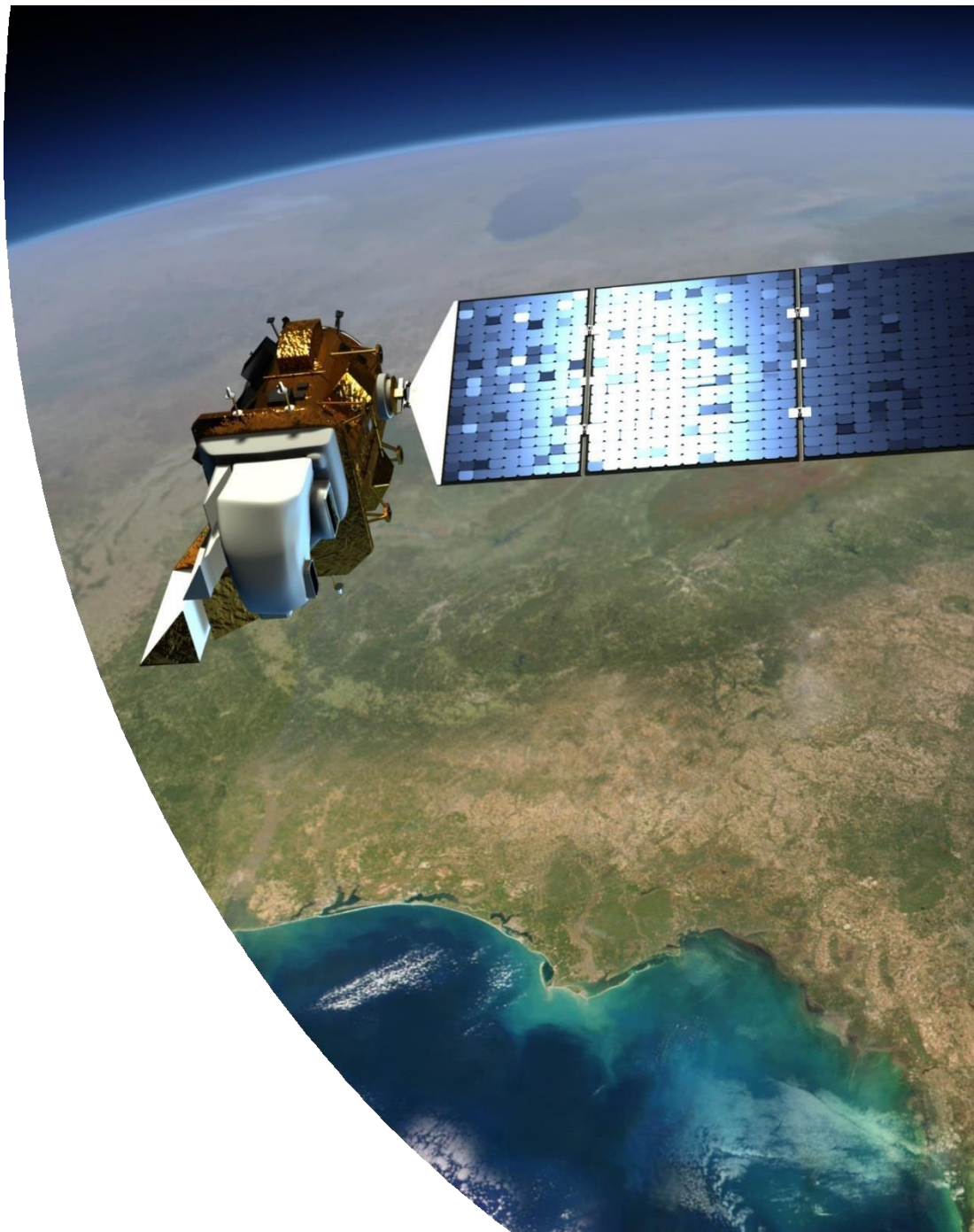


Globálne navigačné satelitné systémy

PREDNÁŠKA 5

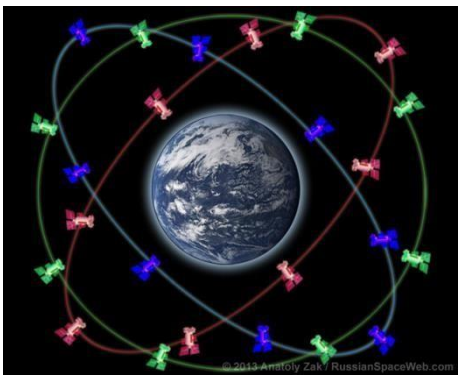
Mgr. Ján Šašak, PhD.



GNSS



GLONASS



GNSS

GLONASS – štruktúra, princíp činnosti, zásady a osobitosti



GLONASS: základné pojmy a štruktúra



- **GLONASS** (глобальная НАвигационная Спутниковая Система / GLObalnaja NAVigacionnaja Sputnikovaja Sistema) je **ruský** satelitný (družicový) navigačný systém.
- **GLONASS** rovnako ako NAVSTAR GPS umožňuje určovanie **3D polohy**, rýchlosti a času, t.j. **navigácie** kdekoľvek a kedykoľvek na Zemi.
- **GLONASS** je **globálny navigačný systém**, založený na podobnom princípe ako NAVSTAR GPS. Prevádzkuje ho Rusko, aby získalo nezávislosť práve na americkom GPS.
- **GLONASS** je spravovaný Ministerstvom obrany Ruskej federácie (MO RF), konkrétne pod rezortom – **Vzdušno-kozmicke sily** (VKS*) a je k dispozícii aj pre civilných užívateľov.



Vzdušno-kozmicke sily (VKS) RF

=



Vzdušná a kozmicke obrana (VKO) RF

+



Vojenské vzdušné sily (VVS) RF

*Vzdušno-kozmicke sily (VKS) RF vznikli v decembri 2015 spojením Vzdušnej a kozmickej obrany (VKO) a Vojenských vzdušných síl (VVS) RF.

