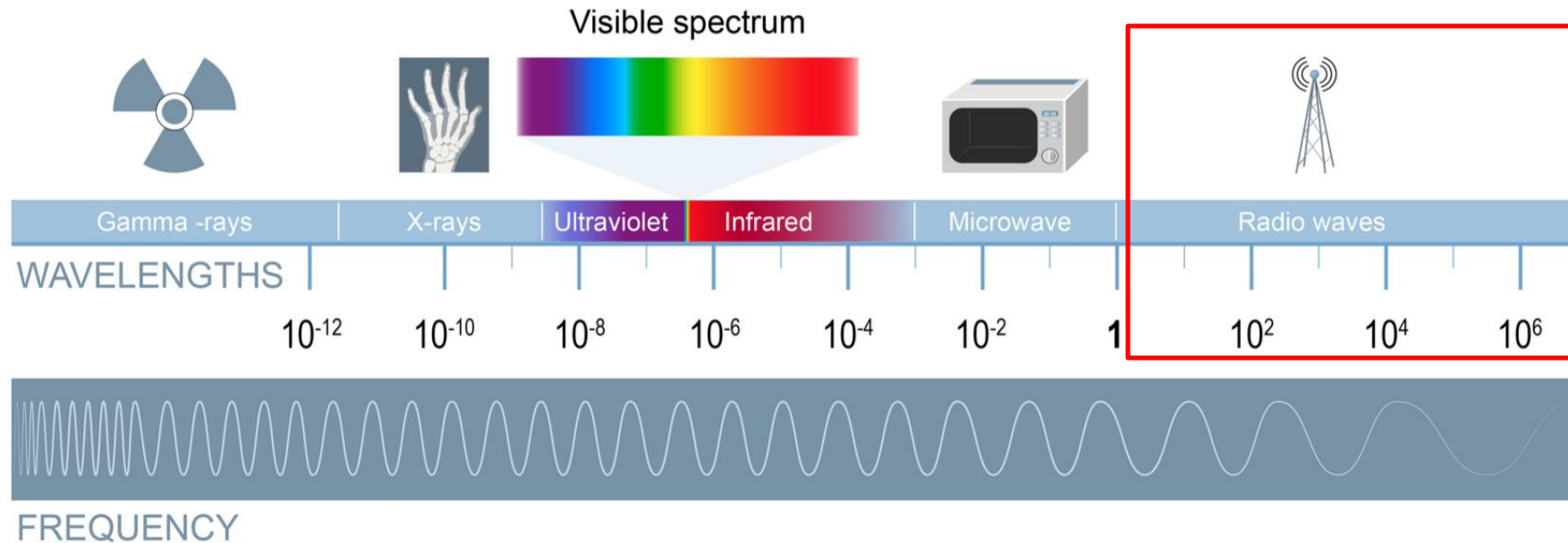
2) Aká je vlnová dĺžka žiarenia s frekvenciou 86.6 MHz?

Vlnová dĺžka je vzdialenosť, v priebehu ktorej sa tvar vlny zopakuje a meria sa v metroch, najčastejšie v nanometroch (nm, 10^{-9} m) alebo v mikrometroch (μm , 10^{-6} m).

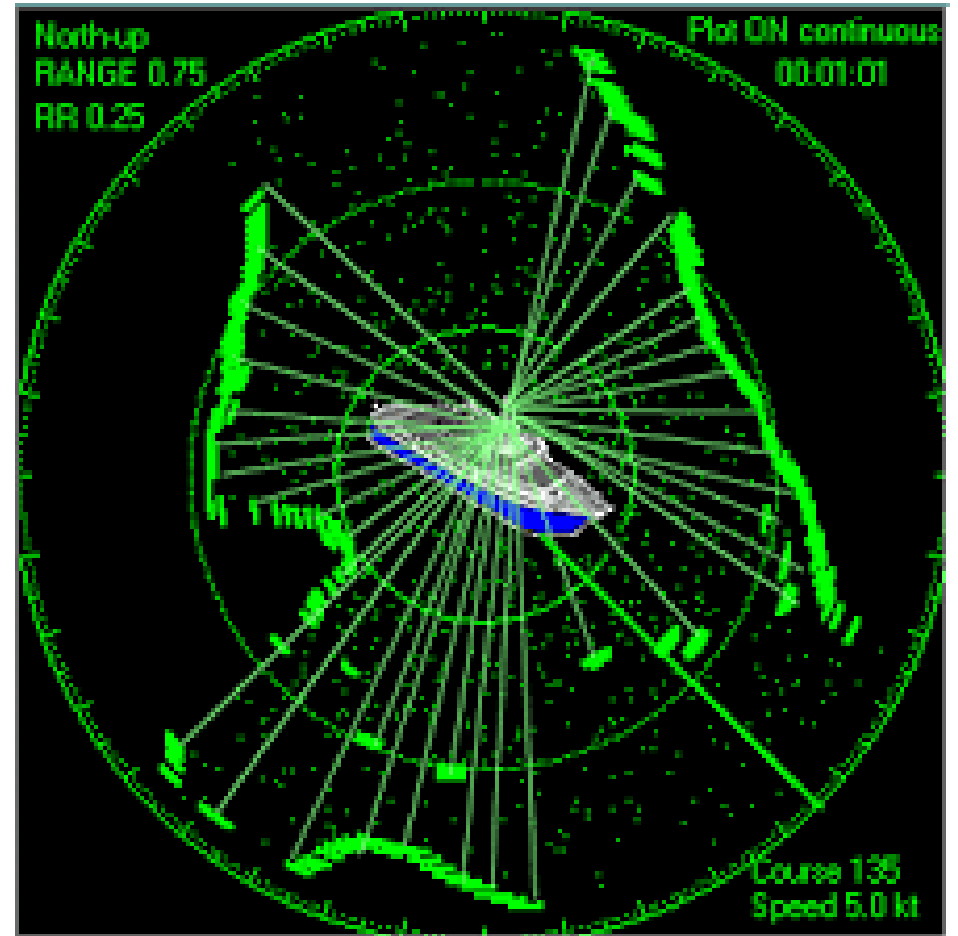
Frekvencia definuje počet opakovaní vlny za sekundu a meria sa v hertzoch (Hz).

Rýchlosť šírenia sa EMG žiarenia vo vákuu je konštantná ($c = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

$$\lambda = c/f = 3,4618 \text{ m}$$



- V r. **1930** bol vybudovaný **prvý rádiolokačný systém** v Nemecku s názvom **Lorenz** (navigácia lietadiel na ich pristátie v noci alebo za zlého počasia)
- V priebehu **2. sv. vojny** sa rozvíjali radarové **RDRS** (**Radio Detection and Ranging Systems**)
- **Radarová technológia** sa rozšírila ako prostriedok detekcie nielen lietadiel, ale používala sa i pre detekciu polohy a navigáciu lodí a ponoriek

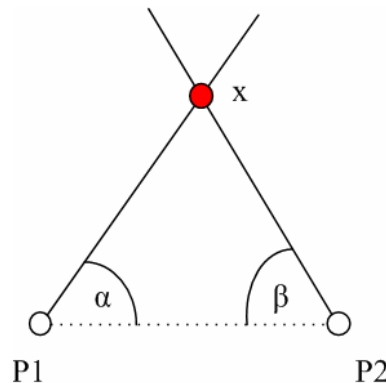


4 základné metódy rádiolokácie a rádionavigácie

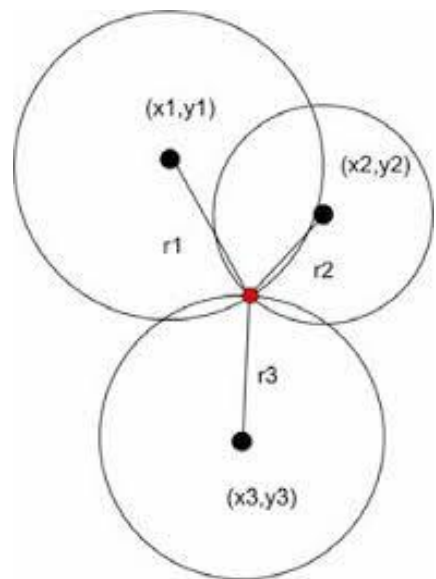
- **Multilaterácia** - rozdiel časového oneskorenia signálov dvoch vysielačov a prijímača (*LORAN-C*)

- **Trilaterácia** - vzdialenosť troch vysielačov a prijímača (*GPS, GLONASS, ...*)

- **Triangulácia** - meranie uhlov



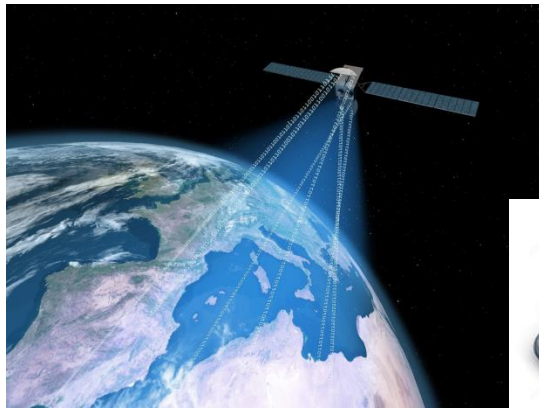
- **Dopplerovské merania** - vychádza z princípu Dopplerovho posunu (*TRANSIT*)



- **Trilaterácia*** je určenie polohy objektu (prijímača) využívajúca znalosť **absolútnej doby oneskorenia** šírenia signálov medzi vysielateľom a prijímačom, prepočítanou na vzdialenosť (*rádiový ekvivalent meraní dĺžok*).
- **Kódované rádiové meranie v rovine** vyžaduje **tri vysielateľe**, ku ktorým sú zmerané vzdialenosti

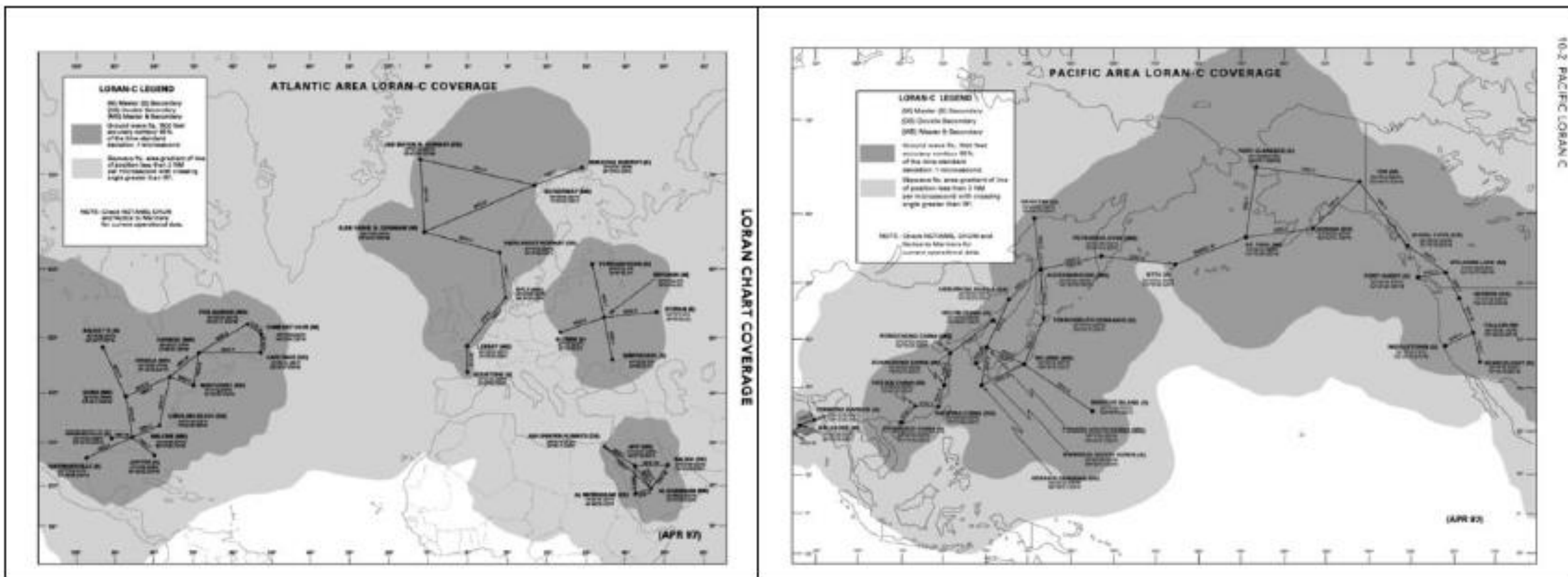


- Počas 2. svet. vojny v r. **1940** až **1943** začali USA budovať svoj **pozemný rádionavigačný systém** s názvom **LORAN** (z angl. **L**ong **R**ange **N**avigation).
- Princíp merania, ktorý sa používal v systéme **LORAN (LORAN-C*)**, je **multilaterácia**
- **LORAN** dovoľoval užívateľovi určovať svoju polohu a rýchlosť v dosahu až 1 200 míľ (1 930 km) od staníc reťazca (*L-C určenie polohy s chybou 185-463 m)



C-6430/ARN-78 Loran C Aircraft Control Box.

- Systém **LORAN** postupne prešiel modernizáciou a bol využívaný USA, Kanadou, Japonskom a mnohými štátmi Európy
- Systém úzko spolupracoval s ruským systémom **Čajka (Chayka)**
- Prevádzka systému LORAN-C bola ukončená **8. 2. 2010** v 20:00 UTC.



