UNIWERSYTET WARSZAWSKI

POWIETRZE I KLIMAT

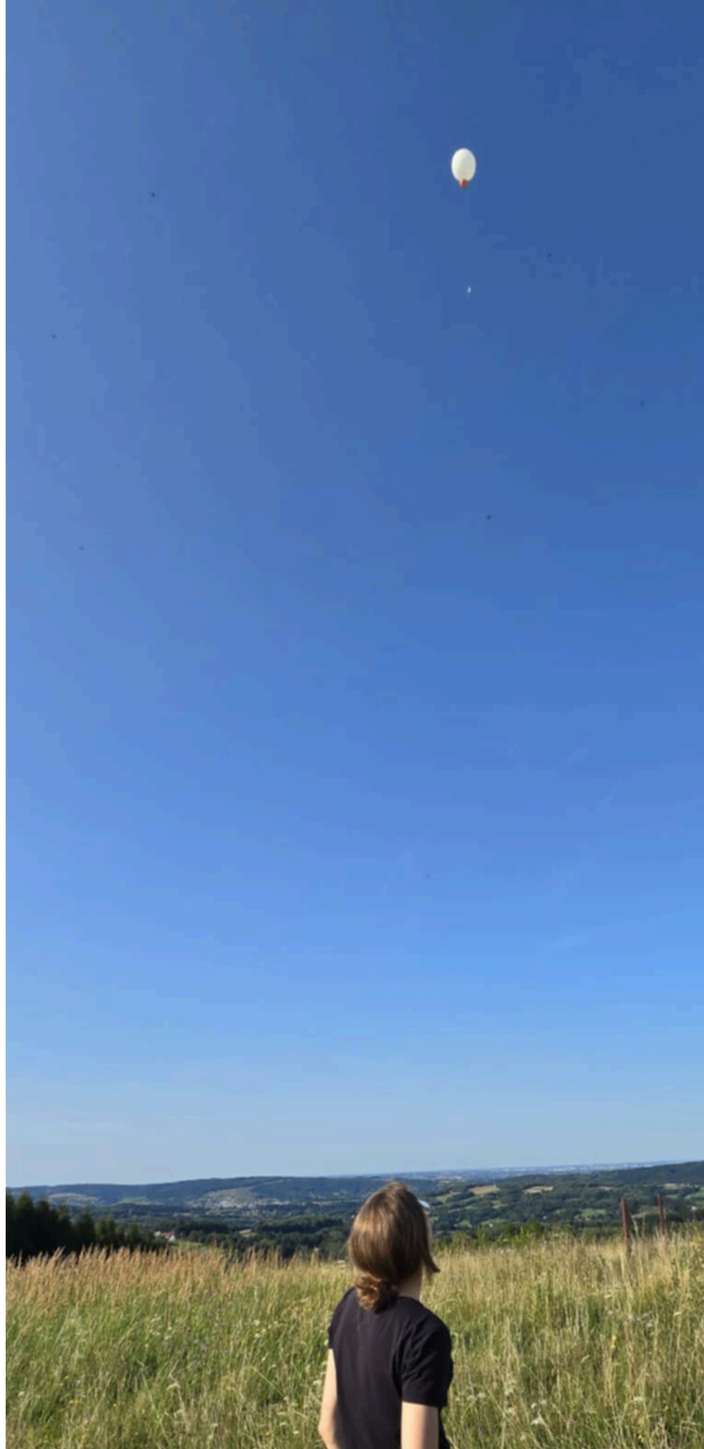
Krajowy Program Współpracy
COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat

PROFILOWANIE JAKOŚCI POWIETRZA W TROPOSFERZE I DOLNEJ STRATOSFERZE Z WYKORZYSTANIEM NOWEJ SONDY OPARTEJ NA NISKO-KOSZTOWYCH CZUJNIKACH SPS-30

Broda M.[1], Zawadzka-Mańko O.[1], Markowicz K.M[1], Chiliński M.T[2], Nurowska K[1].

[1] Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski
[2] Wydział Biologii, Uniwersytet Warszawski

„Krajowy Program Współpracy COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat”, 22.10.2025 r



UNIWERSYTET WARSZAWSKI

POWIETRZE I KLIMAT

Krajowy Program Współpracy
COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat

MOTYWACJA

- **rozróżnienie** emisji lokalnych od transportu zanieczyszczeń dalekiego zasięgu
- możliwość **walidacji** modeli transportu aerozoli atmosferycznych (np. CAMS, NAAPS)
- możliwość wyznaczenia **parametrów fizycznych** mierzonych aerozoli atmosferycznych takich jak współczynnik rozpraszania, promień efektywny czy wykładnika Ångströma na rozpraszanie według metodologii opisanej w artykule *Markowicz i Chiliński (2020)*
- szacowanie **grubości optycznych** warstw aerozolu podczas napływów dalekozasięgowych
- potencjalne **monitorowanie** aerozolu **w stratosferze** po wybuchach wulkanów

UNIWERSYTET WARSZAWSKI

POWIETRZE I KLIMAT

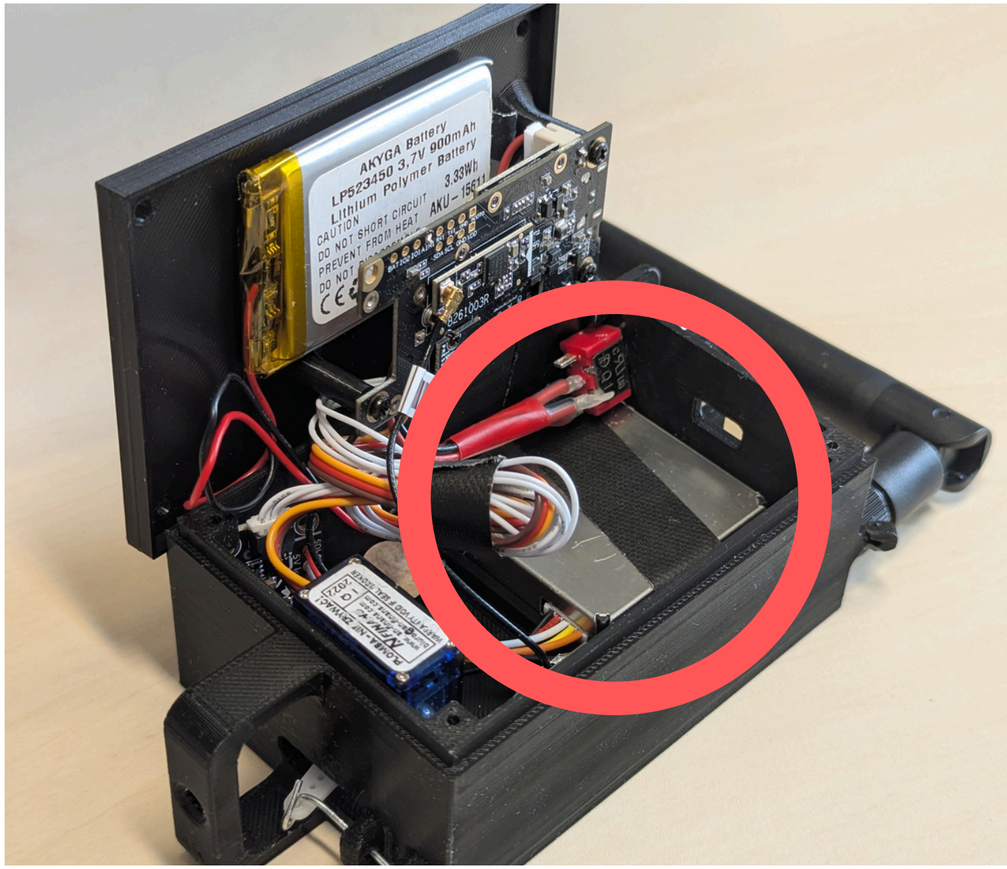
Krajowy Program Współpracy
COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat

SONDA - SPS30

Podstawą sondy jest
czujnik pyłu zawieszonego SPS30

- koncentracja masowa **PM1, PM2.5, PM4 i PM10**
- dane w sześciu przedziałach rozmiarowych cząstek
- typical particle size **(TPS)**

Pomiary otrzymywane są na podstawie intensywności światła rozproszonego lasera 660nm, jednak szczegóły algorytmu nie są dostępne.



UNIWERSYTET WARSZAWSKI

POWIETRZE I KLIMAT

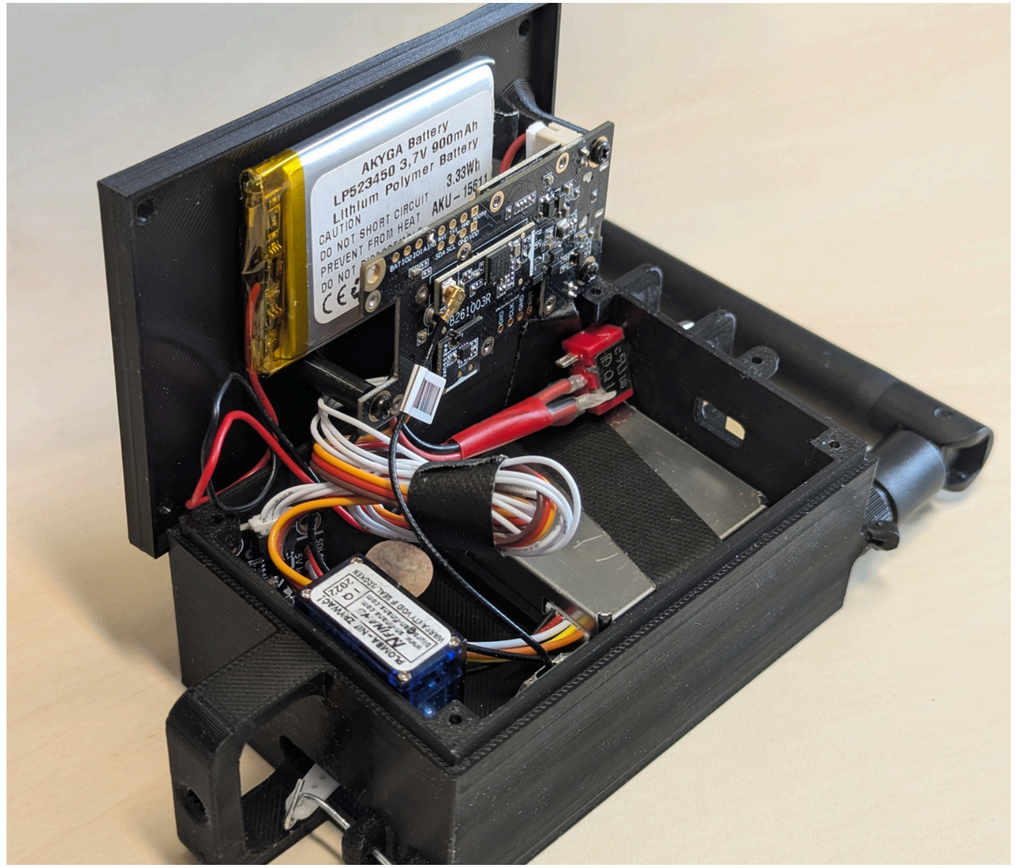
Krajowy Program Współpracy
COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat

SONDA - INNE KOMPONENTY

Ponadto do dyspozycji są:

- czujnik ciśnienia
- czujnik temperatury i wilgotności względnej
- moduł GPS
- zasilanie (bateria)

Czujniki temperatury i wilgotności nie są wykorzystywane do pomiarów atmosferycznych, lecz do monitorowania warunków pracy elementów elektronicznych.



UNIWERSYTET WARSZAWSKI

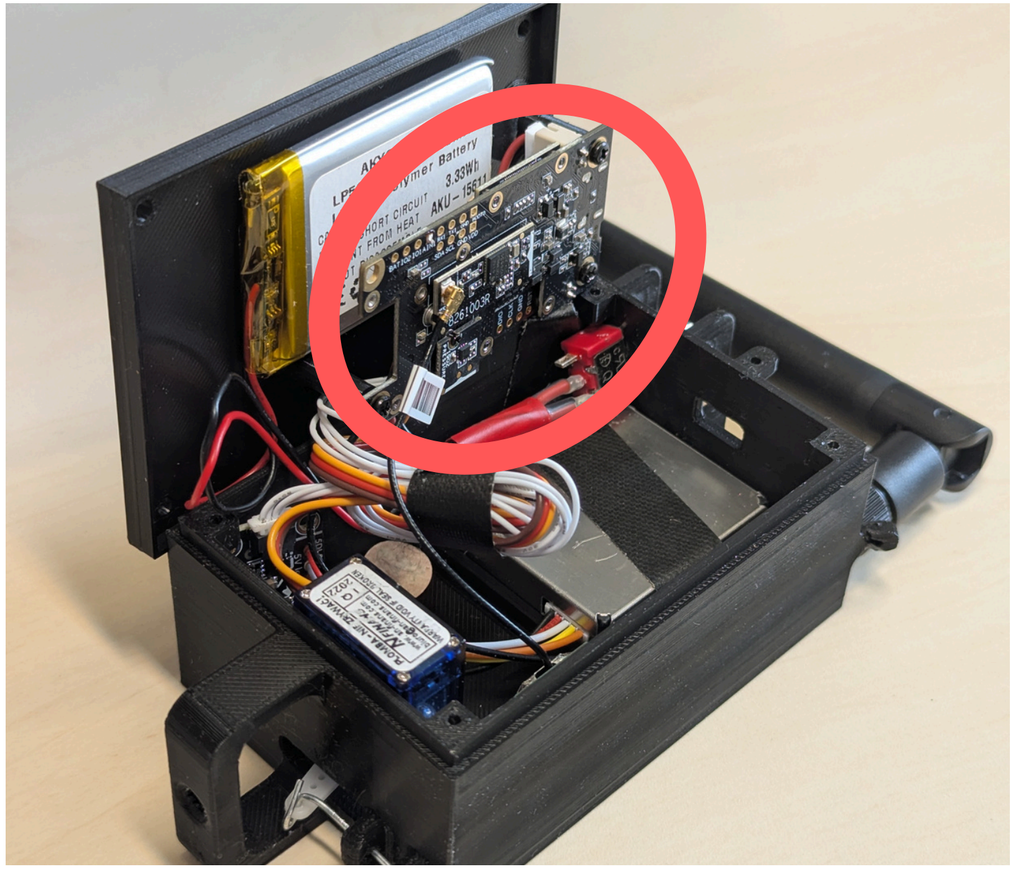
POWIETRZE I KLIMAT

Krajowy Program Współpracy
COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat

SONDA - ZBIERANIE DANYCH

Proces akwizycji danych jest zarządzany przez system elektroniczny, który odpowiada również za bezprzewodową transmisję danych (LoraWAN, częstotliwość ok. 870 MHz).

