



Využitie produktov CAMS: Global Fire Assimilation System (GFAS), Global Greenhouse Gas Monitoring, Emission databases

Juraj Beňo



PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION



IMPLEMENTED BY

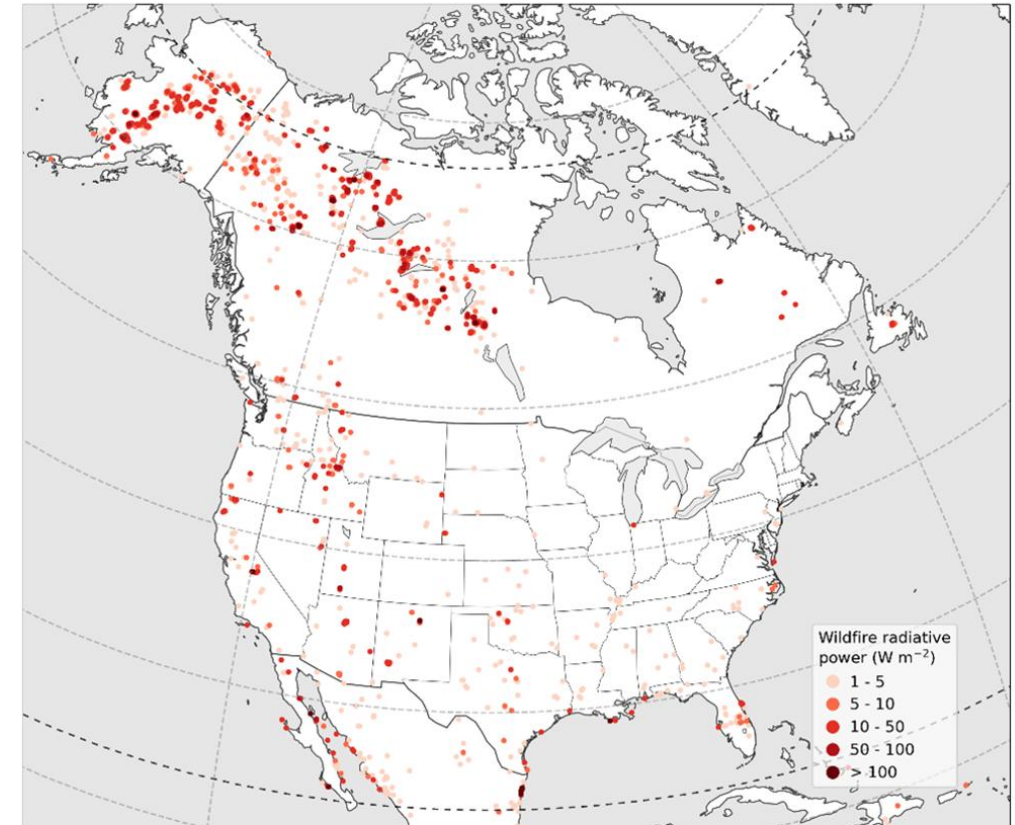


SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV

GFAS – Global Fire Assimilation System

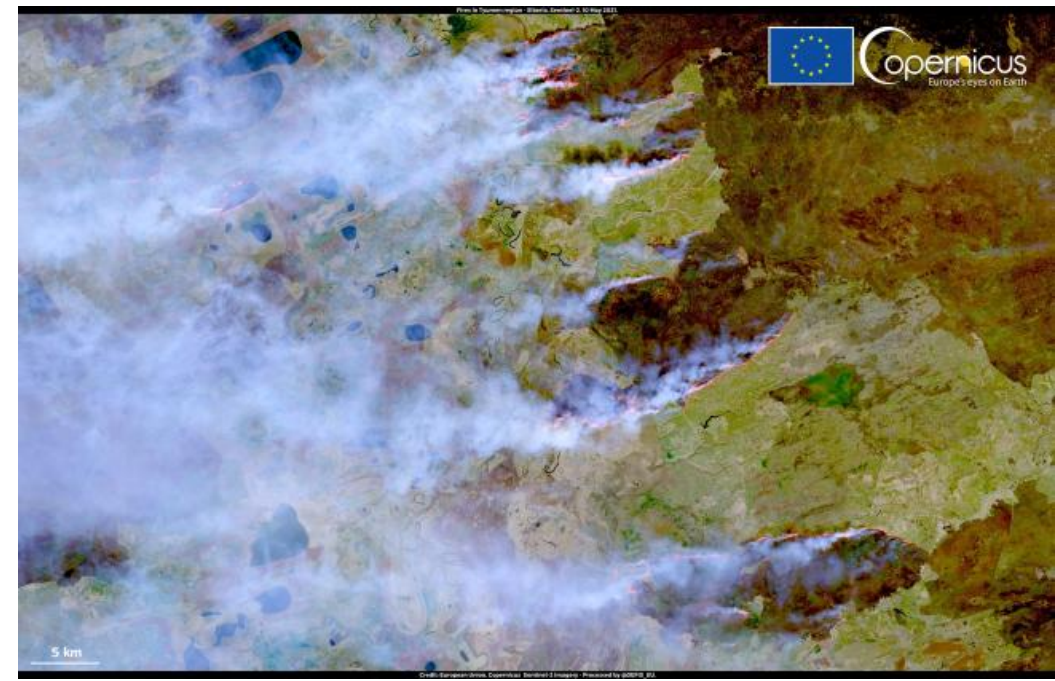
- Cieľ: sledovať požiare biomasy a odhadovať emisie
- Satelity (MODIS – Terra a Aqua) merajú Fire Radiative Power (FRP) – energiu vyžarovanú ohňom.
- CAMS GFAS asimilácia pozorovaní NASA Terra MODIS a Aqua MODIS
- Aktuálne verzia GFAS 1.2
- Vyššie verzie GFAS Sentinel-3 SLSTR – validácia

