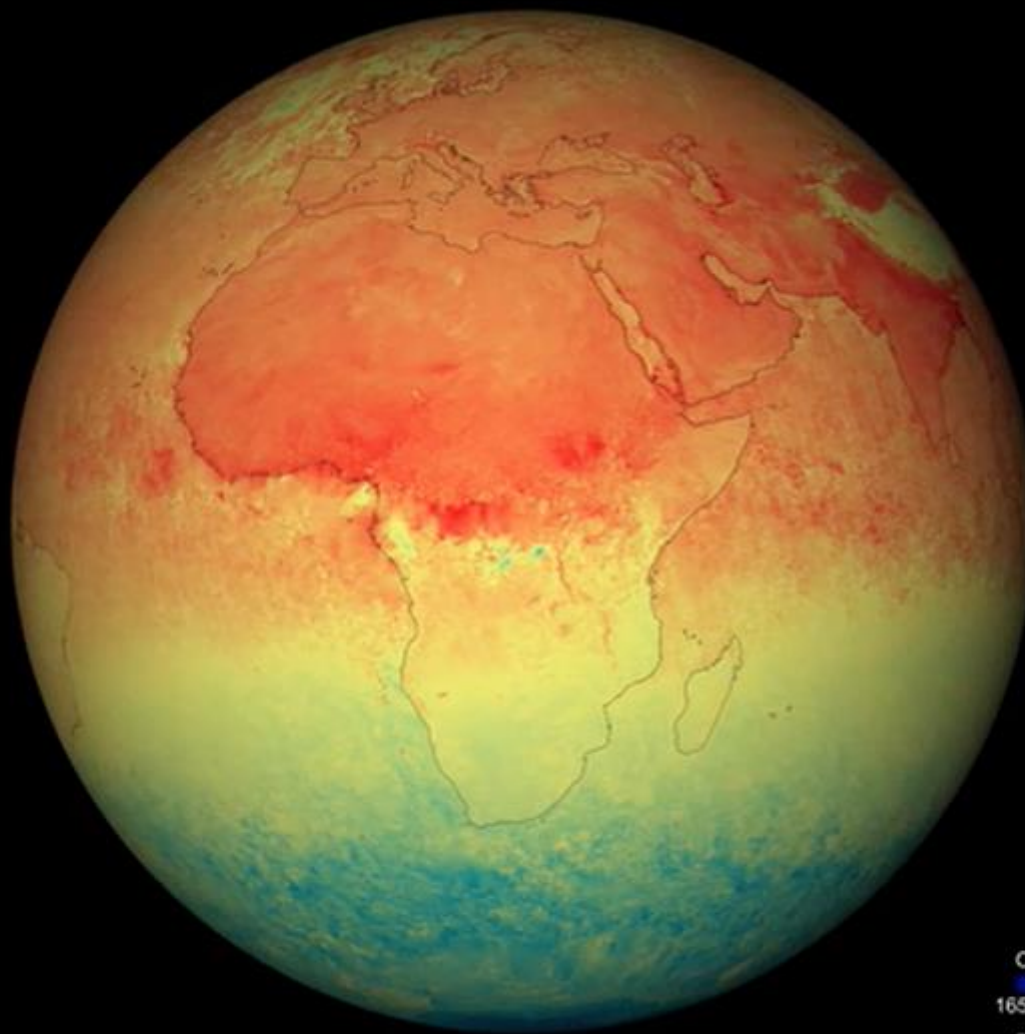
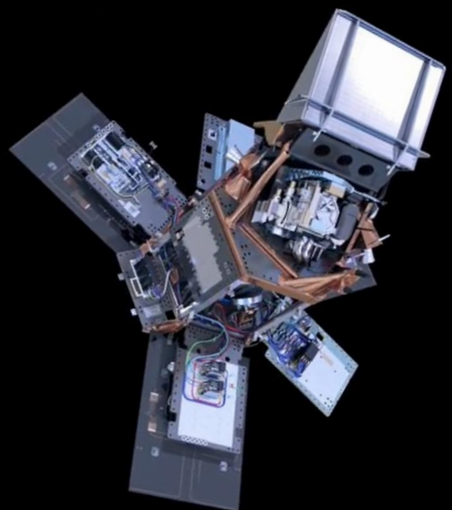


# Metan w atmosferze Ziemi

*Grupa Fizyki Atmosfery  
ZFŚ, KZFI*

Czego o nim nie wiemy?

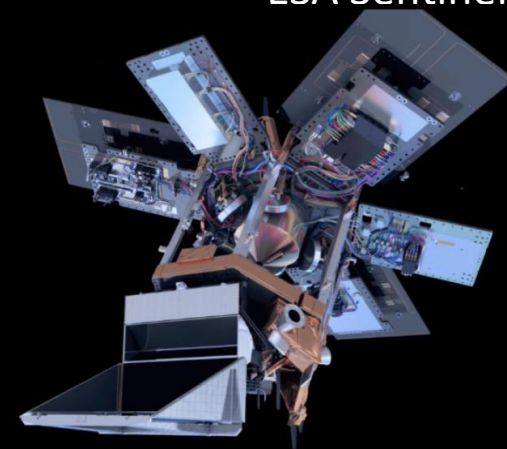
ESA Sentinel 5P



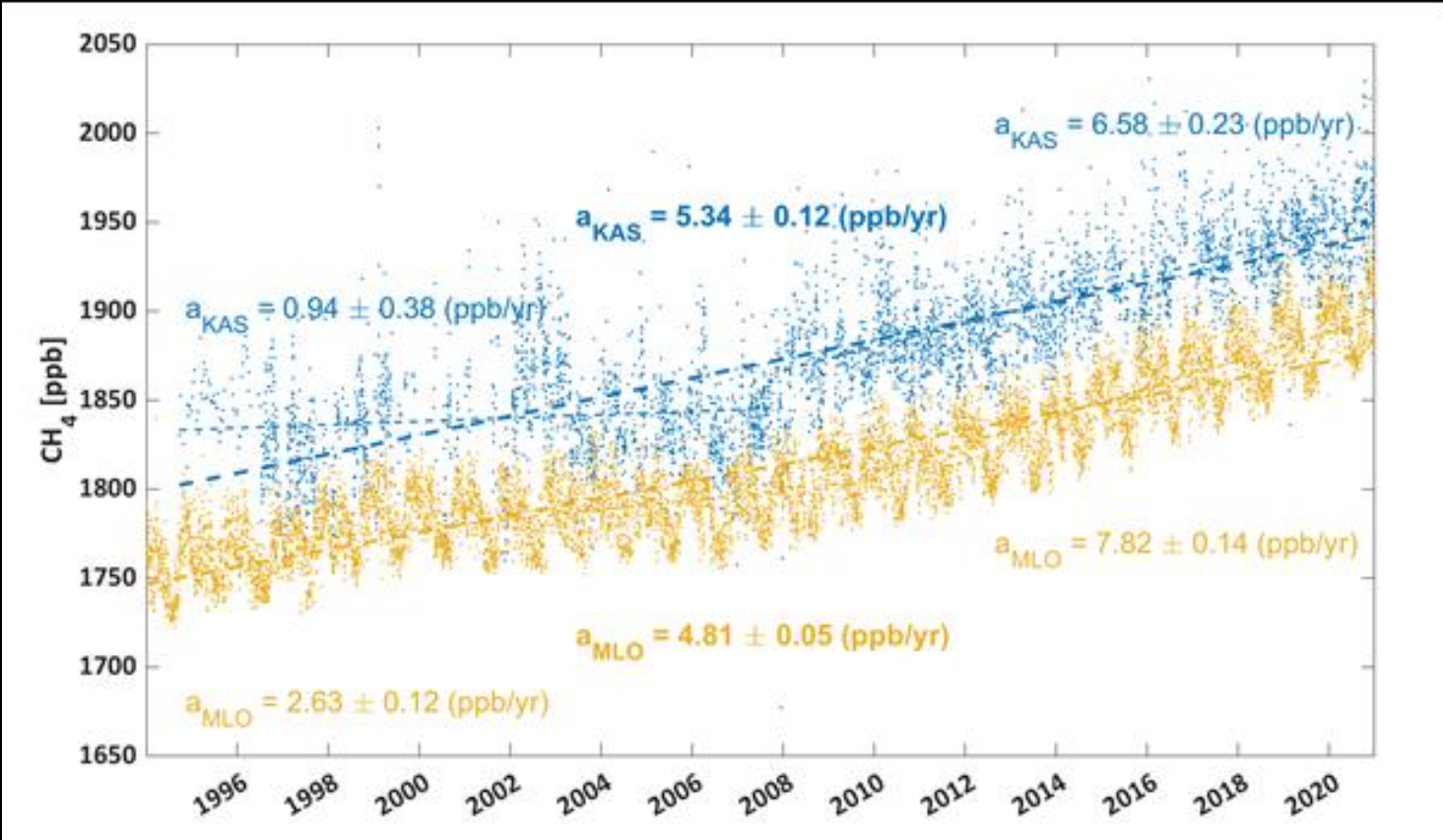
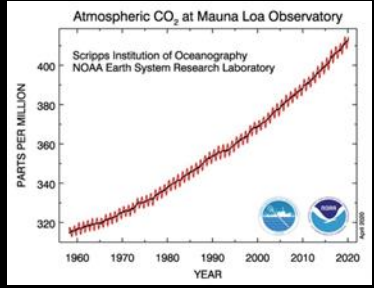
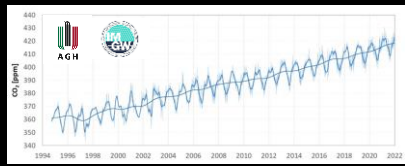
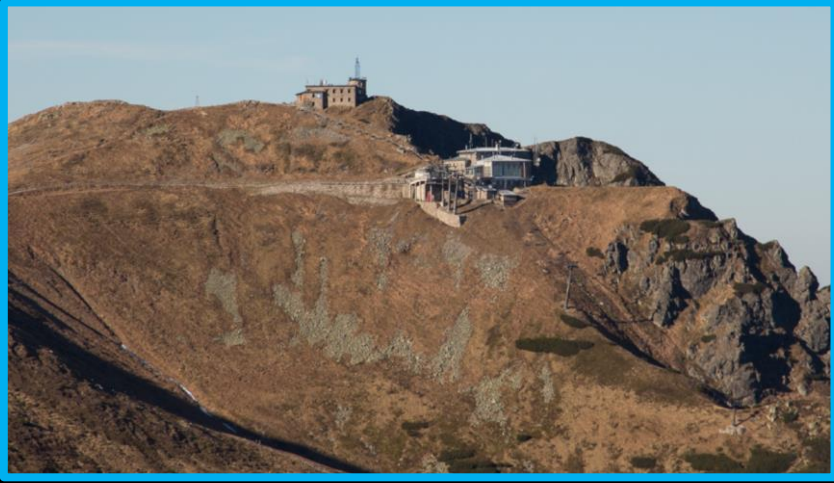
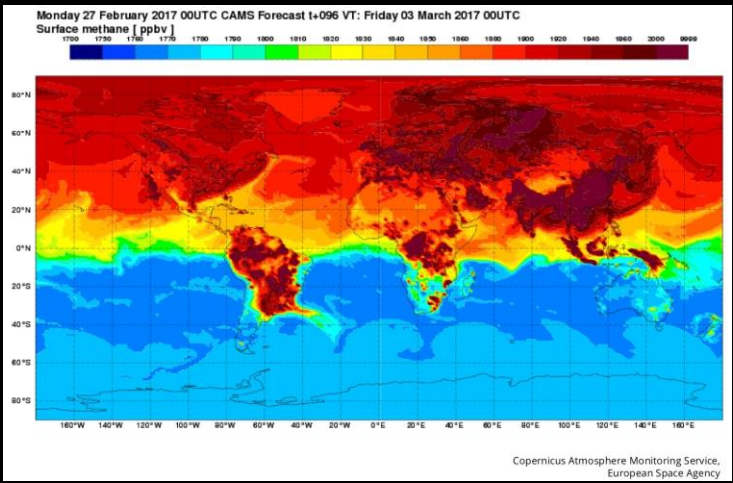
Column-averaged methane - 2020 (ppbv)

