

Przyszłe europejskie misje satelitarne na potrzeby monitoringu składu chemicznego atmosfery

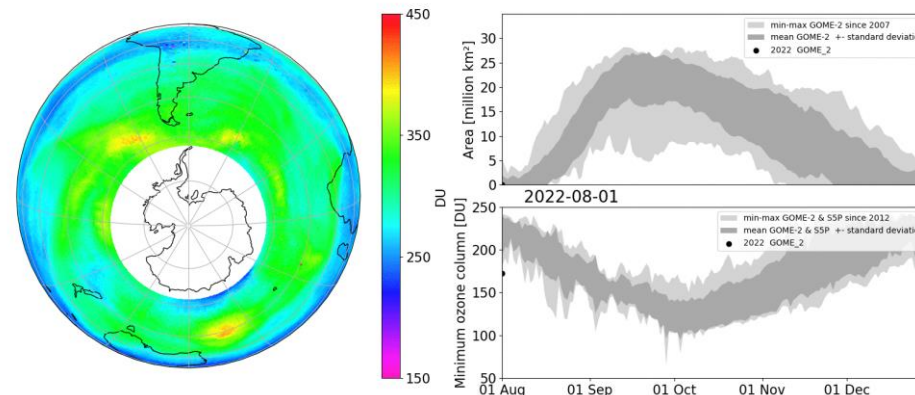
Bożena Łapeta
Zakład Teledetekcji Satelitarnej, IMGW-PIB



METEO
IMGW-PIB
meteo.imgw.pl

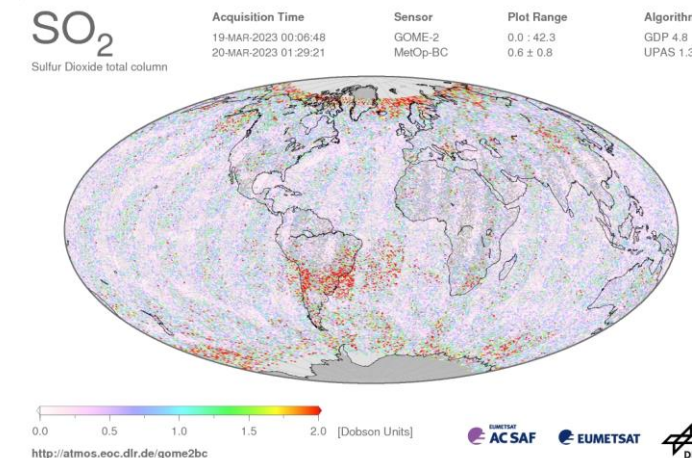
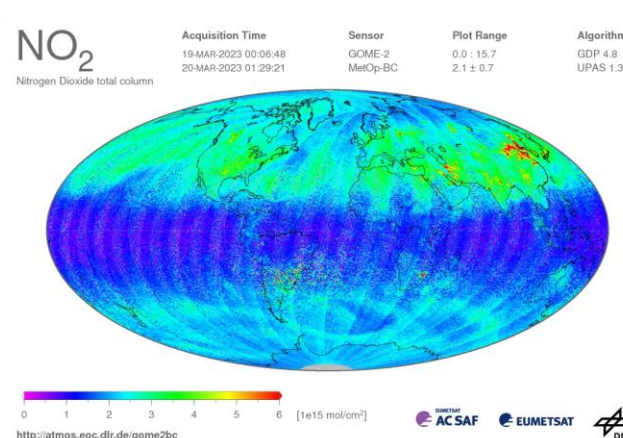
Przydatność danych satelitarnych w monitorowaniu składu chemicznego atmosfery została zademonstrowana już w latach 80. XX wieku, kiedy to dzięki nim wykryto dziurę ozonową nad biegunem południowym.

Od tego czasu na orbicie umieszczono kilka instrumentów satelitarnych (TOMS, IASI, GOME, OMI, SCIAMCHY, OMPS) w celu monitorowania atmosfery i zanieczyszczenia powietrza. Dane dostarczone przez te instrumenty zostały wykorzystane do monitorowania takich gazów śladowych jak ozon, NO_2 , CO, metan, SO_2 , formaldehyd i inne.



