

# CHYTRÁKOVA ŠÁLA

aneb jak pracovat na projektu ESA a nezbláznit se z toho

Jakub Velímský



Geofyzikální ústav  
Spříseženecká technická vysoká škola  
Curych



Katedra geofyziky  
Matematicko-fyzikální fakulta  
Univerzita Karlova v Praze

31. říjen 2012, Geodynamický seminář KG MFF UK

*„Já pořád podepisuji cestovní příkazy a dopisy děkanovi,  
tak ať vím, co vlastně děláš!“*

C.M.

# Obsah

- 1 ESA
- 2 SWARM
- 3 E2E, SS
- 4 SMART
- 5 SCARF
- 6 CAT-1,2,3
- 7 L2PS
- 8 3TDI
- 9 MIN\_3DMi2b
- 10 MIN\_3DMi2a
- 11 MI3\_VAL\_2\_
- 12 *iM*<sup>3</sup>

*„ESA's purpose shall be to provide for, and to promote, for exclusively peaceful purposes, cooperation among European States in space research and technology and their space applications, with a view to their being used for scientific purposes and for operational space applications systems.“*

Convention of establishment of a European Space Agency

1964 evropské země zakládají European Launch Development Organisation (ELDO) a European Space Research Organisation (ESRO)

1975 ESA založena sloučením ELDO a ESRO



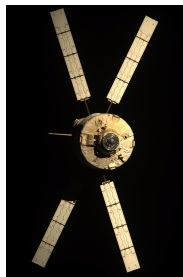
2012 19 členských zemí, rozpočet více než 4 G€ (z toho ČR 11.5 M€)

► <http://www.esa.int/>



- ▶ ředitelství, Paříž
- ▶ ESTEC (The European Space Research and Technology Centre), Noordwijk
- ▶ ESOC (The European Space Operations Centre), Darmstadt
- ▶ ESRIN (ESA's Centre for Earth Observation), Frascati
- ▶ EAC (The European Astronaut Centre), Kolín nad Rýnem
- ▶ ESAC (The European Space Astronomy Centre), Villanueva de la Cañada
- ▶ CSG (Guiana Space Centre), Kourou
- ▶ ESA's Redu Centre, Redu

- ▶ vesmírné lety s lidskou posádkou (ISS, ATV)
- ▶ navigace (Galileo)
- ▶ raketové nosiče (Vega, Soyuz, Ariane 5)
- ▶ vesmírný výzkum (SOHO, Mars Express, Cassini-Huygens, BePiColombo, JUICE, LISA)
- ▶ *pozorování Země*



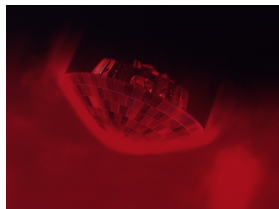
- ▶ vesmírné lety s lidskou posádkou (ISS, ATV)
- ▶ navigace (Galileo)
- ▶ raketové nosiče (Vega, Soyuz, Ariane 5)
- ▶ vesmírný výzkum (SOHO, Mars Express, Cassini-Huygens, BePiColombo, JUICE, LISA)
- ▶ *pozorování Země*



- ▶ vesmírné lety s lidskou posádkou (ISS, ATV)
- ▶ navigace (Galileo)
- ▶ raketové nosiče (Vega, Soyuz, Ariane 5)
- ▶ vesmírný výzkum (SOHO, Mars Express, Cassini-Huygens, BePiColombo, JUICE, LISA)
- ▶ *pozorování Země*



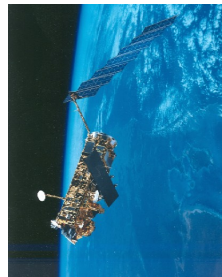
- ▶ vesmírné lety s lidskou posádkou (ISS, ATV)
- ▶ navigace (Galileo)
- ▶ raketové nosiče (Vega, Soyuz, Ariane 5)
- ▶ vesmírný výzkum (SOHO, Mars Express, Cassini-Huygens, BePiColombo, JUICE, LISA)
- ▶ *pozorování Země*



- ▶ vesmírné lety s lidskou posádkou (ISS, ATV)
- ▶ navigace (Galileo)
- ▶ raketové nosiče (Vega, Soyuz, Ariane 5)
- ▶ vesmírný výzkum (SOHO, Mars Express, Cassini-Huygens, BePiColombo, JUICE, LISA)
- ▶ *pozorování Země*



- ▶ European Remote Sensing (ERS) a Envisat
- ▶ Sentinel
- ▶ Meteosat (MSG), MetOp
- ▶ Living Planet Programme — Earth Explorers
  - 2009 GOCE — Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer
  - 2009 SMOS — Soil Moisture and Ocean Salinity
  - 2005 CryoSat
  - 2010 CryoSat-2
  - 2013 Aeolus — Atmospheric Dynamics
  - 2013 *Swarm*
  - 2016 EarthCARE — Cloud, Aerosol and Radiation

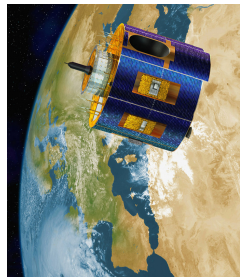


- ▶ European Remote Sensing (ERS) a Envisat
- ▶ Sentinel
- ▶ Meteosat (MSG), MetOp
- ▶ Living Planet Programme — Earth Explorers
  - 2009 GOCE — Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer
  - 2009 SMOS — Soil Moisture and Ocean Salinity
  - 2005 CryoSat
  - 2010 CryoSat-2
  - 2013 Aeolus — Atmospheric Dynamics
  - 2013 *Swarm*
  - 2016 EarthCARE — Cloud, Aerosol and Radiation



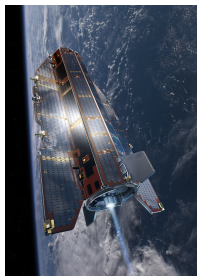


- ▶ European Remote Sensing (ERS) a Envisat
- ▶ Sentinel
- ▶ Meteosat (MSG), MetOp
- ▶ Living Planet Programme — Earth Explorers
  - 2009 GOCE — Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer
  - 2009 SMOS — Soil Moisture and Ocean Salinity
  - 2005 CryoSat
  - 2010 CryoSat-2
  - 2013 Aeolus — Atmospheric Dynamics
  - 2013 *Swarm*
  - 2016 EarthCARE — Cloud, Aerosol and Radiation



