



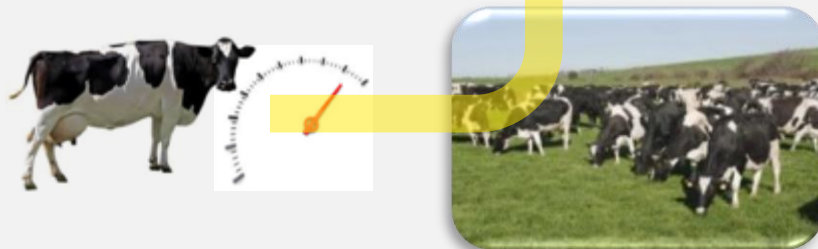
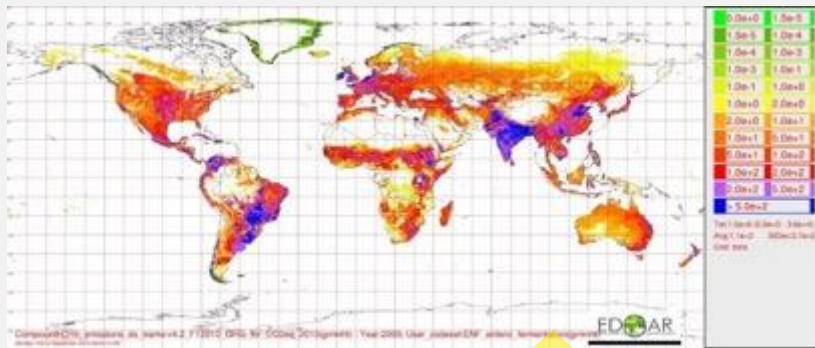
Zastosowania pomiarów lotniczych do monitoringu i weryfikacji emisji metanu

Justyna SWOLKIEN

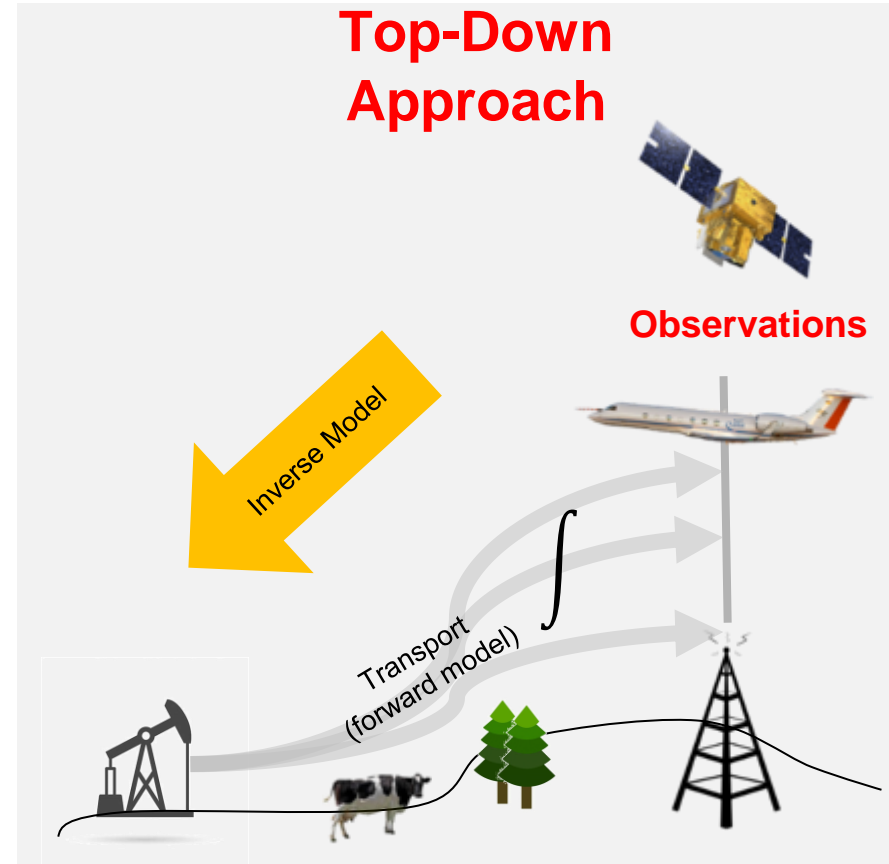
**Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki
Zasobami
Katedra Inżynierii Środowiska
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków**