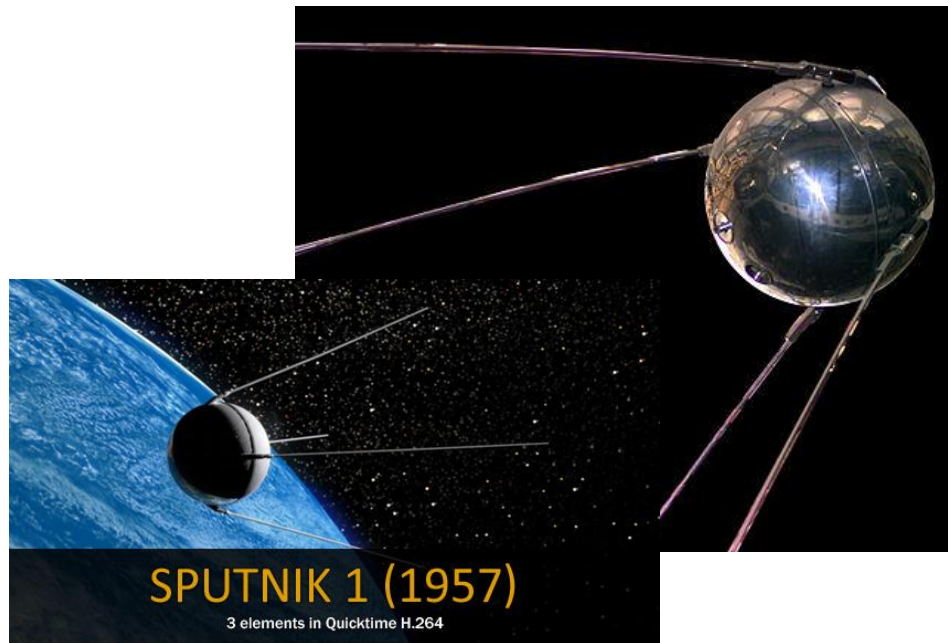
Pokrytie atlantickej a pacifickej oblasti signálmi systému LORAN-C.

HISTÓRIA KOZMICKEJ RÁDIOVEJ NAVIGÁCIE a LOKALIZÁCIE



PRVÝ BOL SPUTNIK 1

- r. **1957** prvá umelá družica Zeme **Sputnik 1 (ZSSR)** vo vesmíre
- Vysielala signály
- Boli známe parametre jej obežnej dráhy



1957 – Sputnik 1

Sputnik 1 bola prvá umelá družica Zeme (satelit).

Na obežnú dráhu satelit vyniesla **4. októbra 1957** nosná raketa R-7 konštruktéra **Sergeja Korolova**, ktorá štartovala o 19:28 UTC z kozmodrómu **Bajkonur**. Satelit bol aktívny do **8. januára 1958**.

Priemer mal 58 cm a hmotnosť 83 kg. Na satelite bol umiestnený vysielateľ, ktorý v pásmach 20,005 a 40,002 MHz vysielal pípavý signál sa stal symbolom začiatku kozmickej éry.

- Po vynájdení umelých družíc Zeme (satelitov) sa začalo uvažovať, či by sa nedali pomocou nich vyvinúť presnejšie navigačné systémy.

BAJKONUR

Kozmodróm Bajkonur (rus. Космодром Байконур) je hlavný ruský kozmodróm, používaný od začiatku kozmickej éry. Jeho stred sa nachádza v bode so zemepisnými súradnicami 46°00' s. š. a 63°40' v. d.



Bajkonur mesto



Štartovací komplex pre rakety Sojuz.

Bajkonur na brehu rieky Syrdarja v Kazachstane.



PRVÉ VEDECKÉ VÝSKUMY v SATELITNEJ (DRUŽICOVEJ) NAVIGÁCII a LOKALIZÁCII

➤ Výskum na Johns Hopkins University - Applied Physics Laboratory (Baltimor, Maryland, USA)

Prvé experimenty s rádiovými signálmi satelitov Sputnik:

- A. *Či je možné dopplerovským meraním signálov satelitov Sputnik, ktoré bolo realizované z niekoľkých pozemných staníc, určiť presnú polohu satelitu?*
- B. *Je možné inverzne (spätne) určiť polohu pozemnej stanice na základe niekoľkých dopplerovských pozorovaní (meraní), keď sú známe parametre obežných dráh a signály satelitov?* Myšlienka pre základ navigácie a lokalizácie na Zemi zo signálov zo satelitov, t.j. satelitnej (družicovej) navigácie a lokalizácie.



Poznámka na okraj: Princíp merania Dopplerovho javu sa využíva aj pri ultrazvukovom lekárskom vyšetrení.

Globálne navigačné satelitné systémy (GNSS)



➤ Éra **GNSS** začala začiatkom 70-tych rokov 20. stor. budovaním prvých GNSS systémov:

- **NAVSTAR GPS*** (USA) 1973
- **GLONASS**** (ZSSR dnes RF) 1976

➤ Na prelome tisícročia bolo začaté budovanie ďalších dvoch systémov:

- **Compass** (Čína) 2000 / predtým **BeiDou** (Čína) 1997
- **Galileo** (EÚ) 2001





1.) ZÁKLADNÉ SYSTÉMY GNSS:

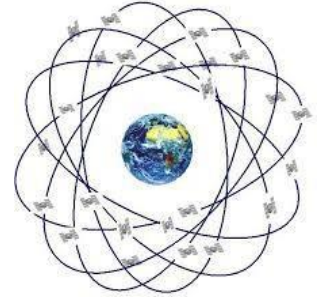
NAVSTAR GPS a GLONASS - historický přehľad

GPS a GLONASS - historický prehľad

- začiatok 60. rokov 20. st. - memorandum Ministerstva obrany USA vzdušné sily poverené zlúčením pokusných programov **Timation** a **621B** do programu označeného ako prvá verzia **NAVSTAR GPS**

Projekt SECOR - *presné geodetické meranie zemského povrchu*

- Prvý takýto **navigačný systém** uviedli do prevádzky **USA** v 60-tych rokoch 20. st. a tento systém dostal meno **Transit**.



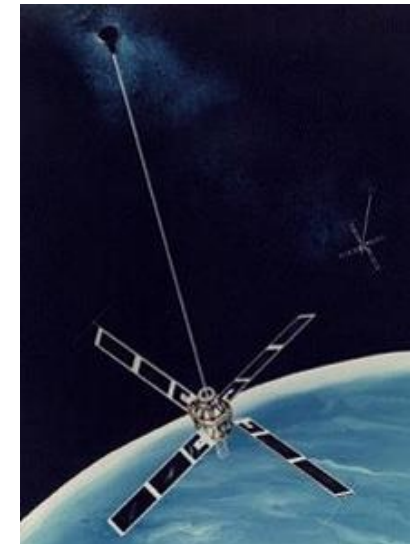


- **TRANSIT**, niekedy taktiež **NAVSAT** (*Navy Navigation Satellite System*)
- historicky **prvý satelitný (družicový) polohový systém**
- prevádzkovaný **1964–1996** vojenským námorníctvom USA
- určenie polohy s presnosťou prvých stoviek metrov a presného času kdekoľvek na Zemi;
- Systém bol neskôr uvoľnený i pre civilných užívateľov

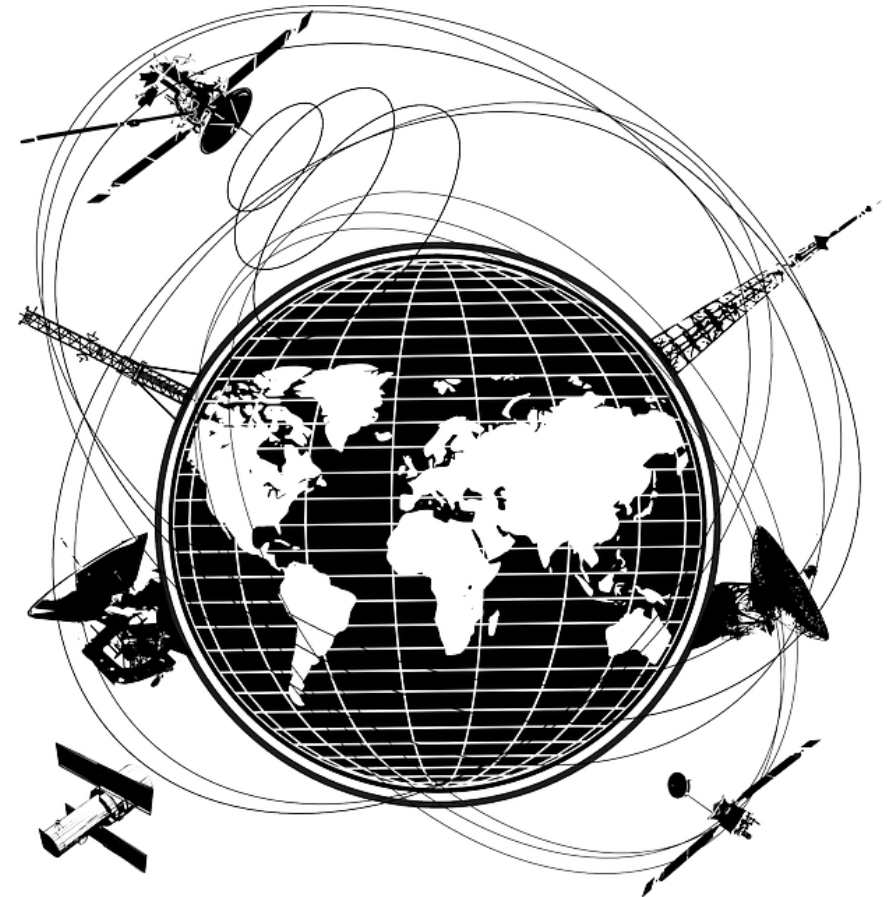
Systém pozostával zo 6 navigačných satelitov, ktoré vysielali navigačné signály na dvoch frekvenciách. Signály vysielané v dvoj-minutových intervaloch obsahovali:

- *efemeridy satelitov (dáta o polohe),*
- *vojenská dáta.*

Ilustrácia satelitu systému Transit typu Oscar na obežnej dráhe (obrázok USAF).



- Pre určenie polohy systém **TRANSIT** používal **Dopplerovské merania**.
- Satelity **TRANSIT** boli viditeľné každých **35-120 min.**
- Ponorka potrebovala sledovať satelit po dobu aspoň dvoch minút k tomu, aby mohla **určiť svoju polohu**.
- *Presnosť určenia polohy* sa z počiatočných **800 m** zlepšila neskôr až na **5 m**. Pokiaľ boli používané metódy spresňovania meraní, bolo možné dosiahnuť polohovú presnosť až **1 m**.



GPS a GLONASS - historický prehľad

- Koncom 60-tych rokov 20. stor. aj bývalý **Sovietsky zväz** uviedol do prevádzky **navigačný systém** označovaný názvom **Cyklon** a dodnes sú používané ďalšie dva obdobné systémy - vojenský 6-satelitný s názvom **Parus** (niekedy aj **Cikada-M**) a civilný 4-satelitný s názvom **Cikada**.



Ministerstvo obrany RF.

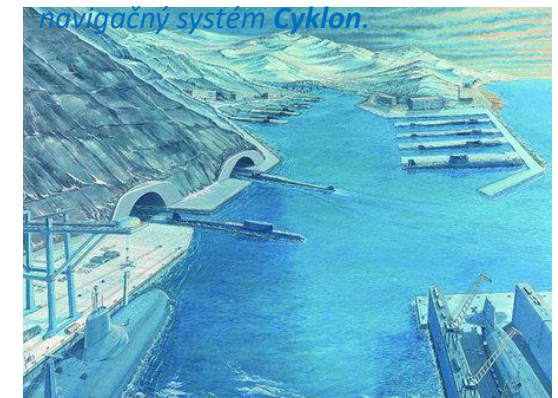


CYKLON

- taktiež **Cikada-M**, bol **sovietskou** obdobou amerického systému TRANSIT
- Jednalo sa o výlučne vojenský systém, vyhradený *pre navigáciu ponorkových nosičov balistických rakiet*
- V r. **1967–1978** bolo na obežné dráhy vynesných 31 satelitov systému **Cyklon**. Tie umožňovali pomocou Dopplerovských meraní určenie polohy pre statické a pomaly pohybujúce sa plavidlá.
- V prípade pomaly pohybujúcich sa plavidiel boli nutné *dlhodobé observácie* (niekoľko desiatok minút) k určeniu dostatočne presnej polohy plavidla.



V zátok **Balaklava (Krym)** je podzemný komplex (dnes múzeum), kde sa opravovali a vyzbrojovali stredné dieselové ponorky využívajúce navigačný systém **Cyklon**.



Umelcova vizio dokončenej základne.

GPS a GLONASS - historický prehľad

- Oba systémy – „**prvý**“ **GPS** a **Cikada-M/Cikada** mali v tom čase (**začiatok 70. rokov 20. st.**) rovnaké nevýhody
- Poskytovali len **2D súradnice**
- Určenie polohy bolo s presnosťou **500 m** pri prijímaní signálu len z jedného satelitu a **nepresný časový signál**
- Nedostatočná konštelácia *kozmickeho segmentu* - *signál nebol dostupný v priebehu celého dňa*
- Využívali **Dopplerovské princípy** - isté nevýhody najmä technického charakteru



Začiatok 70-tych rokov 20. stor.



GPS a GLONASS - historický prehľad

- Po zlých skúsenostiach s Dopplerovskými systémami sa na **začiatku 70-tych rokov** USA (Dept. of Defense) rozhodli vybudovať nový presnejší satelitný navigačný systém, ktorý by umožňoval určenie polohy v **3D priestore** spolu s **presným časom** a sprístupnil by tak satelitnú navigáciu aj *letectvu**
- Od **17. decembra 1973** riadi rozvoj **programu NAVSTAR GPS** spoločná programová skupina (**Joint Program Office**) kozmického oddelenia veliteľstva systémov vzdušných síl USA

**Letectvo si vyžadovalo oveľa vyššiu presnosť a 3D polohu, než zaručovalo prvé GPS, ktoré bolo pôvodne vyvinuté pre USA vojenské námorníctvo.*



GPS a GLONASS - historický prehľad



Práce na budovaní „nového“ systému **NAVSTAR GPS** (ďalej len GPS) boli rozdelené do dvoch častí:

➤ 1. časť

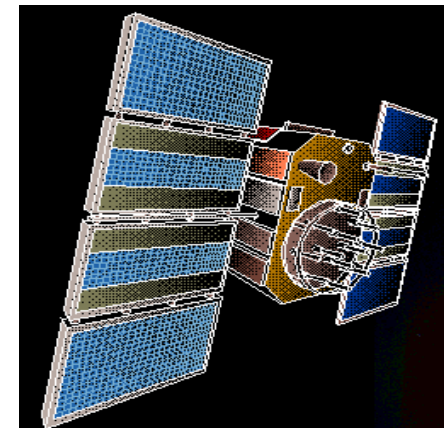
- **komunikačná infraštruktúra** a **riadiace strediská**
- Firme **Rockwell** bola v r. **1980** pridelená objednávka na vývoj a výrobu **28 satelitov** typu *Block II* (vyšší, tech. dokonalejší typ než *Block I*).