1650 1825 2000

© ESA Greenhouse Gases Climate Change Initiative







# GLOBAL METHANE BUDGET 2008-2017

Bottom-up view (BU)  
Top-down view (TD)

## TOTAL EMISSIONS

737 (594-880)  
576 (550-594)

## CHANGE IN ATMOSPHERIC ABUNDANCE

> 100  
13\* (0-49)

## TOTAL SINKS

625 (500-798)  
556 (501-574)

128 (113-154)  
111 (81-131)

206 (191-223)  
217 (207-240)

30 (26-40)  
30 (22-36)

149 (102-182)  
181 (159-200)

222 (143-306)  
37 (21-50)

595 (489-749)  
518 (474-532)

30 (11-49)  
38 (27-45)

Fossil fuel production and use

Agriculture and waste

Biomass and biofuel burning

Wetlands

Other natural emissions

Inland waters, geological, oceans, termites, wild animals, permafrost, vegetation

Sink in soils

Sink from chemical reactions in the atmosphere

## EMISSIONS AND SINKS

In teragrams of CH<sub>4</sub> per year (Tg CH<sub>4</sub> / yr) average over 2008-2017

The observed atmospheric growth rate is 18.2 (17.3-19) Tg CH<sub>4</sub> / yr. The difference with the TD budget imbalance reflects uncertainties in capturing the observed growth rate.

Anthropogenic fluxes

Natural fluxes

Natural and anthropogenic fluxes





UN CLIMATE  
CHANGE  
CONFERENCE  
UK 2021

IN PARTNERSHIP WITH ITALY

# Methane pledge

## METHANE

Over 100 countries committed to reduce global methane emissions by 30% by 2030 by signing the Global Methane Pledge

46%

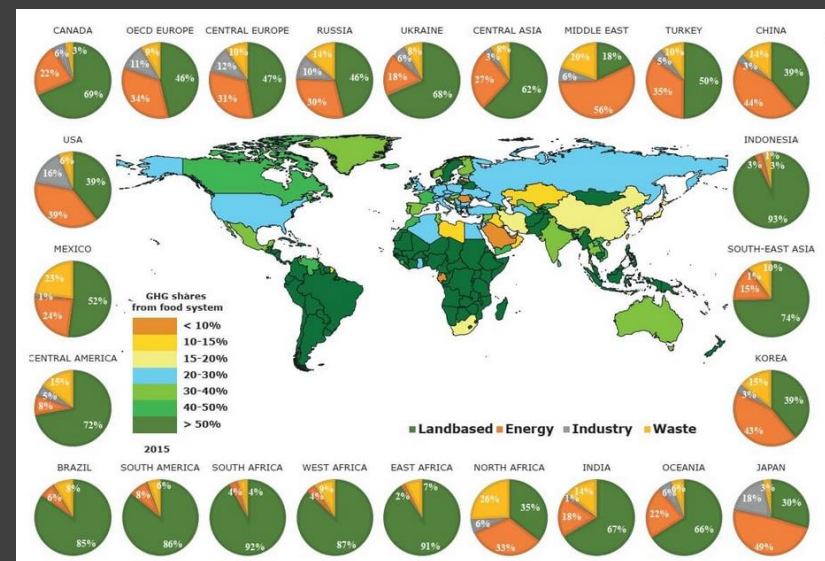
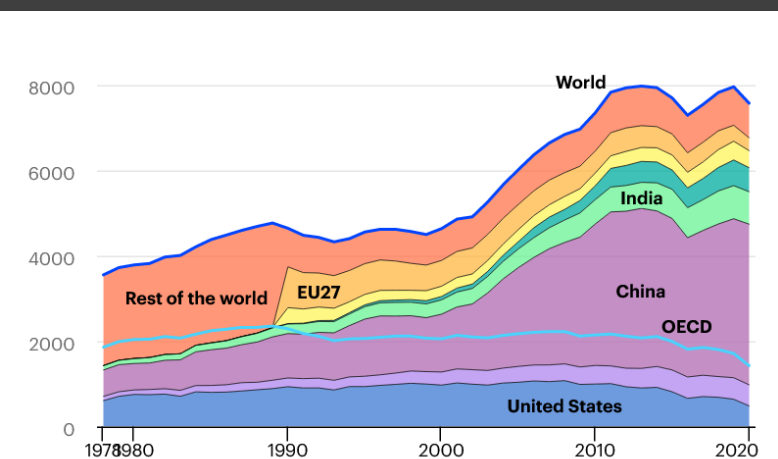
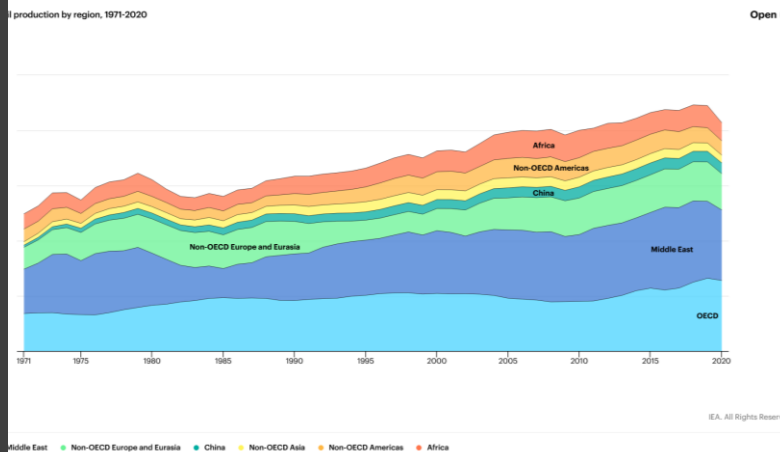
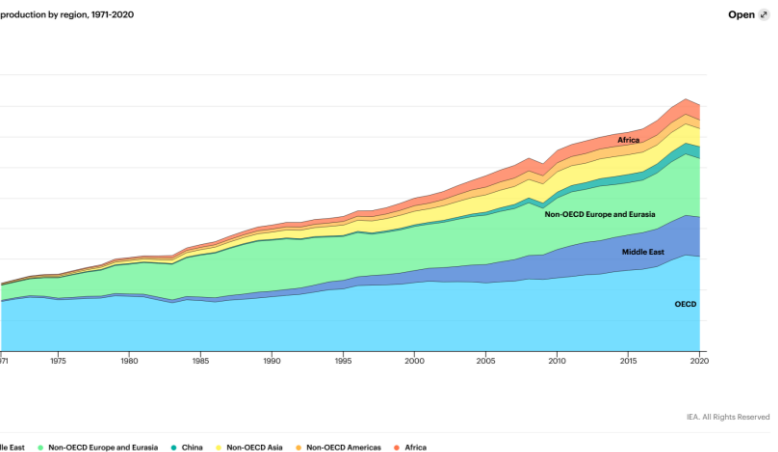
46% percent of  
emissions covered  
by the pledge

Photo - Oil Refinery, Port of Los Angeles





# Przemysł emitujący metan

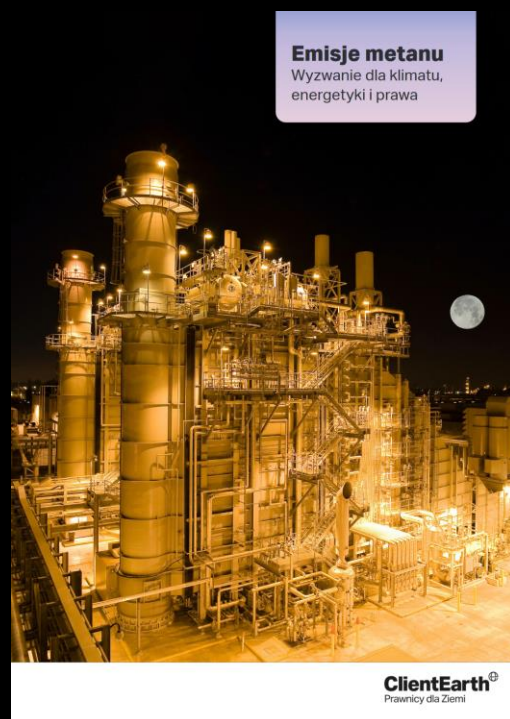




***Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on methane emissions reduction in the energy sector and amending Regulation (EU) 2019/942; Brussels, 15.12.2021***

**Projekt Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie ograniczania emisji metanu w sektorze energetycznym oraz zmieniającego Rozporządzenie (UE) 2019/942; Bruksela, 15.12.2021**

- Wynika z zobowiązań UE do osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 r., określonej w Europejskim Zielonym Ładzie (m.in.: 2020 r. – Strategia UE na rzecz ograniczenia emisji metanu, 2021 r. – Europejskie prawo klimatyczne, zobowiązanie zwane „fit for 55”).



**Emisje metanu**  
Wyzwanie dla klimatu,  
energetyki i prawa

**EMBER**

**COAL MINE METHANE**  
Emission estimation metrology

Written by Jarosław Necki, Sabina Assan, Anatoli Sminov (QA)

**I. Introduction to accuracy requirements:**

The estimation of methane emissions always (!) requires measurements of two variables:

- 1) amount of matrix where the methane is a part of mixtures (e.g. air, water, soil, coal, etc.)
- 2) content of methane in the matrix (concentration, molar fraction, volumetric fraction, etc.)

Both of these variables need to be precisely defined according to its uncertainty (accuracy) to be able to determine emission factors. The uncertainty of emissions will be related to the accuracy of both variables. The specific approach should be taken into account every time measurements are required to detect emissions or changes in emissions over time (e.g. any reductions of methane released). The accuracy of measurements of each variable will impact the confidence level of any measured reductions of methane emissions.

**Important:**  
The best option is to require the uncertainty of absolute emission rate (e.g. 1  $\text{kgCH}_4/\text{year per unit}$ ) instead of requirements put on the value of methane concentration. The latter should only be suggested, and verified during the stage of emission verification.