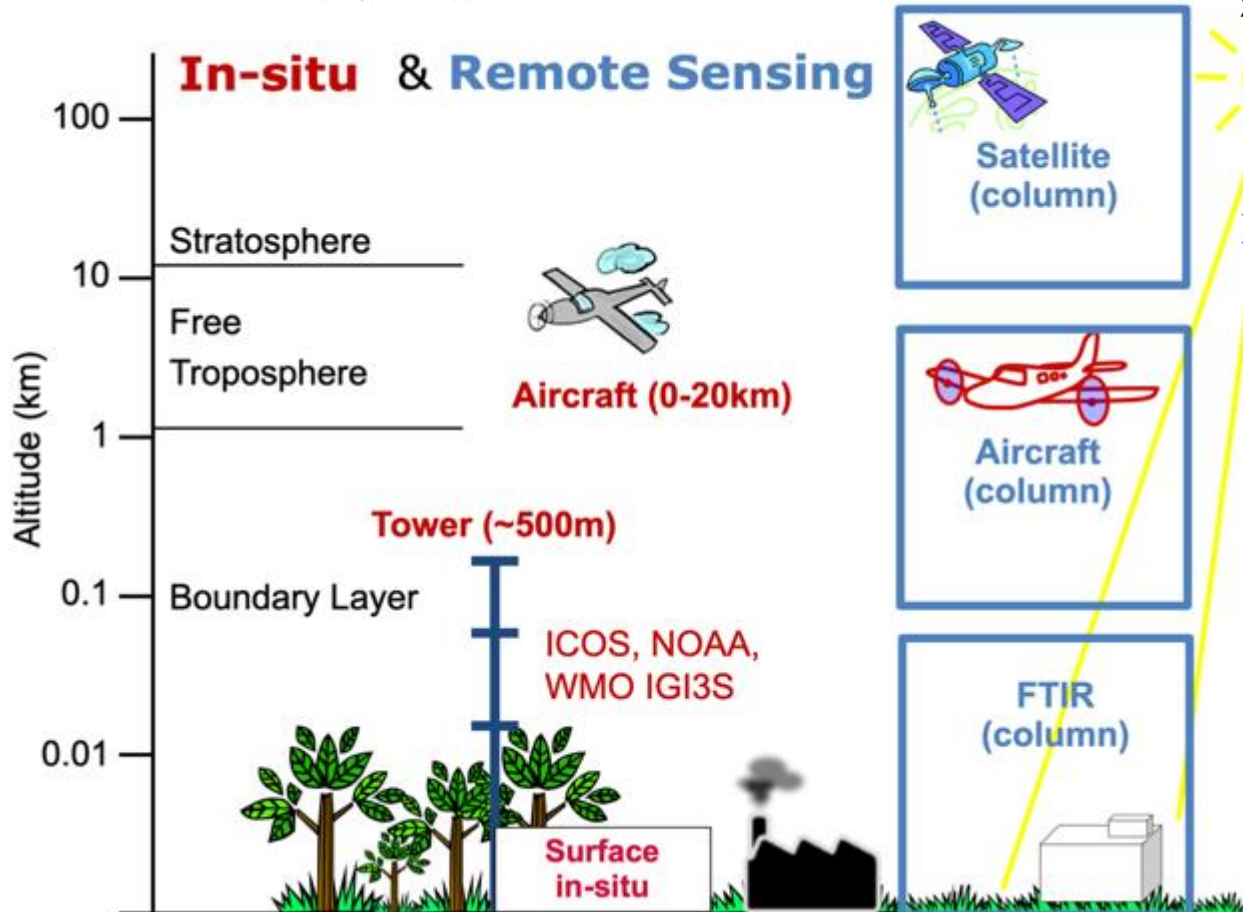
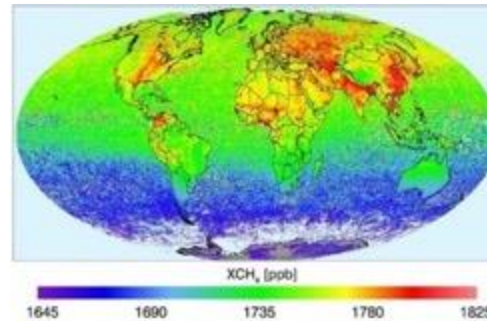
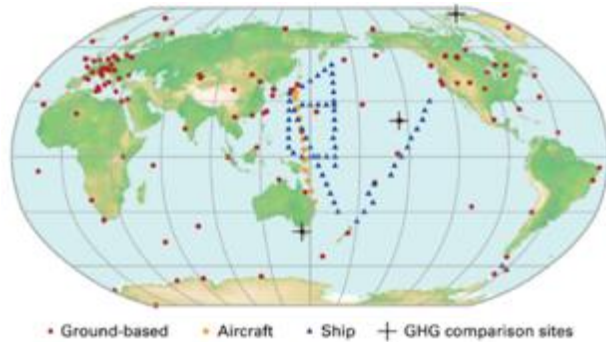


Bottom-Up Approach



Top-Down Approach





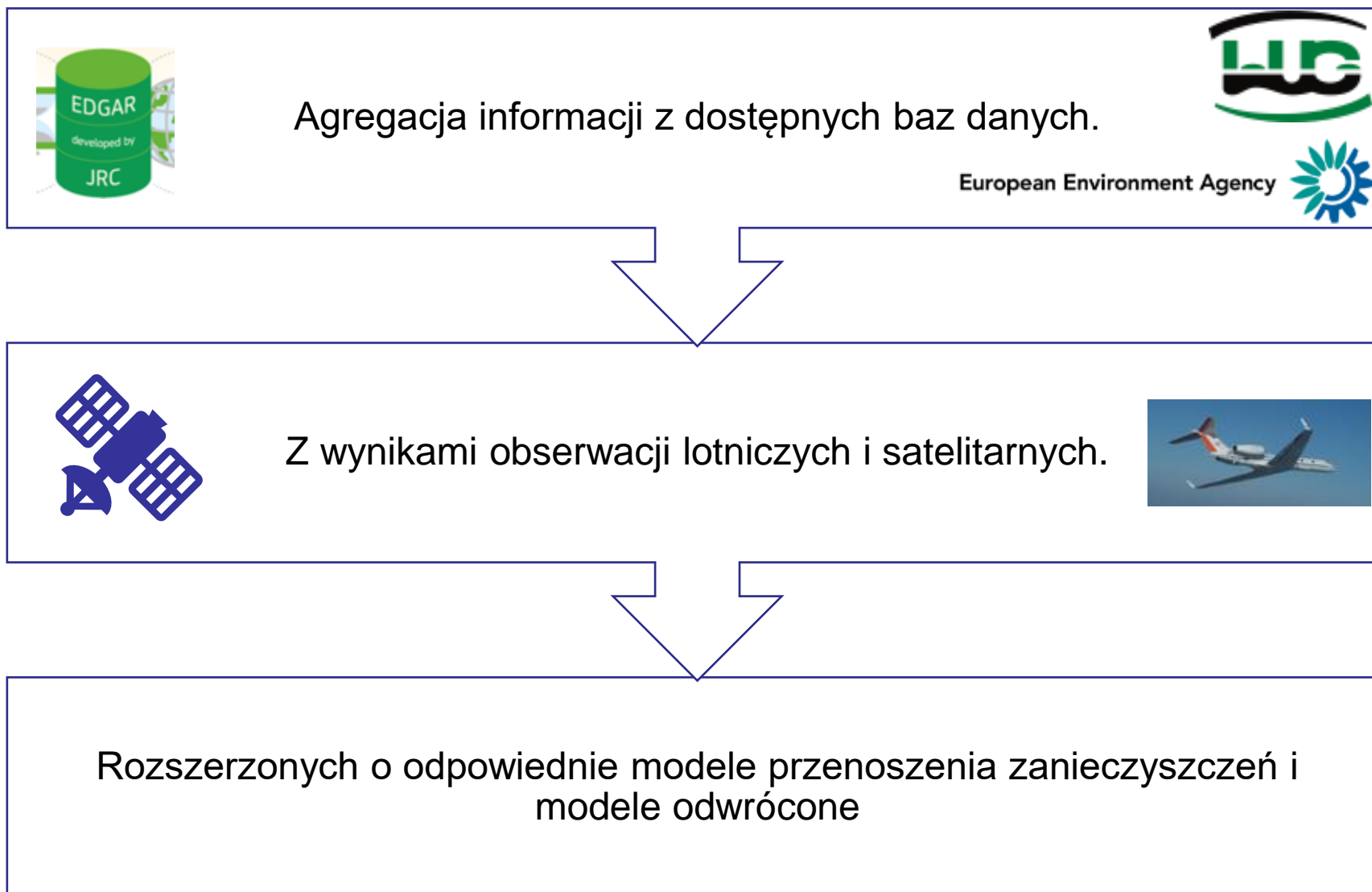
» **Badania metodami in-situ plus pomiary składu izotopowego w celu określenia źródeł pochodzenia metanu**