Dziura ozonowa nad Antarktydą 2022-2023

[https://https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/](https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/)

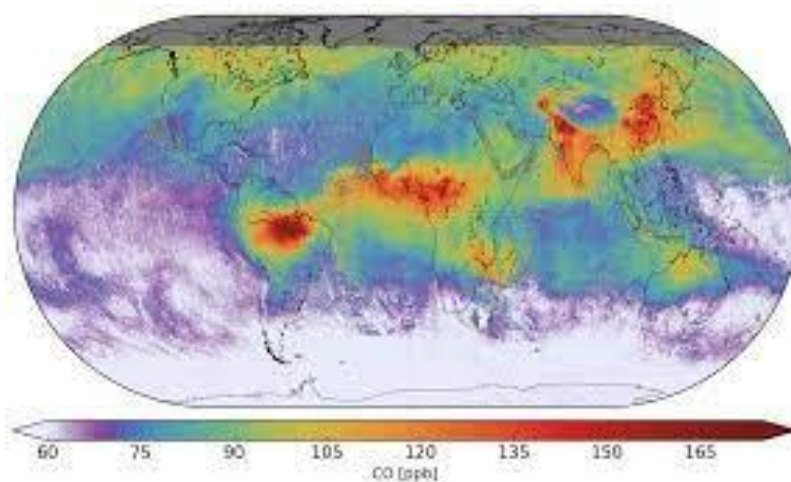


Zawartość NO_2 i SO_2 w kolumnie atmosfery z danych GOME (<https://acsaf.org>)

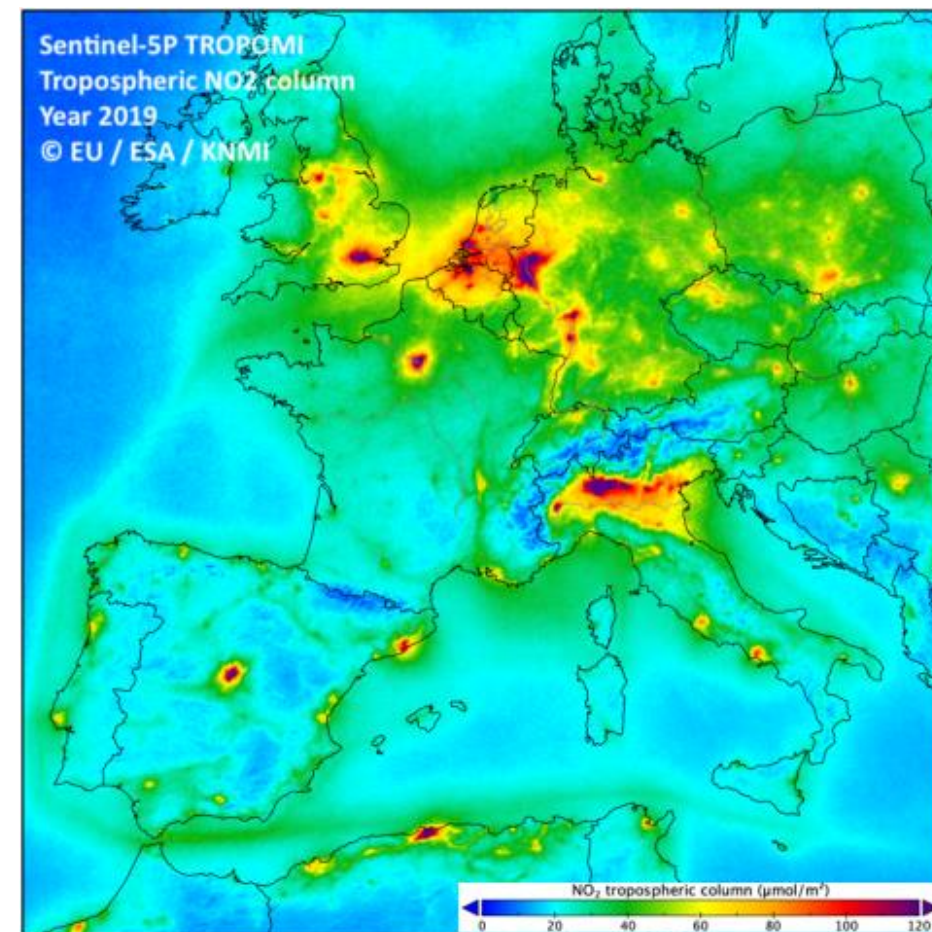
Nowe możliwości w monitorowaniu chemii atmosfery pojawiły się wraz z wystrzeleniem satelity Copernicus Sentinel-5P z instrumentem TROPOspheric Monitoring Instrument (TROPOMI).

Głównym celem tej misji jest wykonanie pomiarów z wysoką rozdzielczością przestrzenno-czasową, które zostaną wykorzystane do pozyskiwania informacji o jakości powietrza, ozonie i promieniowaniu UV oraz na potrzeby monitorowania i prognozowania zmiany klimatu.

Dane S-5P/TROPOMI są dostępne od 2018 r., a ich rozdzielczość przestrzenna w punkcie pod satelitarnym wzrosła z 3,5 km x 7 km do 3,5 km x 5,6 km od sierpnia 2019 r.



