

# Evropský satelitní program Copernicus

Kateřina Tajovská

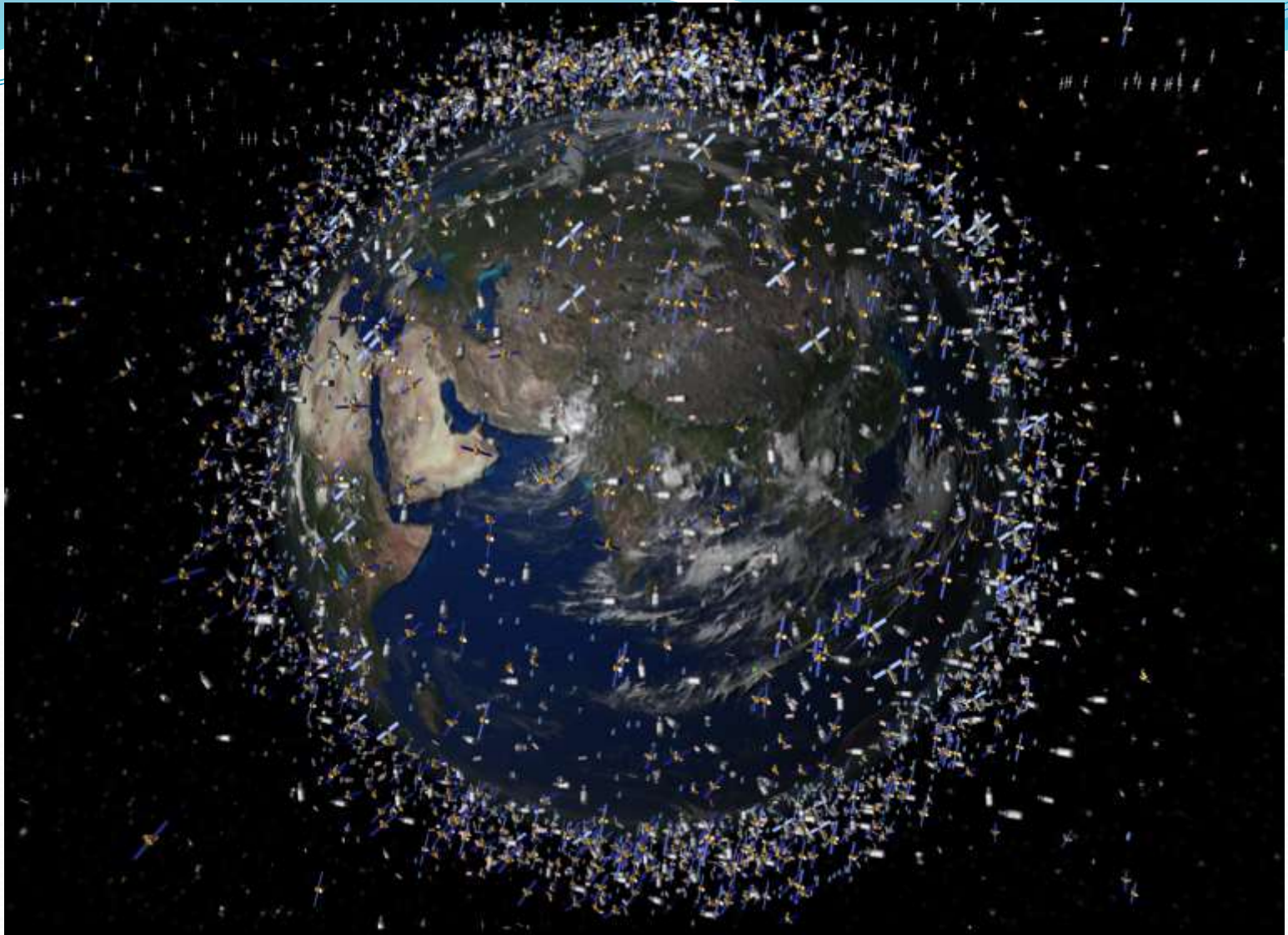
GÚ, PŘF, MU Brno

[katkatajovska@email.cz](mailto:katkatajovska@email.cz)



# Satelity všude kolem nás

- Různé satelitní systémy a sítě:
    - satelitní komunikační systémy
    - satelitní navigační systémy (GPS, Glonass, Galileo, Beidou)
    - geodetické družicové systémy
    - družicové systémy pro pozorování Země (Earth Observation)
    - špionážní satelitní systémy
  - Různé velikosti, oběžné dráhy, mise
  - V roce 2016 přes 4000 satelitů, z toho cca 1/3 funkčních
- <http://www.pixalytics.com/sats-orbiting-earth-2016/>
- správa OSN (UNOOSA) <http://www.unoosa.org/>



<http://stuffin.space/>

# Program Copernicus (GMES)

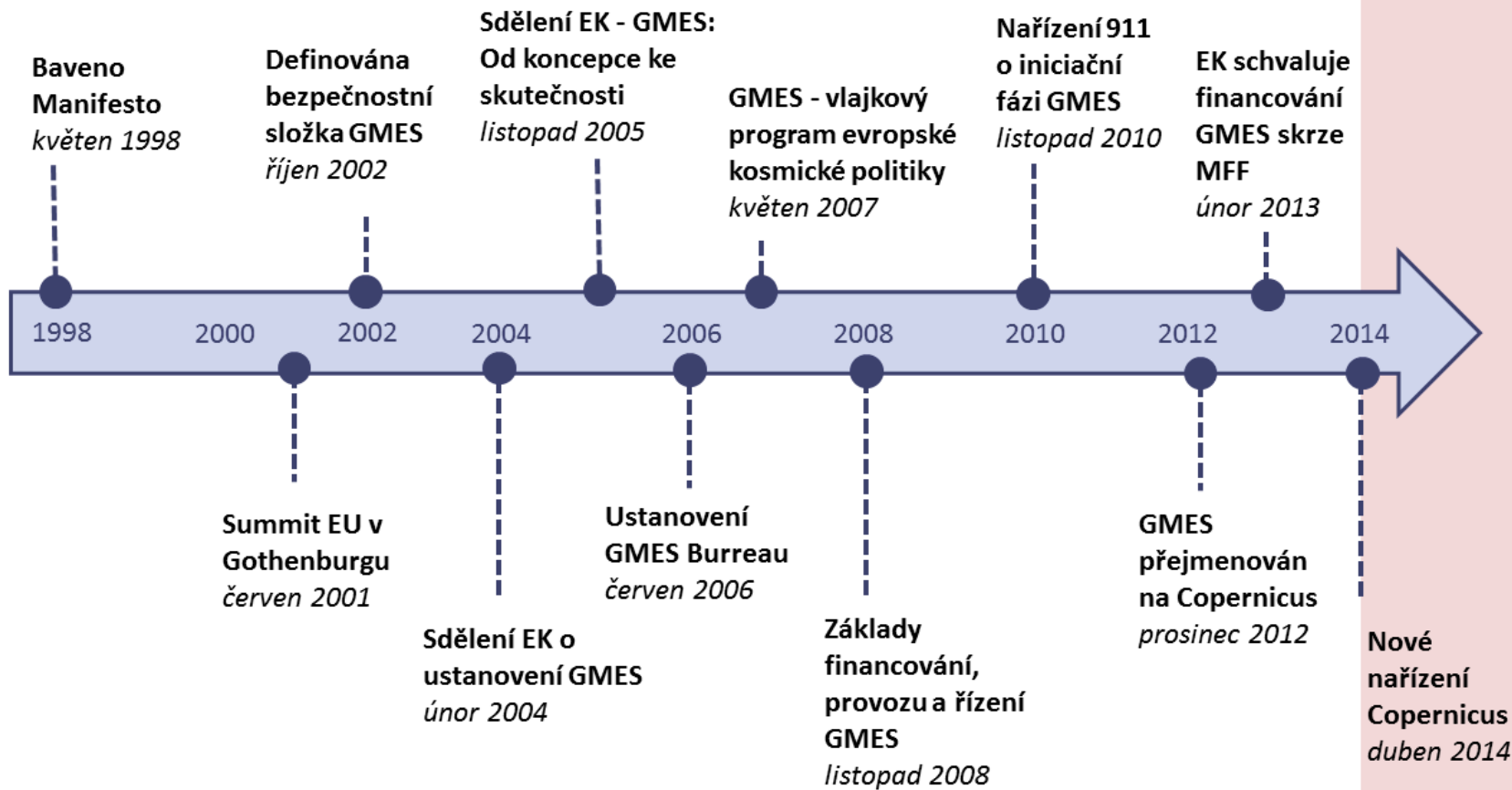
- Co je Copernicus?
  - evropský program pro monitorování životního prostředí a bezpečnosti (dříve známý jako GMES)
- Kdo ho má na starosti?
  - řízen Evropskou komisí
  - vesmírné komponenty ESA (European Space Agency)
  - In-situ komponenty EEA (European Environmental Agency)
- Hlavní cíle:
  - Poskytovat informační služby pro oblast životního prostředí, bezpečnosti, krizového řízení, lepší využití průmyslového potenciálu, nástroj pro řízení ekosystémů, zmírňování změny klimatu, podpora biologické rozmanitosti, rozvojová a humanitární pomoc aj.