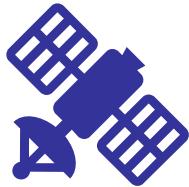
Dane satelitarne aby móc prawidłowo szacować emisje powinny charakteryzować się:

- Wysoką precyzją
- Wysoką częstotliwością
- Wysoką rozdzielczością przestrzenną
- Dobrym pokryciem przestrzennym



Monitoring i weryfikacja emisji CH₄





Dane satelitarne dostarczają informacji w skali globalnej i regionalnej i były stosowane dla poszczególnych źródeł w bardzo dużej skali



Przy określaniu źródeł emisji na mniejszą skalę bardziej pomocne mogą być badania lotnicze. Obrazują one więcej szczegółów w znacznie mniejszej skali



AGH

Aktualne możliwości wykorzystania badań lotniczych do monitoringu i weryfikacji emisji metanu

✓ Active (Laser) Remote Sensing

- wysoka rozdzielczość,
- pomiary w dzień i w nocy na dużych wysokościach
- niewrażliwe na chmury i aerozole, w przeciwieństwie do badań satelitarnych



✓ Passive Remote Sensing (Spectrometer)

- bardzo dokładny
- dobrze dostosowany do lokalnych źródeł
- podobny do obecnych instrumentów satelitarnych



✓ In-situ instruments

- najwyższa dokładność i precyzja
- Standard WMO
- Analiza izotopowa do identyfikacji źródła