Przykładowy rozkład zawartości CO w kolumnie atmosfery wyznaczony z danych TROPOMI



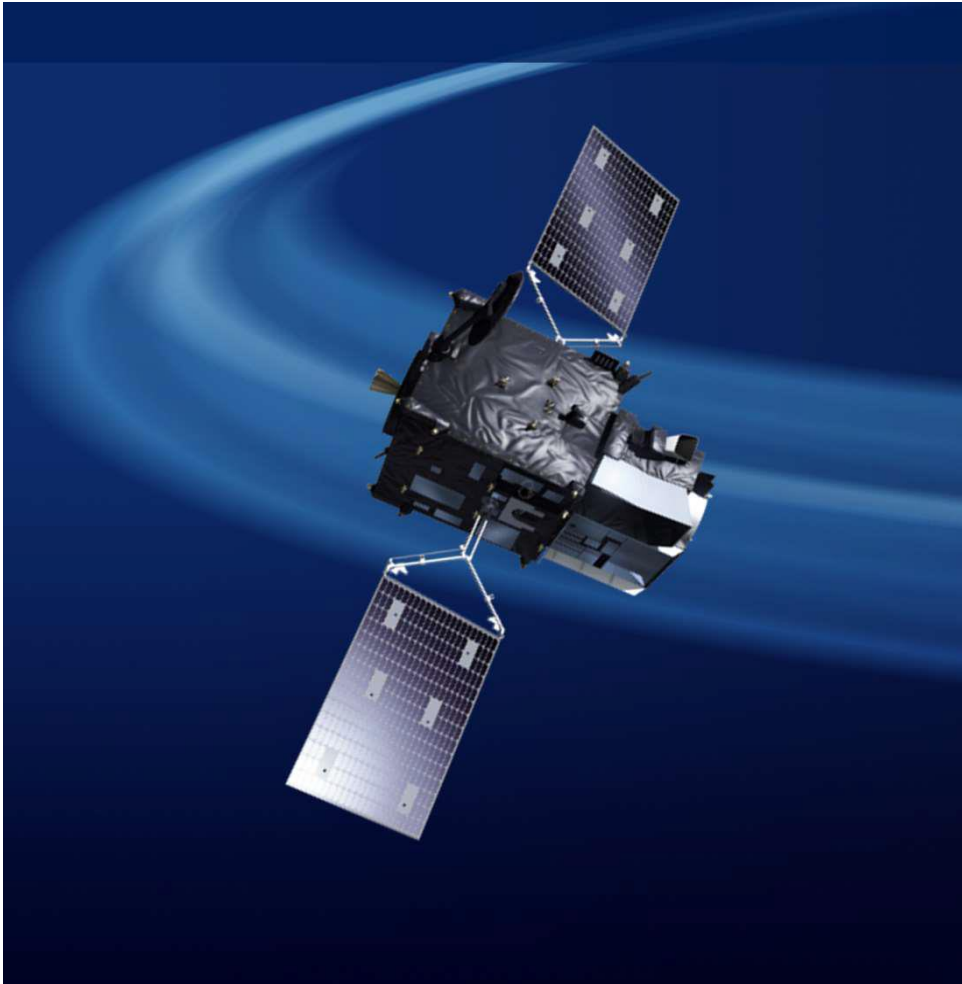
<http://www.tropomi.eu/>

W najbliższych latach na orbicie okołoziemskiej umieszczone zostaną europejskie satelity z czujnikami dedykowanymi monitorowaniu składu chemicznego atmosfery:

- Sentinel-4
- Sentinel-5
- Sentinel-CO₂M

Pojawią się również nowe generacje czujników meteorologicznych, z których będą mogły być pozyskiwane dane o składzie chemicznym atmosfery:

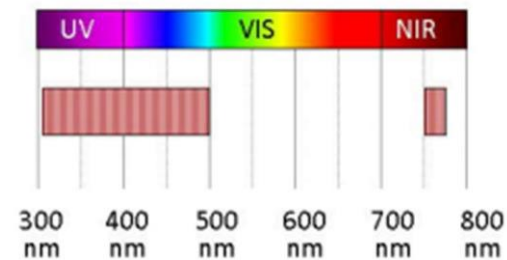
- IRS
- IASI-NG



- Czujnik hyperspektralny (IRS) do sondażu atmosfery,
- Copernicus Sentinel-4 (Ultraviolet Visible Near-infrared sounder, UVN)
- Okres eksploatacji misji: 2025-2045.

