

Navstar GPS

GLOBÁLNÍ NAVIGAČNÍ A POLOHOVÉ SYSTÉMY

Prezentace 4

David Vojtek, Michal Kačmařík

Katedra geoinformatiky

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Obsah

- Historie Navstar GPS¹⁾
- Kosmický segment
- Řídicí segment
- Uživatelský segment
- Prostorový referenční systém a čas GPS

1) Dále může být uváděna pouze zkratka GPS

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Historie vývoje, současnost a budoucnost Navstar GPS

HISTORIE NAVSTAR GPS

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Základní charakteristiky GPS

- Vojenský systém
- Pasivní dálkoměrný systém
- Globální pokrytí
- 24/7/365



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

18.03.2024

Převzato z RAP02

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Předcházelo GPS ...

- 01.07.1973** zřízena JPO u kosmické divize velitelství systémů vzdušných sil USA
- 17.12.1973** zahájen projekt **GPS**

- **TRANSIT** U.S. Navy
První družicová lokalizace pro ponorkové loďstvo (Dopplerovská měření)
- **TIMATION** U.S. Navy + U.S. Air Force
ověření koncepce kódových měření
- **SECOR** U.S. Army
geodetická měření za každého počasí s použitím 1 družice

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

The Navstar GPS Joint Program Office

Členové JPO¹⁾:

- U.S. Air Force
- U.S. Army
- U.S. Navy
- U.S. Marine Corps
- NATO
- U.S. Coast Guard
- NGA²⁾
- Austrálie

1) *Společná programová skupina*

2) *National Geospatial-Intelligence Agency*

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

První etapa budování 1976 - 1979

Cíl: Ověřit základní funkčnost systému GPS

1974 První testovací družice NTS-1 a NTS-2

1977 Pozemní testy - ověření možností 3D navigace v reálném čase
Testovací polygon v Arizoně **první GPS přijímač**

1978 Rozhodnutí o výrobě **11 vývojových družic bloku I (1978-1985)**

1979 Stanovený počet družic na 24 družic

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽI A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

První etapa budování

- První družice pro ověření navigační technologie byly realizovány jako rozšíření programu TIMATION (NTS-1 a NTS-2)
- Testovány atomové hodiny v kosmickém prostoru a některé další komponenty
- Plánovaná životnost družic bloku I 3 roky
- Reálná životnost i přes 10 let
- **Signály družic bez SA i A-S**



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

18.03.2024

Převzato z RAP02

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Druhá etapa budování 1979 - 1985

Cíl: Budování řídicího a kosmického segmentu

1980 Zahájen vývoj družic bloku II
Sponzoři považují systém za neúčinný

1983 Sestřelení letu KAL007 nad Sachalinem
Projekt GPS odtažen
Vývoj a testování prototypových přijímačů



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Třetí etapa budování 1985 – 1995

Cíl: Dosažení plné operační způsobilosti

1989 Vypuštěna první z 29 družic Bloku II

1993 Dosažen IOC a schválení zpřístupnění GPS civilnímu sektoru - funkční SPS

1994 Konstelace 24 družic Bloku II/IIA

1995 Dosažena FOC (plná operačního způsobilost) - funkční PPS



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Provoz systému 1995 – současnost

- Cíl:** Provoz, modernizace a zkvalitnění služeb
- 1996** Autorizace k odstranění SA do roku 2006
- 1998** DoT a DoD oznamují dvě nové civilní frekvence L2C a L5 od družic bloku IIF
- 2000** 2. květen překvapivě zrušena SA
- 2004** QUALCOMM předvádí první A-GPS



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Provoz systému 1995 – současnost

Cíl: Provoz, modernizace a zkvalitnění služeb

2005 Start družic bloku IIR-M s podporou nového **civilního signálu L2C** nového **vojenského M-kódu**

2008 Rozšíření řídicího segmentu o stanice NGA

2010 Start první družice bloku IIF

2011 Změna konstelace družic na **24+3**

---- Vývoj družic bloku III

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Popis kosmického segmentu GPS

KOSMICKÝ SEGMENT

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Konstelace družic do roku 2011

Označení:	21+3
Družic v konstelaci:	max. 32
Orbitálních rovin:	6
Sloty v orbitě:	4+2 (záloha)
Rozestup:	60°
Sklon orbity:	55°
Tvar orbity:	eliptická (téměř kruhová)
Typ / výška orbity:	MEO / 20 200 km
Oběžná doba:	cca 11 hodin 58 minut



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Aktuální konstelace družic (od roku 2011)

Označení:

24+3

Družic:

max. 36 (v 3/2023 31 družic)

Orbitálních rovin:

6 (označení A, B, C, D, E, F)

Sloty v orbitě:

4+2 (záloha)

Rozestup:

60°

Sklon orbity:

55°

Tvar orbity:

eliptická (**téměř kruhová**)

Typ / výška orbity:

MEO / **20 200 km**

Oběžná doba:

cca **11 hodin 58 minut**

Aktivní bloky družic:

7 x IIR, 7 x IIR-M,
11 x IIF, 6 x III-A (3/2024)