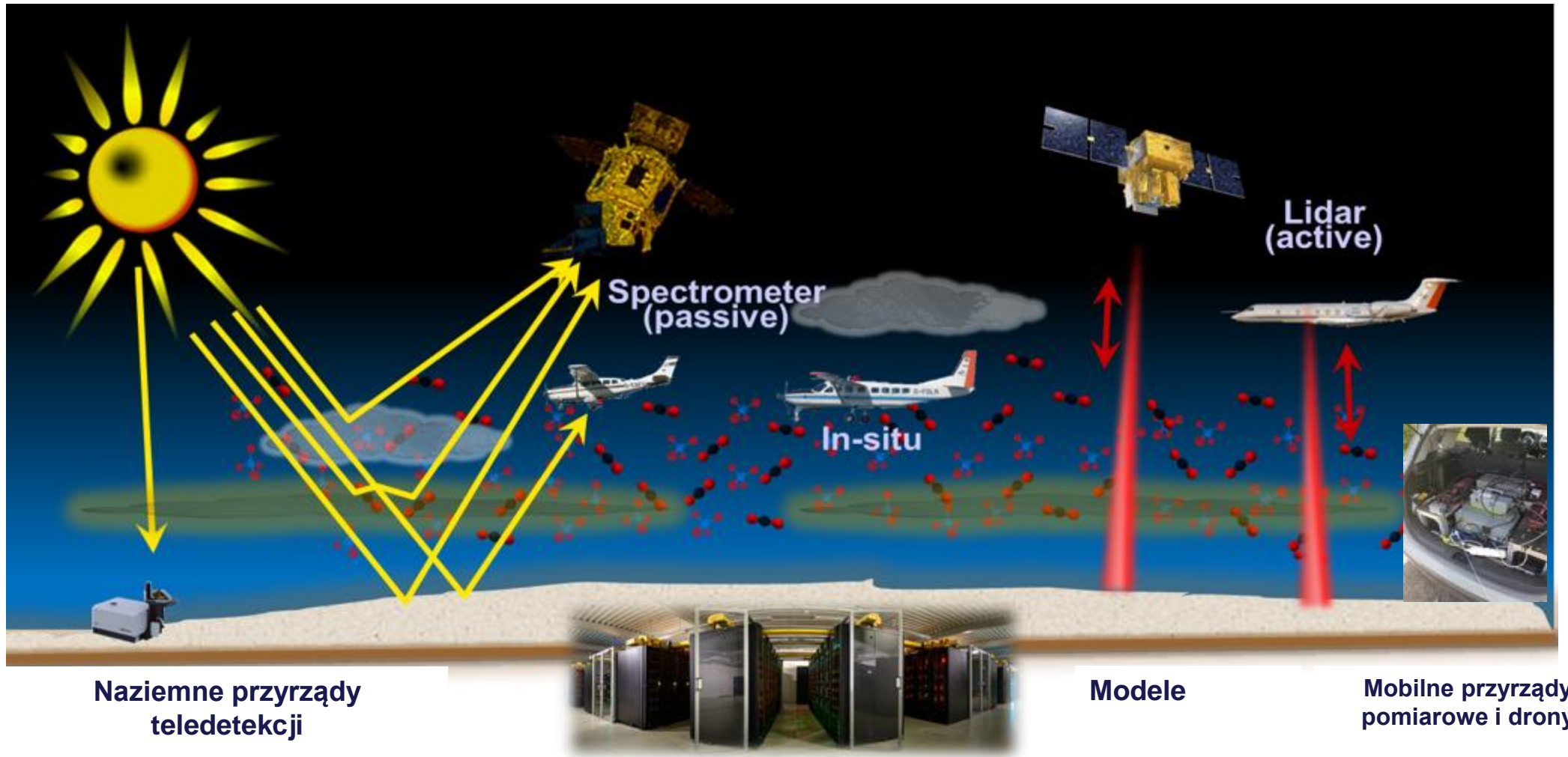
✓ Ancillary information

Meteorologia (temperature, wiatr, wilgotność)

Jednolity i innowacyjny system pomiarowy

Misja CoMet

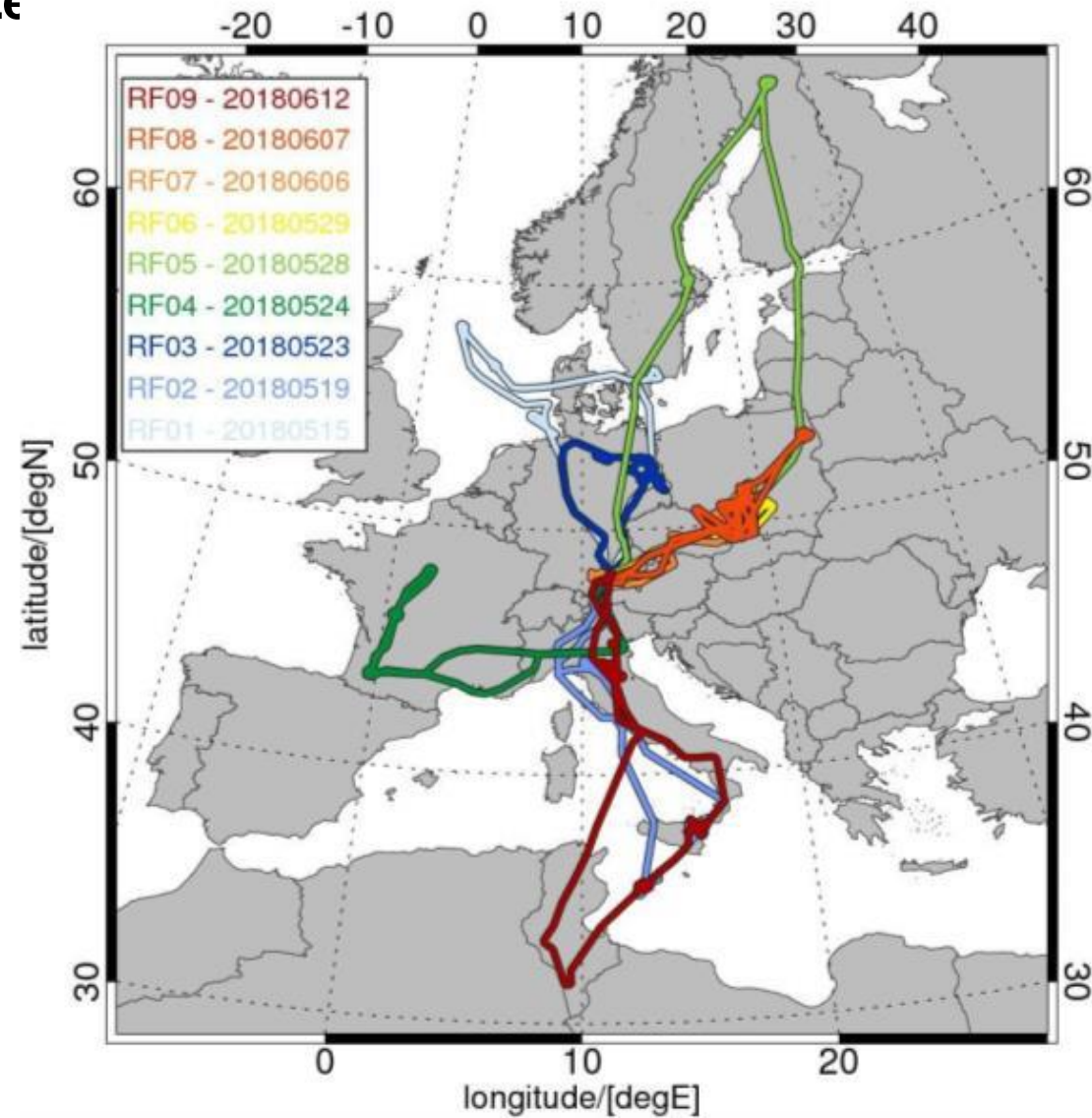
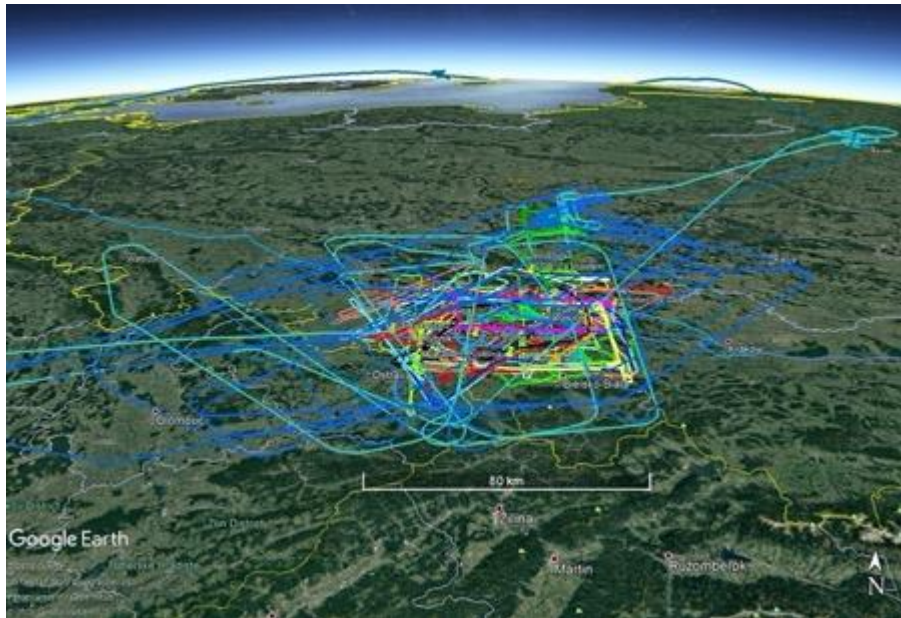
(Carbon dioxide and methane mission)