- ▶ European Remote Sensing (ERS) a Envisat
- ▶ Sentinel
- ▶ Meteosat (MSG), MetOp
- ▶ **Living Planet Programme — Earth Explorers**
  - 2009 GOCE — Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer
  - 2009 SMOS — Soil Moisture and Ocean Salinity
  - 2005 CryoSat
  - 2010 CryoSat-2
  - 2013 Aeolus — Atmospheric Dynamics
  - 2013 *Swarm*
  - 2016 EarthCARE — Cloud, Aerosol and Radiation

- ▶ European Remote Sensing (ERS) a Envisat
- ▶ Sentinel
- ▶ Meteosat (MSG), MetOp
- ▶ Living Planet Programme — Earth Explorers
  - 2009 GOCE — Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer
  - 2009 SMOS — Soil Moisture and Ocean Salinity
  - 2005 CryoSat
  - 2010 CryoSat-2
  - 2013 Aeolus — Atmospheric Dynamics
  - 2013 *Swarm*
  - 2016 EarthCARE — Cloud, Aerosol and Radiation



- ▶ European Remote Sensing (ERS) a Envisat
- ▶ Sentinel
- ▶ Meteosat (MSG), MetOp
- ▶ Living Planet Programme — Earth Explorers
  - 2009 GOCE — Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer
  - 2009 SMOS — Soil Moisture and Ocean Salinity
  - 2005 CryoSat
  - 2010 CryoSat-2
  - 2013 Aeolus — Atmospheric Dynamics
  - 2013 *Swarm*
  - 2016 EarthCARE — Cloud, Aerosol and Radiation



- ▶ European Remote Sensing (ERS) a Envisat
- ▶ Sentinel
- ▶ Meteosat (MSG), MetOp
- ▶ Living Planet Programme — Earth Explorers
  - 2009 GOCE — Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer
  - 2009 SMOS — Soil Moisture and Ocean Salinity
  - 2005 CryoSat
  - 2010 CryoSat-2
  - 2013 Aeolus — Atmospheric Dynamics
  - 2013 *Swarm*
  - 2016 EarthCARE — Cloud, Aerosol and Radiation



- ▶ European Remote Sensing (ERS) a Envisat
- ▶ Sentinel
- ▶ Meteosat (MSG), MetOp
- ▶ Living Planet Programme — Earth Explorers
  - 2009 GOCE — Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer
  - 2009 SMOS — Soil Moisture and Ocean Salinity
  - 2005 CryoSat
  - 2010 CryoSat-2
  - 2013 Aeolus — Atmospheric Dynamics
  - 2013 *Swarm*
  - 2016 EarthCARE — Cloud, Aerosol and Radiation



- ▶ European Remote Sensing (ERS) a Envisat
- ▶ Sentinel
- ▶ Meteosat (MSG), MetOp
- ▶ Living Planet Programme — Earth Explorers
  - 2009 GOCE — Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer
  - 2009 SMOS — Soil Moisture and Ocean Salinity
  - 2005 CryoSat
  - 2010 CryoSat-2
  - 2013 Aeolus — Atmospheric Dynamics
  - 2013 *Swarm*
  - 2016 EarthCARE — Cloud, Aerosol and Radiation



- ▶ European Remote Sensing (ERS) a Envisat
- ▶ Sentinel
- ▶ Meteosat (MSG), MetOp
- ▶ Living Planet Programme — Earth Explorers
  - 2009 GOCE — Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer
  - 2009 SMOS — Soil Moisture and Ocean Salinity
  - 2005 CryoSat
  - 2010 CryoSat-2
  - 2013 Aeolus — Atmospheric Dynamics
  - 2013 *Swarm*
  - 2016 EarthCARE — Cloud, Aerosol and Radiation



EADS/ESA



- ▶ European Remote Sensing (ERS) a Envisat
- ▶ Sentinel
- ▶ Meteosat (MSG), MetOp
- ▶ Living Planet Programme — Earth Explorers
  - 2009 GOCE — Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer
  - 2009 SMOS — Soil Moisture and Ocean Salinity
  - 2005 CryoSat
  - 2010 CryoSat-2
  - 2013 Aeolus — Atmospheric Dynamics
  - 2013 *Swarm*
  - 2016 EarthCARE — Cloud, Aerosol and Radiation





## Satelitní měření geomagnetického pole

pro geofyzikální výzkum jsou vhodné družice na nízkých oběžných drahách  
zvýšené aerodynamické brždění, nutnost korekce dráhy, kompromisy v hmotnosti a v ceně družice

1964–72 (P)OGO 2,4,6

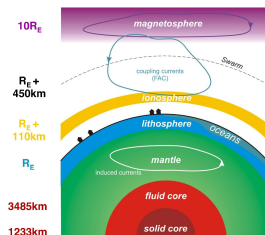
1979–80 MAGSAT

1999– Ørsted

2000– SAC-C

2000–2010 CHAMP

2013 SWARM (3 družice)





## Satelitní měření geomagnetického pole

pro geofyzikální výzkum jsou vhodné družice na nízkých oběžných drahách  
zvýšené aerodynamické brždění, nutnost korekce dráhy, kompromisy v hmotnosti a v ceně družice

1964–72 (P)OGO 2,4,6

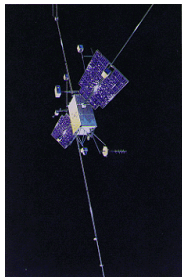
1979–80 MAGSAT

1999– Ørsted

2000– SAC-C

2000–2010 CHAMP

2013 SWARM (3 družice)





## Satelitní měření geomagnetického pole

pro geofyzikální výzkum jsou vhodné družice na nízkých oběžných drahách  
zvýšené aerodynamické brždění, nutnost korekce dráhy, kompromisy v hmotnosti a v ceně družice