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

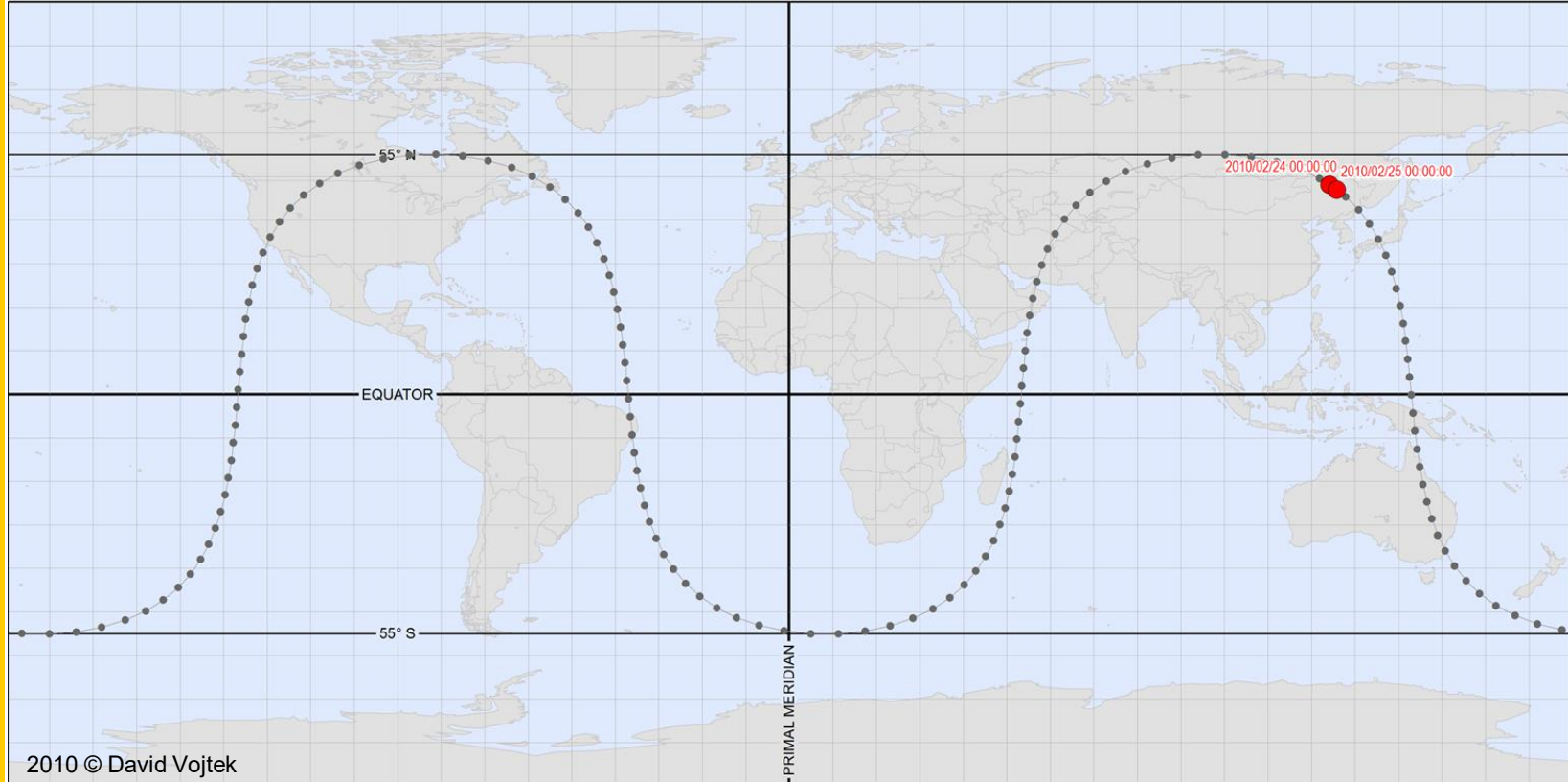


OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



GPS satellite position

- PRN-17 at 00:00 UTC and 12:00 UTC
- PRN-17 at 10 minutes intervals

GPS Satellite Track

— PRN-17

Dráha družice PRN-08 pro 24 hodin (2010/02/24)

Predikce z almanachu SEM pro GPS týden 548

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

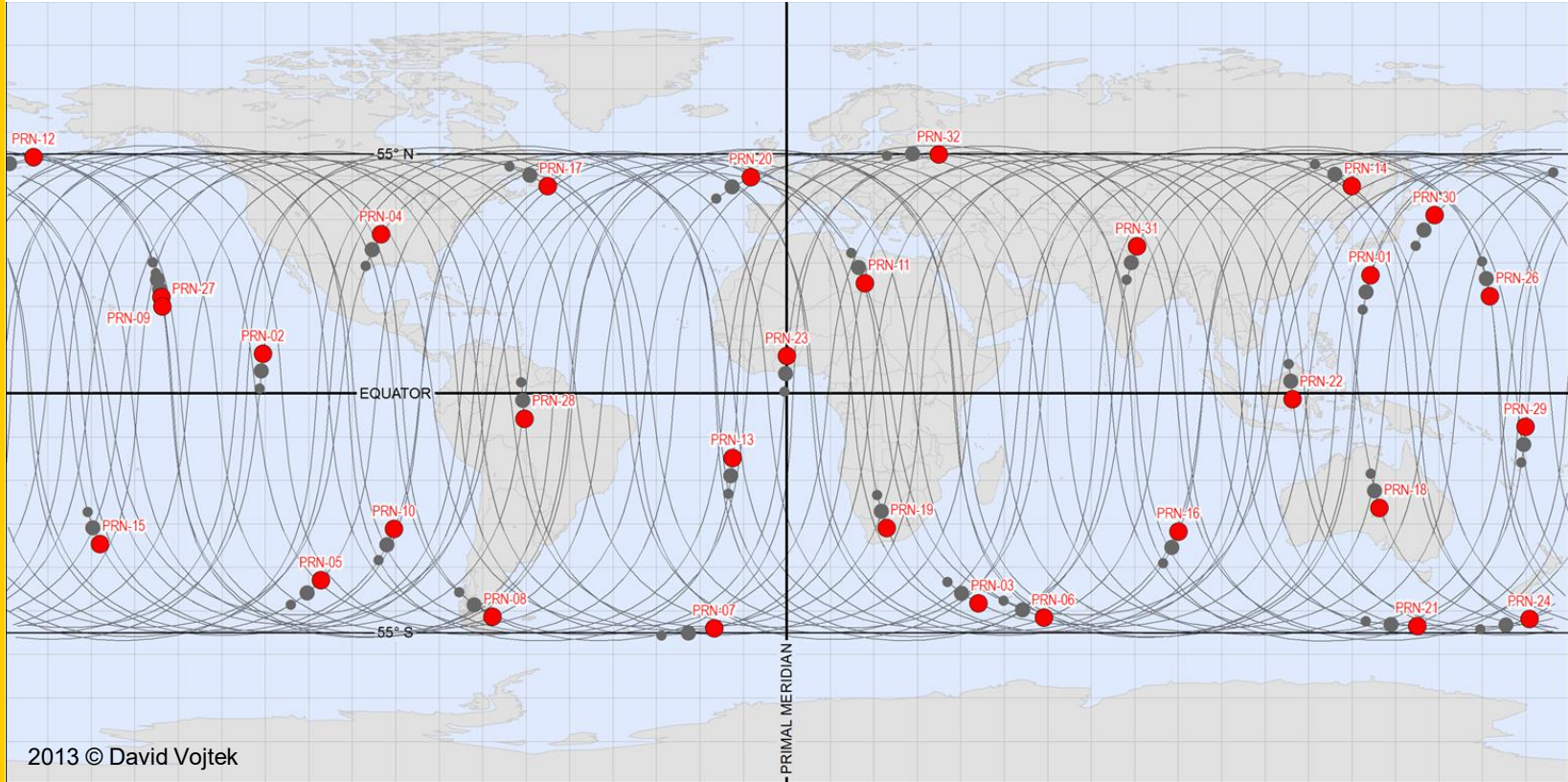


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ



2013 © David Vojtek

GPS satellite position GPS Satellite Track

- 2014-03-10T12:00 UTC — 2014-03-10
- 2010-02-24T11:50 UTC
- 2010-02-24T11:40 UTC

Konstelace družic GPS NAVSTAR (2010/02/24)