GLONASS: Štruktúra, princíp činnosti, zásady a osobitosti / ŠTRUKTÚRA



➤ Štruktúra GLONASS

➤ GLONASS sa skladá z troch častí (segmentov, subsystémov):

1. Vesmírny (kozmicový) segment
2. Pozemný riadiaci segment
3. Užívateľský segment



1. VESMÍRNY (KOZMICKÝ) SEGMENT

- **24 satelitov** na **troch orbitálnych dráhach** so sklonom **64,8°** k rovníku a výškou **19 100 km**.
- Plná dostupnosť na celej Zemi je s **21 satelitmi aktívnymi a 3 záložnými**.
- Satelity obiehajú po kruhových dráhach (orbitách) vo výške **19 100 km** s obežnou dobou **11 hodín a 15 minút**.
- Takéto usporiadanie satelitov zaisťuje viditeľnosť minimálne **šiestich satelitov** a maximálne **jedenásť satelitov** kdekoľvek na zemskom povrchu.





➤ Vypustenie satelitov

- Satelity systému GLONASS sú vynášané na orbity z kozmodrómu **Bajkonur** (Kazachstan).
- Prvé satelity GLONASS (**Uragan**) boli na obežnú dráhu vynesené **r. 1982** ako blok 1.
- Doposiaľ bolo vynesovaných celkom **73 satelitov v 27 blokoch**.
- V rámci 2. a 7. bloku boli vynášané vždy dva satelity, počínajúc 8. blokom vždy tri satelity.

GLONASS-K - navigačný satelitný model.



