

Evropský satelitní program Copernicus



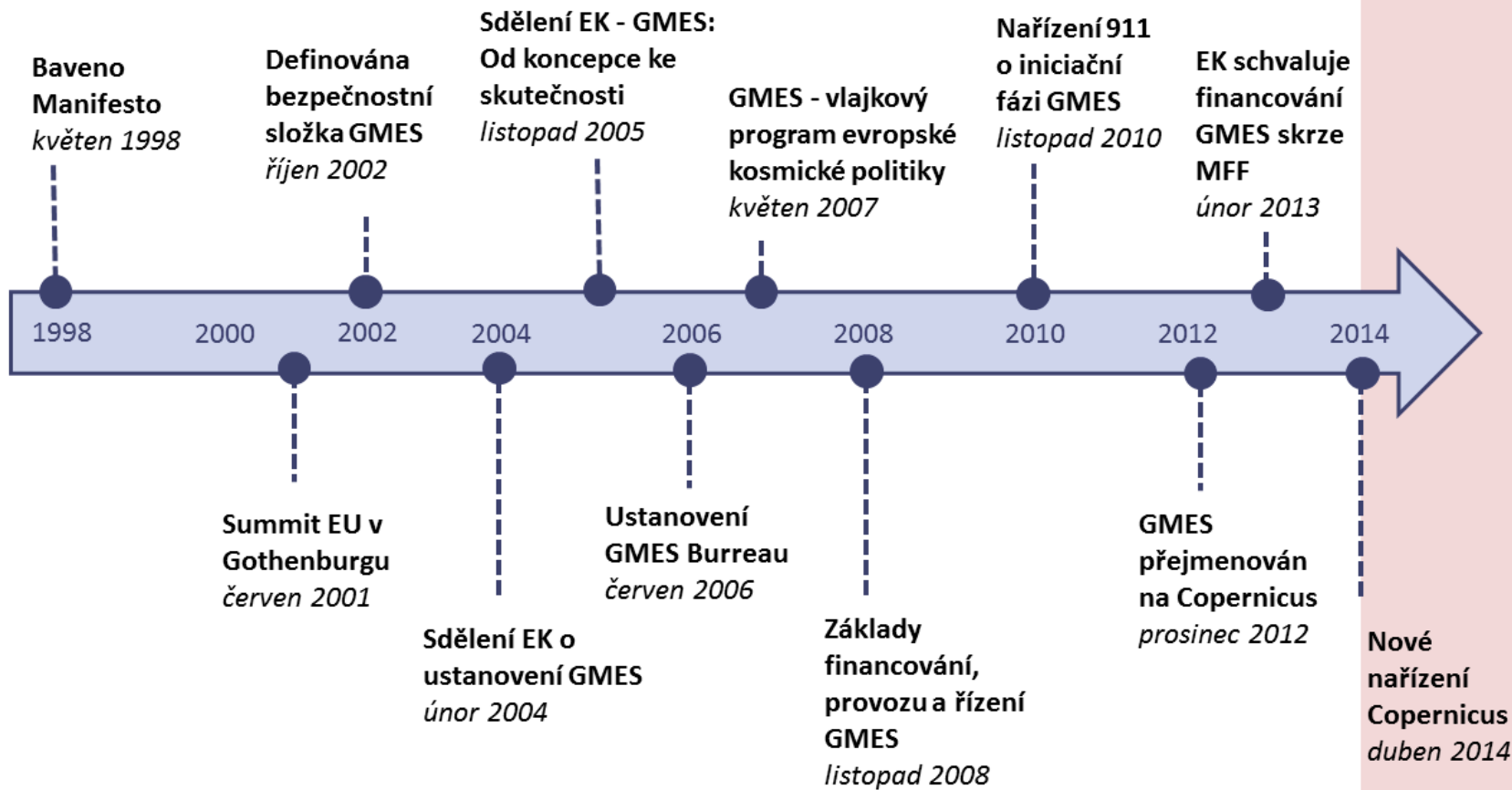
Program Copernicus (GMES)

- 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
- únor 2014 přístup České republiky

Vývoj GMES/Copernicus v EU



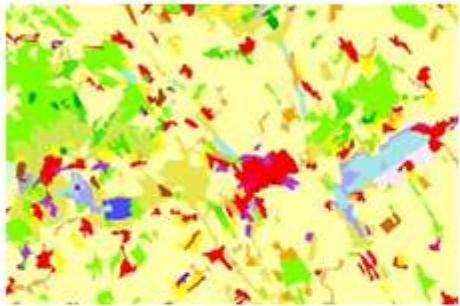
O
P
E
R
A
Č
N
Í

F
Á
Z
E

C
O
P
E
R
N
I
C
U
S

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:
 - **Území (Copernicus Land Monitoring Service - CLMS)**
 - **Mořské prostředí (Marine Monitoring)**
 - **Atmosféra (Atmosphere Monitoring)**
 - **Krizové řízení (Emergency Management)**
 - **Bezpečnost (Security)**
 - **Změna klimatu (Climate Change)**
- V operační fázi jsou v současnosti všechny služby – ve vývojové fázi je poslední část služeb Změny klimatu.

SERVICES IMPLEMENTATION SCHEDULE



Legend: Delegation agreement Direct Management Operational phase

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/>

https://www.youtube.com/watch?time_continue=10&v=wHg5RBPg5Jc

Globální komponenta

- vybrané biofyzikální indikátory globálního rozsahu, které popisují stav vegetace, energetické bilance, vody
- <http://land.copernicus.eu/global/>
- Global Land Services Data Portal
<https://land.copernicus.vgt.vito.be/PDF/portal/Application.html#Home>
- náhledy, pro stažení potřeba registrace
- Videotutorial:
https://land.copernicus.vgt.vito.be/PDF/image/faq_help/Help.html#INSTRUCTION%20MOVIE

Panevropská komponenta

- celoevropské měřítko
- krajinný pokryv Corine Land Cover, mapy 1:100 000 (44 tříd typu území), bežešvá data lze stáhnout lze stáhnout z EEA, pokrývá roky 1990, 2000, 2006, 2012, 2018 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>