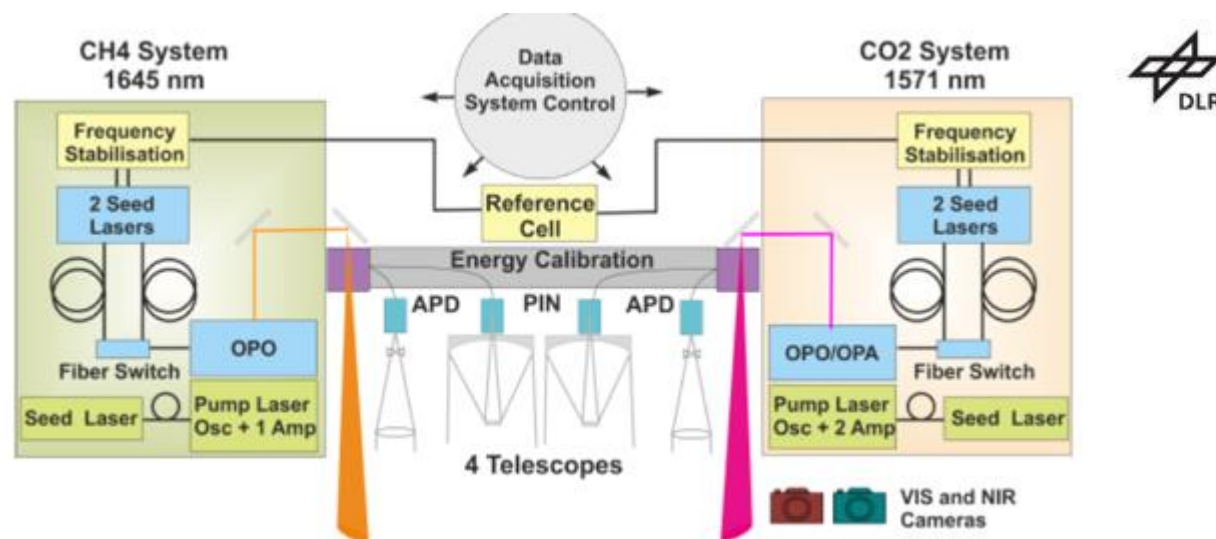
Trajektoria lotów samolotu badawczego HALO nad USCB



May 28, 2018
May 29, 2018
June 6, 2018
June 7, 2018



IPDA (Charm-F lidar)



Schematic setup of the airborne CO₂ and CH₄ integrated path differential absorption lidar.

Stwierdzono, że emisje rzędu 9 ktCH₄/rok można łatwo wykryć z wysokości lotu > 6 km

Photograph of the CO₂ and CH₄ IPDA lidar as installed into the cabin of HALO.

Zaletą lidarów jest to, że jest niezależny od chmur powyżej poziomu lotu i można go stosować w dzień i w nocy. Korzystne jest przecięcie smug metanu w pobliżu ich pochodzenia, tak aby źródła emisji można było od siebie odróżnić.

Pomiary in-situ emisji CH₄ i CO₂ i CO przy użyciu bilansu masy (mass balance approach)



Instrumenty na pokładzie FDRL Cessna

CRDS Picarro G1301-m: CO₂, CH₄, H₂O (Klausner et al., 2020)

Aerodyne QCLS: CO, C₂H₆, CO₂, CH₄, N₂O, H₂O (Kostinek et al., 2019)

Flask sampler: Isotopes, Jena Air Sampler (JAS)

MetPod: T, p, H₂O, 3D-wind (Mallaun et al., 2015)



Katowice, Polska

28.05. – 14.06.2018

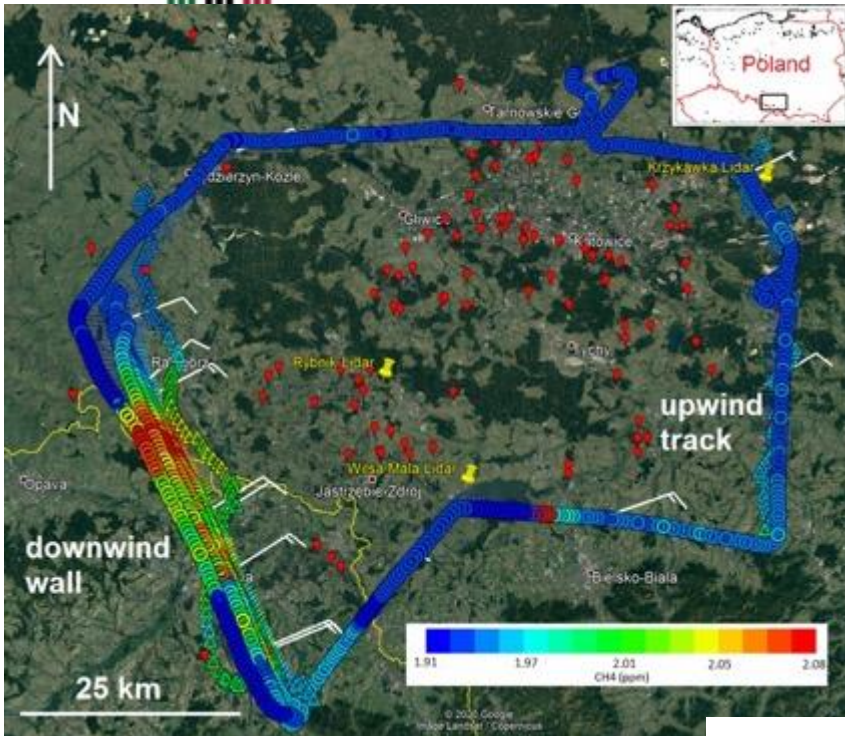
From Fiehn et al., • Isotopic characterization of coal mine methane in the Upper Silesian Coal Basin, Poland EGU21-6056 , 2021

