

Lotnicze pomiary wody chmurowej podczas kampanii RICO

Porównanie wyników pomiarów *in-situ* z różnych instrumentów

Sylwester Arabas

Seminarium Studenckie Fizyki Atmosfery, Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki UW



23 stycznia 2008 r.

Plan Prezentacji

1 Teoria

2 Teoria w praktyce

3 Praktyka w teorii

- FSSP – Forward Scattering Spectrometer Probe
- PVM-100A – Particulate Volume Monitor
- King Probe

4 Praktyka

- Kampania pomiarowa RICO
- Statystyki porównawcze i źródła rozbieżności

5 Podsumowanie



Motywacja

praca magisterska pod kierunkiem dr hab. Hanny Pawłowskiej

Mikrofizyczne własności płytowych chmur konwekcyjnych – studium eksperymentu RICO



Plan Prezentacji

1 Teoria

2 Teoria w praktyce

3 Praktyka w teorii

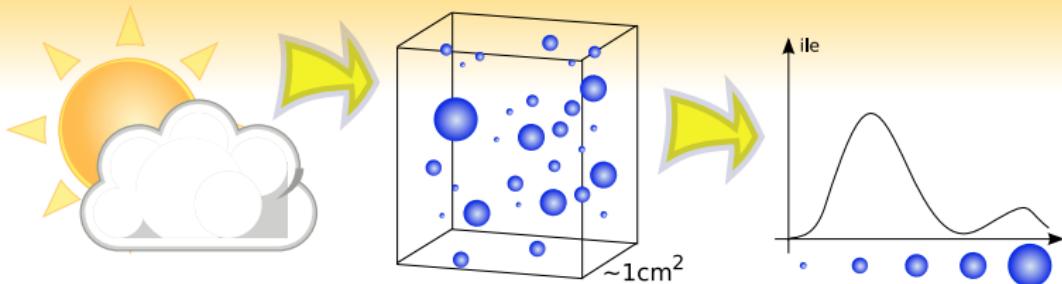
- FSSP – Forward Scattering Spectrometer Probe
- PVM-100A – Particulate Volume Monitor
- King Probe

4 Praktyka

- Kampania pomiarowa RICO
- Statystyki porównawcze i źródła rozbieżności

5 Podsumowanie





a średnica kropli

$n(a)da$ koncentracja kropel o $a \in (a, a + da)$ [m^{-3}]

$N_c = \int_{0\mu m}^{\sim 50\mu m} n(a)da$ całkowita koncentracja kropel chmurowych

$\langle a^k \rangle = \int_{0\mu m}^{\sim 50\mu m} a^k \frac{n(a)}{N_c} da$ średnie $a, a^2, a^3 \dots$



Opis matematyczny wody chmurowej

$n(a)da$ koncentracja $\in (a, a + da)$

$$N_c = \int_{0\mu m}^{\sim 50\mu m} n(a)da$$

całkowita koncentracja

$$\langle a^k \rangle = \int_{0\mu m}^{\sim 50\mu m} a^k \frac{n(a)}{N_c} da$$

średnie $a, a^2, a^3 \dots$

$$q_c = \frac{\rho_l}{\rho_a + \rho_v} \sim \frac{N_c \langle a^3 \rangle}{\rho_a + \rho_v}$$

wodność właściwa

$$sfc \sim N_c \langle a^2 \rangle$$

całkowita powierzchnia

$$r_{eff} = \frac{\langle r^3 \rangle}{\langle r^2 \rangle} \sim \frac{\langle a^3 \rangle}{\langle a^2 \rangle}$$

promień efektywny



Plan Prezentacji

1 Teoria

2 Teoria w praktyce

3 Praktyka w teorii

- FSSP – Forward Scattering Spectrometer Probe
- PVM-100A – Particulate Volume Monitor
- King Probe

4 Praktyka

- Kampania pomiarowa RICO
- Statystyki porównawcze i źródła rozbieżności

5 Podsumowanie



Wielkości mierzalne

Pomiary koncentracji oraz kształtu widma kropel

- informacje o koncentracji w funkcji rozmiaru kropli $n(a)$
- możliwość wyznaczenia parametrów mikrofizycznych zależnych od momentów statystycznych widma i koncentracji

Pomiary parametrów zespołu kropel

- informacje o wybranych parametrach mikrofizycznych (np. zawartość ciekłej wody $\sim N_c \langle a^3 \rangle$)
- brak informacji o koncentracji i kształcie widma

Niezależnie od metody pomiaru, czułość przyrządu jest funkcją rozmiaru kropli i nigdy nie jest *oknem* $0 - 50\mu\text{m}$



Plan Prezentacji

1 Teoria

2 Teoria w praktyce

3 Praktyka w teorii

- FSSP – Forward Scattering Spectrometer Probe
- PVM-100A – Particulate Volume Monitor
- King Probe

4 Praktyka

- Kampania pomiarowa RICO
- Statystyki porównawcze i źródła rozbieżności

5 Podsumowanie



Wybrane instrumenty do pomiarów in-situ wody chmurowej

pojedyncze krople



FSSP-100

Fast-FSSP

zespoł kropel



PVM-100A

King Probe

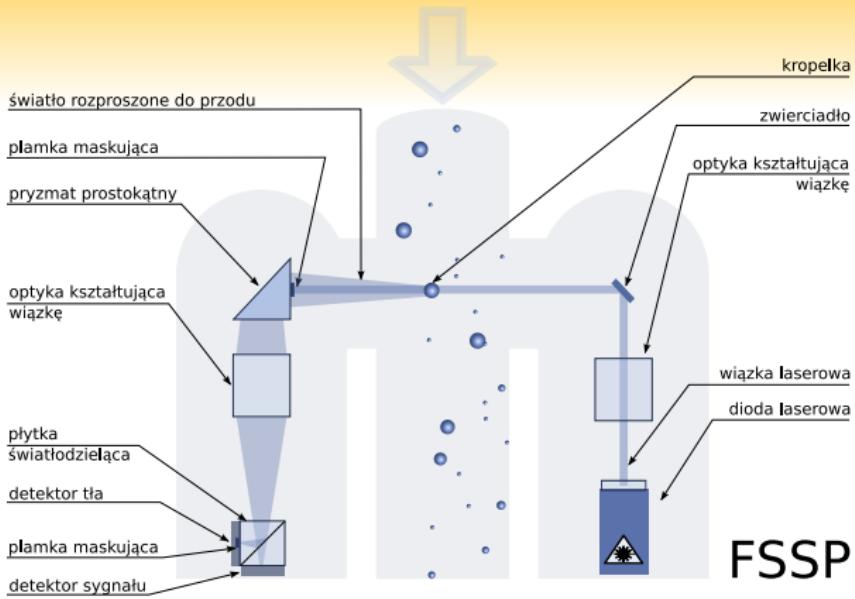


rozpraszanie światła



odparowywanie





Ryc.: Schemat instrumentu typu FSSP (bez zachowania skali)
(na podstawie Dye i Baumgardner, 1984)

Dye, J., i D. Baumgardner, 1984: Evaluation of the forward scattering spectrometer probe. part i: Electronic and optical studies. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 1, 329–344.

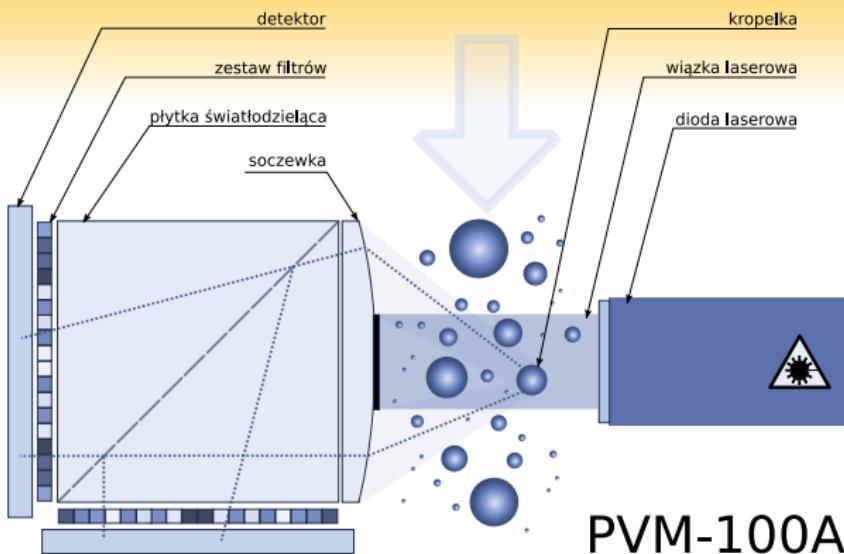
Lotnicze pomiary wody chmurowej RICO: porównanie wyników pomiarów *in-situ* z różnych instrumentów





Ryc.: Instrumenty FSSP-100 i FSSP-300 przymocowane pod skrzydłem samolotu M55 Geophysica. (Wagadugu, Burkina Faso, 2006; fot. autor)

Lotnicze pomiary wody chmurowej RICO: porównanie wyników pomiarów *in-situ* z różnych instrumentów



Ryc.: Schemat instrumentu PVM-100A (bez zachowania skali), na podstawie Gerber (1991), Gerber et al. (1994)

Gerber, H., 1991: Direct measurement of suspended particulate volume concentration and far-infrared extinction coefficient with a laser-diffraction instrument. *Appl. Opt.*, **30**, 4824–4831.

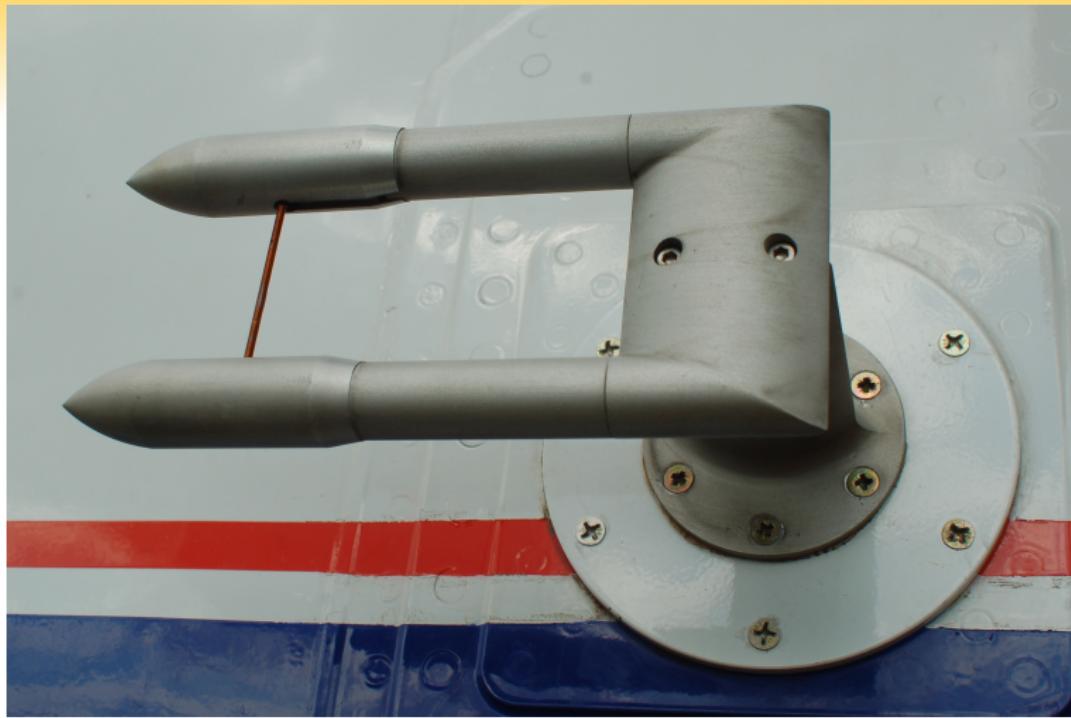
Gerber, H., B. Arends, i A. Ackerman, 1994: New microphysics sensor for aircraft use. *Atmos. Res.*, **31**, 235–252.

Lotnicze pomiary wody chmurowej RICO: porównanie wyników pomiarów *in-situ* z różnych instrumentów



Ryc.: Instrument PVM-100A przymocowany do kadłuba samolotu ATR-42 (Jassy, Rumunia, 2007; fot. autor)





Ryc.: Instrument King-probe przymocowany do kadłuba samolotu ATR-42. (Jassy, Rumunia, 2007; fot. autor)

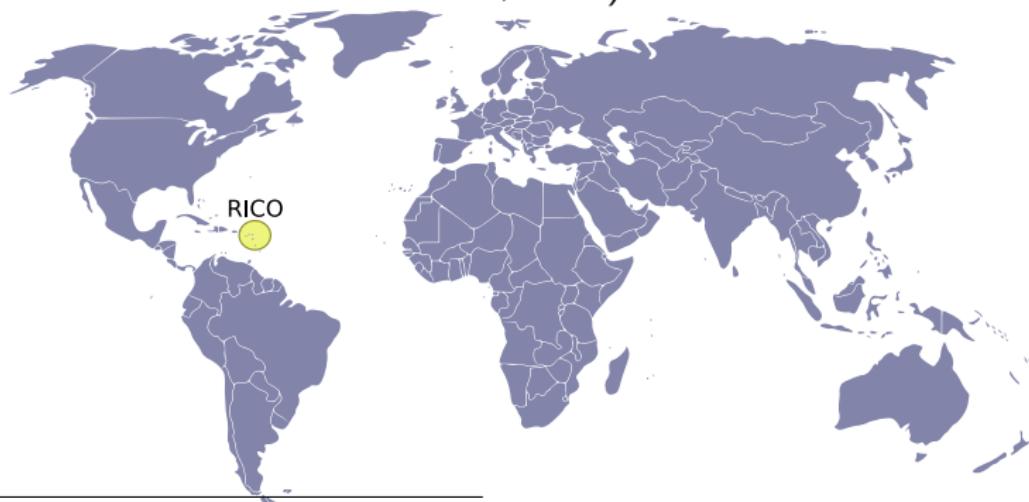
Plan Prezentacji

- 1 Teoria
- 2 Teoria w praktyce
- 3 Praktyka w teorii
 - FSSP – Forward Scattering Spectrometer Probe
 - PVM-100A – Particulate Volume Monitor
 - King Probe
- 4 Praktyka
 - Kampania pomiarowa RICO
 - Statystyki porównawcze i źródła rozbieżności
- 5 Podsumowanie



Kampania Pomiarowa Rain In Cumulus over the Ocean (RICO)

(Rauber, Stevens, Ochs III, Knight, Albrecht, Blyth, Fairall, Jensen et al., 2007)



Rauber, R., i Współautorzy, 2007: Rain in shallow cumulus over the ocean – the RICO campaign. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **88**, 1912–1928.

Lotnicze pomiary wody chmurowej RICO: porównanie wyników pomiarów *in-situ* z różnych instrumentów

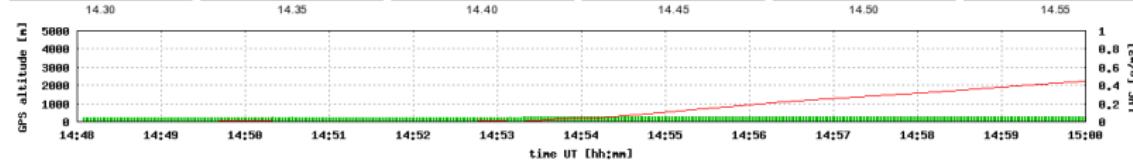
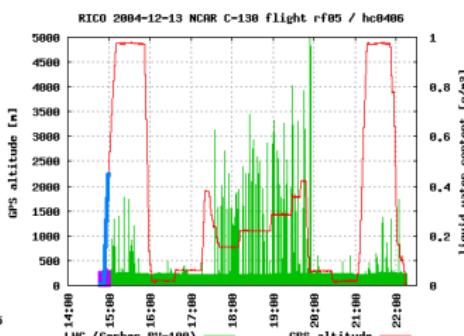
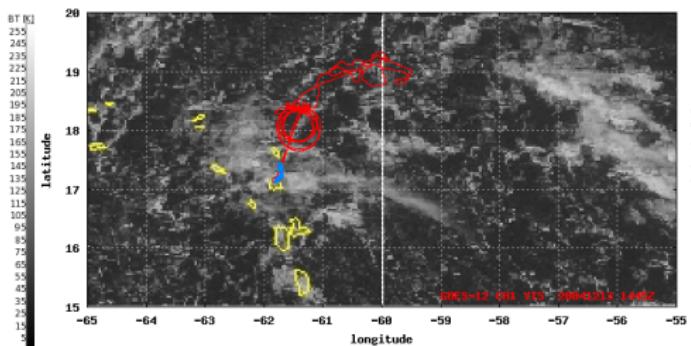


Kampania pomiarowa RICO

- lokalizacja
 - Małe Antyle (rejon Morza Karaibskiego)
 - strefa wiatrów pasatowych
- cele – określenie:
 - jakie mechanizmy formowania opadu dominują w chmurach strefy pasatowej
 - jak opad zmienia strukturę pojedynczej chmury
 - w jakim stopniu opad wpływa na cechy układu chmur
- pomiary – 2 miesiące (XII.2004/I.2005)
 - 3 samoloty badawcze
 - 410 sondaży
 - 1 radar meteorologiczny
 - 1 statek badawczy

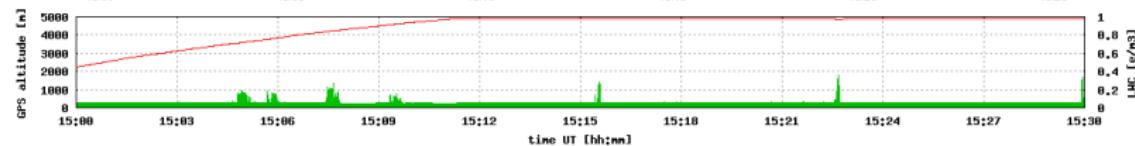
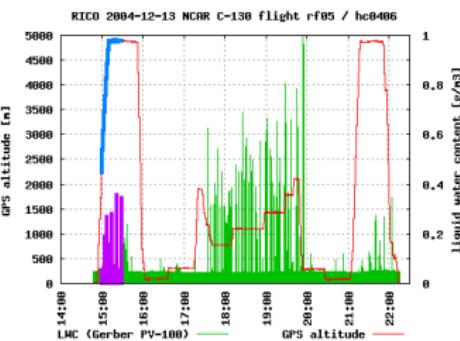
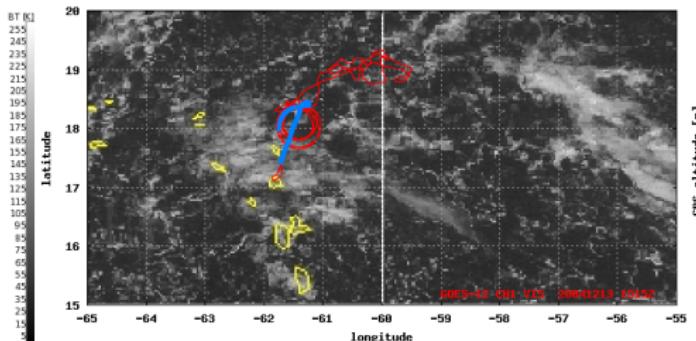


Przykładowy lot badawczy RICO: C-130 RF05



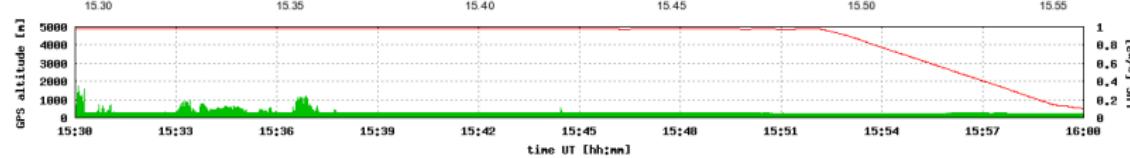
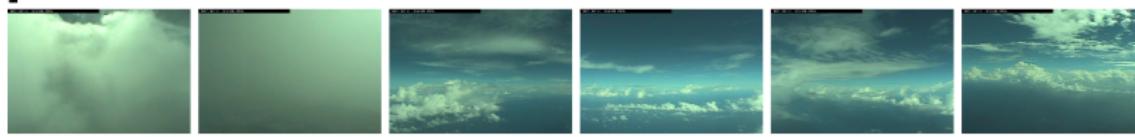
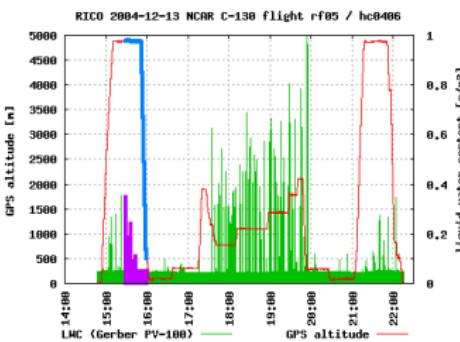
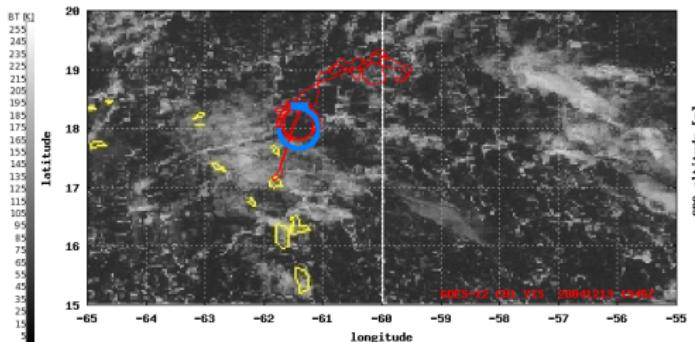
Lotnicze pomiary wody chmurowej RICO: porównanie wyników pomiarów *in-situ* z różnych instrumentów

Przykładowy lot badawczy RICO: C-130 RF05



Lotnicze pomiary wody chmurowej RICO: porównanie wyników pomiarów *in-situ* z różnych instrumentów

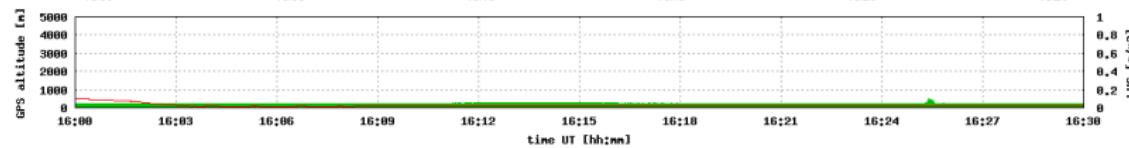
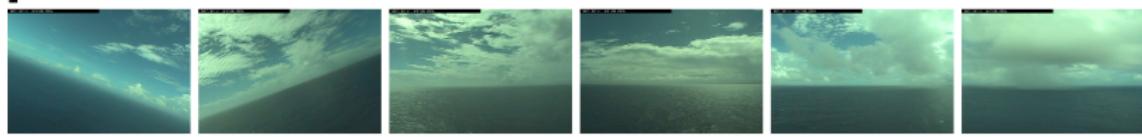
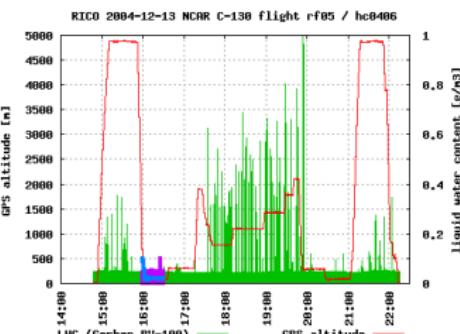
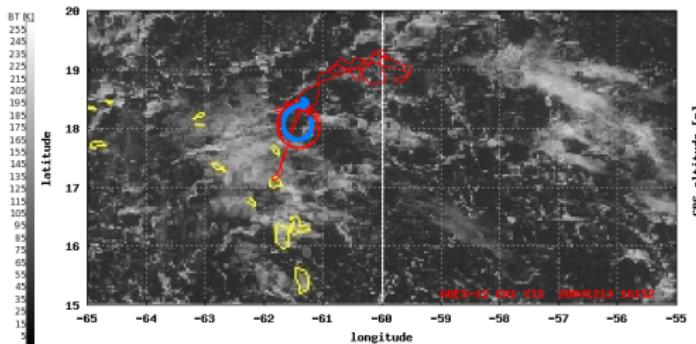
Przykładowy lot badawczy RICO: C-130 RF05



Lotnicze pomiary wody chmurowej RICO: porównanie wyników pomiarów *in-situ* z różnych instrumentów

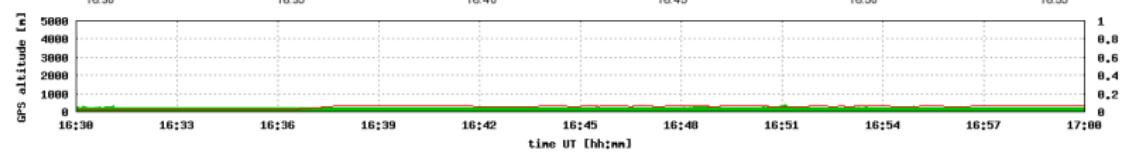
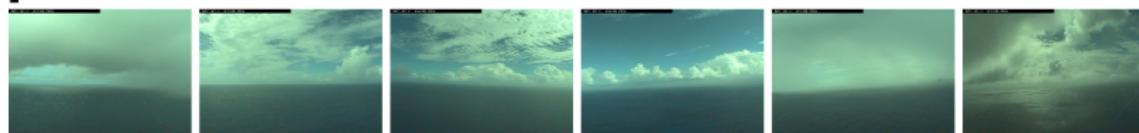
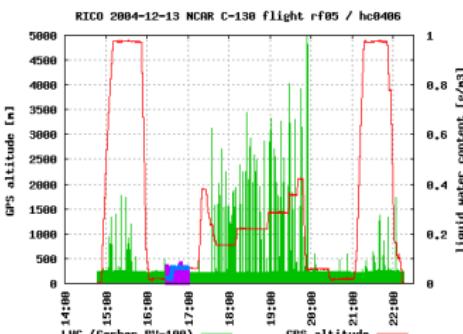
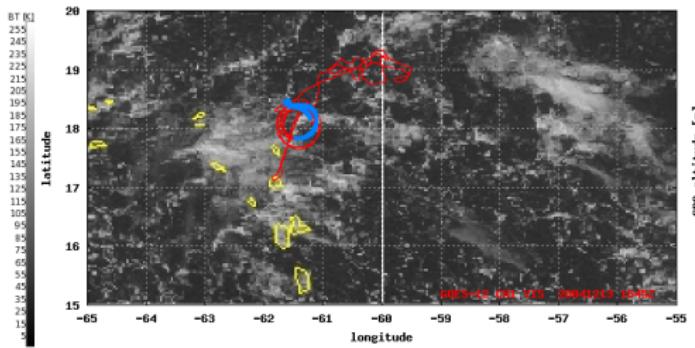


Przykładowy lot badawczy RICO: C-130 RF05



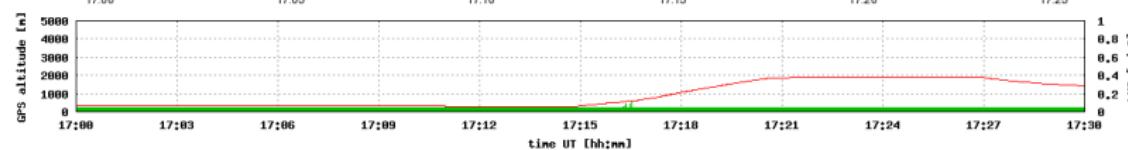
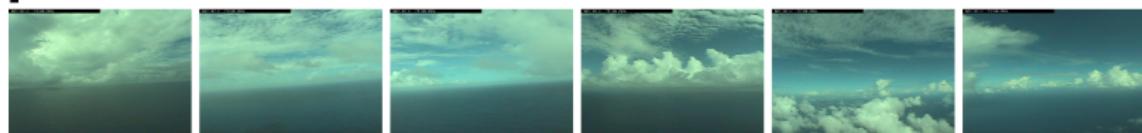
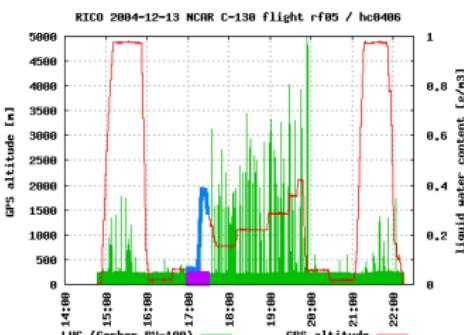
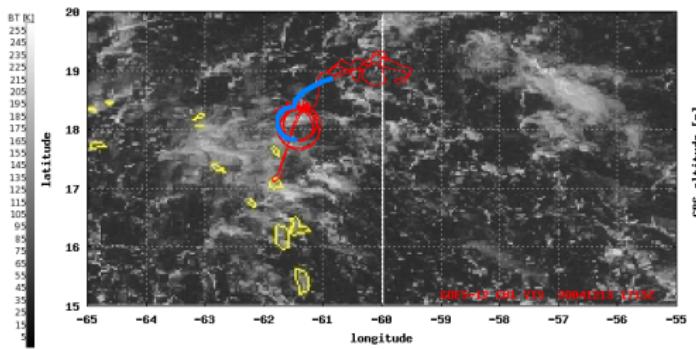
Lotnicze pomiary wody chmurowej RICO: porównanie wyników pomiarów *in-situ* z różnych instrumentów

Przykładowy lot badawczy RICO: C-130 RF05



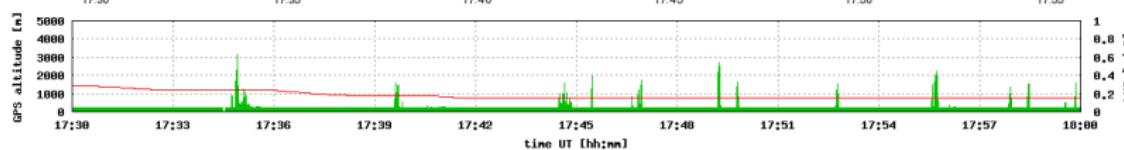
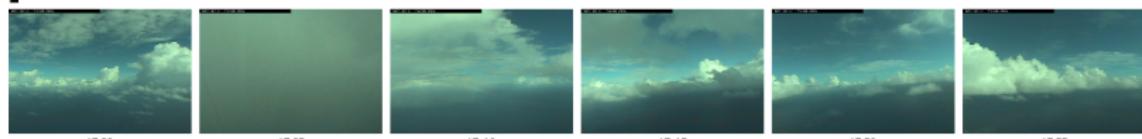
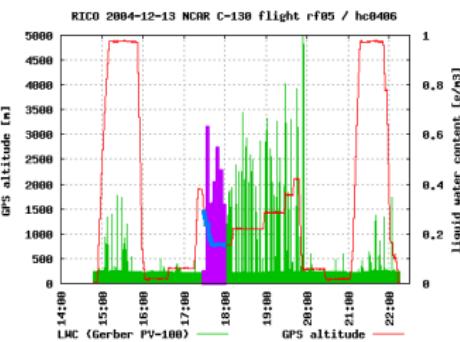
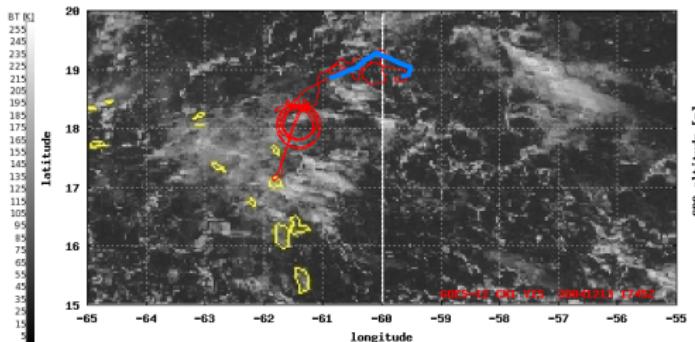
Lotnicze pomiary wody chmurowej RICO: porównanie wyników pomiarów *in-situ* z różnych instrumentów

Przykładowy lot badawczy RICO: C-130 RF05



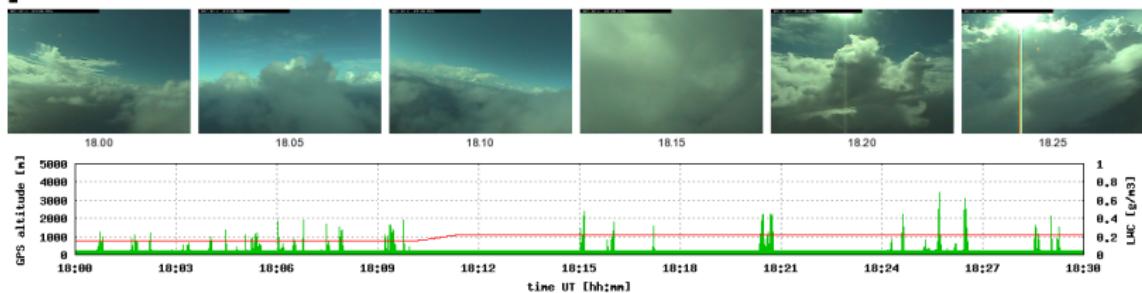
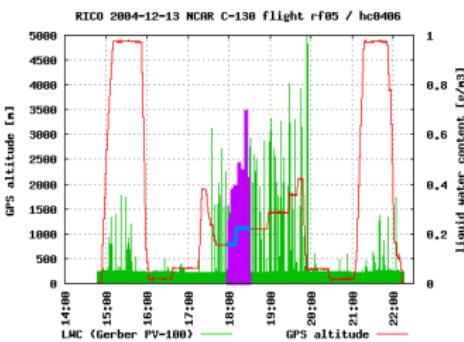
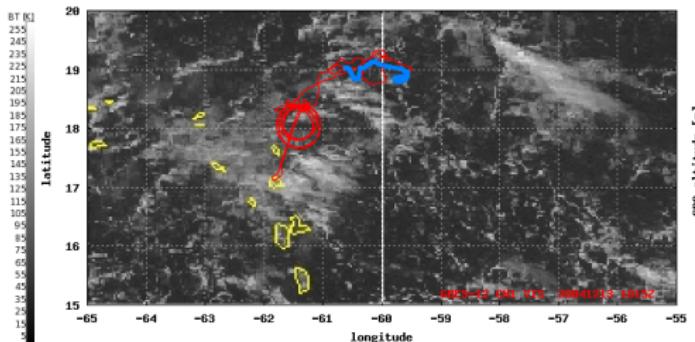
Lotnicze pomiary wody chmurowej RICO: porównanie wyników pomiarów *in-situ* z różnych instrumentów

Przykładowy lot badawczy RICO: C-130 RF05



Lotnicze pomiary wody chmurowej RICO: porównanie wyników pomiarów *in-situ* z różnych instrumentów

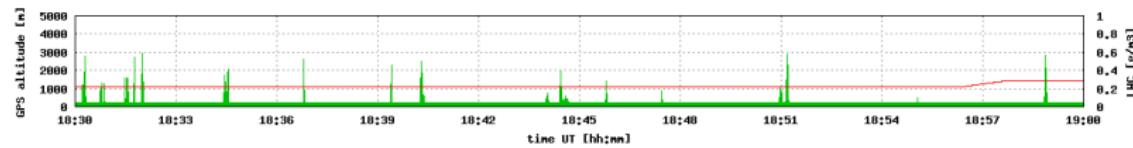
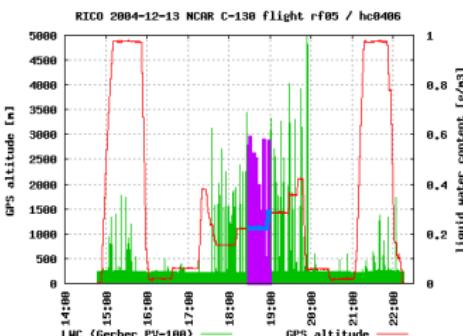
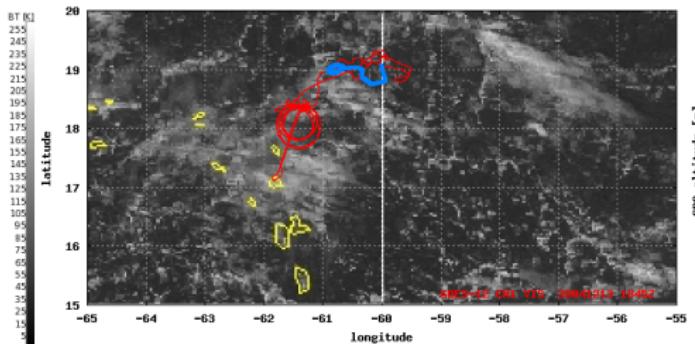
Przykładowy lot badawczy RICO: C-130 RF05



Lotnicze pomiary wody chmurowej RICO: porównanie wyników pomiarów *in-situ* z różnych instrumentów

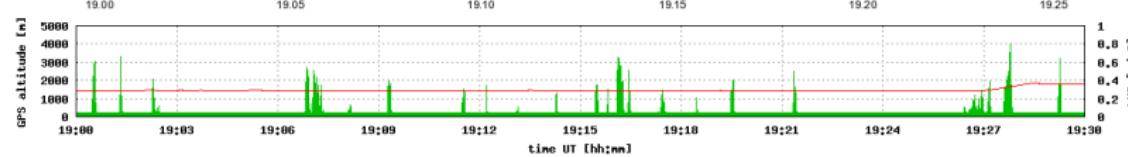
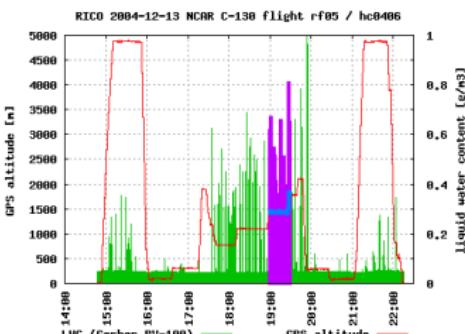
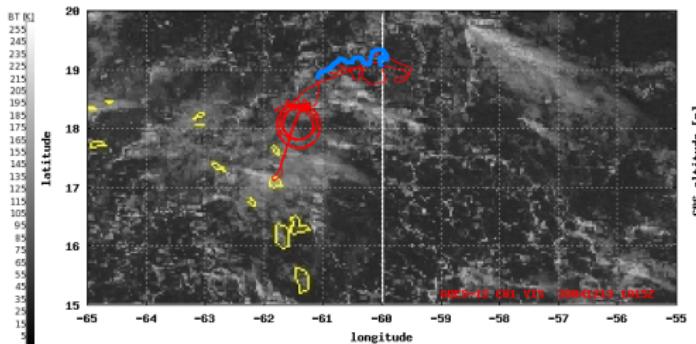


Przykładowy lot badawczy RICO: C-130 RF05



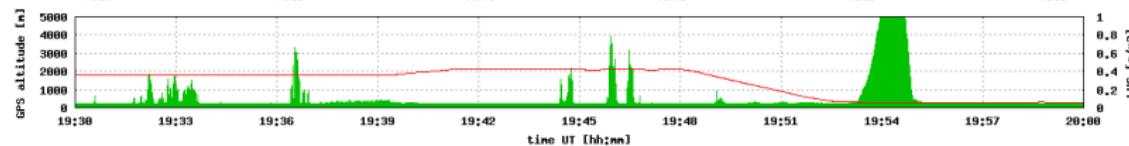
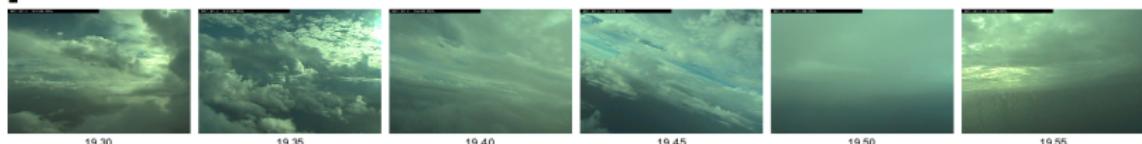
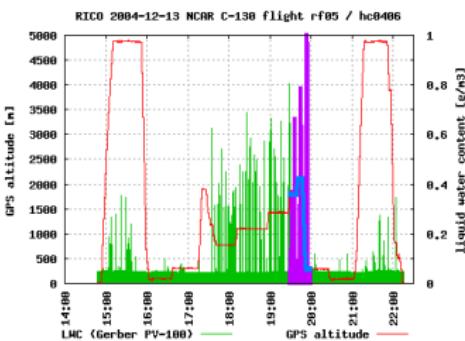
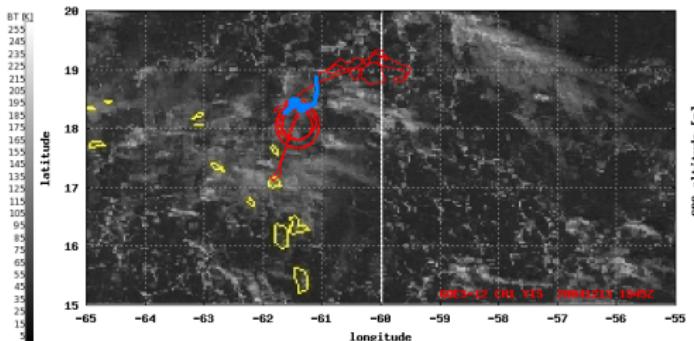
Lotnicze pomiary wody chmurowej RICO: porównanie wyników pomiarów *in-situ* z różnych instrumentów

Przykładowy lot badawczy RICO: C-130 RF05



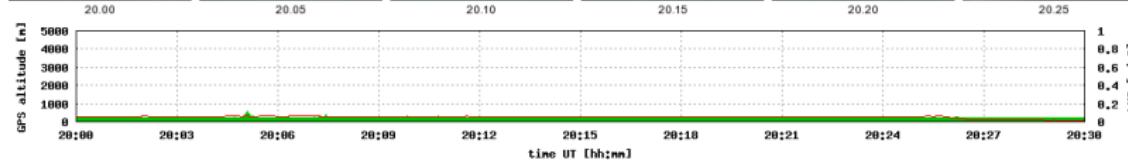
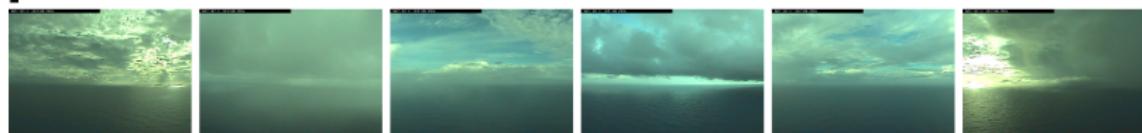
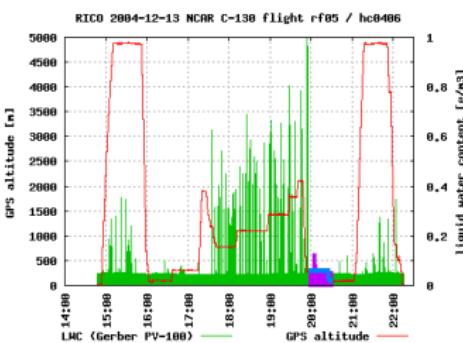
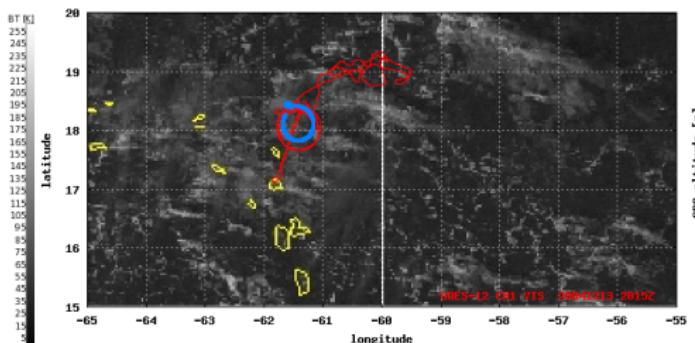
Lotnicze pomiary wody chmurowej RICO: porównanie wyników *in-situ* z różnych instrumentów

Przykładowy lot badawczy RICO: C-130 RF05



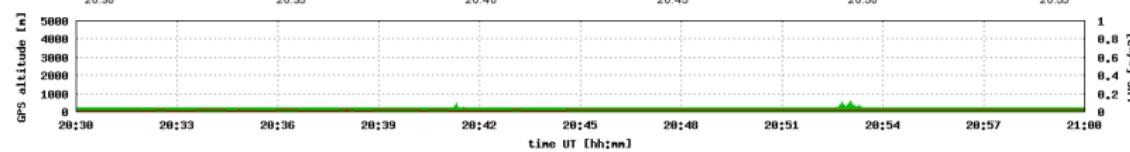
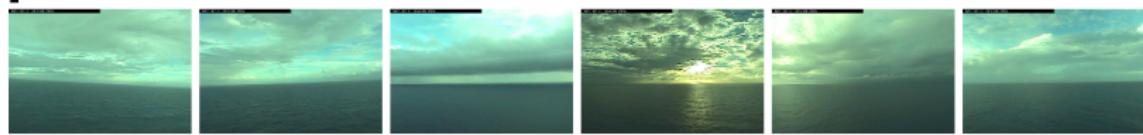
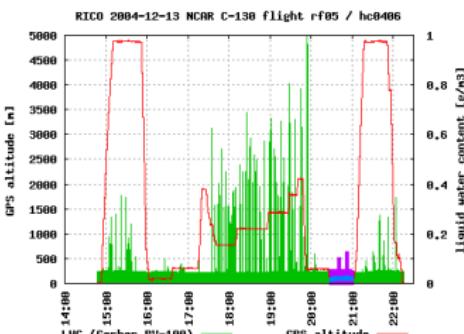
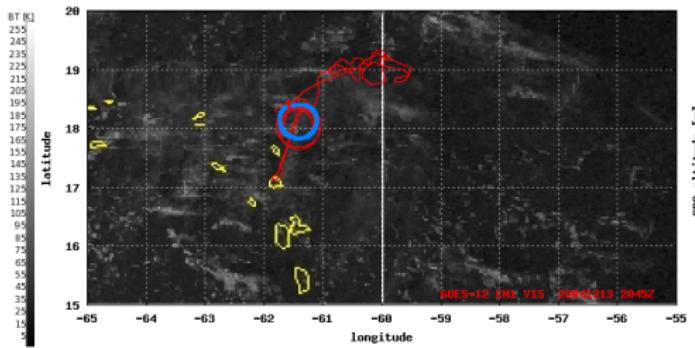
Lotnicze pomiary wody chmurowej RICO: porównanie wyników pomiarów *in-situ* z różnych instrumentów

Przykładowy lot badawczy RICO: C-130 RF05



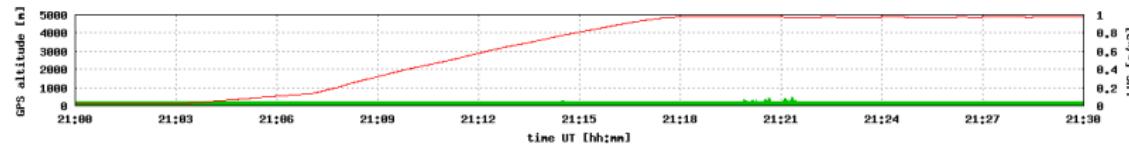
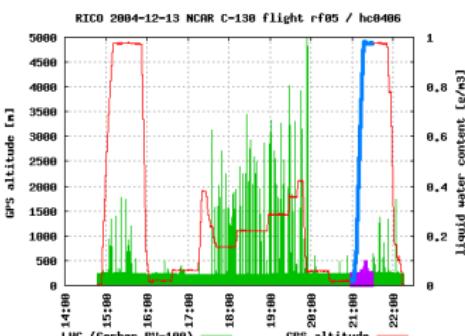
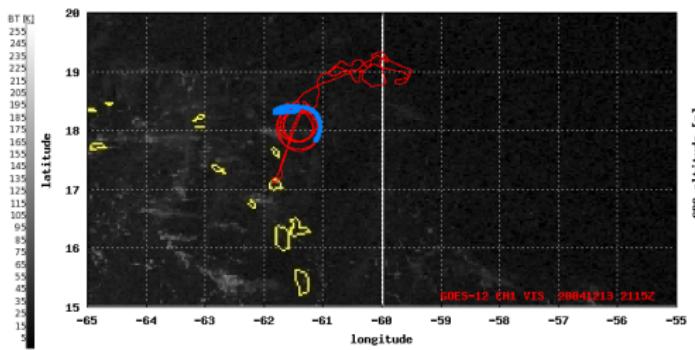
Lotnicze pomiary wody chmurowej RICO: porównanie wyników pomiarów *in-situ* z różnych instrumentów

Przykładowy lot badawczy RICO: C-130 RF05



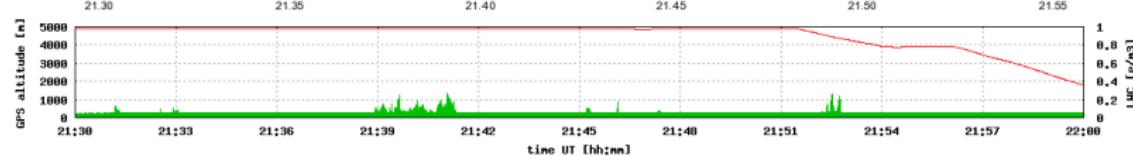
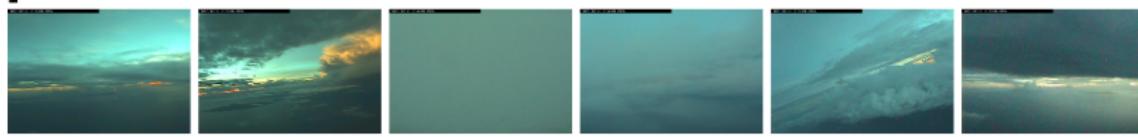
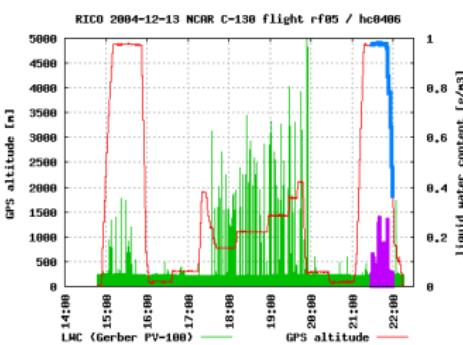
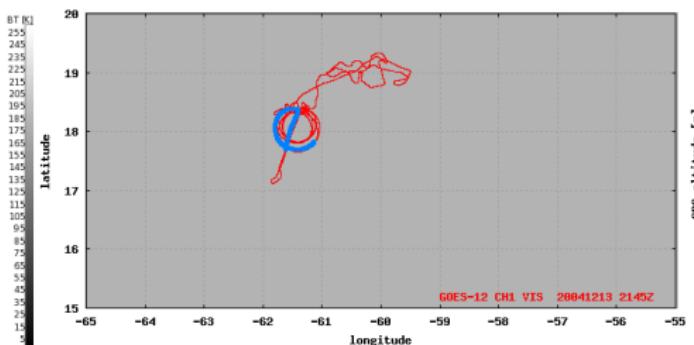
Lotnicze pomiary wody chmurowej RICO: porównanie wyników pomiarów *in-situ* z różnych instrumentów

Przykładowy lot badawczy RICO: C-130 RF05



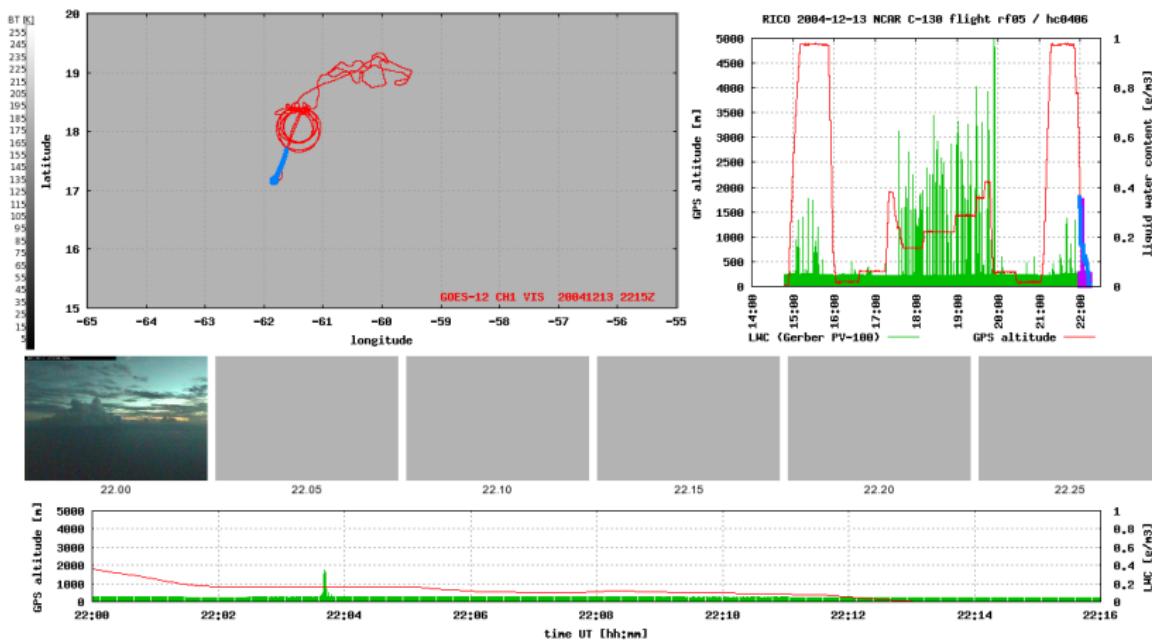
Lotnicze pomiary wody chmurowej RICO: porównanie wyników pomiarów *in-situ* z różnych instrumentów

Przykładowy lot badawczy RICO: C-130 RF05



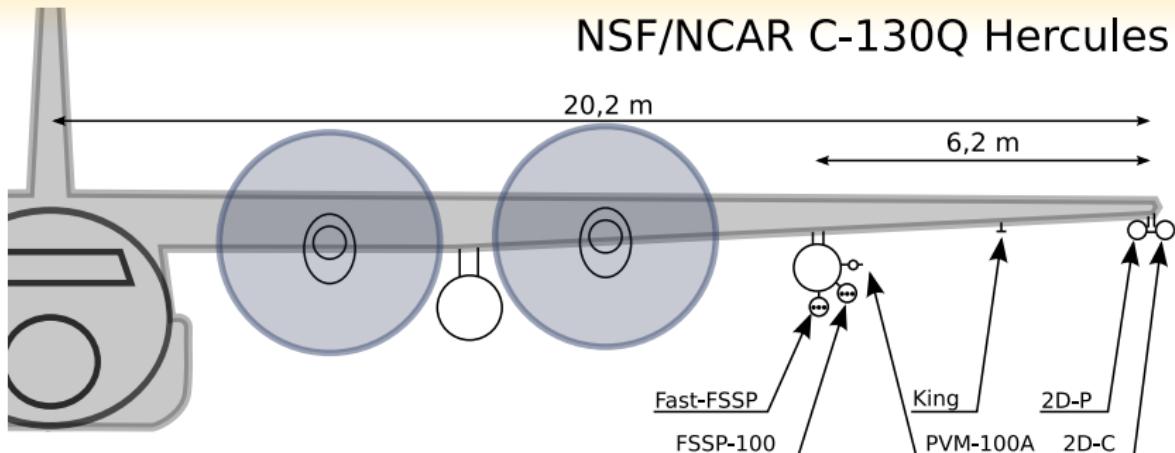
Lotnicze pomiary wody chmurowej RICO: porównanie wyników pomiarów *in-situ* z różnych instrumentów

Przykładowy lot badawczy RICO: C-130 RF05



Lotnicze pomiary wody chmurowej RICO: porównanie wyników pomiarów *in-situ* z różnych instrumentów

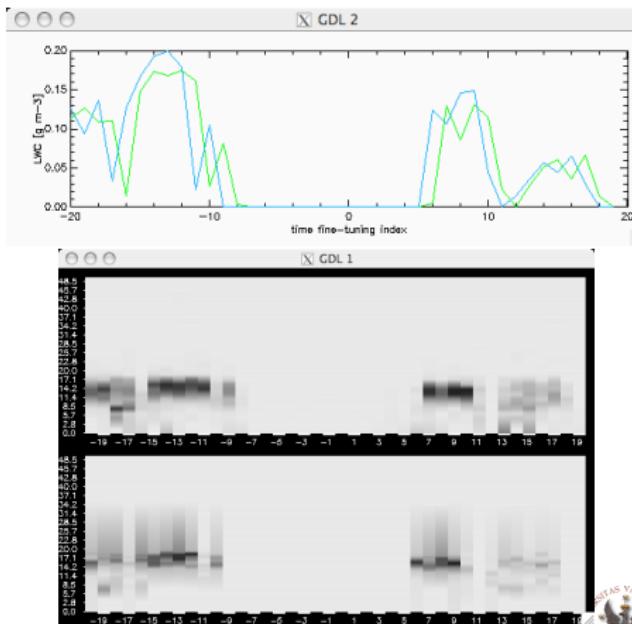
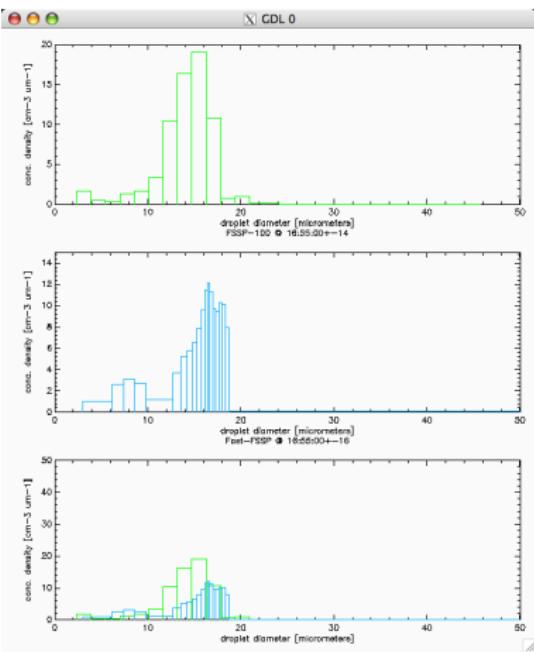




Ryc.: Schemat (bez dokładnego odwzorowania skali) rozmieszczenia wybranych instrumentów do pomiaru wody chmurowej i opadowej podczas lotów RICO (lewe skrzydło samolotu C-130Q)



Struktura przykładowej chmury – porównanie danych z dwóch spektrometrów



http://www.igf.fuw.edu.pl/~slayoo/files/rico/fssp_compare/

Statystyki porównawcze

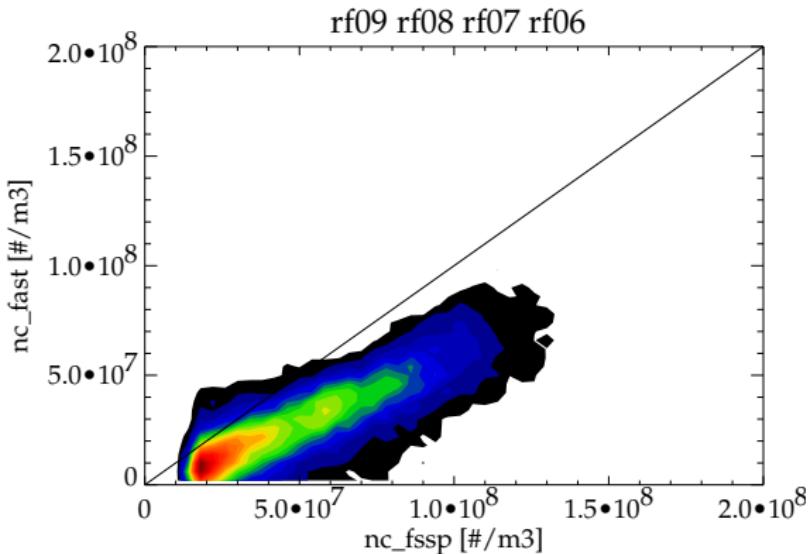
- 4 przyrządy
- 3 mierzone wielkości (N_c , sfc , q_c)
- 4 ośmiogodzinne loty
- 10Hz rozdzielcość czasowa ($\sim 10m$)
- 3m maks. odległości pomiędzy czujnikami

Źródła danych

- National Center for Atmospheric Research –
Research Aviation Facility (FSSP-100, PVM-100A, King Probe)
- Météo France (Fast-FSSP)



Pomiary koncentracji całkowitej (FSSP-100, Fast-FSSP)



Ryc.: 25 izolinii gęst. prawdop. ($5 \times 10^{-4} \dots 1 \times 10^{-2}$), 43 tys. punktów w 50x50 klasach; współczynnik korelacji 0.72

Pomiary koncentracji

Źródła niepewności i możliwe przyczyny rozbieżności wyników

- Niepewność określenia objętości próbkowania
 - Niestabilność szerokości wiązki
 - Określenie zakresu głębi ostrości (różne mechanizmy w FSSP-100 i Fast-FSSP)
 - Czas martwy elektroniki (nie w Fast-FSSP)
- niepewność liczby zliczeń
 - Koincydencje (dla wysokich konc., możliwość korekcji dla Fast-FSSP)

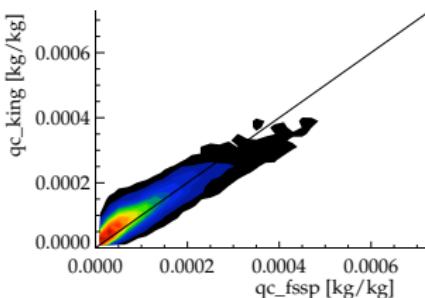
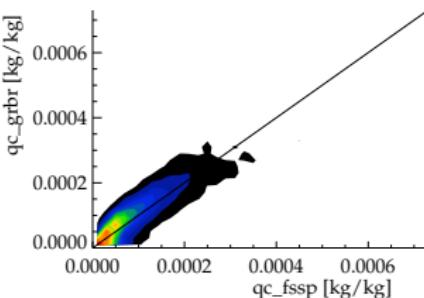
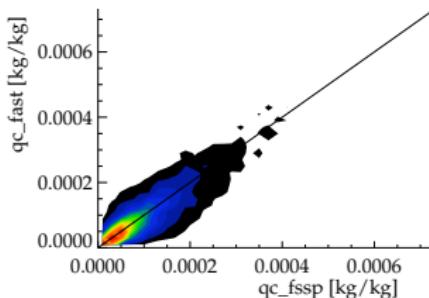
(szerzej np. w Cerni, 1983; Brenguier et al., 1998).

Brenguier, J., T. Bourrianne, A. Coelho, J. Isbert, R. Peytavi, D. Trevarin, i P. Weschler, 1998: Improvements of droplet size distribution measurements with the Fast-FSSP (forward scattering spectrometer probe). *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **15**, 1077–1090.

Cerni, T., 1983: Determination of the size and concentration of cloud drops with an FSSP. *J. Climate Appl. Meteor.*, **22**, 1346–1355.



Pomiary wodności właściwej (FSSP-100, Fast-FSSP, PVM-100A, King Probe)



Ryc.: $(1 \times 10^{-3} \dots 3 \times 10^{-2})$, 37 tys. punktów; współczynnik korelacji 0.86

Ryc.: $(2 \times 10^{-3} \dots 4 \times 10^{-2})$, 44 tys. punktów; współczynnik korelacji 0.91

Ryc.: $(1 \times 10^{-3} \dots 3 \times 10^{-2})$, 45 tys. punktów; współczynnik korelacji 0.90

Pomiary wodności

Źródła niepewności i możliwe przyczyny rozbieżności wyników

- FSSP-100 i Fast-FSSP
 - Niepewność oszacowania koncentracji
 - Koincydencje \rightsquigarrow poszerzanie widma, niwelacja z konc. (Cerni, 1983)
- PVM-100A
 - Niespełnione założenia wykorzystane do zaprojektowania filtrów (wiele powodów) (Lawson i Blyth, 1998; Wendisch et al., 2002)
- King Probe
 - Efekty aerodynamiczne, zależność efektywności *wychwytu* od rozmiaru kropli (Biter et al., 1987)

Biter, C., J. Bye, D. Huffman, i W. King, 1987: The drop-size response of the csiro liquid water probe. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **4**, 359–367.

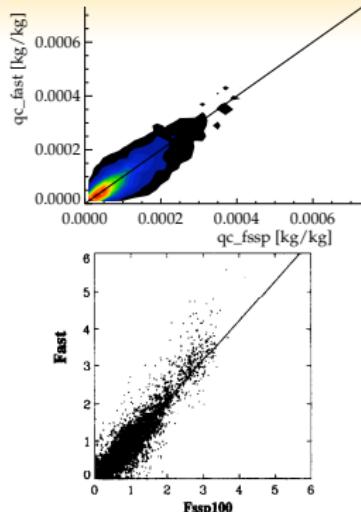
Cerni, T., 1983: Determination of the size and concentration of cloud drops with an FSSP. *J. Climate Appl. Meteor.*, **22**, 1346–1355.

Lawson, R., i A. Blyth, 1998: A comparison of optical measurements of liquid water content and drop size distribution in adiabatic regions of Florida cumuli. *Atmos. Res.*, **47–48**, 671–690.

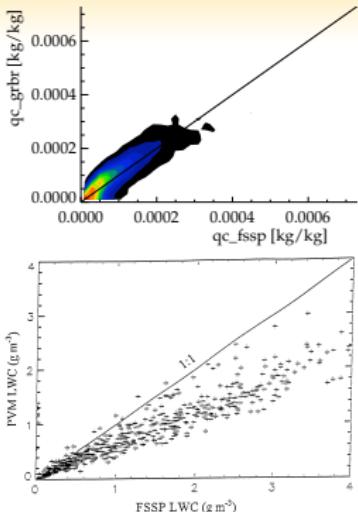
Wendisch, M., T. Garrett, i J. Strapp, 2002: Wind tunnel tests of the airborne PVM-100A response to large droplets. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **19**, 1577–1584.

Lotnicze pomiary wody chmurowej RICO: porównanie wyników *in-situ* z różnych instrumentów

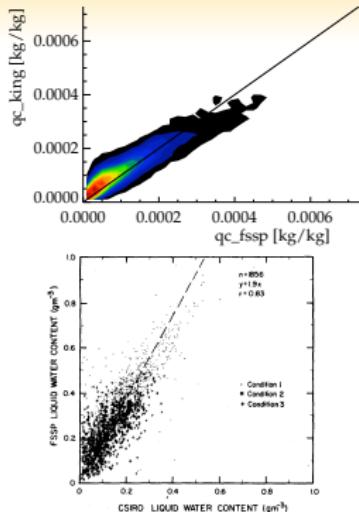




Burnet i Brenguier (1999)



Lawson i Blyth (1998)



Baumgardner (1983) (X↔Y!)

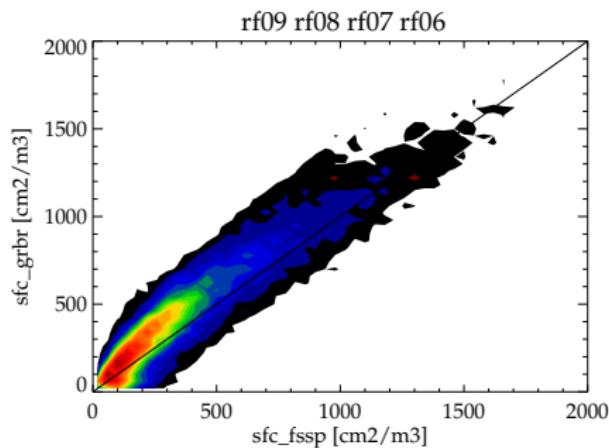
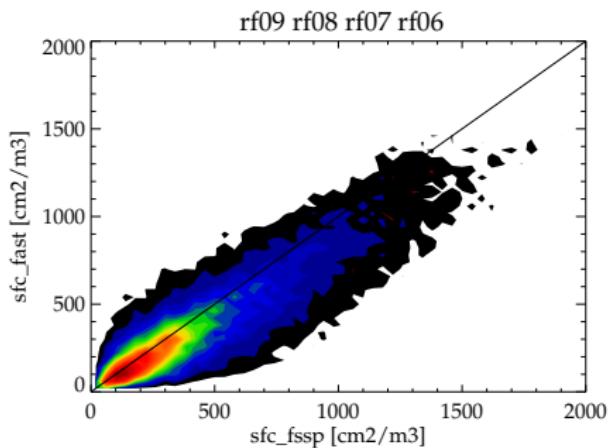
Baumgardner, D., 1983: An analysis and comparison of five water droplet measuring instruments. *J. Climate Appl. Meteor.*, **22**, 891–910.

Burnet, F., i J. Brenguier, 1999: Validation of droplet spectra and liquid water content measurements. *Phys. Chem. Earth*, **B24**, 249–254.

Lawson, R., i A. Blyth, 1998: A comparison of optical measurements of liquid water content and drop size distribution in adiabatic regions of Florida cumuli. *Atmos. Res.*, **47–48**, 671–690.



Pomiary powierzchni całkowitej (FSSP-100, Fast-FSSP, PVM-100A)



Ryc.: $(4 \times 10^{-4} \dots 1 \times 10^{-2})$, 37 tys.
punktów; współczynnik korelacji 0.82

Ryc.: $(5 \times 10^{-4} \dots 1 \times 10^{-2})$, 44 tys.
punktów; współczynnik korelacji 0.91

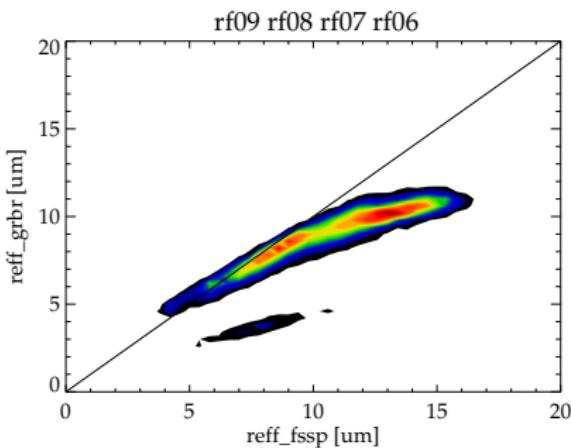
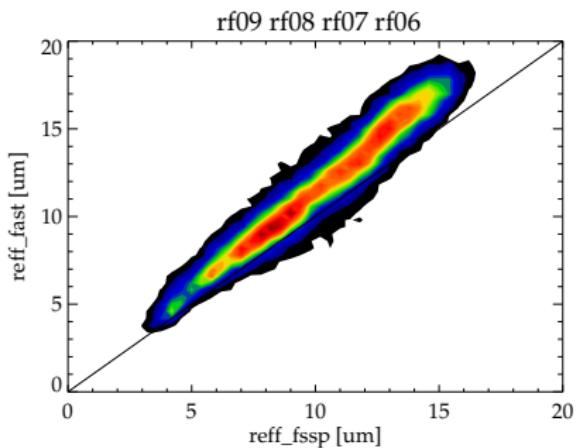


Plan Prezentacji

- 1 Teoria
- 2 Teoria w praktyce
- 3 Praktyka w teorii
 - FSSP – Forward Scattering Spectrometer Probe
 - PVM-100A – Particulate Volume Monitor
 - King Probe
- 4 Praktyka
 - Kampania pomiarowa RICO
 - Statystyki porównawcze i źródła rozbieżności
- 5 Podsumowanie



Wartości promienia efektywnego (FSSP-100, Fast-FSSP, PVM-100A)



Ryc.: $(9 \times 10^{-4} \dots 2 \times 10^{-1})$, 37 tys.
punktów; współczynnik korelacji 0.79

Ryc.: $(4 \times 10^{-4} \dots 1 \times 10^{-2})$, 38 tys.
punktów; współczynnik korelacji 0.93

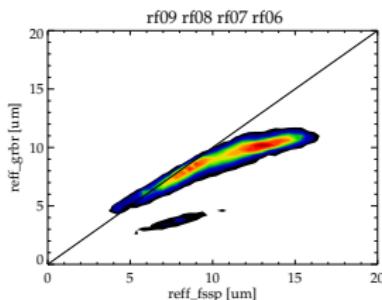
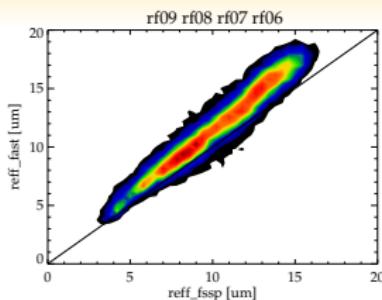


Których danych użyć do dalszych analiz?

Wendisch et al. (2002)

- pomiary kalibracyjne w dwóch tunelach aerodynamicznych (NASA i NRC)
- spadek czułości PVM-100A dla dużych kropli, począwszy od $MVD = 20\mu m$
- wydajność 50% dla kropli o $MVD = 50\mu m$

... MVD vs. r_{eff} ?



Wendisch, M., T. Garrett, i J. Strapp, 2002: Wind tunnel tests of the airborne PVM-100A response to large droplets. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **19**, 1577–1584.



Wnioski

- Charakterystyczne skale zmian parametrów mikrofizycznych w chmurach, rozmieszczenie przyrządów i ich konstrukcja determinują rozbieżności wyników
- Porównanie wyników ukazuje rozbieżności, które mają odzwierciedlenie w uwarunkowaniach konstrukcyjnych przyrządów
- Brak przyrządów wzorcowych (i chmur wzorcowych) uniemożliwia jednoznaczne roztrzygnięcie porównania
- Wyniki wykazują dużą korelację, jednak rozbieżności mogą ujawniać się dopiero przy analizie wielkości zależnych
- Stała szerokość kolorowych obszarów \rightsquigarrow błąd względny maleje z rozmiarem/koncentracją (?)



Dziękuję za uwagę!