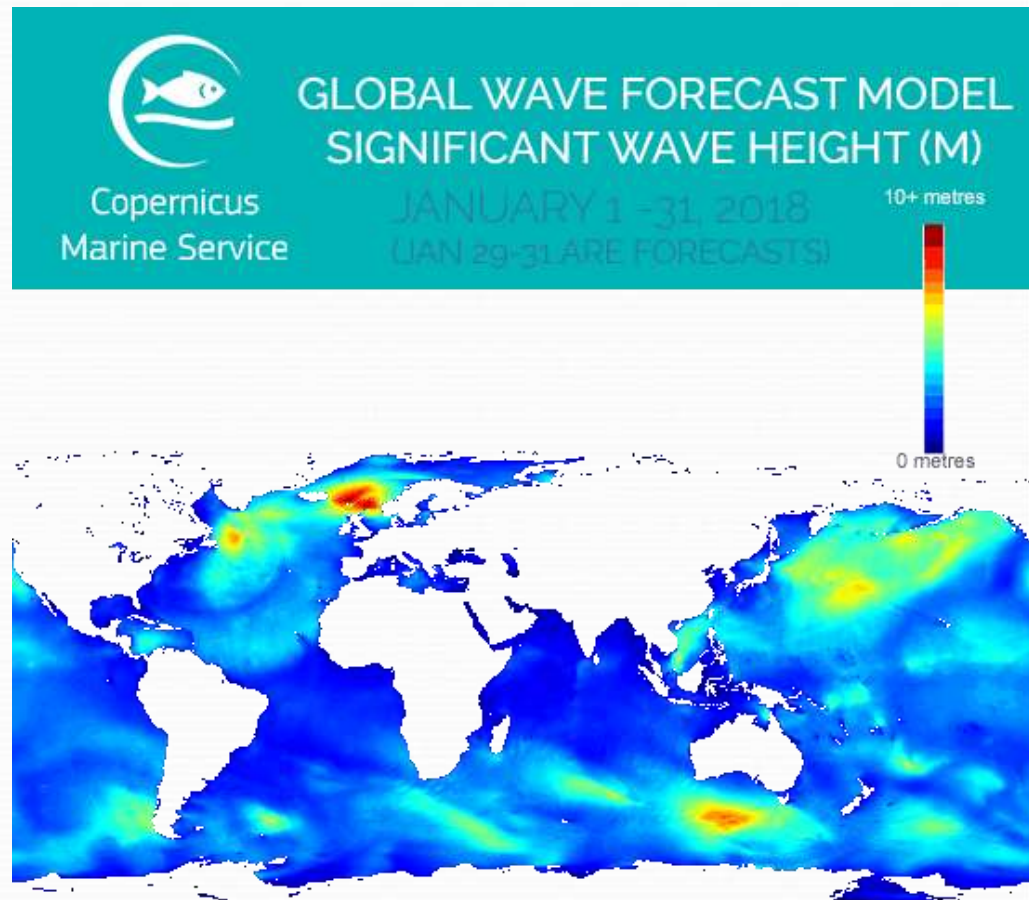
Lokální komponenta

- 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.

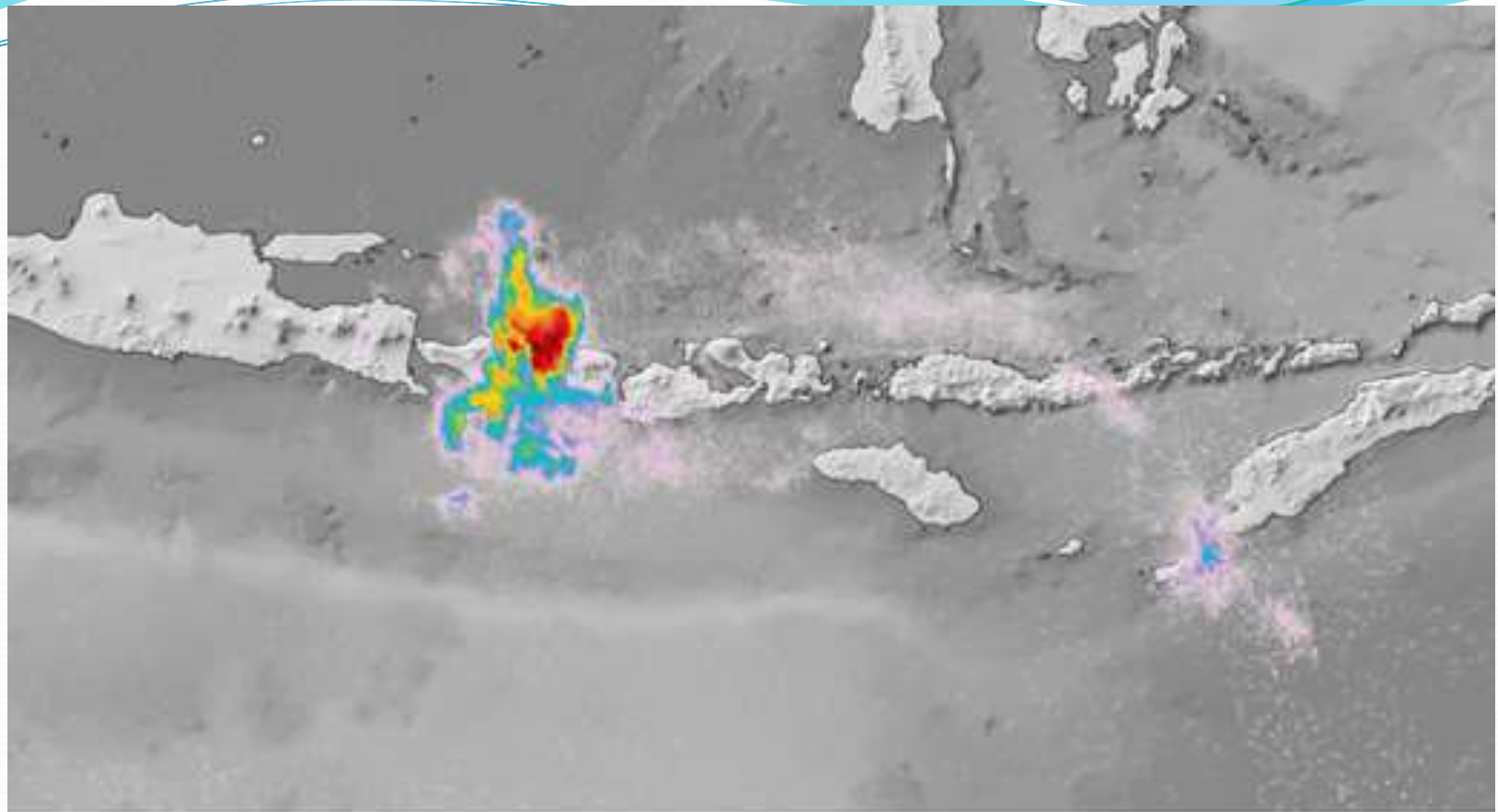


<http://marine.copernicus.eu>

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
- služba týkající se atmosféry je spravována ECMWF (Evropským centrem pro střednědobé předpovědi počasí)
- 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/>



Sopečný prach (obsah SO₂) nacházející se nad sopkou Agung (Bali), 2018 (převzato z: ESA, 2018_3)

Krizové řízení (EMS)

- 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>
 1. mapovací část
 2. včasná výstraha

1. Mapovací část

- Celosvětové pokrytí
- slouží ve všech fázích krizového řízení – příprava, prevence, snížení rizika katastrofy, reakce na události, obnova
- mapy vytvořené na podkladě satelitních snímků
 - a) Urgentní režim bezprostředně po události
 - b) Podpůrný režim

<https://emergency.copernicus.eu/mapping/#zoom=2&lat=-17.23039&lon=84.215&layers=00BoT>

aktivační režim – povodně v Čechách 2013

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

2. Včasná výstraha

- 3 části :
 - EFAS - Evropský systém varování před povodněmi
 - EFFIS - Evropský informační systém pro lesní požáry
 - EDO - Evropský výzkum sucha
- zahrnuje i globální projekty GloFAS, GWIS, GDO



Ukázka prognózy nebezpečí požáru z 1. září 2018 (převzato z: EFFIS, 2017_2)

Bezpečnost

- <https://www.copernicus.eu/en/services/security>
- 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
- <https://frontex.europa.eu/>