Dane raportowane są co sekundę, co skutkowało **rozdzielczością wertykalną ok. 5-7 m.**



UNIWERSYTET WARSZAWSKI

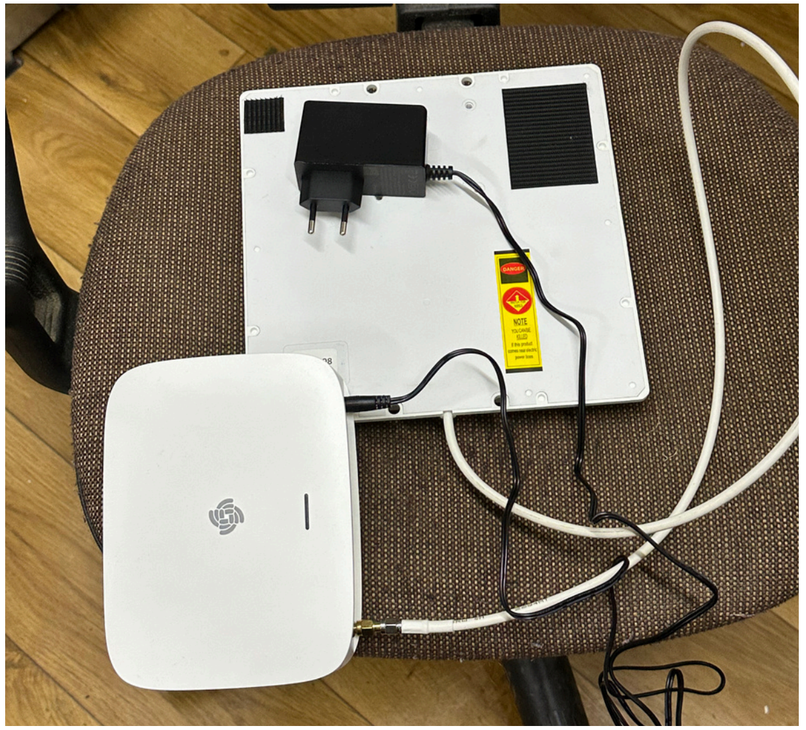
POWIETRZE I KLIMAT

Krajowy Program Współpracy
COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat

SONDA - TRANSMISJA DANYCH

Sonda jest wyposażona w antenę dookólną, a odbiór danych jest możliwy dzięki routerowi i antenie dookólnej oraz kierunkowej.

Prawidłowy odbiór sygnału wystąpił nawet przy **odległości przekraczającej 100 km** między sondą a stacją odbiorczą.



UNIWERSYTET WARSZAWSKI

POWIETRZE I KLIMAT

Krajowy Program Współpracy
COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat

SONDA - METEOROLOGIA

Do sondy doczepiony była **radiosonda Vaisala RS41**, dostarczająca dane o

- temperaturze,
- wilgotności,
- ciśnieniu,
- wysokości,
- położeniu (lon, lat)
- prędkości i kierunku wiatru

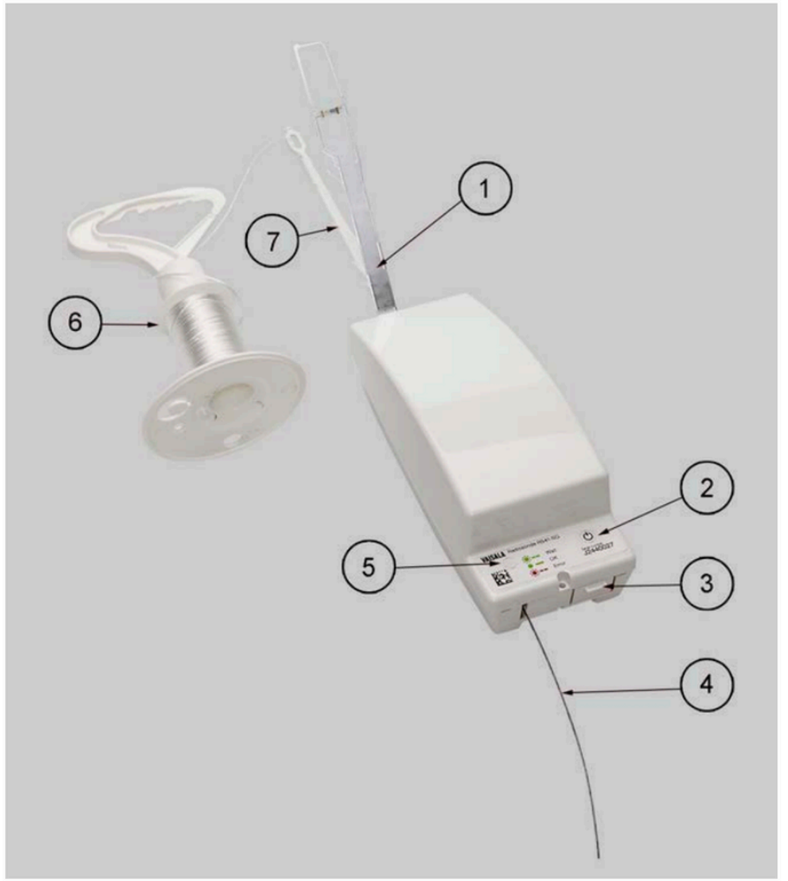


Figure 1 Vaisala Radiosonde RS41 with Unwinder

Źródło: User Guide Vaisala Radiosonde RS41-SGM

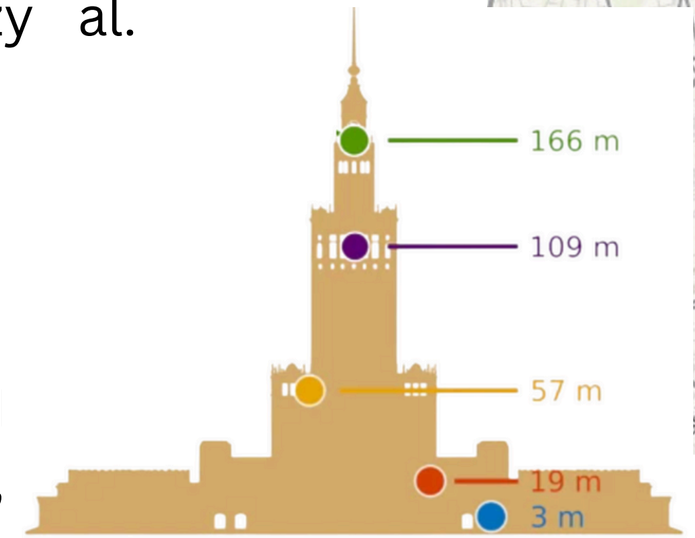
UNIWERSYTET WARSZAWSKI

POWIETRZE I KLIMAT

Krajowy Program Współpracy
COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat

SONDA - KALIBRACJA SPS30

Kalibracji dokonano między danymi PM2.5 i PM10 zbieranymi przez czujniki zamontowane na PKiN (poziom 3) w Warszawie a najbliższą stacją pomiarową GIOŚ - stacja przy al. Niepodległości.