Predikce z almanachu SEM pro GPS týden 548

Blok IIA : 11 družic / Blok IIR : 12 družic / Blok IIR-M : 08 družic

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽI A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Družice

- Pokrytí signály pro SPS (2008)
100% pokrytí Zemského povrchu + 3000 km nad povrchem
- Většinou dostupný signál z 6 a více družic
- V ideálním případě 12 až 13 družic
- Družice jsou v nadhlavníku do 55° severní šířky a do 55° jižní šířky ($\pm 2^\circ$)



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Družice bloku I (1. generace)

- **Vývojové družice**
- Vypuštěno 11 družic
- Plánovaná životnost 3 roky
- Průměrná životnost 8.76 let
- **Signály dostupné komukoliv**



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

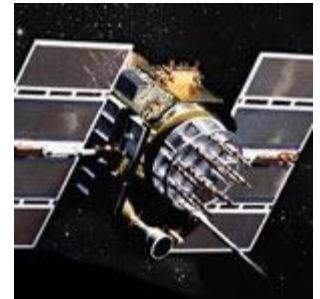
INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Družice bloku II/IIA (2. generace)

- První operační družice
- Vyušřtřeno 9 z 18 družic BII
- Řízení přístupu k signálům
SA (selektivní dostupnost)
A-S (anti-spoofing)
- A jako **advanced**
- Blok II/IIA 2 rubidiové
a 2 cesiové atomové hodiny
- Poslední družice IIA přestala fungovat v roce 2019



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽI A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

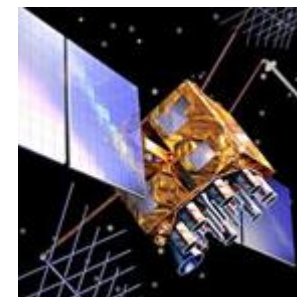
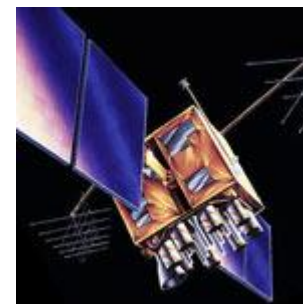
INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Družice bloku IIR/IIR-M (3. generace)

- R jako **Replenishment** nebo **Replacement**
- Vypouštěny 1997 až 2004
- Zvýšená autonomie
 - 14 tzv. extended operations
 - 180 dní autonomní (AUTONAV)
- **Blok IIR-M nové signály**
 - 2. civilní signál L2C
 - M-kód (L1M a L2M) vojenský
 - Vypouštěny 2005 až 2009



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

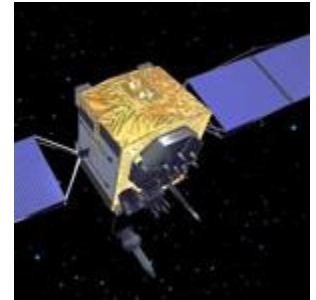
INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Družice bloku IIF (4. generace)

- F jako **Follow on** (následující)
- **Inovovaná skladba signálů - přidána 3. nosná frekvence L5** (I5 a Q5-kód, 3. civilní signál)
- Pokročilé atomové hodiny
- Původně plánováno 33 družic
Počet zredukován na **9 družic (+ 3 možné)**
- Vypouštěny v letech 2010 až 2016
- Životnost plánována na 12 let



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

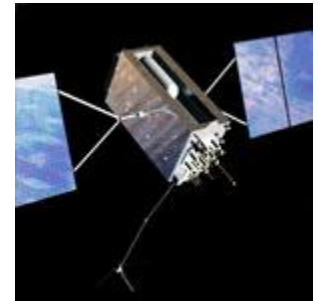
INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Družice bloku III-A (5. generace)

- **Technologie NAVWAR**
Vypnutí SPS¹⁾ služby v bojové oblasti a zesílení vojenského signálu
- **Družice nebudou obsahovat prvky SA**
- Vojenský M-kód pro frekvence L1 a L2
- Civilní signály L2C a L5 (SOL) + nový 4. civilní signál L1C
- Vypouštěny od 2018
- Životnost plánována na 15 let



1) *Standardní polohová služba (angl. Standart Position Service)
SPS je určena neautorizovaným uživatelům GPS*

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Provoz družic

- Nepřetržitý
- Plánovaná údržba – status **UNHEALTHY**
 - Čas před prvním spuštěním družice
 - Delta-V (station-keeping) | Ion Pump Operations | C-field tuning | SW testy | ...
- Řídící segment informuje o stavu kosmického segmentu v **NANU** a **OPS ADVISORIES**



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

1. SATELLITES, PLANES, AND CLOCKS (CS=CESIUM RB=RUBIDIUM):

A. BLOCK I : NONE

B. BLOCK II: PRNS 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14

PLANE : SLOT B6, D1, C2, D4, E6, C6, A4, A3, A1, E3, D2, B4, F3, F1

CLOCK : RB, RB, CS, RB, RB, RB, RB, CS, CS, CS, RB, RB, RB, RB

BLOCK II: PRNS 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29

PLANE : SLOT F2, B1, C4, E4, C3, E1, D3, E2, F4, D5, F5, A6, B3, C1

CLOCK : RB, RB, RB, RB, RB, RB, RB, RB, RB, RB, CS, RB, CS, RB, RB, RB

BLOCK II: PRNS 30, 31, 32

PLANE : SLOT B2, A2, E5

CLOCK : CS, RB, RB

2. CURRENT ADVISORIES AND FORECASTS :

A. FORECASTS: FOR SEVEN DAYS AFTER EVENT CONCLUDES.

NANU	MSG DATE/TIME	PRN	TYPE	SUMMARY (JDAY/ZULU TIME START - STOP)
------	---------------	-----	------	---------------------------------------