Emission estimates can be done on the basis of total mine's emissions per annum from a mine, single shafts or volume of coal being excavated, depending on the mine's regulatory requirements.

**II. Sample Calculations:**

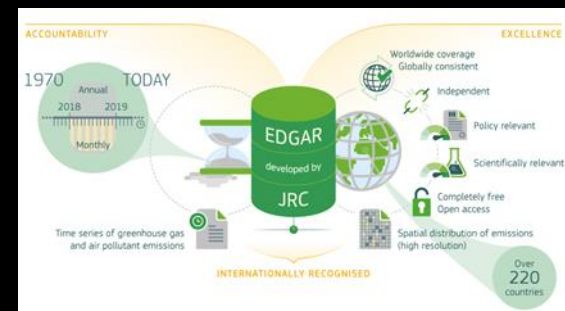
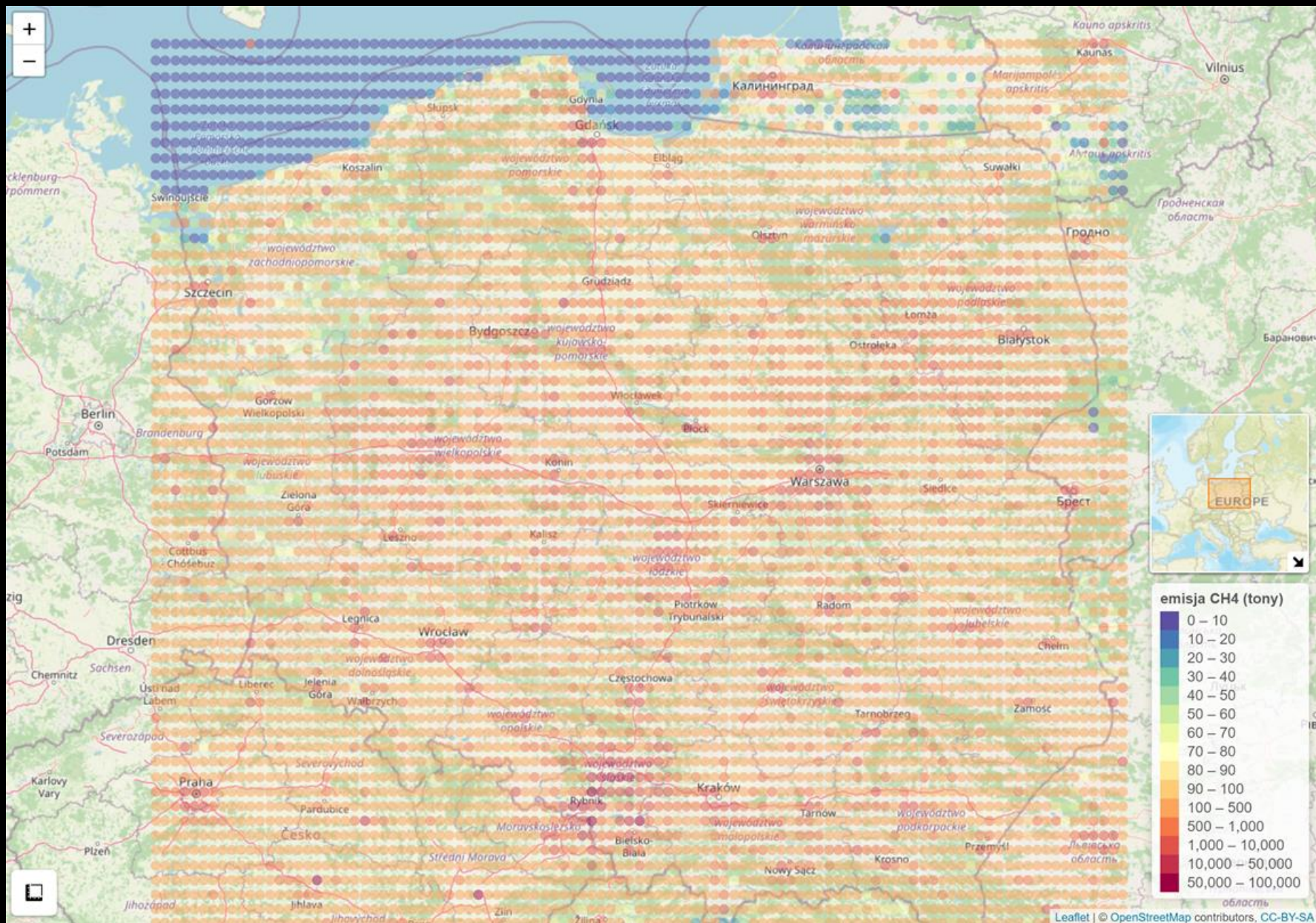
**EXAMPLE 1: Hard Coal Mine Ventilation Shaft**  
This example quantifies the methane released from a deep coal mine ventilation shaft. It requires knowledge of the ventilation flow rate -  $F$  (may be expressed in  $\text{m}^3/\text{min}$ ) and methane mixing ratio -  $C$ .

The accuracy of these variables is important and we can assume for  $F$  ( $u(F)$ ), it is determined with uncertainty of 1% of measured value, whilst for  $C$  ( $u(C)$ ), it equates to 0.1%. This means that  $U(C) = 1000\text{ppm} \pm 0.001 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{m}^3\text{air}$  and  $u(F) = 100\text{m}^3/\text{min}$ .

<sup>1</sup> % of methane in air, calculated volumetrically, i.e.  $1\% = 0.01\text{m}^3\text{CH}_4/\text{m}^3\text{air}$ . Typically measured using the catalytic methane sensor, as required by mine safety regulations to monitor methane concentrations in galleries.









# Sektor Ropy i Gazu ziemnego

## Emisje metanu O&G

- **Nieszczelności**

Trudne do inwentaryzacji (w ogóle nie są dostępne publicznie)



- **Upusty**

W większości pod kontrolą personelu operatora, możliwe do oszacowania przy niskich kosztach, czasochłonne, (wyniki inwentaryzacji mogą być częściowo publicznie dostępne ale nie wszystkie).

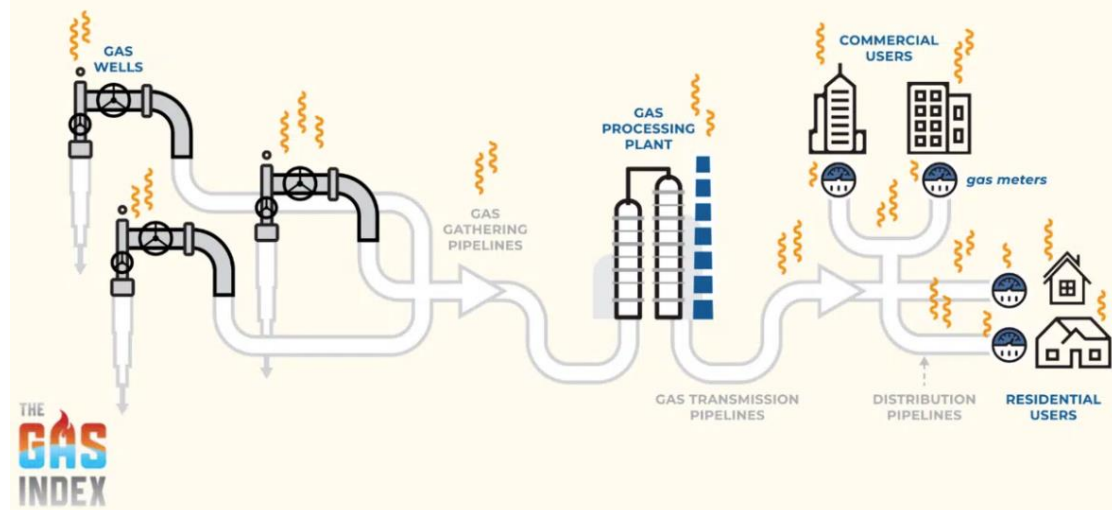


- **Pochodnie**

Trudne do oszacowania (nie są dostępne) mało istotne w Europie



## Gas Supply Chain Leaks





## Witamy w Krajowym Rejestrze Uwalniania i Transferu Zanieczyszczeń.

Krajowy Rejestr Uwalniania i Transferu Zanieczyszczeń został utworzony na mocy art. 236a ustawy z dnia 27 kwietnia 2007r. Prawo ochrony środowiska, jako element Europejskiego Rejestru Uwalniania i Transferu Zanieczyszczeń, o którym mowa w rozporządzeniu (WE) Nr 166/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 stycznia 2006r. w sprawie ustanowienia Europejskiego Rejestru Uwalniania i Transferu Zanieczyszczeń i zmieniającym dyrektywę Rady 91/689/EWG i 96/61/WE (Dz. Urz. UE L 33 z 04.02.2006, str. 1, z późn.zm.).

|                      | 2018          | 2019          | 2020          |                   |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|
| <i>Miejscowość</i>   | <i>Mg/rok</i> | <i>Mg/rok</i> | <i>Mg/rok</i> | <i>Właściciel</i> |
| Sędziszów            | 115           | b.d.          | b.d.          | PGNiG             |
| Hurko                | 106           | 112           | b.d.          | PGNiG             |
| Maćkowice            | 118           | 124           | 122           | PGNiG             |
| Mirocin (Cieszacin)  | 181           | 187           | 175           | PGNiG             |
| Maćkowice (Wapowice) | 273           | 294           | 240           | PGNiG             |
| Przemysł Wsch.       | 222           | 212           | 212           | PGNiG             |
| Tuligłowy            | 153           | 283           | 215           | PGNiG             |
| Lubaczów             | 176           | 157           | 162           | PGNiG             |
| Husów                | 374           | 166           | 249           | PGNiG             |
| Przemysł Zach.       | 201           | b.d.          | b.d.          | PGNiG             |
| Odolanów             | 3930          | 3720          | 5130          | PGNiG             |
| <b>PGNiG</b>         | <b>5935</b>   | <b>5255</b>   | <b>6505</b>   |                   |
| Jarosław             | 255           | 244           | 235           | Gaz-system        |
| Terminal LNG         | 822           | 561           | 110           | Gaz-System        |
| <b>Gaz-System</b>    | <b>1077</b>   | <b>805</b>    | <b>345</b>    |                   |
| Szamotuły            | 269           | 127           | 101           | Europol Gaz       |
| Zambrow              | 196           | 173           | 208           | Europol Gaz       |
| Ciechanów            | 194           | 134           | 184           | Europol Gaz       |
| Włocławek            | 261           | 155           | b.d.          | Europol Gaz       |
| <b>Europol Gaz</b>   | <b>920</b>    | <b>589</b>    | <b>493</b>    |                   |
| Trzebinia            | 440           | 386           | 345           | Orlen             |
| <b>Orlen</b>         | <b>440</b>    | <b>386</b>    | <b>345</b>    |                   |

### Bottom-up (tier 3)

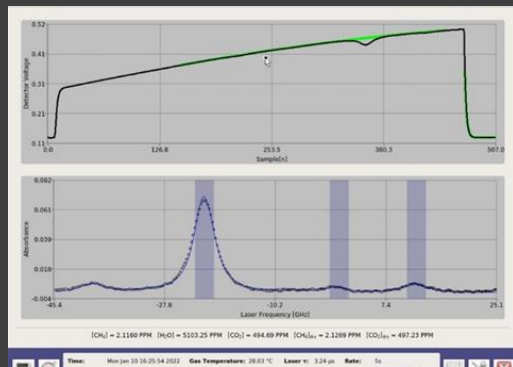
- Wykonujemy pomiary szczegółowe „in situ” pozwalające na określenie rozkładu statystycznego nieszczelności każdego elementu.
- Wykonujemy badania wskaźnikowe większości elementów potwierdzając statystykę lub ją modyfikując.
- Obliczamy całkowitą emisję (uwolnienie).



