

PŘEDNÁŠKA

5

**Satelitní navigační
systémy
- Evropský systém
Galileo**

Přednáška 5 – přehled

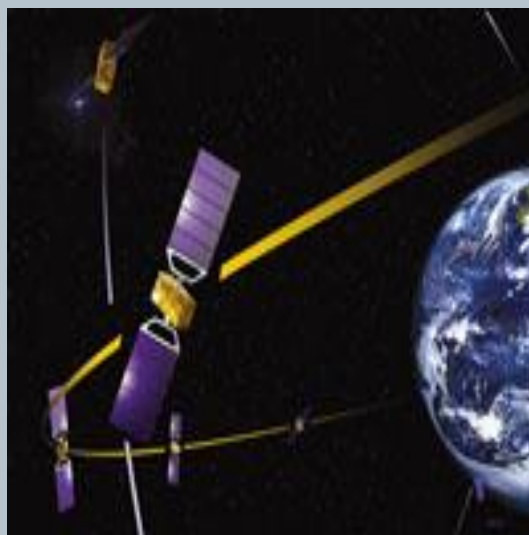
- Evropský navigační systém GALILEO
 - Vývoj
 - Architektura
 - Princip
 - EGNOS

- aplikace družicové navigace

GALILEO

System GALILEO

- první nezávislý satelitní systém na světě (systémy GPS a GLONASS jsou pod kontrolou armády, a mohou být vypnuty)
- evropský projekt
- očekávaná cena cca 6 miliard euro



Zdroj: www.czechspace.cz

Galileo – historie, budoucnost a vize

- Poměr přínosů a nákladů (Benefit for Cost Ratio) projektu Galileo má být 4.6 (stavby dopravních infrastruktur mají tento koeficient typicky 1.5 - 2)
- Projekt má přinést 140 000 nových pracovních míst v Evropě
- Velkým socioekonomickým přínosem budou dopady nasazení telematických aplikací využívajících systému Galileo
- Historie systému Galileo
 - 1999 – první plány
 - 2001-2005 (definice požadavků, vývoj družic a pozemních komponent, ...)
 - nejasnosti s financováním, 2007 schváleno financování EU namísto zamýšleného podílu průmyslových podniků
 - uvedení do provozu předpokládáno cca 2015

Plán zavedení systému Galileo

Galileo implementation plan



FOC Phase 2

All services

Total 30 satellites and ground segment



FOC Phase 1

Open Service, Search & Rescue,
Public Regulated Service

Total 18 satellites and ground segment



In-Orbit Validation

4 IOV satellites and ground segment



Galileo System Testbed

GIOVE A, GIOVE B, GIOVE mission segment



Výstavba systému Galileo

- Výstavbu systému zajišťují na základě výběrového řízení firmy z Itálie, Německa a Francie

(přiděleno Evropskou komisí 8.1.2010)

- Výstavbu 4 satelitů zajišťuje již z dřívějška EADS Astrium, nově dalších 14 satelitů zajišťuje německá firma OHB Systems AG

(pro zahájení provozu systému je nutných právě 18 satelitů)

- Vynesení do vesmíru francouzská Arianespace
- Celkovou podporu systému zajišťuje italská ThalesAleniaSpace

Galileo testovací satelity

- program GIOVE (Galileo In-Orbit Validation Element)
 - GIOVE-A vypuštěna 28.12.2005 Evropskou vesmírnou agenturou ESA
 - zajistila splnění požadavku Mezinárodní telekomunikační unie na využití a tím zarezervování frekvenčního pásma
 - GIOVE-B vypuštěna 27.4.2008 raketou Sojuz