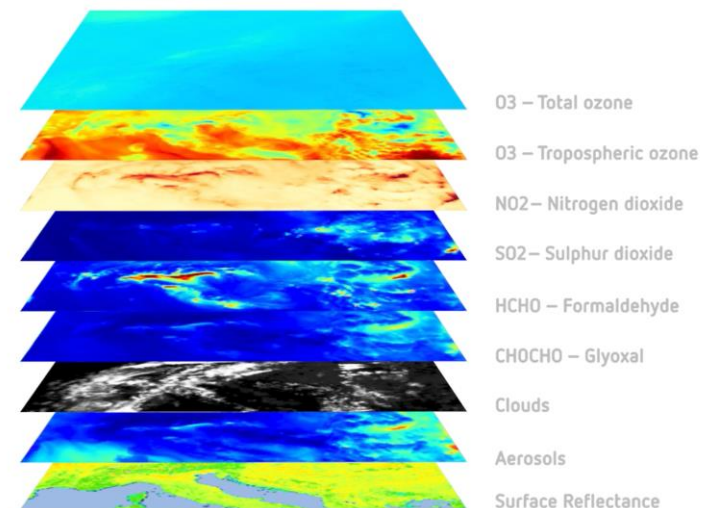
Źródło: EUMETSAT

➤ Pomiar promieniowania w krótkofalowej części widma UV, VIS i NIR.



➤ Ciągły monitoring składu chemicznego atmosfery.

➤ Główne produkty (O_3 , NO_2 , SO_2 , HCHO, głębokość optyczna aerozoli) dedykowane monitoringowi jakości powietrza.



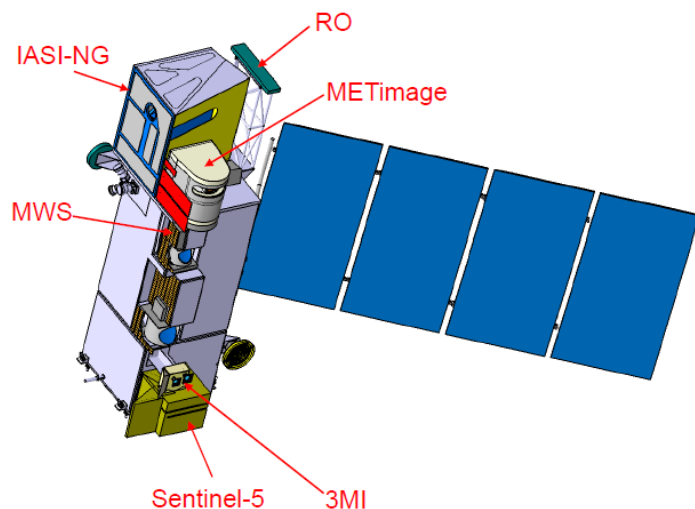
Układ dwóch satelitów: Metop-SG-A and –B, poruszających się na tej samej orbicie w odległości kątowej 90°

Cechy orbity:

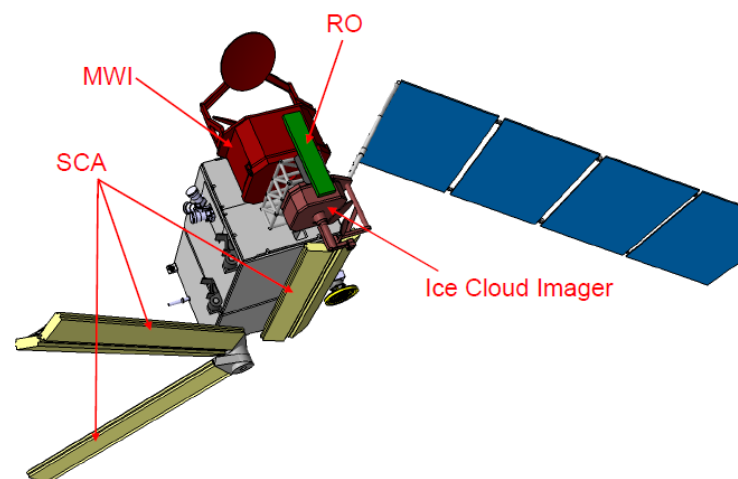
- zsynchronizowana ze Słońcem
- wysokość 835 km nad powierzchnią Ziemi
- czas węzła zstępującego 09:30 czasu lokalnego.

Pierwszy satelita EPS-SG-A1 zostanie umieszczony na orbicie w 2025 roku.