➤ 2. časť

- Prvý z 28 satelitov *Block II* bol vypustený v r. **1989**
- V rovnakom roku (**1989**) bol uzatvorený kontrakt s firmou **General Electric** na rekonštrukciu a výrobu 20-tich ďalších, zdokonalených satelitov.
- Do prvého štádia **IOC - Initial Operational Capability** sa GPS dostal v r. **1993** vypustením 35. satelitu.
- V celom systéme **GPS** vtedy pracovalo **21 navigačných** a **3 záložné satelity**.
- V r. **1994** vývoj GPS dosiahol štádia **FOC – Full Operational Capability**, keď bolo v činnosti **24 satelitov**. Oznámenie o FOC - 1995. Tak je tomu dodnes.



GPS satellites Block II.



GPS letecká katastrofa a civilné využívanie GPS

► Let Korean Air 007



Pamätník obetiam letu KAL 007 v Japonsku.

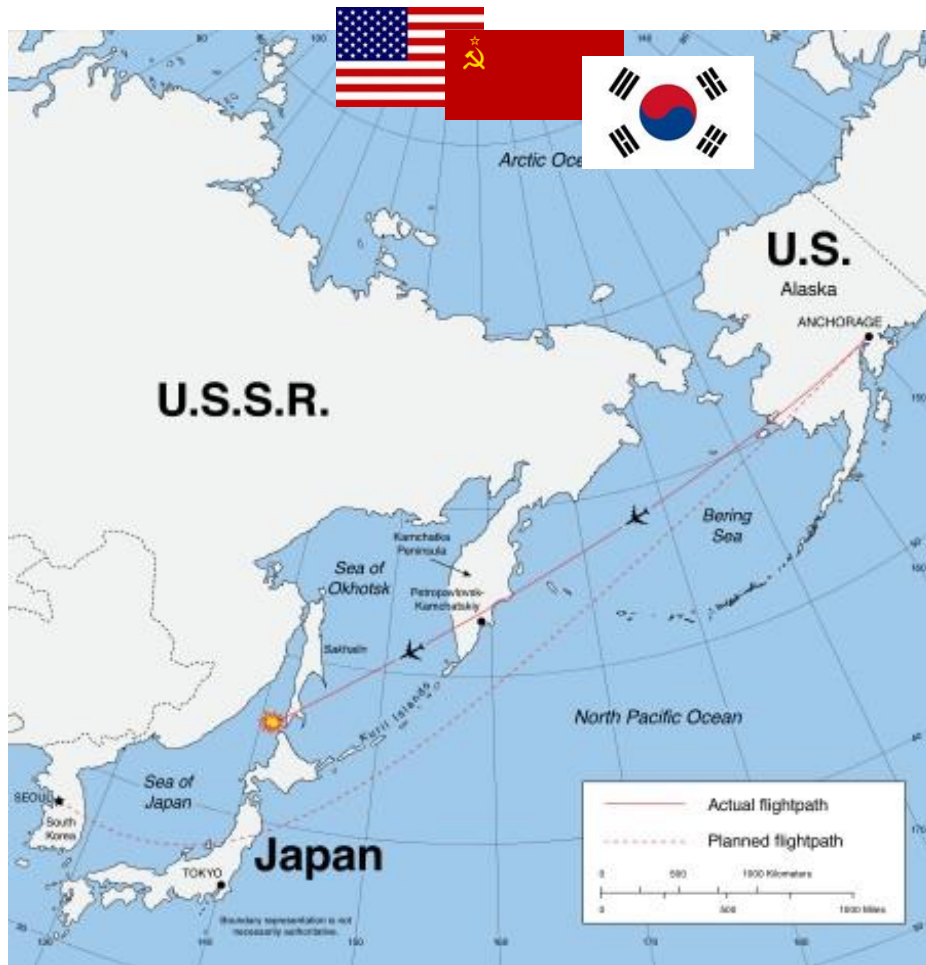
Boeing 747-230B spoločnosti Korean Air Lines podobný zostrelenému stroju.



The New York Times „hektická“ správa o tragédii.



GPS letecká katastrofa a civilné využívanie GPS

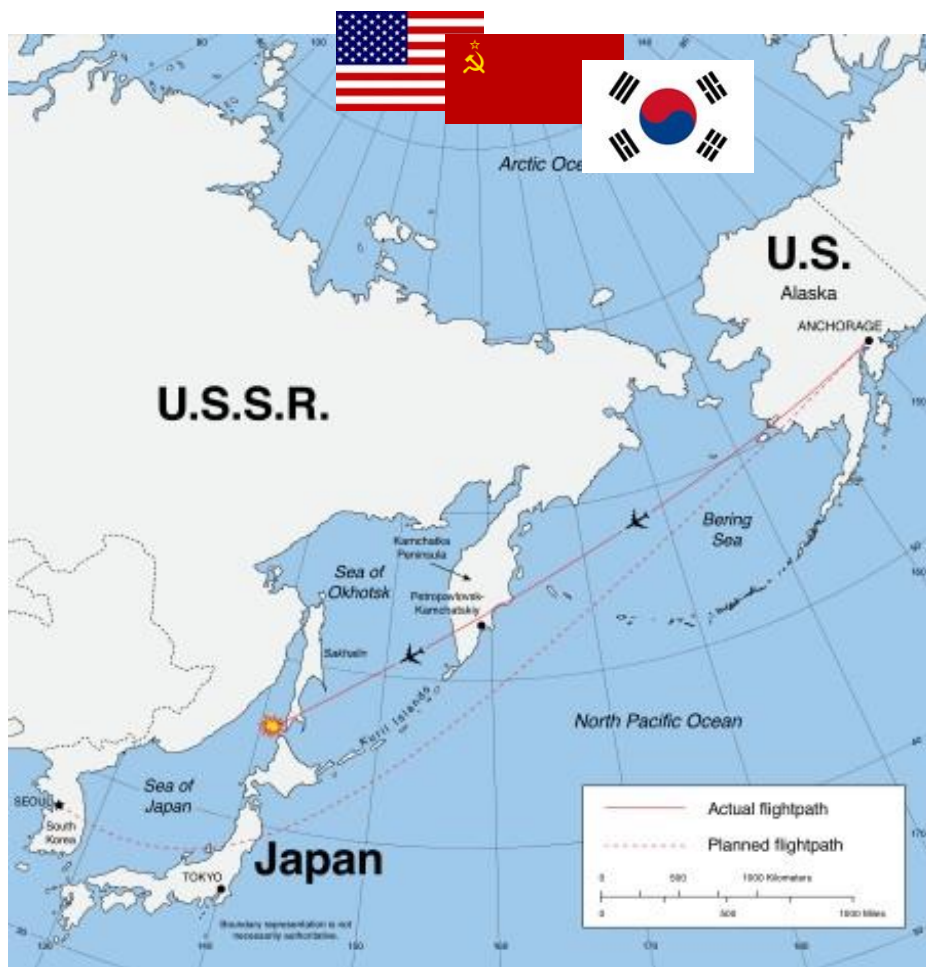


Plánovaná a skutočná dráha letu KAL 007.

➤ Čo predchádzalo prístupneniu GPS pre civilných užívateľov?

- **Let Korean Air 007** - pravidelný civilný linkový let juhokórejskej spoločnosti **Korean Air**.
- **1. septembra 1983** sa v dôsledku chýb posádky odchytil z pravidelnej, resp. plánovanej trasy, vletel do sovietskeho vzdušného priestoru a bol zostrelený nad morom blízko **Sachalinu** stíhačkou **Suchoj Su-15** sovietskej protivzdušnej obrany.
- Zahynulo všetkých 269 osôb na palube.

GPS letecká katastrofa a civilné využívanie GPS



- USA predĺžili oblasť radarového sledovania z pôvodných **200 na 1 200 míľ** od **Anchorage**. Na ostrove **St. Paul** bol nainštalovaný sekundárny radar.
- V r. **1986** sa **ZSSR** a **USA** dohodli na spoločnom systéme monitorovania leteckej prevádzky v oblasti severného **Pacifiku**.
- V **septembri 1983** oznámil prezident **Ronald Reagan** **uvolnenie zatiaľ tajnej technológie GPS** pre civilné využitie (od r. **1984**), aby sa podobným „omylom“ predišlo.

Ronald Wilson Reagan (6. február 1911, Tampico, Illinois, USA – † 5. jún 2004, Los Angeles, Kalifornia, USA) bol 40. prezident Spojených štátov amerických a 33. guvernér štátu Kalifornia. Predtým, ako vstúpil do politiky, bol Reagan rozhlasový moderátor, herec a vedúci Odborového zväzu hercov v USA.*



GPS a GLONASS - historický prehľad

GLONASS

- História ruského globálneho navigačného satelitného systému (dnešného **GLONASS**) začína v r. **1968** až **1970** hneď po uvedení do užívania systémov **Cyklon**, **Parus** a **Cikada**
- V tomto období *Ministerstvo obrany ZSSR*, *Sovietska akadémia vied* a *Sovietske námorníctvo* návrhu a vývoji **jednotného navigačného systému** pre operácie na mori, vo vzduchu i na súši.



Územie bývalého ZSSR (Zväz sovietskych socialistických republík).



GPS a GLONASS - historický prehľad

GLONASS

- **1978** – dokončený technický plán vývoja systému **GLONASS**
- **1982** – vypustený 1. navigačný satelit **GLONASS - URAGAN** (1. generácia satelitov GLONASS)
- **1984** – dosiahnutá testovacia konštelácia prvých štyroch navigačných satelitov
- **1988** – ZSSR ponúkol navigačné signály **GLONASS** zdarma k používaniu verejnosti
- **1991** – po rozpade **ZSSR** a vzniku **RF** - stanovená testovacia konštelácia **10-12 satelitov**
- **1993** – systém **GLONASS** prezidentom RF vyhlásený za funkčný. **1995** - dosiahla sa konštelácia plného počtu 24 satelitov. **1996** - **GLONASS** plne operačne spôsobilý (24 satelitov)



Raketová základňa Bajkonur (dnes Kazachstan), raket .nosič Sojuz vynáša satelity GLONASS + (Galileo).



Rovnako, ako americký systém GPS, bol i ruský GLONASS do roku 2007 v prvom rade systémom vojenským. GPS na rozdiel od GLONASS na to, aby mohol byť poskytnutý civilným užívateľom, musel pristúpiť k šifrovaniu/zakódovaniu signálov určených len pre vojenské zložky USA. Pozn.: Sprístupnenie GPS pre civilných užívateľov – dôvod – viď slide 19-21.



2. GNSS – Obsah, delenie a štruktúra

NAVSTAR GPS

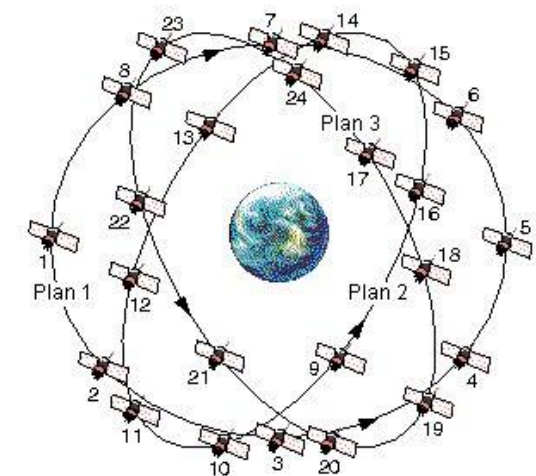
- Dňa **17. 12. 1973** bolo pod dohľadom a vedením Ministerstva obrany USA začaté budovanie prvého globálneho navigačného satelitného systému na svete pomenovaného **NAVSTAR GPS** (ďalej len **GPS**).
- Rovnako, ako všetky nasledujúce systémy v GNSS, je **GPS** založený na princípe **trilaterácie** (diaľkomerná metóda rádiového nepriameho merania polohy).



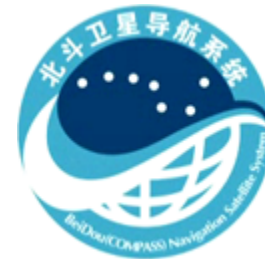
GPS - vesmírny segment.