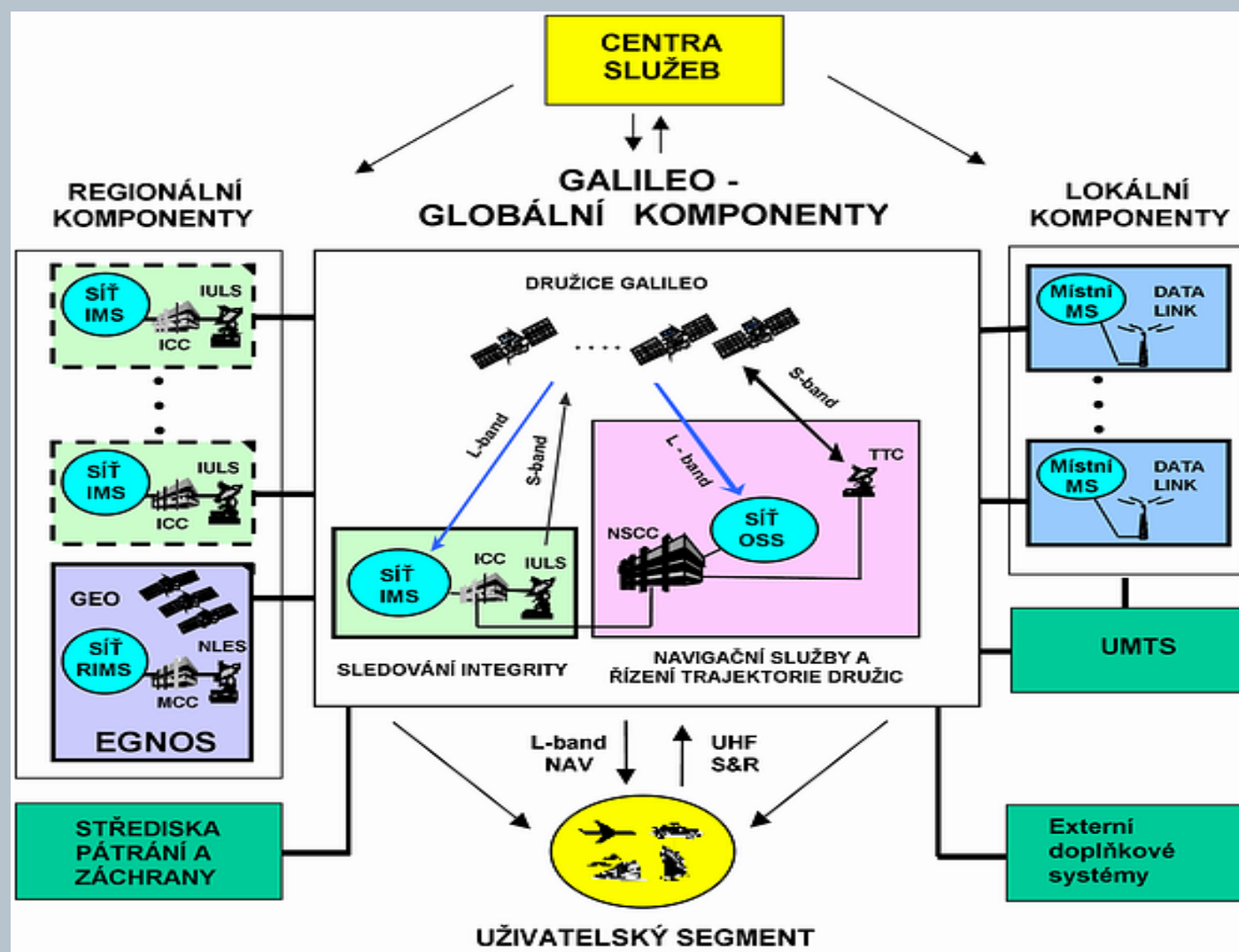
Galileo aktuální a očekávaný vývoj

- Nedávné úspěchy
 - 21.10.2011 vynesla raketa Sojuz z kosmodromu Kourou první dvě družice
 - 12.10.2012 vyneseny z Kourou další dvě družice
 - v roce 2013 ukončena ověřovací fáze
 - Následující pár družic vyneseno 22.8.2014
 - Umístěny na špatné oběžné dráze kvůli neotevření solárních panelů
 - Nyní družice funkční
- Nejbližší budoucnost
 - V současné době je plánováno zahájení funkce Galilea nejdříve v roce 2015 (potřeba 18 družic pro poskytnutí úvodních služeb)
 - Plný provoz – celosvětové pokrytí (všechny satelity) se očekává v roce 2019

Správa systému Galileo

- Agentura pro evropský globální navigační satelitní systém (European GNSS Agency)
(dříve GSA – GNSS Supervisory Authority 2004-2014, GALILEO Joint Undertaking 2002-2007)
- Tento úřad založen jako agentura Evropského společenství v r. 2004
- bude mít dvě části – administrativní a bezpečnostní
- Česká republika zvolena jako sídlo administrativního centra – umístěné v Praze (rozhodnuto 10.12.2010, v září 2012 přestěhováno)
- Bezpečnostní a monitorovací centrum bude ve Francii a Británii

Architektura systému Galileo



GALILEO

- v provozní fázi bude mít 30 družic (27 operačních a 3 záložní)
- 3 oběžné dráhy ve výšce 23 222 km s periodou oběhu 14 hodin 4 minuty se sklonem 56° k rovině rovníku
- pokrytí až do 75 stupňů severní šířky
- Plánováno více druhů služeb
 - Volně dostupná v pásmech 1164-1214 MHz a 1563-1591 MHz, přesnost cca 10 m
 - Zpoplatněná šifrovaná využívající navíc pásmo 1260-1300 MHz, s přesností cca 1 m
 - Šifrovaná pro využití ozbrojenými složkami, dopravci, atd. – zvýšená odolnost proti rušení, vyšší spolehlivost

Subsystémy systému Galileo – kosmický sektor

- Kosmický sektor:
 - 27+3 rezervní družice
 - Družice nesou
 - 2 pasivní vodíkové „maserové“ atomové hodiny
 - 2 rubidiové atomové hodiny;
 - Řídicí a monitorovací jednotku
 - Generátor navigačního signálu
 - Anténa pro pásmo L pro přenos navigačního signálu
 - Anténa pro pásmo C pro detekci příchozího signálu
 - 2 antény pro pásmo S pro telemetrii a přenos příkazů
 - Anténu pro Vyhledávací a záchrannou službu