# Stručná historie

- Předchůdce GMES, 1998 Bavorský manifest – výzva na vývoj služeb monitorování živ. Prostředí
- 2001 – Göteborg, summit Evropské Rady – zveřejněn akční plán rozvoje GMES na období 2001-2003
- 2002 definována bezpečnostní složka GMES
- 2005 stanoveny základní služby:
  - prioritní – území, mořské prostředí, krizové řízení;
  - pilotní - atmosféra, bezpečnost, změna klimatu
- 2006 ustavena GMES Bureau pověřená koordinací aktivit uvnitř EK i ven
- Září 2008 oficiálně spuštěny tři prioritní a dvě pilotní služby v předoperační verzi, ustaveny základy pro další financování, provoz a řízení
- Listopad 2010 Nařízení o Evropském programu monitorování Země (iniciační fáze)
- 2012 přejmenován na Copernicus
- 2014 zahájena operační fáze vypuštěním první družice Sentinel 1A

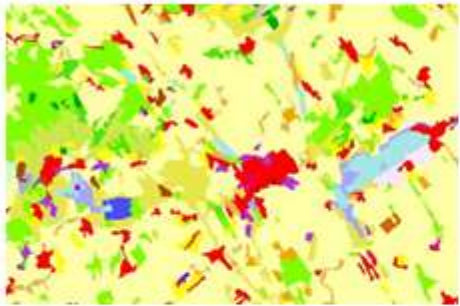


## Vývoj GMES/Copernicus v EU



# Struktura Copernicus

## Služby



## Vesmírná komponenta



## In-situ komponenta



# Služby Copernicus

- Služby Copernicus jsou vytvářeny na podkladě družicových dat i pozemních měřeních (tzv. in-situ data)
- 6 hlavních tematických oblastí:
  - **Monitorování území (Land Monitoring)**
  - **Mořské prostředí (Marine Monitoring)**
  - **Atmosféra (Atmosphere Monitoring)**
  - **Krizové řízení (Emergency Management)**
  - **Bezpečnost (Security)**
  - **Změna klimatu (Climate Change)**
- V operační fázi jsou v současnosti téměř všechny služby.



# SERVICES IMPLEMENTATION SCHEDULE



**Legend:** Delegation agreement Direct Management Operational phase

# Monitorování území (Land Monitoring)

- Přesné informace o zemském povrchu, na lokální, regionální, globální úrovni
- K dispozici informace o krajinném pokryvu, land use, stavu vegetace, vody apod.
- Tři základní komponenty – globální (JRC), lokální, Panevropská (Evropská agentura pro životní prostředí EEA)

<http://land.copernicus.eu/>

# Globální komponenta

- vybrané biofyzikální indikátory globálního rozsahu, které popisují stav vegetace, energetické bilance, vody
- <http://land.copernicus.eu/global/>
- náhledy, pro stažení potřeba registrace

# Panevropská komponenta

- celoevropské měřítko
- krajinný pokryv Corine Land Cover, mapy 1:100 000 (44 tříd typu území), bezešvá data lze stáhnout z EEA, pokrývá roky 1990, 2000, 2006, 2012, u nás zpracovává CENIA, nejmenší jednotka 25ha,
- Doplněvané vrstvami vysokého rozlišení (HRL) – 5 tematických vrstev nejdůležitějších typů – zástavby, vodní plochy, travní porosty, mokřady, lesy, mapovací jednotka 1 ha
- možné zdarma stáhnout na stránkách Národního geoportálu INSPIRE
- <https://geoportal.gov.cz/web/guest/eshop/gallery>

# Lokální komponenta

- Informace vysokého rozlišení pro konkrétní území
- **Urban Atlas** – historické i současné využití území v oblastí velkých evropských měst, měřítko 1:10 000, 350 v Evropě, 13 v ČR, shp dostupné na [EEA](#)
- [Urban Atlas For Europe](#)
- Příbřežní zóny podél evropské říční sítě **Riparian Zones**
- Lokality **NATURA 2000**

<http://land.copernicus.eu/local>

# Mořské prostředí (Marine Monitoring)

- Aktuální informace o síle, směru větru, mořské proudy, mořský led, fyzikální a biogeochemické složky.
- Oblastní služby: námořní bezpečnost, mořské zdroje, pobřežní a mořské prostředí, počasí, podnebí
- služba slouží i k podpoře široké škály aplikací pro sledování pobřežního a mořského životního prostředí.

<http://marine.copernicus.eu>

# Atmosféra (Atmosphere Monitoring)

- informace o složení atmosféry, krátkodobá předpověď, celkové složení atmosféry na základě sledování jednotlivých složek atmosféry, jako jsou emise skleníkových plynů (oxid uhličitý a metan), reaktivní plyny (např. oxid uhelnatý, oxidované sloučeniny dusíku, oxid siřičitý), ozon a aerosoly
- plně zprovozněna od července 2015
- hlavní tematické oblasti služby: kvalita ovzduší a složení atmosféry; působení klimatu; ozónová vrstva a UV záření; sluneční záření; emise a povrchové toky

<http://atmosphere.copernicus.eu/>

# Bezpečnost

- Zaměření na tři priority – ostraha hranic, námořní dohled, podpora opatření zahraniční politiky EU
- Iniciační fáze Copernicus služeb v oblasti bezpečnosti (zejména v případě ostrahy hranic a podpory zahraniční politiky EU) byla v letech 2009 - 2011 poskytována prostřednictvím projektu [G-MOSAIC](#).
- V roce 2015 se služby Copernica v oblasti bezpečnosti začaly využívat i pro FRONTEX
- <http://www.copernicus.eu/main/security>

## Změna klimatu

Služba monitorování změn klimatu je již implementována, bude poskytovat přístup k mnoha indikátorům klimatických změn – nárůstu teploty, stoupání mořské hladiny, tání ledovců, službu koordinuje [Evropské centrum pro střednědobé předpovědi počasí \(ECMWF\)](#).

<http://climate.copernicus.eu/>



# Krizové řízení

- Služba krizového řízení Copernicus poskytuje všem organizacím činným v této oblasti rychlé, přesné a spolehlivé informace, které pomáhají při řešení přírodních i člověkem způsobených katastrof, ale i při jejich prevenci a hodnocení rozsahu způsobených škod.
- Cílem této služby je rychlé zajištění dostupných dat při povodních, lesních požárech, průmyslových haváriích, sesuvech půdy či humanitárních krizích.
- Výsledkem služby jsou mapy vytvořené z přesných geoprostorových informací získaných z družicových obrazových dat, které jsou doplněny daty naměřenými in-situ, nebo i daty z různých veřejných zdrojů.
- Všechny vytvořené výstupy služby jsou volně dostupné na portálu Evropské komise pro krizové řízení:
- <http://emergency.copernicus.eu>

# Mapování v urgentním režimu

- slouží pro podporu bezprostředně po krizové události
- podkladové mapy s topografickým obsahem, případně tematickou nadstavbou
- data jsou dodána za několik hodin, služba 24h v roce
- autorizovaní uživatelé aktivní v oblasti krizového řízení (GŘ HZS)
- úspěšné nasazení při povodních 2013

<http://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSRo45>

- výbuch skladu ve Vrběticích

<http://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR113>

mapy dostupné ke stažení

# Podpůrné mapování

- slouží pro dlouhodobou prevenci postižení katastrofou
- standartní struktura nebo produkt na míru
- dodání v řádu týdnů až měsíců
- v ČR proběhla žádost na podporu štábního cvičení RESTART 2013

<http://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSN006>

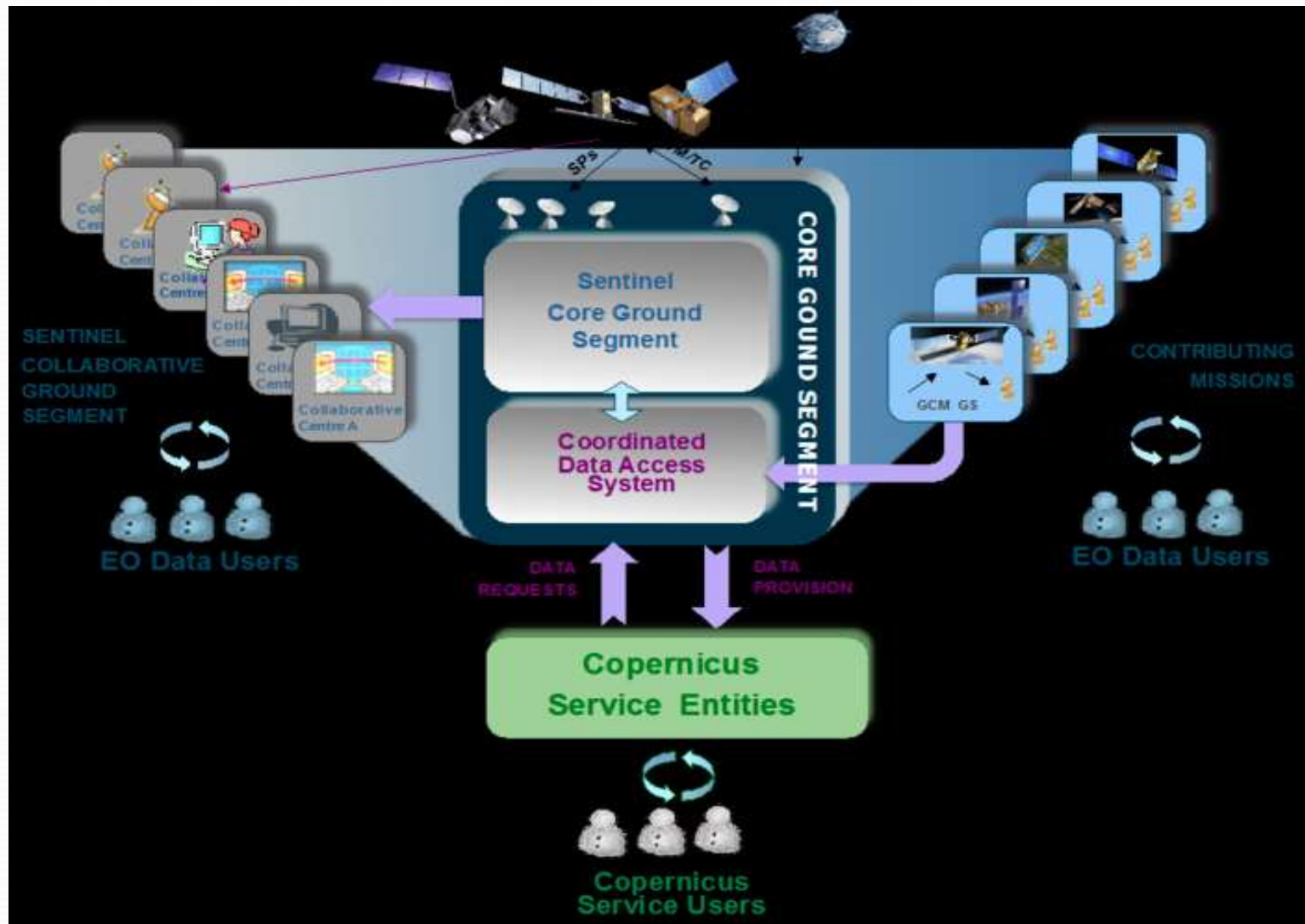
# In situ komponenta Copernicus

- síť pozemních měřících zařízení na Zemi, ve vzduchu i ve vodním prostředí
- infrastruktura pozemních měřících stanic členských států, které spravuje množství národních veřejných institucí
- většinou jsou tam zapojené organizace působící v Evropské informační a pozorovací síti pro životní prostředí (síť Eionet)