GLONASS

- O tri roky neskôr v r. **1976** zahajuje Sovietsky zväz (ZSSR) výstavbu svojho globálneho navigačného satelitného systému (v rámci GNSS). Budovaný systém bol pomenovaný **GLONASS**.
- USA dokončuje svoj systém v r. **1994** a nasledujúci rok je deklarované, že systém **GPS** dosiahol plnú operačnú spôsobilosť (FOC)
- Dokončenie budovania **GLONASS** je narušené zmenou štátneho usporiadania a rozpadom Sovietskeho zväzu. GLONASS dosiahol FOC v r. **1995**

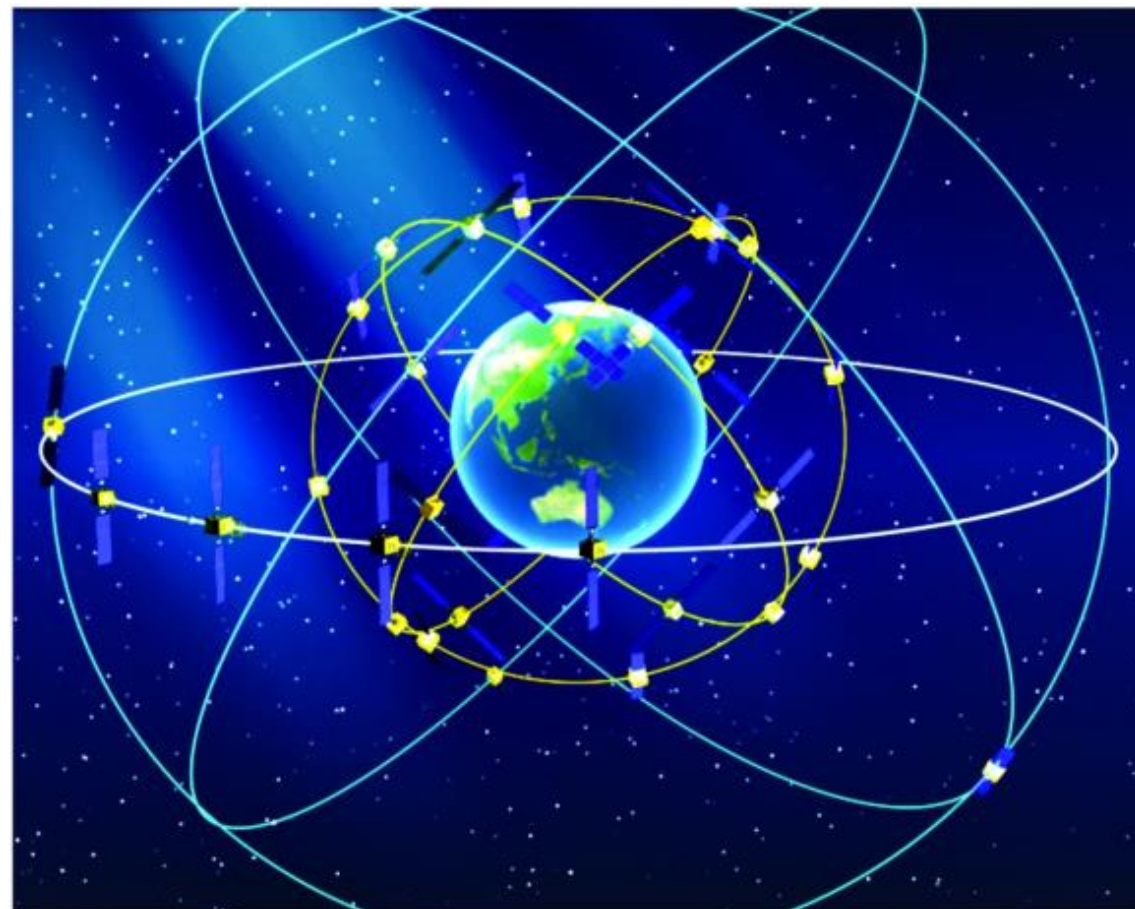


GLONASS - vesmírny segment.



BEIDOU /COMPASS

- V r. **1997** rozhoduje Čína o vybudovaní svojho vlastného GNSS s názvom **BeiDou-1**.
- 1. etapa - do r. **2012** dobudovaná prvá generácia lokálneho satelitného navigačného systému **COMPASS - BeiDou-2**.
- Dokončenie **COMPASSu** je plánované na koniec druhej dekády 21. stor.



Compass/Beidou-2 will consist of five geosynchronous (GEO) satellites, 27 in medium-Earth orbit (MEO), and three in highly-inclined geosynchronous orbits (IGSO).

GALILEO

- EÚ sa v r. **2001** rozhoduje o vybudovaní vlastného GNSS **Galileo**
Plánovaný systém má byť prevádzkovaný na **komerčných základoch**.
- **V prvej etape** je vybudovaný systém tzv. **GNSS-1 (2005)**, ktorý nesie meno **EGNOS*** - systém vylepšujúci súčasný **GNSS (GPS + GLONASS)**, no neposkytuje požadovanú nezávislosť EÚ na GPS a GLONASS
- **V druhej etape** je plánované vybudovanie systému **GNSS-2 (Galileo)**
- Z politických a ekonomických dôvodov bolo dobudovanie systému **Galileo** naplánované na koniec **druhej dekády 21. stor.**
- 2018 – FOC (24 satelitov)

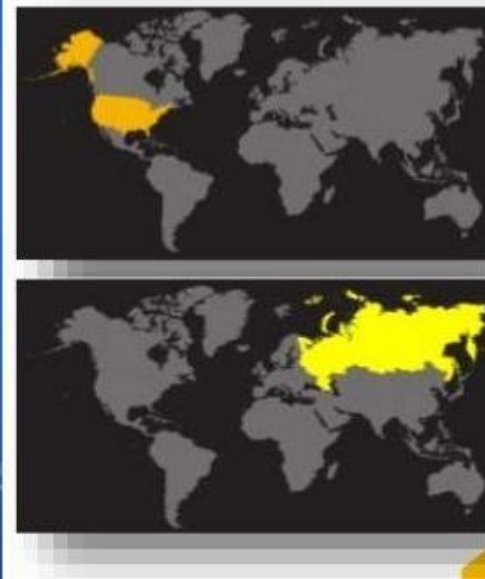


**EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) je aplikácia systému SBAS (Satellite Based Augmentation System), ktorý dopĺňa a vylepšuje vlastnosti GPS v Európe.*

Globálne navigačné satelitné systémy (GNSS)



4 функčné GNSS vo svete

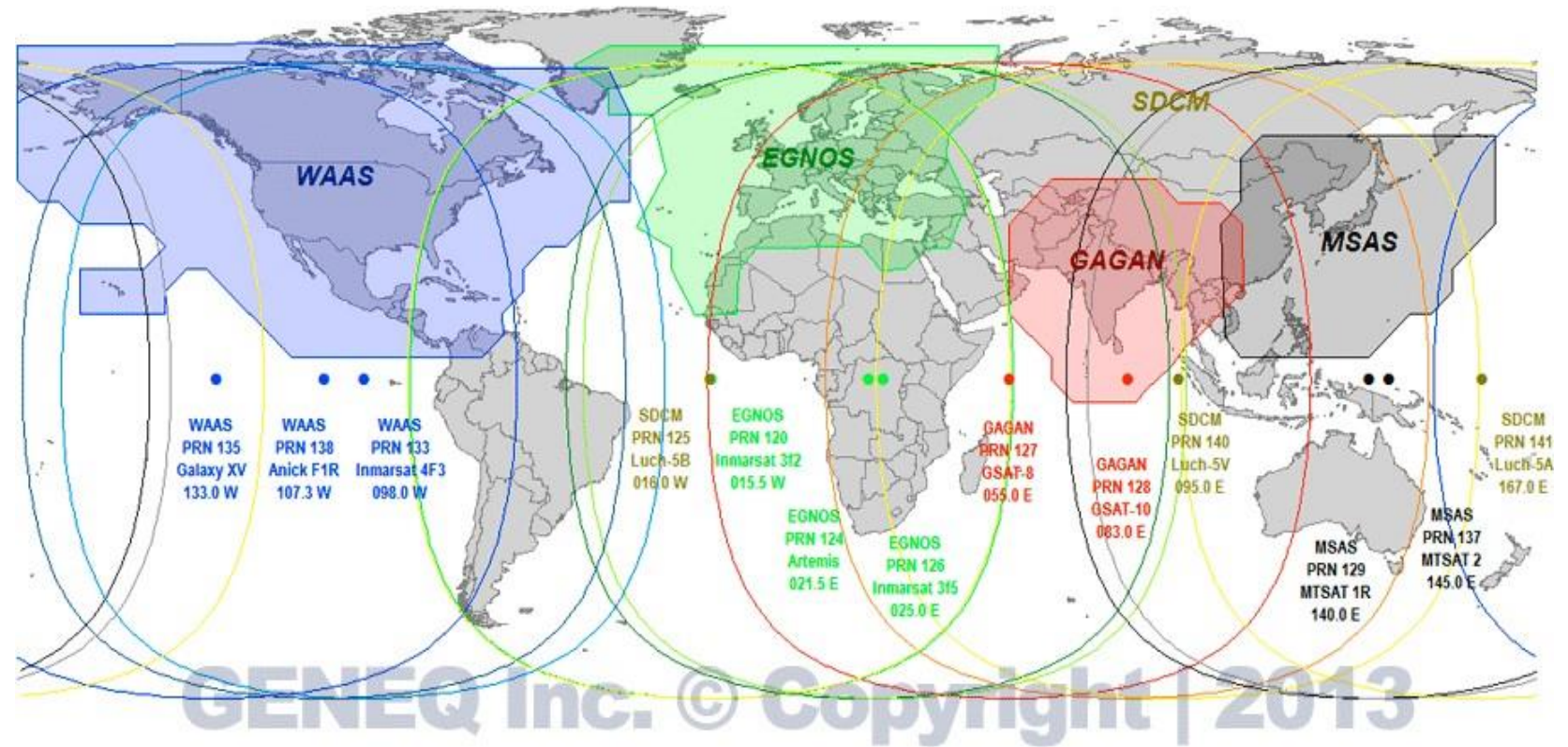


= GPS, GLONASS, Galileo, Compass

Regionálne navigačné satelitné systémy (RNSS)

SBAS - Satellite Based Augmentation Systems / Spresňujúce (podporujúce, posilňujúce) systémy:

- QZSS (Japan)
- IRNSS (India)
- WAAS (U.S.A.)
- EGNOS (EU)
- MSAS (Japan)
- GAGAN (India)
- SDCM (Russia)
- SNAS (China)
- WAGE (U.S.A.)
- GPS-C (Canada) (tiež CWAAS)
- AFI (Africa-Indian Ocean Region)
- 🔗 + 2 komerčné sat. navig. systémy*



*StarFire - John Deere

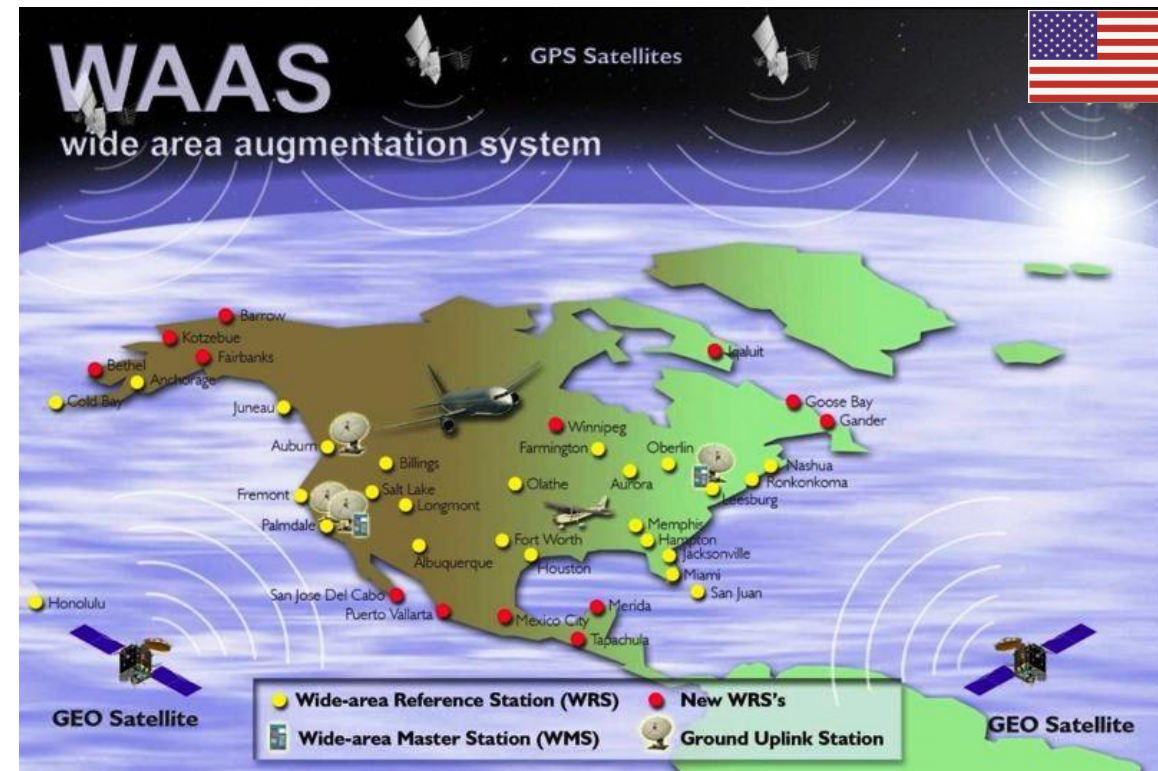
Starfix DGPS System a OmniSTAR - Fugro. (STARFIX Differenčné GPS (DGPS) služby)

Regionálne navigačné satelitné systémy (RNSS)

SBAS - Satellite Based Augmentation Systems / Spresňujúce (podporujúce, posilňujúce) systémy:



Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)

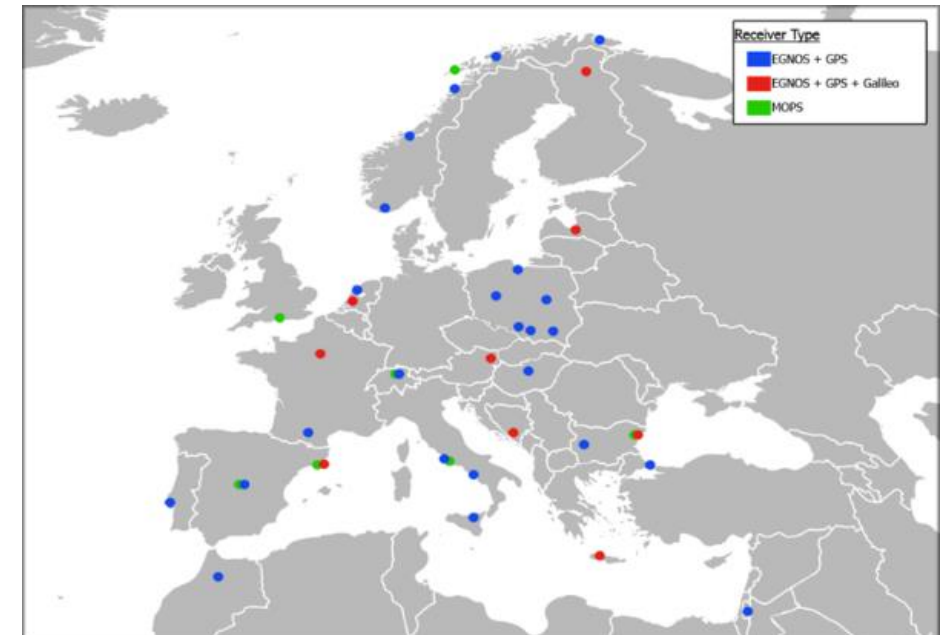


Wide Area Augmentation System (WAAS)