1964–72 (P)OGO 2,4,6

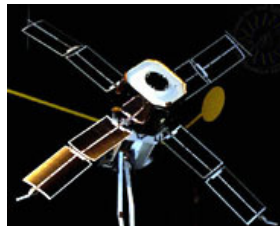
1979–80 MAGSAT

1999– Ørsted

2000– SAC-C

2000–2010 CHAMP

2013 SWARM (3 družice)





## Satelitní měření geomagnetického pole

pro geofyzikální výzkum jsou vhodné družice na nízkých oběžných drahách  
zvýšené aerodynamické brždění, nutnost korekce dráhy, kompromisy v hmotnosti a v ceně družice

1964–72 (P)OGO 2,4,6

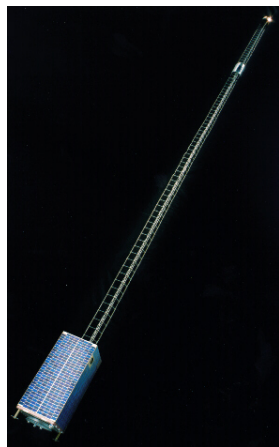
1979–80 MAGSAT

1999– Ørsted

2000– SAC-C

2000–2010 CHAMP

2013 SWARM (3 družice)





## Satelitní měření geomagnetického pole

pro geofyzikální výzkum jsou vhodné družice na nízkých oběžných drahách  
zvýšené aerodynamické brždění, nutnost korekce dráhy, kompromisy v hmotnosti a v ceně družice

1964–72 (P)OGO 2,4,6

1979–80 MAGSAT

1999– Ørsted

2000– SAC-C

2000–2010 CHAMP

2013 SWARM (3 družice)





## Satelitní měření geomagnetického pole

pro geofyzikální výzkum jsou vhodné družice na nízkých oběžných drahách  
zvýšené aerodynamické brždění, nutnost korekce dráhy, kompromisy v hmotnosti a v ceně družice

1964–72 (P)OGO 2,4,6

1979–80 MAGSAT

1999– Ørsted

2000– SAC-C

2000–2010 CHAMP

2013 SWARM (3 družice)





## Satelitní měření geomagnetického pole

pro geofyzikální výzkum jsou vhodné družice na nízkých oběžných drahách  
zvýšené aerodynamické brždění, nutnost korekce dráhy, kompromisy v hmotnosti a v ceně družice

1964–72 (P)OGO 2,4,6

1979–80 MAGSAT

1999– Ørsted

2000– SAC-C

2000–2010 CHAMP

2013 SWARM (3 družice)





Cíle mise

*The Swarm mission will provide the best ever survey of the geomagnetic field and its temporal evolution, in order to gain new insights into the Earth System by improving our understanding of the Earth's interior and physical climate.*

Swarm Mission Report, ESA, 2004

- I. Časoprostorové změny hlavního pole
  - ▶ vyšší časoprostorové rozlišení tečení na povrchu jádra
  - ▶ upřesnění role difuze a MHD vln v jádře
  - ▶ předpověď krátkodobého vývoje geomagnetického pole
- II. Magnetizace litosféry
- III. 3-D rozložení elektrické vodivosti v plášti
- IV. Elektrodynamika blízkého okolí Země
- V. Magnetická excitace svrchní atmosféry
- VI. Elektromagnetická signatura oceánů



## Cíle mise

- I. Časoprostorové změny hlavního pole
- II. Magnetizace litosféry
  - ▶ překlenutí mezery mezi současným rozlišením satelitních modelů ( $j = 60$ ,  $\lambda = 700$  km) a aeromagnetickými měřeními ( $j = 130$ ,  $\lambda = 300$  km)
  - ▶ lepší pochopení tektonických a geologických procesů
- III. 3-D rozložení elektrické vodivosti v plášti
- IV. Elektrodynamika blízkého okolí Země
- V. Magnetická excitace svrchní atmosféry
- VI. Elektromagnetická signatura oceánů



## Cíle mise

- I. Časoprostorové změny hlavního pole
- II. Magnetizace litosféry
- III. 3-D rozložení elektrické vodivosti v plášti
  - ▶ nejvyšší citlivost cca 600–1500 km
- IV. Elektrodynamika blízkého okolí Země
- V. Magnetická excitace svrchní atmosféry
- VI. Elektromagnetická signatura oceánů



## Cíle mise

- I. Časoprostorové změny hlavního pole
- II. Magnetizace litosféry
- III. 3-D rozložení elektrické vodivosti v plášti
- IV. Elektrodynamika blízkého okolí Země
  - ▶ globální modely dynamiky vnějšího geomagnetického pole
  - ▶ dynamika a distribuce FAC
- V. Magnetická excitace svrchní atmosféry
- VI. Elektromagnetická signatura oceánů



## Cíle mise

- I. Časoprostorové změny hlavního pole
- II. Magnetizace litosféry
- III. 3-D rozložení elektrické vodivosti v plášti
- IV. Elektrodynamika blízkého okolí Země
- V. Magnetická excitace svrchní atmosféry
  - ▶ vliv magnetické aktivity na hustotu
  - ▶ Jouleovské zahřívání FAC
- VI. Elektromagnetická signatura oceánů




## Cíle mise

- I. Časoprostorové změny hlavního pole
- II. Magnetizace litosféry
- III. 3-D rozložení elektrické vodivosti v plášti
- IV. Elektrodynamika blízkého okolí Země
- V. Magnetická excitace svrchní atmosféry
- VI. Elektromagnetická signatura oceánů
  - ▶ slapy
  - ▶ oceánské proudění