<http://www.eionet.europa.eu/ldap-organisations/>

# Kosmická komponenta – pozemní segment

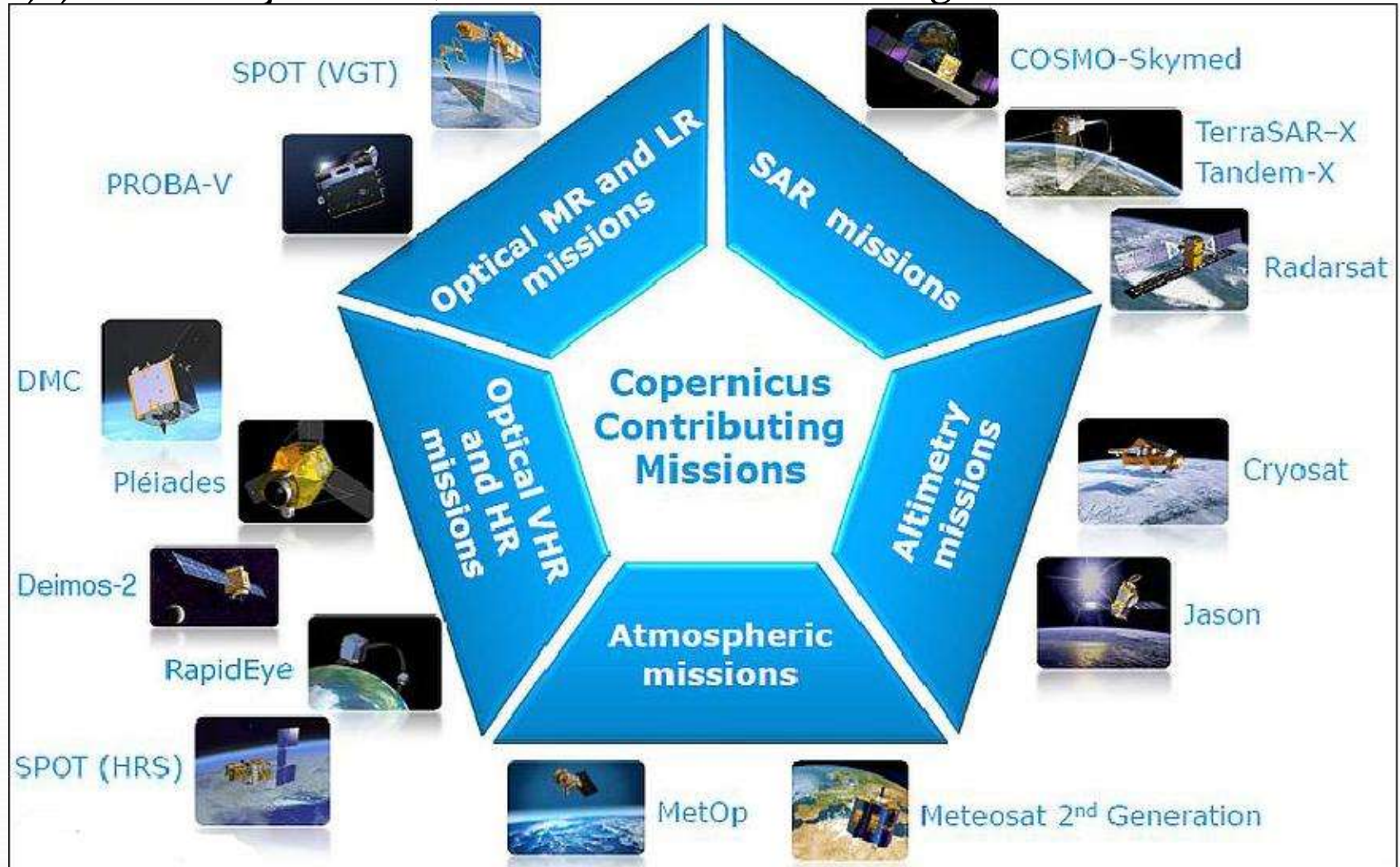
- Pozemní segment je určen k řízení družic, přenos jimi pořízených dat, archivaci, zpracování a distribuci družicových dat





# Příspěvatelské mise

- Jedná se o přibližně 30 existujících či plánovaných družicových misí ESA a jejich členských států, EUMETSATu a dalších organizací.

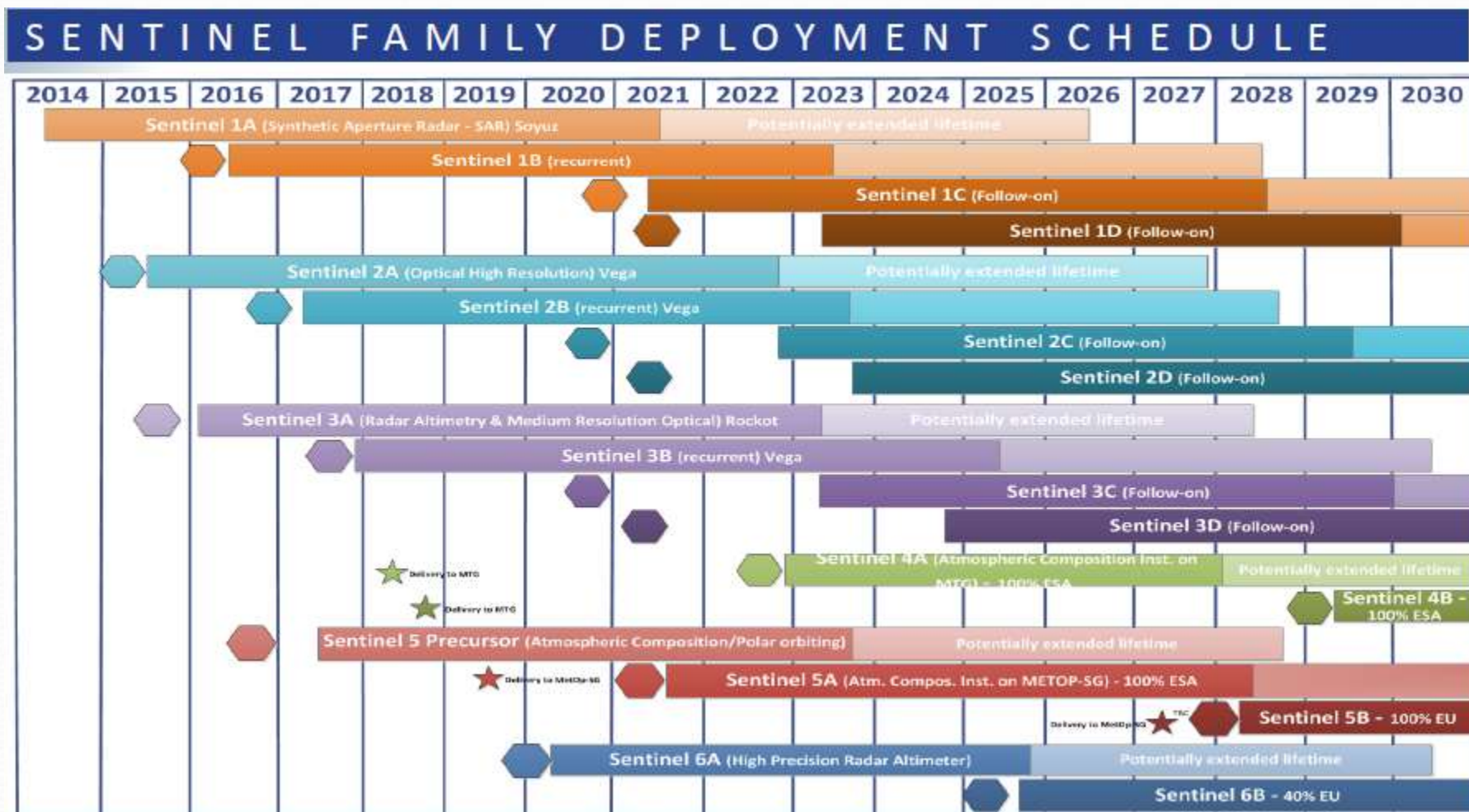




# Kosmická komponenta – vesmírný segment

## Rodina družic Sentinel

<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>



# Družice Sentinel



- Družice Sentinel rozdělené do 5 řad, každá řada dvě družice A a B – max. pokrytí Země (po roce 2020 v plánu C a D)
- Sentinel 1 – radarová data, v současné době už plně operační družice 1A, 1B (6 denní perioda - rovník)
- Data je možné bezplatně stahovat z portálu:

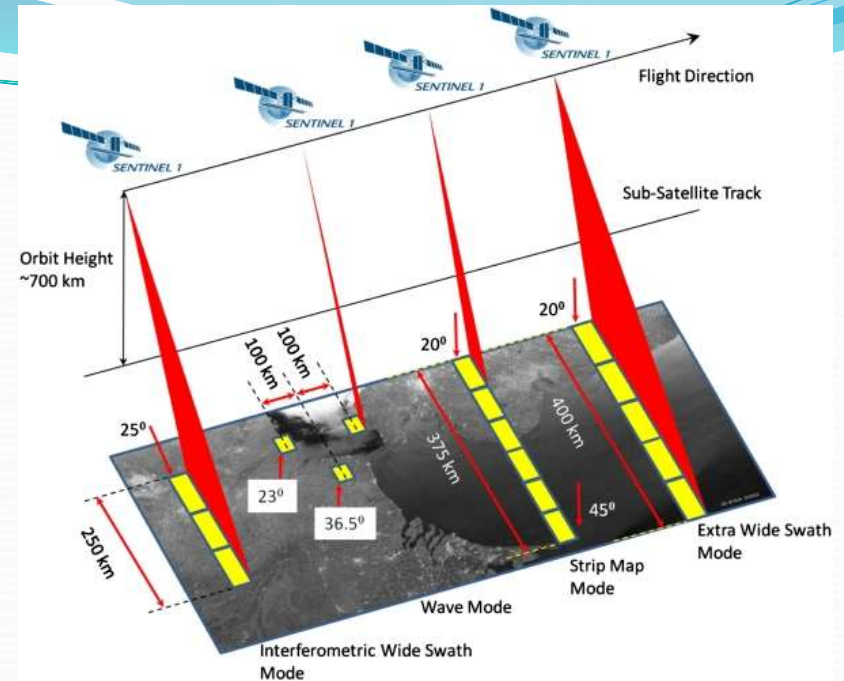
<https://scihub.copernicus.eu/>

Charakteristika senzoru C-Band SAR (Synthetic Aperture Radar)	
typ dat	radarová
typ senzoru	jednofrekvenční
počet frekvenčních pásem	1 (5404 MHz)
prostorové rozlišení	5 - 40 m (v závislosti na módu)
záběr senzoru	20 - 400 km (v závislosti na módu)
možnost programování	ANO (4 různé režimy snímání)
	<i>Pásmový režim</i> (rozl. 5 m; šíře 80 km)
	<i>Interferometrický režim</i> (5x20 m; 250 km)
	<i>Režim extra širokého pásu</i> (20x40 m; 400 km)
<i>Režim nízké rychlosti přenosu dat</i> (5x5 m; 20x20 km)	
stereosnímky (interferometrie)	ANO
další	polarizace VV+VH, HH+HV
	úhel pohledu 20-45°

H - horizontální polarizace, V - vertikální polarizace

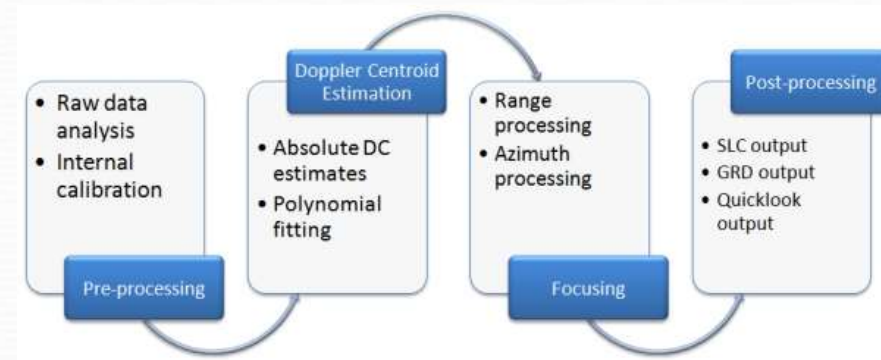
# Sentinel-1

- SAR senzor, pásmo C
- Módy snímání:
  - Stripmap (SM)
  - Interferometric Wide swath (IW)
  - Extra-Wide swath (EW)
  - Wave (WV)
- Polarizace: single (HH či VV) a dual (HH+HV nebo VV+VH); SM, IW a EW jsou dostupné jako single (HH or VV) či dual (HH+HV or VV+VH). WV jen single (HH or VV).
- Produkty (neplatí pro WV):
  - SAR Level-0,
  - Level-1 SLC (Single Look Complex),
  - Level-1 GRD (Ground Range Detected)
  - Level-2 OCN (ocean).



Obr.: Módy snímání.

Zdroj: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/acquisition-modes>



# Sentinel-1 - prostorové rozlišení

## Level-1 SLC

Mód	Rozlišení (rg x az)	Velikost pixelu (rg x az)
SM	1.7x4.3 m až 3.6x4.9 m	1.5x3.6 m až 3.1x4.1 m
IW	2.7x22 m až 3.5x22 m	2.3x17.4 m
EW	7.9x43 m až 15x43 m	5.9x34.7 m
WV	2.0x4.8 m a 3.1x4.8 m	1.7x4.1 m a 2.7x4.1 m

## Full resolution Level-1 GRD

Mód	Rozlišení (rg x az)	Velikost pixelu (rg x az)	Number of looks	ENL
SM	9x9 m	4x4 m	2x2	3.9

## High resolution Level-1 GRD

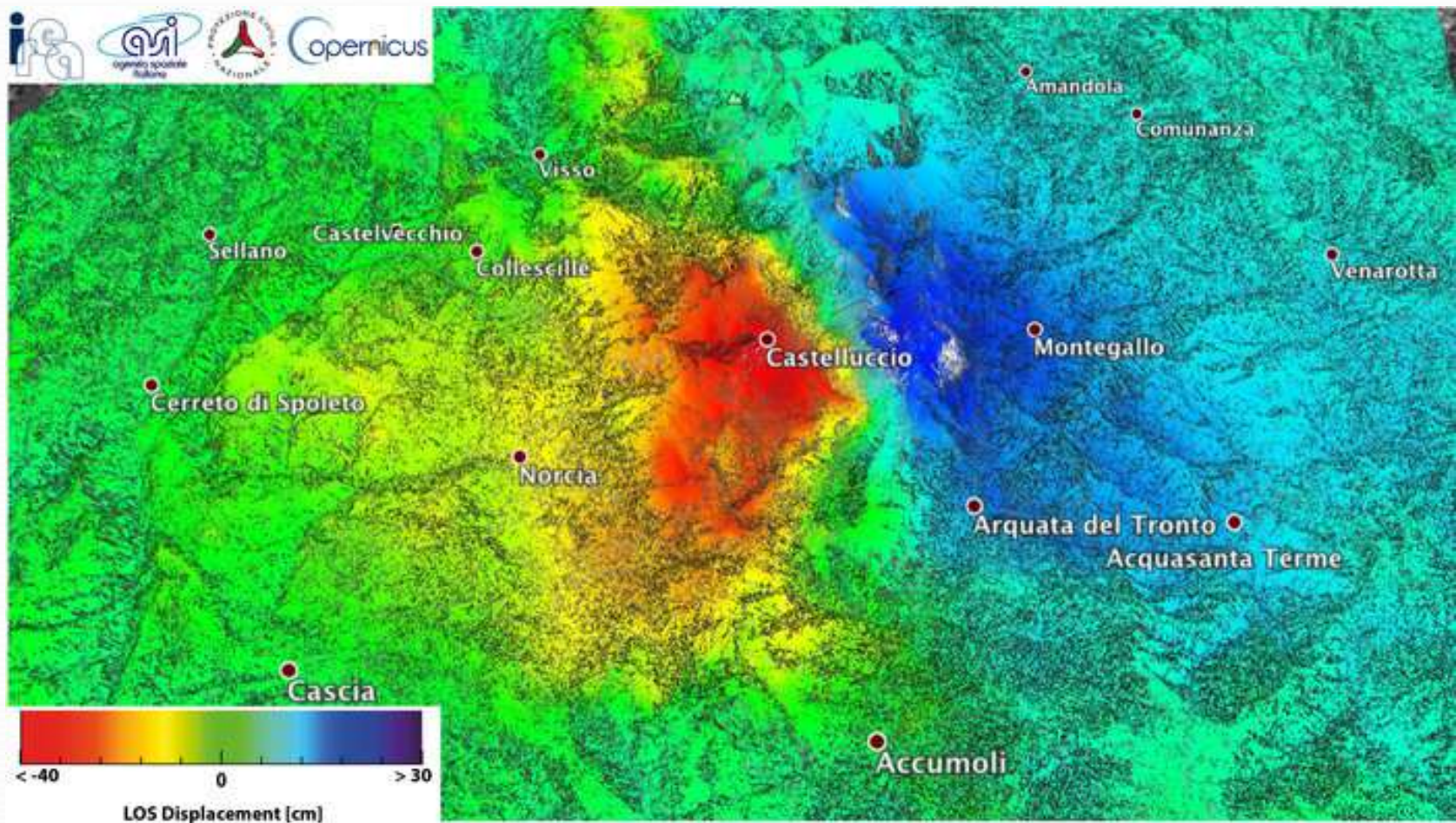
Mód	Rozlišení (rg x az)	Velikost pixelu (rg x az)	Number of looks	ENL
SM	23x23 m	10x10 m	6x6	34.4
IW	20x22 m	10x10 m	5x1	4.9
EW	50x50 m	25x25 m	3x1	2.9