2010027	122034Z FEB 2010	02	FCSTMX	047/1400-048/0200
2010028	122037Z FEB 2010	23	FCSTMX	049/2100-050/0900
2010030	161814Z FEB 2010	02	FCSTSUMM	047/1438-047/1810
2010031	161924Z FEB 2010	23	FCSTCANC	049/2100-/-
2010032	172229Z FEB 2010	06	FCSTMX	053/1400-054/0200
2010034	192206Z FEB 2010	16	FCSTMX	055/1730-056/0530
2010036	222300Z FEB 2010	06	FCSTSUMM	053/1743-053/2240
2010037	230000Z FEB 2010	16	FCSTCANC	055/1730-/-

B. ADVISORIES:

NANU	MSG DATE/TIME	PRN	TYPE	SUMMARY (JDAY/ZULU TIME START - STOP)
------	---------------	-----	------	---------------------------------------

2010029	150937Z FEB 2010	20	UNUSUFN	046/0806-/-
2010033	192156Z FEB 2010	20	UNUSABLE	046/0806-050/2146
2010035	222106Z FEB 2010	30	UNUSUFN	053/2051-/-

C. GENERAL:

NANU	MSG DATE/TIME	PRN	TYPE	SUMMARY (JDAY/ZULU TIME START - STOP)
------	---------------	-----	------	---------------------------------------

2009025	061455Z APR 2009		GENERAL	/-/-
2010022	080418Z FEB 2010		GENERAL	/-/-
2010024	092223Z FEB 2010		GENERAL	/-/-
2010026	102040Z FEB 2010		GENERAL	/-/-

3. REMARKS:

A. THE POINT OF CONTACT FOR GPS MILITARY OPERATIONAL SUPPORT IS THE GPS OPERATIONS CENTER AT (719)567-2541 OR DSN 560-2541.

B. CIVILIAN: FOR INFORMATION, CONTACT US COAST GUARD NAVCEN AT COMMERCIAL (703)313-5900 24 HOURS DAILY AND INTERNET

[HTTP://WWW.NAVCEN.USCG.GOV](http://www.navcen.uscg.gov). MILITARY SUPPORT WEBPAGES CAN BE FOUND AT THE FOLLOWING

[HTTPS://GPS.AFSPC.AF.MIL/GPS](https://gps.afspc.af.mil/gps). OR [HTTP://GPS.AFSPC.AF.MIL/GPSOC](http://gps.afspc.af.mil/gpsoc)

NOTICE ADVISORY TO NAVSTAR USERS (NANU) 2010039
SUBJ: SVN27 (PRN27) FORECAST OUTAGE JDAY 061/0500 - JDAY 061/1700

1. NANU TYPE: FCSTMX
NANU NUMBER: 2010039
NANU DTG: 241704Z FEB 2010 REFERENCE
NANU: N/A REF
NANU DTG: N/A
SVN: 27
PRN: 27
START JDAY: 061
START TIME ZULU: 0500
START CALENDAR DATE: 02 MAR 2010
STOP JDAY: 061 STOP TIME ZULU: 1700
STOP CALENDAR DATE: 02 MAR 2010

2. CONDITION: GPS SATELLITE SVN27 (PRN27) WILL BE UNUSABLE ON JDAY 061 (02 MAR 2010) BEGINNING 0500 ZULU UNTIL JDAY 061 (02 MAR 2010) ENDING 1700 ZULU.

3. POC: CIVILIAN - NAVCEN AT 703-313-5900, [HTTPS://WWW.NAVCEN.USCG.GOV](https://www.navcen.uscg.gov)
MILITARY - GPS OPERATIONS CENTER at [HTTP://GPS.AFSPC.AF.MIL/GPSOC](http://gps.afspc.af.mil/gpsoc), DSN 560-2541,
COMM 719-567-2541, gps_support@schriever.af.mil, [HTTPS://GPS.AFSPC.AF.MIL](https://gps.afspc.af.mil)
MILITARY ALTERNATE - JOINT SPACE OPERATIONS CENTER, DSN 276-3514,
COMM 805-606-3514, JSPOCCOMBATOPS@VANDENBERG.AF.MIL



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

OPS ADVISORIES A NANU (24 FEB 2010)

GPS Ops Advisories

NANU (Notice Advisory to NAVSTAR Users)

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Neplánované anomálie chování družic

▪ Anomálie signálů

- Přejít na nestandardní PRN kód (družice)
- Do 6 sekund od detekce anomálie
- Vyřazení družice z navigačních zpráv celé konstelace (řídící segment)

▪ Anomálie v navigační zprávě

- Družice začne vysílat výchozí navigační zprávu družic (družice)
- Do 6 sekund od detekce anomálie



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Popis a funkce řídicího segmentu GPS

ŘÍDICÍ SEGMENT

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Stanice řídicího segmentu



Monitorovací stanice

Monitoring station

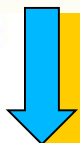
- Sledování navigačních signálů
- Kódová a fázová měření
- Sběr dat o atmosféře
- Dekódování navigačních dat družic



Hlavní řídicí stanice

Master Control Station

- Rutinní kontrola signálů a zařízení družic
- Údržba družic
- Detekce a reagování na anomálie signálů GPS
- Řešení anomálních stavů družic a signálů
- Řízení výkonů signálů družic GPS pro SPS a PPS
- Sestavování obsahu navigačních zpráv



Stanice pro komunikaci

Ground Antena

- Předávání povelů družicím.
- Předávání instrukcí procesoru družic.
- Nahrávání navigačních dat na družice.
- Příjem telemetrických údajů z družic.