## Parametry mise

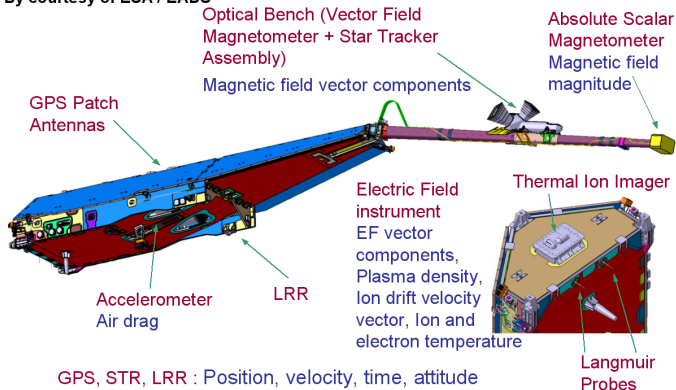
- ▶ plánovaná délka mise 4 roky + 3 měsíce na uvedení do provozu
- ▶ celková cena 200 M€ (z toho 86 M€ vlastní stavba družic)
- ▶ satelity A, B v tandemu ( $\Delta RAAN=1.4^\circ$ ) s počáteční výškou 460 km; pokles na 300 km ke konci mise; sklon dráhy  $87.3^\circ$
- ▶ satelit C s počáteční výškou 530 km, sklon dráhy  $88.0^\circ$
- ▶ vzájemná orientace rovin rotace se bude pomalu měnit v čase
- ▶ plánovaný start: březen 2013, kosmodrom Pleseck
- ▶ nosič Rokot (dříve SS-19), 3. stupeň Briz-KM, Eurockot 



## Satellite

- ▶ hmotnost 500 kg, rozměry 0.75 × 1.30 × 9.00 m

By courtesy of ESA / EADS



Satellite

- ▶ hmotnost 500 kg, rozměry 0.75 × 1.30 × 9.00 m



## VFM Vector Field Magnetometer

DTU Space 

hysterezní magnetometr  
magneticky amorfní jádro

elektrická kompenzace


šum 10–20 pT

stabilita 0.05 nT/yr




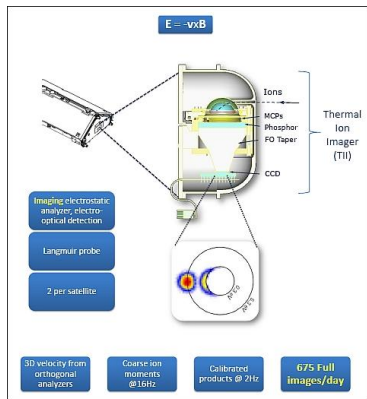
**STR** Star Tracker  
DTU Space   
magneticky čistý  
na společné lavici (OB) s VFM  
3 kamery




**ASM** Absolute Scalar Magnetometer  
CNES + CEA-LETI   
laserově excitovaný, héliový  
magnetometr založený na principu  
štěpení emisních a absorpčních čar  
 $^4\text{He}$  Zeemanovým jevem  
přesnost 0.3 nT  
použití ke kalibraci VFM i jako  
nezávislé skalární měření



**EFI** Electric Field Instrument  
 University of Calgary   
**SII** — suprathreshold ion imager  
 (energie iontů)  
**LP** — Langmuir probe (hustota a  
 teplota elektronů, potenciál družice)



## MAC Microaccelerometer

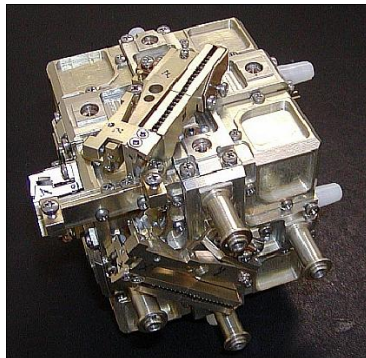
Výzkumný a zkušební letecký ústav,  
a.s. 

kalibrovaná krychle v kubické dutině  
v těžišti družice

elektrostatická kompenzace

měří negravitační akceleraci

rozlišení  $2 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$



**LRR** Laser Retro Reflector

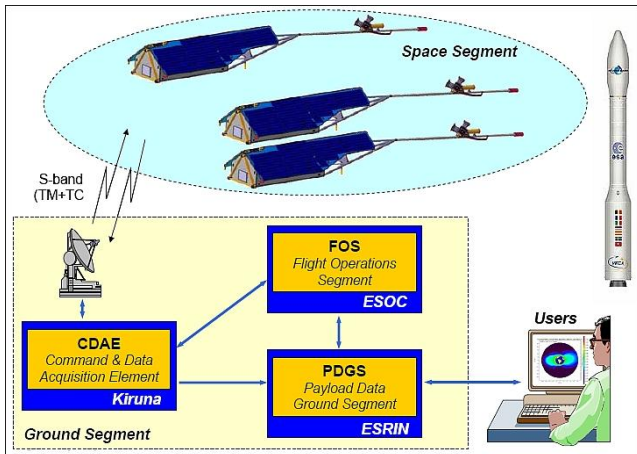
GFZ 

měření vzdálenosti metodou SLR  
s centimetrovou přesností





## Pozemní segment



## Datové produkty

- ▶ Level 0 — nezpracovaná data z družic
- ▶ Level 1b — zpracovaná a kalibrovaná data z jednotlivých družic

MAGX_HR_1B	Magnetic vector data, high rate	50 Hz
MAGX_LR_1B	Magnetic data, low rate	1 Hz
MAGX_CA_1B	Magnetic Calibration data	1 Hz
MAGXMAN_1B	Magnetic Calibration Manoeuvre report	< 1 month
MAGXEUL_1B	Euler angle estimation	< 1 month
EFIX_PL_1B	Plasma data	2 Hz
LP_X_CA_1B	Langmuir Probe offset calibration data	6 h
TIIX_CA_1B	Thermal Ion Imager circular fit calibration data	1 day
MODX_SC_1B	Position and velocity	1 Hz
STRXATT_1B	Attitude of spacecraft	1 Hz
GPSXNAV_1B	On-board GPSR navigational solution	1 Hz
GPSX_RO_1B	GPS RINEX Observation data	0.1 Hz
GPSX_RN_1B	GPS RINEX Navigation data	2 h
ACCX_PR_1B	Pre-processed ACC data	1 Hz
ASMXAUX_1B	ASM auxiliary data	50 Hz
VFMXAUX_1B	VFM auxiliary data	50 Hz