## Medium resolution Level-1 GRD

Mód	Rozlišení (rg x az)	Velikost pixelu (rg x az)	Number of looks	ENL
SM	84x84 m	40x40 m	22x22	350-398
IW	88x87 m	40x40 m	22x5	105.7
EW	93x87 m	40x40 m	6x2	12.7
WV	52x51 m	25x25 m	13x13	123.7



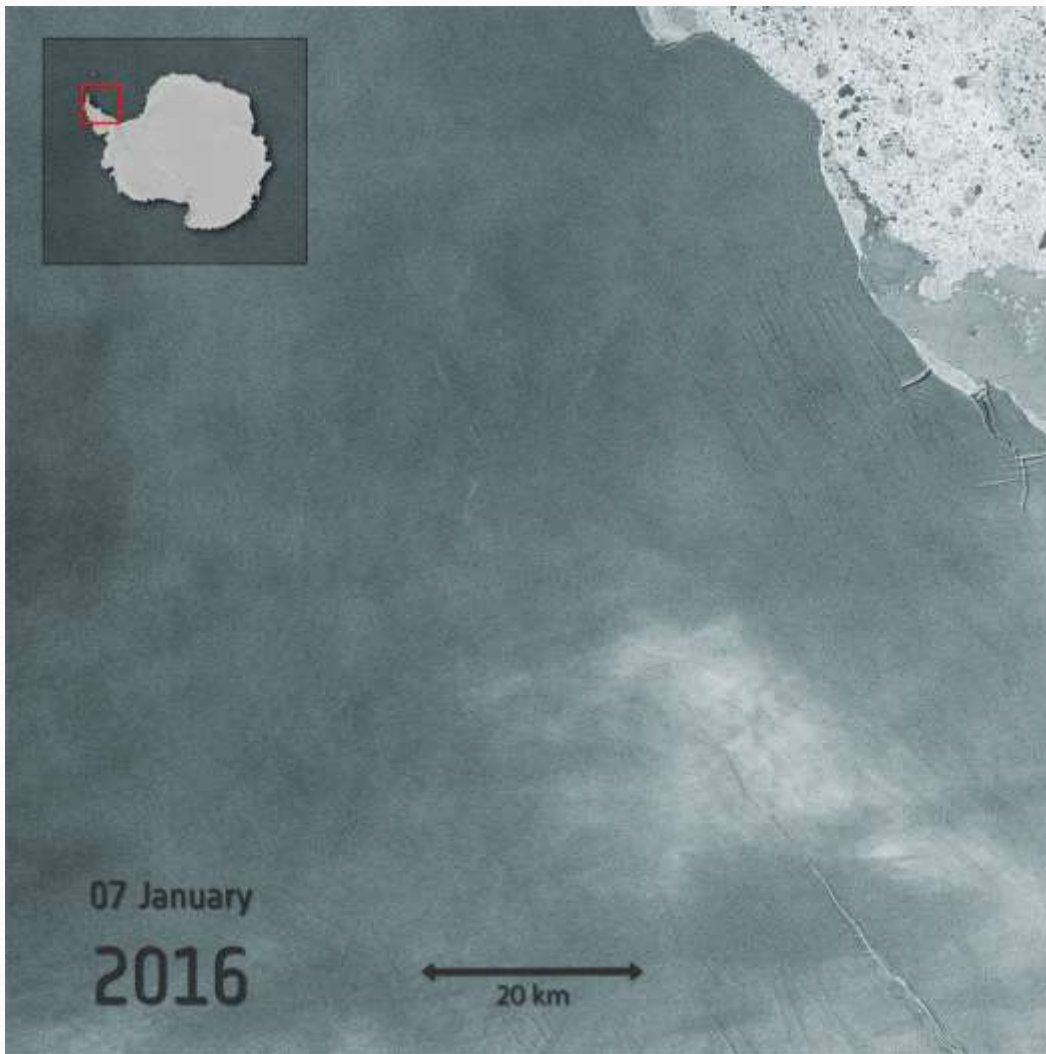
# Ukázky radarových dat Sentinel1



Vertikální posuny při zemětřesení v Itálii 2016 (26.10. a 1.11)

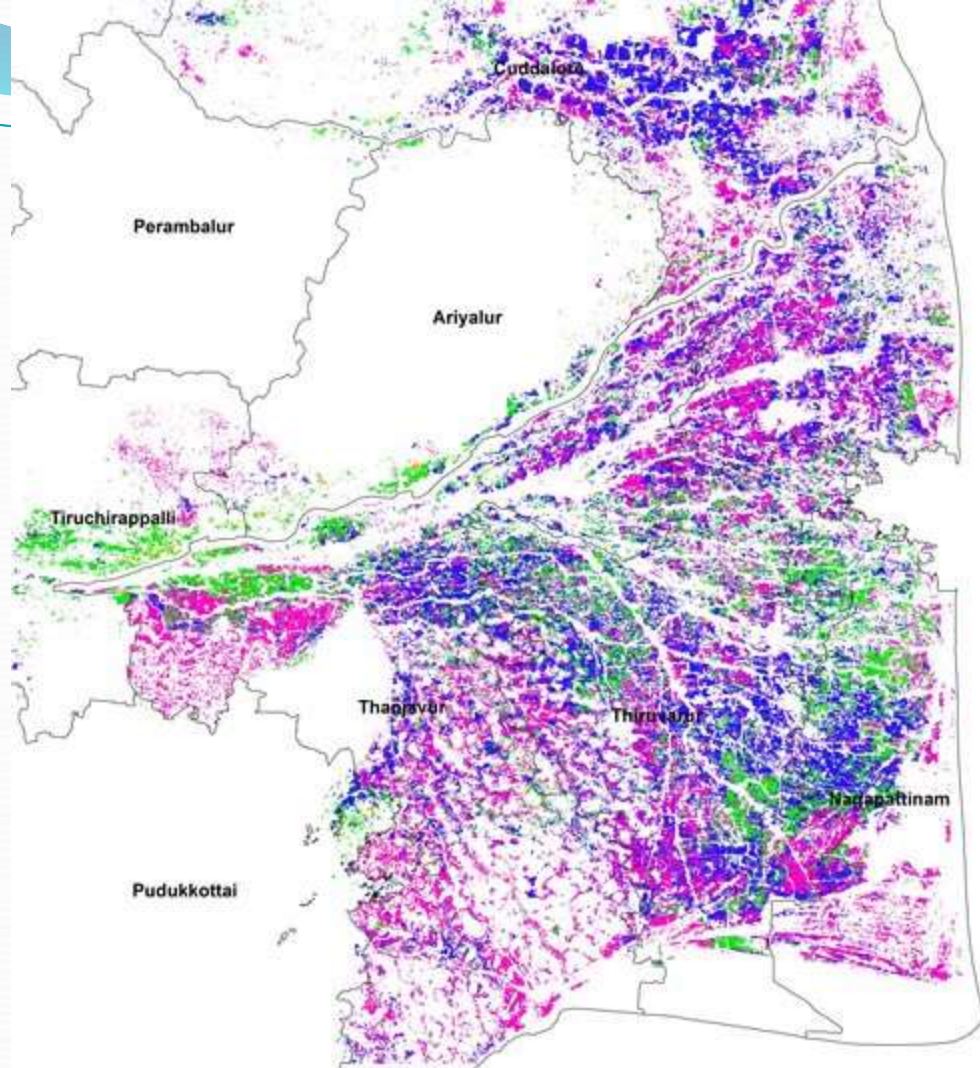
[http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2016/11/Mapping\\_Italy\\_s\\_30\\_October\\_2016\\_earthquake](http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2016/11/Mapping_Italy_s_30_October_2016_earthquake)

# Odlomení ledovce Larsen - C





# Sklizeň rýže v Indii



[http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2017/08/Start\\_of\\_rice\\_cropping](http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2017/08/Start_of_rice_cropping)



# Sentinel 2

- Navazuje tematicky na Landsat a Spot, multispektrální data, mapování vegetace
- 22. 6. 2015 (S2A), 7.3. 2017 (S2B) k dispozici snímky opět na:
- <https://scihub.copernicus.eu/>
- distribuce v tzv. granulích 100x100km UTM/WGS84



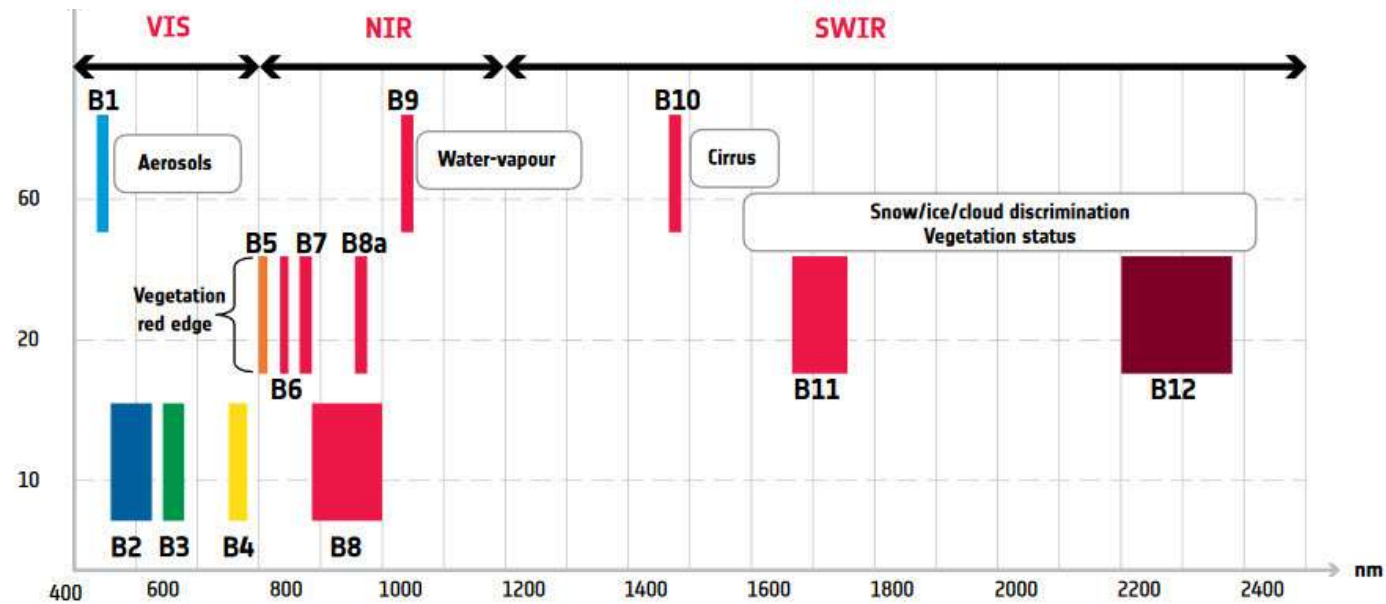
Charakteristika senzoru MSI (Multi Spectral Instrument)	
typ dat	optická
typ senzoru	multispektrální
počet spektrálních pásem	13 (10 VNIR, 3 SWIR), 443–2190 nm
prostorové rozlišení	10, 20 a 60 m
záběr senzoru	290 km
možnost programování	ANO
stereosnímky (interferometrie)	NE