GLONASS: Štruktúra, princíp činnosti, zásady a osobitosti / VESMÍRNY SEGMENT



Blok (životnost#)	Období	Vypuštěno	Ve službě	Signály [§]
Uragan(1)	1982–1985	10	0	3+0
UraganA(1)	1985–1986	6	0	3+0
UraganB(2)	1987–1988	6+6 ¹	0	3+0
UraganV(3)	1988–2005	59	0	3+0
GLONASS-M(7)	2001–2017	38+6 ¹ +8 ²	23+3 ³	4+0
GLONASS-K1(10)	2011–2020	2+11 ²	0+2 ³	4+1
GLONASS-K2(10)	2017+	0+3 ²	0	4+5
GLONASS-KM(?)	?	?	?	0
Celkem		121+12¹+32²	23+5³	

¹Ztracen při startu nebo selhalo oživení

²V přípravě

³Zavádění do provozu, testy nebo v záloze, údržbě

§ Frekvenční + kódová modulace

Plánovaná životnost v letech

(Poslední změna: 10. února 2016)

Počet satelitov GLONASS.

GLONASS: Štruktúra, princíp činnosti, zásady a osobitosti / VESMÍRNY SEGMENT



- Sankcie ovplyvnili oneskorenie ruského **GLONASS-K2** Programu

December 17, 2014 by GPS World staff

- Podľa výrobcu GLONASS družíc, spoločnosť vyhotoví ďalej 9 **GLONASS-K1** družíc radšej ako by mala vyhotoviť družice **GLONASS-K2**, pretože kvôli sankciám je obmedzený dovoz elektronických komponentov odolných voči žiareniu zo Západu (sankcie ako reakcia na anexiu Krymu)
- GLONASS-K2 napokon vypustený v roku 2023



Druhá raketa GLONASS-K1 pripravená na vypustenie

GNSS

GLONASS – Štruktúra, princíp činnosti, zásady a osobitosti



GLONASS: Štruktúra, princíp činnosti, zásady a osobitosti / VESMÍRNY SEGMENT



satelit GLONASS-M



Satelity Uragan



- Manévrovacia schopnosť satelitov **GLONASS** v porovnaní so satelitmi **GPS** je nesmierne vysoká.
- Oficiálne **GLONASS** bol uvedený do plnej operačnej schopnosti (*FOC - Full Operational Capability*) **24. sept. 1993** dekrétom prezidenta RF.
- Satelity **GLONASS-M, K1 a K2** sú používané v systéme **GNSS**.



2. POZEMNÝ RIADIACI SEGMENT

- Pozemný riadiaci segment **GLONASS** je kompletne situovaný v **RF** a **Kazachstane** (patriaci do ZSSR až do jeho rozpadu).

- **Riadiaci a kontrolný segment:**

1. **riadiace stredisko** – Krasnoznamensk (neďaleko Moskvy)
2. **tri rozšírené stanice** – Šelmovo, Jenisejsk, Konsomolsk na Amure
3. **päť povelových staníc** – Petrohrad, Ussurijsk, Šelmovo, Jenisejsk, Konsomolsk na Amure
4. **desať monitorovacích staníc** - Murmansk, Vorkuta, Jakutsk, Ulan-Ude, Nurek, Zelenčuk, Šelmovo, Jenisejsk, Konsomolsk na Amure



GLONASS: Štruktúra, princíp činnosti, zásady a osobitosti / RIADIACI SEGMENT



- **Pozemné stanice GLONASS** obdobne ako u GPS nepretržite monitorujú signály všetkých viditeľných satelitov.
 - Uskutočňujú **laserové merania vzdialeností** medzi stanicami a satelitmi (každý satelit je pre tieto účely vybavený laserovými odrážачmi, čo je odlišnosť od GPS).
 - Získané dáta prenášajú do **hlavného riadiaceho centra v Krasnoznamenisku pri Moskve**.
 - Takto usporiadaný pozemný riadiaci a kontrolný segment GLONASS (nerozložený rovnomerne po celom obvode zemegule ako je to u GPS) je istou nevýhodou, pretože každý satelit je zhruba **16 hodín** denne mimo dosahu kontrolného a riadiaceho segmentu.
 - Tým je sťažené monitorovanie stavu satelitov a **znížená je i presnosť určovania efemeríd**.
 - Preto sa u budúcich generácií satelitov GLONASS plánuje, že satelity budú schopné **vzájomne komunikovať a zároveň aj monitorovať sa**, čo umožní zaistiť kontrolu integrity systému i počas doby, kedy sú satelity mimo priameho dosahu pozemného riadiaceho komplexu.