Galileo rubidium clock

Subsystémy systému Galileo – pozemní sektor

- Pozemní sektor:
 - pozemní kontrolní segment (**Ground Control Segment, GSC**)
 - Funkce
 - Získání telemetrie a zasílání příkazů
 - Řízení a monitorování družic a jejich zařízení,
 - Vytyčování tras družic,
 - Monitorování a řízení konstelace družic
 - Plánování a automatizované funkce pro zajištění bezpečnosti a správné funkcionality
 - Podpora – např. zasílání navigačních dat, údržba polohy družic, atd.
 - Umístěn v Oberpfaffenhofen Control Centr, Německo
 - Pozemní „letový“ segment (**Ground Mission Segment, GMS**)
 - Funkce:
 - Kontrola navigační funkce celého systému
 - Vytvoření navigační a časové části navigační správy přenášené na družice
 - Vyhledávací a záchranná služba
 - Umístěn ve Fucino Control Centre, Itálie

Subsystémy systému Galileo – pozemní sektor

- TT&C (Tracking, Telemetry and Command) stanice
 - Kiruna, Švédsko
 - Kourou, Francouzská Guiana

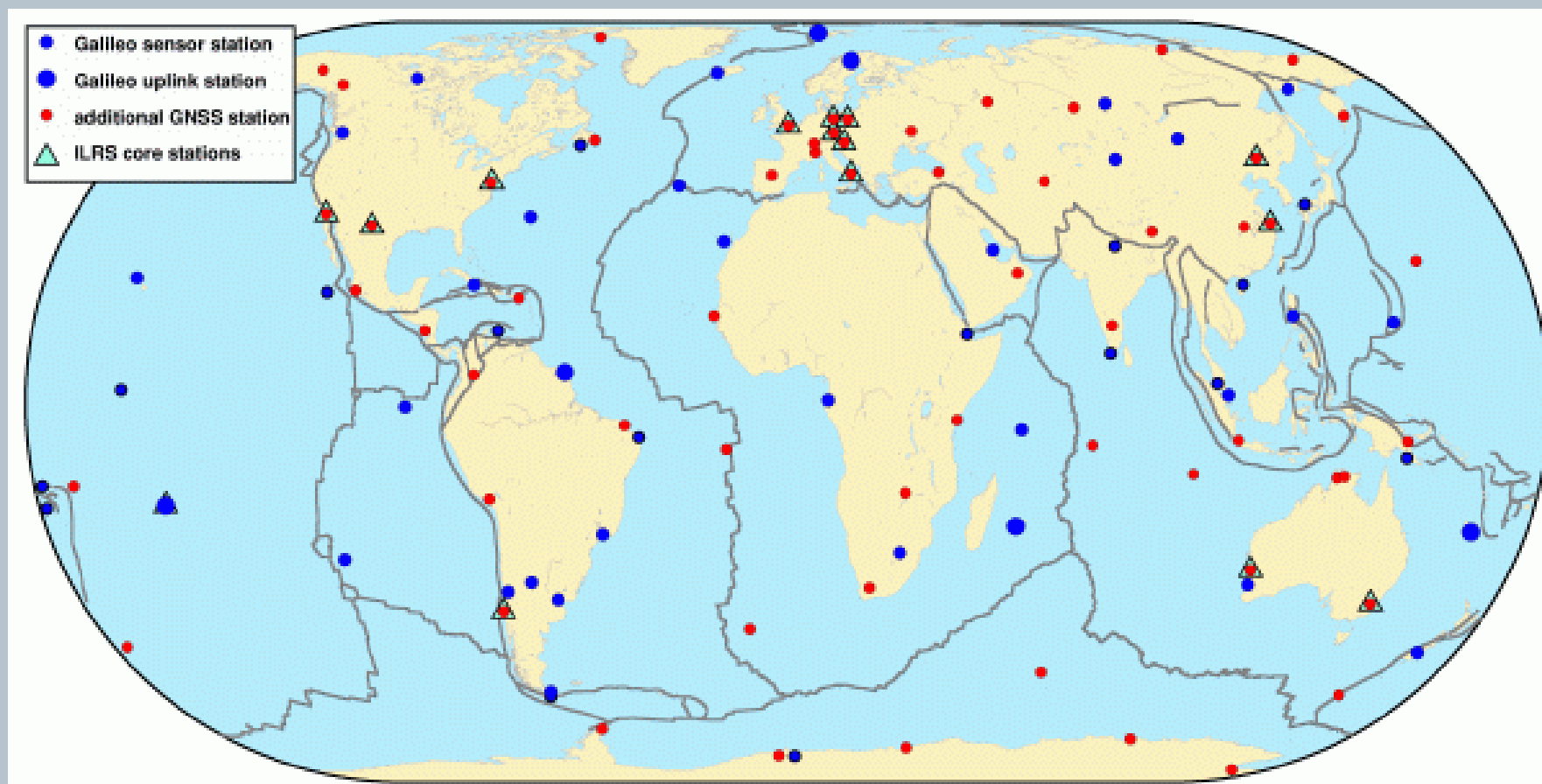
- Síť monitorovacích stanic (Galileo Sensor Stations, GSS)
 - Celosvětové umístění (30 stanic)
 - Poskytují celosvětové pokrytí pro synchronizaci hodin a další měření

- Stanice pro přenos dat na družice
 - Pro zasílání navigačních dat a informací o integritě

- Distribuční datová síť
 - Propojení všech pozemních zařízení

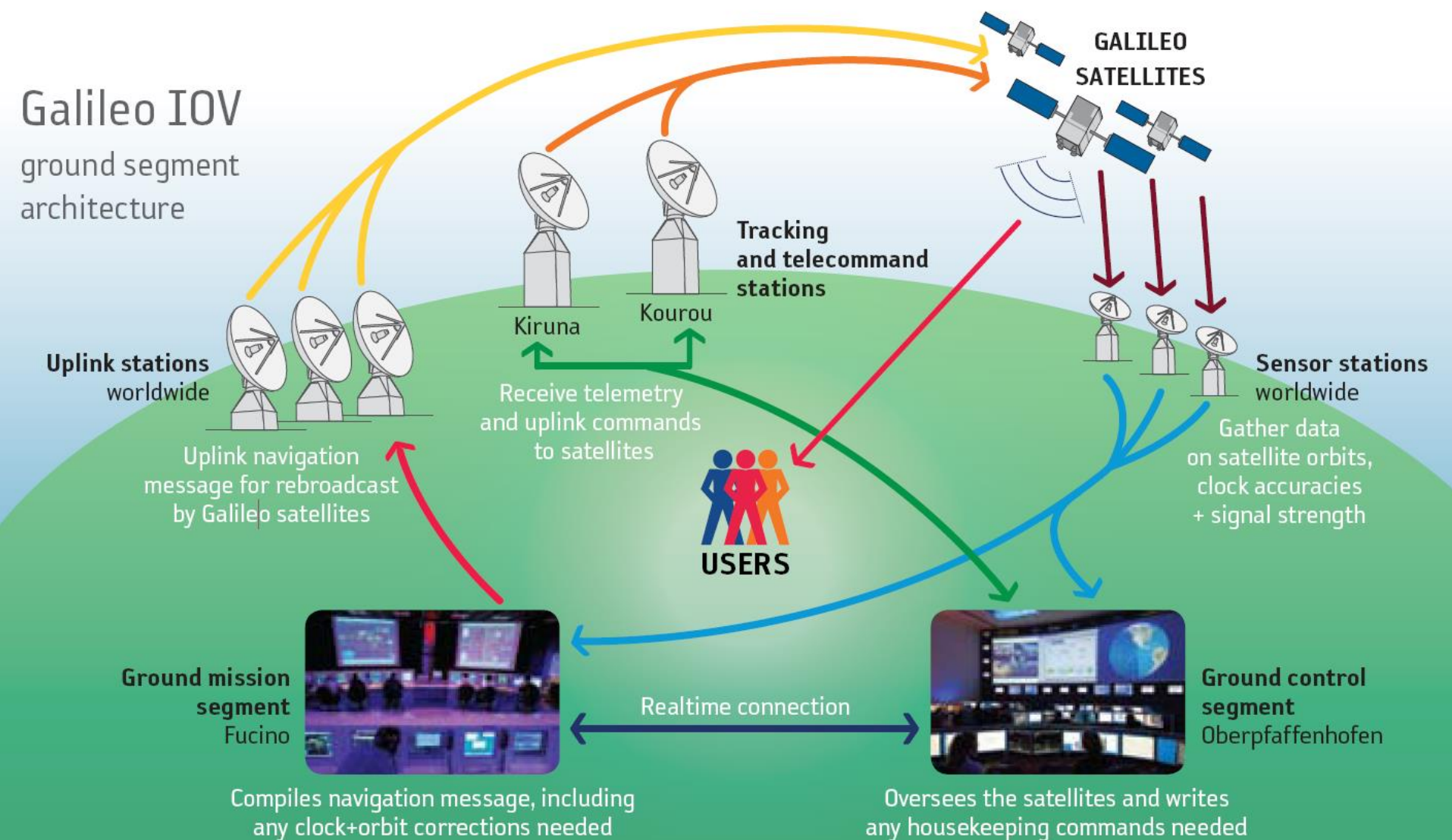
- etc.

Subsystémy systému Galileo – pozemní sektor



zdroj: http://www.ggsp.eu/ggsp_gtrf.html

Architektura systému Galileo v ověřovací fázi



Source: http://download.esa.int/docs/Galileo_IOV_Launch/BR-297_Galileo_web.pdf

Fungování systému – úpravy času a polohy družic - čas

- GST – Systémový čas Galilea (Galileo System Time)
 - Přesnost 28 miliardtin sekunday
 - Generován generated by the Precise Timing Facilities at v Galileo řídicích centrech:
 - Fucino, Itálie
 - Oberpfaffenhofen, Německo
 - křížová kontrola souladu s mezinárodním koordinovaným univerzálním časem (UTC Coordinated Universal Time) skupinou evropských časových laboratoří
- Pozemní stanice průběžně kontrolují hodiny každé družice

Fungování systému – úpravy času a polohy družic - poloha

- Pozemní stanice přijímají signál družic
- Následně určují polohu družic
- Na družice jsou zasílány opravné zprávy
- Tyto úpravy jsou zahrnuty do signálu zasílaného uživatelům

Galileo antenna
Kiruna, Sweden



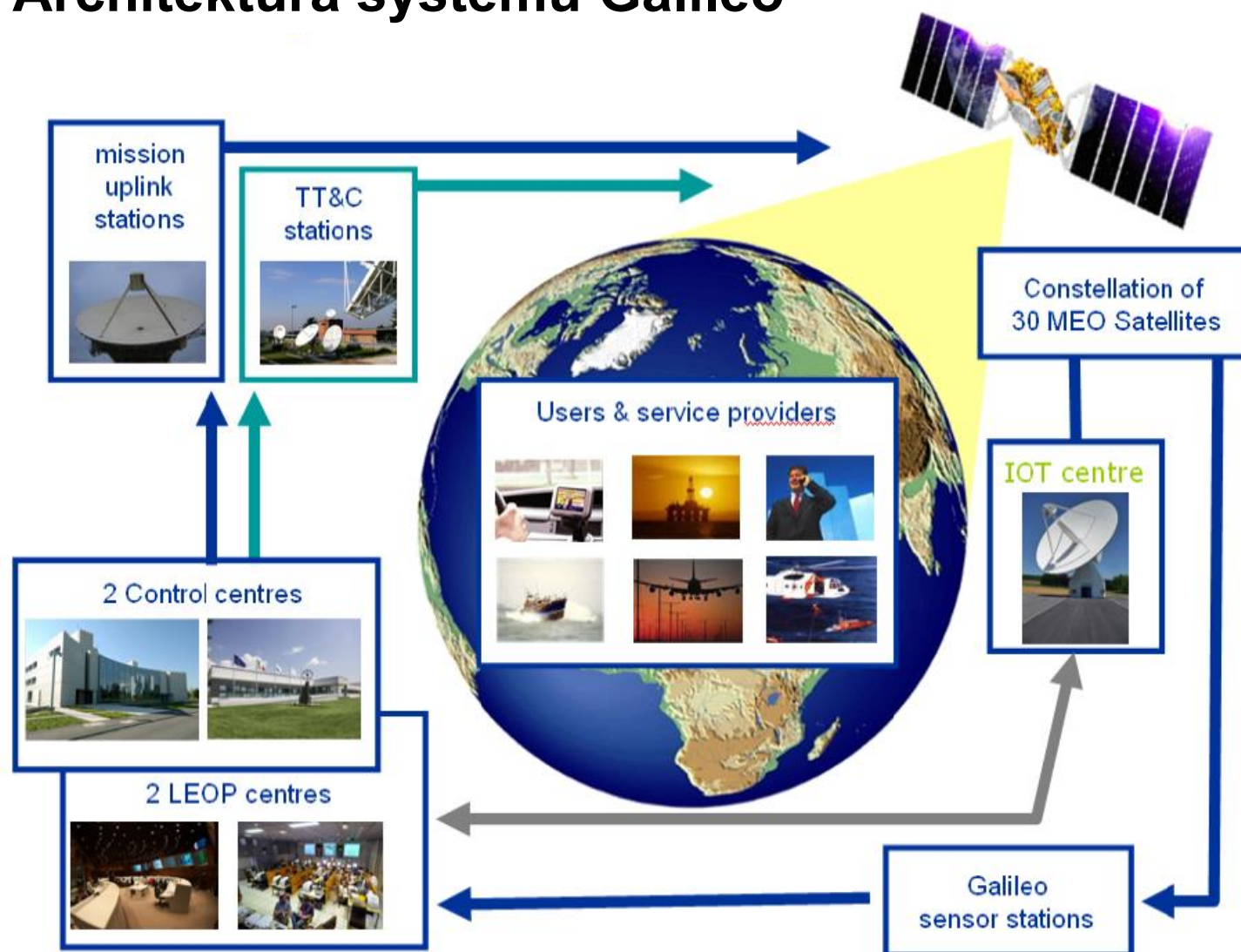
Source: http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future_-_Galileo/Galileo_on_the_ground

Umístnění řídicích center systému Galileo

- Fucino Galileo Control Centre in Italy – dohlíží na navigační služby
- Oberpfaffenhofen Galileo Control Centre in Germany – řízení družic
- ESOC in Darmstadt, Germany – Launch and Early Operations Phase (LEOP), řízení vypouštění družic a jejich uvedení do provozu
- CNES (*Centre national d'études spatiales*) in Toulouse, France – podpora vypouštění družic a jejich přípravy, LEOP
- Redu in Belgium – In-Orbit Test campaign

Galileo komponenty - shrnutí

Architektura systému Galileo



Status June 2011

Zdroj: http://download.esa.int/docs/Galileo_IOV_Launch/Galileo_factsheet_2012.pdf

Poskytované služby systémem Galileo

- Základní služba (Open Service - OS)
- Služba „kritická“ z hlediska bezpečnosti (Safety of Life - SoL)
- Komerční služba (Commercial Service - CS)
- Veřejně regulovaná služba (Public Regulated Service - PRS)
- Vyhledávací a záchranná služba (Search and Rescue - SAR)



Základní služba (OS)

- masové využití, poskytuje polohu a čas, bezplatná, není nutná autorizace, lepší parametry než GPS

	jedna frekvence	dvě frekvence
Horizontální přesnost (95%)	15 m	4 m
Vertikální přesnost (95%)	35 m	8 m
Přesnost měření rychlosti (95%)	0,5 m/s	0,2 m/s
Dostupnost	> 99,8 %	
Integrita a kontinuita	Není garantována	

Služba „kritická“ z hlediska bezpečnosti (SoL)

- aplikace mající vztah k ohrožení života, globálně vysoká integrita (letectví, železnice, atd.),
- nutná certifikace služby i přijímače, digitální podpis provozovatele
- Poskytuje aktuální varování uživateli, pokud jsou překročeny určité limity přesnosti polohy (tzv. integrita)
- pro tuto službu bude poskytována záruka



Služba „kritická“ z hlediska bezpečnosti (SoL)

		kritická úroveň	nekritická úroveň
Přijímač		2- or 3- frequency	1- or multi-frequency
Horizontální přesnost		4 m	220 m
Vertikální přesnost		8 m	--
Přesnost měření rychlosti (95%)		0,2 m/s	--
	Limit výstrahy Alert limit	12 m horizontálně 20 m vertikálně	556 m horizontálně
Integrita	Čas do výstrahy	6 s	10 s
	Riziko ztráty integrity	$3,5 \cdot 10^{-7} / 150 \text{ s}$	$10^{-7} / \text{h}$
Riziko nespojitosti služby		$8 \cdot 10^{-6} / 15 \text{ s}$	$10^{-4} / \text{h} - 10^{-8} / \text{h}$
Certifikace a garance služby		zajištěna	
Dostupnost integrity		> 99,5 %	
Dostupnost přesnosti		> 99,8 %	

Komerční služba (CS)

- komerční aplikace vyžadující vyšší požadavky než Open Service (OS),
- za poplatek budou poskytovány služby s přidanou hodnotou, možnost využití datového spoje
- poskytuje přístup k dalším dvěma signálům, které zvyšují množství přenesených dat a zvyšují přesnost určení polohy
- parametry služby CS zatím nebyly definovány

Veřejně regulovaná služba (PRS)

- služby s řízeným přístupem pro státní a vojenské složky
- Kontrolovaný přístup - využití: policie, IZS, armáda, celní služba, atd.,
- autorizace na vládní úrovni, zohlednění evropské bezpečnostní politiky, poskytována nepřetržitě, speciální ochrana spolehlivosti signálu

Veřejně regulovaná služba (PRS)

Horizontální přesnost Horizontal accuracy (95%)		6,5 m
Vertikální přesnost Vertical accuracy (95%)		12 m
Přesnost měření rychlosti Speed measurement accuracy (95%)		0,2 m/s
	Limit výstrahy Alert limit	20 m horizontálně / horizontal 35 m vertikálně / vertical
Integrita Integrity	Čas do výstrahy Time to alert	6 s
	Riziko ztráty integrity Loosing integrity risk	$3,5 \cdot 10^{-7} / 150 \text{ s}$
Riziko nespojitosti služby Service discontinuity risk		$10^{-5} / 15 \text{ s}$
Certifikace a garance služby Certification and service guaranty		zajištěna / ensured
Dostupnost Availability		> 99,5 %

Vyhledávací a záchranná služba (SAR)

- mezinárodní spolupráce při humanitárních a záchranných operacích
- využití současného systému COSPAS-SARSAT (4 družice na nízkých drahách, 3 geostacionární družice), integrace se systémem Galileo
- výhody:
 - obdržení tísňových zpráv téměř v reálném čase (nyní průměrně 1 hodina)
 - přesná lokalizace události
 - atd.

EGNOS

EGNOS

(European Geostationary Navigation Overlay Service)

- iniciativa EC, Eurocontrol, ESA,
- informační podpora GPS a GLONASS zejména při rozesílání diferenčních korekcí, interoperabilita se systémem Galileo
- Satellite Based Augmentation System
- Stanice přijímají navigační signál a přes satelity EGNOS ho zpřesněný vysílají zpět k uživateli
- Přesnost systému GPS se ze současných až 20 metrů ve vertikální rovině zlepší na 1,5 m v 99% měření
- využití v letecké dopravě, zvýšení bezpečnosti malých letadel.
- oficiálně spuštěno říjen 2009

EGNOS architektura

- Pozemní stanice – rozmístěny v Evropě a okolí
 - 34 ranging and integrity monitoring stations (RIMS) - přijímají GNSS signál,
 - 6 pozemních navigačních stanic (navigation land earth stations - NLES)
 - 4 kontrolní centra (mission control centres - MCC) – zpracovávají data ze stanic RIMS
 - Stanice pro zasílání dat na družice
- 3 geostacionární satelity na rovníkové pozici pro předávání signálu uživatelům
- plánována modernizace systému na EGNOS v3 (se zahrnutím signálu GPS L5)



EGNOS služby

- Základní služba (Open Service)
 - Spuštěno 2009
 - Zdarma
 - Zlepšuje přesnost GPS na 1-2 metry
 - Dostupnost 99%
- Služba "kritická" z hlediska bezpečnosti (Safety of Life Service)
 - zahrnující informaci o integritě, kontinuitě a dostupnosti
 - pro využití při navigaci především v letecké dopravě
 - Je certifikována z hlediska mezinárodních standardů Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO) a pravidel Otevřeného nebe (Open Sky Regulations)
 - Certifikována 2.3.2011
- Komerční služba (zatím ve fázi návrhu)

Další satelitní systémy pro poskytování korekcí

- USA – Wide Area Augmentation System (WAAS)
- Japan – Multi-functional Satellite Augmentation System (MSAS)
- Plánované systémy:
 - India – zahájila vlastní SBAS program (GPS and GEO Augmented Navigation (GAGAN) pro pokrytí svého území
 - Korea (2013) a Čína (2014) oznámily plány na vlastní systémy



Zdroj: <http://www.egnos-portal.eu/>

Navigační systémy - právní aspekty

Historie satelitních systémů jako bezplatné služby

- V roce 1996 USA v prezidentské směrnicí (*Presidential Decision Directive (PDD/NSTC-6)*) vyhlásili standardní polohovací službu GPS-SPS (*standard positioning service*) veřejně dostupnou v dohledné budoucnosti na nepřetržité celosvětové bázi a bez uživatelských poplatků
 - Obnoveno v r. 2004 Politikou USA (*U.S. Space-Based Positioning, Navigation and Timing Policy*)
 - Potvrzeno 2010 Národní vesmírnou politikou (*National Space Policy*)
- Ruská federace učinila obdobnou nabídku od doby plného pokrytí GLONASS v r.1995

Odpovědnost za služby

- Žádný ze států provozujících satelitní systémy nepřebírá zodpovědnost za škody způsobené jejich používáním
- Byl vytvořen pouze návrh dokumentu počítající se zodpovědností za technickou stránku služby
- Shoda na nulové možnosti ekonomických kompenzací za způsobené škody (NCAA, 1997).

Aplikace navigačních systémů

Aplikace družicové navigace v silniční dopravě

- **Navigační systémy** - vedení vozidla na cíl (pasivní navigace - CD ROM, aktivní navigace - on-board, on-line)
- **Bezpečnostní systémy** - nouzové volání pomoci, sledování odcizených vozidel, výpočet optimální trasy záchranných jednotek, sledování tras nebezpečných nákladů, atd.
- **Preference vozidel** - aktivní preference vozidel MHD, preference vozidel záchranných a zásahových jednotek, atd.
- **Elektronické platby mýtného** - virtuální detektory kdekoli na trati, platba za ujetou vzdálenost, kontrola při vstupu do oblasti, atd.
- **Automatické vedení vozidel** - protisrážkové systémy, automatická reakce na překážku na vozovce
- **Modelování dopravy** - vozidla (floating car) jsou vybavena družicovou navigací, pohybují se v kolonách a měří se tzv. travel time.
- **Řízení flotily vozidel**

Aplikace navigačních systémů v dopravě z hlediska požadovaných parametrů – silniční doprava

- **monitorování a řízení údržby dopravních sítí** (z hlediska systémových požadavků jde zejména o přesnou pasportizaci dopravní infrastruktury, provázanost jednotlivých GIS systémů různých organizací zabývajících se údržbou, dosažení vysoké statické přesnosti určení polohy)
- **monitorování pohybu osob a zboží na dopravní síti** (z hlediska systémových požadavků jde zejména o přenos a centrální zpracování velkého množství informací ze zdrojů s různou přesností)
- **zpoplatnění dopravní infrastruktury dle jejího využití** (z hlediska systémových parametrů jde o spolehlivost, integritu, dobu odezvy, neboť systém GNSS je zde využit pro výpočet výše poplatků)

Aplikace pro vozidla z hlediska požadovaných parametrů – silniční doprava

- **zabezpečení pohybu dopravního prostředku** na dopravní cestě (z hlediska systémových parametrů na GNSS jde o zaručení přesnosti, spolehlivosti, dostupnosti, integrity, atd. v přesně definovaných místech dopravní cesty)
- **navigace dopravního prostředku** na dopravní síti (z hlediska systémových parametrů jde zejména o pokrytí signálem, dobu odezvy při on-line navigaci, požadavky na přesné digitální mapové podklady, požadavky na rychlost zpracování informací jak v mobilní jednotce, tak i v centru zpracování)

Aplikace družicové navigace v železniční dopravě

- aplikace družicové navigace bez zaručení bezpečnosti
 - využití při řízení železničního provozu (jde o doplňkovou informaci umožňující předcházet krizovým situacím)
 - využití při výlukách (namísto obsazení jedné koleje vlakem, je tato kolej ve výluce)
 - využití při kontrole dodržování GVD
 - využití při hospodaření s elektrickou energií
 - využití při zaměřování poruch na dopravní infrastrukturu
 - využití při plánování oběhu vozu/hnacích vozidel
 - využití u AVV (Automatické vedení vlaku)

Aplikace družicové navigace v železniční dopravě

- Bezpečné aplikace družicové navigace
 - při práci v kolejišti (pracovníkům je signalizován přijíždějící vlak)
 - při kontrole rychlosti vlaku
 - při zkrácení přibližovacího úseku u PZS (přejezdové zabezpečovací zařízení světelné)
 - při navádění k místu neštěstí
 - při stavění vlakových cest (satelitním systémem můžeme varovat obsluhu před příjezdem vlaku a zabránit jí v postavení vlakové cesty, která by vjezd vlaku ohrožovala)
 - při zamezení protisměrných jízd (včasná lokalizace polohy a její analýza dokáže s dostatečnou časovou rezervou nehodě zabránit)
 - při zamezení střetů vlaků s pracovními vlaky a drobnými vozidly (včasná lokalizace polohy s následným zpracováním dokáže těmto typům nehodových událostí včas zabránit)

Aplikace družicové navigace v multimodální dopravě

- Plán odbavování lodí, vlaků, automobilových návěsů dle on-line informací
- Plán nakládky/vykládky lodí a řízení nakládky/vykládky vnitrozemských doprav
- Plánování efektivního využití terminálů
- Plánování úložných ploch pro různé druhy a typy kontejnerů
- Plánování optimalizace tras kolových portálových kontejnerových překladačů a řízení jejich pohyb
- Systém obsluhy a manipulace s nebezpečným zbožím,
- Výpočet optimálního procesu nakládky/ vykládky lodě
- Kompletace a dekompletace kontejnerů
- Systém pro podporu řízení (MIS).

Aplikace družicové navigace v letecké dopravě

- **Let v koncových oblastech** - navigační prostředky pro přiblížení jsou: VOR, DME, NDB, kursový maják ILS LLZ, polohová návěstidla (de facto NDB). Pro některá letiště jsou publikovány přílety s použitím GPS jako záložního pomocného systému. Standardním prostředkem pro přesné přístrojové přiblížení je ILS. Přibližovací systémy družicové navigace (LAAS a obdobné) umožní přiblížení až do III. kategorie.
- **Monitorování pohybu letadel po zemi** - v připravovaných systémech pozemního sledování (např. A-SMGCS) se kromě primárního a sekundárního radaru počítá s využitím družicové navigace.
- **Plánování a záchrana** - družicová navigace umožní rychlejší zjištění místa pomoci a rychlejší provedení samotné záchrany.
- **Koncept CNS/ATM** (Communication, Navigation, Surveillance /Air Traffic Management) - dlouhodobý program rozvoje technického zabezpečení - družicové navigační systémy mají přední místo v jeho navigační části a díky komunikačním kanálům družic i v části komunikační a přehledové.

Aplikace družicové navigace v letecké dopravě

- Družicová navigace je součástí en-route navigace (Free Route a Free Flight)
 - Free Route - let probíhá mimo pevné tratě, rozhodnutí o trase letu, trajektorii a časovém provedení manévru je na provozovateli (prostřednictvím posádky letadla), úkolem řídicího pracoviště je řešit možné konflikty, které vzniknou mezi letadlem a ostatním provozem, provádění letů podle Free Route koncepce snižuje letovou dobu, emise při provozu letadel a zvyšuje pružnost využití vzdušného prostoru.
 - Free Flight - provozovatel zvolí optimální trať, během letu bude posádka podporována systémem ATM (Air Traffic Management), který jí bude dodávat informace pro efektivní provedení letu a informace nebo varování, týkající se okolního provozu. Okolní provoz bude zobrazen na palubním displeji s rozsahem do 120 NM. Odpovědnost za zajištění rozestupů bude mít posádka, což je hlavní rozdíl proti koncepci Free Route. Služba řízení převezme odpovědnost za zajištění rozestupů v naléhavých případech.

Děkuji vám za pozornost



Reference

- http://download.esa.int/docs/Galileo_IOV_Launch/BR-297_Galileo_web.pdf
- <http://www.czechspace.cz/cs/galileo>
- MD, Odbor kosmických technologií a družicových systémů
<http://www.spacedepartment.cz/wiki/EGNOS>
- aktuální informace o GLONASS a GPS:
<http://www.glonass-ianc.rsa.ru/pls/htmldb/f?p=202:20:818670019023907::NO>
- <http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>
- http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/intro/index_en.htm
- <http://gps.losangeles.af.mil/>