VNIR (visible and near infrared) - viditelné a blízké infračervené záření, cca 400 - 1400 nm

SWIR (short-wavelength infrared) - krátkovlnné infračervené záření s vlnovými délkami cca 1400-3000 nm

Sentinel-2 Bands	Central Wavelength (µm)	Resolution (m)
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 - Water vapour	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	20

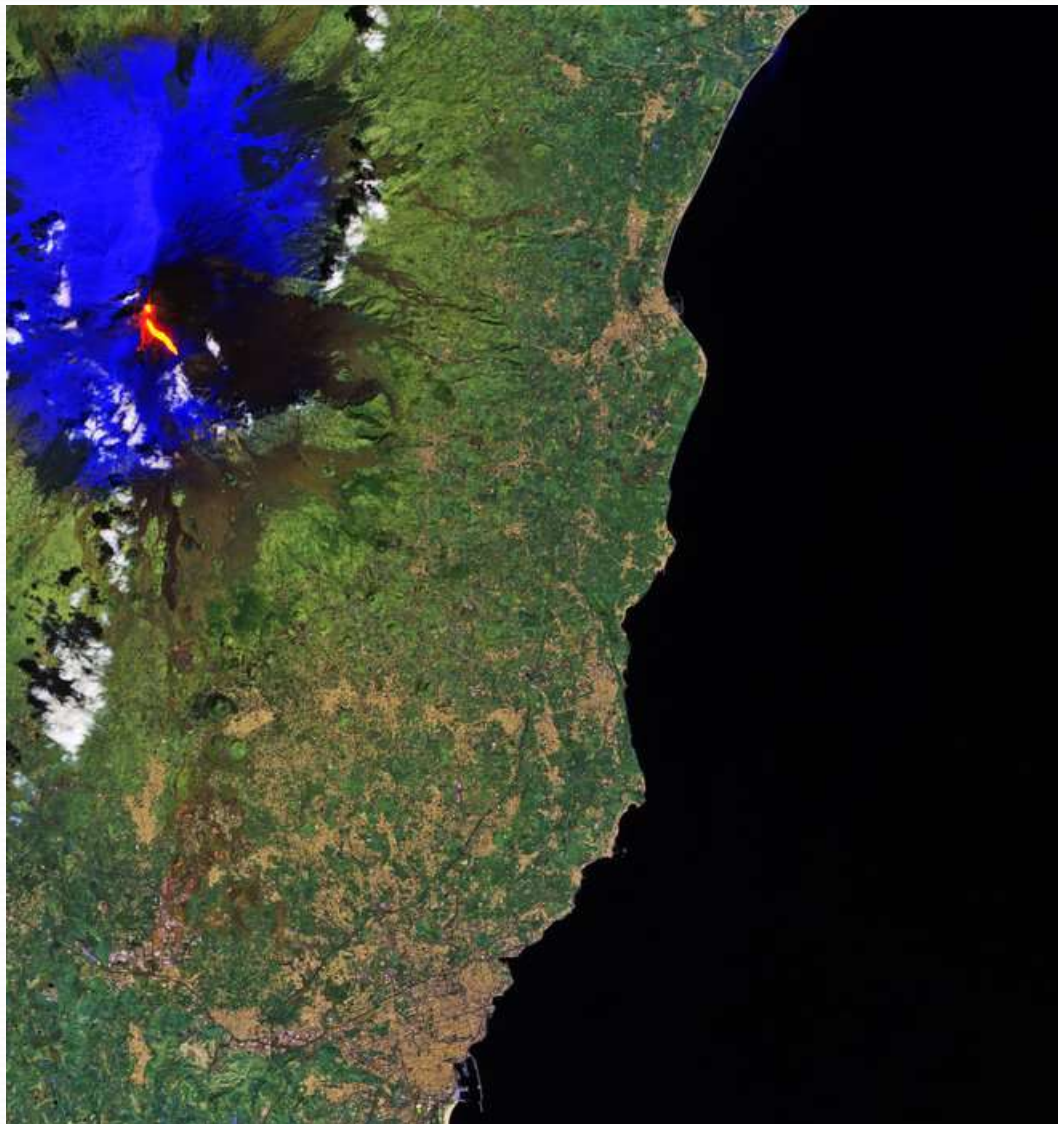
Source: [http://esamultimedia.esa.int/docs/EarthObservation/Sentinel-2\\_ESA\\_Bulletin161.pdf](http://esamultimedia.esa.int/docs/EarthObservation/Sentinel-2_ESA_Bulletin161.pdf)



↑ Spatial resolution versus wavelength: Sentinel-2's span of 13 spectral bands, from the visible and the near-infrared to the shortwave infrared at different spatial resolutions ranging from 10 to 60 m on the ground, takes land monitoring to an unprecedented level



# Ukázky optických dat Sentinel2



Erupce Etny 16/03/2017

[http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2017/03/Etna\\_erupts](http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2017/03/Etna_erupts)

# Monitoring zemědělství Španělsko



[http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2016/12/Agricultural\\_monitoring\\_in\\_Spain](http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2016/12/Agricultural_monitoring_in_Spain)



# Mapa pokryvu Chiapas Mexiko





# Sentinel 3

- Radarová a multispektrální data středního rozlišení, navazují na Envisat a Cryosat-2, vhodná pro monitorování atmosféry
- Sentinel 3A vypuštěn 16.2. 2016 (3B 4Q/2017)



	Charakteristika senzorů			
	OLCI (Ocean and Land Colour Instrument)	SLST (Sea and Land Surface Temperature Instrument)	SRAL (Sentinel 3 Ku/C Radar Altimeter)	MWR (MicroWave Radiometer)
typ dat	optická	optická	radarová	mikrovlnná
typ senzoru	multispektrální	multispektrální	dvoufrekvenční	dvoufrekvenční
počet spektrálních (frekvenčních) pásem	21 (400-1020 nm)	9 (550-12000 nm)	2 (Ku/C)	2 (23,8/36,5 GHz)
prostorové rozlišení	300 m	500 m (VIS, SWIR), 1 km (MWIR, FIR)	3 cm přesnost výškových měření	
záběr senzoru	1270 km	1675/750 km		
možnost programování	ANO			
stereosnímky (interferometrie)	NE			

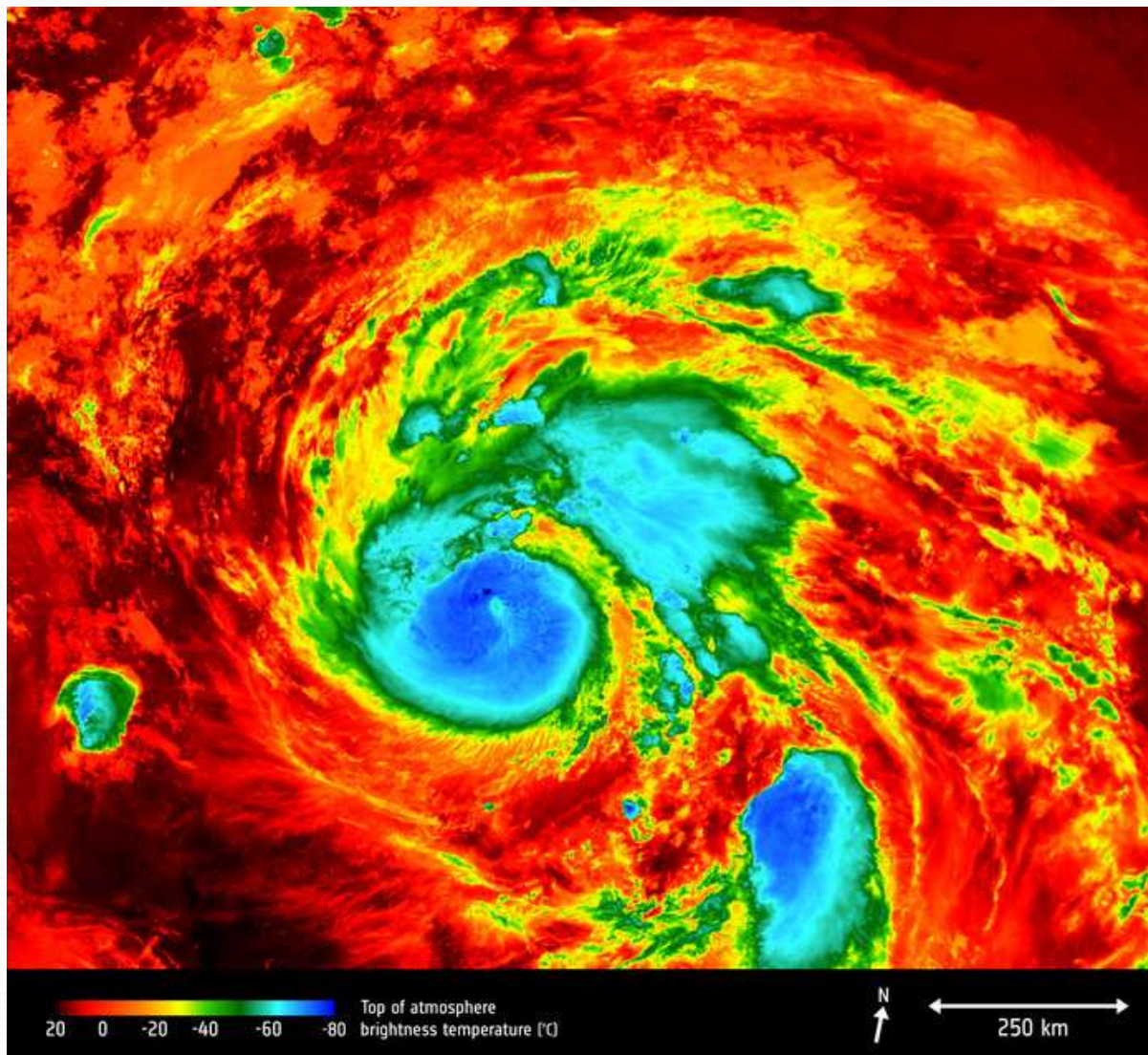
VIS (visible) - viditelné záření, cca 380 - 720 nm