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

evropský
sociální
fond v ČR

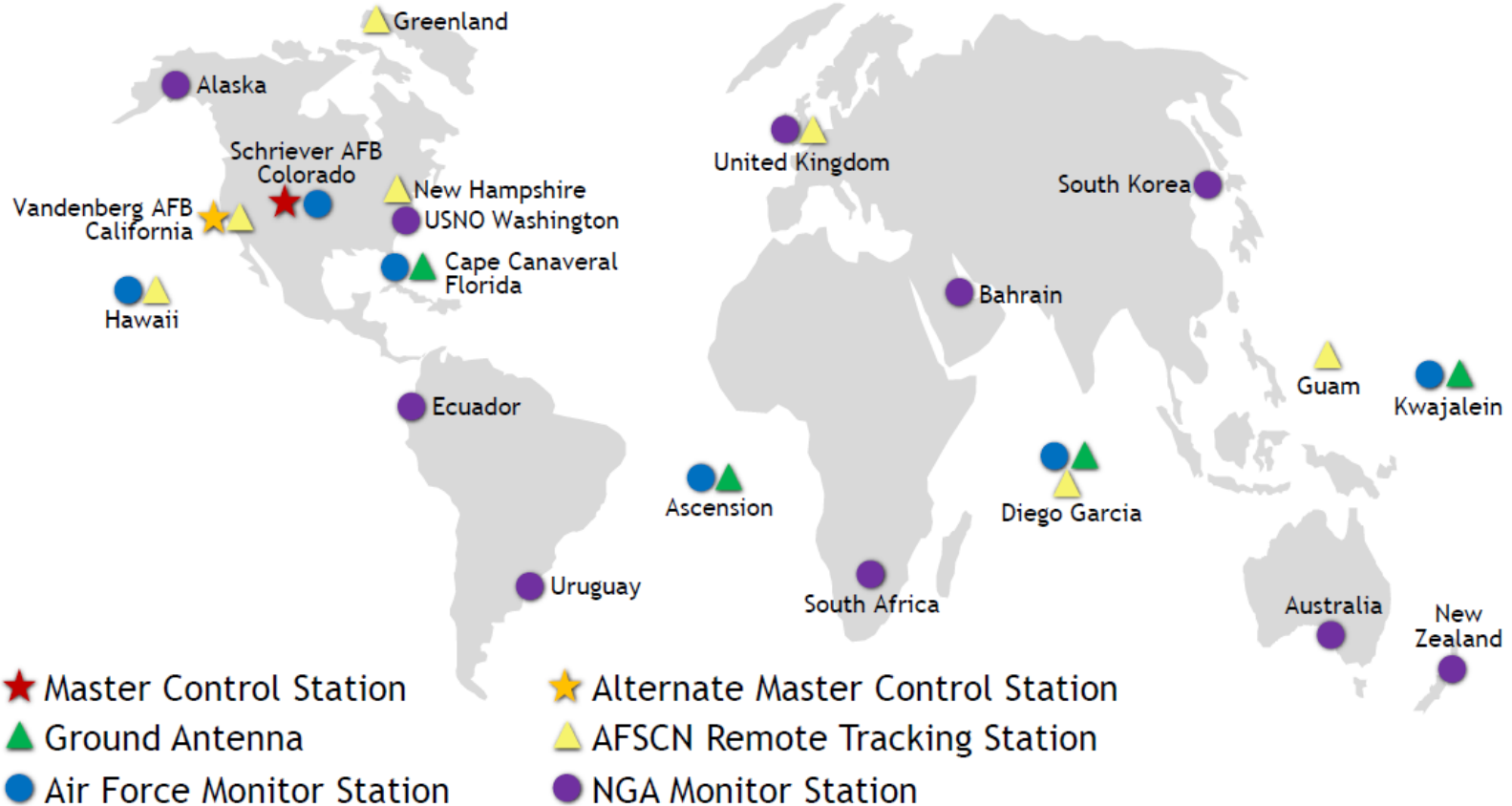
EVR

MINISTER
MLÁDEŽI

OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

GPS Control Segment



- ★ Master Control Station
- ☆ Alternate Master Control Station
- ▲ Ground Antenna
- ▲ AFSCN Remote Tracking Station
- Air Force Monitor Station
- NGA Monitor Station

Stanice řídicího segmentu GPS

K rozšíření o stanice NGA došlo v letech 2005-2008

Stav k květnu 2017 (<https://www.gps.gov/systems/gps/control/>)

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky. ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Monitorovací stanice

- Všechny stanice zastávají tuto roli
- **Jsou bezobslužné**
- **Dálkově řízené z hlavní řídicí stanice**

Činnosti:

- Provádí dálkoměrná měření na všech frekvencích a kódech
- Sbírá data o stavu družic
- Lokální meteorologická data

Komponenty:

- GPS multi-frekvenční přijímač
- Dvoje cesiové atomové hodiny
- Meteorologické senzory
- Pracovní stanice

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Monitorovací stanice

- GPS přístroje umožňují přijímat externí příkazy pro získávání družicových signálů a dat.
- Všechna měření jsou časově označená.
- Hlavní řídicí stanice dostává všechna dekódovaná navigační data bez oprav a detekovaných chyb.



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Monitorovací stanice NGA

- Zahustily původní síť stanic od roku 2005
- Nepřetržité monitorování kosmického segmentu
- Družice jsou viditelné ze **dvou až tří stanic** po celou dobu



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Hlavní řídicí stanice

- Udává přesný čas GPS vzhledem k UTC_{USNO}
Průměr z měření 12 cesiových a 12 hydrogenových atomových hodin
- Sestavení obsahu navigačních zpráv
 - Efemeridy (umožňují určit polohu družice na 1.6 m)
 - Almanachy
 - Družicový čas a jeho opravy na GPS čas
 - Ionosférické korekce
- Podklady pro službu NANU
- Vyhodnocování stavu a výkonu družic a služeb



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

18.03.2024

<http://tycho.usno.navy.mil/>

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Stanice pro komunikaci

- Nahrání nových navigačních zpráv na družice
- V současnosti 1x až 3x denně¹⁾
- Ovládání družic prostřednictvím vysílání příkazů
- Přijímání telemetrických dat družic

1) Družice aktualizují část obsahu navigační zprávy, který vysílají, co 2 hodiny. Zdrojem je sada dat, která jsou uložena při nahrávání v paměti družice. Tři nahrání spadají do tzv. Worst Case Scenario. Za běžných podmínek stačí jedno denně.

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Popis uživatelského segmentu GPS

UŽIVATELSKÝ SEGMENT

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Uživatelský segment GPS

- Uživatelé vybavení GPS přístrojem
- Získávají informace **[x,y,z,t] + [v,a]**

PPS (Precise Positioning Service)

- Autorizovaní uživatelé
- Vyšší přesnost

SPS (Standart Positioning Service)