námořní dohled

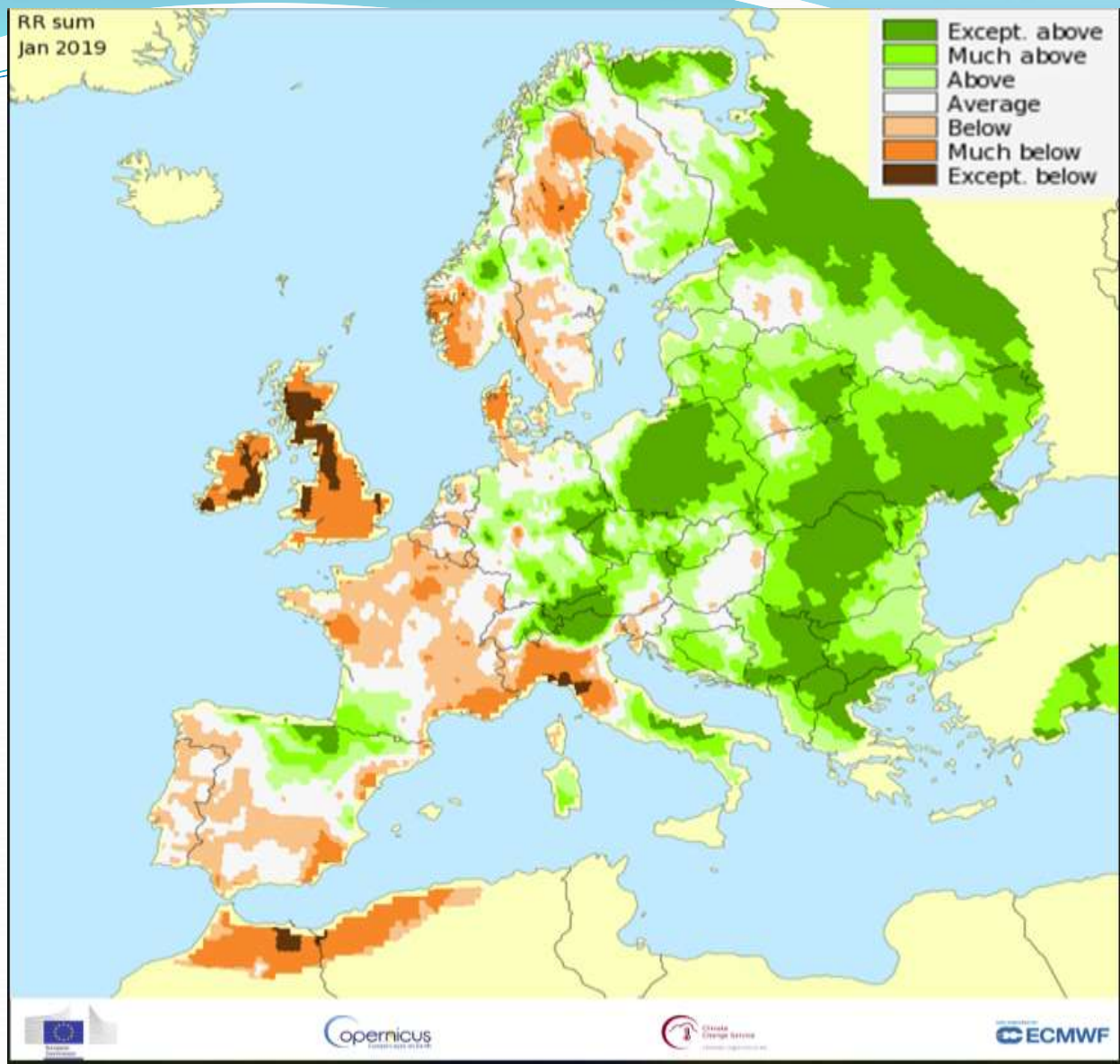
<https://www.youtube.com/watch?v=egPmlUrEuXQ&feature=youtu.be>

Změna klimatu

- C3S (Copernicus Climate Change Services) je služba, která reaguje na environmentální a společenské výzvy spojené se změnou klimatu způsobenou antropogenní činností
- poskytování dat o několika klimatických ukazatelích (zvyšování teploty, nárůst výšky hladiny moře, tání ledovců a zahřívání oceánů) a klimatických indexech založených hlavně na teplotě, srážkách a informacích o suchu
- **Klimatický datový sklad (Climate data store)**

<https://cds.climate.copernicus.eu/#!/home>

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



Celkové srážky v měsíci lednu v roce 2019 oproti normálu (převzato z: Climate, 2019_2)