Pomiary in-situ emisji CH₄, CO₂ i CO przy użyciu bilansu masy (mass balance approach)



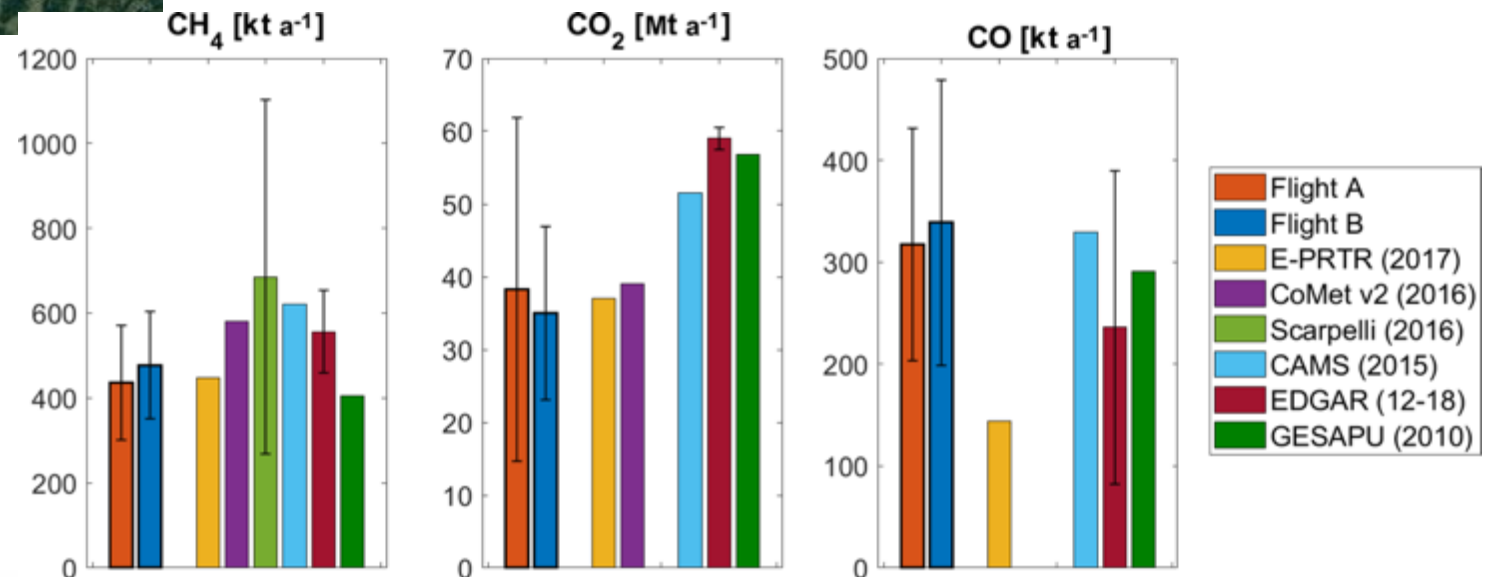
lot, 6 czerwiec, 2018 Pomiary CRDS Picarro

Tor lotu dla lotu B, oznaczony kolorami z ułamkami molowymi CH₄ zmierzonymi in situ. Czerwone znaczniki pokazują lokalizacje aktywnych szybów kopalni węgla zgodnie z bazą CoMet v2.