- Neautorizovaní uživatelé (ekvivalent otevřené služby)
- Nižší přesnost

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

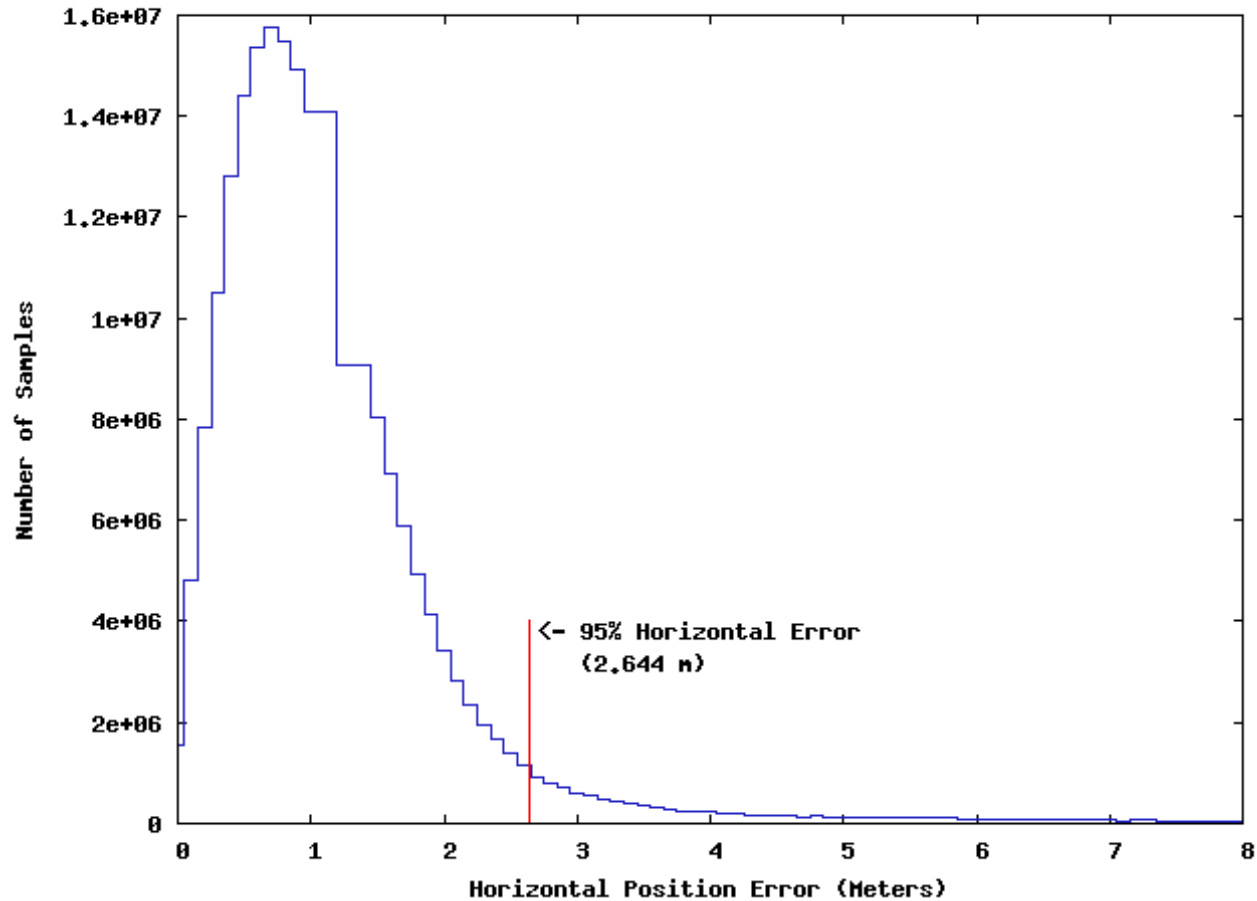


OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

SPS: Global Horizontal Error Histogram

Horizontal Position Error Histogram: 1 January - 31 March 2012



http://www.nstb.tc.faa.gov/REPORTS/PAN77_0412.pdf

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky. ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



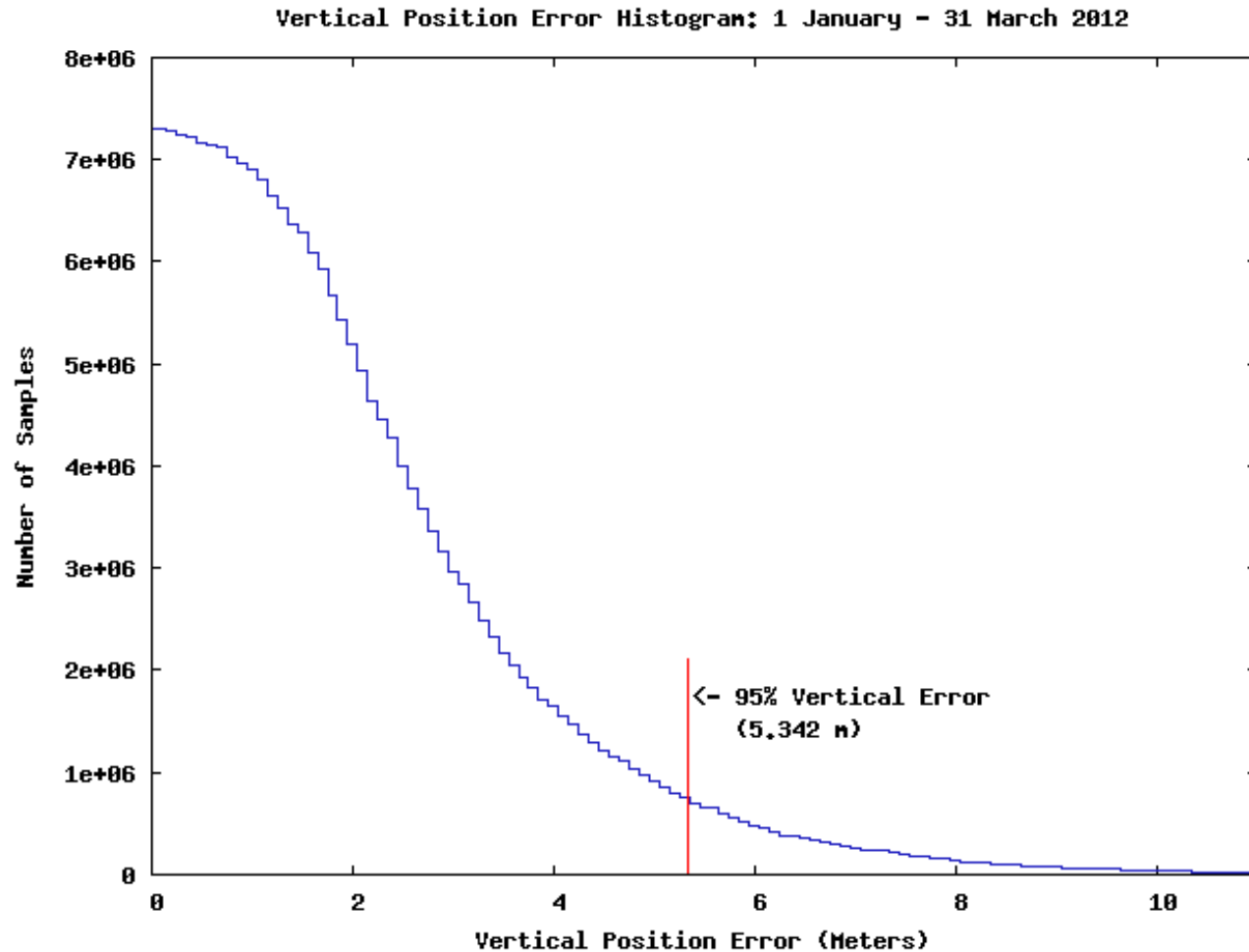
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