## Datové produkty

- ▶ Level 2 — datové produkty využívající konstelace tří družic

## E2E, SS

- ▶ Swarm End-to-End Mission Performance Simulator Study (DSRI 2005)  
[http://esamultimedia.esa.int/docs/EarthObservation/Swarm/E2E-Simulator\\_FR.pdf](http://esamultimedia.esa.int/docs/EarthObservation/Swarm/E2E-Simulator_FR.pdf)
- ▶ vědecké studie na objednávku ESA, simulace různých scénářů (počet satelitů, typy orbit a z toho vyplývající časoprostorové rozlišení, atd.)
- ▶ Mapping 3-D mantle conductivity from Swarm constellation data (ETH 2008)
- ▶ Level-2 products & performances for mantle studies with Swarm (ETH 2010)  
[http://esamultimedia.esa.int/docs/EarthObservation/Induction\\_Study\\_150110.pdf](http://esamultimedia.esa.int/docs/EarthObservation/Induction_Study_150110.pdf)
- ▶ vývoj metod pro výpočet 3-D rozložení elektrické vodivosti v plášti (3 nezávislé metody: Kuvshinov, Tarits, Velímský)

# Swarm Magnetic and Atmospheric Research Team

- ▶ prosinec 2009
- ▶ DTU Space — National Space Institute of the Technical University of Denmark
- ▶ Helmholtz Centre Potsdam — German Research Centre for Geosciences
- ▶ Institut de Physique du Globe de Paris
- ▶ Delft Institute of Earth Observation and Space Systems
- ▶ Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
- ▶ British Geological Survey
- ▶ NASA Goddard Space Flight Center
- ▶ NOAA's National Geophysical Data Center
- ▶ University of Calgary
- ▶ Charles University, Prague

Prague

*December 8, 2009*

Dr. Ctirad Matyska  
Dept. of Geophysics  
Faculty of Mathematics and Physics

*Clara Matyska*

Geodynamický seminář

31.10. 2012

MFF UK Praha



DTU Space  
National Space Institute



**ETH**

GFZ  
Helmholtz Centre  
POTSDAM

# Satellite Constellation Application and Research Facility

- ▶ duben 2010; nabídka do veřejné soutěže ESA  
*“Development of the Swarm Level 2 Algorithms and Associated Level 2 Processing Facility”*

Company	Prime or sub	ESA Biddercode	Country	Price in Euro
DTU Space	Prime	3193	Denmark	767.029
GFZ	Sub	9330	Germany	461.951
IPGP	Sub	TBD	France	440.000
DEOS	Sub	16132	Netherlands	156.000
ETH	Sub	24525	Switzerland	422.000
BGS	Sub	28474	UK	270.949
Sub total				<b>2.517.929</b>
Reserve				<b>282.071</b>
<b>Total Price For ESA [€]</b>				<b>2.800.000</b>

# CAT-1,2,3

- ▶ produkty *Level 2* byly na začátku rozděleny do 3 kategorií

CAT-1 produkty, které vyžadují „vědce ve smyčce“

CAT-2 produkty, jejichž výrobu lze svěřit ESA

CAT-3 produkty, jejichž úspěch zatím není vůbec zaručen

# CAT-1,2,3

- ▶ produkty *Level 2* byly na začátku rozděleny do 3 kategorií

CAT-1 produkty, které vyžadují „vědce ve smyčce“

CAT-2 produkty, jejichž výrobu lze svěžit ESA

CAT-3 produkty, jejichž úspěch zatím není vůbec zaručen





# CAT-1,2,3

- ▶ produkty *Level 2* byly na začátku rozděleny do 3 kategorií

CAT-1 produkty, které vyžadují „vědce ve smyčce“

CAT-2 produkty, jejichž výrobu lze svěřit ESA

CAT-3 produkty, jejichž úspěch zatím není vůbec zaručen



# CAT-1,2,3

- ▶ produkty *Level 2* byly na začátku rozděleny do 3 kategorií

CAT-1 produkty, které vyžadují „vědce ve smyčce“

CAT-2 produkty, jejichž výrobu lze svěřit ESA

CAT-3 produkty, jejichž úspěch zatím není vůbec zaručen



# Seznam produktů Level 2

Science Objective	Name	Description	Format
All. Needed for L1b processing	MSW_EUL_2C	CAT-1: Euler angles describing transformation from STR-CRF to VFM frame for satellites A, B, and C	ASCII
	MSW_EUL_2D	CAT-1: Euler angles describing transformation from STR-CRF to VFM frame for satellites A, B, and C	ASCII
	MSW_VAL_2C	CAT-1: Validation report about Euler angles	PDF
	MSW_VAL_2D	CAT-1: Validation report about Euler angles	PDF
	MSW_VAL_2E MSW_EUL_2F	CAT-1: Validation report about Euler angles CAT-1: Euler angles describing transformation from STR-CRF to VFM frame for satellites A, B, and C	PDF ASCII
O1: Core Field	MCO_SHA_2C	CAT-1: Spherical harmonic model of the main (core) field and its temporal variation	ASCII
	MCO_SHA_2D	CAT-1: Spherical harmonic model of the main (core) field and its temporal variation	ASCII
	MCO_VAL_2C	CAT-1: Validation report on core magnetic field	PDF
	MCO_VAL_2D	CAT-1: Validation report on core magnetic field	PDF
	MCO_VAL_2E MCO_SHA_2F	CAT-1: Validation report on core magnetic field CAT-1: Spherical harmonic model of the main (core) field and its temporal variation	PDF ASCII
O2: Lithospheric Field	MLI_SHA_2C	CAT-1: Spherical harmonic model of the lithospheric field	ASCII
	MLI_SHA_2D	CAT-1: Spherical harmonic model of the lithospheric field	ASCII
	MLI_SHA_2E	CAT-1: Extended spherical harmonic model of the lithospheric field	ASCII
	MLI_VAL_2C	CAT-1: Validation report on lithospheric field	PDF
	MLI_VAL_2D	CAT-1: Validation report on lithospheric field	PDF
	MLI_VAL_2E MLI_VAL_2F	CAT-1: Validation report on lithospheric field CAT-1: Validation report on lithospheric field	PDF PDF