SWIR (short-wavelength infrared) - krátkovlnné infračervené záření s vlnovými délkami cca 1400 - 3000 nm

MWIR (mid-wavelength infrared) - střední infračervené spektrální pásmo s vlnovými délkami cca 3000 - 8000 nm

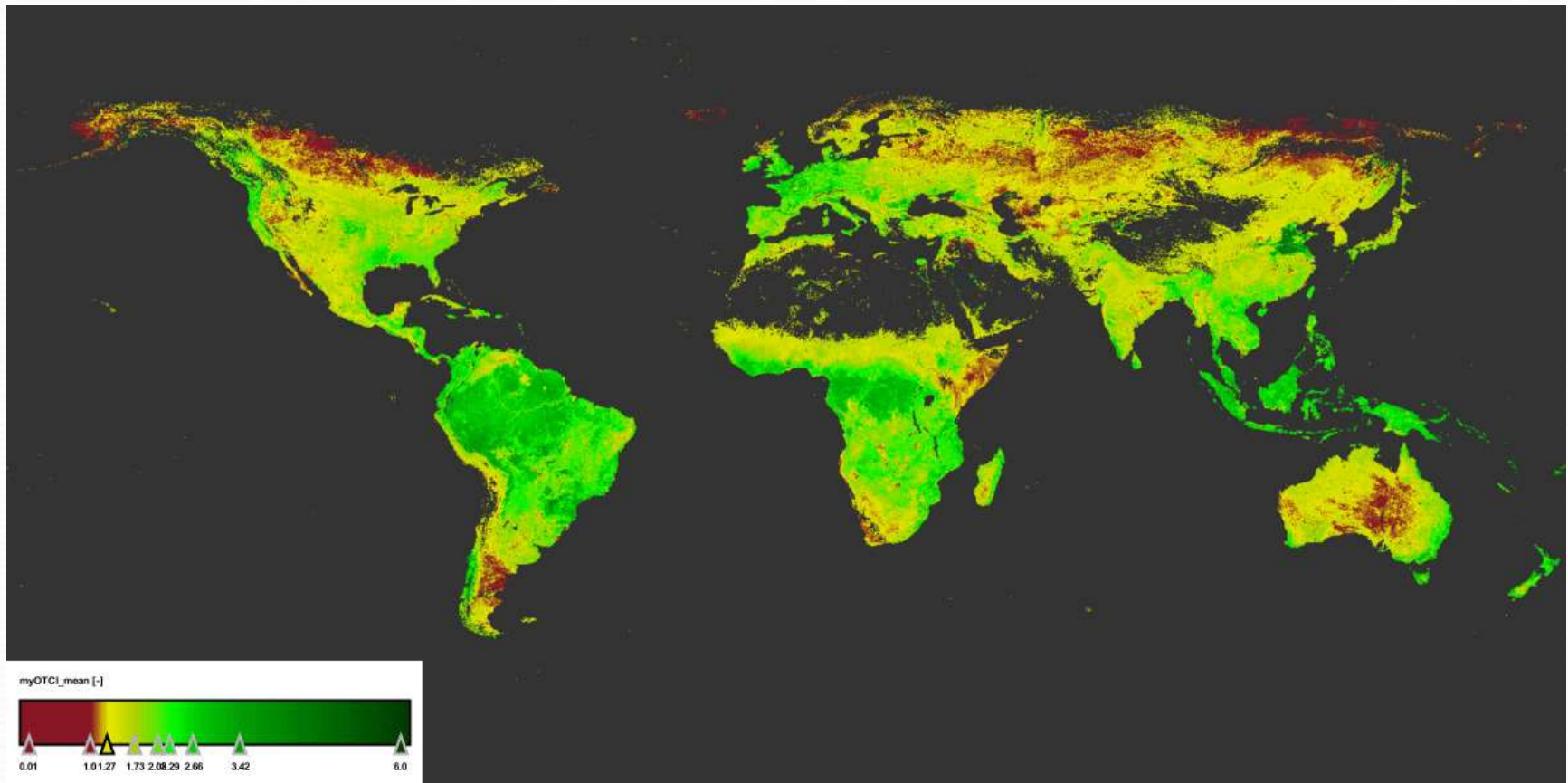
FIR (far infrared) - vzdálené infračervené spektrální pásmo s vlnovými délkami cca 5000 - 100 000 nm

# Ukázkové snímky ze Sentinelu 3



[http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2017/08/Hurricane\\_Harvey](http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2017/08/Hurricane_Harvey)

# Nárůst chlorofylu – jaro 2017



[http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2017/07/Sentinel-3A\\_sees\\_the\\_effects\\_of\\_spring](http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2017/07/Sentinel-3A_sees_the_effects_of_spring)



# Sentinel 4

- Příklad na družici MTG (Meteosat třetí generace), odhad startu 2017, sledování kvality ovzduší a látek v atmosféře (aerosoly, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>)



Charakteristika senzoru UVN (Ultraviolet, Visible and Near-infrared Spectrometer)	
typ dat	optická
typ senzoru	multispektrální
počet spektrálních pásem	3 pásma (UV 305-400 nm, VIS 400-500 nm, NIR 750-775 nm)
prostorové rozlišení	8 km
záběr senzoru	Evropa a severní Afrika
možnost programování	NE
stereosnímky (interferometrie)	NE

VIS (visible) - viditelné záření, cca 380 - 720 nm

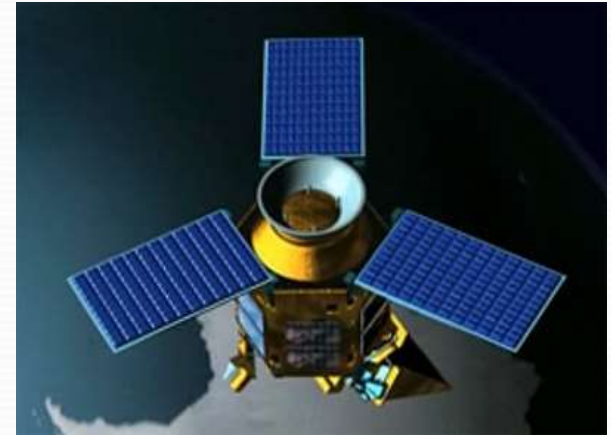
NIR (near infrared) - viditelné a blízké infračervené záření, cca 700 -1400 nm

UV (ultra violet) - ultrafialové záření

# Sentinel 5, 5P

- Zatím hudba budoucnosti, v plánu 2020, studium chemie atmosféry, tvorba klimatických modelů,
- senzor TROPOMI – překlenovací mise 5P (2017) – družice startuje 13.října

<http://blogs.esa.int/eolaunches/>



Charakteristika senzoru TROPOMI	
typ dat	optická
typ senzoru	multispektrální
počet spektrálních pásem	5 pásem (270-495 nm, 710-775 nm, 2314-2382 nm)
prostorové rozlišení	7x7 km
záběr senzoru	-
možnost programování	NE
stereosnímky (interferometrie)	NE