Metop-SG A



Metop-SG B

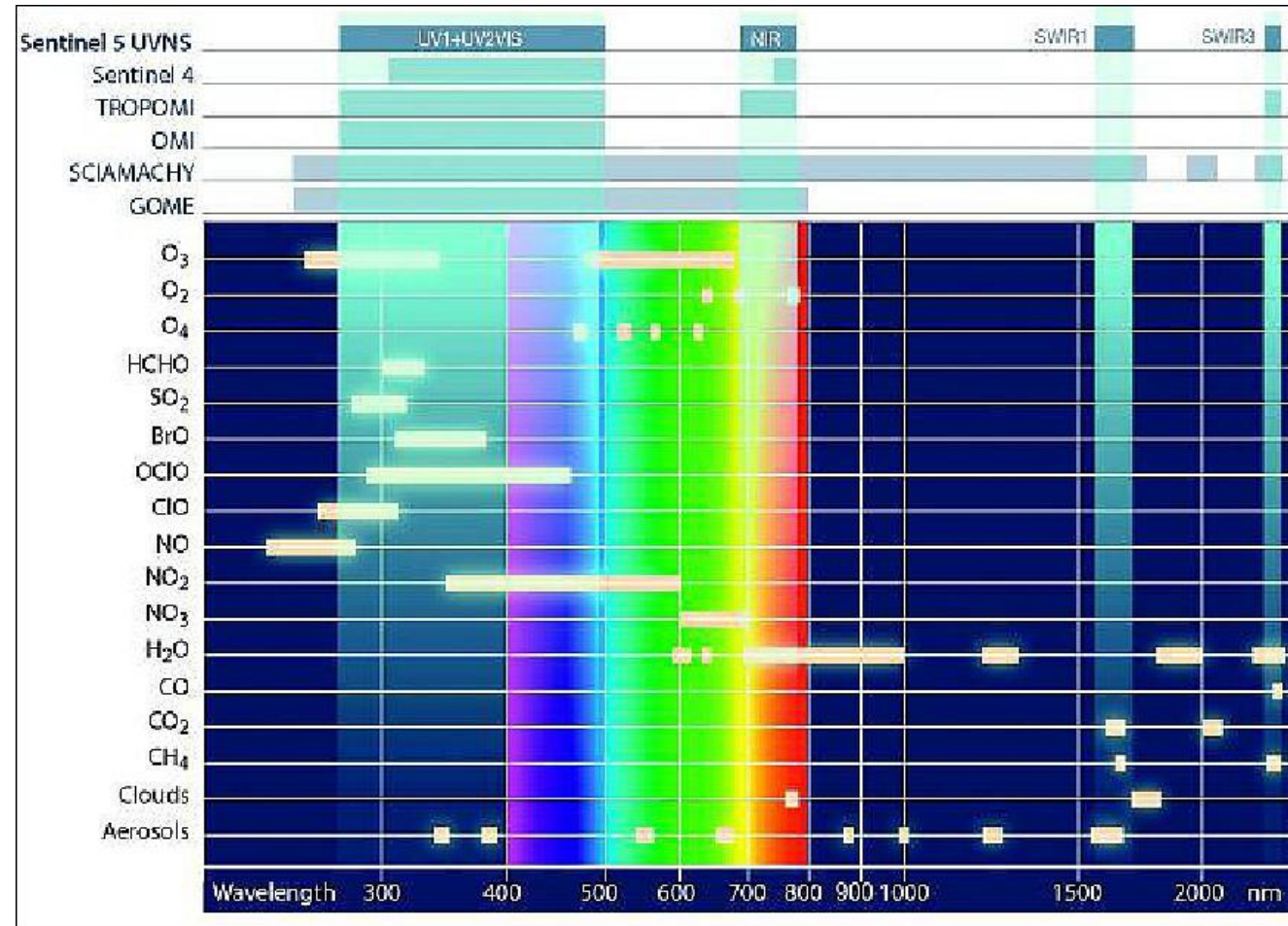


Misja Copernicus Sentinel-5 zapewni operacyjne monitorowanie stężeń gazów śladowych.

Instrument UVNS będzie się składał z 5 spektrometrów

mierzących promieniowanie w:

- ultrafiolecie 270–370 nm,
- paśmie widzialnym 370–500 nm,
- bliskiej podczerwieni 750–775 nm,
- krótkofalowej podczerwieni 1590-1675 nm i 2305-2385 nm.



Instrument jest pasywnym spektrometrem typu pushbroom.

Szerokość skanu: 2670 km.

Rozdzielczość przestrzenna:

- 50 km w UV,
- 7.5 km w pozostałych kanałach.