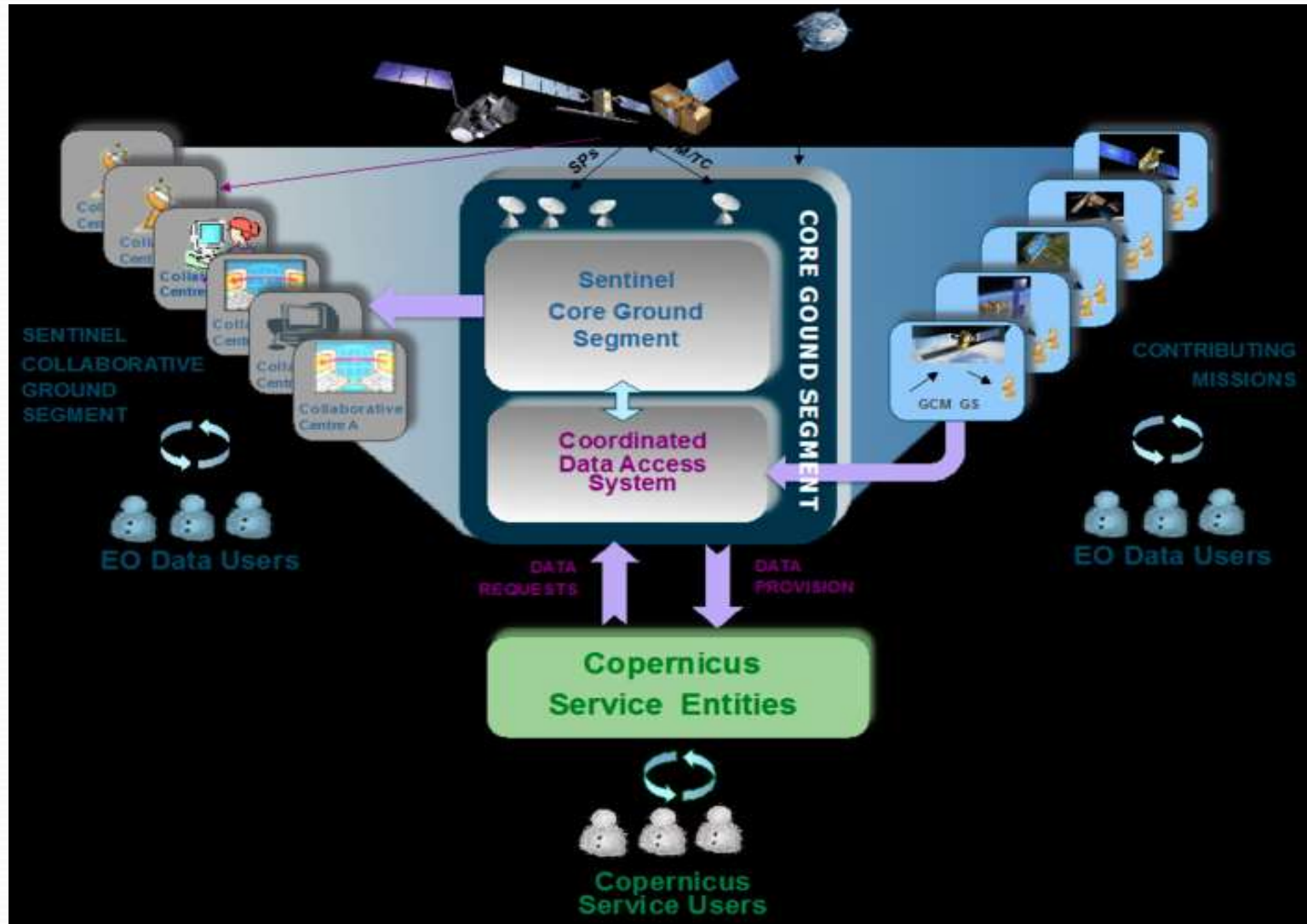
In situ komponenta Copernicus

- 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/>

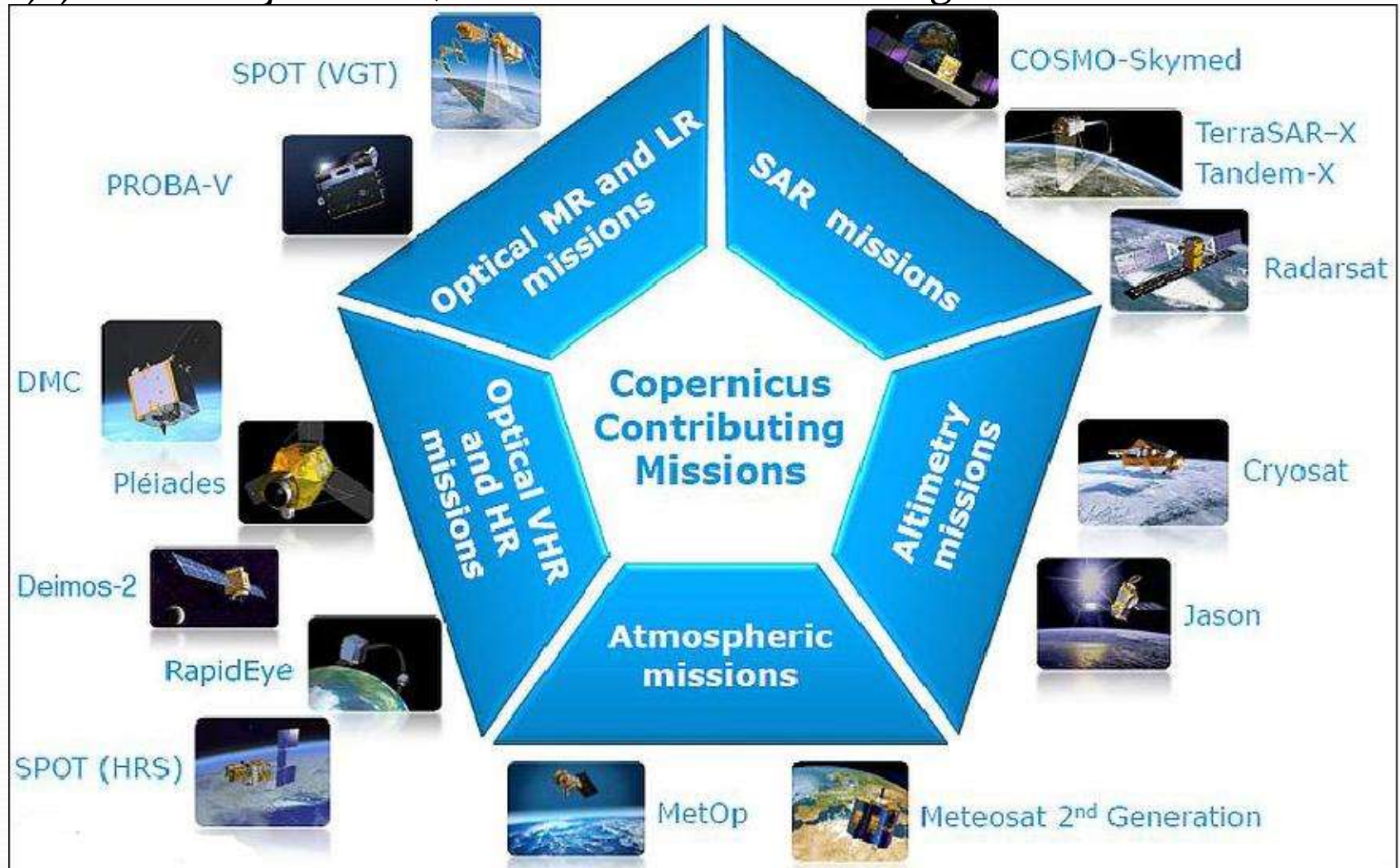
Kosmická komponenta – pozemní segment

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



Přispěvatelské mise

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



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:

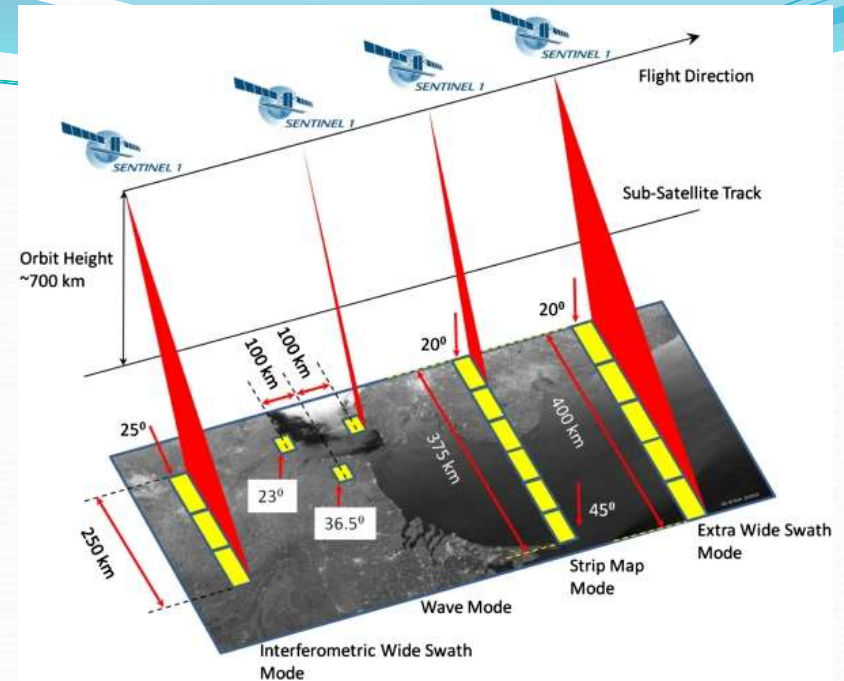
<https://scihub.copernicus.eu/>

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

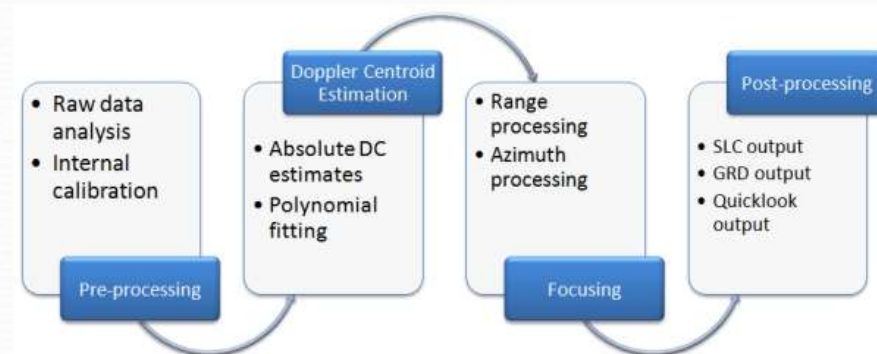
Sentinel-1

- 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

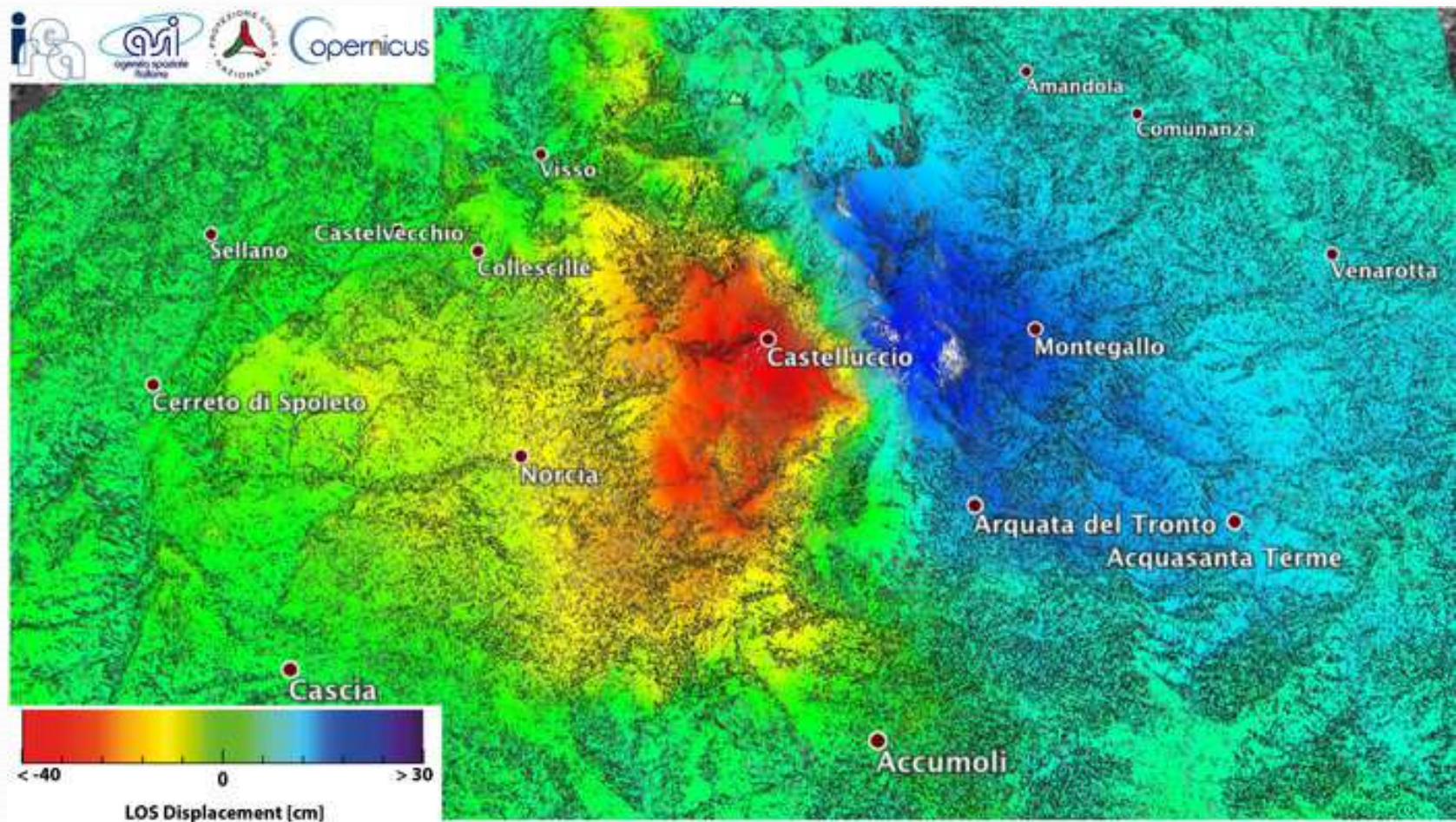
High resolution Level-1 GRD

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

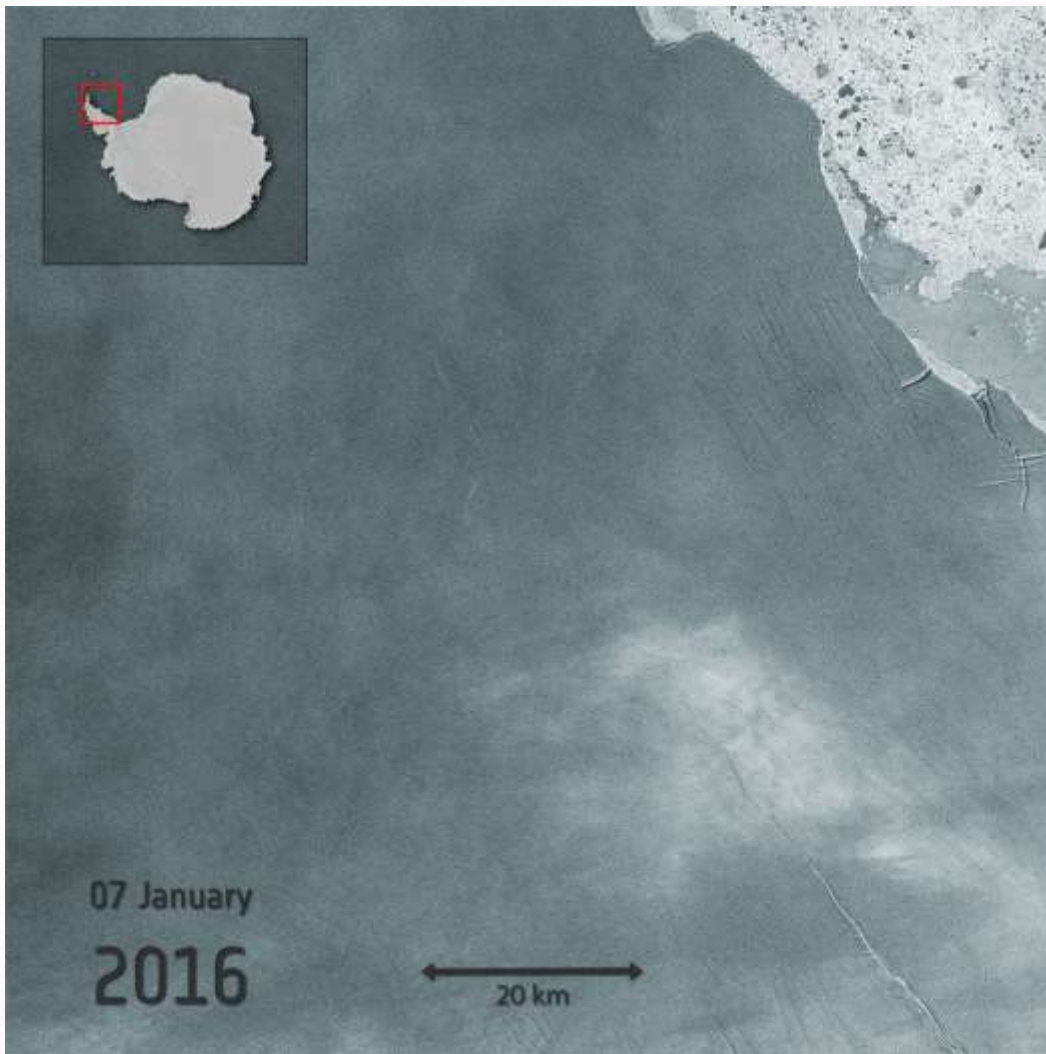


Vertikální posuny při zemětřesení v Itálii 2016 (26.10. a 1.11)