GFASv1.2 Total Fire Radiative Power: June-August



Kde vzniká najviac emisií

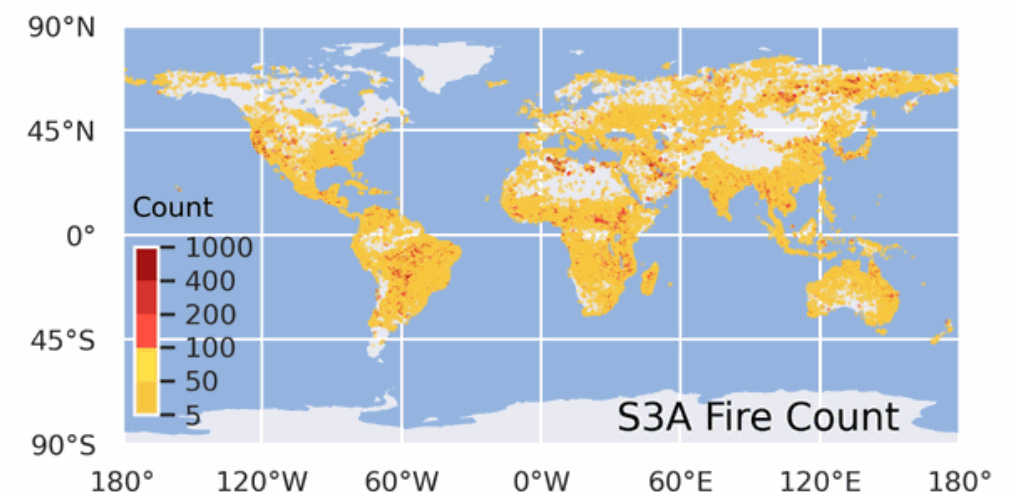
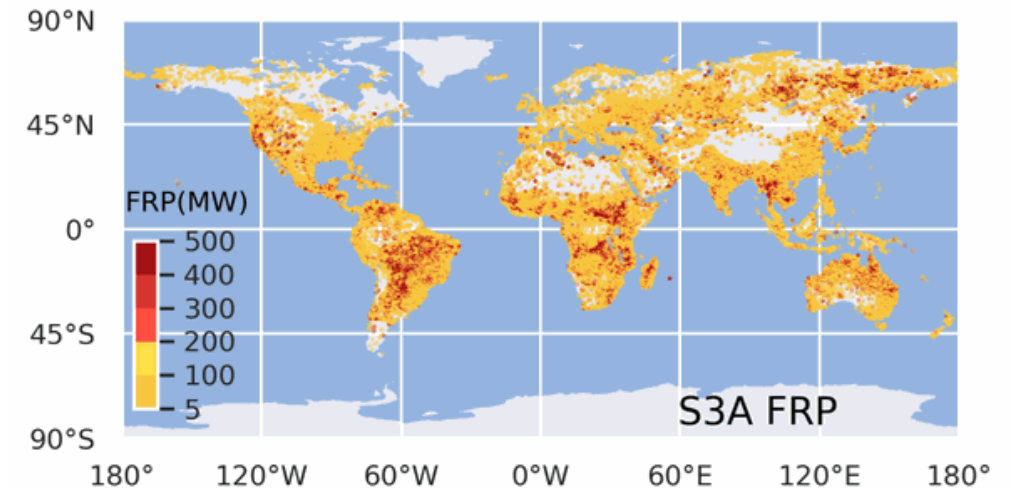
- Stredomorie: sezónne lesné požiare v lete
- Tropické oblasti: Afrika, Južná Amerika, Indonézia – vypalovanie vegetácie
- Boreálne oblasti: Sibír, Kanada, Aljaška – rašeliniská
- ~10 % ročných emisií CO₂
- Významné epizódy:
 - 2019–2020 Austrália
 - 2021 Sibír
 - 2023 Kanada