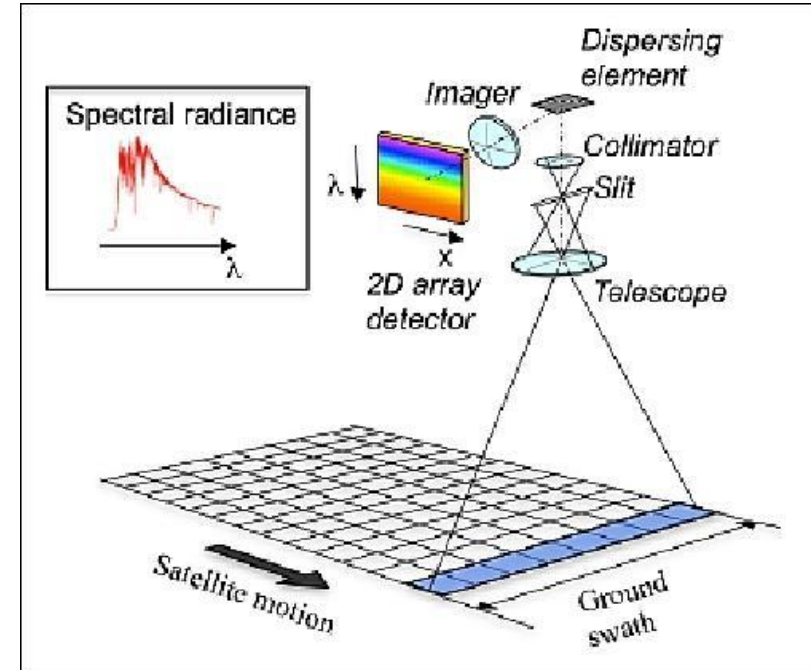
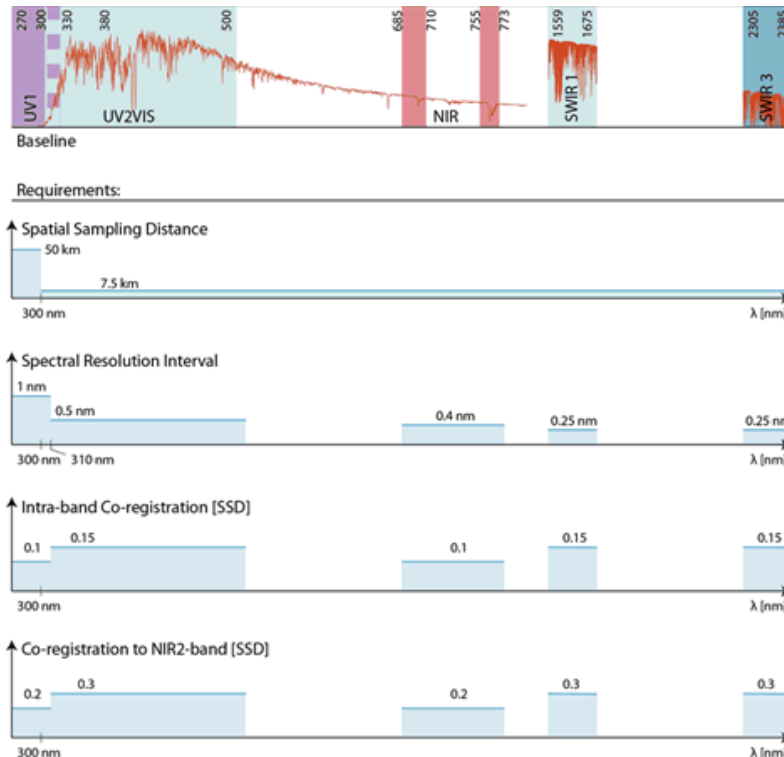


image credit: Airbus DS

<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5/instrument-payload>

Szeroki pakiet informacji dotyczącej chmur i atmosfery pochodzących z jednego satelity.

Sensor	Spatial resolution	Swath	Spectral type	Spectral bands	Spectral range	Additional capabilities
3MI	4x4 km ²	2200 x 2200 km ²	VIS/NIR/SWIR	12 bands	410 to 2130nm	14 views Polarisation (I/Q/U)
METImage	0.5x0.5 km ²	2670 km	VIS/NIR/SWIR TIR	11 bands 9 bands	443 to 2250nm 3.3 to 13.3μm	
S5-UVN	7.5x7.5 km ² 50x50 km ² (<300nm)	2670 km	UV/VIS/NIR/SWIR	1669 bands (0.25nm in SWIR to 1nm in UV)	270-300nm 300-370-500nm 685-710nm 755-773nm 1590-1675nm 2305-2385nm	
IASI-NG	12km spot	2000 km	TIR	16921 bands (0.25cm ⁻¹)	645 to 2760cm ⁻¹	