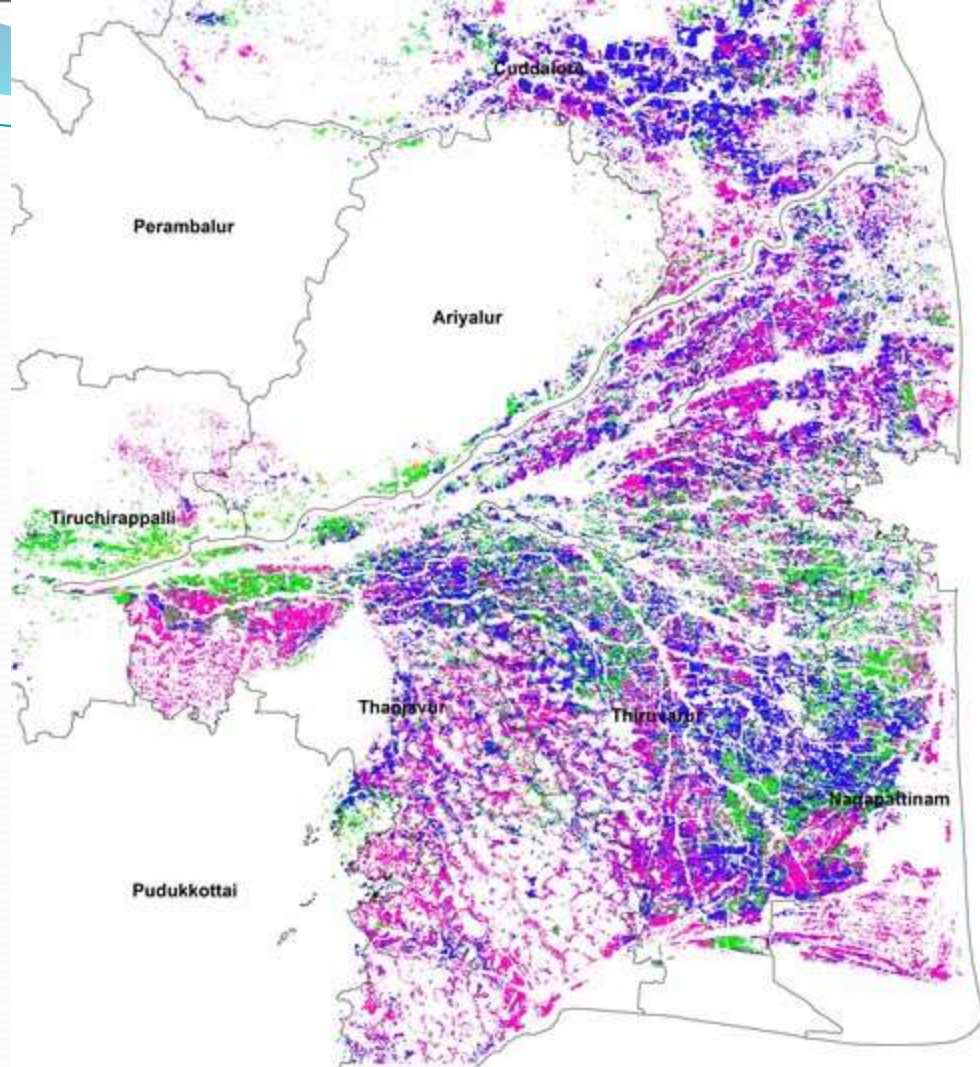
http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2016/11/Mapping_Italy_s_30_October_2016_earthquake

30_October_2016_earthquake

Odlomení ledovce Larsen - C



Sklizeň rýže v Indii



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



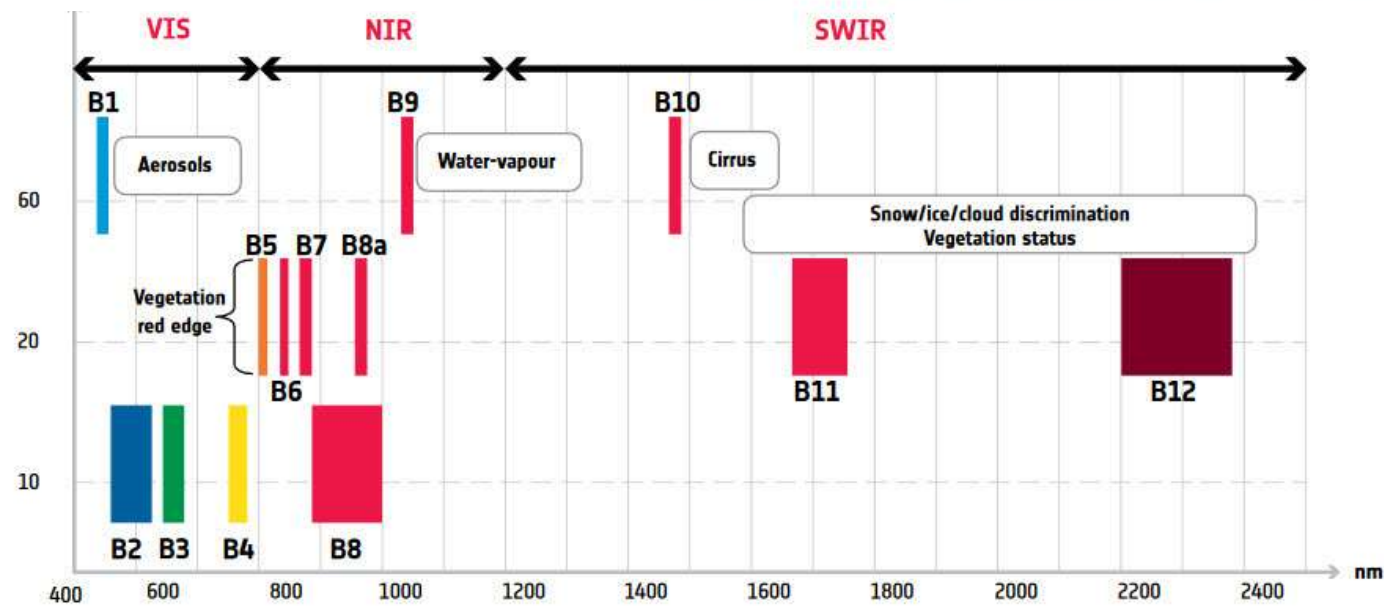
Charakteristika senzoru MSI (Multi Spectral Instrument)	
typ dat	optická
typ senzoru	multispektrální
počet spektrálních pásem	13 (10 VNIR, 3 SWIR), 443–2190 nm
prostorové rozlišení	10, 20 a 60 m
záběr senzoru	290 km
možnost programování	ANO
stereosnímky (interferometrie)	NE

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

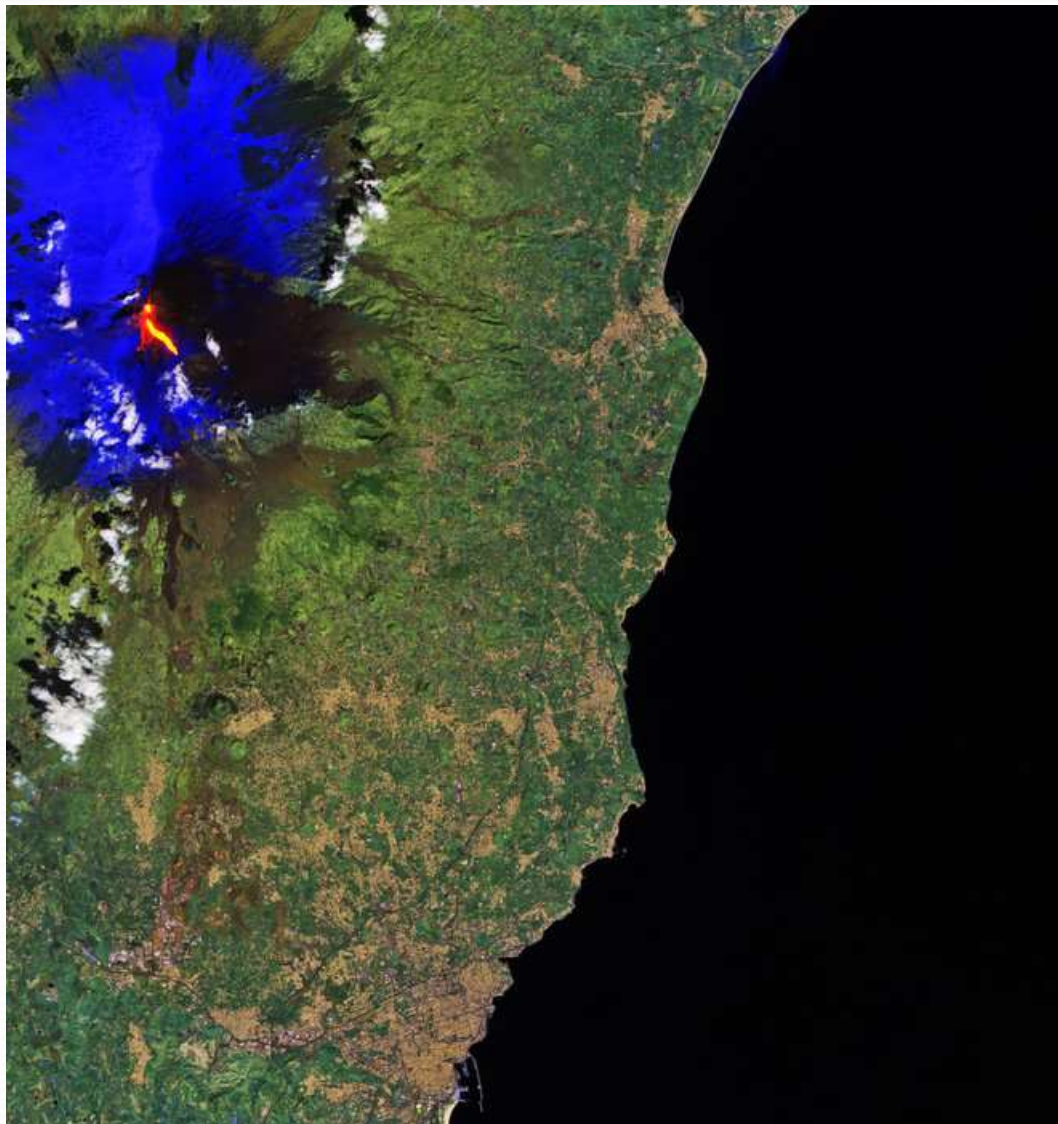
Sentinel-2 Bands	Central Wavelength (µm)	Resolution (m)
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - 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