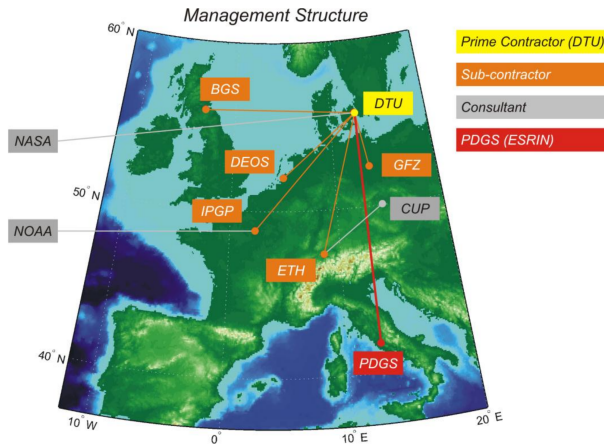
# Seznam produktů Level 2

Science Objective	Name	Description	Format
O3: Mantle Conductivity	MIN_1DM_2_	CAT-1: 1D model of mantle conductivity	ASCII
	MIN_3DM_2a	CAT-1: 3D model of mantle conductivity (frequency domain)	ASCII
	MIN_3DM_2b	CAT-1: 3D model of mantle conductivity (time domain)	ASCII
	MCR_1DM_2_	CAT-1: 1D C-response maps	ASCII
	MCR_3DM_2_	CAT-1: 3D C-response maps	ASCII
	MI1_VAL_2_	CAT-1: Validation report on 1D mantle conductivity	PDF
	MI3_VAL_2_	CAT-1: Validation report on 3D mantle conductivity	PDF
	MC1_VAL_2_	CAT-1: Validation report on 1D C-response	PDF
	MC3_VAL_2_	CAT-1: Validation report on 3D C-response	PDF
	O4: External Current Systems	MMA_SHA_2C	CAT-1: Spherical harmonic model of the large-scale magnetospheric field and its Earth-induced counterpart
MMA_VAL_2C		CAT-1: Validation report magnetospheric magnetic model	PDF
MMA_SHA_2F		CAT-1: Spherical harmonic model of the large-scale magnetospheric field and its Earth-induced counterpart	CDF
MIO_SHA_2C		CAT-1: Spherical harmonic model of the daily geomagnetic variation at middle latitudes (Sq and low latitudes (EEJ)	ASCII
MIO_SHA_2D		CAT-1: Spherical harmonic model of the daily geomagnetic variation at middle latitudes (Sq and low latitudes (EEJ)	ASCII
MIO_VAL_2C		CAT-1: Validation report on ionospheric magnetic model	PDF
MIO_VAL_2D		CAT-1: Validation report on ionospheric magnetic model	PDF
MIO_VAL_2_		CAT-1: Validation report on ionospheric magnetic model	PDF
IBIxTMS_2F		CAT-2: Ionospheric bubble index	CDF
TECxTMS_2F		CAT-2: Time series of the ionospheric total electron content	CDF
FAC_TMS_2F		CAT-2: Time series of field-aligned currents	CDF
FACxTMS_2F		CAT-2: Time series of field-aligned currents	CDF
EEFxTMS_2F		CAT-2: Equatorial Electric Field	CDF

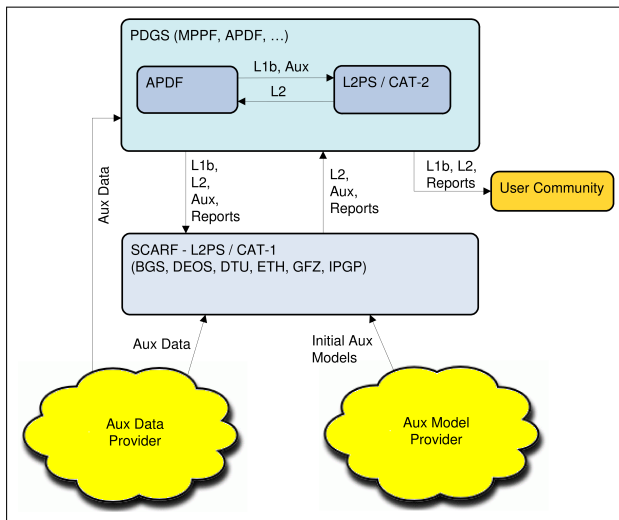
# Seznam produktů Level 2

Science Objective	Name	Description	Format
Precise Orbit Determination	SP3xCOM_2_	CAT-1: time series of position and velocity of the center of mass of each satellite (reduced-dynamic POD)	ASCII
	SP3xKIN_2_	CAT-1: time series of position and velocity of the center of mass of each satellite (kinematic POD)	ASCII
	SP3xVAL_2_	CAT-1: Validation report for SP3xCOM_2_	PDF
	ACCxCAL_2_	CAT-1: Accelerometer calibration parameters from the POD process	CDF
	ACCxPOD_2_	CAT-1: Time series of non-gravitational accelerations estimated by POD	CDF
O5: Magnetic Forcing of the Upper Atmosphere	ACCx_AE_2_	CAT-1: Time series of calibrated and pre-processed accelerometer observations and of aerodynamic accelerations from Satellite x (x=A,B or C)	CDF
	DNSxWND_2_	CAT-1: time series of neutral thermospheric density and wind speed	CDF
	TDWxVAL_2_	CAT-1: Validation report for DNSxWND_2_	PDF
Quick Look Reports	MAG_QL_2_	Quick Look of magnetic field products MAGx_LR_1B	PDF
	EFI_QL_2_	Quick Look of EFIx_PL_1B	PDF
Product Reports	REP_L2PS_	Report for each product release	XML