➤ Činnosť GLONASS

➤ *Satelitný navigačný systém GLONASS nepretržite vysiela navigačné signály dvoch typov:*

1. Navigačný signál štandardnej presnosti (стандартной точности - *ST*) v prenosovom pásme *L1* (frekvencia 1,6 GHz), táto informácia je dostupná všetkým používateľom na miestnej aj svetovej úrovni a zabezpečuje pri prevádzke prijímačov systému GLONASS možnosti prijímania:

- horizontálne súradnice s presnosťou **50-70 m** (pravdepodobnosť 99,7%);
- vertikálnych súradníc s presnosťou **70 m** (pravdepodobnosť 99,7%);
- výpočet vektoru rýchlosti s presnosťou **0,15 m/s** (pravdepodobnosť 99,7%);
- časového signálu s presnosťou **0,7 μs** (pravdepodobnosť 99,7%).

Tieto presnosti je prirodzene možno zlepšiť použitím diferenciálnej metódy merania súradníc alebo doplnením špeciálnymi metódami merania polohy v priestore.

2. Navigačný signál vysokej presnosti (высокой точности – *VT**) v prenosovom pásme *L1* a *L2* (frekvencia 1,2GHz).

* Navigačný signál VT je hlavne určený pre potreby Ministerstva obrany ruskej federácie a jeho neobmedzovaná prevádzka je uvoľnená od roku 2007.



➤ Súradnicový systém

- Polohy satelitov GLONASS sú udávané v geocentrickom referenčnom systéme **PZ 90** (z rus. *Parametri Zemli 1990*).
- Parametre transformácie medzi súrad. systémom PZ-90 a WGS-84 doposiaľ **neboli definitívne určené**.
- Z experimentálnych meraní bolo zistené, že súradnice určovaných bodov v oboch systémoch (WGS 84 a PZ 90) sa od seba nelíšia viac než **15 m** (v priemere 5 m). Rotácia osí **z** oboch súrad. systémov navzájom je okolo **0,4"** a posun počiatkov je o **2,5 m** pozdĺž osi **y**.



- **Princíp určenia polohy (lokalizácie) a navigácie u GLONASS je analogický s americkým systémom GPS:**
- GLONASS meria **pseudovzdialenosti** medzi prijímačom GLONASS a okamžitou polohou satelitu.
- **Spôsob tohto merania *pseudovzdialeností*:**
 1. meranie pseudovzdialeností pomocou pseudonáhodných kódov (kódové, resp. časové merania)
 2. meranie pseudovzdialeností pomocou fázy nosnej vlny a meranie rozdielov fáz (fázové merania)

NAVIGÁCIA

Presná LOKALIZÁCIA

GNSS



NAJNOVŠIE SYSTÉMY GNSS



GNSS: OBSAH-DELENIE-ŠTRUKTÚRA / SÚČASNOŠŤ

GNSS – Globálne navigačné satelitné systémy

- Éra **GNSS** začala niekedy začiatkom 70-tych rokov 20. stor. budovaním prvých globálnych navigačných družicových (satelitných) 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



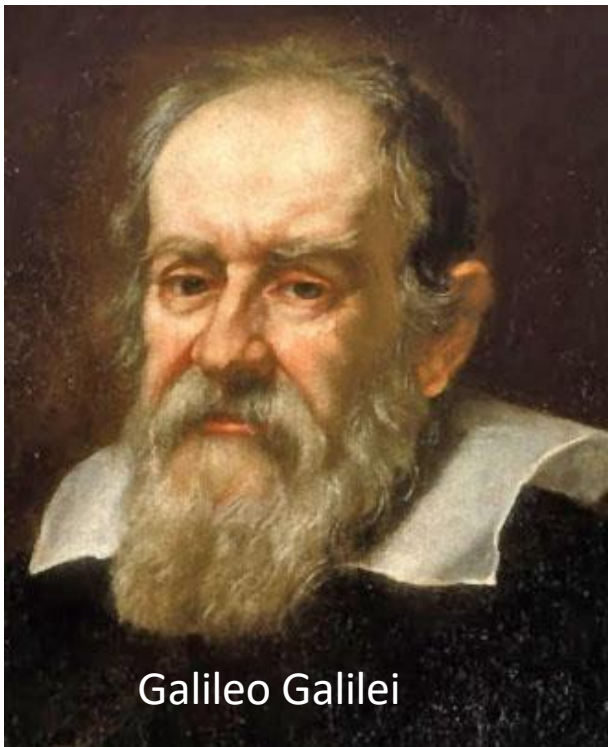
GALILEO – Základné pojmy a dáta

- **Galileo (Európsky systém satelitnej navigácie)**
 - **NAVSTAR GPS** a **GLONASS** sú systémy financované a kontrolované vojenskými zložkami → obava o „odstavenie“ civilných používateľov od ich používania
 - **EÚ** sa preto rozhodla budovať svoj vlastný globálny navigačný satelitný systém, ktorý by vlastnil, spravoval a financoval výlučne **civilný sektor EÚ**, t.j. **Európska komisia** (ďalej len „**Komisia**“).
 - **Komisia** po prvý raz predstavila svoje plány na vybudovanie európskeho systému satelitnej navigácie **Galileo** **10. februára 1999**. Predpokladala rozvoj projektu v 4 fázach a zmiešanú formu financovania
 - **Galileo** je systém pozostávajúci z **30 satelitov** a na rozdiel od svojich náprotivkov z USA a Ruska je navrhnutý špeciálne na **civilné a komerčné účely**. Rovnako je riadený a kontrolovaný **civilným manažmentom**.



GALILEO – Základné pojmy a dáta

- **Galileo** je pomenovaný podľa známeho stredovekého vedca **Galileo Galilei**, ktorý ako prvý na svete navrhoval pre námorníkov v stredoveku navigáciu podľa nebeských telies (astronomická navigácia).



Galileo Galilei

Galileo Galilei (* 15. február 1564, Pisa, Taliansko – † 8. január 1642, Arcetri, Taliansko) bol taliansky filozof, fyzik, astronóm, matematik obdobia renesancie, jeden zo zakladateľov súčasnej experimentálno-teoretickej prírodovedy.

Je mu pripisované autorstvo výroku „Eppur si muove!“ A predsa sa točí! (Zem sa krúti okolo svojej osi).

Galileiho hrob v bazilike Santa Croce vo Florencii. →



GNSS



GALILEO – história



➤ Galileo (Európsky systém satelitnej navigácie)

- **1999** - začiatok projektu
- **2005** - vypustený prvý testovací satelit **GIOVE-A** (testovanie frekvencie a technológie systému)
- **2008** - vypustenie **GIOVE-B** s vylepšenými atómovými hodinami
- **2011** - budovanie konštelácie - vypustenie prvých 4 satelitov (testovanie a validácia systému)
- **2016** - spustenie prvých služieb
- **2020** - poskytovanie vysokopresných služieb (26 satelitov na orbite)
- **2023** - 28 satelitov na orbite, plánovanie druhej generácie satelitov



GNSS



GALILEO – Základné pojmy a dáta / Infraštruktúra / Harmonogram



➤ Infraštruktúra systému Galileo

- V decembri 2005 bolo rozhodnuté, že **administratívne centrum Galilea** sa nachádza v **Prahe**, zatiaľ čo jeho **operačné riaditeľstvo** v **Londýne** (do Brexitu, potom presun do Prahy).
- EÚ a USA podpísali v **júni 2004** dohodu o zabezpečení kompatibility medzi oboma konkurujúcimi si navigačnými systémami (**GPS a Galileo**).