↑ 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/spaceimages/Images/2017/03/Etna_erupts

Monitoring zemědělství Španělsko



http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2016/12/Agricultural_monitoring_in_Spain

Mapa pokryvu Chiapas Mexiko



http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2016/11/Chiapas_forest_land-cover_map

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 2/2017



	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			

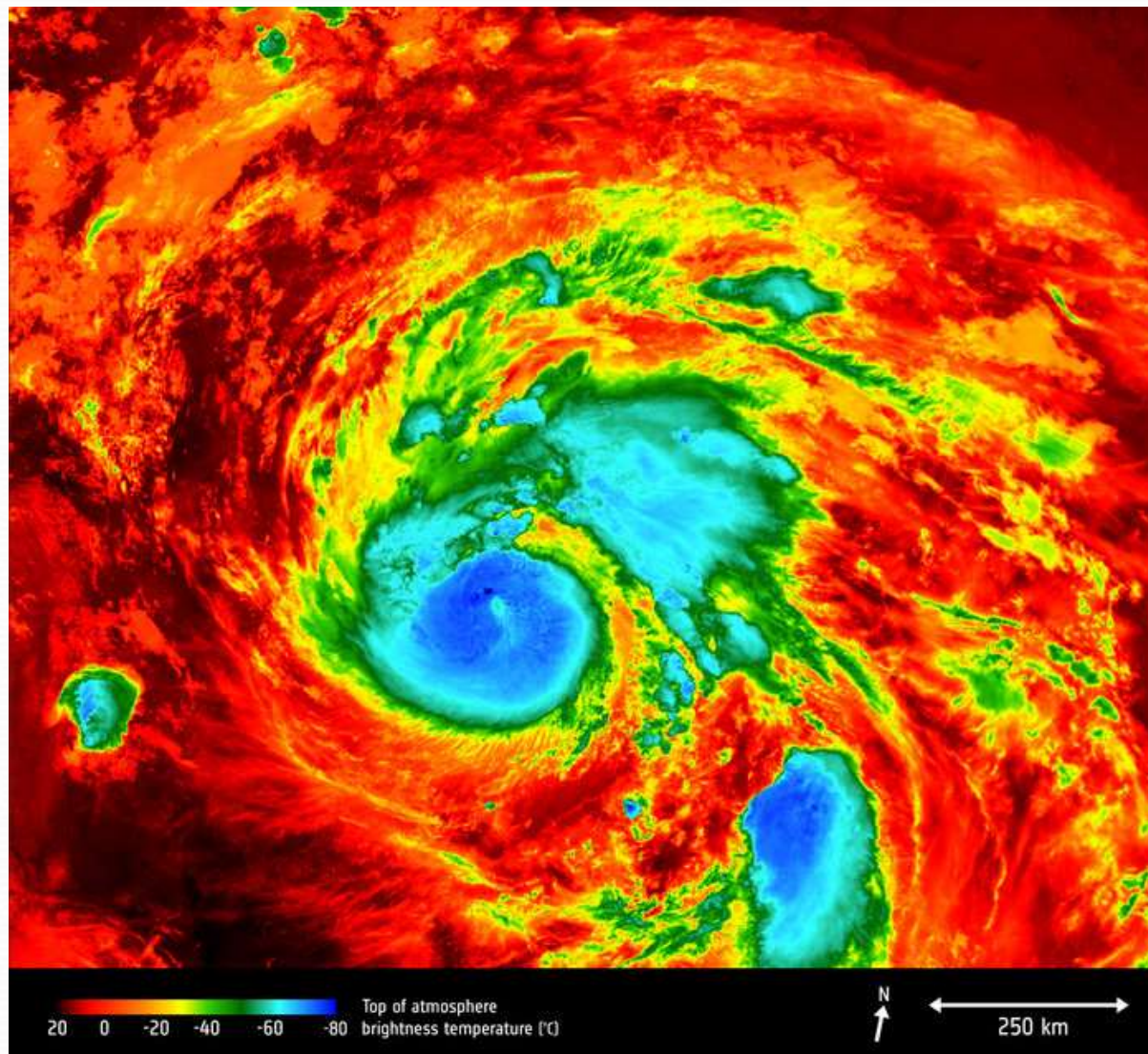
VIS (visible) - viditelné záření, cca 380 - 720 nm

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

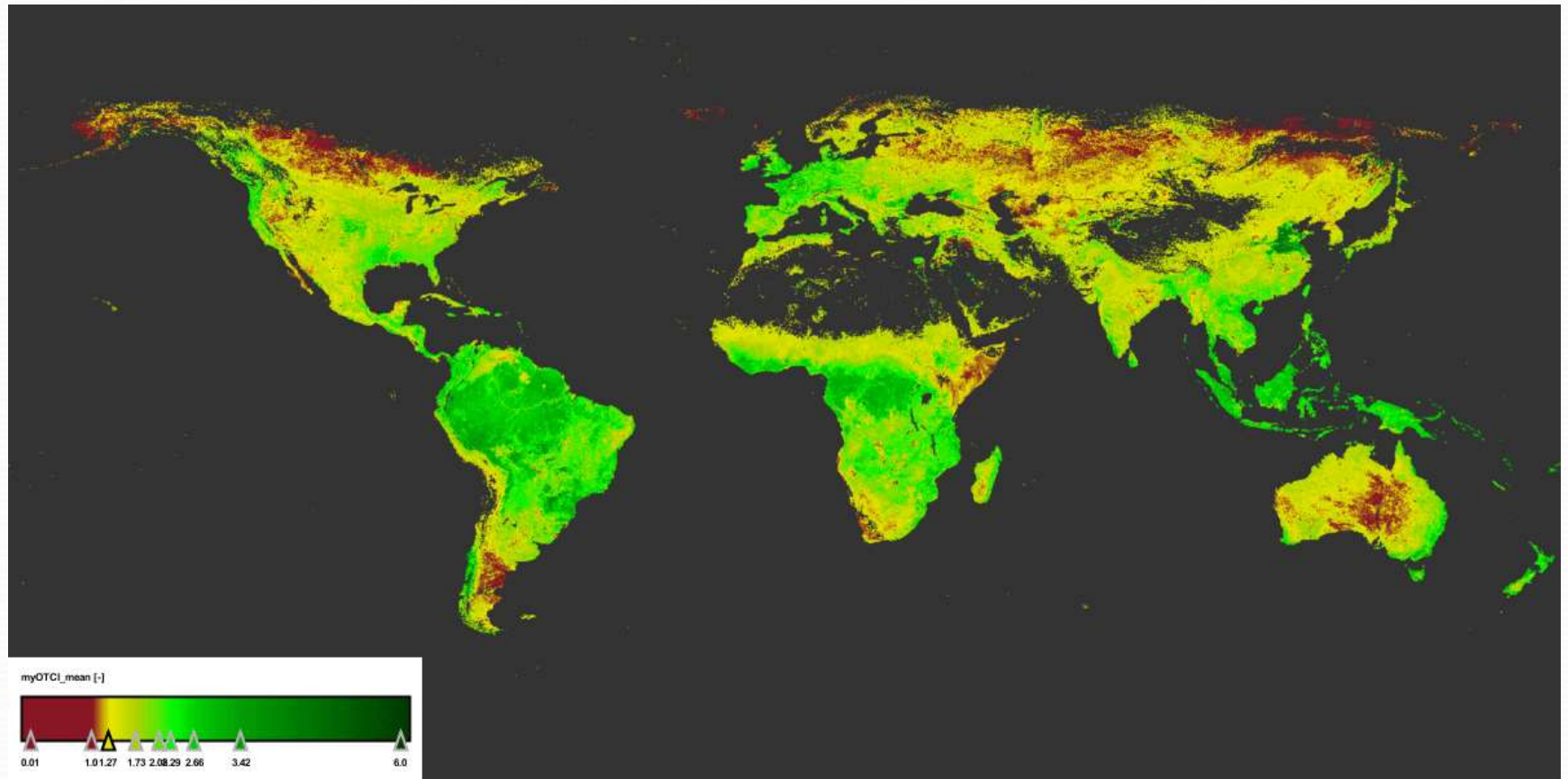
FIR (far infrared) - vzdálené infračervené spektrální pásmo s vlnovými délkami cca 5000 - 100 000 nm