SPS: Global Vertical Error Histogram



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

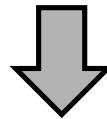
http://www.nstb.tc.faa.gov/REPORTS/PAN77_0412.pdf

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Komerční uživatelé

- Globální služba pro zpřesňování polohy
Například: **OmniSTAR**
- Řízení flotily dopravních prostředků
Například: **OmniTRACS** - GPS a další technologie

GPS vojenský systém



Možné odpojení všech komerčních uživatelů a jejich komerčních aplikací a služeb bez výstrahy!



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽI A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Popis signálů vysílaných družicemi GPS

SIGNÁLY

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

GPS signály

- Tři části
 - Nosná vlna (frekvence)
 - Dálkoměrný kód
 - Navigační zpráva



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Frekvence signálů

Označení	Frekvence (MHz)	Vlnová délka (cm)	Poznámka
L1	1 575.42	19.0	
L2	1 227.6	24.4	
L5	1 176.45	25.5	od bloku družic II-F, pro Safety-of-Life aplikace, civilní



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Dálkoměrné kódy

- Základ tvoří:
 - C/A kód, modulovaný L1, pomalý/krátký kód, primárně určený pouze pro nalezení signálu družice na dané frekvenci a zamknutí jeho sledování
 - P(Y)-kód, modulovaný L1 a L2, dlouhý/rychlý kód, P-kód je šifrován a vzniká tím P(Y)-kód nepoužitelný pro neautorizované uživatele, primárně určený pro realizaci dálkoměrných měření



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Dálkoměrné kódy

- Modernizované kódy:
 - M-kód, modulovaný L1 a L2, od bloku IIR-M, vojenský
 - L2C, modulovaný L2, od bloku IIR-M, civilní, umožňuje provádět dvou-frekvenční kódová měření i civilním uživatelům (zvýšení přesnosti), nová navigační zpráva, v březnu 2024 jej vysílalo 25 družic, status **pre-operational healthy**, v roce 2024 se dá očekávat přepnutí do operačního stavu



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Dálkoměrné kódy

- Modernizované kódy:
 - L5 je modulována dvěma civilními kódy (I5, Q5), rychlost = 10.23 Mbit/s, v březnu 2024 jej vysílalo 18 družic, status **pre-operational unhealthy**, předpoklad dosažení operačního stavu 2027
 - L1C, modulovaný L1, od bloku III, civilní, pro zajištění interoperability s dalšími GNSS, v březnu 2024 vysílán pouze 6 družicemi, status **developmental unhealthy**



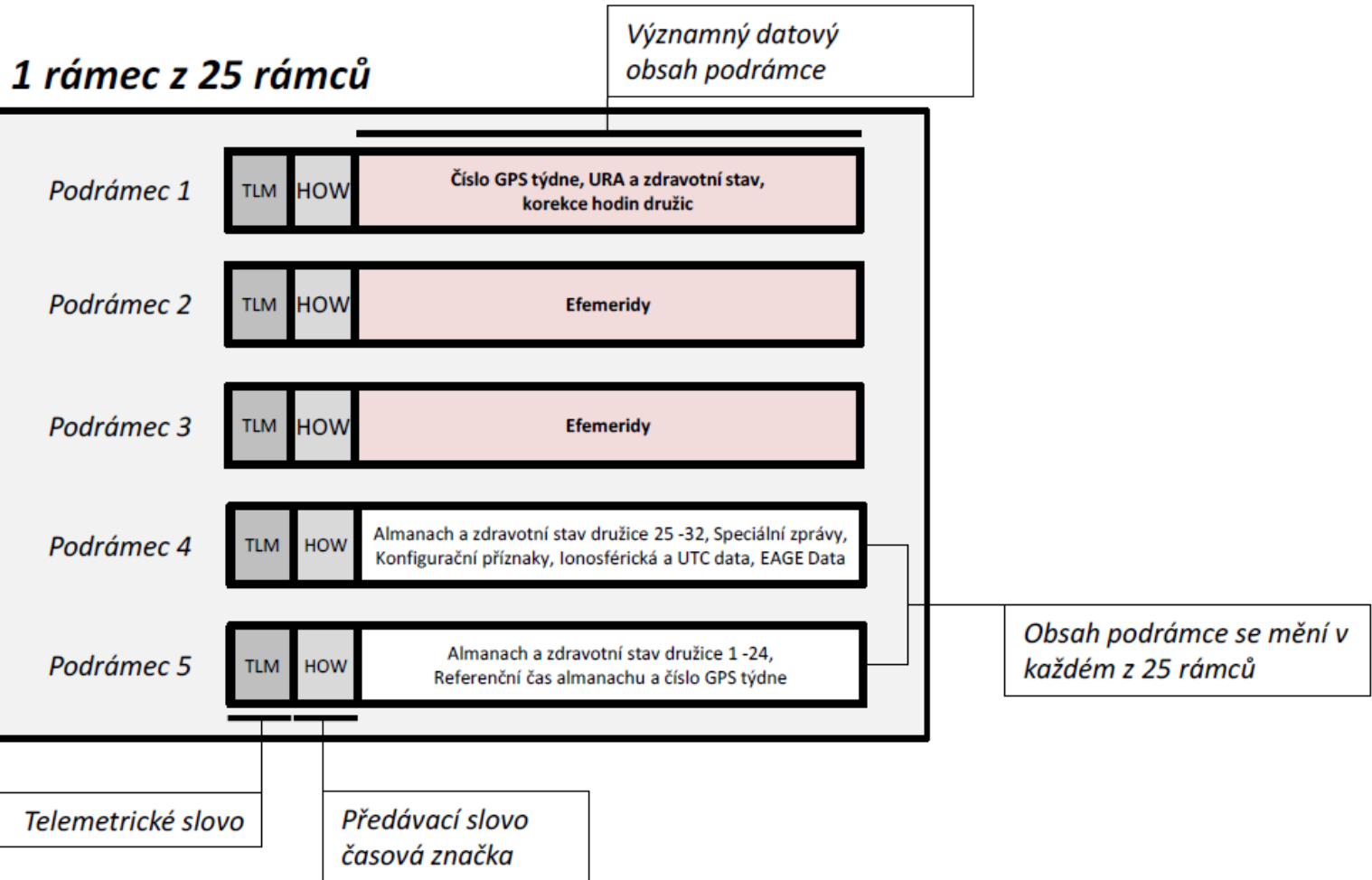
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Navigační zpráva – ne pro L2C, L5



- Obsah kompletní navigační zprávy je odvysílán družici za 12.5 minuty



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Popis prostorového referenčního systému, modelu geoidu a
systémového času GPS

PROSTOROVÝ REFERENČNÍ SYSTÉM A ČAS GPS

18.03.2024

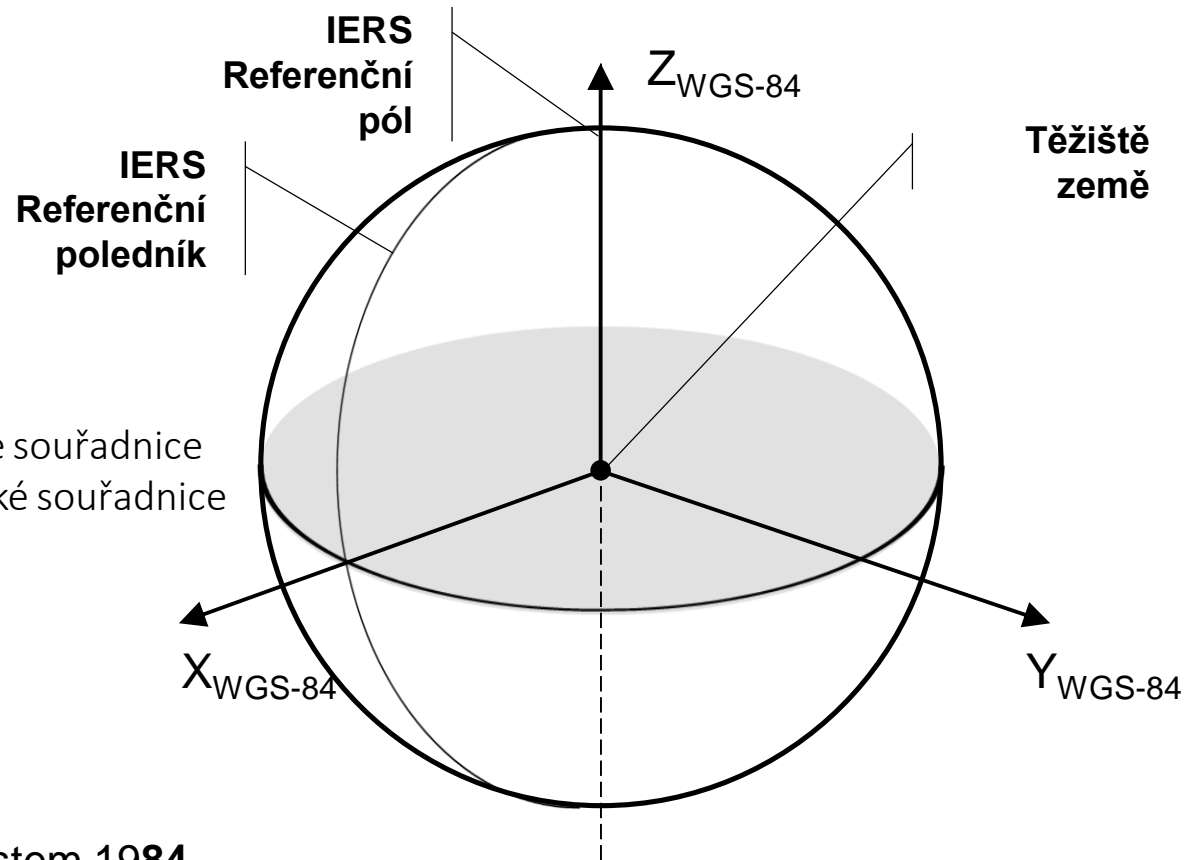
Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

$$a = 6378137.0 \text{ m}$$

$$1/f = 298.257223563$$

$$GM = (3986004.418 \pm 0.008) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$$

$$\omega = 7292115 \times 10^{-11} \text{ rad/s}$$



ϕ, λ, h Geografické souřadnice
 X, Y, Z Geocentrické souřadnice

WGS-84

World Geodetic System 1984

Epocha realizace **1984.0 (BHI)**

Založen 1987 na observacích ke stanicím systému TRANSIT

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽI A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Čas GPS

- Odvozen od UTC_{USNO}
- Atomový čas (průběžný čas)
- Počátek **6. ledna 1980** ve **00:00:00**
 UTC_{USNO}
- V rámci GPS udržuje hlavní řídicí stanice
- Navigační zpráva obsahuje **počet přestupných sekund** mezi GPS časem a UTC_{USNO}
*aktuální rozdíl **+18 přestupných sekund** (říjen 2021)*



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Čas GPS a jednotky

- Přesnost mezi GPS a UTC_{USNO} 90 - 97 ns po započtení přestupných sekund)
- Synchronizace GPS času v konstelaci 4 - 10 ns

Jednotky:

- Týdenní čítač GPS Week 1023 hodnot
- Čítač přetekl 21. 8. 1999, 6. 4. 2019
- Čítač 604800 sekund v týdnu (přesnost na 1 μ s)

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Družicový čas

- Odvozen z atomových oscilátorů družic – čtvery atomové hodiny
- Korekce času **GPS** na **družicový čas** jsou v navigační zprávě družice
- Za správnost odpovídá **MCS**
- **MCS** může nastavovat družicový čas



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

DĚKUJI ZA POZORNOST

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

Literatura a informační zdroje

- **Teunissen, P., Montenbruck, O.:** Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems, Springer, 2017, ISBN 978-3-319-42926-7
- **Kaplan, E. D.:** *Understanding GPS: Principles and Applications, Second Edition*, Artech House Publishers; 2 edition, 2005, pages 726, ISBN-10: 1580538940
- **Vojtek, D.:** Globální navigační a polohové systémy, učební texty, VŠB-TUO, 2014, 357 stran. Publikace je dostupná na adrese: <https://geoinformatika-1.vsb.cz/vojtek/index.php?page=gnps/prednasky>
- **Veřták, I.:** *Rádiové určení polohy - prezentace*, 2009, stran 80



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

18.03.2024

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.