➤ European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS)

- Systém vyhodnocujúci presnosť navigačných systémov GPS a GLONASS
- Európska geostacionárna vykrývajúca služba – prvá satelitná služba v Európe
- Znižuje nepresnosť určenia polohy na minimum
- 3 geostacionárne satelity a sieť pozemných staníc
- Poskytuje užívateľom v Európe a priľahlom okolí určenie polohy v intervale do 5 metrov oproti bežným 20 metrom

EGNOS



➤ Čína - Satellite Navigation Augmentation System (SNAS)

- kongres ION-GNSS 2011 - **BeiDou** systém
– polohová presnosť 1 m





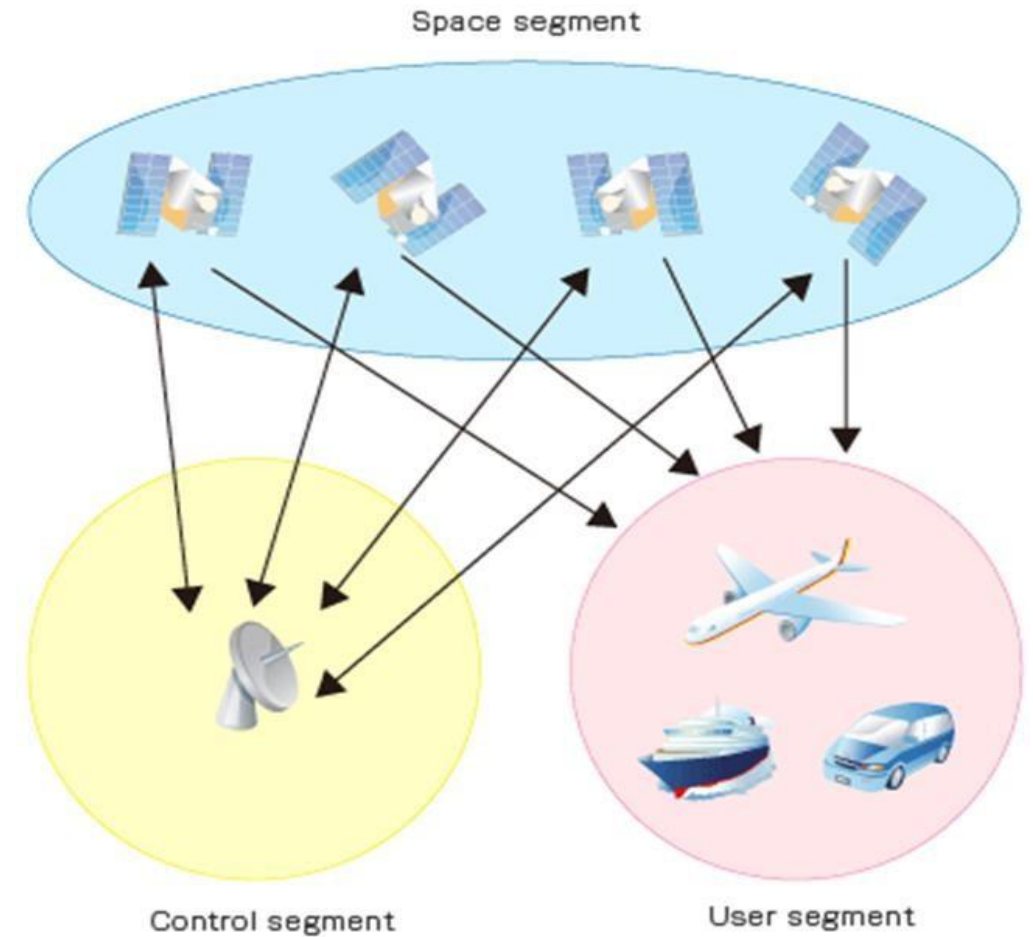
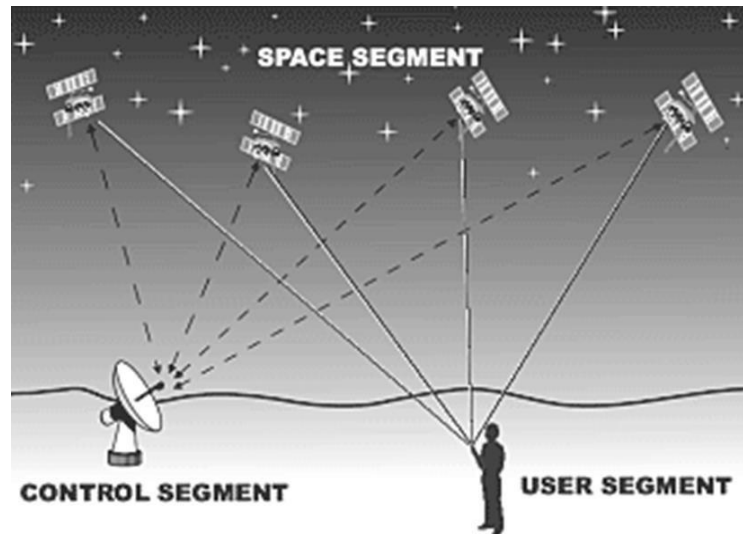
3.) NAVSTAR GPS

- štruktúra, princíp činnosti, zásady a osobitosti

GPS - štruktúra

System GPS je tvorený troma segmentmi:

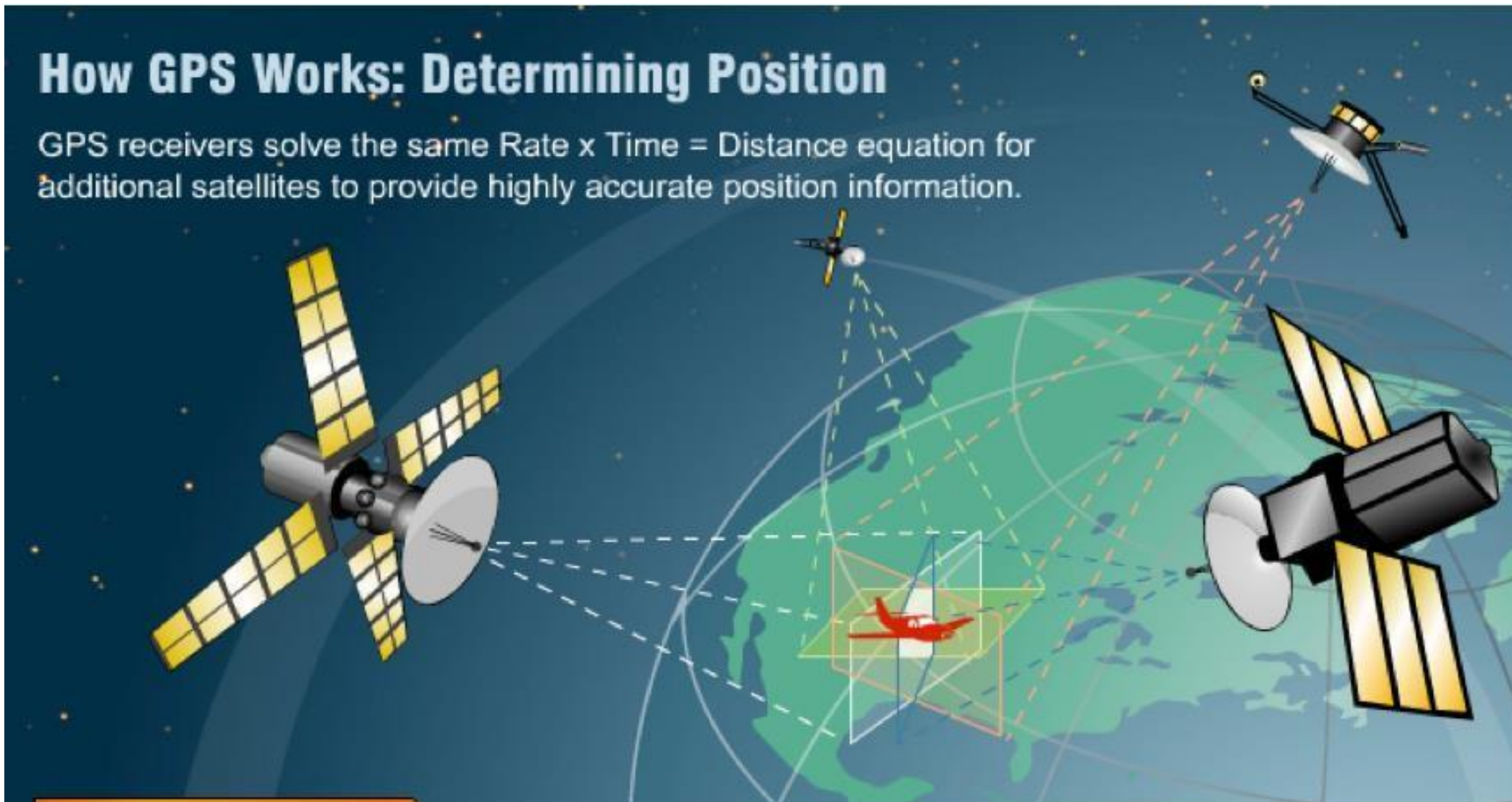
- **Kozmický (vesmírny) segment**
- **Riadiaci segment**
- **Užívateľský segment**



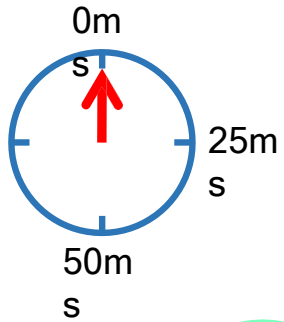
Navigácia pomocou GPS

How GPS Works: Determining Position

GPS receivers solve the same $\text{Rate} \times \text{Time} = \text{Distance}$ equation for additional satellites to provide highly accurate position information.

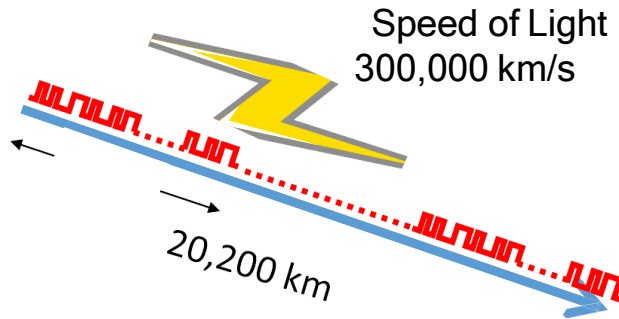
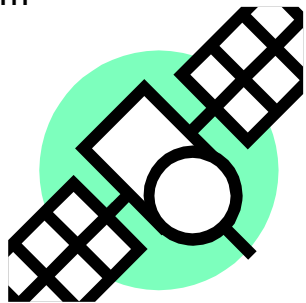


Navigácia pomocou GPS

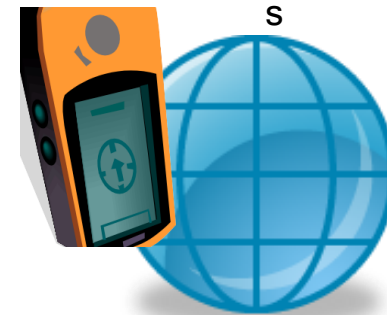
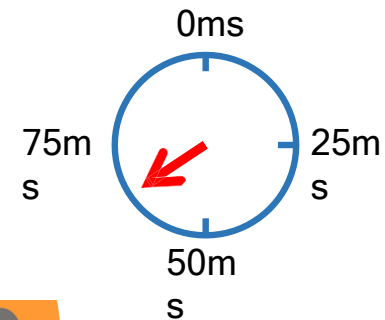


Satelit vyšle signál o 0ms.

Satelit so známou polohou vysiela signál v pravidelnom čase



Prijímač prijme ten istý signál za 67ms.



$$\text{Vzdialenosť} = \text{Rýchlosť} \times \text{Čas (vyslaný - prijatý)}$$

Kozmický segment GPS

- sústava **24 satelitov*** rozmiestnených na **šiestich obežných dráhach** vysielajúcich **navigačné signály**.
- globálne pokrytie satelitmi tak, aby boli možné simultánne merania na **4 až 8 satelitoch** vo výške viac než 15° nad horizontom v každom mieste na Zemi.
- Pôvodná konštelácia GPS obsahovala **24 aktívnych satelitov** (**21 operačné**/navigačné a **3 záložné** satelity) rozmiestnených v **troch obežných dráhach** (dráhových rovinách, tiež orbitách) so sklonom 63° (inklinácia) k rovine rovníka.
- Neskôr počet satelitov sa zmenil na **18**

$$24 = 21 + 3$$



*Kozmický segment bol projektovaný na 24 satelitov ale v súčasnosti je využívaných až medzných 31 satelitov.