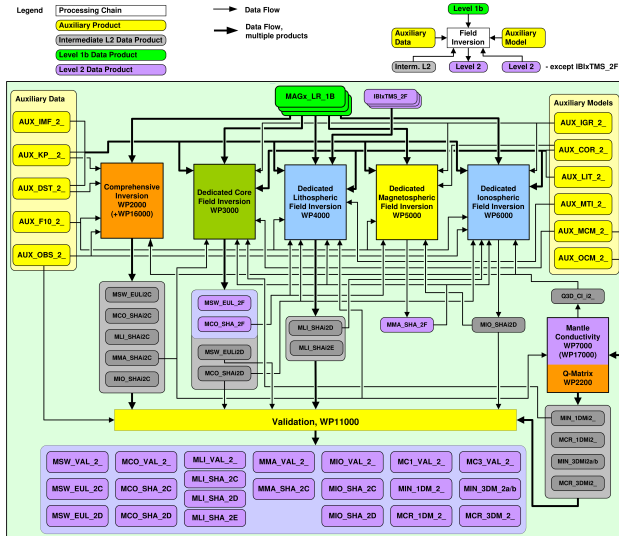
# Swarm Level 2 Processing System



# Swarm Level 2 Processing System



# Swarm Level 2 Processing System





# Swarm Level 2 Processing System

## Časová osa

10/2010 KO

01/2011 PDR

05/2011 AR0, simulovaný test rozhraní

10/2011 CDR, konec 1. vývojové fáze

01/2012 CAT-3 → CAT-1

05/2012 AR1, nezávislé testy jednotlivých řetězců

11/2012 L2PS-PDGS IT, ostrý test rozhraní s PDGS

01/2013 AR2, selfkonzistentní test celého L2PS systému, konec 2. vývojové fáze

06/2013 ORR, *Operation Readiness Review*, konec přípravné fáze

03–08/2013 CCN, překlenovací fáze

08–/2013 vykořisťovací fáze (nový kontrakt s ESA)

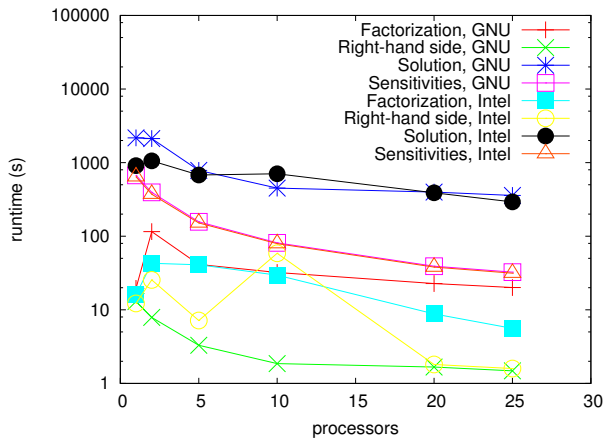
# Swarm Level 2 Processing System

## Dokumentace

- ▶ Architectural Design
- ▶ SW Technical Specification
- ▶ Acceptance Test Plan & Procedures
- ▶ Acceptance Test Report (pro každý test ARn)
- ▶ Design, Development and Operations Plan
- ▶ User Manual and Operation Procedure
- ▶ Product Assurance Plan
- ▶ Sub-System Requirements
- ▶ software a dokumentace spravovány pomocí SVN
- ▶ JIRA <http://www.atlassian.com/software/jira/overview/>

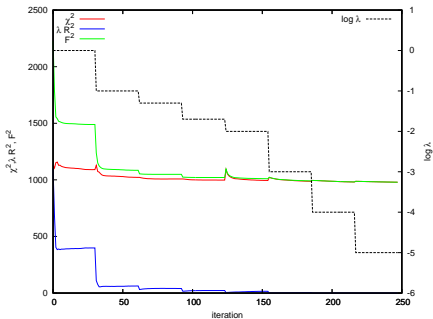
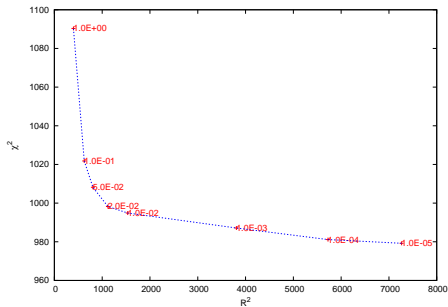
# 3TDI

- ▶ řešení obrácené úlohy 3-D EM indukce na kouli
- ▶ přímý řešič: prostorová parametrizace sférickými harmonikami a 1-D konečnými elementy
- ▶ časová integrace schématem Crank-Nicolsonové
- ▶ obrácená úloha: quasi-Newtonova minimalizace s omezenou pamětí (proměnná metrika)
- ▶ gradient v modelovém prostoru počítán efektivně řešením adjungované úlohy
- ▶ Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shannonův vzorec pro iterativní výpočet Hessiánu
- ▶ regularizace: minimalizace L2 normy gradientu nebo Laplace logaritmu vodivosti
- ▶ MPI paralelizace

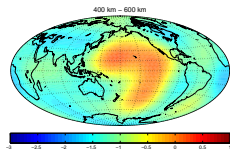
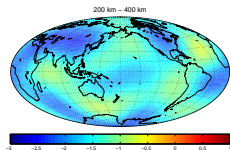
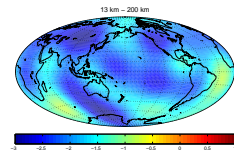




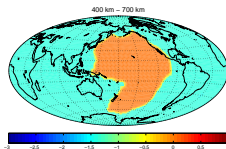
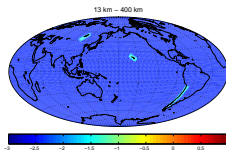
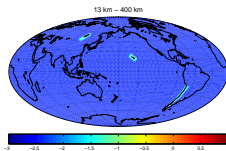
# MIN\_3DMi2b



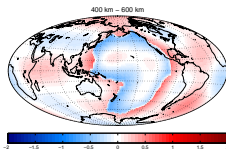
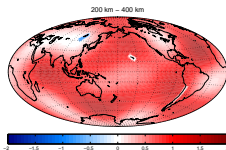
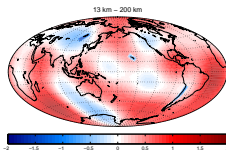
## MIN\_3DM\_2b



## Target

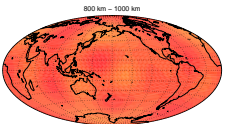
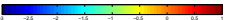
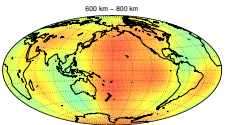
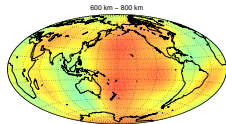


## Log difference

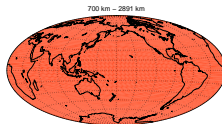
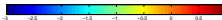
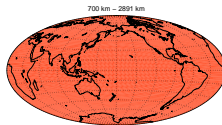
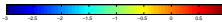
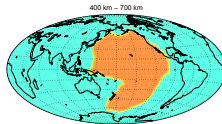