Od satelitných meraní po emisie

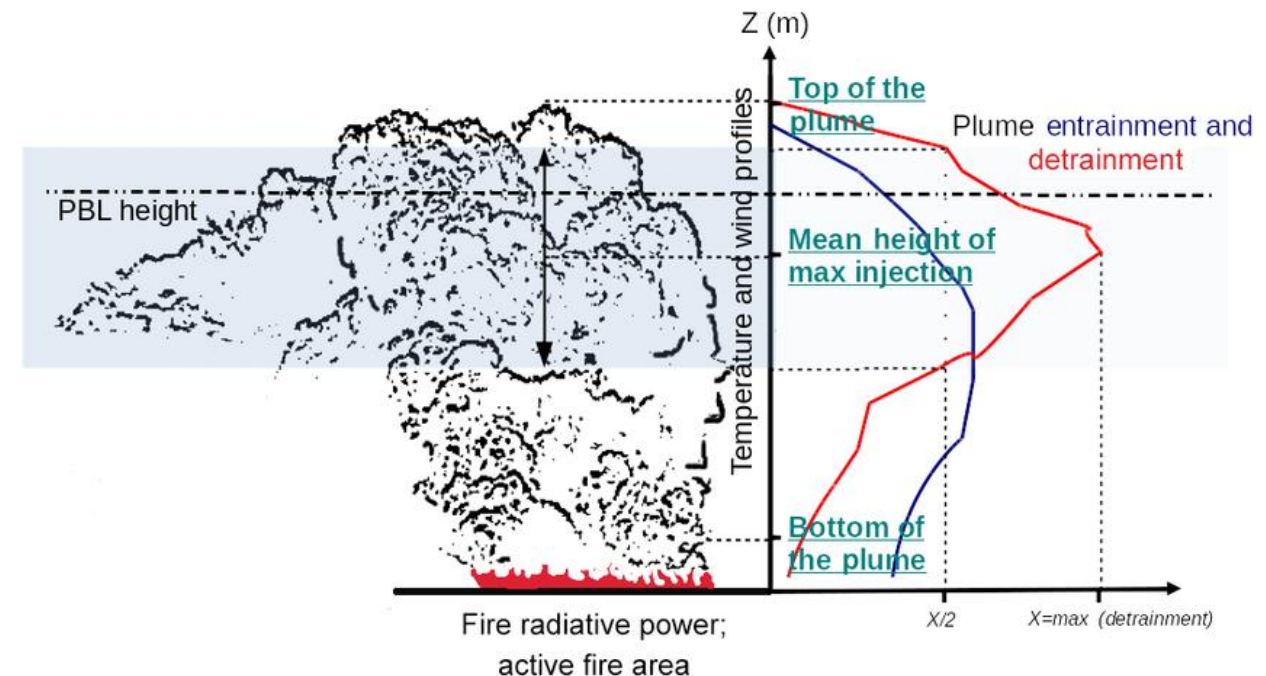
- Detekcia infračerveného žiarenia -aj cez tenkú oblačnosť.
- Modis pre GFAS: 1x1 km pixel,
Infračervené spektrum okolo 4 - 11 μm .
- FRP sa prepočíta na spálenú biomasu (suchú hmotu) podľa typu vegetácie.
- Použijú sa emisné faktory $\rightarrow$ odhad množstva CO_2 , CH_4 , CO , pevných častíc atď.
- Zastúpenie biomasy – chyby
- Detekčný limit $\sim 10\text{kW}/10^6 \text{ m} = 0,01 \text{ W m}^{-2}$

Parameter	Instrument	Satellite	Period	Data Provider/version
FRP	MODIS	Terra	2000-present	NASA LANCE-MODIS, collection 6
FRP	MODIS	Aqua	2003-present	NASA LANCE-MODIS, collection 6