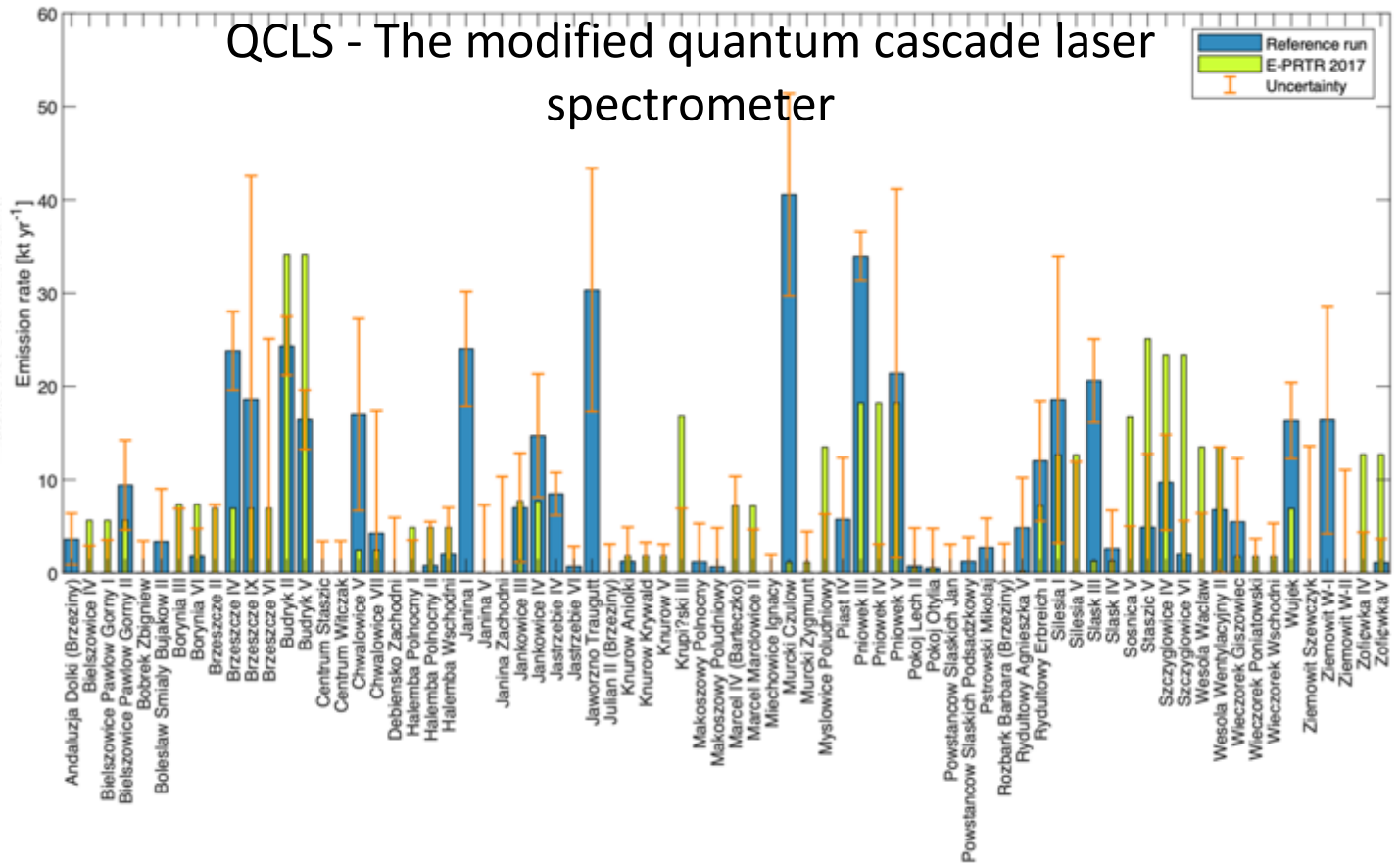
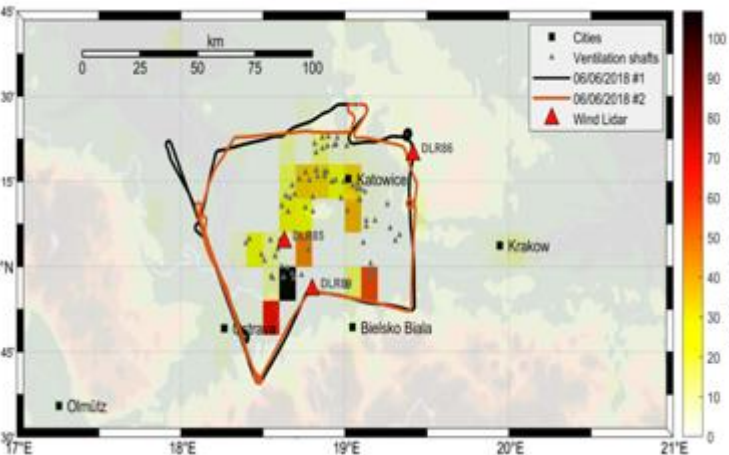
Porównanie pomiarów emisji podczas lotów A i B z bazami danych wraz z odchyleniem standardowym, jeśli jest dostępne.

436 ± 115 kt CH₄/rok i
477 ± 101 kt CH₄/rok





Pomiary in-situ emisji CH₄, (dispersion modeling)



Wykres przedstawia trajektorie lotu dla lotu porannego (czarny) i lotu popołudniowego (czerwony) w dniu 6 czerwca 2018 r.

Emisja dla regionu USCB na poziomie **452 ± 78 kt/rok** i **442 ± 75 kt/rok**

Szacunkowe emisje dla pojedynczych szybów wentylacyjnych

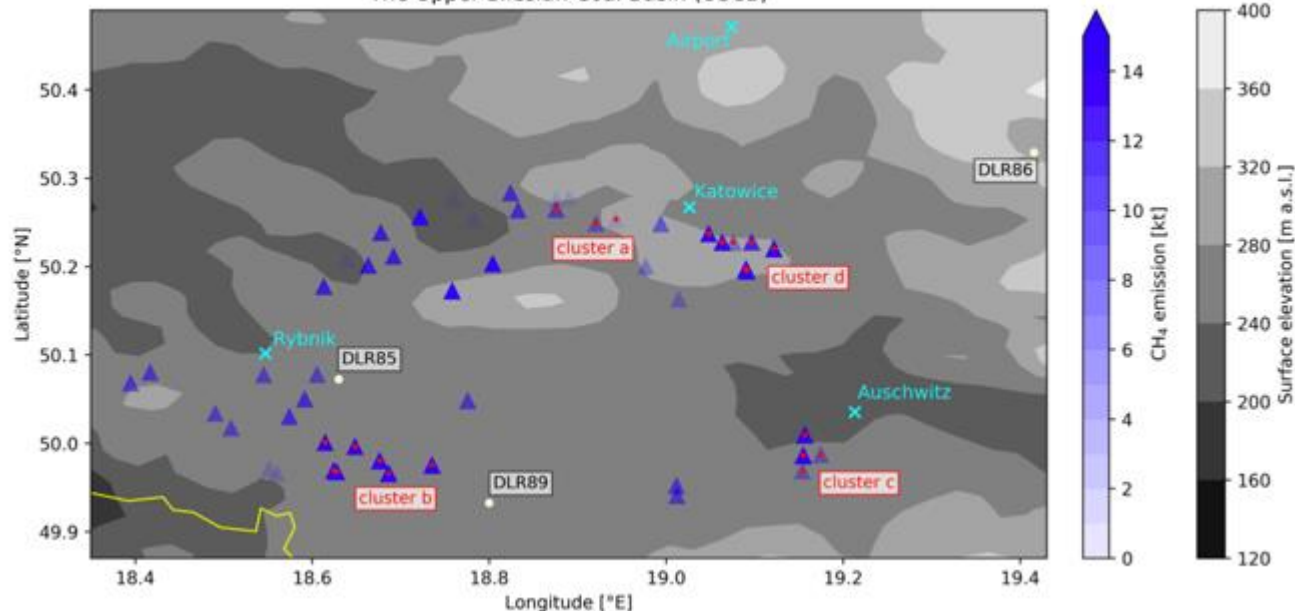
Różni się od rocznych uśrednionych szacunków emisji inwentaryzacyjnych dla regionu USCB o około -37% dla EDGAR v4.3.2 i 2 % odpowiednio dla wykazu E-PRTR.