Kozmický segment GPS

- Po r. **2008** sa počet satelitov rozšíril opäť na pôvodných **24 satelitov** v **6 obežných dráhach** so sklonom 55° k svetovému rovníku. Z toho vyplýva, že v každej dráhovej rovine sú **4 satelity**.
- Tým sa dosahuje priaznivejší stav, keď pri poruche niektorého z navigačných satelitov zostanú v jednej obežnej dráhe 3 funkčné družice. Okrem toho pri tomto rozložení satelitov v 6 obežných dráhach sa vyhne krátkym intervalom nevhodnej konfigurácie 4 satelitov nad horizontom v dôsledku zákrytov niektorej dvojice satelitov, čo bolo častejšie sa vyskytujúci stav pri počte pôvodných troch obežných dráh.
- Obežné dráhy satelitov sú vzájomne posunuté o **60°** .
- Obežné dráhy satelitov sú označované latinskou abecedou **A** až **F**.
- Satelity obiehajú vo výške **20 190 km** nad povrchom Zeme
- Doba obehu satelitu okolo Zeme **11 hod. 58 min.** hviezdneho času
- Za jeden hviezdny (siderický) deň (24 hodín, t.j. čas, za ktorý sa Zem otočí o 360°) uskutoční **každý satelit dva obehy okolo Zeme**



Kozmický segment GPS

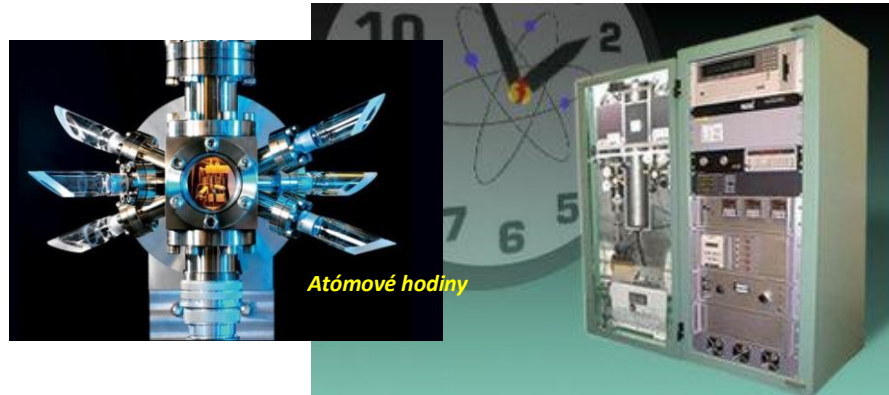
➤ Každý satelit je vybavený:

- 1. Anténami: prijímacie antény** (pre komunikáciu s pozemnými kontrolnými stanicami v pásme S (2204,4 MHz) a **vysielacie antény** (12 antén pre vysielanie rádiových kódov v pásme L (2000-1000 MHz) a **antény** pre vzájomnú komunikáciu satelitov v pásme UHF, t.j. UKV-ultra krátke vlny).
- 2. Atómovými hodinami:** 3 až 4 veľmi presné (10^{-13} sek.) atómové hodiny s rubídiovým, predtým taktiež s céziovým oscilátorom.
- 3. Palivom pre dýzy (trysky) pohonu**
- 4. Akumulátormi** pre elektrický pohon motorov so **solárnymi panelmi** s plochou 7,2 m².
- 5. Palubné PC s príslušnými pamäťovými médiami:** robia korekcie obežných dráh a časov.
- 6. a radom ďalších prístrojov:** slúžia pre navigáciu alebo iné špeciálne účely (napr. pre detekciu výbuchu jadrových náloží).

- **Atómové hodiny** alebo molekulové hodiny sú doteraz najpresnejšie hodiny, ktorých základom sú oscilácie molekúl alebo atómov vhodnej látky, napr. plynového amoniaku, na vlnovej dĺžke 1,2599 cm.

Od r. 1967 dĺžka 1 sekundy zodpovedá 9 192 631 770 kmitom atómu cézia 133.

- **Prvé atómové hodiny** vynašiel r. 1946 Willard Libby (USA). V čase svojej prezentácie boli natoľko presné, že ich odchýlka dosahovala jednu sekundu za 300 rokov.
- **Atómové céziové hodiny** vynašili L. Essen a J. Parry (UK).



Kozmický segment GPS



➤ Typy satelitov

- Satelity **NTS** - *Navigation Technological Satellites*, t.j. technologické navigačné satelity . Išlo o 2 satelity. Obiehali na nižších dráhach a testovali jednotlivé bloky satelitov projektu GPS.
- Satelity **Blok I (angl. Block I)** (NDS – *Navigation Development Satellites*) rozvíjali technológiu GPS. Bolo ich spolu vypustených 11. Satelity boli projektované so životnosťou 3 roky, no niektoré z nich slúžili viac než 10 rokov. Prvých 11 prototypových satelitov, vypustených v období 1978 až 1985, bolo typu Blok I. Hoci ich životnosť bola plánovaná na 4,5 roka, v roku 1993 boli ešte 3 satelity aktívne. Sklon dráhy mali 63°.
- Satelity **Blok II** a **IIA**. Nahradili satelity Blok I. V súčasnej dobe sú funkčné len 4 satelity (IIA).
- Satelity **Blok IIR** a **IIR-M** (*Replacement Operational Satellites*) sú to zdokonalené satelity Blok-u II. Majú väčšiu odolnosť proti radiácii. V súčasnej dobe je funkčných 12 satelitov rady IIR a 7 satelitov rady IIR-M.
- Satelity **Blok IIF** (*Follow on group*). V súčasnej dobe je funkčných 8 satelitov.
- Satelity **Blok IIIA, IIIB, IIIC** sú v príprave na vynesenia na obežné dráhy, resp. vo svojom vývoji. Sú technologicky dokonalejšie než satelity Blok IIF.

Kozmický segment GPS

Počet a typy satelitov GPS

Blok (Block)	Obdobie	Vypustené	Aktívne	Životnosť plán/skutočná
I	1978–1985	10+1 ¹	0	-/?
II	1989–1990	9	0	7,5/12,1
IIA	1990–1996	19	4	7,5/20+
IIR	1997–2004	12+1 ¹	12	10,0/13+
IIR-M	2005–2009	8	7	8,5/8+
IIF	2010–2016	8+4 ²	8	15,0/2+
IIIA	2016–	0+4 ² +8 ³	0	15/-
IIIB		0+8 ³	0	-/-
IIIC		0+16 ³	0	-/-
Celkom (operačné satelity)		66 +2¹ +5² +36³	31 (32) (31)	

¹ stratená pri štarte alebo zlyhalo oživenie

² v príprave

³ plán

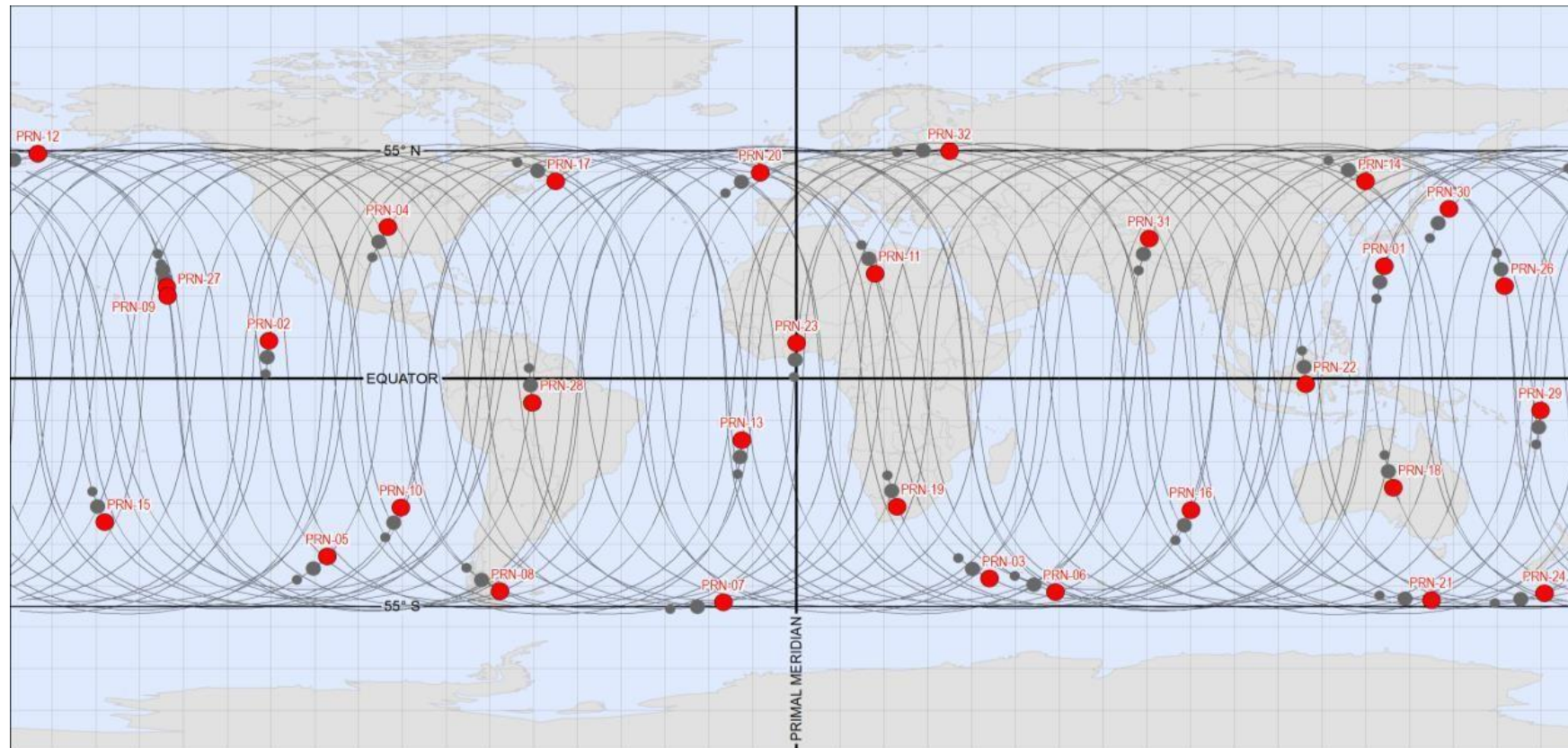
⁴ vývojové/testovacie

25. január 2015

16. január 2016

09. január 2019

Kozmický segment GPS



GPS satellite position	GPS Satellite Track
● 2014-03-10T12:00 UTC	— 2014-03-10
● 2010-02-24T11:50 UTC	
● 2010-02-24T11:40 UTC	

Celá konštelácia kozmického segmentu GPS (trajektórie satelitov) 10.3.2014 o 12:00 UTC.

Kozmický segment GPS

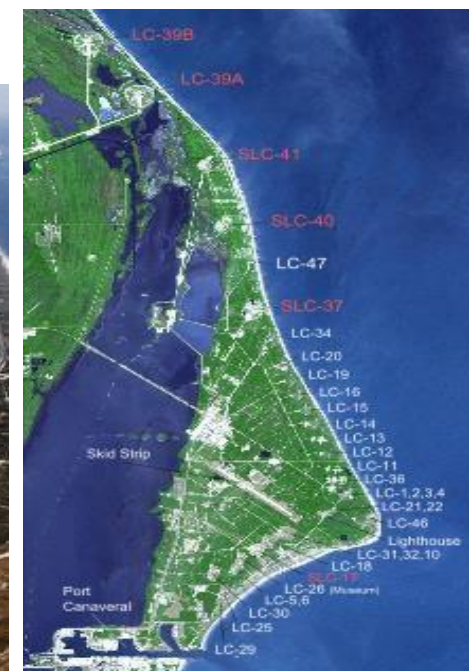


↑ Raketa Delta v príprave a na odpaľ. rampe pre vynesenie satelitov GPS do vesmíru / Cape Canaveral.



Cape Canaveral Air Force Station / Florida.

↓
Foto niektorých odpaľovacích râm americkeho kozmodrómu Cape Canaveral.

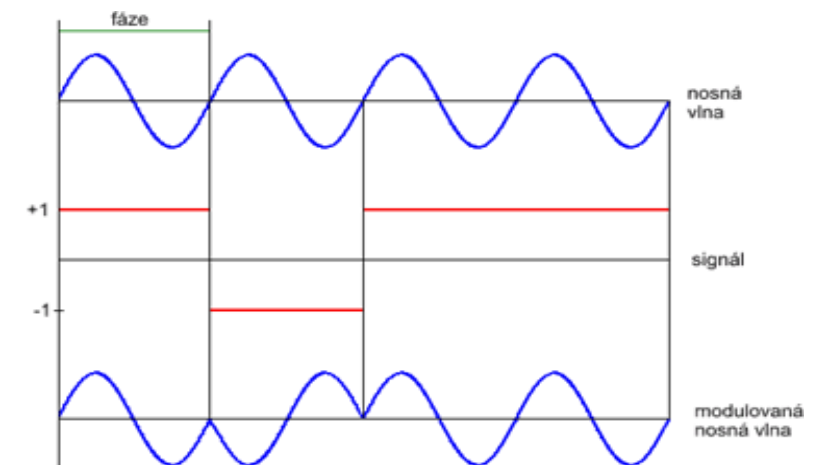


↓
Cape Canaveral Air Force Station je základňa pre štarty kozmických nosičov Ministerstva obrany USA na východnom pobreží. Nachádza sa na Myse Canaveral v štáte Florida. Základňa susedí s Kennedyho vesmírnym strediskom.

Kozmický segment GPS

- **GPS** je založený na využití vysoko presných stabilných časových a frekvenčných informácií vysielaných satelitmi v podobe zložitého signálu vytvoreného sústavou koherentných frekvencií
- Frekvencie sú odvodené zo **základnej frekvencie L-pásma** $f_0 = 10,23 \text{ MHz}$, ktorá sa udržiava pomocou atómových (4X: dvojica rubídiových a dvojica céziových) hodín umiestnených na palube satelitu
- Celočíselným násobením základnej frekvencie f_0 sú vytvorené dve nosné vlnenia v **L-pásme** rádiových vln, označené ako **L1** a **L2**, pričom pre ich frekvencie platí:

$$f_1 = 154 f_0 \quad \text{a} \quad f_2 = 120 f_0$$



Modulácia vln.

Kozmický segment GPS

➤ **Frekvencia L1** (1575,42 MHz, vlnová dĺžka 19,05 cm) je modulovaná dvomi meracími kódmi reprezentovanými tzv. **pseudonáhodnými šumami - PRN (Pseudo Random Noise)**:

- **presný**, tiež **P-kód (Precision alebo P-code)**, ktorý môže byť pre vojenské účely zašifrovaný a potom sa označuje ako **Y-kód**
- **hrubý/dostupný** alebo tiež **C/A-kód (Coarse/Acquisition)**, ktorý nie je šifrovaný

➤ **Frekvencia L2** (1227,60 MHz, vlnová dĺžka 24,45 cm) je modulovaná **len P-kódom** (resp. aj jeho šifrovaným variantom – **Y-kódom**).

➤ Väčšina civilných GPS prijímačov - len **C/A-kód**, výnimku tvoria veľmi presné geodetické GPS prijímače, ktoré prijímajú obe frekvencie, t.j. využívajú aj **P-kód**.