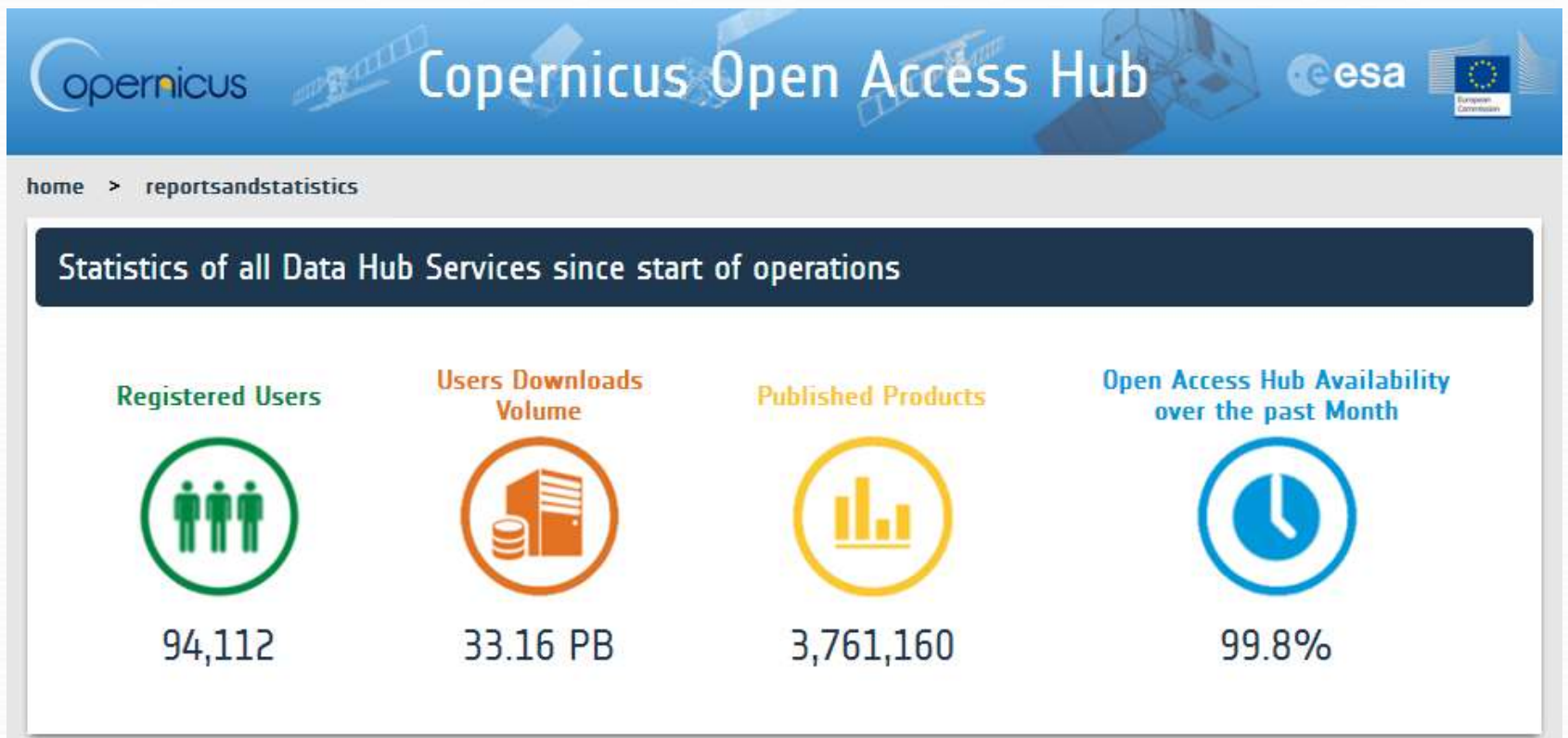
# Přístup k datům

- Data z družic Sentinel bezplatná po jednoduché registraci na portále ESA
- <https://scihub.copernicus.eu/>
- Přístup k ostatním datům na:  
<https://copernicusdata.esa.int/> nutné vyplnit protokolový formulář se zdůvodněním a počkat na schválení.
- Dostupné mise:  
<https://copernicusdata.esa.int/web/cscda/missions>



# Copernicus Open Access Hub

- volný přístup k datům Sentinel 1,2,3
- Open Hub, Api Hub, PreOps Hub
- registrace, user guide



# Softwarové nástroje

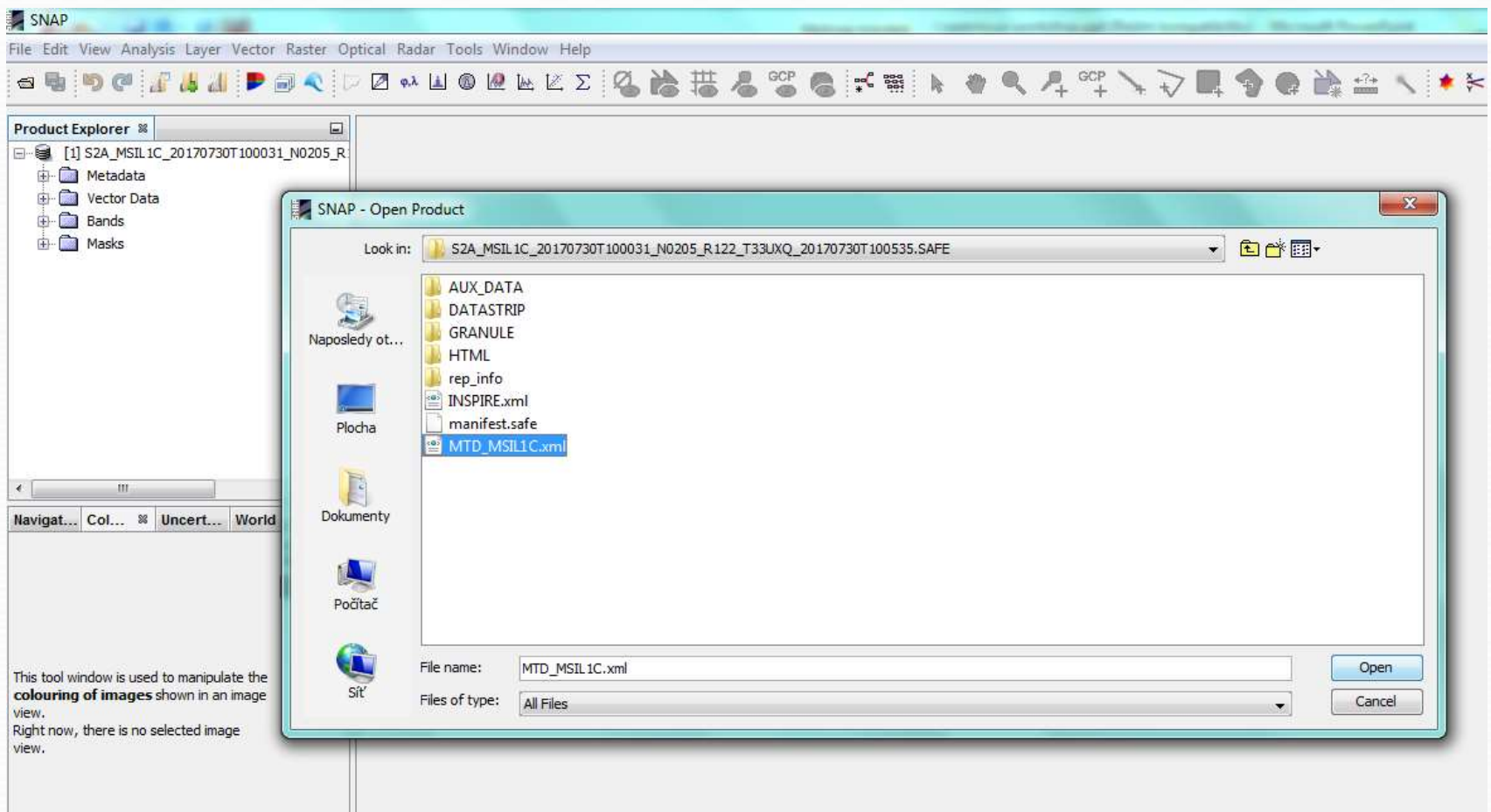
- ESA vyvíjí několik toolboxů pro zpracování dat z jejich misí – STEP - Scientific Toolbox Exploitation Platform
- Nejdříve Toolboxy na jednotlivé Sentinelové mise i některé příspěvatelské, souhrnný SNAP
- <http://step.esa.int/main/>
  - popis a stažení softwarů, pluginů, zdrojových kódů
  - dokumentace
  - tutoriály
  - komunitní fórum
  - galerie výsledků

# SNAP 5.0.0 (s S1TBX, S2TBX, S3TBX)

- podporuje širokou škálu dat z různých senzorů (Import)
- nástroje mohou být spouštěny z příkazové řádky, ale jsou též integrovány v grafickém rozhraní
- souhrn nástrojů na zpracování, čtení a zapisování, vizualizaci a analýzu , statistiku,
- obsahuje nástroje pro práci s radarovými, optickými, vektorovými daty, předpřipravené algoritmy (spektrální indexy NDVI, NDWI, SAVI aj.)
- open source - GNU public license – zdrojový kód v Javě
- podporované OS: MS Windows XP, Vista, 7 a 8, Linux, Mac OS X
- spíše vědecký software, nejsou zde implementovány „kartografické“ funkce pro tvorbu mapy = export a úprava v jiných programech

# Práce s daty S2 ve SNAPU

- stažení dat, rozbalení
- načtení přes metasoubor \*MSIL1C.xml, nebo import



- zobrazení – bands
- nástroje – product explorer, Navigation tool window, Image window, Pixel Info
- Colour Manipulation, RGB Image window
- Resampling
- Subset
- Optical – Thematic land processing – NDVI (NIR-8band, RED-4band)
- Raster – convert Geotiff

# Zdroje informací:

- <http://www.copernicus.eu/>
- <http://copernicus.gov.cz/>
- [http://www.esa.int/Our Activities/Observing the Earth](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth)
- [http://www.esa.int/Our Activities/Observing the Earth/How to get Earth observation data](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/How_to_get_Earth_observation_data)
- <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>
- <http://www.eea.europa.eu/>
- [Národní geoportál INSPIRE](#)



# Požadavky na ukončení předmětu

- Vypracovat seminární práci na téma Využití dat programu Copernicus ve vybrané aplikační oblasti
  - 10-12 min ústní prezentace v anglickém jazyce 15.12.
  - vypracování 5-6 stránkového elaborátu ve formě seminární práce (struktura, forma, obsah, zdroje, diskuse)
  - téma – možnost návrh vlastního využití ve vaší odborné činnosti nebo popsat existující řešení
  - <http://www.copernicus-masters.com/prize/university-challenge/>