# MIN\_3DMi2b

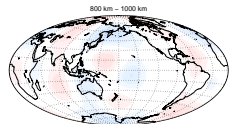
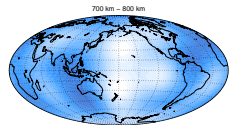
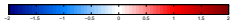
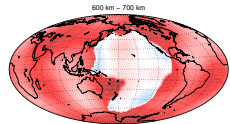
## MIN\_3DM\_2b



## Target

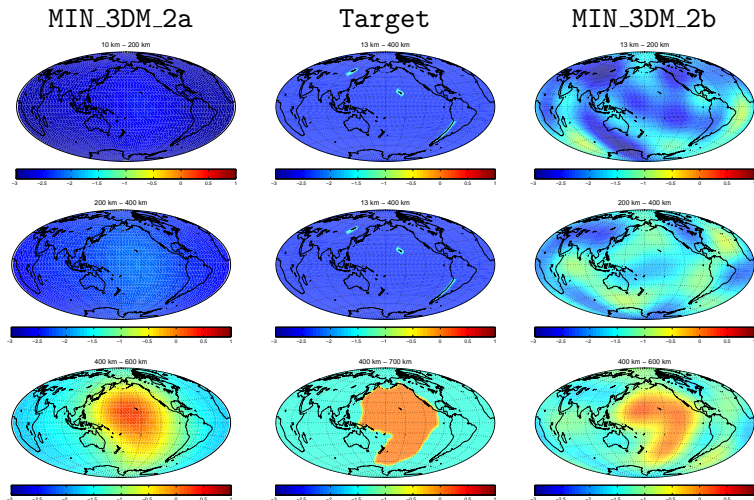


## Log difference



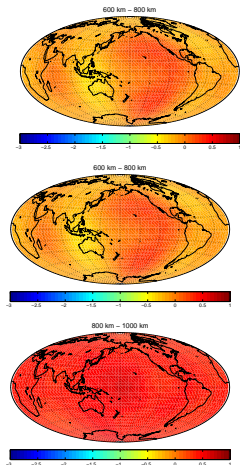


# MIN\_3DMi2a

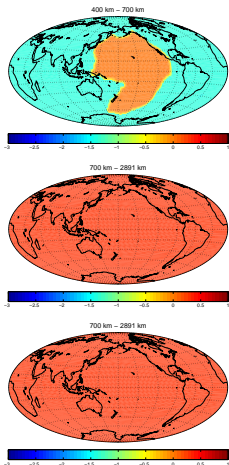


# MIN\_3DMi2a

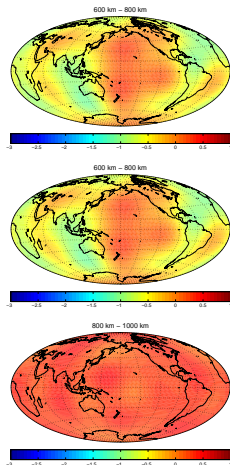
## MIN\_3DM\_2a



## Target

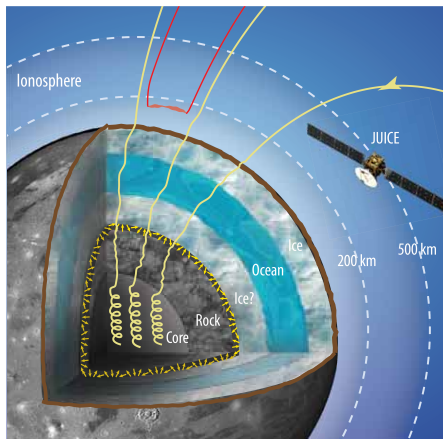


## MIN\_3DM\_2b

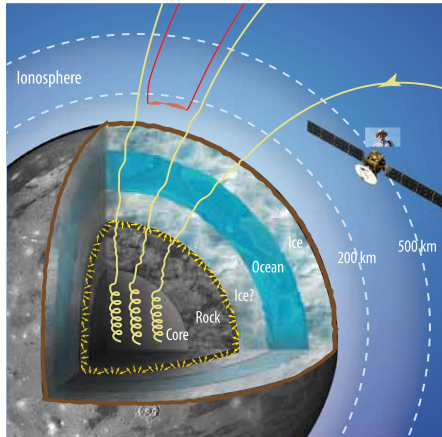


- ▶ The product satisfies the L2 criteria in the mid-mantle, and the lower mantle (difference w.r.t. target model within 1 order of magnitude)
- ▶ Data provide almost no constrain on the conductivity of upper 400 km of the mantle (difference larger than 1 order of magnitude)
- ▶ The Swarm product  
SW\_TEST\_MIN\_3DMi2b\_00000000T000000\_99999999T999999\_0101  
has undergone a series of validations and checks by partner ETH/CUP. The ETH/CUP SIL's opinion is that the product is validated and therefore suitable for release as the intermediate product.

## icy Moons Magnetic Mapper: Proposal for the Magnetometer Experiment onboard JUICE



## icy Moons Magnetic Mapper: Proposal for the Magnetometer Experiment onboard JUICE



# Odkazy

- ▶ [www.esa.int/esaLP/LPswarm.html](http://www.esa.int/esaLP/LPswarm.html)
- ▶ [www.swarm-projektbuero.de/](http://www.swarm-projektbuero.de/)
- ▶ [www.esa.int/SPECIALS/ESA\\_Publications/SEMH82T1I6H\\_0.html](http://www.esa.int/SPECIALS/ESA_Publications/SEMH82T1I6H_0.html)
- ▶ [www.euronews.com/2012/10/25/measuring-earth-s-vital-magnetic-field/](http://www.euronews.com/2012/10/25/measuring-earth-s-vital-magnetic-field/)
- ▶ [www.eurockot.com](http://www.eurockot.com)
- ▶ [www.eoportal.org/directory/pres\\_SwarmGeomagneticLEOConstellation.html](http://www.eoportal.org/directory/pres_SwarmGeomagneticLEOConstellation.html)