Ukázkové snímky ze Sentinelu 3



http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2017/08/Hurricane_Harvey

Nárůst chlorofylu – jaro 2017



http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2017/07/Sentinel-3A_sees_the_effects_of_spring

Sentinel 4

- Přístroj na družici MTG (Meteosat třetí generace), odhad startu 2019, sledování kvality ovzduší a látek v atmosféře (aerosoly, O₃, NO₂)



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

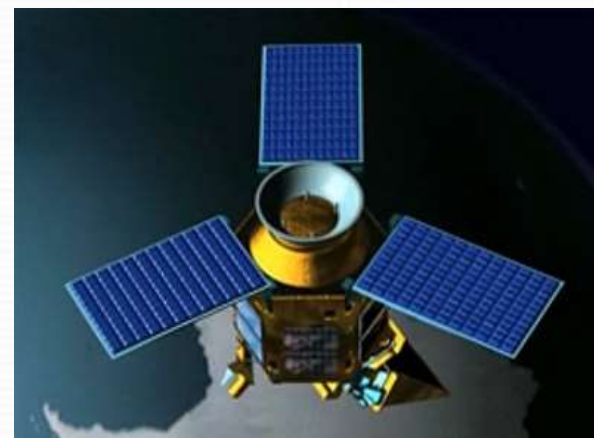
VIS (visible) - viditelné záření, cca 380 - 720 nm

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)
<http://blogs.esa.int/eolaunches/>
- množství ozónu, oxidu dusičitého, oxidu uhelnatého a informace o aerosolech



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://www.copernicus.eu/en/access-data>
- Dostupné příspěvatelské mise (CSCDA portal):
<https://spacedata.copernicus.eu/web/cscda/home>
- služby DIAS (zrcadlení dat z Copernica přes „cloud-based“ platformy)
- <https://www.copernicus.eu/en/access-data/dias>

Copernicus Open Access Hub

- volný přístup k datům Sentinel 1,2,3
- Open Hub, Api Hub, PreOps Hub
- registrace, user guide
- statistika přístupů říjen 2019

Statistics of all Data Hub Services since start of operations

Registered Users



260,083

Users Downloads Volume



175.33 PB

Published Products



20,302,017

Open Access Hub Availability over the past Month



99.6%

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 7.0.0 (s S1TBX, S2TBX, S3TBX)

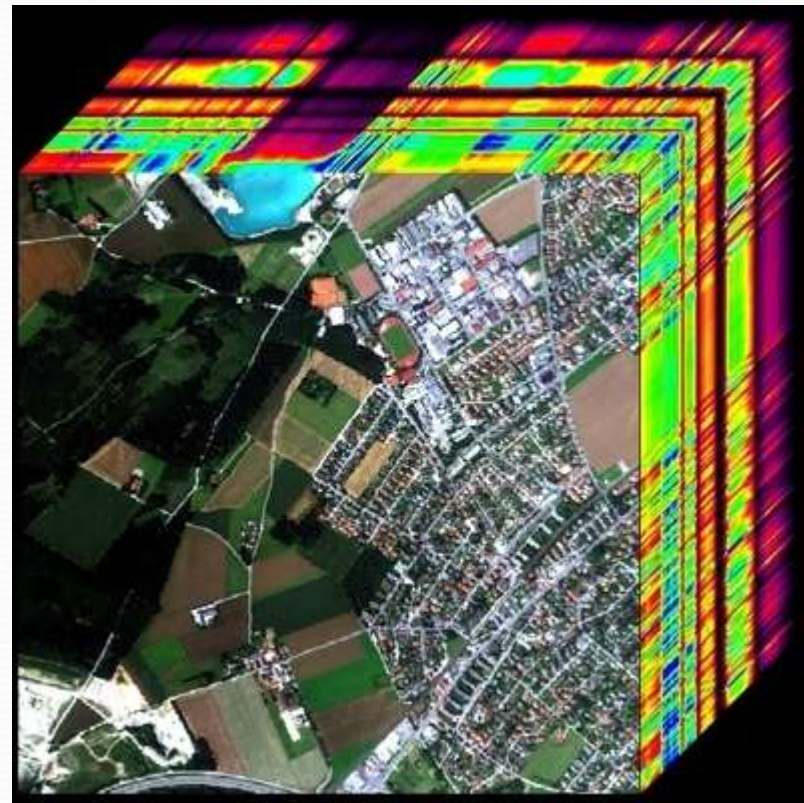
- podporuje širokou škálu dat z různých senzorů (Import)
- nástroje mohou být spouštěny z příkazové řádky, ale jsou též integrovány v grafickém rozhraní
- souhrn nástrojů na zpracování, čtení a zapisování, vizualizaci a analýzu , statistiku,
- obsahuje nástroje pro práci s radarovými, optickými, vektorovými daty, předpřipravené algoritmy (spektrální indexy NDVI, NDWI, SAVI aj.)
- open source - GNU public license – zdrojový kód v Javě
- podporované OS: Vista, Win 7, 8,10 Linux, Mac OS X
- spíše vědecký software, nejsou zde implementovány „kartografické“ funkce pro tvorbu mapy = export a úprava v jiných programech

Evropská kosmická agentura

<https://earth.esa.int/web/guest/home>

Provozuje několik družicových systémů:

- ENVISAT
- ERS
- **PROBA**
- **Sentinel**
- Malé družice (94 kg) s hyperspektrálním skenerem CHRIS
- 17 m rozlišení, snímání v 62 pásmech
- Z pořízených snímků lze odvodit řadu biofyzikálních parametrů



NASA <http://earthobservatory.nasa.gov/>

GCMD <http://gcmd.gsfc.nasa.gov/>

Požadavky na ukončení předmětu

- Vypracovat seminární práci na téma Využití dat programu Copernicus ve vybrané aplikační oblasti
 - 10-12 min ústní prezentace v českém/anglickém jazyce leden 2020 dle dohody
 - vypracování 6-8 stránkového elaborátu ve formě seminární práce (struktura, forma, obsah, zdroje, diskuse)
 - téma – možnost návrh vlastního využití ve vaší odborné činnosti nebo popsat existující řešení
 - přihlásit se a úspěšně projít kursem radarového zpracování dat: <https://eo-college.org/landingpage/>
 - doložit zaslaným certifikátem

termín splnění 15.2. 2020