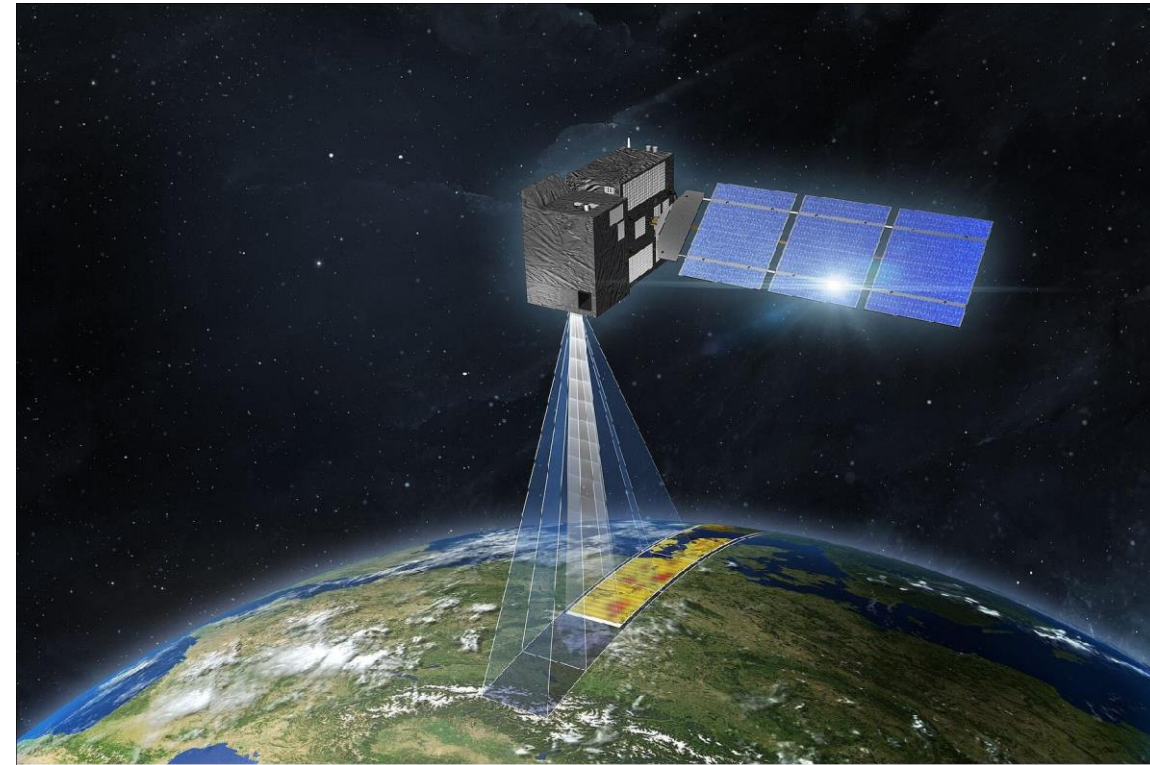
Źródło: B.Fougine, EUMETSAT

- Lepsza i pełniejsza charakterystyka aerozoli (3MI) w tym pyłów wulkanicznych.
- Lepsza charakterystyka zachmurzenia, w tym możliwość pozyskiwania informacji o wysokości podstawy zachmurzenia (w szczególnych sytuacjach) (3MI, METImage, IASI-NG)
- Charakterystyka składu chemicznego atmosfery, wspieranie monitoringu jakości powietrza (IASI-NG, Sentinel-5).
- Pionowe profile temperatury i wilgotności, wspieranie modeli NWP (asymilacja danych (IASI-NG)).

Misja składająca się z trzech satelitów (CO2M-A, CO2M-B and CO2M-C) wyposażonych czujnik do pomiaru promieniowania w pasmach absorpcyjnych dwutlenku węgla. Na podstawie tych informacji będziemy w stanie określić stężenie dwutlenku węgla w atmosferze z dużą dokładnością - do 0,7 ppm (części na milion).

Instrumenty:

- ❑ Combined CO₂ and NO₂ Imaging Spectrometer (CO2I) - spektrometr obrazujący CO₂ i NO₂ (CO2I/NO2I) do pomiaru stężenia dwutlenku węgla (CO₂), metanu (CH₄) i dwutlenku azotu (NO₂) w atmosferze. Jego rozdzielczość przestrzenna wynosi **2x2 km**. Szerokość skanu: 250 km
- ❑ Multi-Angle Polarimeter (MAP) - instrument do pomiaru polaryzacji światła odbijanego przez ziemską atmosferę. Informacje te zostaną wykorzystane do wyznaczania właściwości aerozolu, które są ważne dla korygowania pomiarów CO₂.
- ❑ Cloud Imager (CLIM) - instrument ten zapewni informacje o chmurach w wysokiej rozdzielczości. Dane te zostaną wykorzystane do maskowania chmur z danych CO₂.



Artist's rendition of CO2M mission (image credit: ESA)

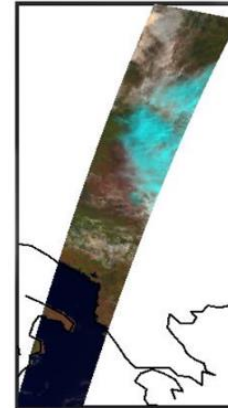
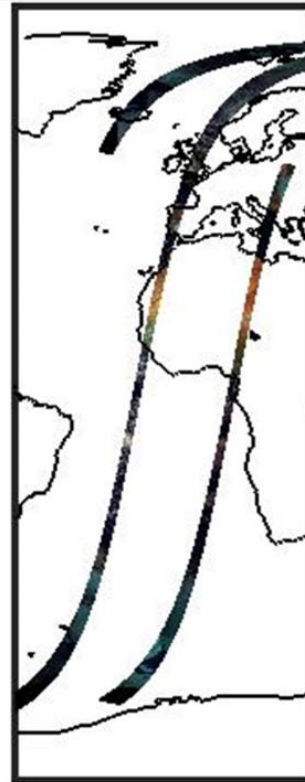
Combined CO₂ and NO₂ Imaging Spectrometer (CO2I):

- pasmo widzialne 405 - 490 nm,
- bliska podczerwień 747–773 nm
- krótkofalowa podczerwień w zakresie 1590–1675 i 1990–2095 nm.

Rozdzielczość spektralna od 0,12 do 0,6 nm.

Pierwszy satelita CO2M-A zostanie umieszczony na orbicie w 2025. CO2M-B sześć miesięcy później, a CO2M-C rok po satelicie B.

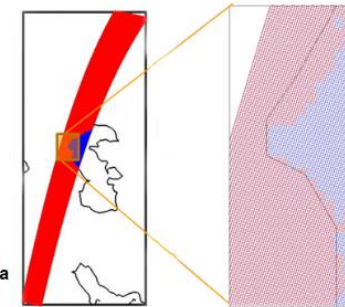
CO2IS: The CO₂/CH₄ instrument on CO₂M



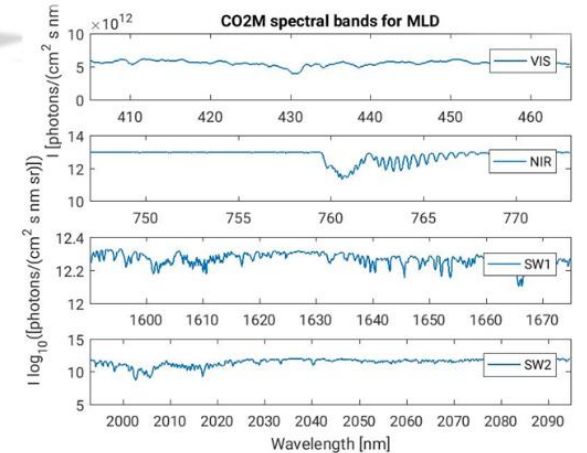
>250 km swath

Pseudo RGB from simulated TOA radiances CO2IS SWIR-1 NIR and VIS bands (based on S5 TOA simulations)

Simulated CO2IS measurement geo-locations at 2x2 km resolution: ~1.2M spectra per orbit



Simulated TOA radiances for CO2IS spectral bands at 0.1 to 0.6 nm resolution (mid-latitude dark surface scene)



Products	MTG-S S4/UVN	EPS-SG S5/UVNS	Copernicu s CO ₂ M	EPS-SG IASI-NG	MTG-S IRS	Metop GOME-2	Senitnel- 5P	Metop IASI
Radiance	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Irradiance	✓	✓	✓			✓	✓	
O ₃ total column	✓	A ¹		✓	✓	✓	✓	✓
O ₃ profile (incl. troposphere)		B ²		✓	✓	✓	✓	✓
O ₃ tropospheric column	✓					✓	✓	
NO ₂ total column	✓	A	✓			✓	✓	
NO ₂ tropospheric column	✓	A	✓			✓	✓	
SO ₂	✓	A		✓	✓ ³	✓	✓	✓
SO ₂ layer height		A		✓				✓
HCHO	✓	B				✓	✓	
CHOCHO	✓	B				✓		
BrO		✓				✓		
OClo		✓						
HNO ₃				✓				✓
NH ₃				✓	✓			✓
CO		A		✓	✓		✓	✓
CH ₄		A	✓	✓			✓	✓
SIF (Solar Induced Fluorescence)		✓	✓			✓		
CO ₂		✓	✓	✓				✓
N ₂ O				✓				✓ ⁴
H ₂ O	✓	✓		✓		✓		✓
UV products	✓	B				✓	✓	
Surface Reflectance	✓	B				✓		

- produkty generowane przez EUMETSAT
- produkty generowane przez EUMETSAT AC SAF
- produkty jeszcze nie zatwierdzone

- 1 Priority A
- 2 Priority B
- 3 SO₂ flag
- 4 Detection only

- W 2025 roku na orbicie okołoziemskiej umieszczone zostaną 3 nowe satelity europejskie wyposażone w czujniki do monitorowania atmosfery, w tym pierwszy europejski czujnik na orbicie geostacjonarnej.
- Dane z nowych czujników pozwolą nie tylko na poszerzenie portfolio produktów i monitorowanie ich rozkładu przestrzennego, ale również na monitorowanie dobowej zmienności części z nich.
- Nowe systemy satelitarne wpisują się w globalny system obserwacji atmosfery.