Kozmický segment

- počet satelitov 30 (28 v roku 2023) 24 v prevádzke a 6 záložných
- 3 orbitálne roviny (obežné dráhy)
- 14 hod. obežná doba
- výška 23 222 km
- 4 navigačné a lokalizačné služby:
 - **OS (Open Service)** – bezplatná služba dostupná pre civilné použitie (presnosť 1 – 5 metrov).
 - **HAS (High Accuracy Service)** – vysokopresná služba (pod 20 cm) určená pre profesionálne aplikácie.
 - **PRS (Public Regulated Service)** – šifrovaná služba pre vládne a bezpečnostné organizácie.
 - **SAR (Search and Rescue Service)** – rýchlejšia a presnejšia detekcia núdzových signálov

Pozemný segment

GCC (Galileo Control Centres) – hlavné riadiace centrá v Nemecku (Oberpfaffenhofen) a Taliansku (Fucino)

TTCP (Telemetria, Sledovanie a Ovládanie) – stanice na riadenie satelitov

ULS (Uplink Stations) – stanice na posielanie korekčných dát satelitom

GMS (Galileo Mission Segment) – monitorovanie kvality a presnosti signálov



GNSS

COMPASS - Štruktúra, princíp činnosti, zásady



COMPASS

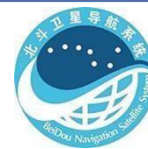


GNSS

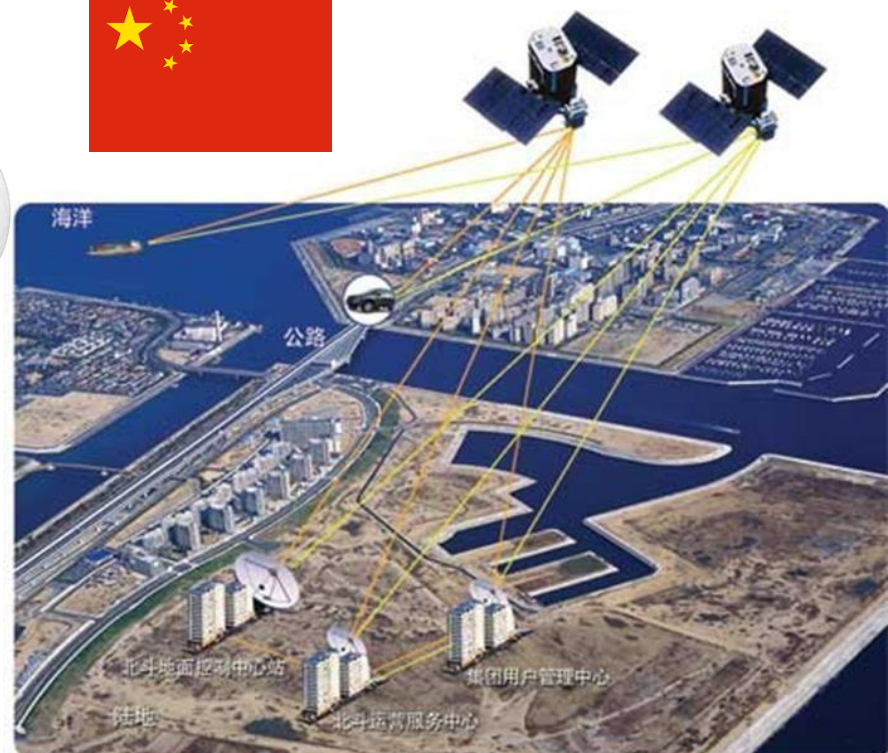
COMPASS - Štruktúra, princíp činnosti, zásady



COMPASS / BeiDou – História; Základné pojmy a dáta



- **Satelitný (družicový) navigačný systém BeiDou** je projekt **Čínskej ľudovej republiky** s cieľom vyvinúť nezávislý satelitný navigačný systém.