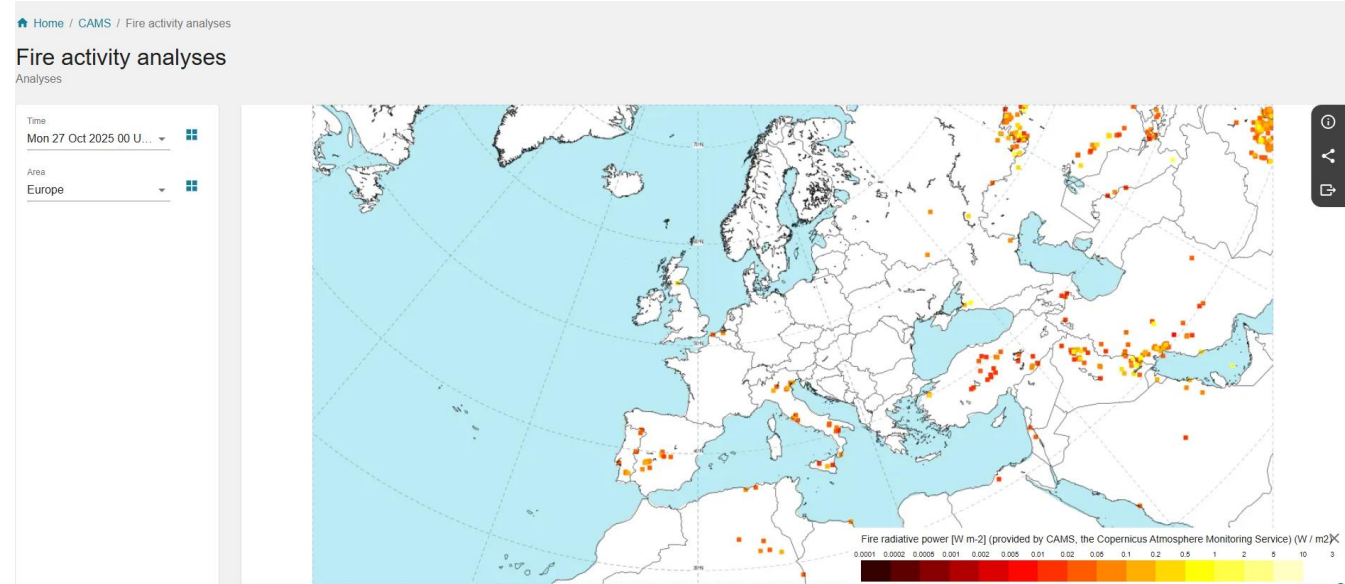
Výstupy systému GFAS

- Základná veličina - Fire Radiative Power (FRP) (W/m^2)
- Odhad emisií pre ~40 látok: CO_2 , CO , CH_4 , NO_x , čierny a organický uhlík, pevné častice
- Výška dymovej vlečky (fire plume height) -> IS4FIRES - Plume Rise Model
- Časové pokrytie: od 2003 po súčasnosť
- Denne aktualizované
- Denný priemer
- Priestorové rozlíšenie: 0.1° (~10 km)
- Povrchová vrstva



Ako sa GFAS využíva

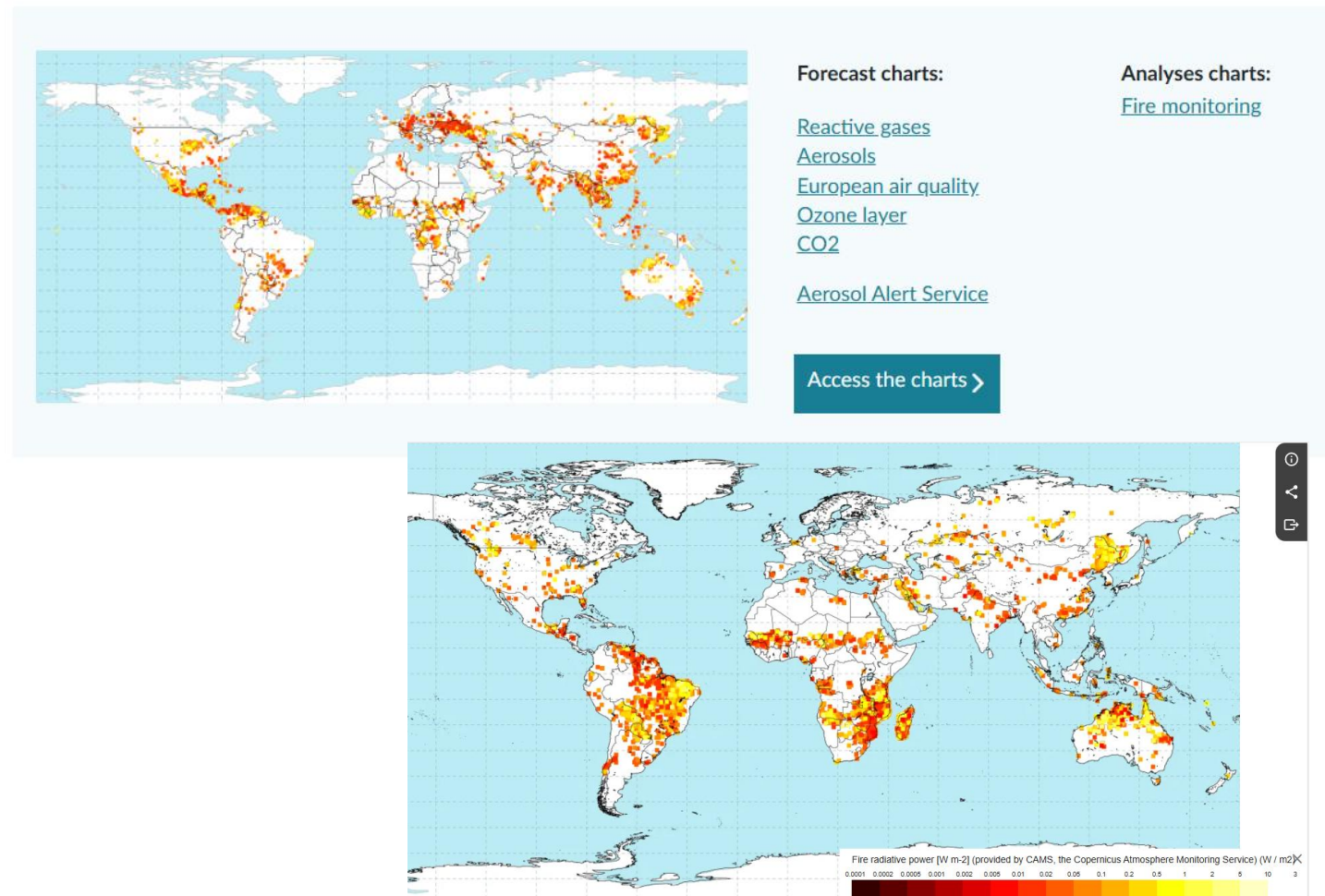
- Predpovede dymu a aerosólov (napr. pri veľkých požiaroch - posledné dáta GFAS)
- Modelovanie kvality ovzdušia a dopadov na zdravie (Reanalýzy)
- Kvantifikácia klimatických vplyvov
- Podpora výskumu, klimatických správ a politiky EÚ
- Vzdelávacie a vizualizačné portály