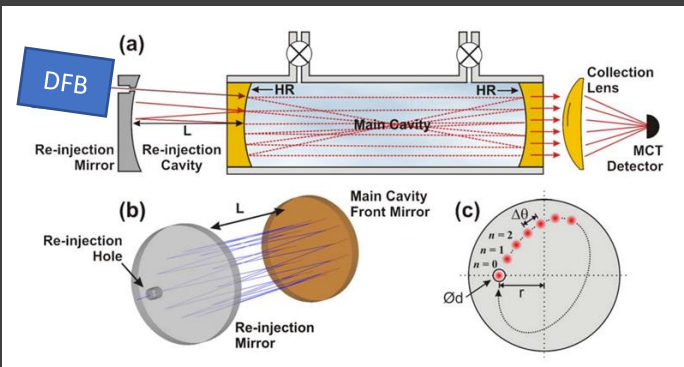
Np. (rozkład równomierny). Zgodnie z raportem Marcogaz w Polsce mamy 170tys. km rurociągów w tym  
 40% z PE (współczynnik permeacji 198kgCH<sub>4</sub>/km/rok)  
 60% ze stali (wsp. per. 61kgCH<sub>4</sub>/km/rok)  
 Łącznie w Polsce dyfunduje do atmosfery ok **20kt CH<sub>4</sub>/rok** (1.5 mln m<sup>3</sup> gazu)



# Badania mobilne



1650nm



CRDS

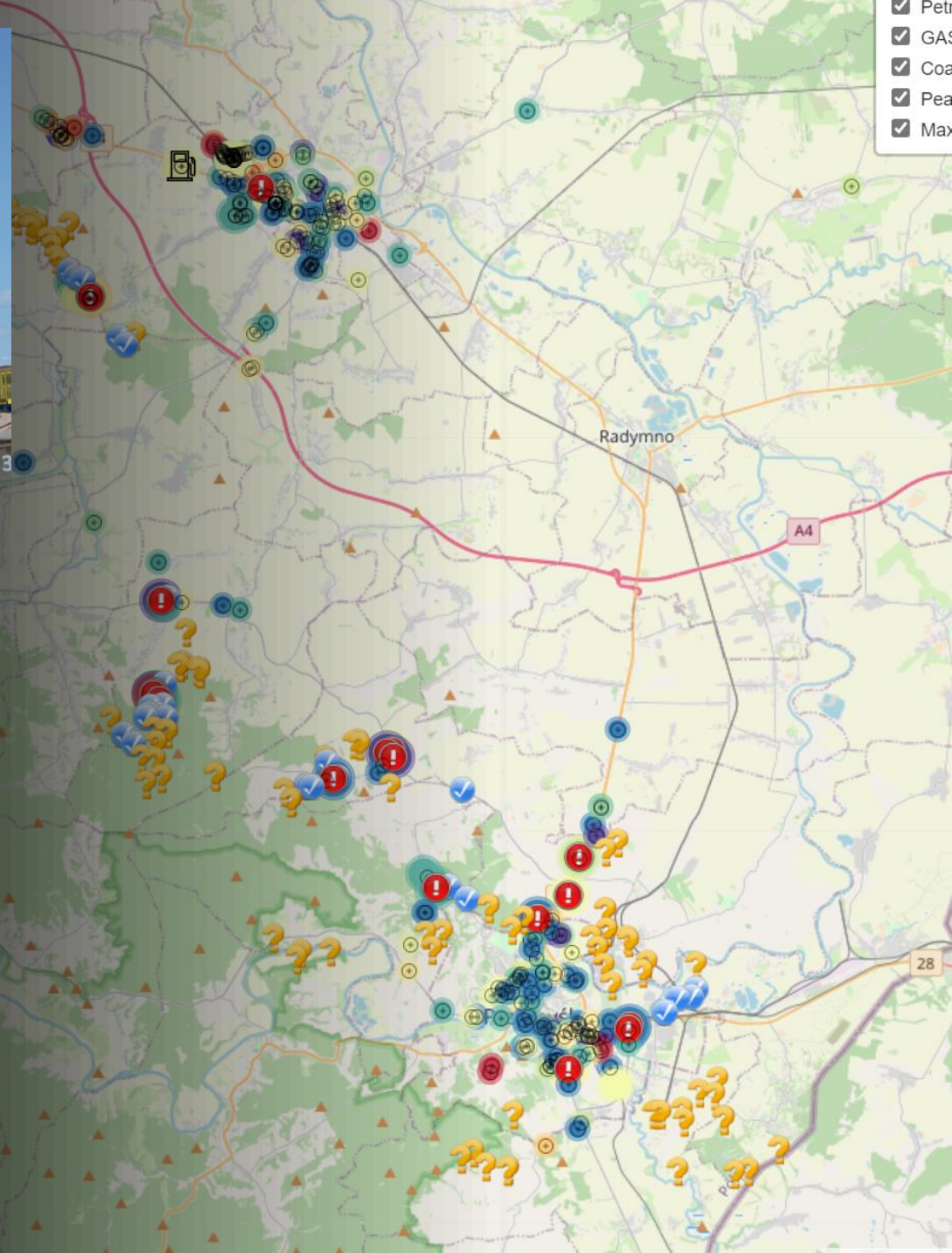
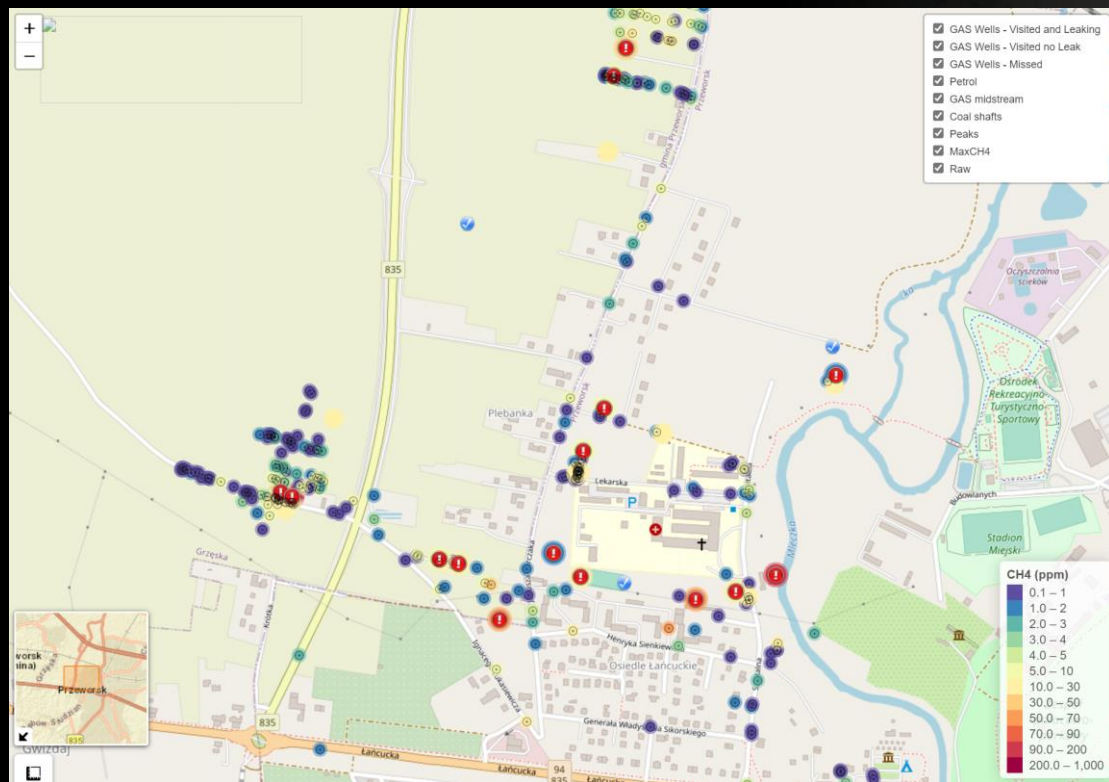


OA-ICOS

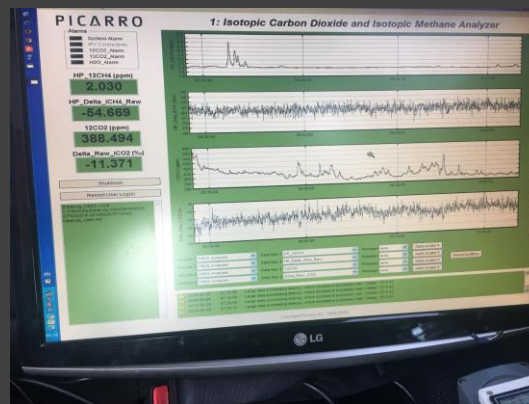
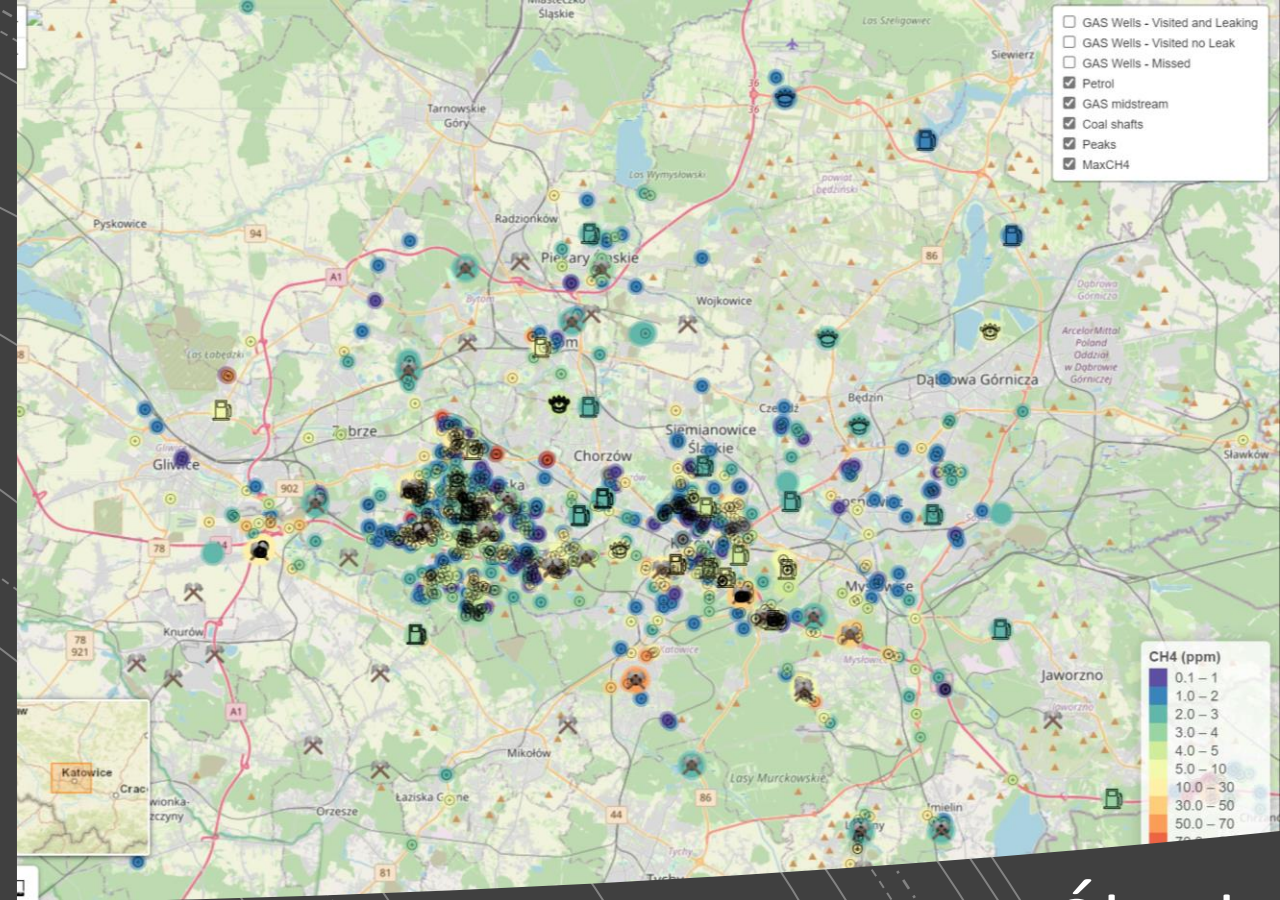
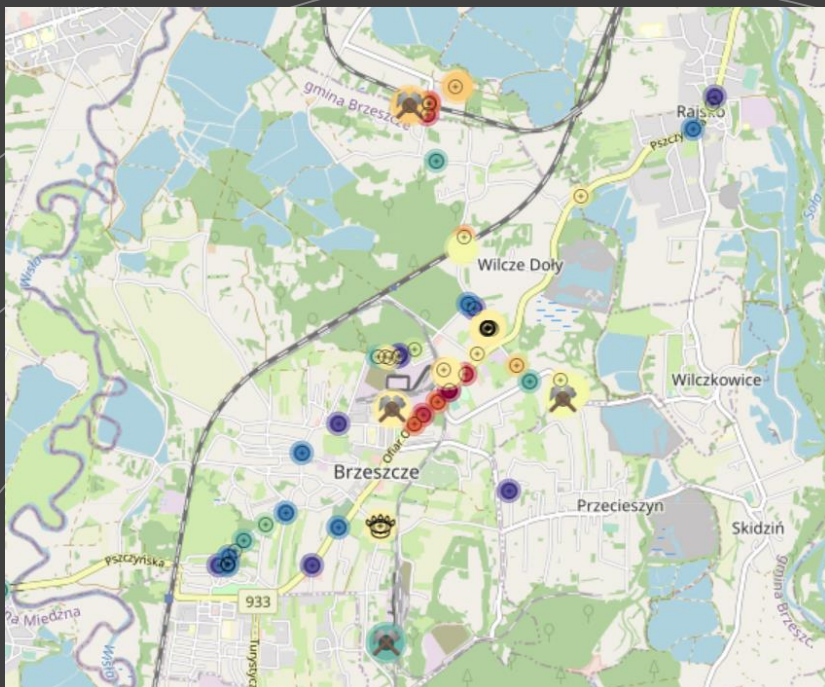
OF-CEAS



PODKARPACIE (2018, 2019)  
nieinwentaryzowane emisje:  
min.20kt/rok





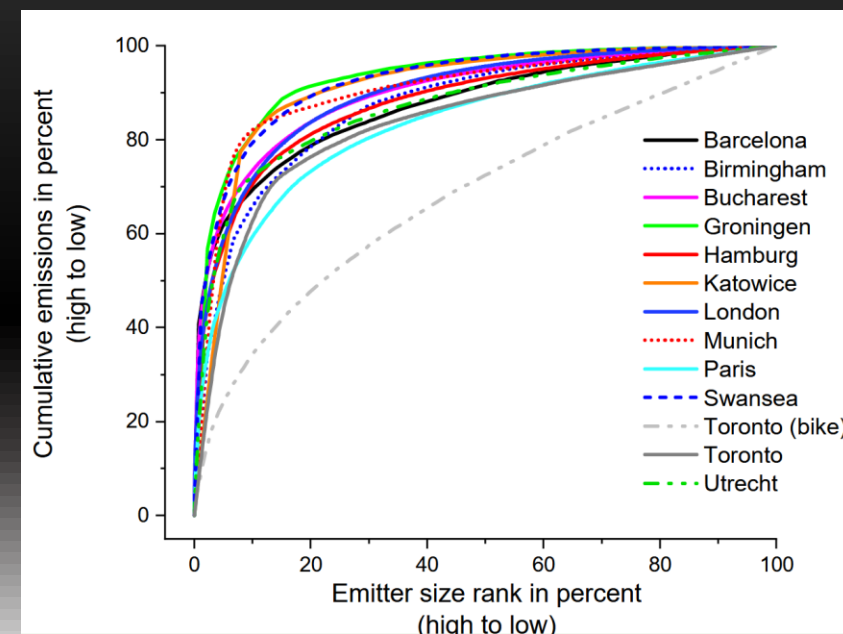
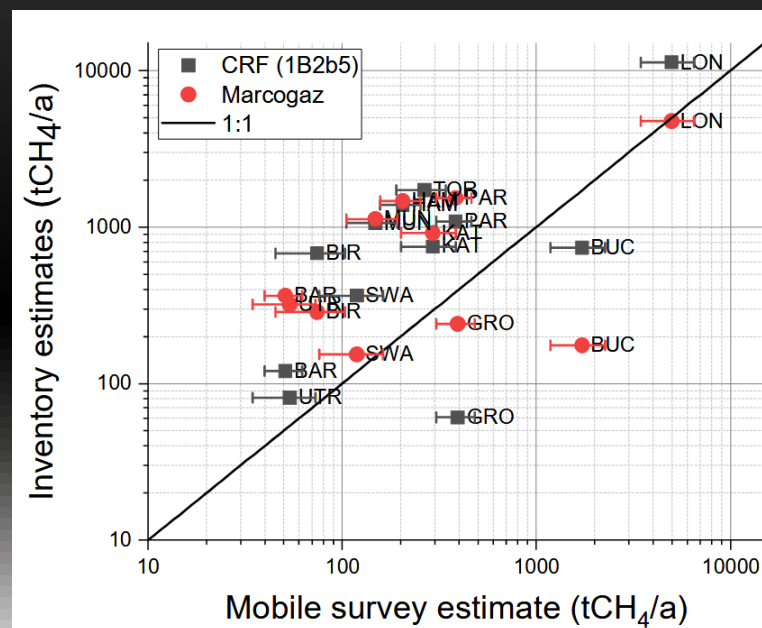
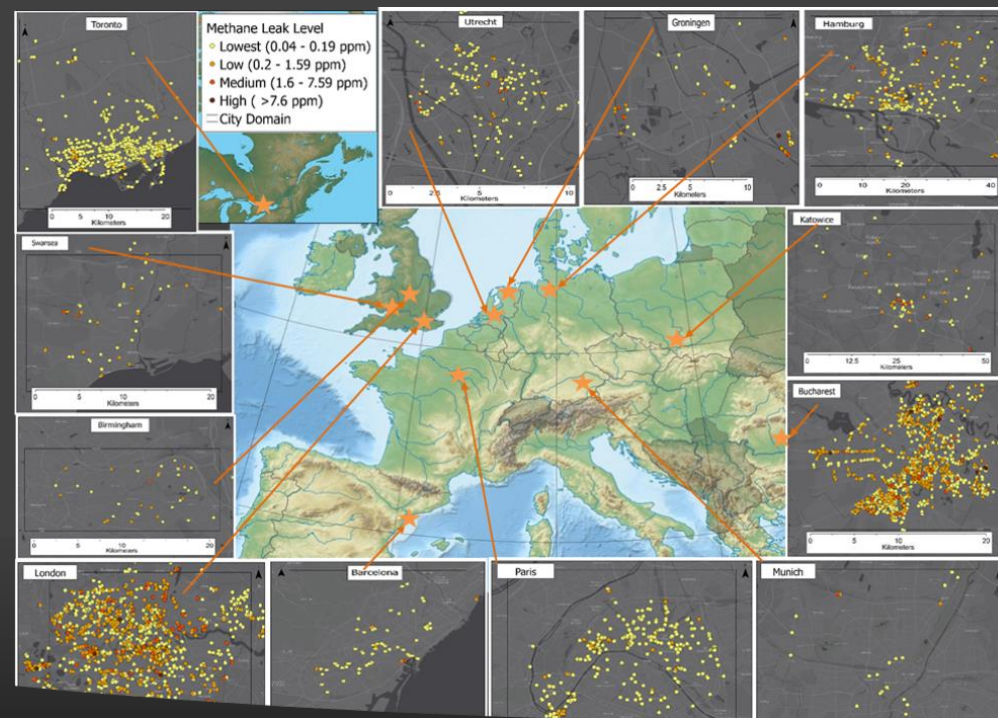


Śląsk  
następne  
20kt/rok





# Inne miasta





## Co można z tym zrobić?

- **Krok 1**  
Operator mierzy, wykonuje rozkłady, agreguje dane i udostępnia publicznie wyniki i metodykę. LDAR
- **Krok 2**  
Zewnętrzna jednostka (niezależna) wykonuje pomiary sprawdzające i udostępnia dane. MRV
- **Krok 3**  
Weryfikacja przez IMEO – dane udostępniane z założenia



# Methane

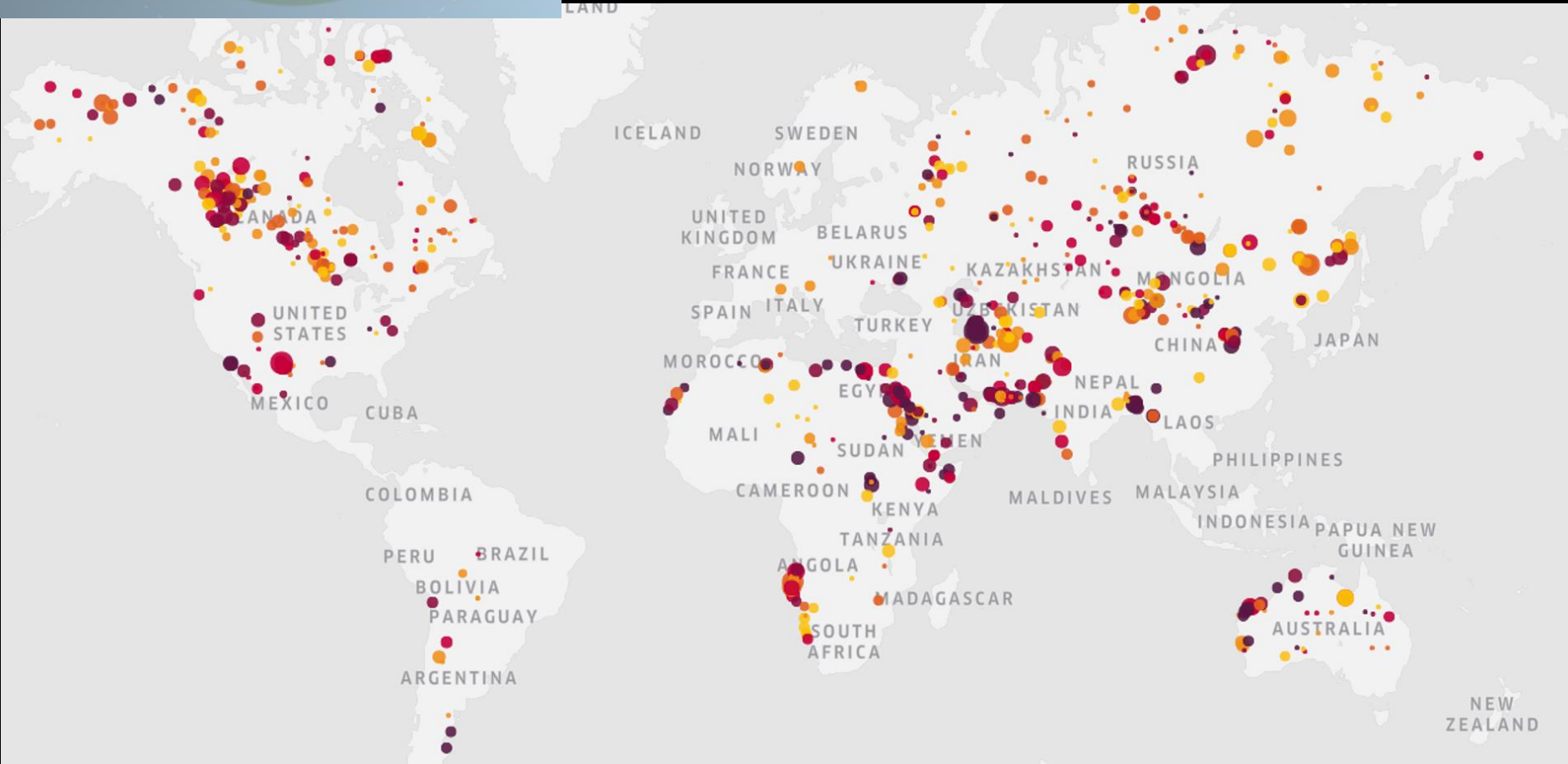
Improved emissions data will accelerate action and allow for tracking of progress against commitments.



W 2018 roku PGNiG zapłacił za zadeklarowaną emisję 5900t CH<sub>4</sub> kwotę 1800zł !!! (stawka 31gr/t)  
na rynku paliw koszt 5900t metanu to: 10 mln zł  
przyjmując minimalne wartości emisji dla Polski  
koszty rynkowe traconego gazu to 120 mln zł



# Methane





Na Śląsku mamy ok. 45 czynnych szybów wentylacyjnych, metanowość wydobywanego węgla rośnie (ok. 15 m<sup>3</sup>/t), do atmosfery może wydostawać się 650 Mm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> rocznie a to w cenie rynkowej jest prawie 1 mld zł.

EMBER

MRV – czego nie wiemy?



AGH

Perspektywa metrologii

Pomiary CH<sub>4</sub> – precyzja i dokładność

$$CH_4(t_i) = C(t_i) * \text{Wydatek\_przepływu}(t_i)$$



- jeśli,  $C(t_i) = 0.3\%$ ,  $W_p(t_i) = 10000 \text{ m}^3/\text{min}$  oraz  $u(C) = 0.1\%$  and  $u(W_p) = 100 \text{ m}^3/\text{min}$  wtedy:

$$CH_4(t_i) = 30 \text{ m}^3/\text{min}, \quad u(CH_4(t_i)) = 10 \text{ m}^3/\text{min}$$

Po przeskalowaniu na rok **CH<sub>4</sub>(rok) = 11 ± 8 kt**

Każda zadeklarowana redukcja emisji o 20% jest prawdą z prawdopodobieństwem 50% !!!



$U(C) = 0.1\%$   
lub więcej

[www.agh.edu.pl](http://www.agh.edu.pl)



Kopalnia węgla brunatnego Bełchatów uwalnia ok 20 kt CH<sub>4</sub> rocznie (z min. 20% niepewnością)





# Metody bezpośrednie

EMBER



MRV – czego nie wiemy?

Perspektywa metrologii

Techniki pomiaru (czujniki)

Pelistorowe ; Półprzewodnikowe; Optyczne:

DAS, TDLAS, DIAL, OGI, CEAS:

CRDS,  
ICOS,  
OFCEAS,...



EMBER



MRV – czego nie wiemy?

Perspektywa metrologii

• Co jest dostępne dla kopalni odkrywkowych?

20kUSD

**TDLAS** –  
otwarta ścieżka  
1szt.  
Retroreflektory  
5 szt.

Tanie **DAS**  
10szt. Ale we  
współpracy  
z modelowaniem  
bLM or IGM

**Sensory półprzewodnikowe**  
100 szt  
Anemometry 3D



Wymagane modelowanie

EMBER



MRV – czego nie wiemy?

Perspektywa metrologii

• Kopalnie w.k. Gdzie można mierzyć?

**TDLAS** – otwarta ścieżka 1szt.  
Retroreflektor 1 szt

Niski koszt **DAS** 3szt  
Wiatromierze 3D (najniższy poziom i na  
zewnątrz)

Najniższy koszt **Sensory półprzewodnikowe**  
10 szt lub więcej

Wiatromierze lub rurki Pitota

Znacznikowanie (okazjonalnie)

Najwyższy chodnik





# Metody zdalne

EMBER

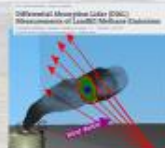


AGH

MRV – czego nie wiemy?

Perspektywa metrologii

- Weryfikacja

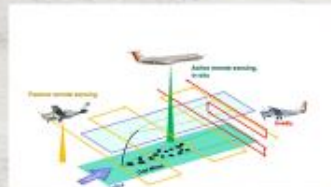


DIAL (lidar) 0.4M\$ jeden na kraj



CEAS (lekkie, MIR)

40k\$ jeden na instytucję



DIAL, CEAS (ciężkie, MIR), OGS (SWIR) ?\$ jeden na kontynent



60k\$ jeden na instytucję

CEAS (mobile, MIR, SWIR)

EMBER



AGH

MRV – czego nie wiemy?

Perspektywa metrologii

- Modele

Wtedy, kiedy nie można wykonywać bezpośrednich pomiarów

Lagrangian models

bLS

Śledzą drogę cząsteczki

Wskazane dla receptorów punktowych

Gaussian models

IGM

Śledzą smugę gazu w całości (uśrednioną)

Wskazane dla „otwartej ścieżki”

Mass balance

MB

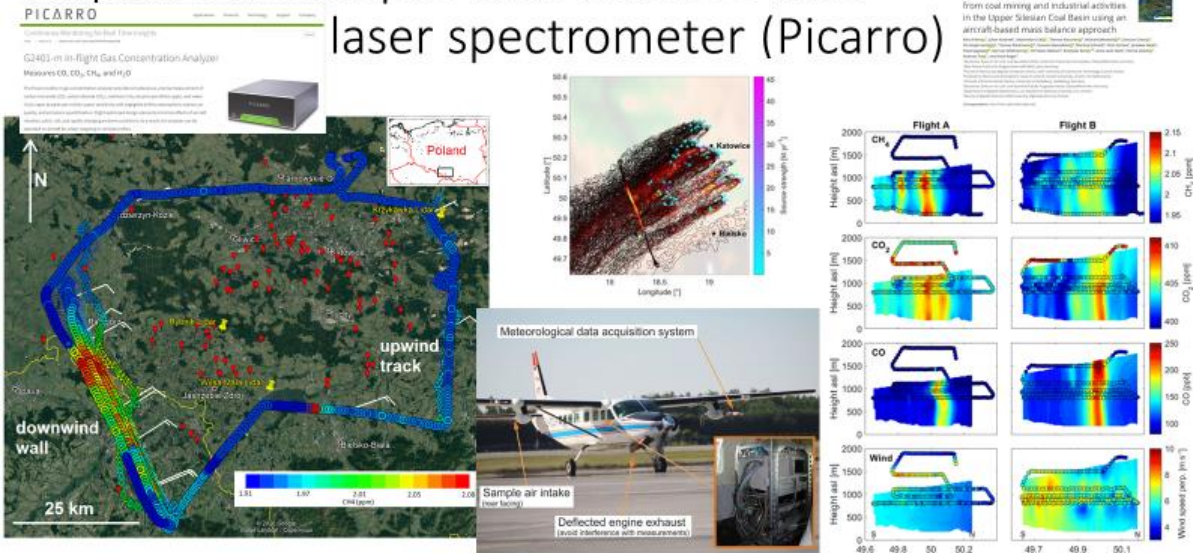
Sumują masę

Wskazane dla platform powietrznych lub DIAL

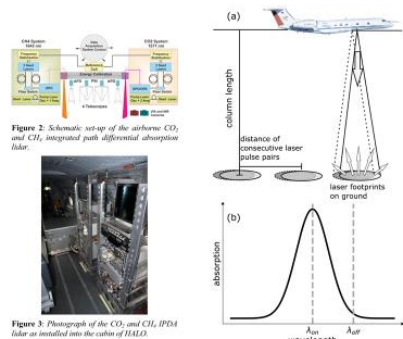




# Airplane technique: Mas balance with laser spectrometer (Picarro)



## Airplane techniques (LIDAR):



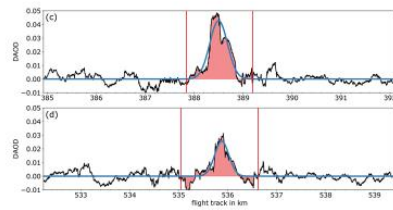
### Determination of the emission rates of CO<sub>2</sub> point sources with airborne lidar

April 2021 Atmospheric Measurement Techniques 14(4):2717-2736. [Cite this article](#)  
DOI: 10.5194/amt-14-2717-2021  
License: CC BY 4.0

Sebastian Wollf, Gerhard Ebert, Christoph Kiemle, [Show all 7 authors](#), Andreas Fix

**CH<sub>4</sub> AND CO<sub>2</sub> IPDA LIDAR MEASUREMENTS DURING THE COMET 2018 AIRBORNE FIELD CAMPAIGN**  
Andreas Fix\*, Axel Sandel\*, C. Sebastian Biedenkopf\*, Gerhard Ebert\*, Christoph Kiemle\*, Markus Oesterwald\*, Martin Wirth\*, Sebastian Wollf\*, Dominik Beyer\*, Volker Bock\*, Michael Galkow\*, Christoph Gerbig\*, Patrick Jöckel\*, Julia Marshall\*, Jaroslav Seckl\*, Klaus Pfeil\*, Niko Rieger\*, Andrea Seifert\*, Martin Zöger\*, and the Co-MeT team

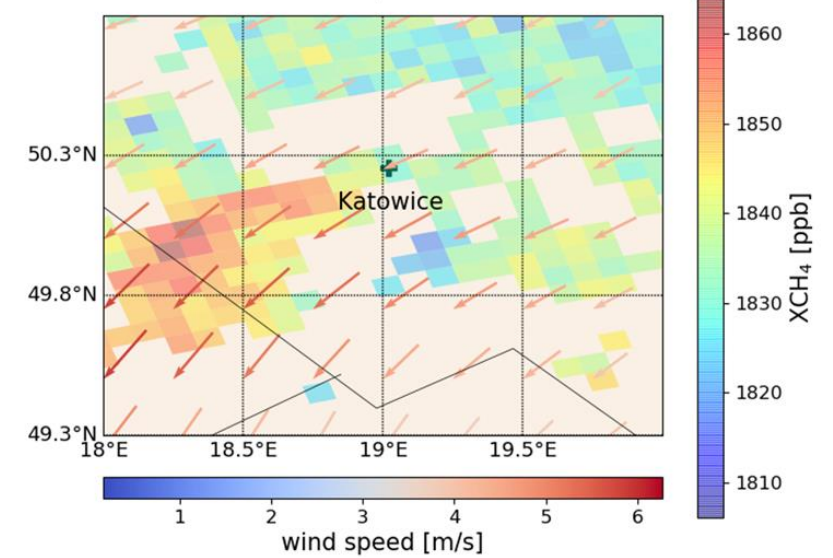
\*German Aerospace Center (DLR), Institute of Atmospheric Physics, Oberpfaffenhofen, Germany  
\*University of Bremen, Institute of Environmental Physics, Bremen, Germany  
\*University of Hamburg, Institute of Environmental Physics, Hamburg, Germany  
\*Max-Planck Institute for Biogeochemistry, Jena, Germany  
\*AGH University of Science and Technology, Kraków, Poland  
\*German Aerospace Center (DLR), Flight Experiments, Oberpfaffenhofen, Germany  
\*Email: andreas.fix@dlr.de



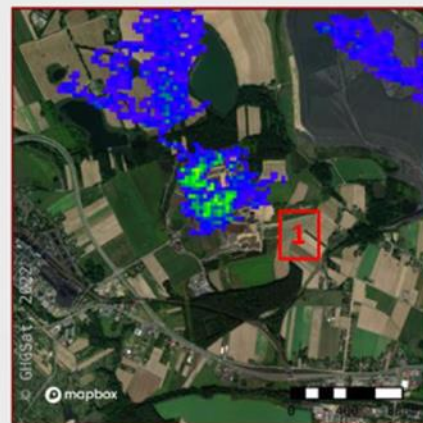
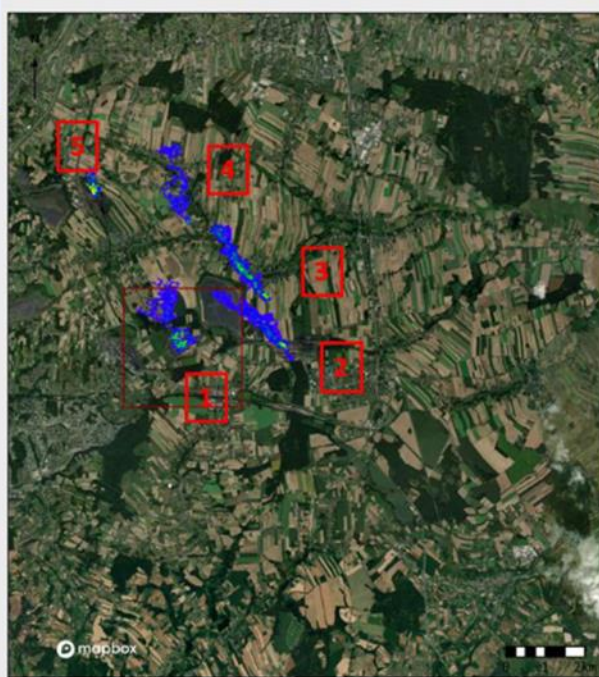


# IMEO

TROPOMI XCH<sub>4</sub> on 2018-06-06



**Pniówek, Poland**  
**CH<sub>4</sub> Concentration Map**



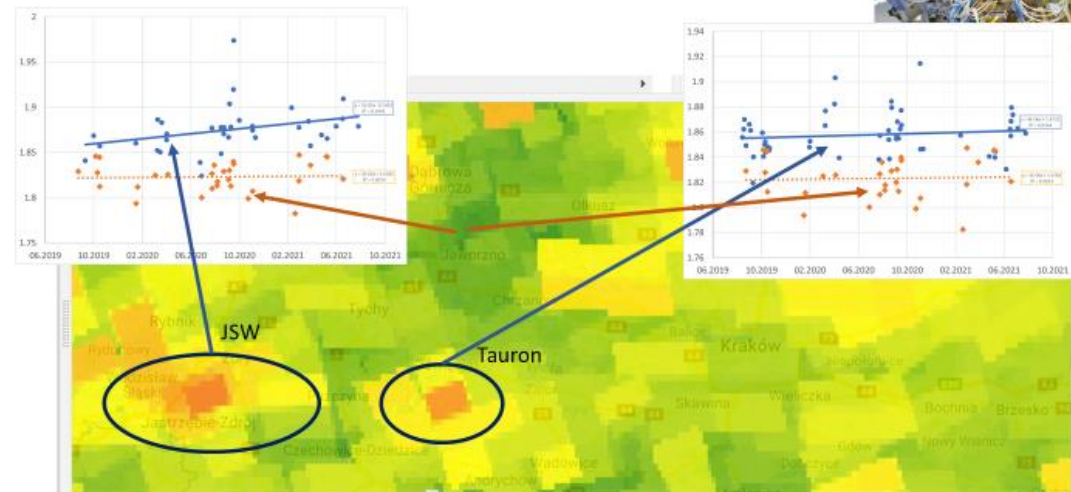
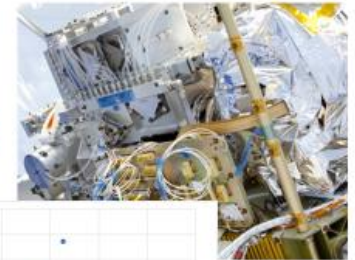
Product:  
Column averaged CH<sub>4</sub> concentration in excess of  
local background.  
Background Image:  
© Mapbox: <https://www.mapbox.com/about/maps>  
© OpenStreetMap: <http://www.openstreetmap.org/copyright>  
© Maxar: <https://www.maxar.com>  
Timestamp:  
2022-01-24 08:40:54 UTC  
Observation ID:  
AX\_F04g  
Satellite:  
GHGSat-C2

Satellite: ESA Sentinel 5P

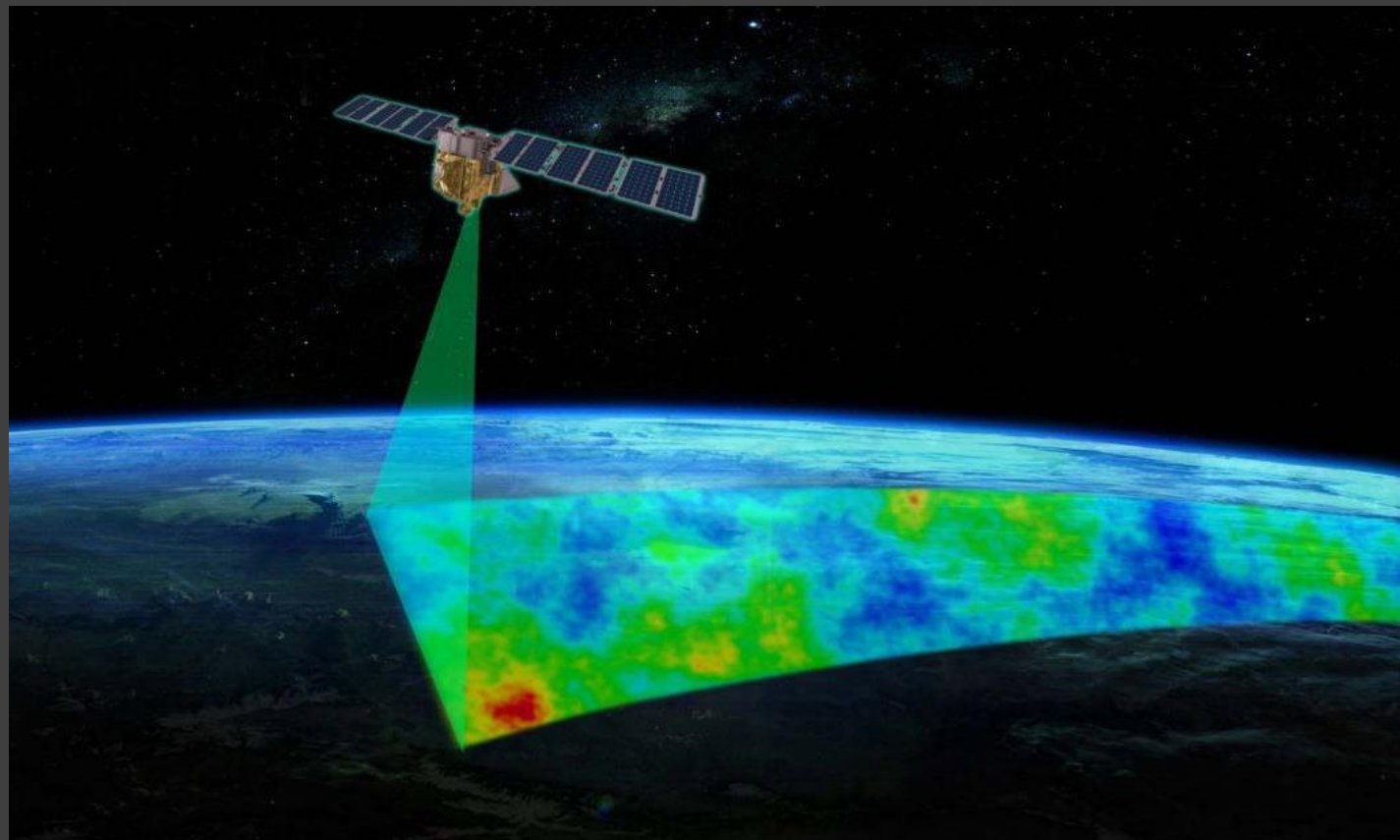
Instrument: TROPOMI

Gas: CH<sub>4</sub>

Target: south USCB coal mines







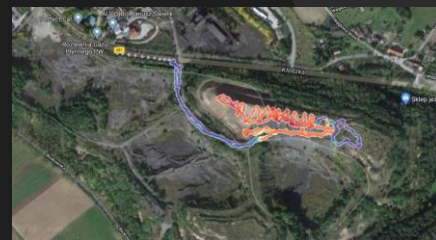
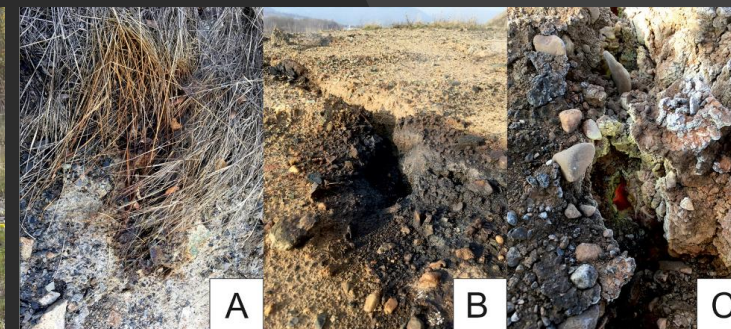
### A Comparison of Methane Satellites

| Global mapping<br>*7,000m x 5,500m pixels across<br>2,600km swath                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Area mapping<br>*130m x 400m pixels across<br>>200km swath                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Location mapping<br>*30m x 30m pixels across<br>>10km swath                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Global and large-scale regions</li> <li>✓ Large point sources</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Area sources</li> <li>✓ Point sources</li> <li>✓ Sector-wide qualification</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Point sources</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>TROPOMI*</b><br><b>SCIAMACHY</b><br><b>GOSAT</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Moderate precision</li> <li>• Global mapping</li> <li>• Quantify large-scale regions</li> <li>• Quantify large-point sources</li> <li>• Guidance from other satellites to interpret point-source emissions</li> </ul> | <b>MethaneSAT*</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• High precision</li> <li>• Detect and quantify area sources</li> <li>• Sector-wide quantification</li> <li>• Detect and quantify high-emitting point sources</li> <li>• Fills observing and data gaps between location and global mapping missions</li> </ul> | <b>GHGSat*</b><br><b>Carbon Mapper</b><br><b>PRISMA</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Low precision</li> <li>• Detect and quantify moderately high-emitting point sources</li> <li>• Guidance from other satellites to inform target acquisition</li> </ul> |

Planowany start 2025

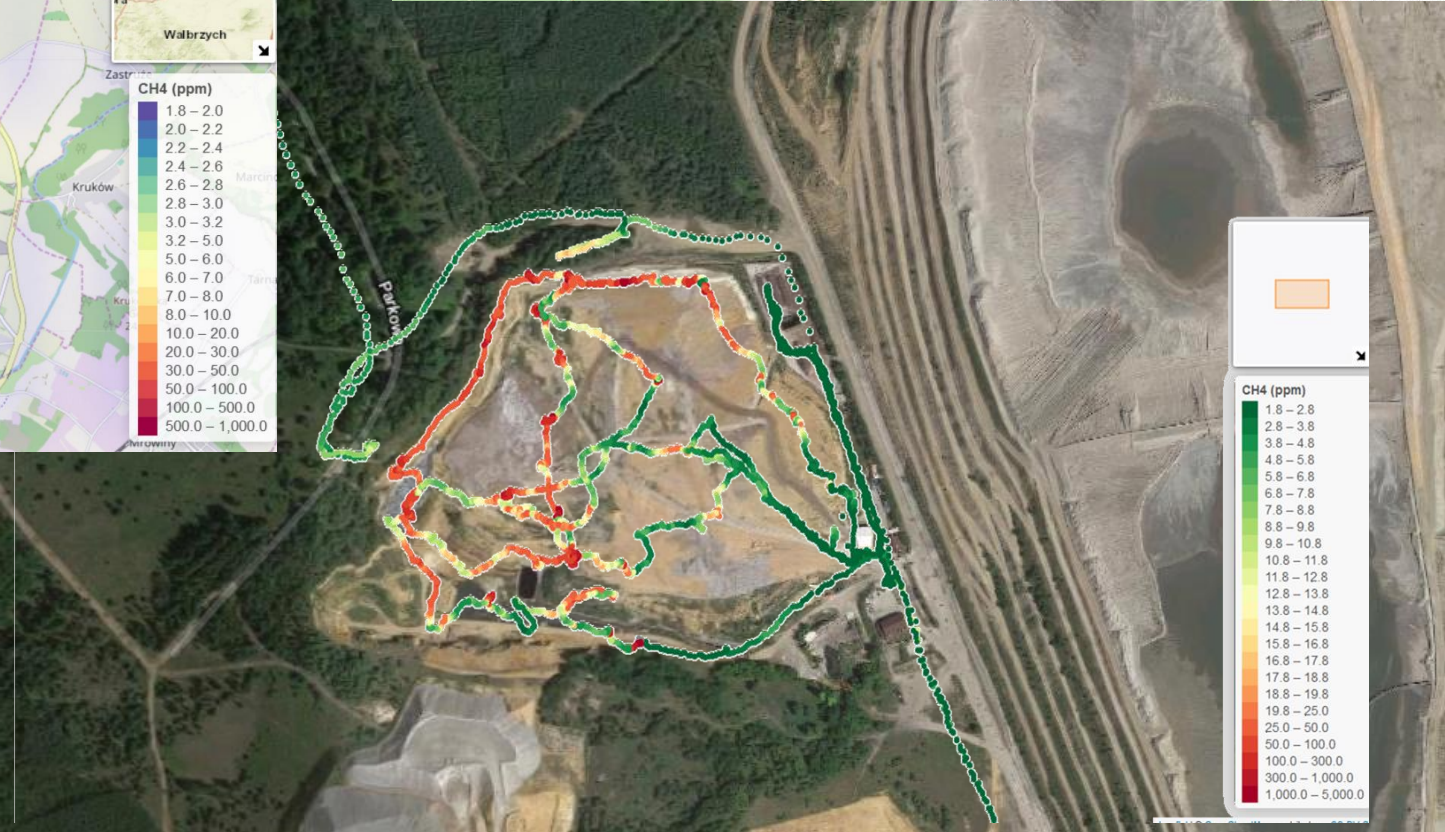
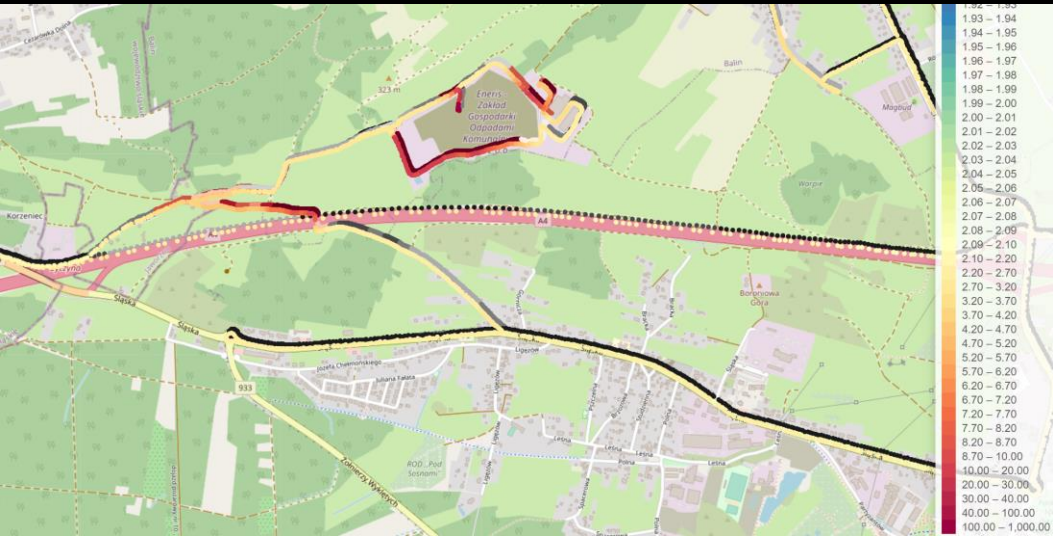
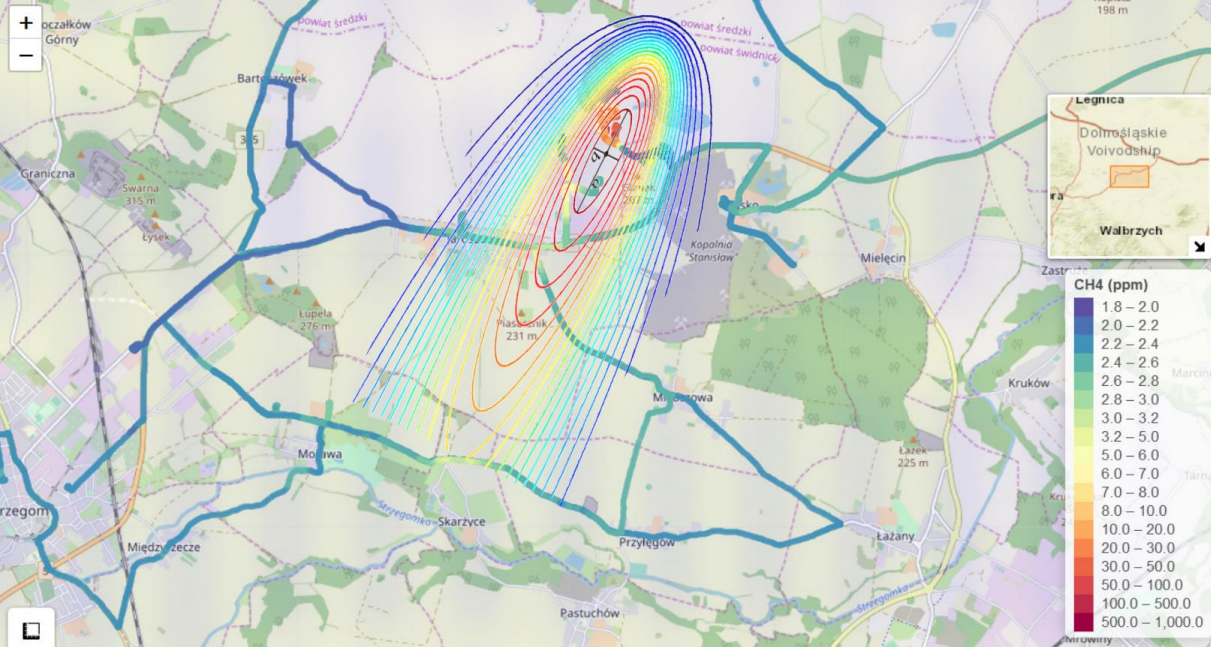


# Hałdy i zamknięte kopalnie





# Składowiska Odpadów







# KONIEC

Zapraszam na seminarium, gdzie przedstawię tematykę habilitacji.....kiedy?