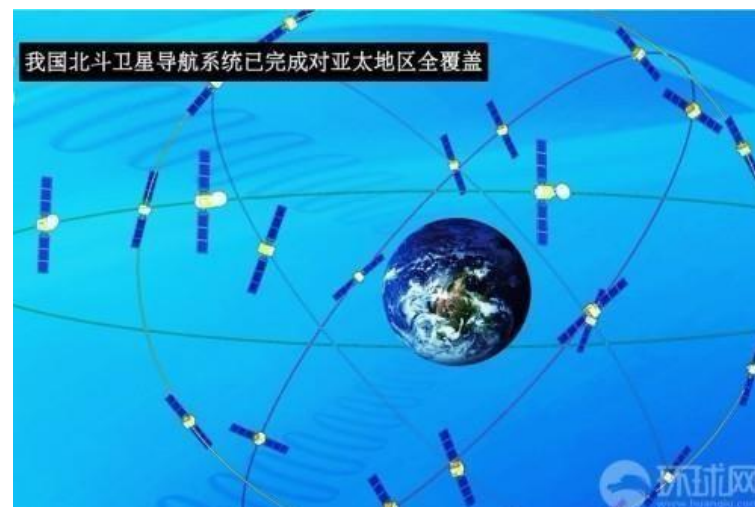
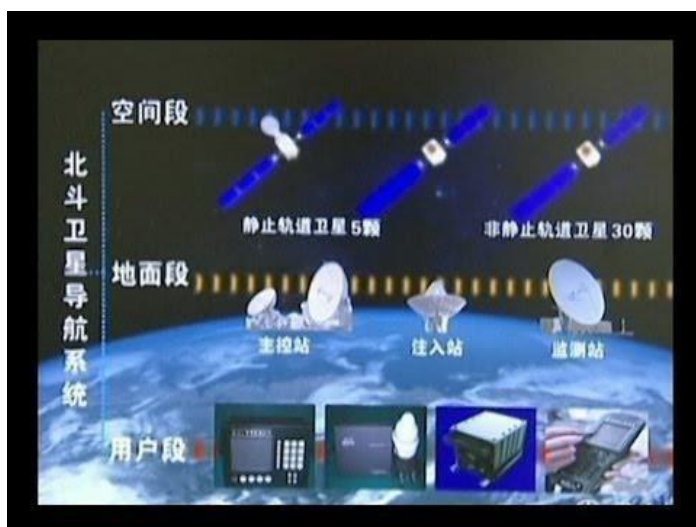
GNSS