Prístup k dátam

- <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/datasets/cams-global-fire-emissions-gfas?tab=download&utm>

- Každý farebný bod $\neq$ veľký požiar (Zoom)
- Mapa zobrazuje všetky detegované ohniská počas 24 hodín
- Afrika, Južnej Amerika či juhovýchodnej Ázii - sezónne vypaľovanie (tzv. savanna burning)- miestne poľnohospodárske cykly
- Aj malé zdroje tepla – napr. malé pásy ohňa alebo skládky
- Môže horieť len malá časť územia (napr. niekoľko % plochy)
- Žlté a červené oblasti = vysoký súčet FRP, t. j. intenzívne požiare alebo časté vypaľovanie.
- Bledé a tmavé oblasti = málo detekcií alebo nízky výkon.



Požiare ako zdroj CO₂ a CH₄

- Odhad: ~2 petagramy uhlíka ročne (2003–2023 priemer) fosílna palivá ~10PgC
- Dominantné zložky: CO₂, CH₄, CO
- Emisie vstupujú do uhlíkového cyklu a klimatických modelov
- Spaľovanie rašelinísk a lesov - dlhodobý dopad, savany - rýchla regenerácia
- Prepojenie s CAMS monitoringom GHG



Cieľ : Presné **sledovanie zdrojov, premenlivosti a trendov** skleníkových plynov v atmosfére.

Zdroje údajov:

1. Satelitné merania (globálne pokrytie)

- Sentinel-5P / TROPOMI – CH₄, CO₂ proxy
- GOSAT & GOSAT-2 – presné XCO₂, XCH₄ merania
- OCO-2 / OCO-3 – detailné CO₂ profily (NASA)
- MetOp / IASI – CH₄ v strednej troposfére
- *(Od 2026: Sentinel-7 CO₂M – mestské a priemyselné emisie)*

2. Pozemné siete (TCCON, ICOS, NOAA)

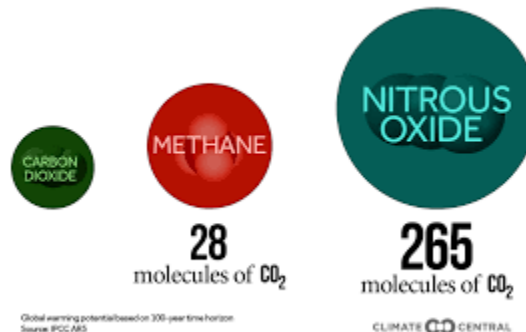
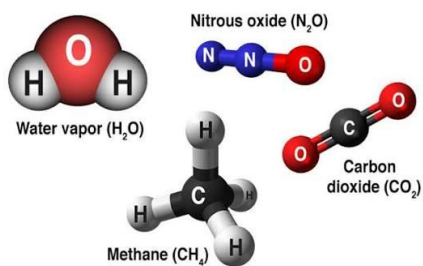
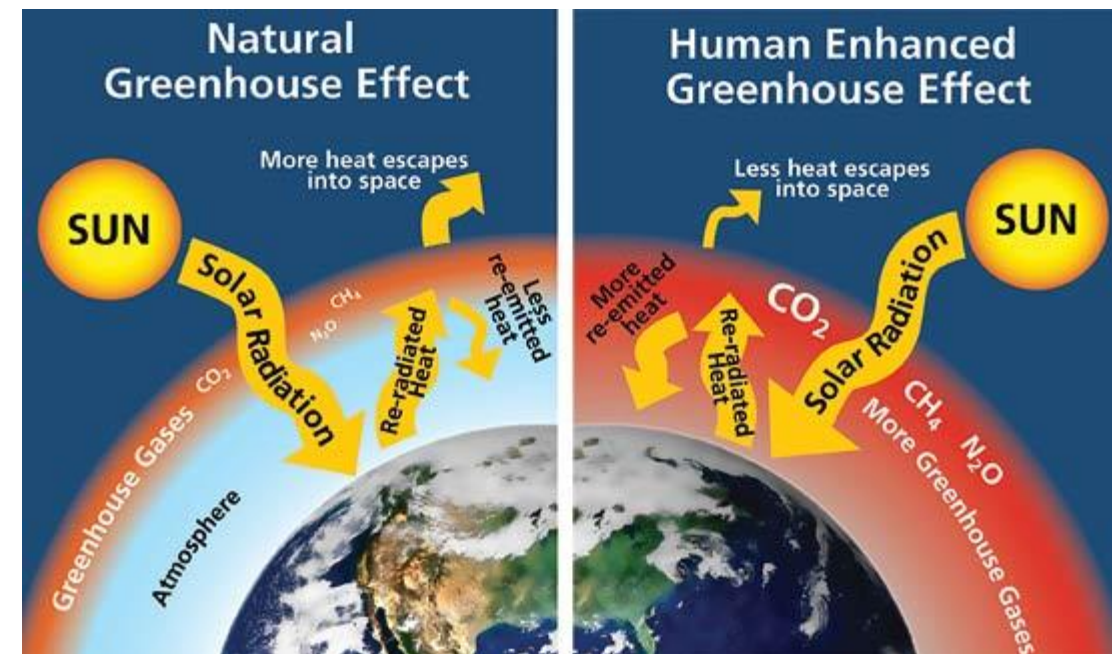
- Kalibrácia a validácia satelitných produktov.

3. Numerické modely ECMWF (IFS-CAMS)

- Asimilácia pozorovaní → 3D distribúcia CO₂ a CH₄.
- Produkty: **analýzy, predpovede, reanalýzy.**

Najdôležitejšie zložky v monitoringu

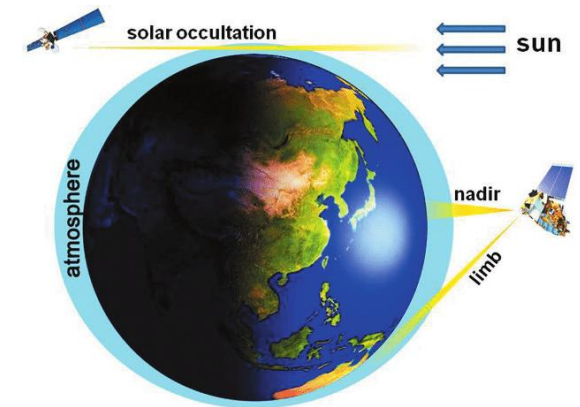
- CO₂ (oxid uhličitý) – hlavný antropogénny plyn (~75 % efektu) – fosilne palivá
- CH₄ (metán) – kratšia životnosť, ale ~25× silnejší účinok ako CO₂ - poľnohospodárstvo
- N₂O (oxid dusný) – menšie množstvo, ale dlhý čas zotrvania
- Sekundárne: ozón (O₃), vodná para (H₂O) – významné v nižšej atmosfére



Satelite, meranie skleníkových plynov

- Satelity nesú spektrometre, ktoré merajú odraz a absorpciu slnečného žiarenia v atmosfére.
- Každý plyn (CO_2 , CH_4 , N_2O) pohlcuje svetlo pri špecifických vlnových dĺžkach – vzniká „odtlačok prsta“ v spektre.

Gas	Instrument / Satellite	Notes
CO_2	SCIAMACHY (on Envisat)	Historické stĺpcové merania (2003–2012), reanalýza
CO_2	GOSAT / TANSO-FTS	Povrchové koncentrácie (XCO_2), asimilované, hlavný satelitný vstup
CO_2	MetOp-A / IASI	CO_2 v strednej troposfére, doplnkové vertikálne profily
CH_4	SCIAMACHY (Envisat)	Historické CH_4 stĺpce, reanalýza začiatkov satelitných GHG
CH_4	GOSAT / TANSO-FTS	CH_4 povrchové koncentrácie, hlavný satelitný vstup

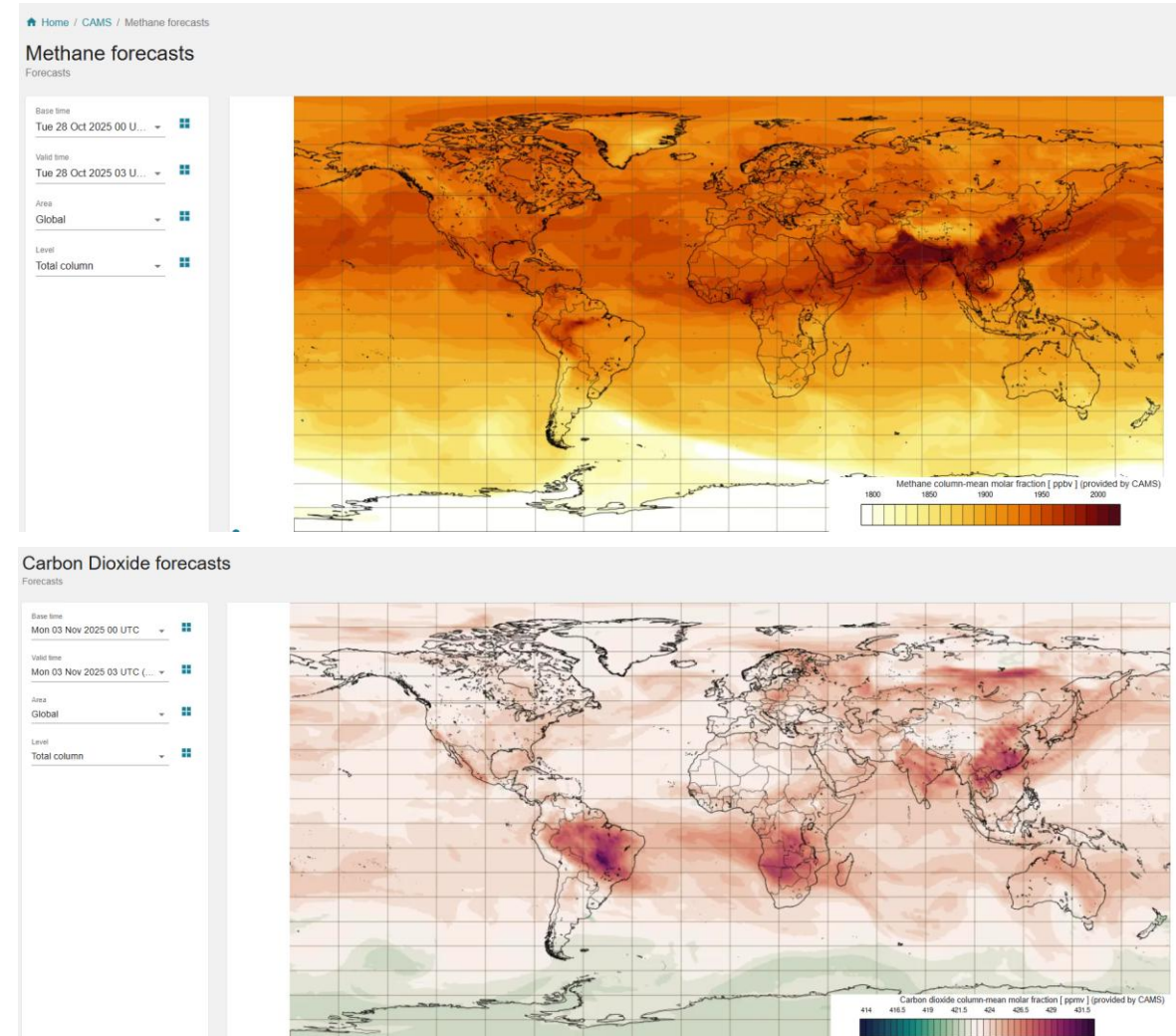


- Sentinel-7 „ CO_2M “ (Copernicus Carbon Mission):
 - Nová misia CO_2M bude merať priame antropogénne emisie CO_2 z mestských a industriálnych oblastí



Produkty a využitie dát

- Globálne analýzy koncentrácií CO₂, CH₄ a ďalších plynov
- Predpovede atmosférického zloženia (do 5 dní vopred)
- Reanalýzy – klimatologické súbory spätne až do 2003
- Emisné databázy (napr. CAMS-GLOB-ANT, CAMS-GFAS)
- Vizualizácie a interaktívne mapy na portáloch ECMWF a CAMS
- Výskum, klimatická politika
- Kombinácia satelitných meraní, pozemných staníc a modelov



Globálne emisné databázy

- CAMS používa dva hlavné globálne zdroje – samostatné produkty:
- **CAMS-GLOB-ANT** (antropogénne zdroje) -> aktualizácia 1-2x ročne
 - Pokrýva energetiku, priemysel, dopravu, vykurovanie, poľnohospodárstvo, odpady.
 - Spája viacero databáz: EDGAR, ECLIPSE and CEDS čiastočne aj ďalšie
 - Obsahuje priemerné ročné a mesačné fluxy ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
 - CO_2 , CH_4 , N_2O , NO_x , SO_2 , NH_3 , VOC, aerosóly (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$)
 - Rozlíšenie: globálne 0.1° ($\sim 10 \text{ km}$),
 - Dostupné od 2000,.
 - Využitie projektovaných emisných inventárov na aktuálne roky – využitie trendov v emisiách models.
 - Využitie : predpovede kvality ovzdušia, verifikáciu emisných trendov, porovnávanie s národnými inventúrami (UNFCCC, EEA).
 - <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/datasets/cams-global-emission-inventories>
- **CAMS-GFAS** (prírodné zdroje) -> denná aktualizácia
 - Zahŕňa horenie biomasy - lesy, savany, rašeliniská, poľnohospodárske vypaľovanie.
 - <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/datasets/cams-global-fire-emissions-gfas>
- **Iné globálne databázy:**
 - CAMS-GLOB-SHIP – lodná doprava (vložená aj do novších verzií GLOB-ANT). eccad.aeris-data.fr
 - CAMS-GLOB-BIO – biogénne VOC z vegetácie (MEGAN; $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ klímy/mesačné). eccad.aeris-data.fr+1
 - CAMS-GLOB-SOIL – pôdne NO_x (klimatológia). confluence.ecmwf.int
 - CAMS-GLOB-OCE – oceánsky DMS (klimatológia). eccad.aeris-data.fr
 - CAMS-GLOB-VOLC-CLIM – vulkanický SO_2 (klimatológia). confluence.ecmwf.int
 - CAMS-GLOB-AIR – letecké emisie (CO_2 , NO_x). confluence.ecmwf.int
 - CAMS-GLOB-TEMPO – časové profily (diurné/týždenné/mesačné škálovanie emisií). cameo-project.eu

Európske emisné databázy

- **CAMS-REG** (Regionálne emisné inventáre pre Európu)
 - Vytvára ju TNO (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research) pre Copernicus.
 - Antropogénne emisie z týchto sektorov: energetika, priemysel, doprava, vykurovanie, poľnohospodárstvo, odpady
 - Využíva národné inventúry (EEA/EMEP/UNFCCC) ako vstupy, -> konzistentná s európskou legislatívou.
 - Polutanty: CO, CO₂, NO_x, SO₂, NH₃, NMVOC, PM₁₀, PM_{2.5}, BC, OC, CH₄, N₂O.
 - Vstup pre regionálne modely kvality ovzdušia CAMS Europe (11-modelový ensemble ECMWF)
 - Aktualizované: približne 3-4 roky
 - <https://eccad.aeris-data.fr/essd-surf-emis-cams-reg/>

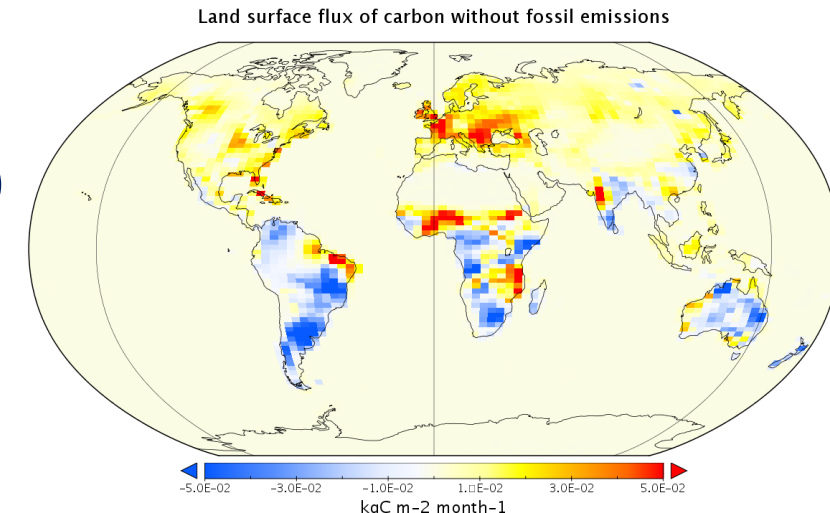
Úroveň	Dataset	Rozlíšenie	Pokrytie	Účel
Globálna	CAMS-GLOB-ANT	0.1° (~10 km)	Svet	Klimatické a globálne modely
Globálna	CAMS-GFAS	0.1° (~10 km)	Svet	Požiare, biomasa
Regionálna	CAMS-REG (TNO)	0.1° x 0.05° (~10km x 5 km)	Európa	Predpovede, reanalýzy, validácia

CAMS CO₂ & CH₄ Flux Inversions - inverzné modelovanie GHG

Cieľ: Odhad tokov CO₂, CH₄, N₂O- na povrchu a v atmosfére na základe meraných koncentrácií.

- Vstupné dáta:
 - Satelity: GOSAT, OCO-2, Sentinel-5P (TROPOMI)
 - Pozemné siete: TCCON, NOAA, ICOS
 - Meteorologické podmienky: ECMWF IFS (vietor, teplota, tlak)
- Využitie transportných modelov – prepojenie meraných koncentrácií s tokmi na povrchu
- Adjointný systém TM5-4DVAR, ktorý matematicky reprezentuje spätný chod bez nutnosti fyzicky simulovať atmosféru dozadu. „Adjointný“ znamená matematicky spätný model”
- Cost function:

$$J(\mathbf{x}) = \frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_b)^T \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_b) + \frac{1}{2}(\mathbf{H}(\mathbf{x}) - \mathbf{y})^T \mathbf{R}^{-1}(\mathbf{H}(\mathbf{x}) - \mathbf{y})$$
- Horizontálne rozlíšenie: 1° x 1° (CO₂), 1° x 1° (CH₄), 2.5° x 1.27° (N₂O)
- Časové pokrytie: 1979 - 2025 (CO₂), 1979 - 2024 (CH₄), 1996 - 2022 (N₂O)
- Časové rozlíšenie: 3-hourly (CO₂, N₂O), 6-hourly/daily (CH₄), monthly
- Význam:
 - Hodnotenie uhlíkového cyklu a účinnej absorpcie CO₂ ekosystémami
 - Nezávislé porovnanie s národnými inventúrami (UNFCCC reporting)
 - Identifikácia regionálnych zdrojov a zásobníkov GHG



CAMS Methane Hotspot Explorer – monitoring únikov metánu (CH₄ leaks)

Cieľ: Detegovať a vizualizovať veľké úniky metánu (methane leaks & plumes) z priemyselných, energetických a prírodných zdrojov pomocou satelitných meraní

- Súčasť CAMS GHG (Greenhouse Gas) services
- Využíva satelit Sentinel-5P (TROPOMI) – vysoké priestorové rozlíšenie (~7×5,5 km)
- Interaktívny nástroj: CAMS Methane Hotspot Explorer : <https://apps.atmosphere.copernicus.eu/methane-explorer>
- Identifikácia sektora na základe známych emisných inventúr
- Typické sektory:
 - Coal – ťažba uhlia
 - Oil – ropné polia a rafinérie
 - Gas – ťažba a distribúcia zemného plynu
 - Solid waste – skládky a odpadové hospodárstva

Aktualizácia 1 x týždeň