Obserwacje emisji metanu za pomocą pasywnej spektroskopii MAMAP (Passive airborne remote sensing)



Universität Bremen

The Upper Silesian Coal Basin (USCB)



Wyznaczanie emisji CH₄ z małych skupisk (klasterów) szybów wentylacyjnych

Krautwurst et al. : Quantification of CH₄ coal mining emissions in Upper Silesia by passive airborne remote sensing observations with the MAMAP instrument during CoMet , Atmos. Chem. Phys. Discuss, <https://doi.org/10.5194/acp-2020-1014>

Dates	Cluster	MAMAP	Annual	Hourly	[t CH ₄ hr ⁻¹]	
					Pniówek	Zofiówka
29 May, 1 June	b, P	7.0	6.8	4.5	1.8, 1.7, 1.0	
6, 7 June	b, PZ	9.2	9.7	6.2	1.8, 0.9, 0.4	2.0, 1.2
6, 7 June	c, B	2.9	3.7	2.8*	-	

*value is not based on hourly data but partly composed of monthly data between 14 May and 13 June and annual data.

Zespół MAMAP opracowuje obecnie następną generację czujnika obrazowania metanu w powietrzu (MAMP2D), zdolnego do obrazowania, wykrywania i ilościowego określania emisji na poziomie 0,1 t CH₄/godz.



Prezentowane metody lotnicze z powodzeniem mogą być wykorzystywane do weryfikacji emisji CH₄ z różnych źródeł.

Niemniej jednak należy pamiętać, że wymagania czasowe i organizacyjne mogą ograniczać ich użycie.

Dodatkowo wymagają one bardzo dokładnych danych dotyczących emisji czasowych z poszczególnych punktowych źródeł.



W chwili obecnej najbardziej rozsądnym rozwiązaniem jest okresowe stosowanie tych technik jako dodatkowego sposobu weryfikacji obserwacji satelitarnych i danych uzyskanych z dostępnych baz danych emisji.



Andreas Fix, Axel Amediek, Christian Budenbender, Gerhard Ehret, Christoph Kiemle, Mathieu Quatrevalet, Martm Wirth, Sebastian Wolff, Heinrich Bovensmann, Androe Butz, Michal Galkowski, Christoph Gerbig, Pattick Jöckel, Julia Marshall, Jaroslaw Necki, Klaus Pfeilsticker, Anke Roiger, Justyna Swolkieñ, Martin Zöger, the CoMet team, *CH₄ and CO₂ IPDA Lidar Measurements During the Comet 2018 Airborne Field Campaign*, EPJ Web Conf. 237 03005 (2020), <https://doi.org/10.1051/ep1conf/202023703005>

Fiehn, A, Kostinek, J., Eckl, M., Klausner, T., Gaikowski, M., Chen, 1., Gerbig, C., Röckmann, T, Maazallahi, H., Schmidt, M.i Korben, P.,Necki, J., Jagoda, P.,Wildmann, N., Mallaun, C., Bun, R., Nicki, A.-L., Jöckel, P., Fix, A., and Roiger, A.: *Estimating CH₄, CO₂, and CO emissions from coal mining and industrial activities in the Upper Silesian Coal Basm using an aircraft-based mass balance approach*, Atmos. Chem. Phys. Discuss., <https://doi.org/10.5194/acp-2020-282> , 2020. Atmos. Meas. Tech., 12, 5217-5230, <https://doi.t.rg/10.5194/amt-12-5217-2019>, 2CIT9

Luther, A, Kleinschek, R., Scheidweiler, L., Defratyka, s., Stanisavljevic, M.. Forstmaier. A, Dandocsi. A.. Wolff. S.. Dulravica, o., Wildmann, N., Kostinek, J., Jöckel, p., Nickl, A.-L., Klausner, T., Hase, F., Frey, M., Chen, 1., Dietrich, F., Necki, J., Swolkieñ, J, Fix, A., Roiger, A., and Butz, A.. *Quantifying CH₄ emissions from ham coal mines using mobile sun-viewing Fourier transform spectrometry*, Atmos. Meas. Tech., 12, 5217-5230, 2019, <https://doi.org/10.5194/amt-12-5217-2019>

Julian Kostinek , Anke Roiger , Maximilian Eckl , Alina Fiehn , Andreas Luther , Norman Wildmann , Theresa Klausner , Andreas Fix , Christoph Knote , Andreas Stohl , and André Butz *Estimating Upper Silesian coal mine methane emissions from airborne in situ observations and dispersion modeling* Atmos. Chem. Phys., 20, 12675–12695, 2021, <https://doi.org/10.5194/acp-20-12675-2020>

Sven Krautwurst, Konstantin Gerilowski, Jakob Borchardt, Norman Wildmann, Michal Galkowski,Justyna Swolkien, Julia Marshall, Alina Fiehn, Anke Roiger, Thomas Ruhtz, Christoph Gerbig, Jaroslaw Necki, John P. Burrows, Andreas Fix, and Heinrich Bovensmann, *Quantification of CH₄ coal mining emissions in Upper Silesia by passive airborne remote sensing observations with the MAMAP instrument during CoMet*, Atmos. Chem. Phys <https://doi.org/10.5194/acp-2020-1014>, Preprint. Discussion started: 8 January 2021

Justyna Swolkieñ, *Polish underground coal mines as point sources of methane emission to the atmosphere* , International Journal of Greenhouse Gas Control, 2020 vol. 94, 1–12. Available online since: 2019-11-28



**Dziękuję
za
uwagę**