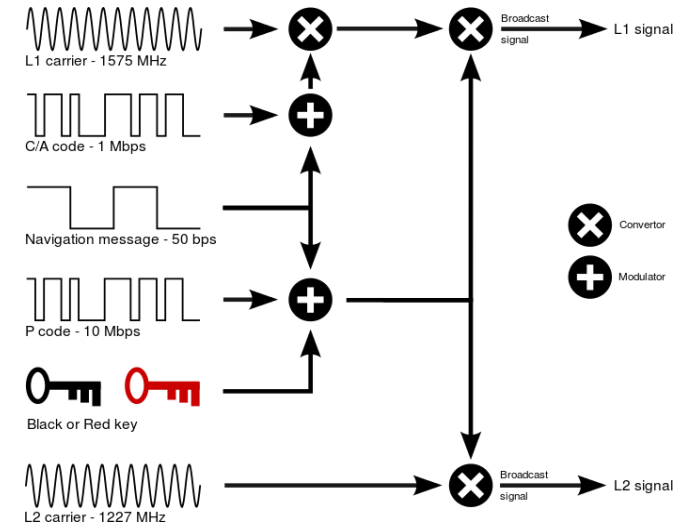
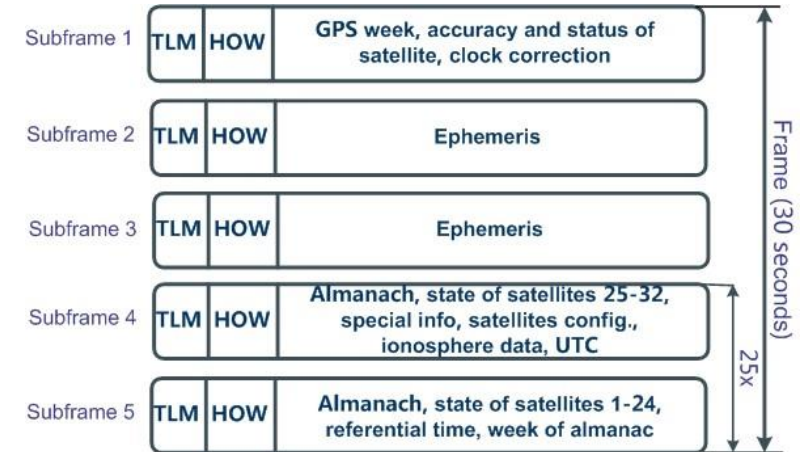


Schéma modulácie signálu vysielaného satelitom GPS.

- Prevádzkovateľ GPS (Ministerstvo obrany USA) má možnosť kedykoľvek znížiť presnosť tohto systému tzv. **selektívnou dostupnosťou (SA - Selective Availability)**. Tá zníži presnosť **C/A-kódu** tak, že pozemné prijímače môžu vypočítať svoju pozíciu s chybou až **100 m. SA od 2.5. 2000 zrušené!**

Kozmický segment GPS

- Signály modelujúce prvú nosnú frekvenciu **L1** sa označujú ako signály **Štandardného polohového systému: SPS - Standard Positioning System**.
- Frekvencia **L2** je používaná pre **Presný polohový systém: PPS - Precise Positioning System** a umožňuje merať oneskorenie signálu pri prechode ionosférou. Je využívaná len špeciálne vybavenými prijímačmi.
- Okrem **C/A a P-kódu** je oboma nosnými frekvenciami prenášaný ešte binárny kód tzv. **satelitná navigačná správa**, ktorá je kódovaná pomocou fázového posunu nosných vln.



- **Čo je navigačná správa?**
- **Navigačná správa** je súbor údajov vysielaný každým satelitom s údajmi o parametroch hodín na palube satelitu, dráhových parametroch satelitu, zdravotnom stave (prípadne poruchách) satelitu, ich pozícii a rôznych korekčných údajoch.

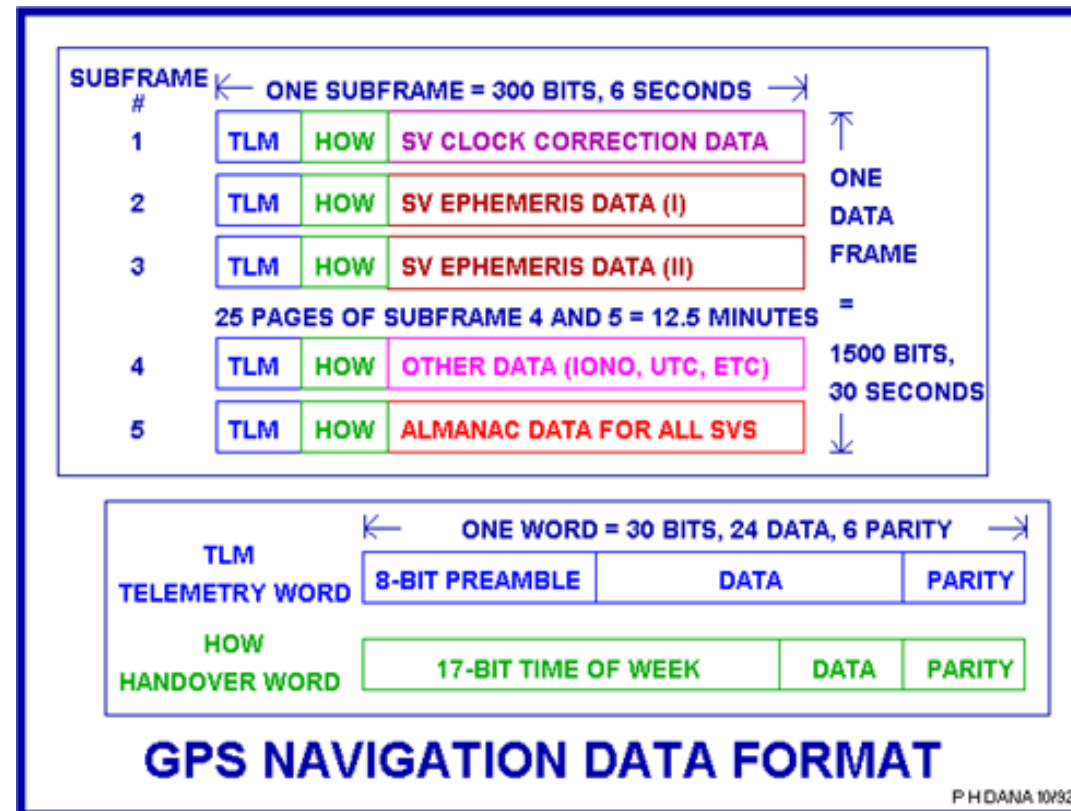
Kozmický segment GPS – vysielané signály satelitov

➤ Navigačnú správu tvoria nasledujúce bloky:

❖ **1. blok** - koeficienty kvadratického polynómu modelu chodu satelitných hodín, indikátory epochy vysielaných dát a ďalšie údaje (poradové číslo týždňa GPS, koeficienty kvadratického polynómu slúžiaceho na korekciu hodín a parametre, ktoré indikujú stav satelitu).

❖ **2. a 3. blok** - vysielané dráhové parametre daného satelitu (dráhové elementy daného satelitu a parametre ich zmien). Údaje o pozíciách (**efemeridy**) sú dekódované prijímačmi.

❖ **4. a 5. blok** - údaje o stave ionosféry, čase UTC

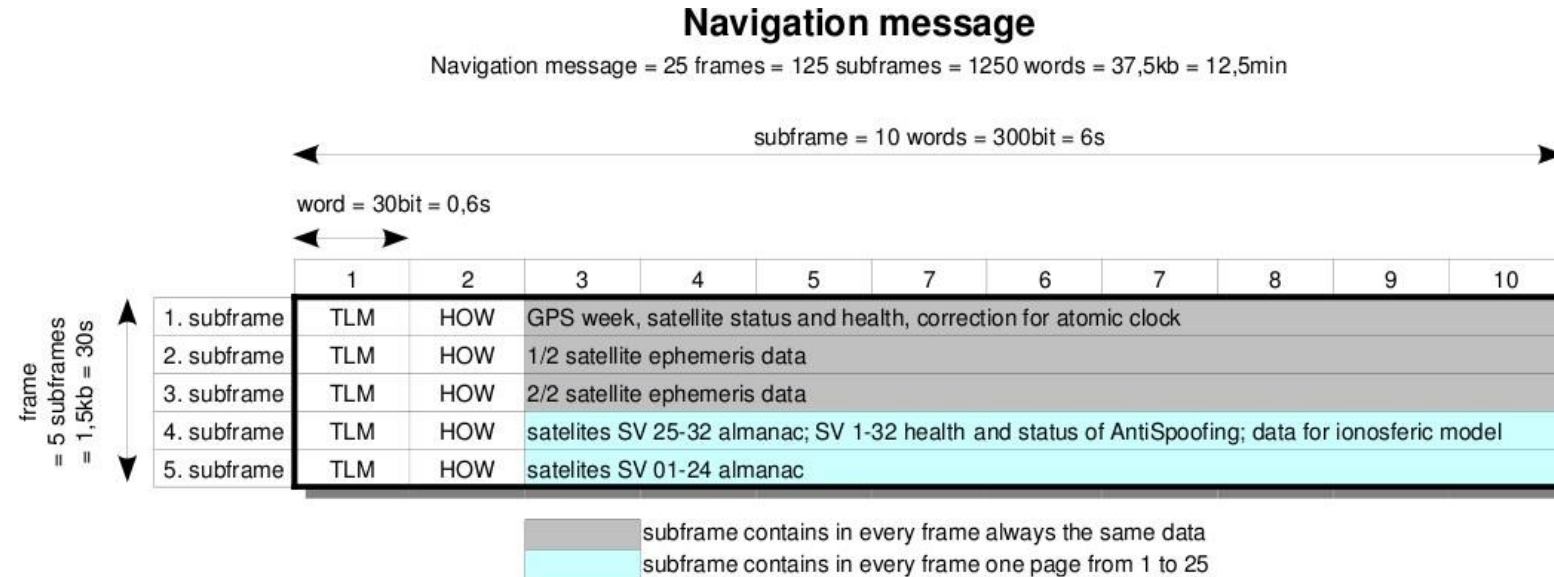


➤ **Efemeridy** (v navigačnej správe) popisujú obežnú dráhu satelitov pre krátky úsek ich orbity. GPS prijímač obyčajne získa **nové efemeridy každú hodinu**, alebo môže používať staré dáta až po **dobu štyroch hodín** bez výrazného ovplyvnenia výsledkov merania.

- **Almanachy** obsahujú parametre obežných dráh všetkých satelitov (**efemeridy**).
- Znalosť aktuálnych almanachov môže výrazne znížiť dobu potrebnú pre naštartovanie GPS prijímača a získanie signálu.

```
***** Week 606 almanac for PRN-04 *****
ID:                                04
Health:                             000
Eccentricity:                       0.9573459625E-002
Time of Applicability(s):          147456.0000
Orbital Inclination(rad):          0.9387378693
Rate of Right Ascen(r/s):          -0.7858034223E-008
SQRT(A) (m 1/2):                   5153.578125
Right Ascen at Week(rad):          0.1149845123E-001
Argument of Perigee(rad):          0.717101932
Mean Anom(rad):                     -0.1690007925E+001
Af0(s):                             0.7915496826E-004
Af1(s/s):                           0.1091393642E-010
week:                                606
```

Kozmický segment GPS – vysielané signály satelitov



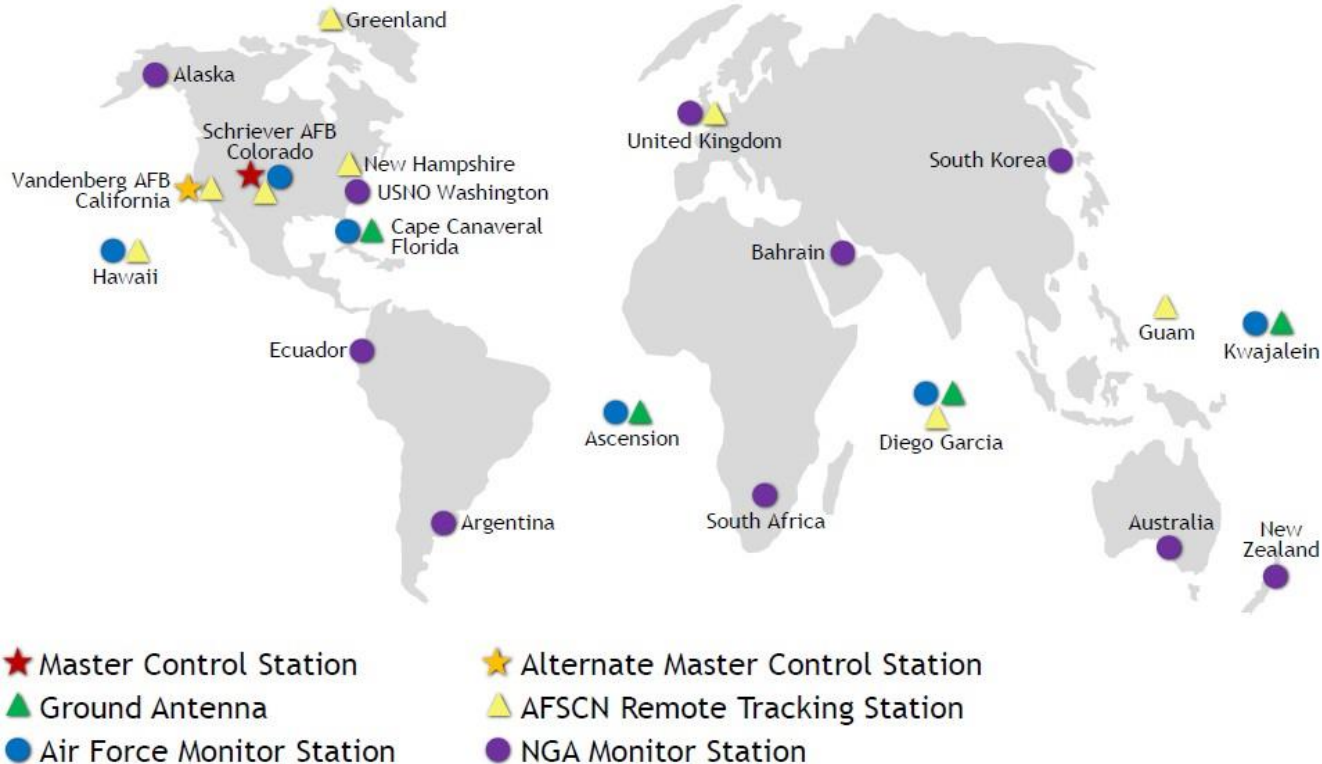
➤ Navigačná správa

Obsah navigačnej správy:

- ❖ Čas vysielania začiatku správy
- ❖ Keplerovské efemeridy satelitu
- ❖ Údaje umožňujúce korigovať presne čas a vysielanie satelitu
- ❖ Stav satelitu (chorý, zdravý)
- ❖ Almanach - informácie o efemeridách ostatných satelitov (12,5 min. - 25 správ)

Riadiaci segment GPS

GPS Control Segment



Air Force Satellite Control Network (AFSCN): *Sieť satelitnej kontroly vzdušných síl (AFSCN) poskytuje podporu pre prevádzku, kontrolu a údržbu rôznych oddelení obrany Spojených štátov amerických a niektorých satelitov, ktoré nepatria do DoD (United States Department of Defense).*

Updated April 2014

NGA (National Geospatial-Intelligence Agency): *Národná agentúra pre geoinformatiku prevádzkuje celosvetovú sieť monitorovacích staníc GPS, ktorá využíva vysoko výkonné štandardy cesiovej frekvencie (CFS) a GPS prijímače geodetickej kvality. Civilné MS.*

Riadiaci segment GPS



Riadiaci segment sa skladá z niekoľkých častí:

- **Hlavná riadiaca stanica** (**MCS**, z angl. *Master Control Station*), (tiež *hlavné riadiace centrum*) je na **Schrieverovej vojenskej leteckej základni USAF** (z angl. United States Air Force) v **Colorado Springs** v štáte Colorado, USA.
- **Záložná riadiaca stanica** (**BMCS**, z angl. *Backup Master Control Station*) (tiež *záložné veliteľstvo GPS*) je umiestnená na **vojenskej leteckej základni Vandenberg** (Vanderberg AFB, z angl. Vanderberg Air Force Base) na území mesta **El Segundo**, okres Los Angeles v štáte California, USA.
- **MS**: Pôvodných **päť vysielacích MS** (*Monitoring Stations*), t.j. stanice pre príjem signálov zo satelitov a pre komunikáciu so nimi prostredníctvom (**Ground Antenna**)
- **18 MS**, ktoré sú umiestene na základniach USAF: Havaj, Colorado Springs, Cape Canaveral, Ascension, Diego Garcia, Kwajalein a k nim patria MS spravujúce NGA (National Geospatial-Intelligence Agency, Virginia): Fairbanks (Aljaška), Papeete (Tahiti), Washington DC (USA), Quito (Ekvádor), Buenos Aires (Argentína), Hermitage (Anglicko), Pretória (Južná Afrika), Manama (Bahrain), Osan (Južná Kórea), Adelaide (Austrália) a Wellington (Nový Zéland). Sú to taktiež vojenské MS, majúce testovacie a technicko-vývojové poslanie pre GPS a tvoria akúsi výskumnú bázu GPS.
- Sú „vedeckou“ základňou GPS.

Riadiaci segment GPS

Navstar Headquarters



Letecká základňa Los Angeles (anglicky Los Angeles Air Force Base; kód ICAO KLAX) je vojenská letecká základňa letectva USA nachádzajúca sa na území mesta El Segundo, okres Los Angeles County (Kalifornia). Sídlí tu **Stredisko kozmických a raketových systémov** (Space and Missile Systems Center). **Stredisko je záložným veliteľstvom navigačného systému GPS** a riadi výskum, vývoj a praktické zavedenie nových prvkov vojenských kozmických systémov do praxe.



Riadiace stredisko (MSC, Master Control Station) na Schrieverovej vojenskej leteckej základni - USAF (United States Air Force) v **Colorado Springs** v štáte Colorado, USA. Operátorka riadiaceho strediska na leteckej základni Schriever monitorujúca stav kozmického segmentu **GPS**.

Riadiaci segment GPS

GPS Ground Antenna.



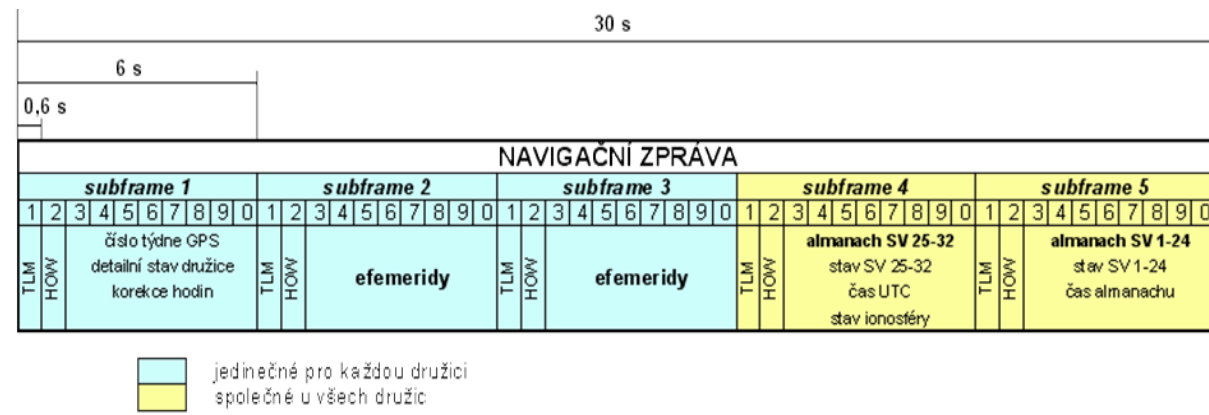
Monitor Station GPS,+ GPS ground antenna - Hawaii.



Monitor Station GPS: Museum Rocket Garden / Air Force Space and Missile Museum in Cape Canaveral, Florida, USA.

Riadiaci segment GPS

- **Vysielacie (povelové) stanice**, potom tieto parametre minimálne raz denne odovzdajú satelitom. Tie potom vysielajú pomocou rádiových signálov *efemeridy* svojich obežných dráh a *presný čas užívateľom do GPS prijímačov*.
- Každý satelit dostáva svoje *efemeridy a časové dáta* v tzv. *navigačnej správe*.



Efemeridy sú dáta o polohe satelitov, t.j. *efemeridy satelitov* sú ich *predpovedané dráhy* (parametre obežných dráh), ktoré umožňujú modelovať polohu satelitu prakticky v akomkoľvek požadovanom čase. Jedná sa o matematický model pohybu satelitu. Inými slovami: *Efemeridy* sú presné parametre obežných dráh a korekcie hodín pre jednotlivé satelity.

GPS UŽIVATEĽSKÝ SEGMENT



Užívateľský segment GPS



➤ **Užívateľský segment** tvoria prijímacie aparatúry GPS (prijímače GPS)

➤ **Základné užívateľské vybavenie aparatúry GPS pozostáva z:**

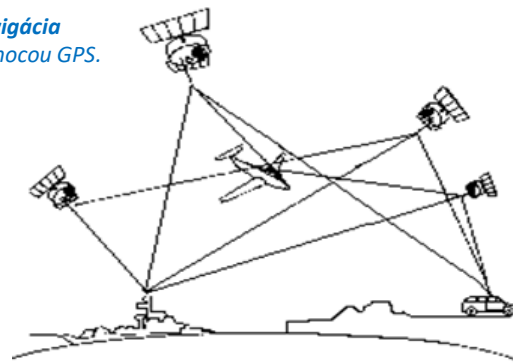
- **prístrojovej časti**
- **programovej (softvérovej) časti**
- **Prístrojovú časť** tvorí anténa s predzosilňovačom, prijímač s ovládacím panelom, displejom a registračným zariadením, zdroj energie a prepojovacie káble. Rôzni výrobcovia ponúkajú prijímače GPS jedno- a dvoj-frekvenčné s možnosťou prijímať *P*-kód alebo bez *P*-kódu. Z hľadiska inžinierskych potrieb takmer rovnocenné
- **Softvérovú časť** tvoria balíky programov (softvérov) umožňujúcich plánovanie pozorovacích kampaní, spracovanie nameraných údajov a vyrovnanie 3D súradníc.



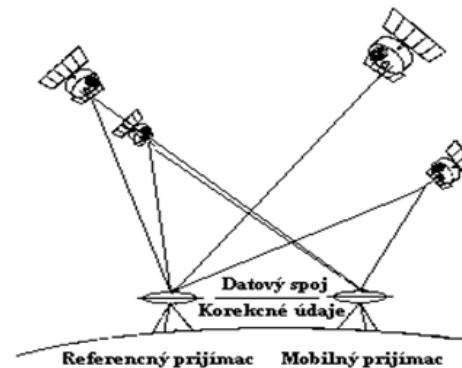
Užívateľský segment GPS

- **Prijímače GPS** vykonajú na základe prijatých signálov zo satelitov predbežné výpočty polohy, rýchlosti a času. Pre výpočet všetkých súradníc (x, y, z, t) je potrebné prijímať signál aspoň zo **štyroch satelitov**. Tieto prijímače sú používané k navigácii, určovaniu polohy, meračstvu, stanoveniu presného času ale i k iným účelom:
- **Navigácia** v 3D priestore je základnou úlohou GPS. Navigačné prijímače GPS sú vyrobené pre lietadlá, lode, pozemné vozidlá, kozmické telesá a tiež v ručnom prevedení
 - Presné **stanovenie polohy** je možné pri použití referenčných prijímačov GPS umiestnených na miestach so známou pozíciou, ktorá potom umožňuje získať korekcie pre opravu výpočtov z mobilných staníc. Príkladom použitia potom môžu byť meračské práce, vytyčovanie geodetických sietí, meranie súvisiace s pohybom litosférických platní zemskej kôry (geodynamické pohyby) a pod.

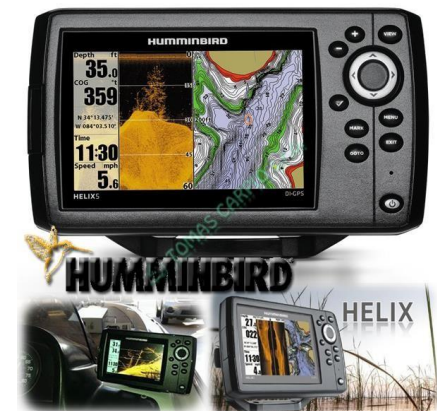
Navigácia pomocou GPS.



Diferenciálne meranie (určenie) polohy pomocou GPS.



Riadiaci segment GPS – typy prijímačov



Užívateľský segment GPS

➤ Typy prijímačov GPS

Prijímače GPS je možné rozdeliť do skupín podľa rôznych kritérií:

- - **Podľa spôsobu použitia rozlišujeme prijímače GPS:**
 - **Letecké:** Sú obecné používané pre účely navigácie a stanovenie výšky letu. K dispozícii je široká škála prijímačov, ktoré môžu vyhovieť akýmkoľvek finančným možnostiam.
 - **Lodné:** Sú využívané výlučne pre navigáciu.
 - **Kozmické:** Používajú sa pre účely satelitnej navigácie a stanovenie výšky letu. Od bežných prijímačov GPS sa odlišujú predovšetkým antiradiačným obalom a tiež cenou.
 - **Ručné:** Dnes je už k dispozícii široká škála týchto prijímačov. Mnohé z nich sú určené k špeciálnym účelom, ako je pozemná, prípadne ručná navigácia, navigácie malých lietadiel, pre priemyselné mapovanie a pod.
 - **Mapovacie:** Sú určené k získavaniu podkladov pre tvorbu máp. Bežne sú vybavené veľkou kapacitou vnútornej pamäti pre uchovávanie nameraných údajov, prípadne textových komentárov k týmto údajom.
 - **Meračské/geodetické:** Sú prijímače určené k najpresnejším meracím účelom, najmä geodetickým.
 - **Časovacie:** Sú určené k jednému účelu - generovať presný čas.
 - **OEM moduly:** Sú to holé dosky prijímačov GPS, určené k zabudovaniu do iných prístrojových zariadení.
 - **PC karty:** Jedná sa jednak o bežné karty do počítača, jednak o karty štandardu PCMCIA (*PC card Computer Memory International Association*).

Užívateľský segment GPS

- **Podľa spôsobu merania (pozorovania) rozdeľujeme prijímače GPS do dvoch skupín:**

- **Prijímače GPS založené na sledovaní PRN (Pseudo Random Noise)-kódu:**

Patria sem prijímače (prístroje) GPS pre tzv. absolútne (časové) GPS meranie.

- prístroje pre navigačné účely

- **Prijímače GPS založené na fázovom meraní:** Tieto prístroje sú určené predovšetkým pre geodetické účely. Pri práci v teréne rovnako používajú PRN-kódy pre stanovenie polohy a času. Presnosť stanovenia základne sa udáva na 1 cm (1 pmm dĺžky základne).

Patria sem prijímače (prístroje) GPS pre tzv. relatívne (fázové) GPS meranie.

- **Prijímače GPS pre fázové meranie môžu byť:**

1. **Jednofrekvenčné** – pracujú iba s frekvenciou $L1$. Vo všeobecnosti možno povedať, že sú menej presné (4 ppm pre statické metódy do vzdialenosti 10 km) a majú len C/A- kód.
2. **Dvojfrekvenčné** – pracujú aj s frekvenciou $L2$. Je ich nutné používať pre väčšie vzdialenosti (bez P-kódu alebo s P-kódom na jednej, prípadne na oboch frekvenciách).



a)



b)

a) Stratus (Sokkia) - jednofrekvenčný prijímač GPS,
b) ProMark2 (Ashtech) – dvojfrekvenčný prijímač GPS.

Ďakujem
za pozornosť

Mgr. Katarína Onáčillová