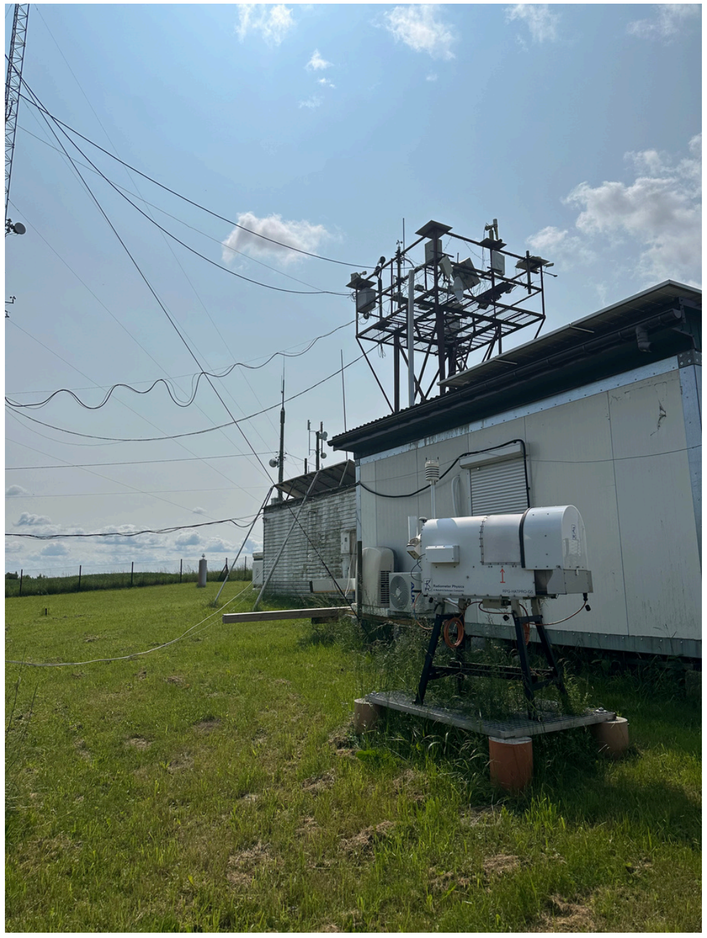
Więcej o pomiarach czujnikami z PKiN można przeczytać w pracy Chiliński i in., 2025.

UNIWERSYTET WARSZAWSKI

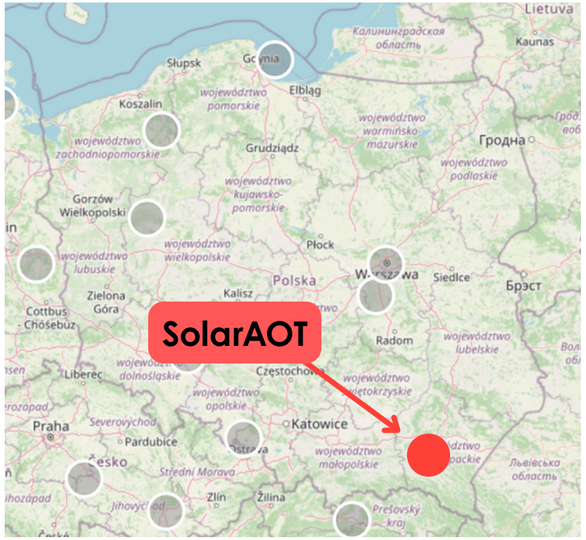
POWIETRZE I KLIMAT

Krajowy Program Współpracy
COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat

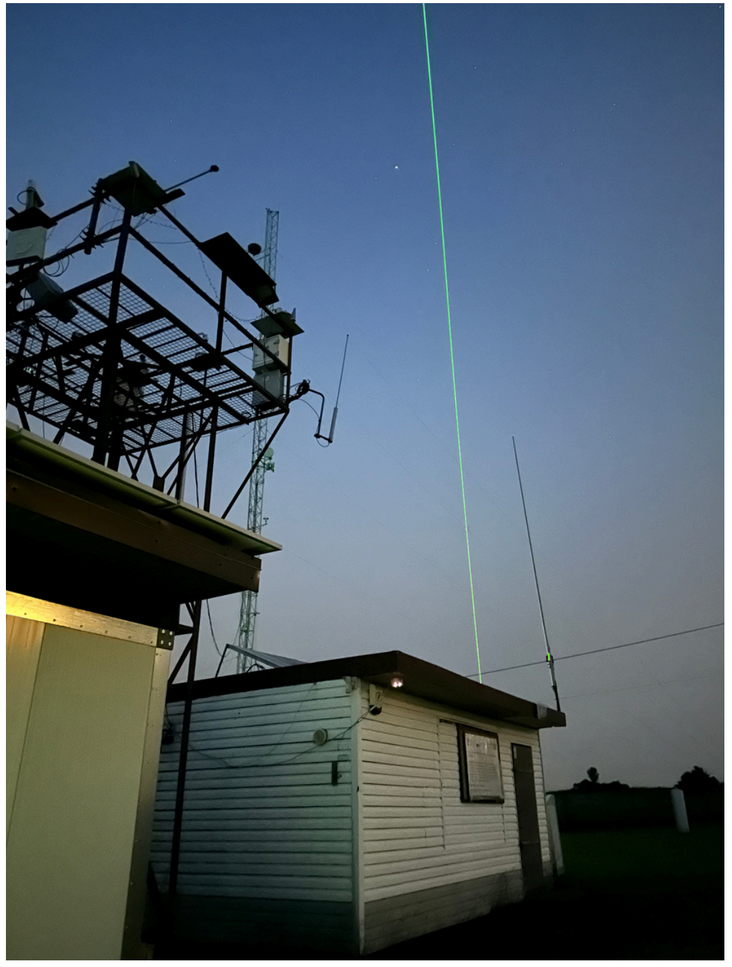
MIEJSCE POMIARÓW



Stacja Transferu Radiacyjnego **SolarAOT** (49.9°N, 21.9°E; 444 m n.p.m.). Od sierpnia 2013 roku działa jako stacja sieci AERONET.



Na stacji prowadzone są ciągłe pomiary meteorologiczne, radiacyjne oraz aerozolowe.



