

GLONASS

GLOBÁLNÍ NAVIGAČNÍ A POLOHOVÉ SYSTÉMY

Prezentace 5

David Vojtek

Institut geoinformatiky

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

25.03.2024

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 GLONASS
- Kosmický segment GLONASS
- Řídicí segment GLONASS
- Uživatelský segment GLONASS
- Prostorový referenční systém a čas GLONASS



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

25.03.2024

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

Historie vývoje, současnost a budoucnost GLONASS

HISTORIE GLONASS

25.03.2024

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

Základní charakteristiky GLONASS

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



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽI A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

25.03.2024

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

Předcházelo GLONASS ...

1968-1970 požadavek na vybudování jednotného navigačního systému pro operace na moři, souši a ve vzduchu
Ministerstvo obrany SSSR, akademie věd a námořnictvo SSSR



Říjen 1976 zahájen projekt **GLONASS**
dekret rady ministrů SSSR „Nasazení jednotného kosmického navigačního systému GLONASS“

- **CIKADA-M / CYKLON SSSR**
Družicová lokalizace pro ponorkové loďstvo (Dopplerovská měření)

25.03.2024

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

Etapa návrhu koncepce 1976 - 1980



Cíl: Vývoj koncepce GLONASS

.... Vývojem byla pověřena skupina NPO PM¹⁾ v Krasnoyarsku-26

1979 Sestavení koncepce GLONASS

Koncept zahrnuje 24 MEO družic (výška orbit 20000 km).

Poloha, čas, rychlost a směr se bude určovat měřeními ke čtyřem družicím.

¹⁾ *Applied Mechanics Science-Production Association*

25.03.2024

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

Etapa návrhu koncepce

- Na orbitu budou družice vynášeny po třech
- Předpokládaná polohová přesnost 65 m
- Reálná polohová přesnost do 20 m
- První prototyp byl nevhodný a jeho konstrukce byla přepracována (zdržení budování systému)



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽI A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ



25.03.2024

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

Etapa budování 1980 – 1995

- Cíl:** Dosažení plné operační způsobilosti
- 1982** Vypuštěna první družice (URAGAN)
- 1988** SSSR nabízí navigační signály GLONASS k civilnímu využití (setkání ICAO)
- 1990** Zjištěné interference signálů s frekvencemi radioastronomických pozorování
- 1991** Vypuštěno 43 družic GLONASS
Nově vznikla Ruská federace přebírá funkční družice konstelace



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

25.03.2024

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

Etapa budování 1980 – 1995

Cíl: Dosažení plné operační způsobilosti

1993 Dekretem prezidenta RF je systém zpřístupněn všem zdarma a bez omezení

1994 - 1995 Vypuštěno 7 trojic družic

1995 Dosažení konstelace 24 družic
Zpřístupněn kódy SP služby civilistům
Publikování ICD (Interface Control Document)



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽI A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ



25.03.2024

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

Etapa budování 1980 – 1995

Cíl: Dosažení plné operační způsobilosti

1996 Dekret o dvojím použití GLONASS
Umožňuje zahraniční spolupráci

1996 Únor dosažení **FOC¹⁾** - **služby (SP²⁾**
a HP³⁾)



- 1) *FOC (Full Operational Capability) – plná operační způsobilost.*
- 2) *SP (Standard Precision) dnes označované jako OS (Open Service)*
- 3) *HP (High Precision) dnes označované jako AS (Authorized Service)*

25.03.2024

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

Provoz a znovuoživení systému 1995 – 2012

Cíl: Obnova systému a modernizace

2001 zůstává pouze 6 aktivních družic

- Nízká životnost družic URAGAN
- Finanční problémy RF

**2001 Dekret prezidenta RF vyhlášen program
Federal Dedicated Program –
Global Navigation System – 2000-2011**

**2007 Dekretem prezidenta RF
Garantován globálně bezplatný a
neomezený přístup k civilním
službám. Podpora z rozpočtu RF**



25.03.2024

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



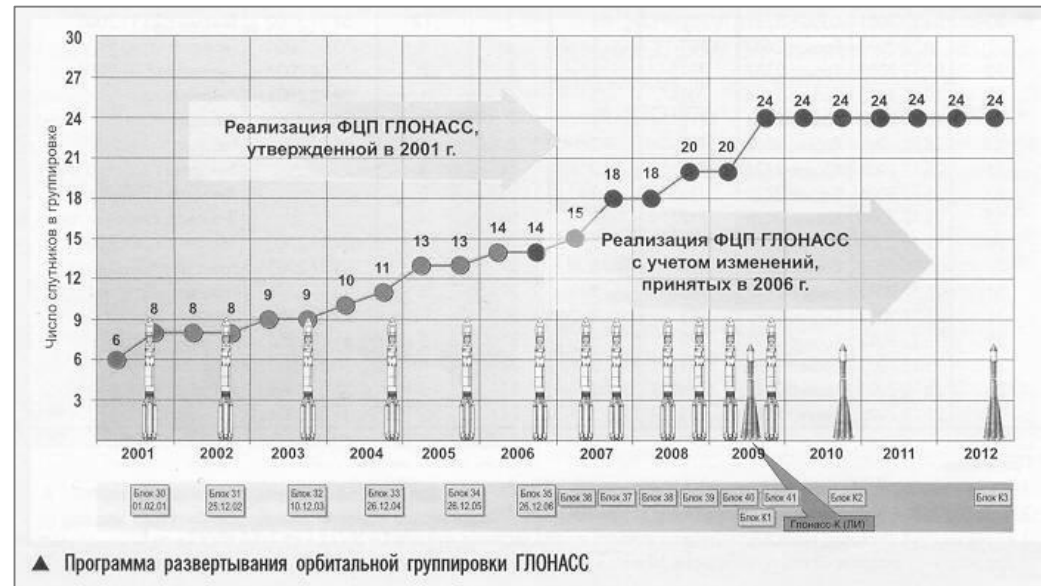
OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Federal Dedicated Program – Global Navigation System – 2000-2011

Cíl: Obnova systému a modernizace

- Desetiletý program zaměřený na znovuvybudování systému GLONASS
- Garantuje rozpočtové kapitoly v rozpočtu RF



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽI A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

25.03.2024

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

Provoz a znovuoživení systému 1995 – 2012

**Cíl: Obnova systému a modernizace
2012 Dosažení plné konstelace 21+3**



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ



Dohoda RF s USA o dosažení interoperability mezi GLONASS a GPS.

- *Změnou struktury navigačních signálů GLONASS*
- *Přechodem z FDMA na CDMA u systému GLONASS*

25.03.2024

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

Modernizace systému GLONASS

- Ve vývoji/výrobě jsou družice třetí generace:
 - **URAGAN-K1** (L1/L2-FDMA, **L3-CDMA**)
 - **URAGAN-K2** (L1/L2/L3-CDMA, L1/L2-FDMA)
- **URAGAN-KM** (L1/L2/L3/**L5-SoL**)



2016 Zajistit SBAS L1 pro území Ruska

2019 Certifikace SDCM¹⁾ SBAS pro LPV-200

¹⁾ *System of Differential Correction and Monitoring*

25.03.2024

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



INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Popis kosmického segmentu GLONASS

KOSMICKÝ SEGMENT

25.03.2024

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

Aktuální konstelace družic

Označení: 21+3

Aktuální počet družic: 23+3 (2 uváděny do provozu, 1 v údržbě, březen 2024)

Orbitálních rovin: 3 (označení 1, 2, 3)

Sloty v orbitě: 8+1 (záloha)

Rozestup: 120°

Sklon orbity: 64,8°

Tvar orbity: kruhová

Typ / výška orbity: MEO / 19 100 km

Oběžná doba: cca 11 hodin 15 minut

Aktivní bloky družic: 21xM, 4xK1, 1xK2

25.03.2024

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

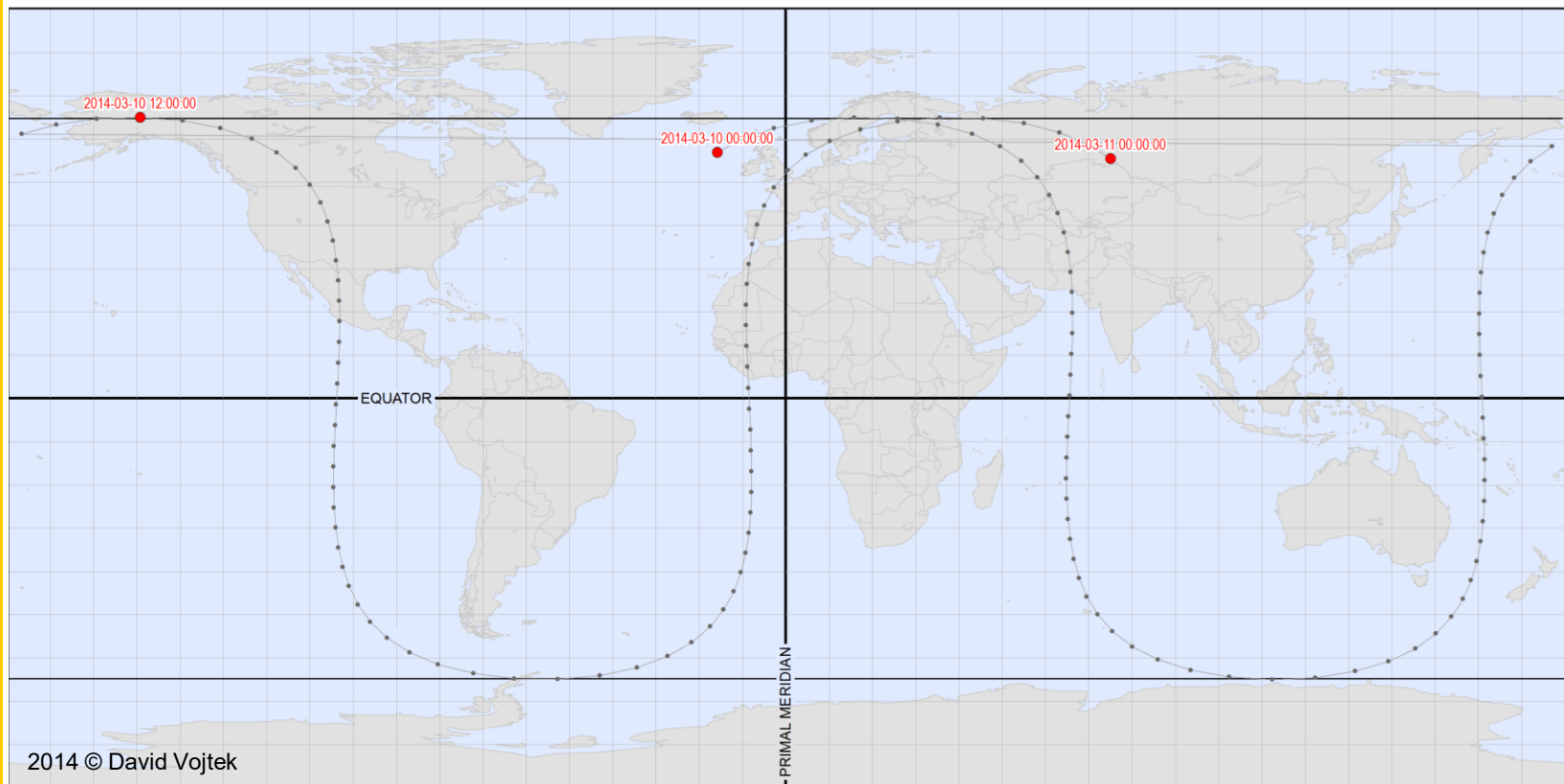


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ



2014 © David Vojtek

GLONASS satellite position

- COSMOS 2419 (714) at 00:00 UTC and 12:00 UTC
- COSMOS 2419 (714) at 10 minutes intervals

GLONASS Satellite Track

- COSMOS 2419 (714)

Dráha družice COSMOS 2419 (714) pro 24 hodin (2014/03/10)

Predikce z almanachu TLE

25.03.2024

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

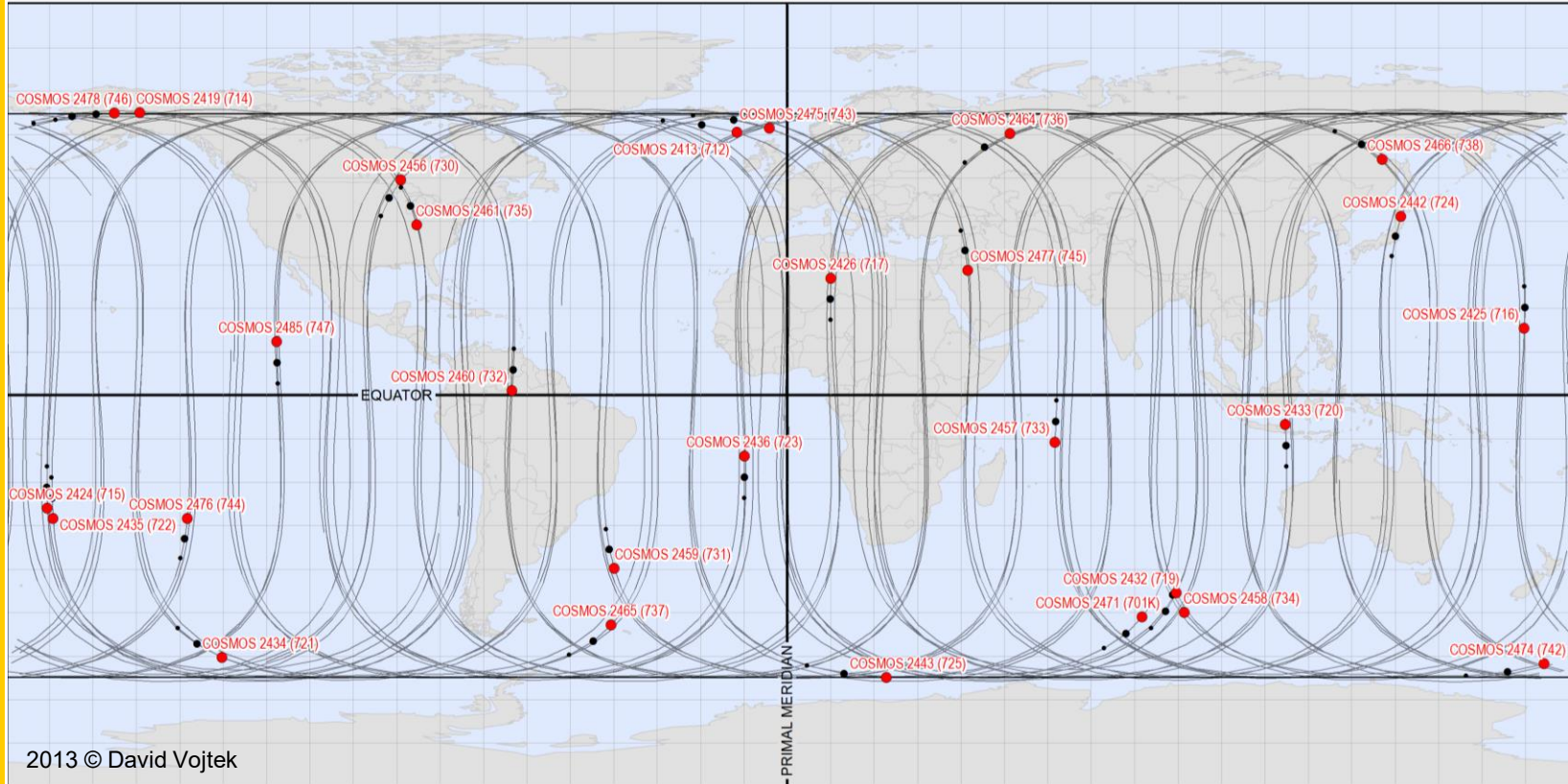


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ



2013 © David Vojtek

- | GLONASS satellite position | GLONASS Satellite Track |
|----------------------------|-------------------------|
| ● 2014-03-10T12:00 UTC | — 2014-03-10 |
| ● 2014-03-10T11:50 UTC | |
| ● 2014-03-10T11:40 UTC | |

Konstelace družic GLONASS (2014/03/10)

Predikce z almanachu TLE

GLONASS-M : 27 družic / GLONASS-K : 1 družice

25.03.2024

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

Družice

- Pokrytí signály
100% pokrytí Zemského povrchu do výšky 2000 km
- **Družice používají primárně FDMA* schéma**
- Dvě družice v protilehlých slotech orbity sdílí jednu frekvenci
- Dostupný signál z 6 a více družic
- V ideálním případě až 12
- Družice jsou v nadhlavníku do $64,8^\circ$ severní šířky a do $64,8^\circ$ jižní šířky.

* FDMA – Frequency Division Multiple Access

25.03.2024

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

Družice GLONASS (1. generace)

- Označení URAGAN
- Plánovaná životnost
prvních družic 1- 2 roky
pozdějších družic 3 roky
- Družice využívají FDMA
- Troje cesiové atomové hodiny (**nižší
stabilita**)



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

25.03.2024

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

Družice GLONASS-M (2. generace)

- **URAGAN-M** (modifikovaný)
- Modernější elektronika
- 21 družic aktivních (březen 2024)
- **Přidaná frekvence L2 pro civilní signál na L2** (ne všechny aktuální družice ji vysílají)
- Přechod k nové generaci družic GLONASS-K



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

25.03.2024

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

Družice GLONASS-M (2. generace)

- Zlepšený výkon navigace:
 - Zpřesněné atomové hodiny (chyba 1×10^{-13} s/den)
 - Zahrnuta nově komunikace mezi družicemi
 - Lepší stabilizace družic na oběžné dráze
- Delší plánovaná životnost – 7 let
 - Větší množství pohonné látky motorů
 - Zlepšené palubní baterie
 - Vylepšená elektronika
 - Aktuálně 4 družice v provozu již více než 16 let



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

25.03.2024

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

Družice GLONASS-M (2. generace)

- Zlepšená navigační zpráva:
 - **Korekce GPS a GLONASS času**
(Interoperabilita s GPS)
 - Autentizace navigačních dat co 4 s
 - Příznak stáří navigačních dat
 - Výstraha o přestupné sekundě



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

25.03.2024

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

Družice GLONASS-K1 (3. generace)

- Přidána L3 civilní frekvence
- CDMA signál na L3
Interoperabilita s ostatními GNSS
- Životnost 10-12 let
- Snížení poruchovosti
- Nižší hmotnost
- Plánovaný počet družic 27, první vypuštěna 2011, doposud vypuštěno celkem 5 družic
- Podpora služeb **SAR**



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽI A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

25.03.2024

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

Další modernizace družic GLONASS

GLONASS-K2 (URAGAN-K2)

- 3. generace
- Rozšíření CDMA dělení na signály L1, L2 a L3
Interoperabilita s ostatními GNSS
- první družice byla plánována již na 2015, ale
vypuštěna až 8/2023

GLONASS-KM (URAGAN-KM)

- 4. generace
- Nový signál **L5 Safety of Life**
- CDMA dělení signálů L1, L2, L3 a L5

25.03.2024

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**
- Řídící segment informuje o stavu kosmického segmentu prostřednictvím **NAGU**
<http://glonass-iac.ru/en/CUSGLONASS/index.php>



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

NAGU - Notice Advisory to GLONASS Users

25.03.2024

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

Neplánované anomálie chování družic

Autonomní monitoring palubních systému

- Při detekci anomálie nastavena **UNHEALTHY** do **30 s** maximálně do **60 s** (platí pro GLONASS-M)
- Plánované snížení času na max. 10 s

Detekce anomálií a selhání na straně signálů i v obsahu navigační zprávy se řídí stejným scénářem reakce.

25.03.2024

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

Neplánované anomálie chování družic

Detekce řídicím segmentem (TT&C a MS)

- Zápis status UNHEALTHY do navigační zprávy (almanach) **do 2.5 min** maximálně **do 16 hodin**.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

25.03.2024

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 GLONASS

ŘÍDÍCÍ SEGMENT (POZEMNÍ ŘÍDÍCÍ KOMPLEX)

25.03.2024

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

Stanice řídicího segmentu

Systemové řídicí středisko SCC

- Plánování a koordinace všech funkcí systému GLONASS
- Údržba družic
- Řešení anomálních stavů družic a signálů
- Řízení výkonů signálů družic
- Sestavování obsahu navigačních zpráv

- Kromě role monitorovacích stanic zastávající další role

Rozšířené stanice

3 x (TT&C, ULS, SLR, CC a MS)

Monitorovací stanice

10+6 x MS

- Sledování navigačních signálů
- Kódová a fázová měření
- Sběr dat o atmosféře
- Dekódování navigačních dat družic
- **Detekce anomálií v signálech a navigačních datech**

25.03.2024

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

Dílčí role stanic

Stanice pro telemetrii, sledování a řízení

5 x TT&C

Centrální synchronizér

2 x CC-M (příp. CS)

Stanice pro komunikaci

3 x ULS

Laserové sledovací stanice

2 x SLR

- Předávání povelů družicím.
- Sběr telemetrických dat co 10 až 14 oběhů.
- Měření třech až pěti 10-15 minut dlouhých blocích.
- Měření vzdálenosti k družicím radarem.
- Základny pro stanovení GLONASS času
- Predikce korekcí hodin družic
- Nahrávání navigačních zpráv do paměti družic
- 2 x denně
- Slouží ke kalibraci radarových měření TT&C

25.03.2024

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

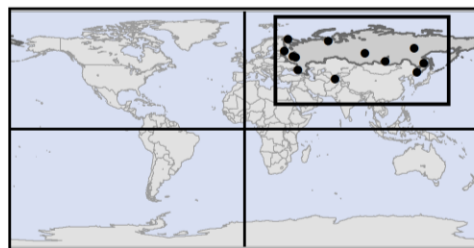
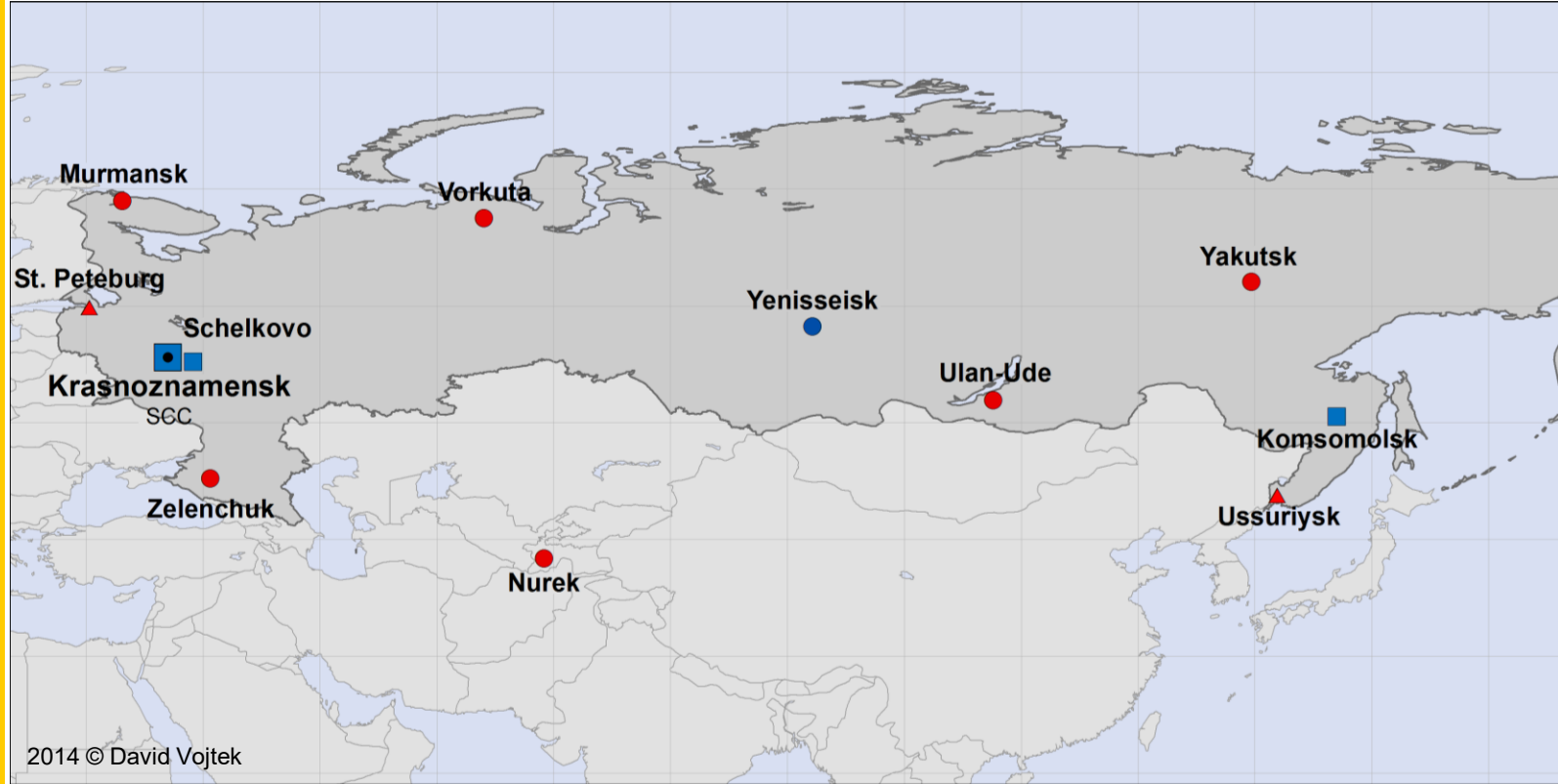


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ



Ground Segment Station

- System Control Center | Monitor Station
- Central Clock | Telemetry, Tracking & Command | Up-link Station | Satellite Laser Ranging | Monitor Station
- Telemetry, Tracking & Command | Up-link Station | Monitor Station
- ▲ Telemetry, Tracking & Command
- Monitor Station

+ v rámci modernizace budováno 15 nových stanic, 6 z toho mimo území Ruska (již v provozu: Brazílie, Jihoafrická republika, Antarktida)

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



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Popis uživatelského segmentu GLONASS

UŽIVATELSKÝ SEGMENT

25.03.2024

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

Uživatelský segment GLONASS

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

HP (High Precision Service) alternativně AS

- Autorizovaní uživatelé
- Vyšší přesnost

SP (Standard Precision Service)
alternativně OS

- Neautorizovaní uživatelé (ekvivalent otevřené služby)
- Nižší přesnost

25.03.2024

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



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Popis signálů vysílaných družicemi GPS

SIGNÁLY

25.03.2024

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 | $1\,602 + N \cdot 0.5625$ | ~19 | FDMA |
| L2 | $1\,240 + N \cdot 0.4375$ | ~24 | FDMA |
| L3 | 1 201.225 | 24.5 | CDMA, od bloku K1 (nových družic bloku M) |

$N = z$ intervalu $\langle -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 \rangle$, tímto je realizováno FDMA (družice vysílají signál na různých frekvencích)



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 a L2 (L1OF a L2OF), pomalý/krátký kód, primárně určený pouze pro nalezení signálu družice na dané frekvenci a zamknutí jeho sledování
 - P-kód, modulovaný L1 a L2 (L1SF a L2SF), dlouhý/rychlý kód, P-kód je tajný, primárně určený pro realizaci dálkoměrných měření = ale jen pro autorizované uživatele

$L1OF = L1, O = open, F = FDMA$

$L1SF = L1, S = secret, F = FDMA$



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Dálkoměrné kódy

- Modernizované kódy:
 - Od družic generace K1: L3OC, otevřený, nová navigační zpráva, 6 družic aktuálně
 - Od družic generace K2: L1OC Data, L1OC Pilot, L1SC Data, L1SC Pilot (a totéž pro L2), aktuálně 1 družice



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

L3OC = L3, O = open, F = CDMA

Navigační zpráva pro C/A kód

- Data se vztahem k družici:
 - Časová značka družice
 - Korekce hodin na družici k systémovému času GLONASS (chyba hodin družice)
 - Relativní rozdíl mezi frekvencí signálů používanou družicí a nominální frekvencí (viz FDMA)
 - Efemeridy družice (přesné parametry oběžné dráhy družice)
- Systémová data:
 - Status všech družic v konstelaci
 - Hrubé korekce času hodin všech družic
 - Almanach (hrubé parametry oběžných drah všech družic)
 - Korekce GLONASS času na UTC^{SU}
 - Další informace



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Navigační zpráva pro C/A kód

- Navigační zpráva = opakující se super rámec, který se dělí na pět rámců a ten se každý dělí na řetězce
- Doba odvysílání jednoho rámce = 30 s

Navigační zpráva pro P kód

- tajná



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.



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

Popis prostorového referenčního systému, modelu geoidu a
systémového času GLONASS

PROSTOROVÝ REFERENČNÍ SYSTÉM A ČAS GLONASS

25.03.2024

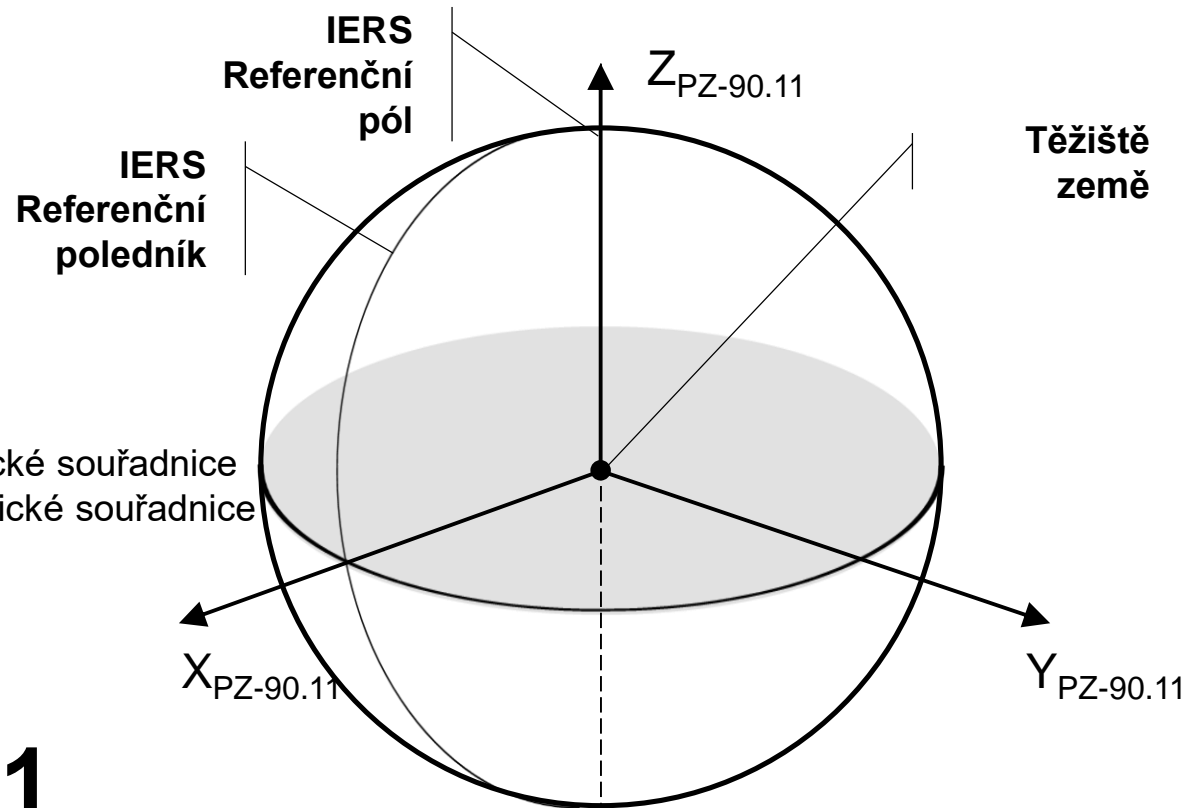
Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.
ESF napomáhá rozvoji lidských zdrojů a podnikatelského ducha.

$$a = 6378136 \text{ m}$$

$$1/f = 298,25784$$

$$GM = (398,6004.4) \times 10^9 \text{ m}^3/\text{s}^2$$

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



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

PZ-90.11

Parametry Zemli 1990 - realizace 1990.0 (BHI)

Založen měření družice GEOIK (GEOIK-2, GEOIK-3), družic GLONASS a ETALON.

25.03.2024

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

GLONASS čas (STS - System Time Scale)

- STS stanovuje centrální synchronizér (CS)
čtvery vodíkové masery (stanice Schelkovo)
- STS je synchronizován s UTC_{RF}
- **$STS = UTC_{RF} + 3$ hodiny**
- Oprava STS na UTC_{RF} je vysílána v navigační zprávě družic
- Offset opraveného STS od UTC_{RF} nepřesahuje 20 ns (rok 2015)



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

25.03.2024

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

Družicový čas

- Synchronizace družicového času a STS v konstelaci je s přesností na 20 ns
- Korekce družicového času na STS je součástí navigační zprávy každé družice
- V navigační zprávě časové značky **(družicový čas)**
 - super rámeček (2,5 min) | rámeček (5 x 30 s) | řetězec (15 x 2 s)
 - na začátku každého řetězce je časová značka

*Navigační zpráva GLONASS-M družic korekci GLONASS času na GPS čas.
Rozdíl mezi oběma časy méně než 30 ns.*

25.03.2024

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

DĚKUJI ZA POZORNOST

25.03.2024

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>
- <https://spacewatch.global/2020/08/russia-to-place-7th-ground-station-of-glonass-satellite-navigation-system-in-brazil/>
- <https://glonass-iac.ru/en/sostavOG/>



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

25.03.2024

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

INOVACE BAKALÁŘSKÝCH A MAGISTERSKÝCH STUDIJNÍCH OBORŮ
NA HORNICKO-GEOLOGICKÉ FAKULTĚ
VYSOKÉ ŠKOLY BÁŇSKÉ - TECHNICKÉ UNIVERZITY OSTRAVA

GLONASS

Prezentace 5

Studijní opora k předmětu: GLOBÁLNÍ NAVIGAČNÍ A POLOHOVÉ SYSTÉMY

David Vojtek

25.03.2024

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