COMPASS - Štruktúra, princíp činnosti, zásady

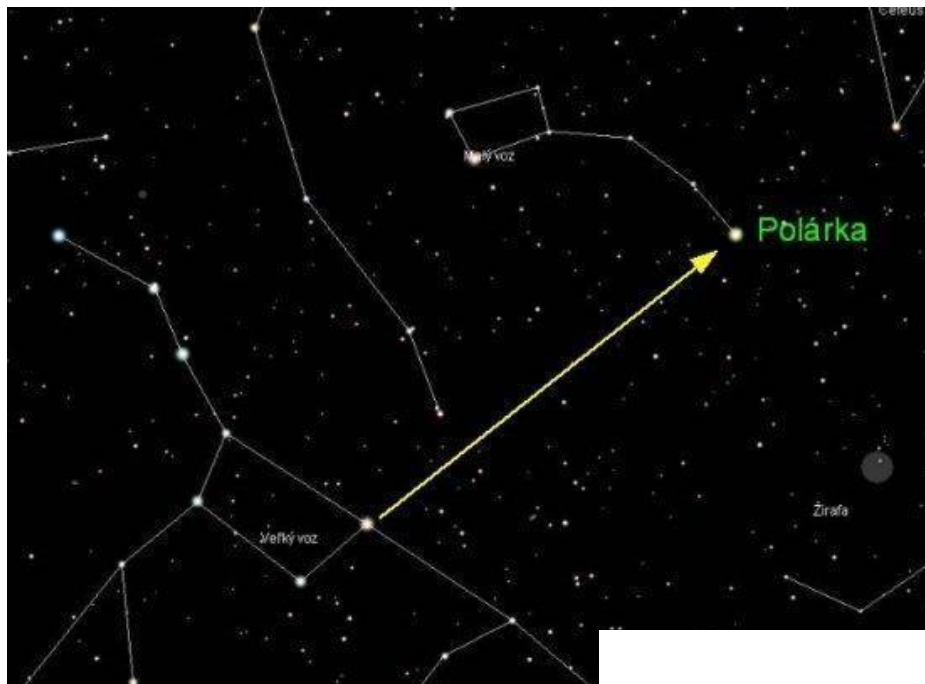


COMPASS / BeiDou – História; Základné pojmy a dáta

➤ **BeiDou** (pôvodný má tiež označenie ako **BeiDou 1**) bol premenovaný na **Compass** potom, keď bolo rozhodnuté o zmene konceptu z *regionálneho* navigačného systému na *globálny*.



COMPASS / BeiDou – História; Základné pojmy a dáta



Súhvezdie **Velká medvedica**
(Ursa Major / Velký voz)
a hviezda **Polárka**.



- Navigačný systém **BeiDou-1** je pomenovaný po súhvezdí, ktorého meno v čínštine znie **BeiDou**.
- **BeiDou** doslova znamená "**Severná Dou**" (dou = nádoba) a je tak pomenovaný podľa svojho tvaru.
- **BeiDou** je ekvivalentom súhvezdia v slovenskej astronómii známeho ako **Veľký voz** alebo **Veľká medvedica** (Ursa Major).
- V minulosti bola táto konštelácia využívaná v navigácii pre vyhľadanie "**Severnej hviezdy**" **Polárky** (Polaris, nesprávne nazývanej Severka).
- Názov **BeiDou** pre satelitný navigačný systém je preto v tomto prípade viac než výstižný.

➤ História BeiDou 1

- **30. októbra 2000** bol na obežnú dráhu vyneseny satelit **BeiDou-1A**. Satelit **BeiDou 1B** nasledoval **20. decembra 2000** a následne satelit **BeiDou-2A** prišiel na rad **24. mája 2003**.



Geostacionárny satelit BeiDou-2A.

- systém v prevádzke v rokoch 2000 - 2012 (regionálny dosah - Čína a okolité krajiny)
- 3 satelity umiestnené na geostacionárnej dráhe (35 786 km)

➤ História BeiDou 2

- obdobie prevádzky **2007 - 2020**
- rozšírené pokrytie na **Áziu a Tichomorie**
- **16 satelitov:** 5 geostacionárna orbita
 - 5 sklonená geosynchrónna orbita (obežná doba 24 hod.)
 - 6 stredná obežná orbita (dráha)
- presnosť pre civilné použitie 10 - 20 m



➤ História BeiDou 3

- obdobie prevádzky **od 2020**
- globálne pokrytie
- **35 satelitov:** 5 geostacionárna orbita
 - 6 sklonená geosynchrónna orbita (obežná doba 24 hod.)
 - 24 stredná obežná orbita (dráha)
- 4 služby:
 - Open service:** bezplatné lokalizačné a navigačné služby (presnosť 1-3 m)
 - Precise point positioning:** vysokopresná služba (do 10 cm) pre profesionálne aplikácie
 - Military service:** šifrované signály pre armádu
 - SMS:** odosielanie krátkych správ cez satelity