UNIWERSYTET WARSZAWSKI

POWIETRZE I KLIMAT

Krajowy Program Współpracy
COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat

POMIARY

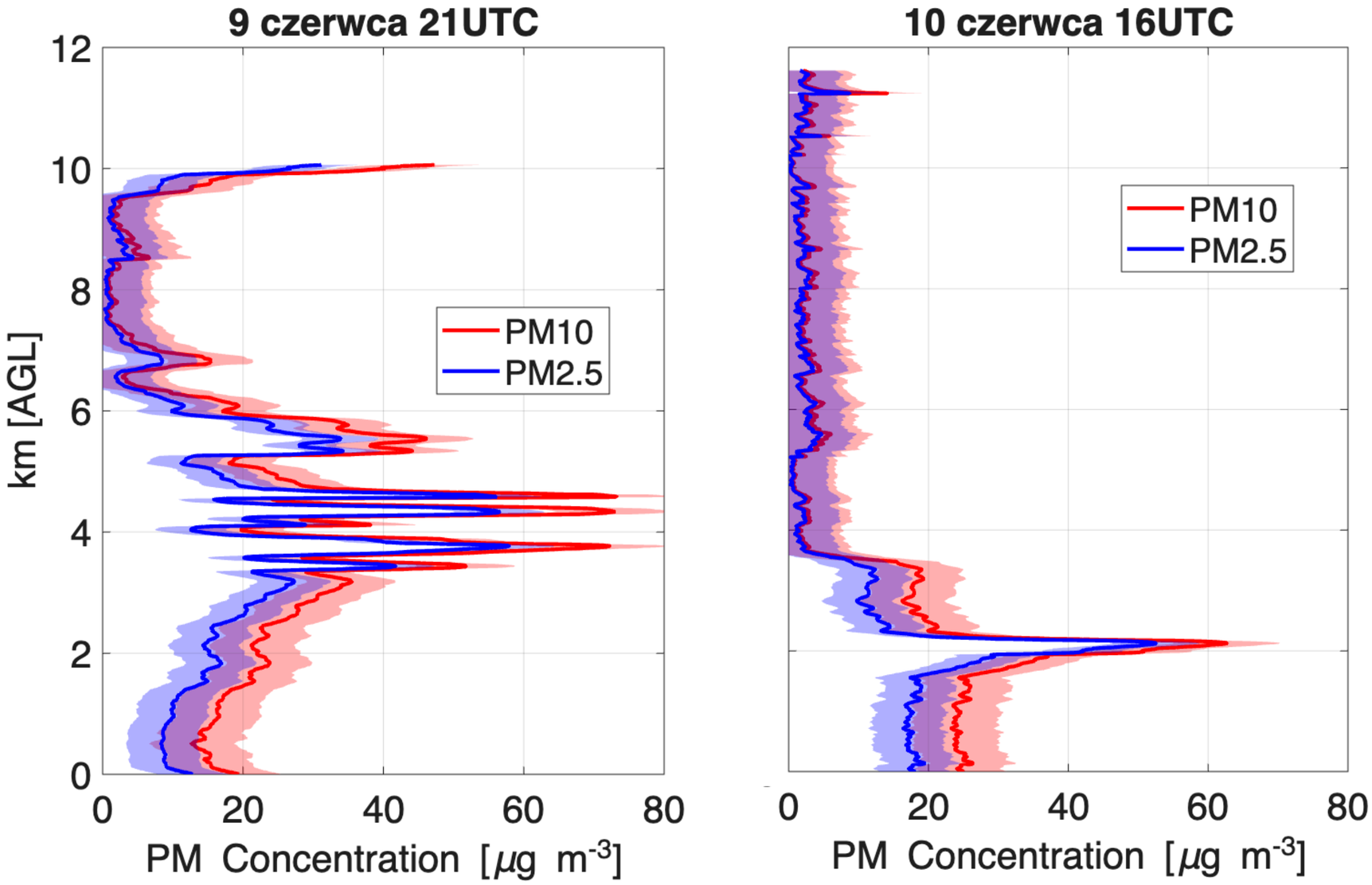
Data	Początek pomiaru (UTC)	Czas trwania (h)	Max wysokość (km)	Typ aerozolu	Pochodzenie aerozolu
09 Cze 2025	21:00	0.75	10.6	BB	Ameryka Płn.
10 Cze 2025	16:15	1.5	21.1	BB	Ameryka Płn.
07 Sie 2025	07:00	2.5	25.3	BB	Ameryka Płn.
07 Sie 2025	15:20	2.0	19.3	BB	Ameryka Płn.
29 Sie 2025	15:20	2.5	26.8	pył saharyjski	Sahara

UNIWERSYTET WARSZAWSKI

POWIETRZE I KLIMAT

Krajowy Program Współpracy
COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat

POMIARY- WYNIKI

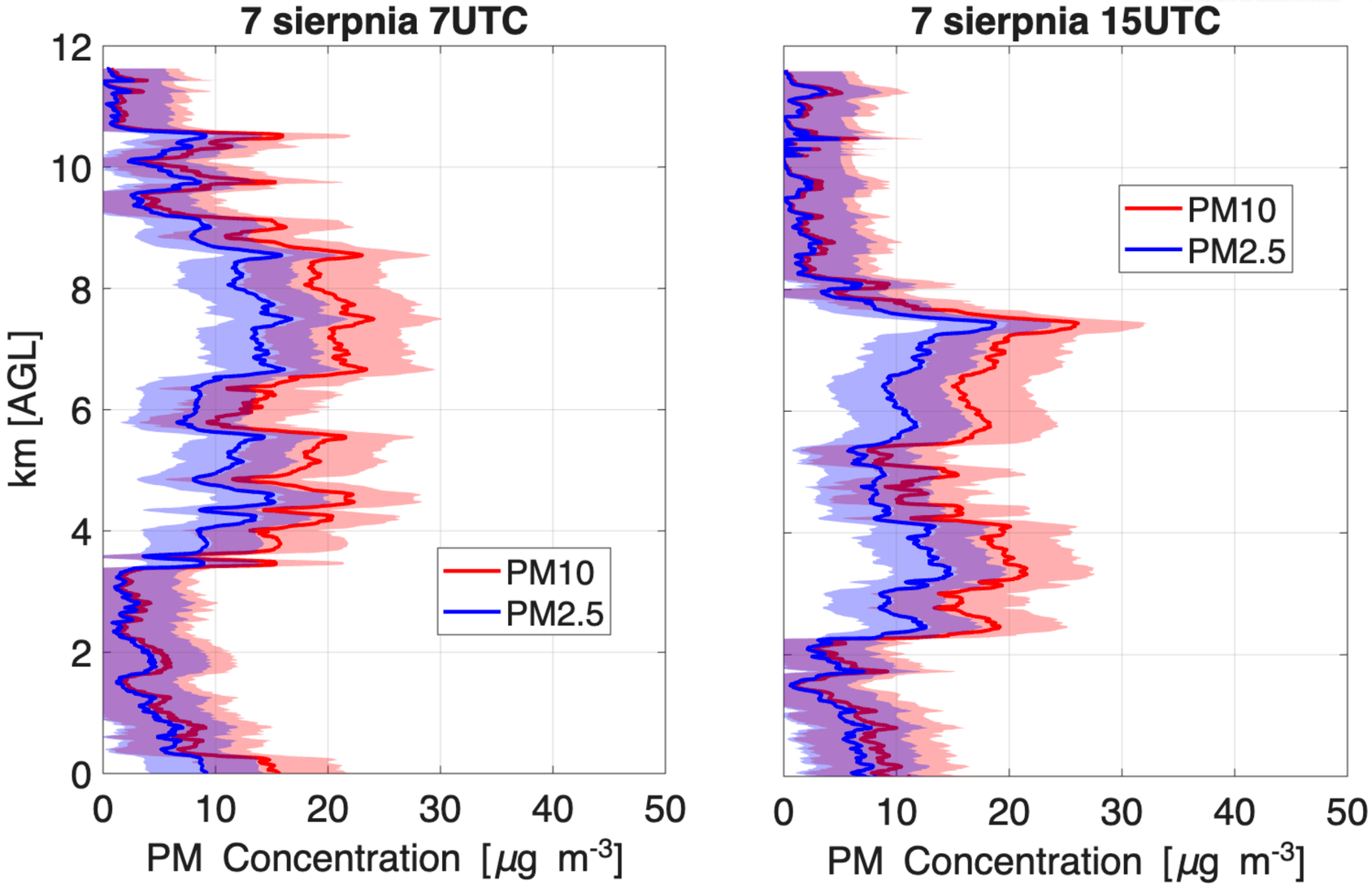


UNIWERSYTET WARSZAWSKI

POWIETRZE I KLIMAT

Krajowy Program Współpracy
COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat

POMIARY- WYNIKI

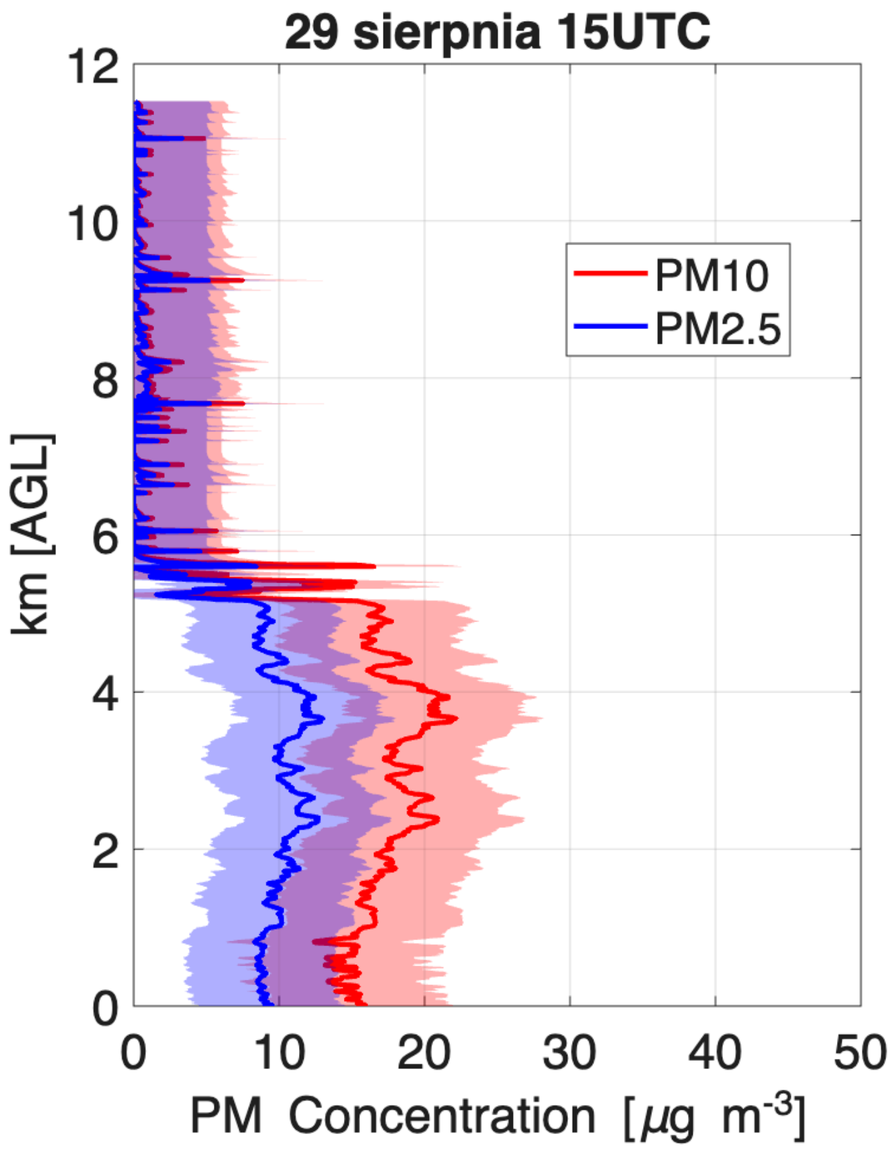


UNIWERSYTET WARSZAWSKI

POMIARY- WYNIKI

POWIETRZE I KLIMAT

Krajowy Program Współpracy
COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat

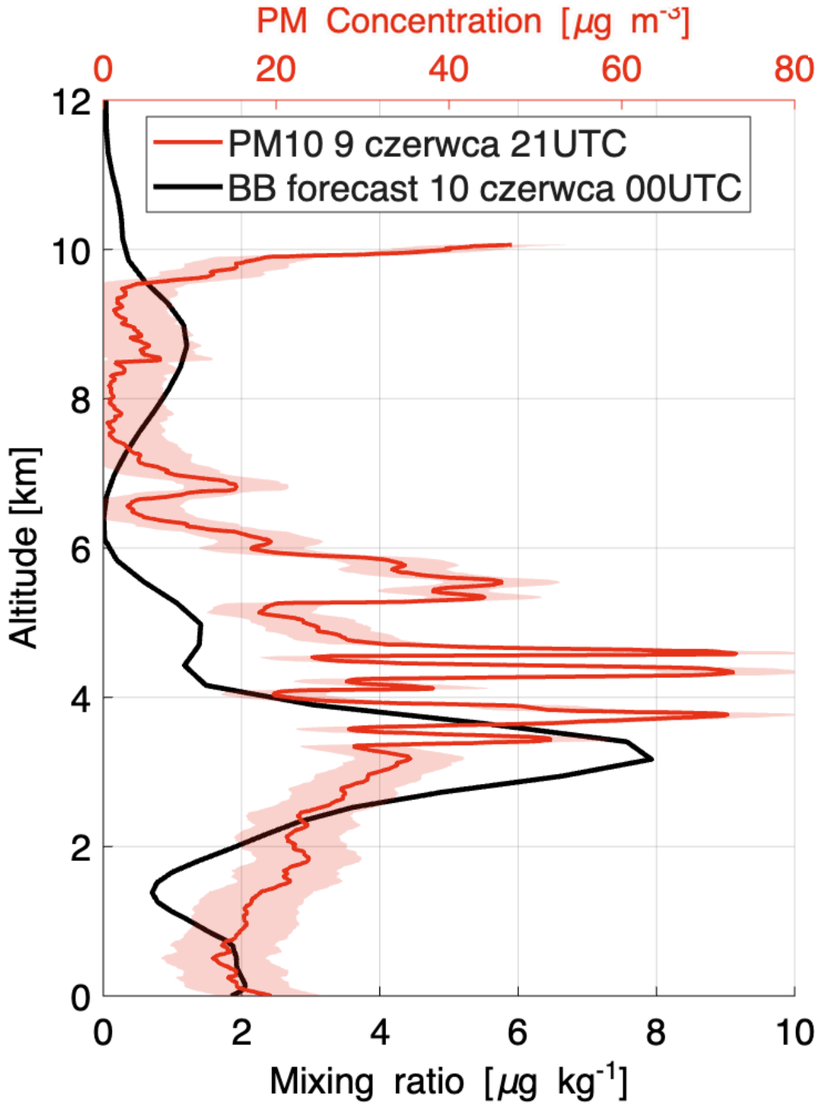


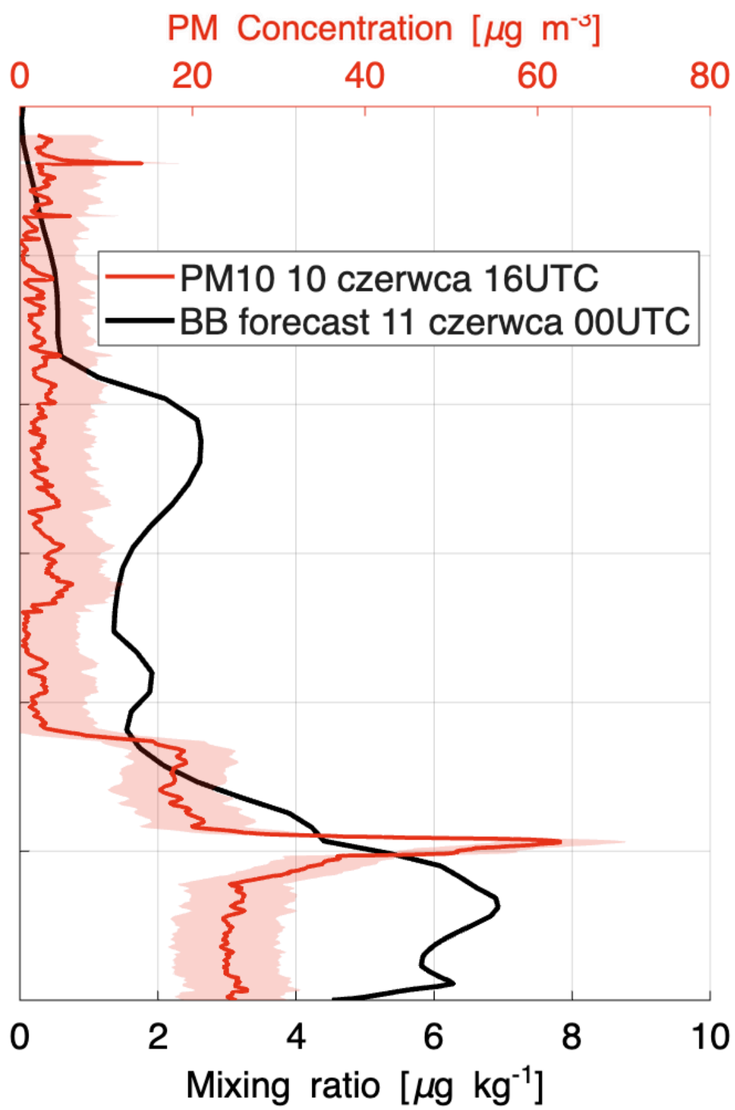
UNIWERSYTET WARSZAWSKI

PORÓWNANIE Z MODELEM CAMS FORECAST AEROSOL COMPOSITION

POWIETRZE I KLIMAT

Krajowy Program Współpracy
COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat



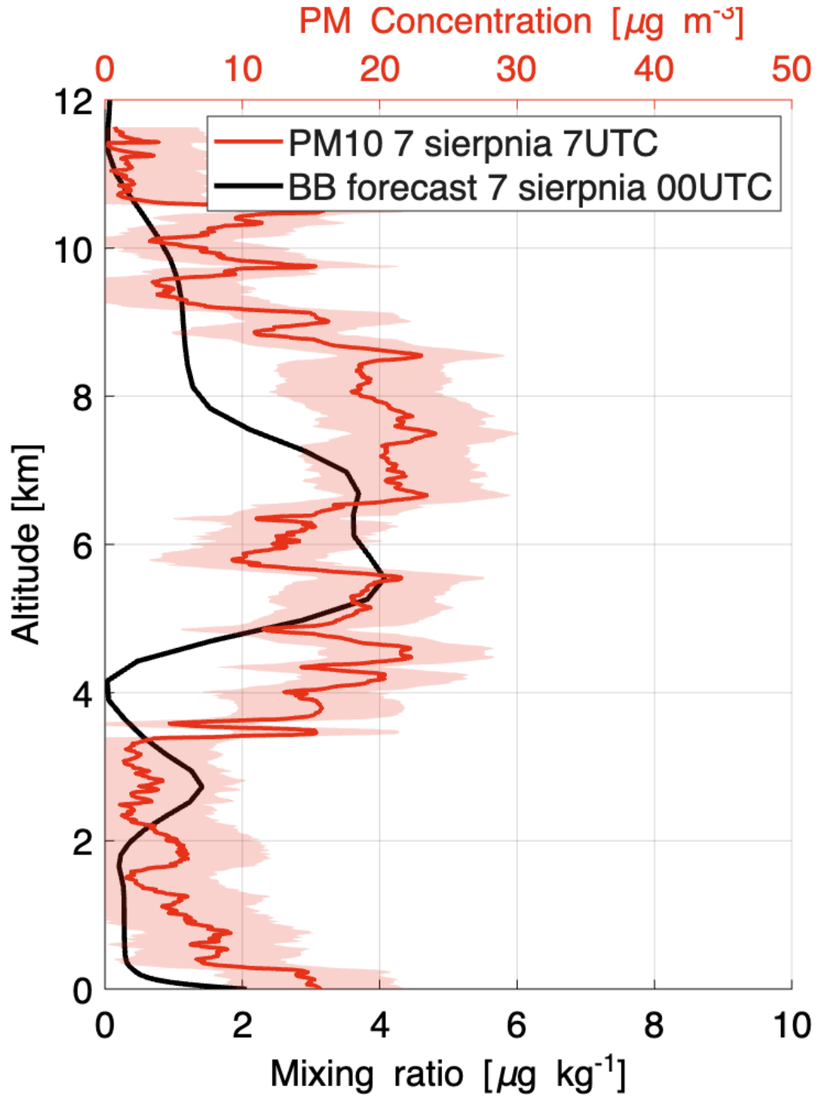


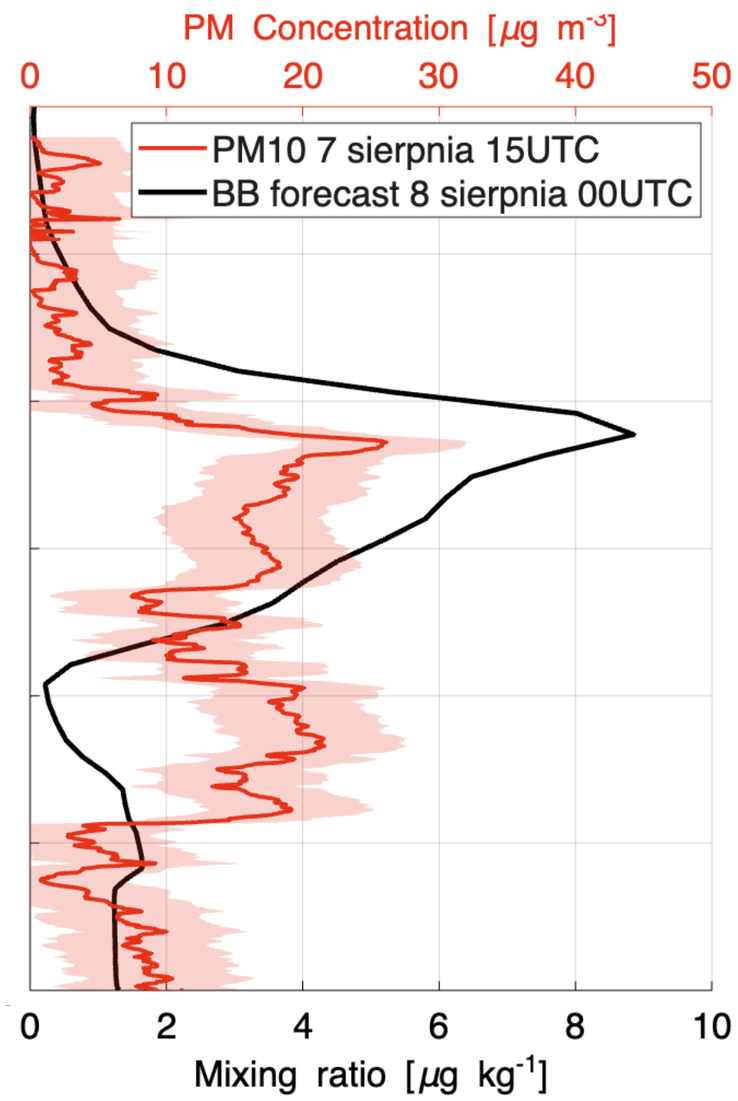
UNIWERSYTET WARSZAWSKI

PORÓWNANIE Z MODELEM CAMS FORECAST AEROSOL COMPOSITION

POWIETRZE I KLIMAT

Krajowy Program Współpracy
COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat



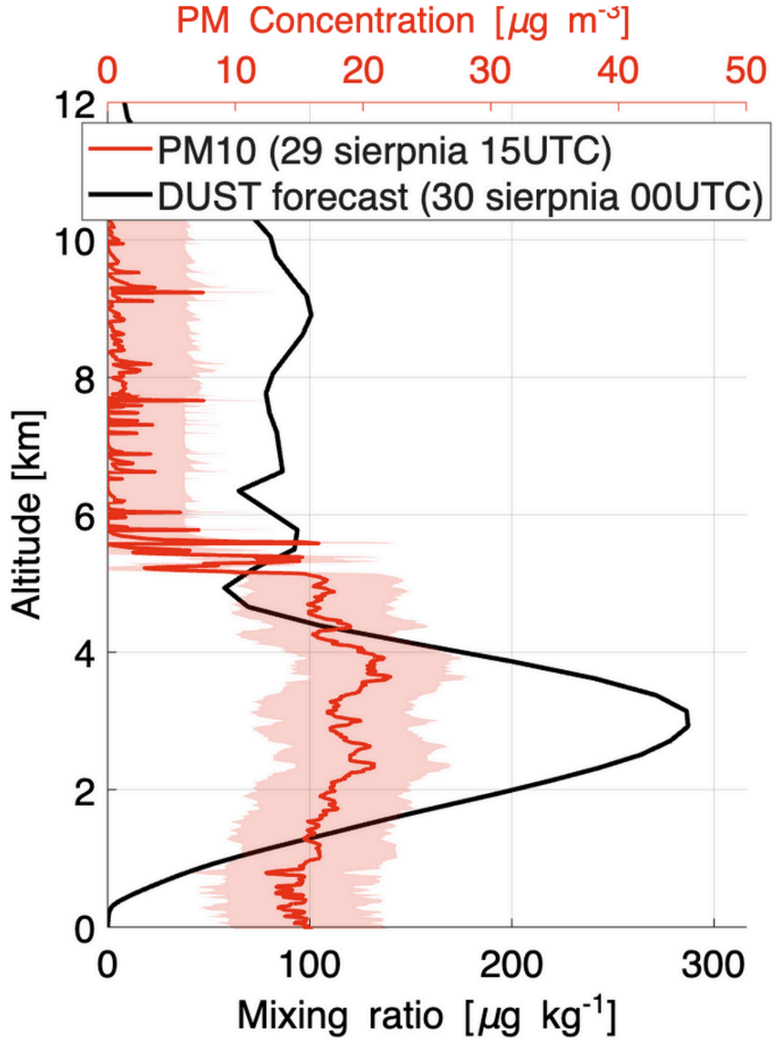


UNIWERSYTET WARSZAWSKI

PORÓWNANIE Z MODELEM CAMS FORECAST AEROSOL COMPOSITION

POWIETRZE I KLIMAT

Krajowy Program Współpracy
COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat



UNIWERSYTET WARSZAWSKI

POWIETRZE I KLIMAT

Krajowy Program Współpracy
COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat

DALSZE KROKI

- **Dokładniejsza kalibracja czujników SPS30**, w labolatorium Laboratorium Transferu Radiacyjnego IGF UW, z uwzględnieniem efektów higroskopijnych oraz czułości czujników na krople chmurowe
- Przetestowanie mechanizmu **servo**, zwalniającego balon przy konkretnej, wcześniej zadanej wartości ciśnienia
- Kod komputerowy pozwalający przewidzieć położenie upadku sondy przy zwolnieniu sondy na danym poziomie ciśnienia atmosferycznego
- Zautomatyzowany **tracking sondy** i **ustawianie anteny kierunkowej**
- Model: mixing ration <--> PM concentration

UNIWERSYTET WARSZAWSKI

POWIETRZE I KLIMAT

Krajowy Program Współpracy
COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat

WNIOSKI

- Dysponowanie niskokosztową sondą umożliwiającą **pomiar profilu jakości powietrza do 20-25 km z wysoką rozdzielczością wertykalną →** poprawienie modeli transportu zanieczyszczeń (np. *CAMS European air quality forecasts*).
- Możliwość **walidacji profili pionowych** uzyskanych z modeli np. *CAMS global reanalysis (EAC4)*.
- Po odpowiedniej kalibracji możliwość uzyskania **własności optycznych aerozoli** → oszacowanie wpływu aerozoli na bilans radiacyjny.

UNIWERSYTET WARSZAWSKI

POWIETRZE I KLIMAT

Krajowy Program Współpracy
COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat

PODZIĘKOWANIA

Badania zostały przeprowadzone w ramach **grantu nr 2022/47/D/ST10/02099 Narodowego Centrum Nauki**, koordynowanego przez Instytut Geofizyki Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

Sonda powstała w ścisłej współpracy z inż. **Justine Lunario.**

UNIWERSYTET WARSZAWSKI

POWIETRZE I KLIMAT

Krajowy Program Współpracy
COPERNICUS – Jakość Powietrza i Klimat

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ!