

O modelowaniu chmur (atmosferycznych)

Sylwester Arabas
Uniwersytet Jagielloński

Dni Wydziału Matematyki i Informatyki UJ
4. marca 2020 r.

jak powstają chmury i opad?

WIKIPEDIA

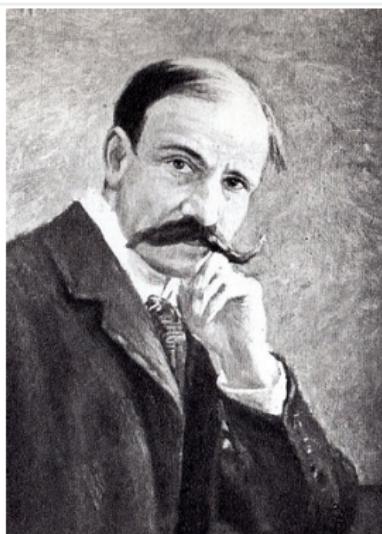
Maurycy Pius Rudzki

Maurycy Pius Rudzki (b. 1862, d. 1916) was the first person to call himself a professor of geophysics. He held the Chair of Geophysics at the Jagiellonian University in Kraków, and established the Institute of Geophysics there in 1895. His research specialty was elastic anisotropy, as applied to wave propagation in the earth, and he established many of the fundamental results in that arena.^[1]

References

1. Slawinski, Michael A., WAVES AND RAYS IN ELASTIC CONTINUA, 2007: "Archived copy" (<https://archive.is/20120715001056/http://samizdat.mines.edu/wavesandrays/>). Archived from the original (<http://samizdat.mines.edu/wavesandrays/>) on 2012-07-15. Retrieved 2010-06-30.

Maurycy Pius Rudzki



jak powstają chmury i opad?

„Zasady meteorologii” (1917)

<http://pbc.gda.pl/dlibra/docmetadata?id=18434>

...

jak powstają chmury i opad?

„Zasady meteorologii” (1917)

<http://pbc.gda.pl/dlibra/docmetadata?id=18434>

W swobodnej atmosferze do skroplenia potrzebne są „jądra skroplenia”, dokoła których para skupia się i zamienia w wodę ...

jak powstają chmury i opad?

„Zasady meteorologii” (1917)

<http://pbc.gda.pl/dlibra/docmetadata?id=18434>

W swobodnej atmosferze do skroplenia potrzebne są „jądra skroplenia”, dokoła których para skupia się i zamienia w wodę ...

Po miastach powietrze zawiera dużo dymu, molekułów kwasów i.t.d. Wszystko to są hygroskopijne ciała skupiające parę nawet wtedy, gdy powietrze nie jest jeszcze nasycone ...

jak powstają chmury i opad?

„Zasady meteorologii” (1917)

<http://pbc.gda.pl/dlibra/docmetadata?id=18434>

W swobodnej atmosferze do skroplenia potrzebne są „jądra skroplenia”, dokoła których para skupia się i zamienia w wodę ...

Po miastach powietrze zawiera dużo dymu, molekułów kwasów i.t.d.

Wszystko to są hygroskopijne ciała skupiające parę nawet wtedy, gdy powietrze nie jest jeszcze nasycone ...

Wszystko, co dotychczas powiedzieliśmy, odnosi się jeno do samotnych kropel. Tymczasem, jak to słusznie zauważył M. Smoluchowski zwykle spada nie jedna kropla, ale całe mnóstwo...

jak powstają chmury i opad?

„Zasady meteorologii” (1917)

<http://pbc.gda.pl/dlibra/docmetadata?id=18434>

W swobodnej atmosferze do skroplenia potrzebne są „jądra skroplenia”, dokoła których para skupia się i zamienia w wodę ...

Po miastach powietrze zawiera dużo dymu, molekułów kwasów i.t.d.

Wszystko to są hygroskopijne ciała skupiające parę nawet wtedy, gdy powietrze nie jest jeszcze nasycone ...

Wszystko, co dotychczas powiedzieliśmy, odnosi się jeno do samotnych kropel. Tymczasem, jak to słusznie zauważył M. Smoluchowski zwykle spada nie jedna kropla, ale całe mnóstwo...

Kontrast między rozmiarami kropel deszczowych, z których składają się chmury, a rozmiarami kropel deszczowych, jest tak wielki, że te ostatnie oczywiście nie mogą pochodzić wprost z kondensacji, tylko z łączenia się wielu małych kropelek...

Plan prezentacji

- Oddziaływanie aerozol - chmury - opad
- Modelowanie mikrofizyki chmur
- Porównanie z pomiarami

Plan prezentacji

- Oddziaływanie aerozol - chmury - opad
- Modelowanie mikrofizyki chmur
- Porównanie z pomiarami

Oddziaływanie aerozol – chmury – opad: procesy



- ▶ aktywacja kropelek na aerozolu
- ▶ kondensacja

Oddziaływanie aerozol – chmury – opad: procesy



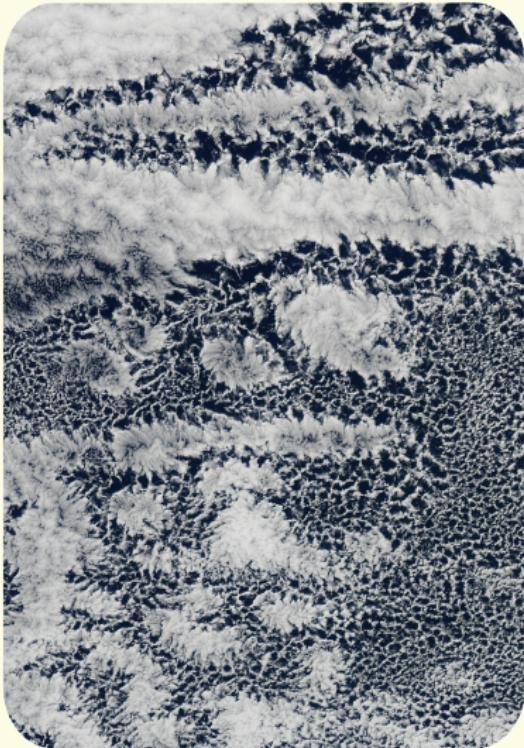
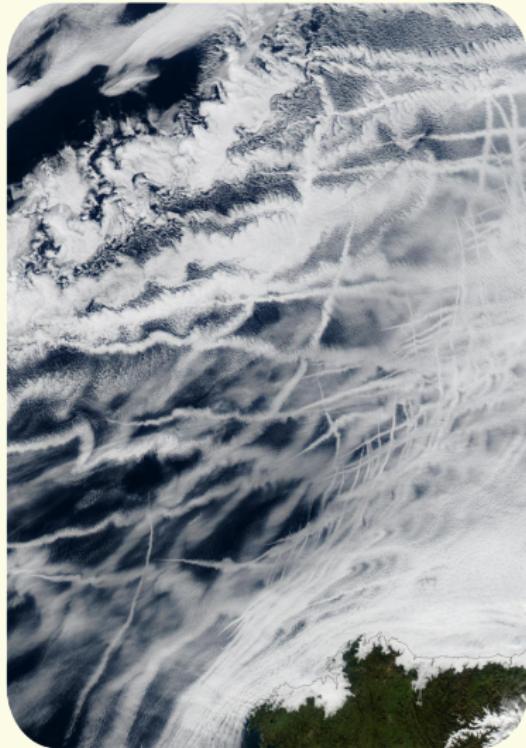
- ▶ aktywacja kropelek na aerozolu
- ▶ kondensacja
- ▶ zderzenia pomiędzy kropelkami
- ▶ procesy chemiczne zachodzące w kropelkach

Oddziaływanie aerozol – chmury – opad: procesy

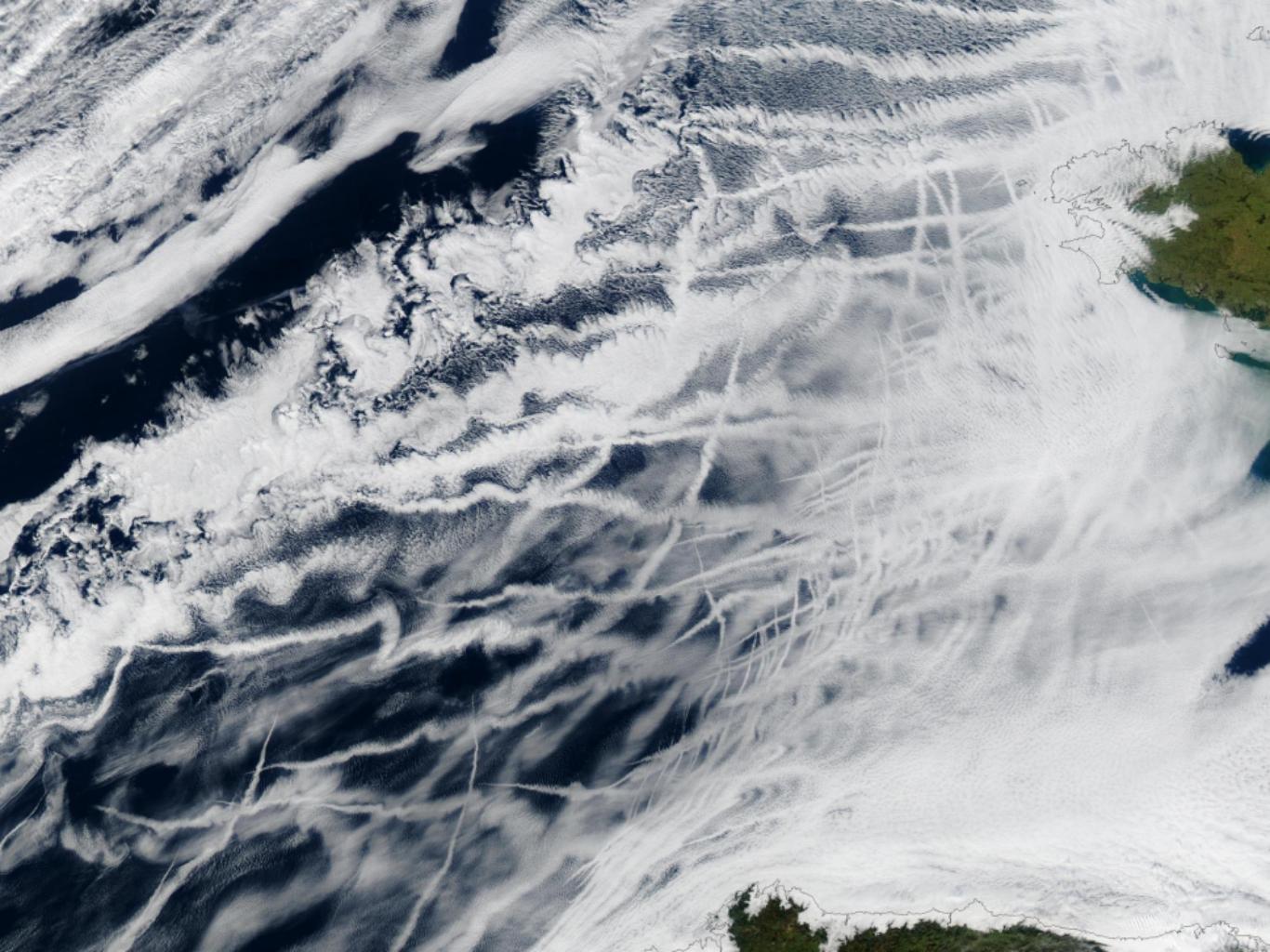


- ▶ aktywacja kropelek na aerozolu
- ▶ kondensacja
- ▶ zderzenia pomiędzy kropelkami
- ▶ procesy chemiczne zachodzące w kropelkach
- ▶ opad
- ▶ wymywanie aerozolu
- ▶ odparowywanie kropelek

Oddziaływanie aerozol – chmury – aerozol: przykłady



źródło: NASA (27 I 2003 – Zatoka Biskajska; 17 IV 2010 – Pacyfik u wybrzeży Peru)





źródło: NASA

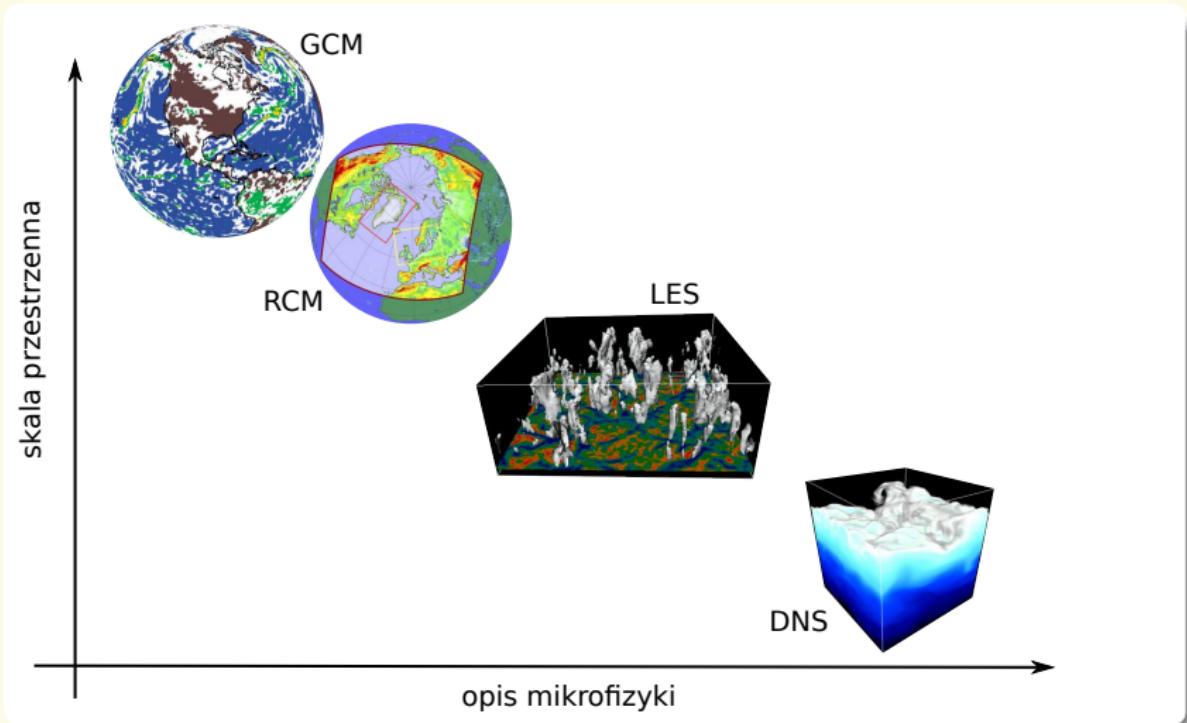
Plan prezentacji

- Oddziaływanie aerozol - chmury - opad
- Modelowanie mikrofizyki chmur
- Porównanie z pomiarami

Plan prezentacji

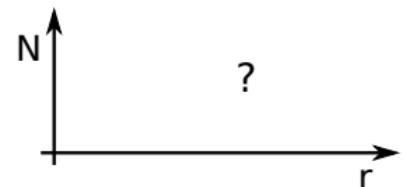
- Oddziaływanie aerozol - chmury - opad
- Modelowanie mikrofizyki chmur
- Porównanie z pomiarami

Reprezentacja mikrofizyki a skala modeli



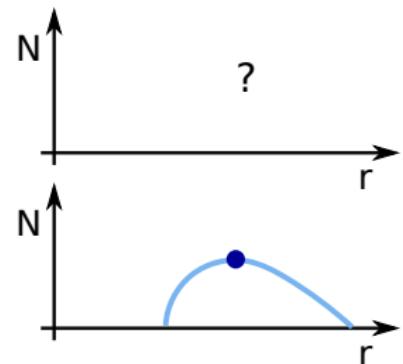
Jak opisywana jest mikrofizyka w LES

- opis zgrubny
jedno-momentowy (bulk)



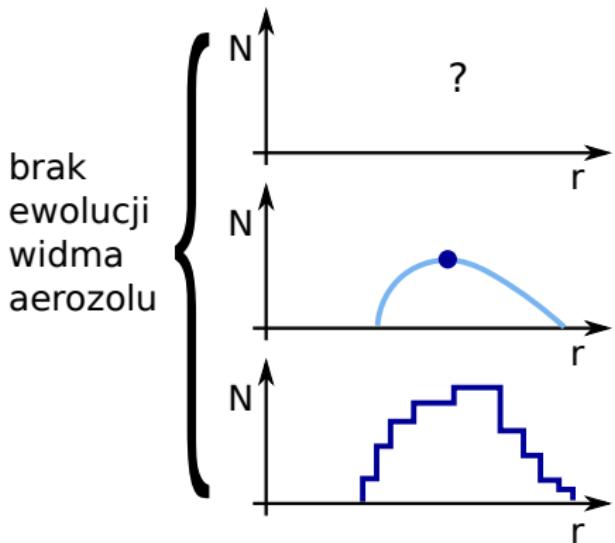
Jak opisywana jest mikrofizyka w LES

- ▶ opis zgrubny jedno-momentowy (bulk)
- ▶ opis zgrubny wielo-momentowy



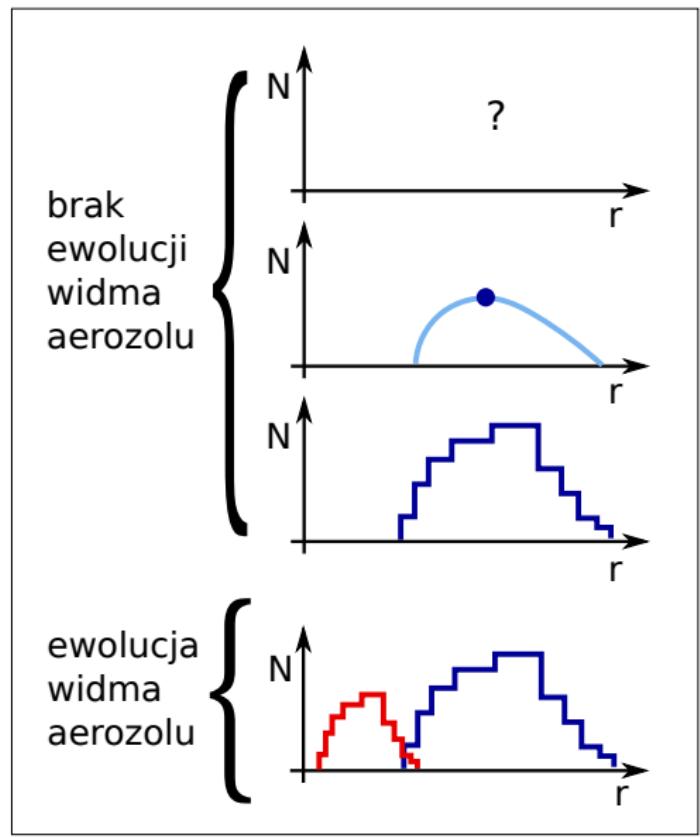
Jak opisywana jest mikrofizyka w LES

- ▶ opis zgrubny
jedno-momentowy (bulk)
- ▶ opis zgrubny
wielo-momentowy
- ▶ opis widmowy
jednowymiarowy (bin)



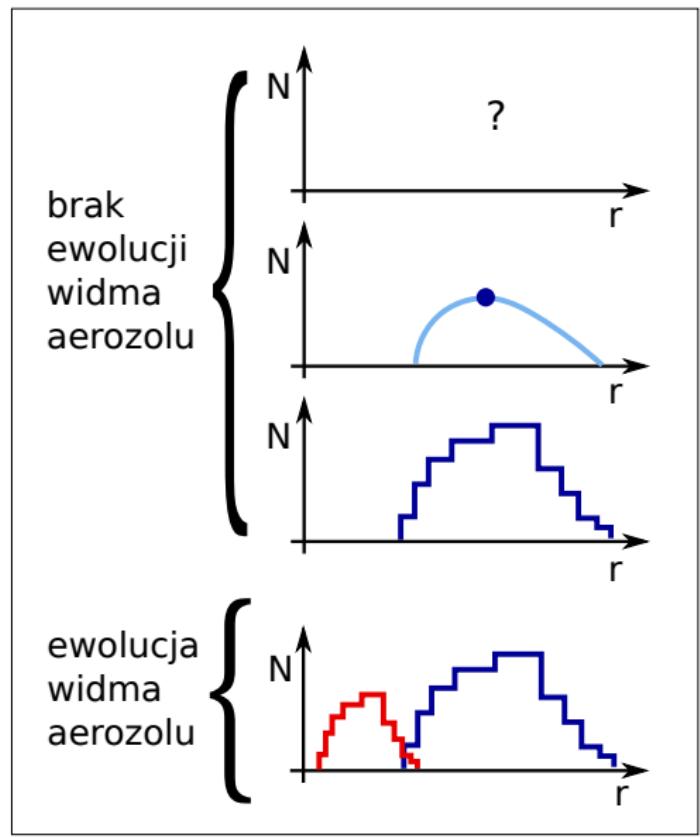
Jak opisywana jest mikrofizyka w LES

- ▶ opis zgrubny
jedno-momentowy (bulk)
- ▶ opis zgrubny
wielo-momentowy
- ▶ opis widmowy
jednowymiarowy (bin)
- ▶ opis widmowy
wielowymiarowy
 - ▶ realizacja Eulerowska
 - ▶ realizacja Lagranżowska

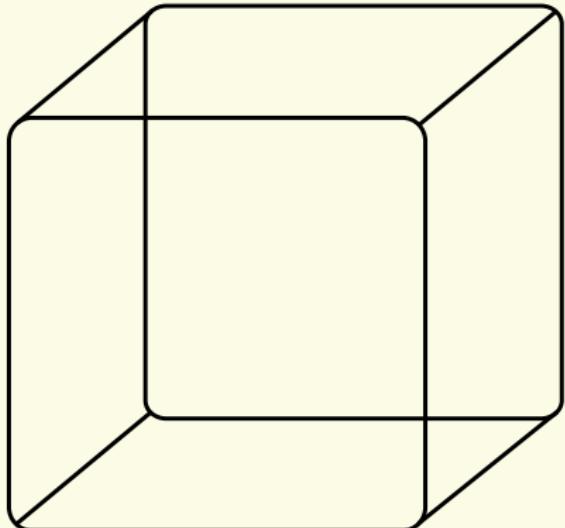


Jak opisywana jest mikrofizyka w LES

- ▶ opis zgrubny
jedno-momentowy (bulk)
- ▶ opis zgrubny
wielo-momentowy
- ▶ opis widmowy
jednowymiarowy (bin)
- ▶ opis widmowy
wielowymiarowy
 - ▶ realizacja Eulerowska
 - ▶ **realizacja Lagranżowska**

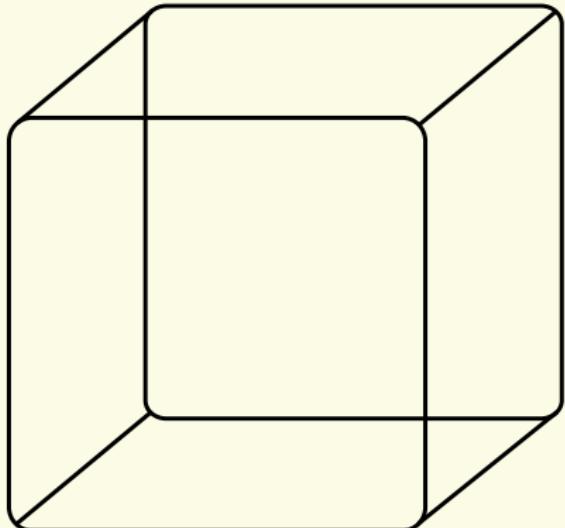


Lagranżowski opis mikrofizyki



W domenie rozmieszczone są obiekty które są nośnikiem informacji dot. mikrofizyki

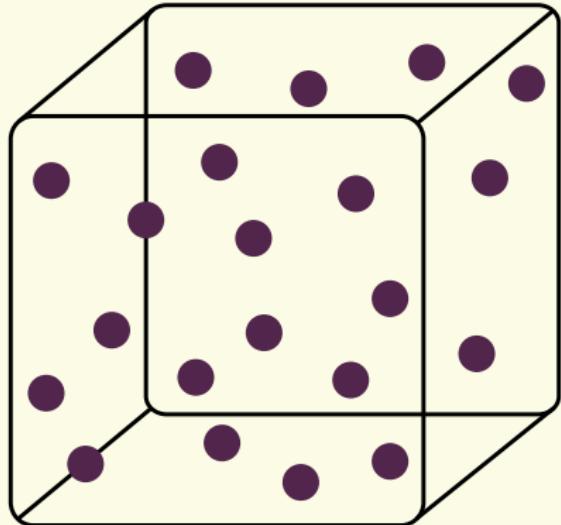
Lagranżowski opis mikrofizyki



W domenie rozmieszczone są obiekty które są nośnikiem informacji dot. mikrofizyki

Można im przypisywać atrybuty:

Lagranżowski opis mikrofizyki

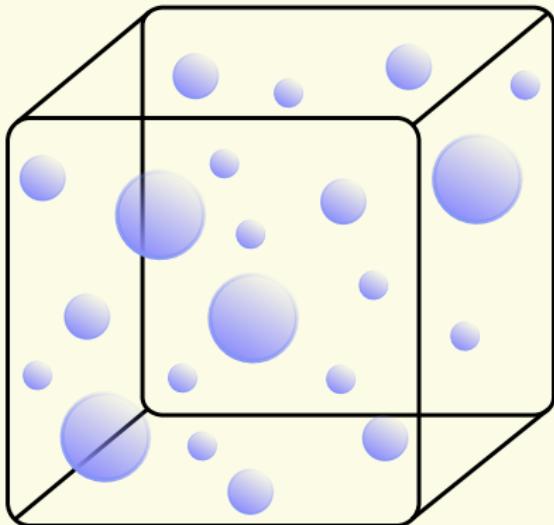


W domenie rozmieszczone są obiekty które są nośnikiem informacji dot. mikrofizyki

Można im przypisywać atrybuty:

- ▶ położenie

Lagranżowski opis mikrofizyki

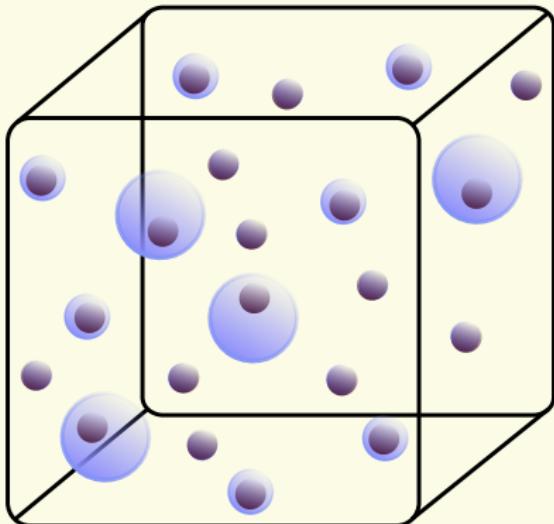


W domenie rozmieszczone są obiekty które są nośnikiem informacji dot. mikrofizyki

Można im przypisywać atrybuty:

- ▶ położenie
- ▶ promień mokry

Lagranżowski opis mikrofizyki

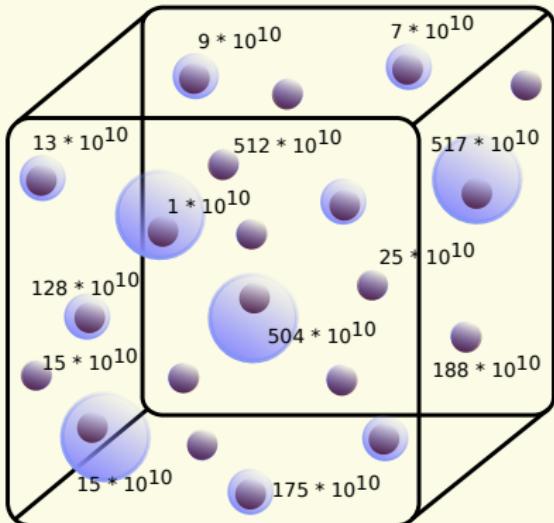


W domenie rozmieszczone są obiekty które są nośnikiem informacji dot. mikrofizyki

Można im przypisywać atrybuty:

- ▶ położenie
- ▶ promień mokry
- ▶ promień suchy

Lagranżowski opis mikrofizyki

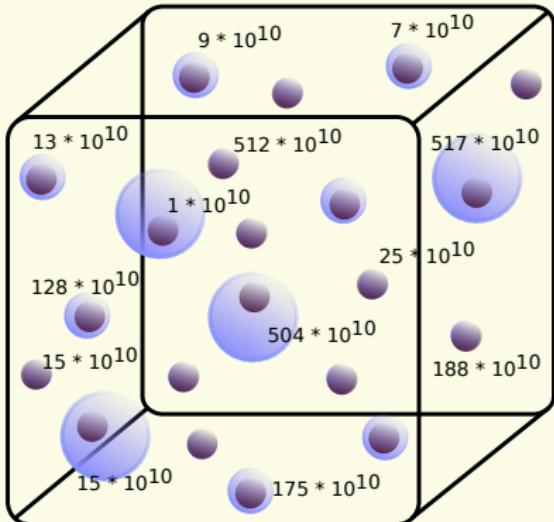


W domenie rozmieszczone są obiekty które są nośnikiem informacji dot. mikrofizyki

Można im przypisywać atrybuty:

- ▶ położenie
- ▶ promień mokry
- ▶ promień suchy
- ▶ krotność

Lagranżowski opis mikrofizyki

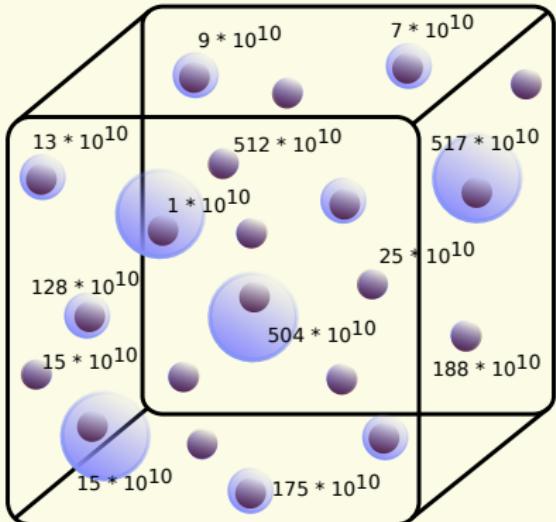


W domenie rozmieszczone są obiekty które są nośnikiem informacji dot. mikrofizyki

Można im przypisywać atrybuty:

- ▶ położenie
- ▶ promień mokry
- ▶ promień suchy
- ▶ krotność
- ▶ ...

Lagranżowski opis mikrofizyki



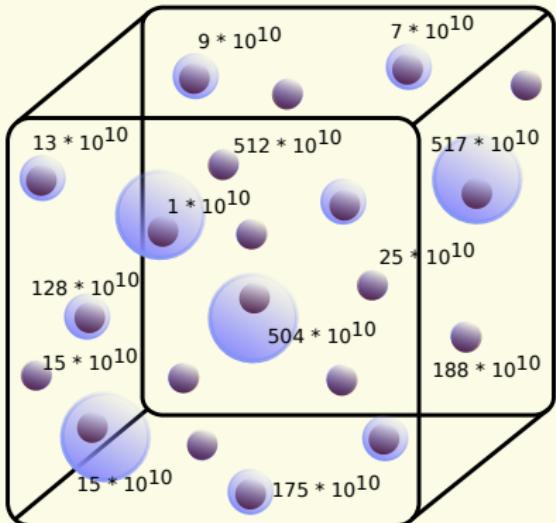
W domenie rozmieszczone są obiekty które są nośnikiem informacji dot. mikrofizyki

Można im przypisywać atrybuty:

- ▶ położenie
- ▶ promień mokry
- ▶ promień suchy
- ▶ krotność
- ▶ ...

Łatwość dodawania kolejnych atrybutów

Lagranżowski opis mikrofizyki



W domenie rozmieszczone są obiekty które są nośnikiem informacji dot. mikrofizyki

Można im przypisywać atrybuty:

- ▶ położenie
- ▶ promień mokry
- ▶ promień suchy
- ▶ krotność
- ▶ ...

Łatwość dodawania kolejnych atrybutów (ważne przy opisie reakcji chemicznych zachodzących w kropelkach)

Lagranżowski opis μ -fizyki a dynamika płynu

Euler. / PDE

Lagr. / ODE

Lagranżowski opis μ -fizyki a dynamika płynu

Euler. / PDE	Lagr. / ODE
adwekcja ciepła	transport cząstek
adwekcja wilgoci	

Lagranżowski opis μ -fizyki a dynamika płynu

Euler. / PDE	Lagr. / ODE
adwekcja ciepła	transport cząstek
adwekcja wilgoci	wzrost kondensacyjny wzrost koagulacyjny osiadanie

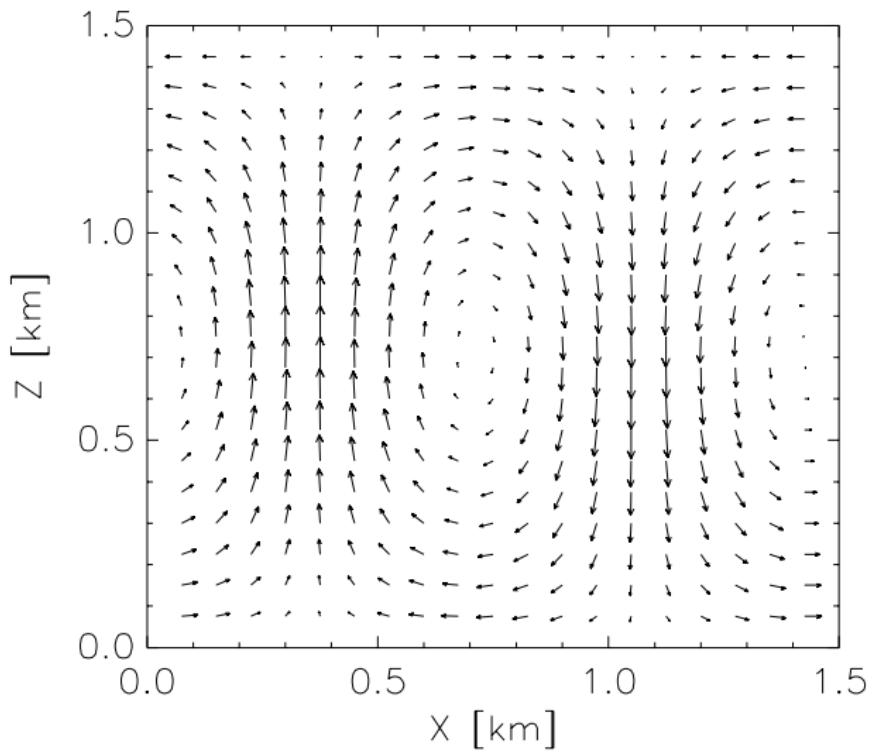
Lagranżowski opis μ -fizyki a dynamika płynu

Euler. / PDE	Lagr. / ODE
adwekcja ciepła	transport cząstek
adwekcja wilgoci	wzrost kondensacyjny
	wzrost koagulacyjny
	osiadanie
$\partial_t(\rho_d r) + \nabla \cdot (\vec{v} \rho_d r) = \rho_d \dot{r}$	$\dot{r} = \sum_{cząstki \in \Delta V} \dots$
$\partial_t(\rho_d \theta) + \nabla \cdot (\vec{v} \rho_d \theta) = \rho_d \dot{\theta}$	$\dot{\theta} = \sum_{cząstki \in \Delta V} \dots$

Lagranżowski opis μ -fizyki a dynamika płynu

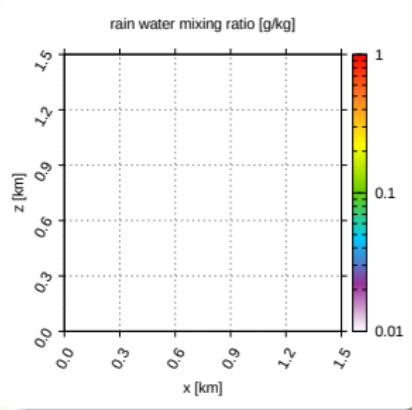
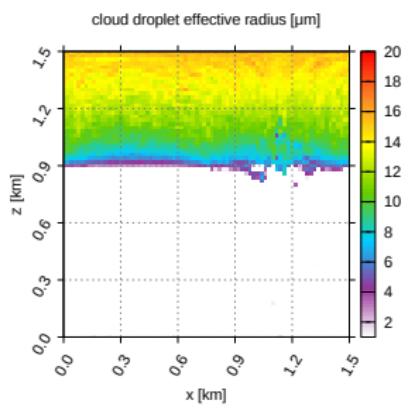
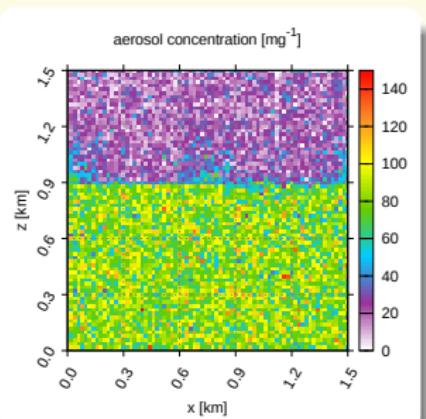
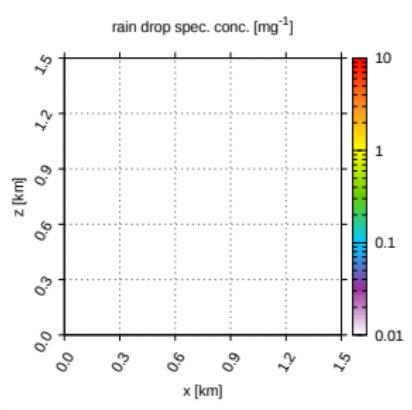
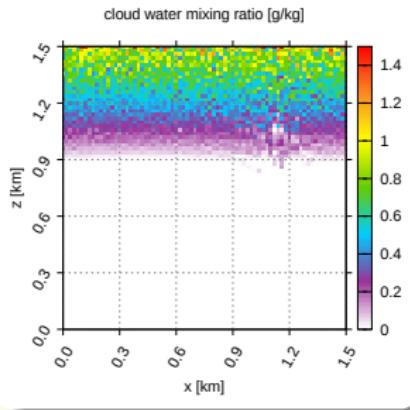
Euler. / PDE	Lagr. / ODE
adwekcja ciepła	transport cząstek
adwekcja wilgoci	wzrost kondensacyjny wzrost koagulacyjny osiadanie
$\partial_t(\rho_d r) + \nabla \cdot (\vec{v} \rho_d r) = \rho_d \dot{r}$	$\dot{r} = \sum_{cząstki \in \Delta V} \dots$
$\partial_t(\rho_d \theta) + \nabla \cdot (\vec{v} \rho_d \theta) = \rho_d \dot{\theta}$	$\dot{\theta} = \sum_{cząstki \in \Delta V} \dots$
adwekcja gazów śladowych	reakcje chemiczne w kroplach
...	...

przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)

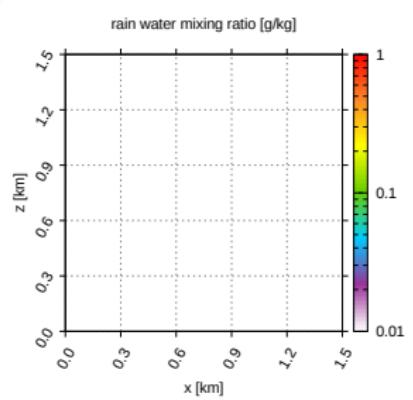
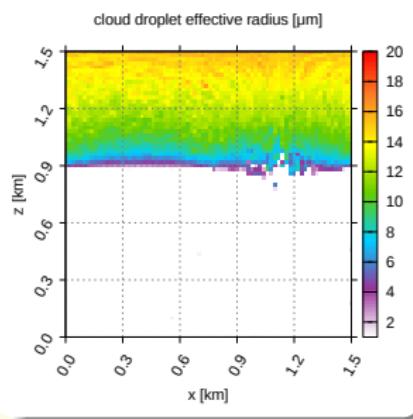
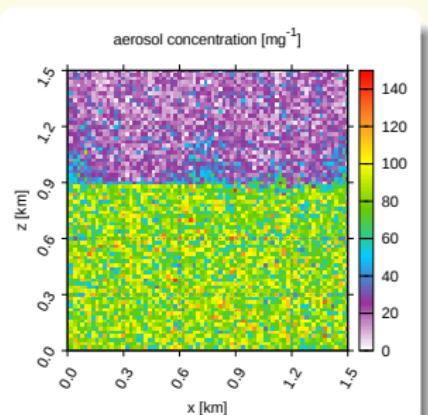
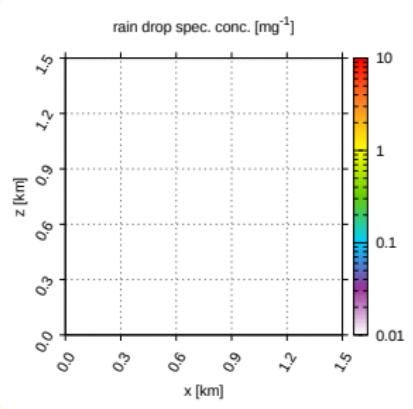
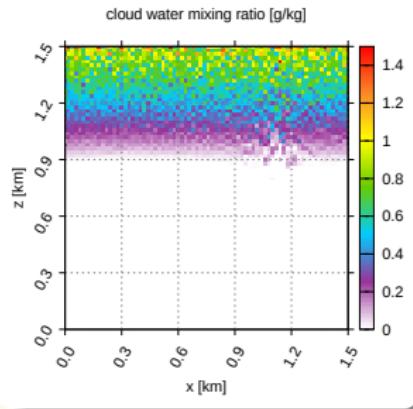


przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)

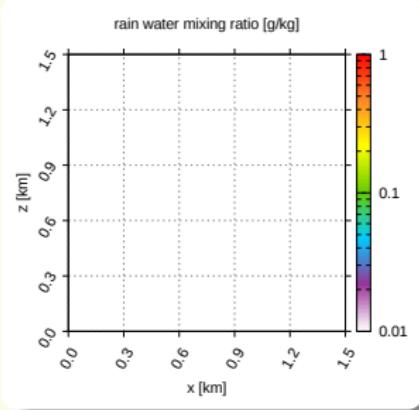
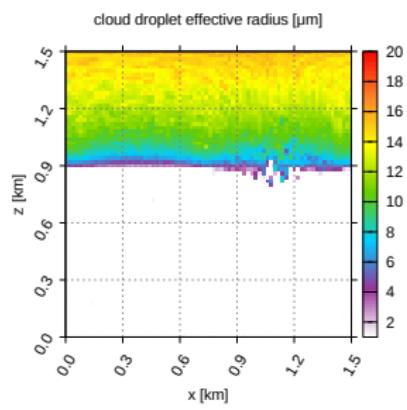
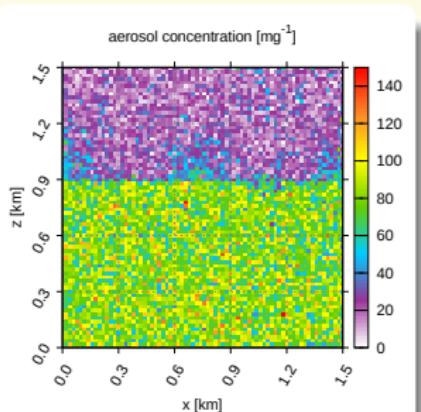
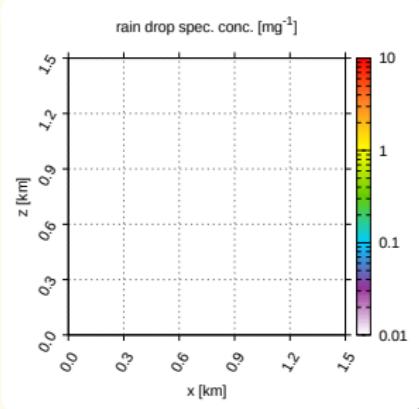
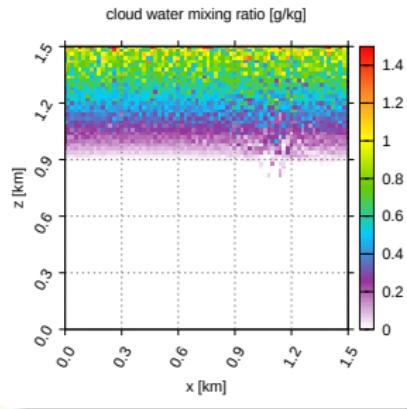
xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx



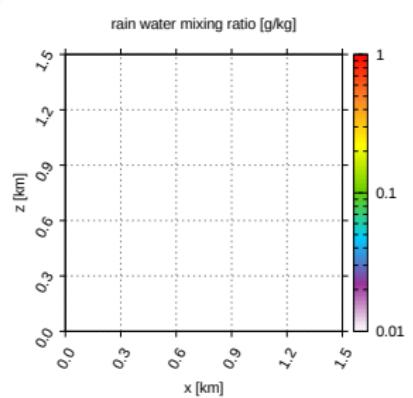
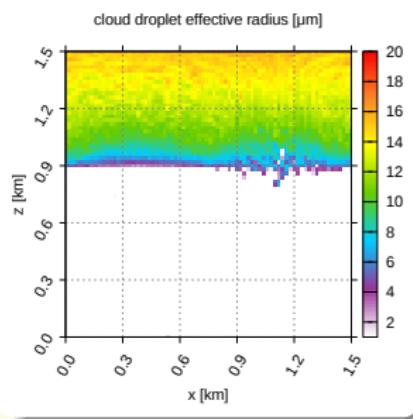
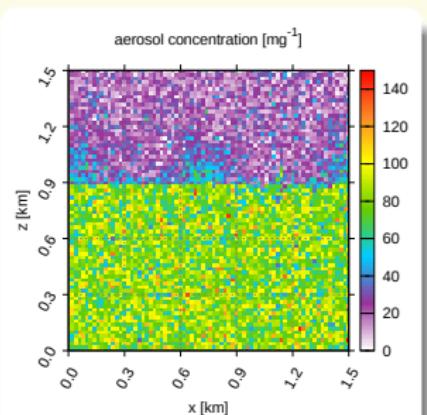
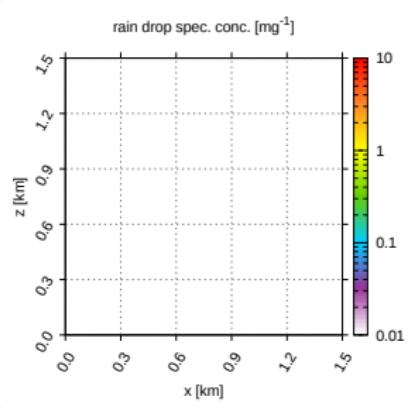
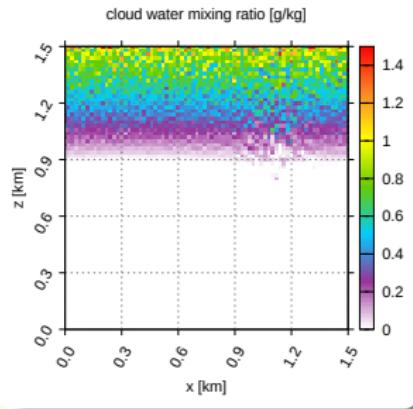
przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)



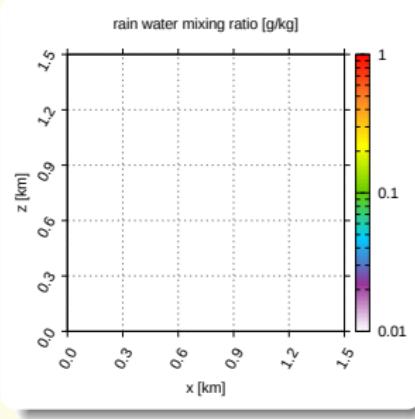
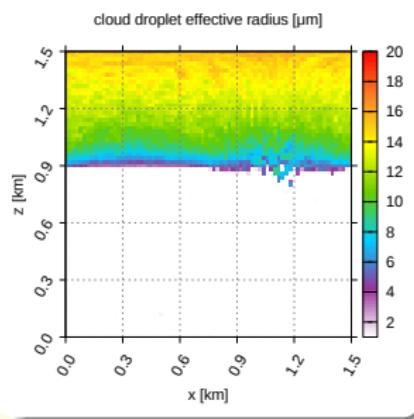
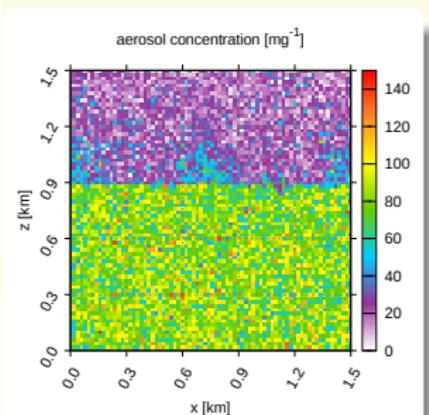
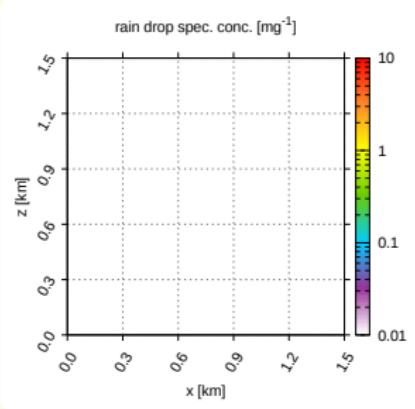
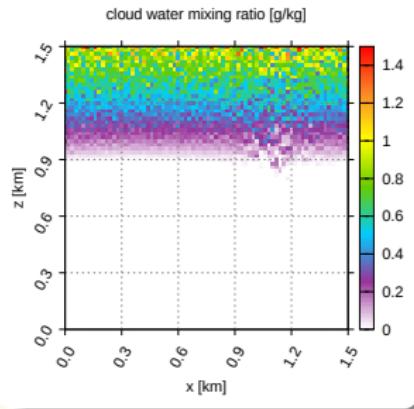
przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)



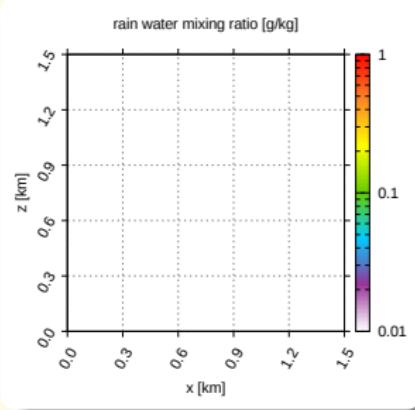
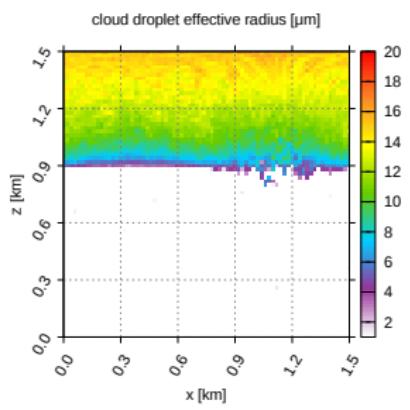
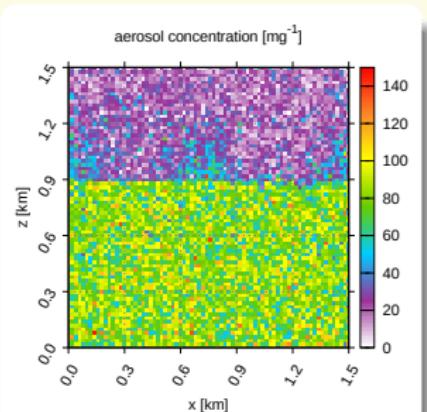
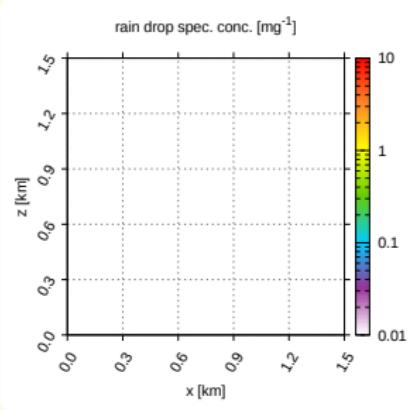
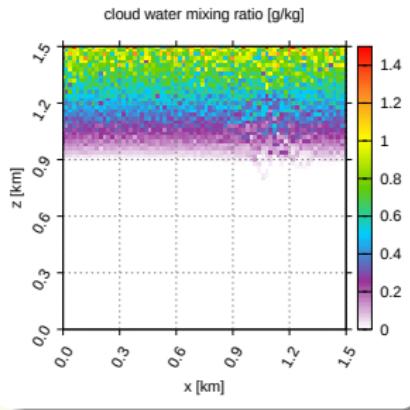
przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)



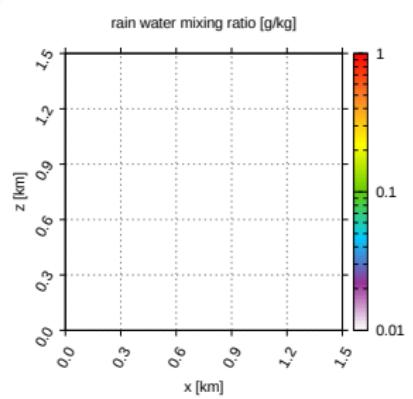
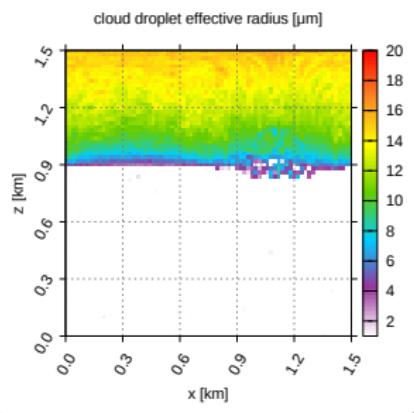
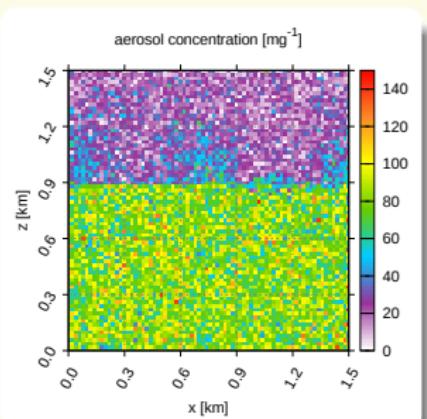
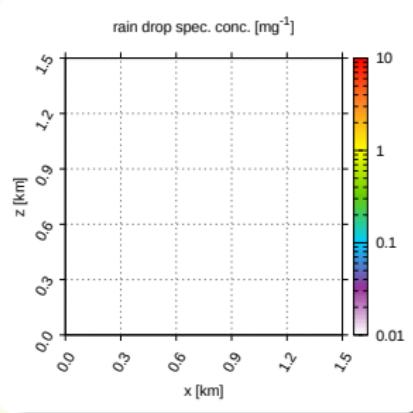
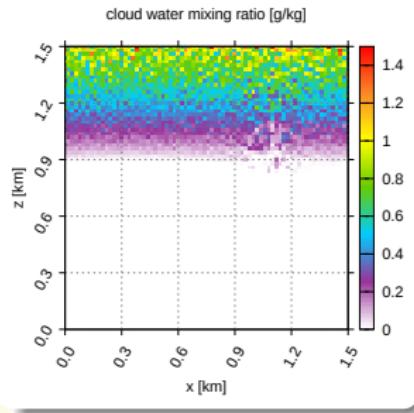
przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)



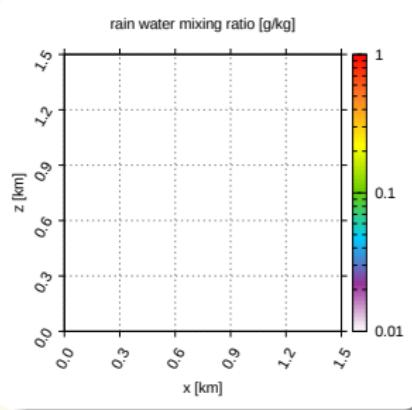
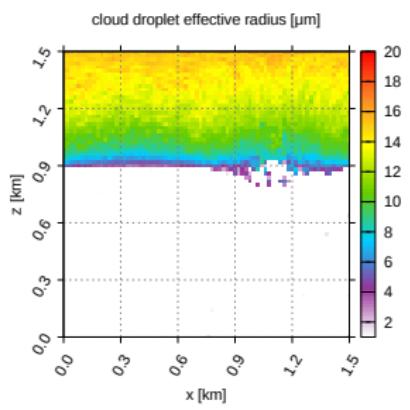
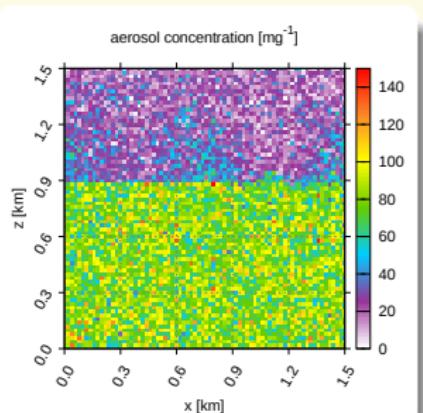
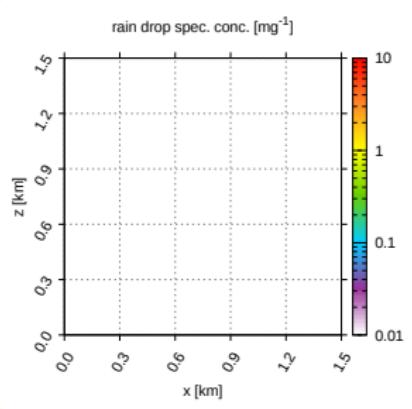
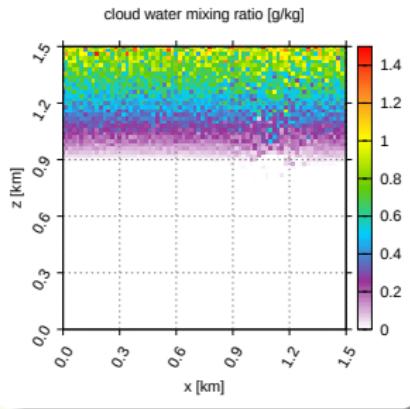
przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)



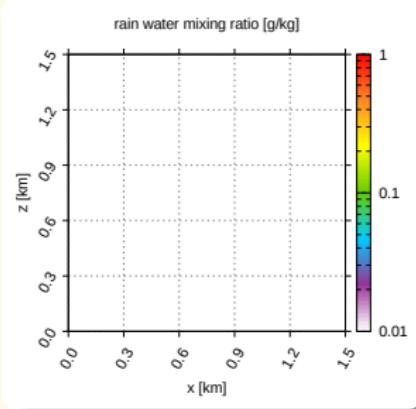
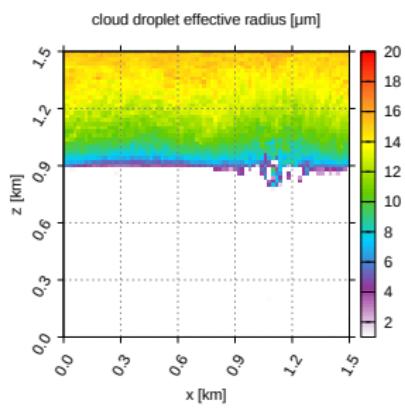
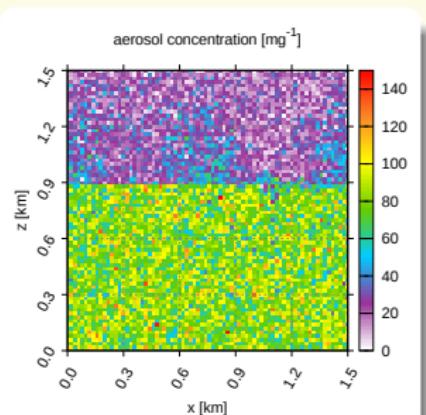
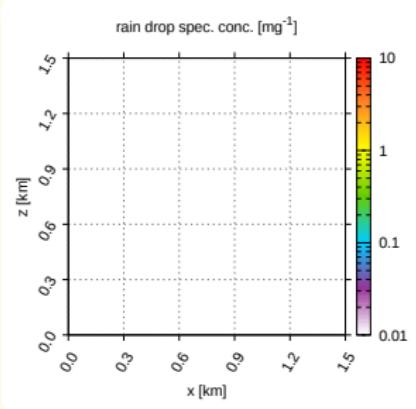
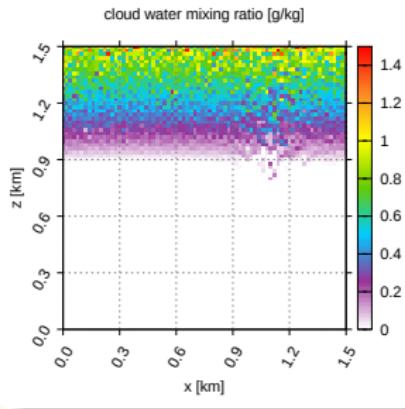
przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)



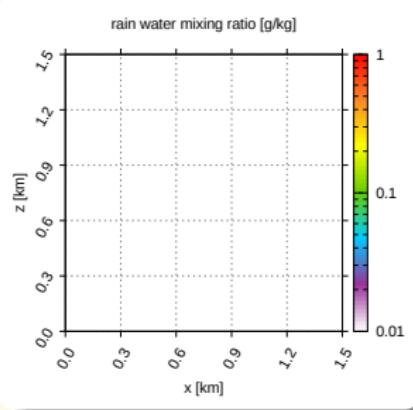
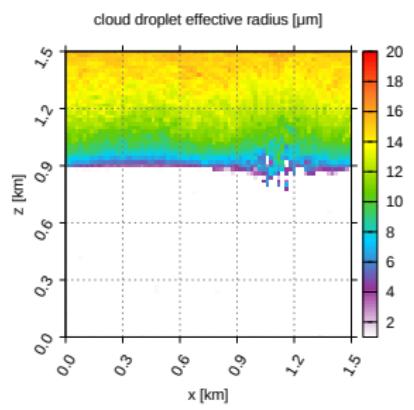
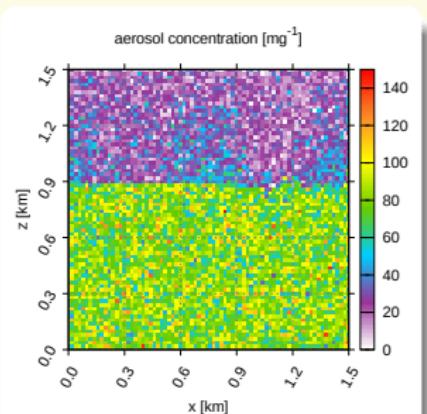
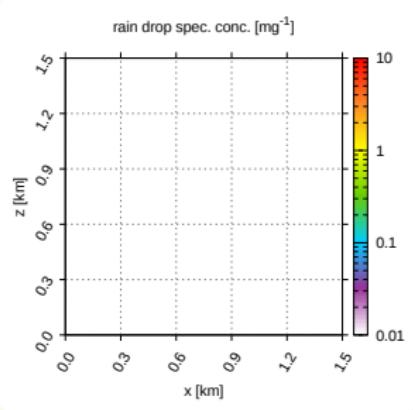
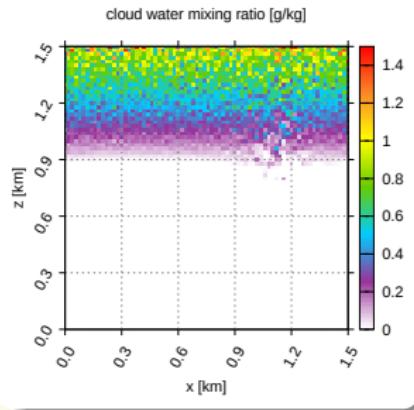
przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)



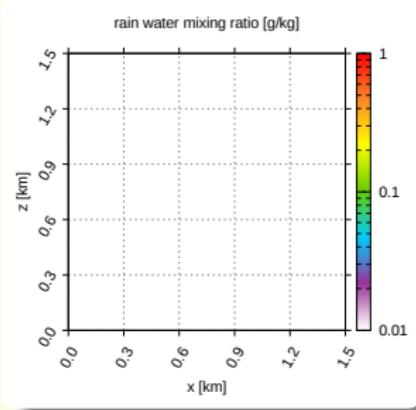
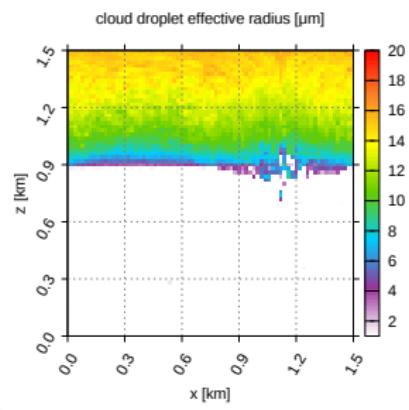
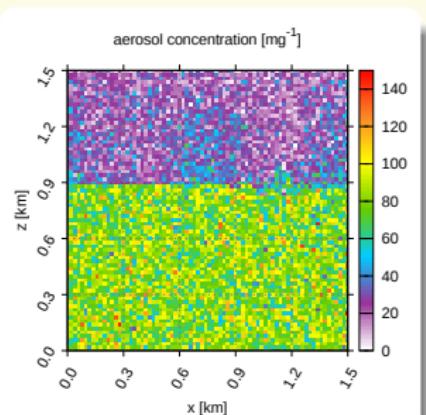
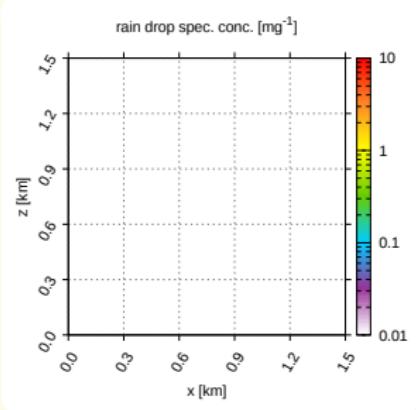
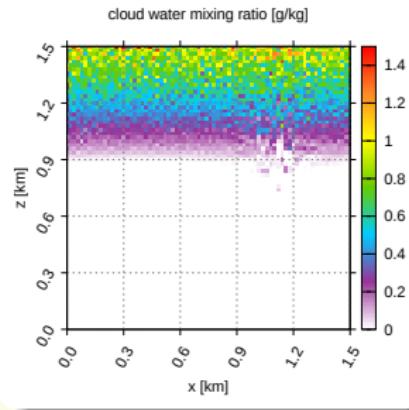
przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)



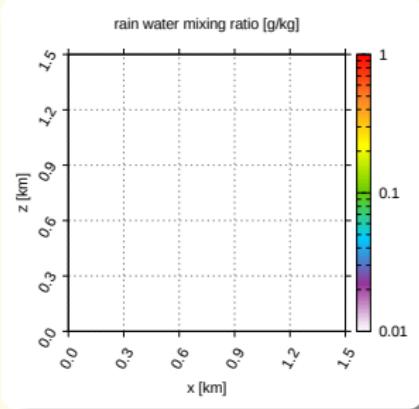
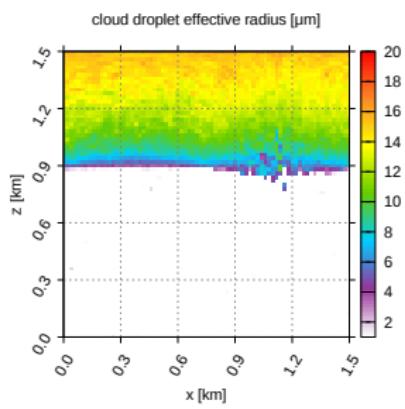
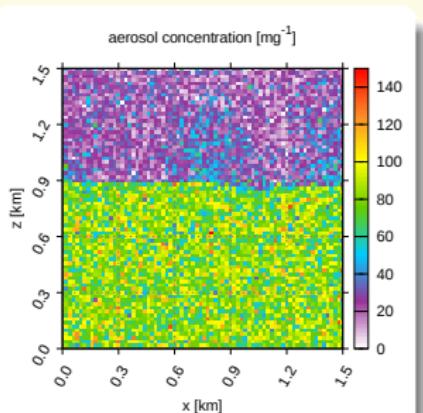
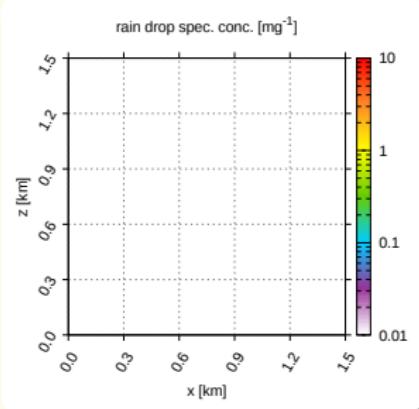
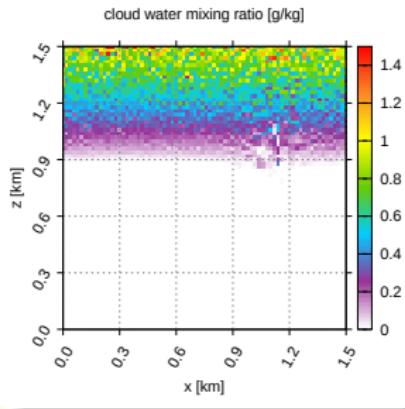
przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)



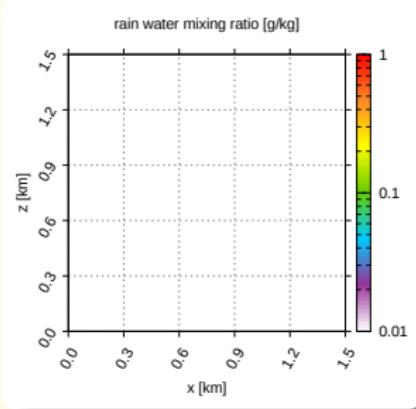
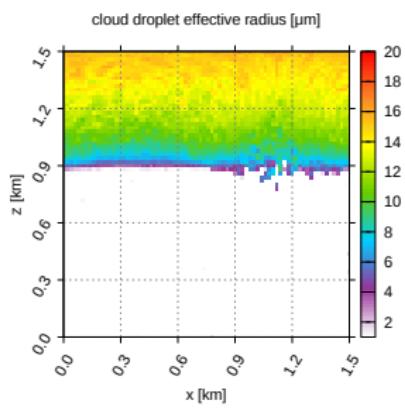
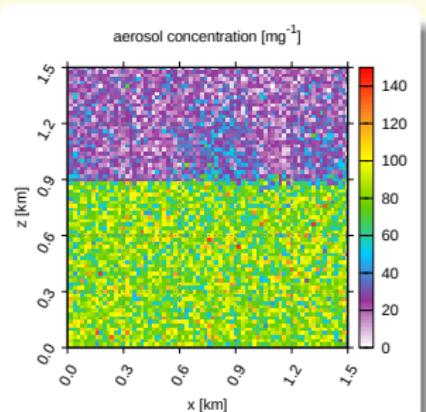
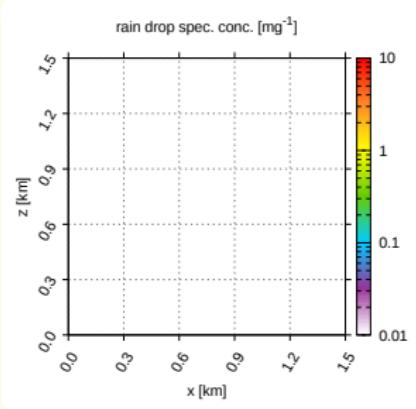
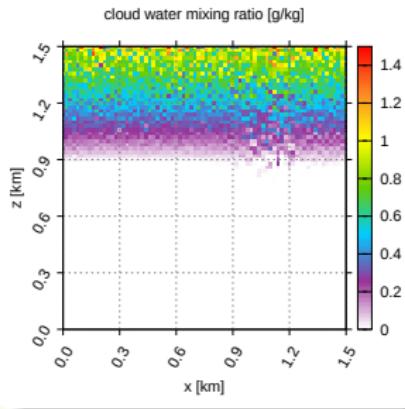
przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)



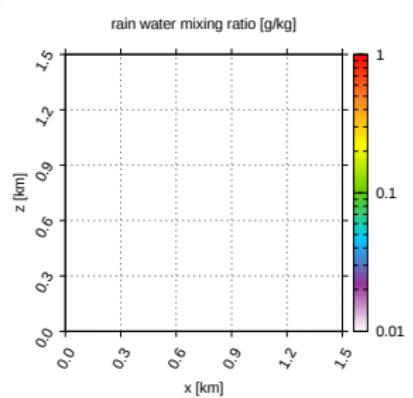
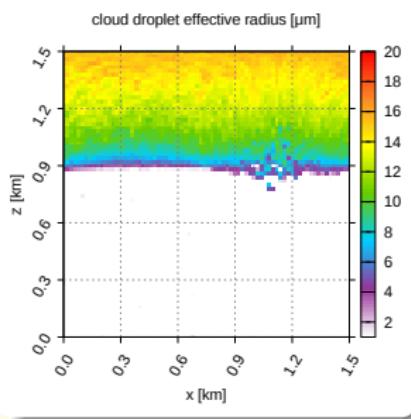
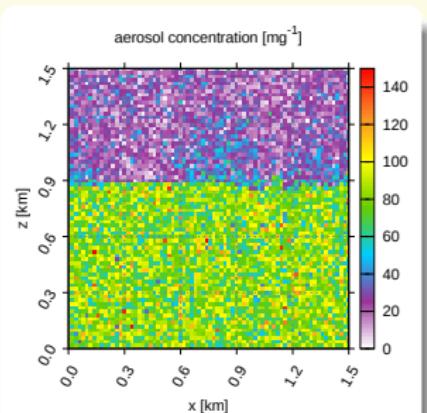
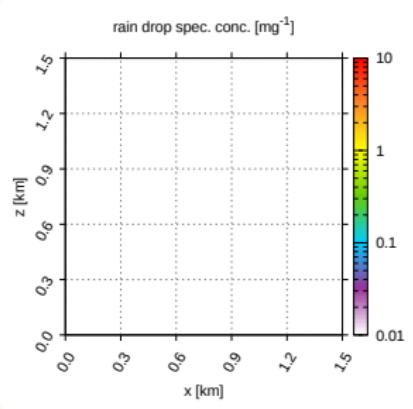
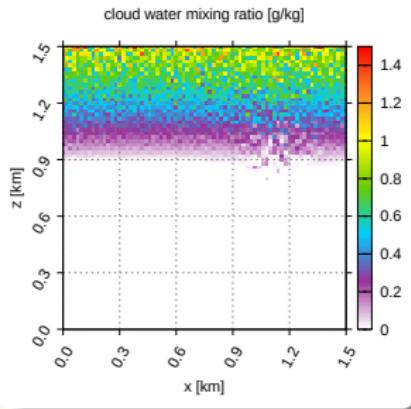
przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)



przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)

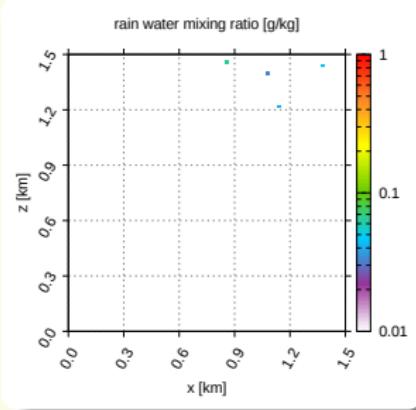
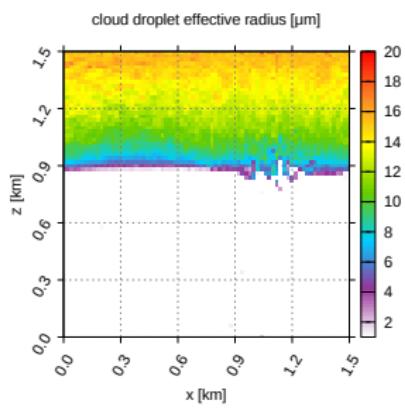
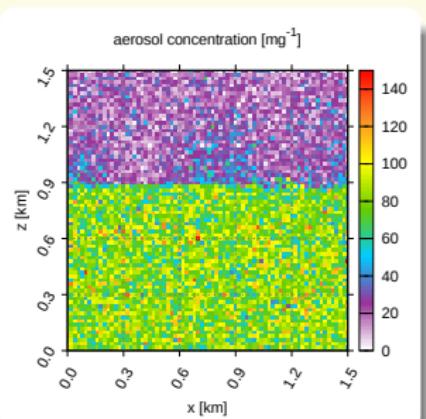
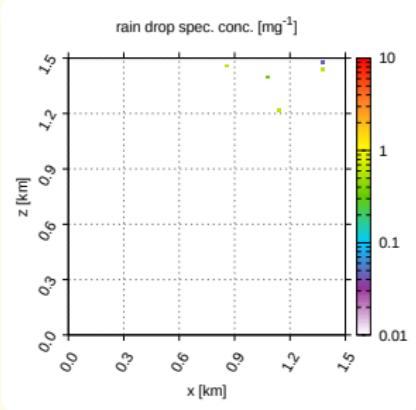
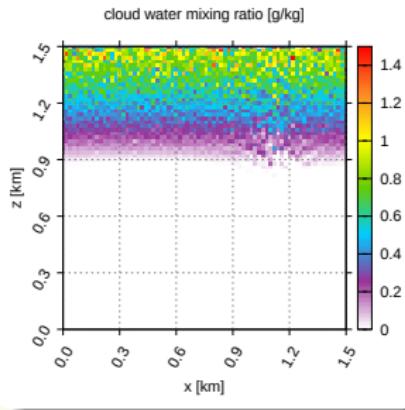


przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)

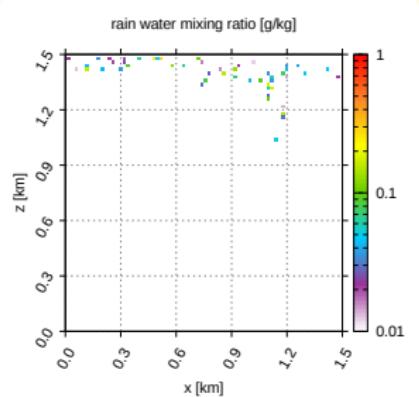
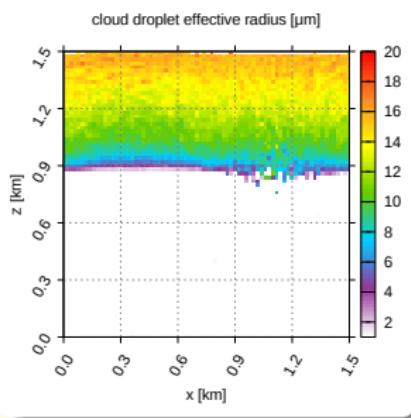
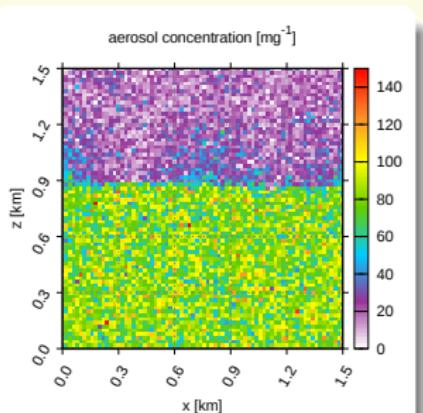
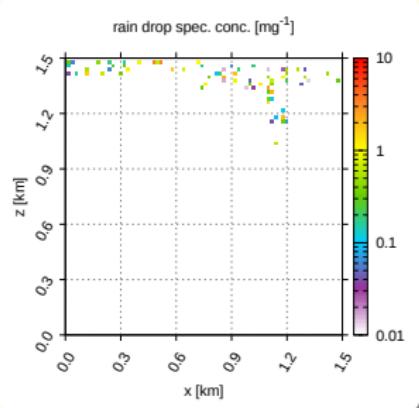
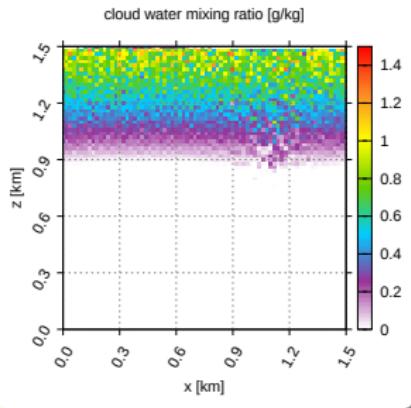


przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)

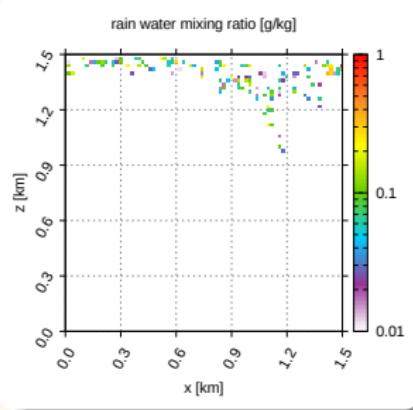
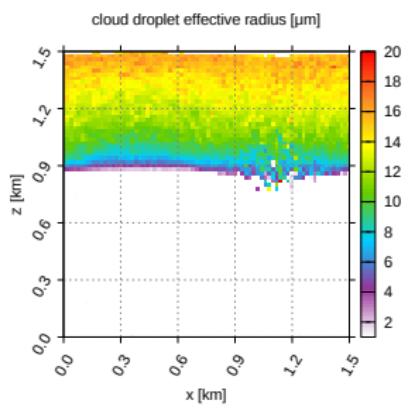
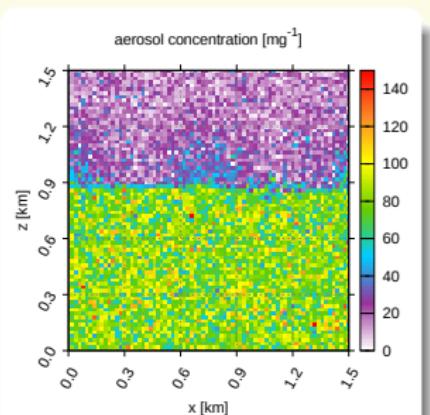
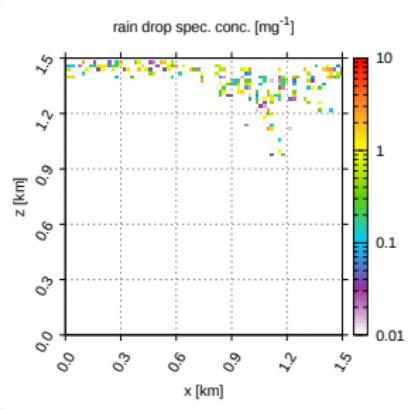
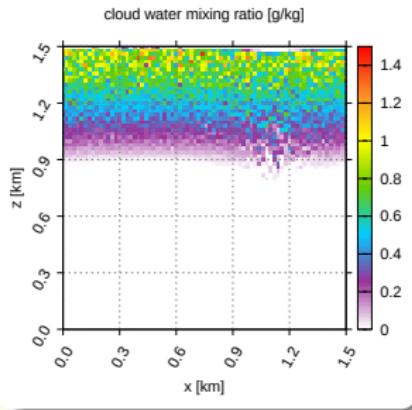
xxx



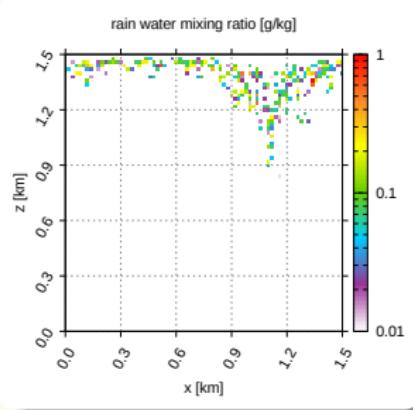
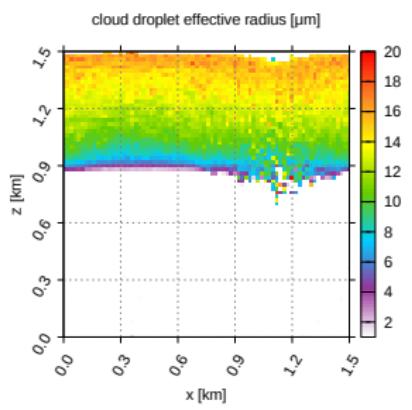
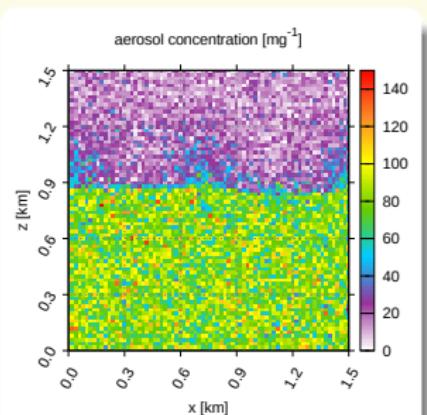
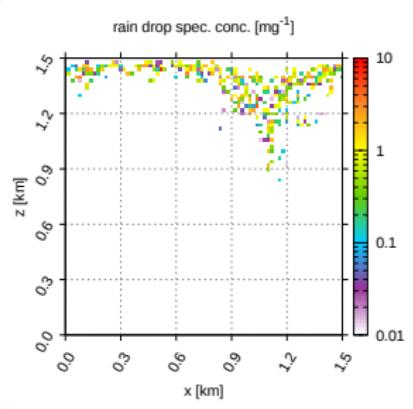
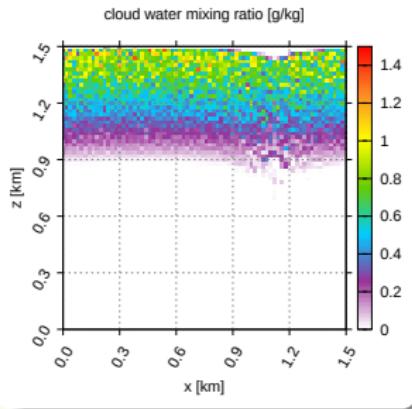
przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)



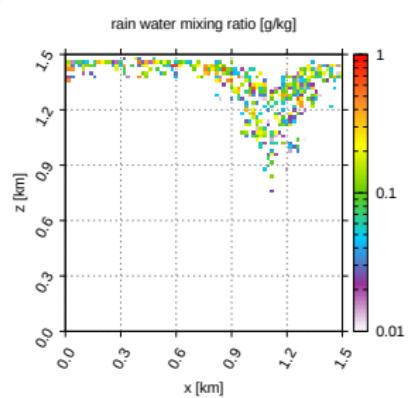
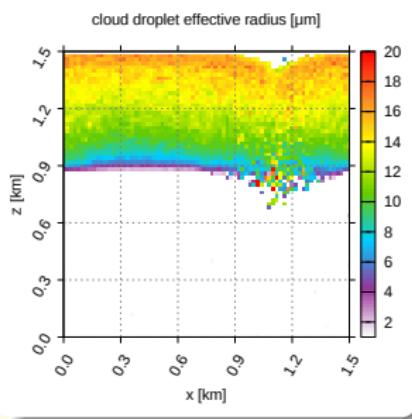
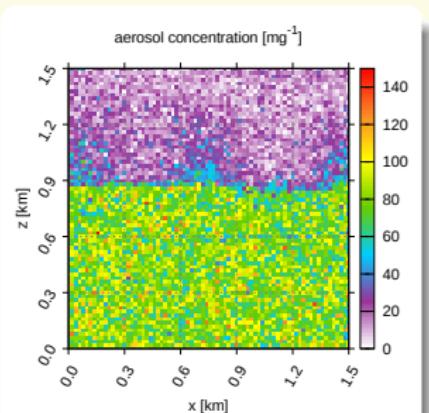
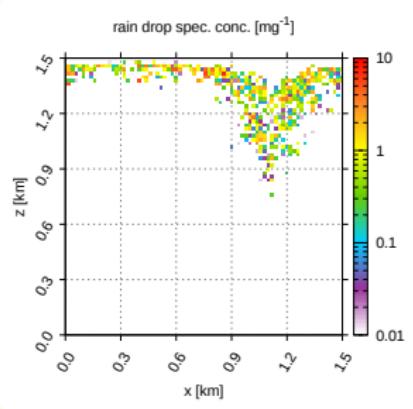
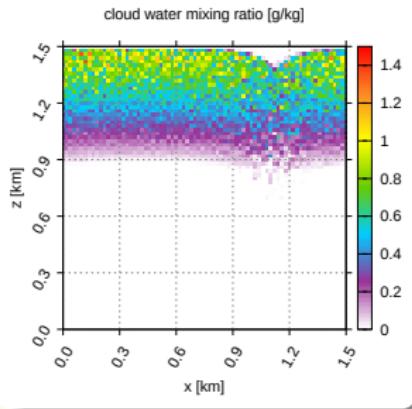
przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)



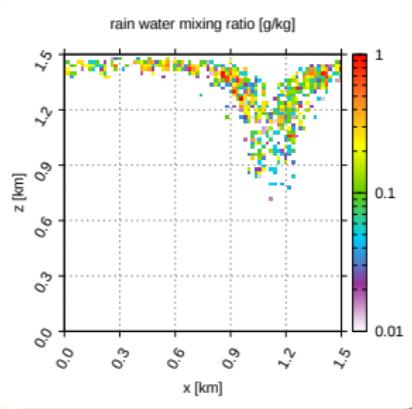
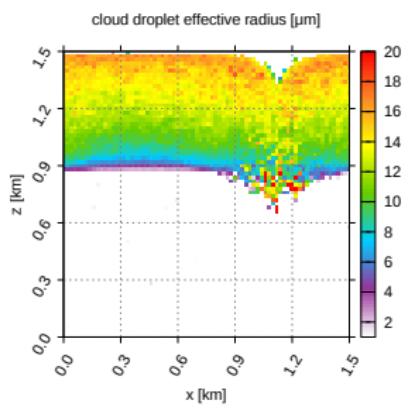
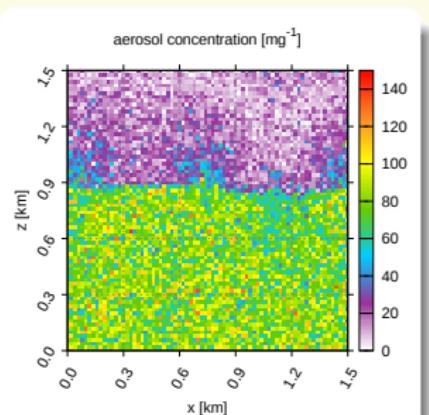
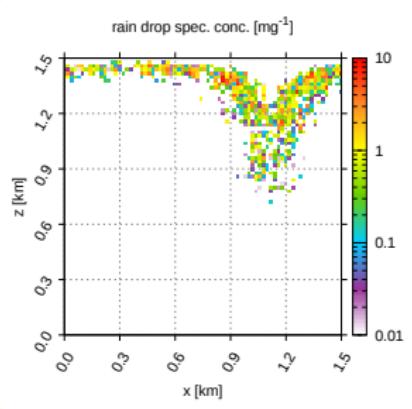
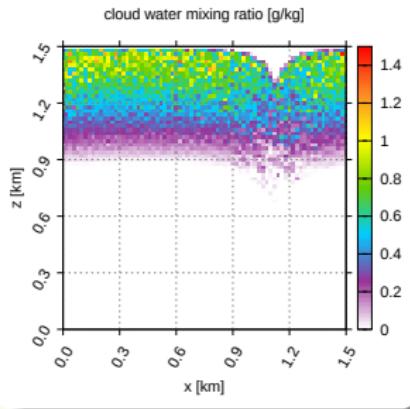
przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)



przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)

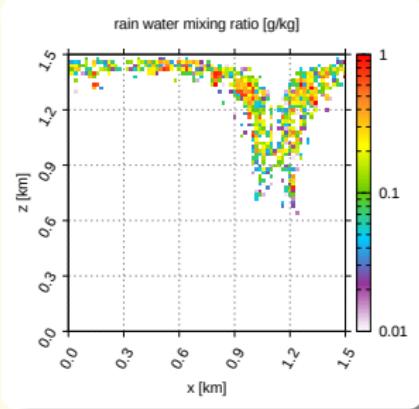
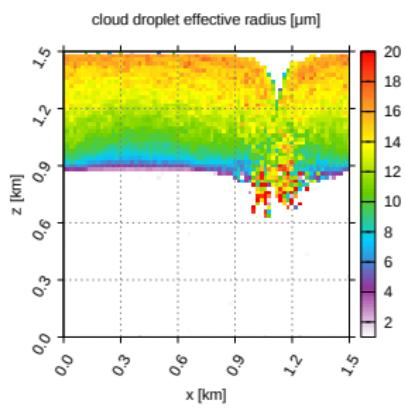
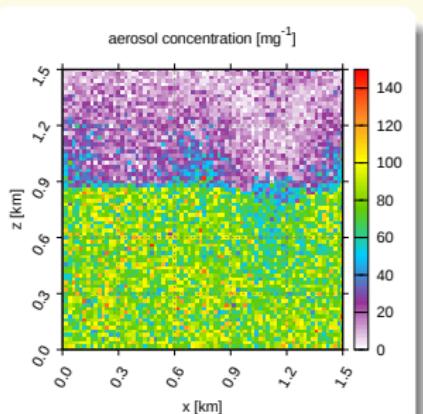
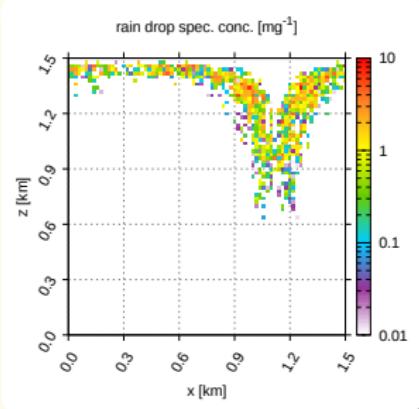
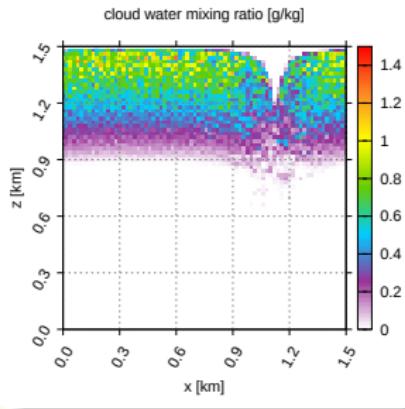


przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)

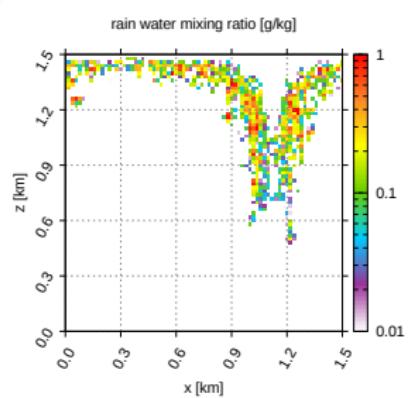
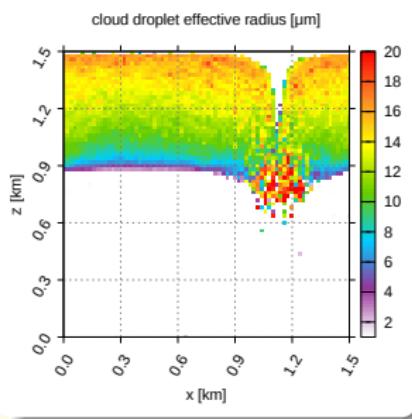
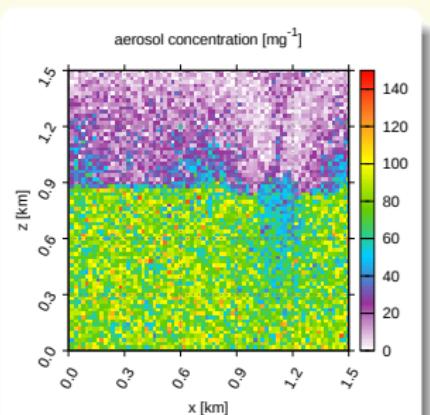
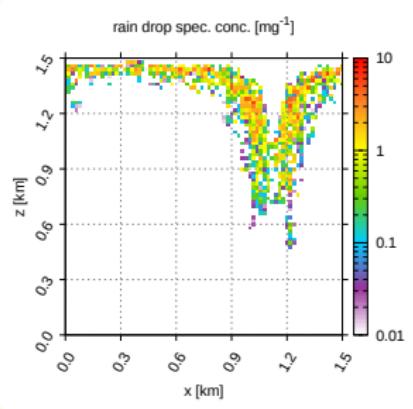
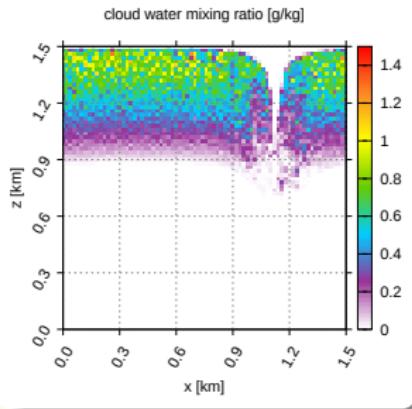


przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)

xxoooo

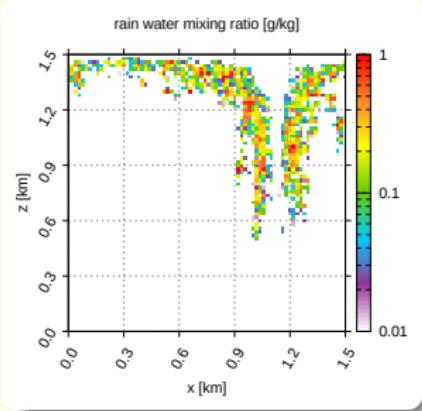
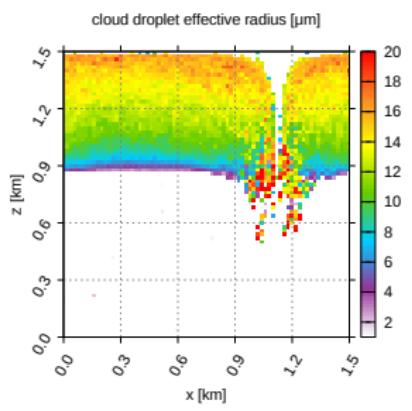
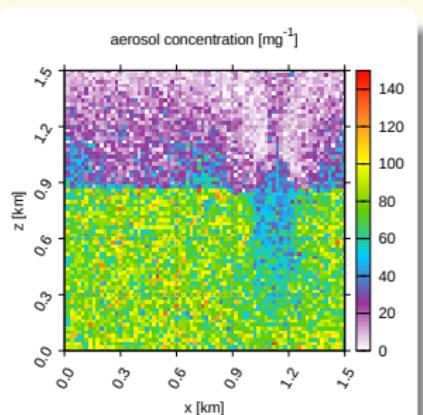
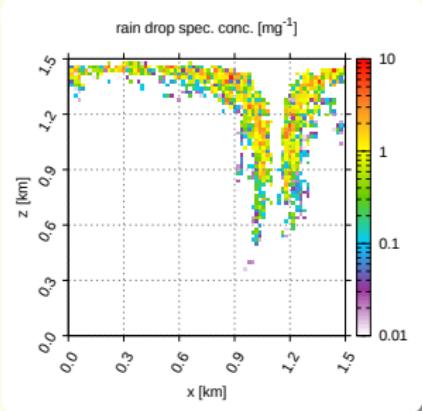
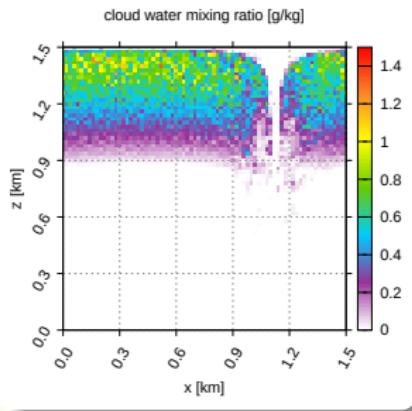


przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)

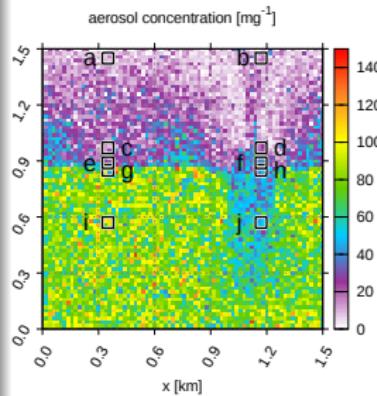
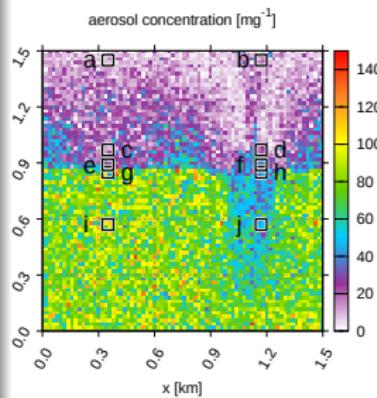
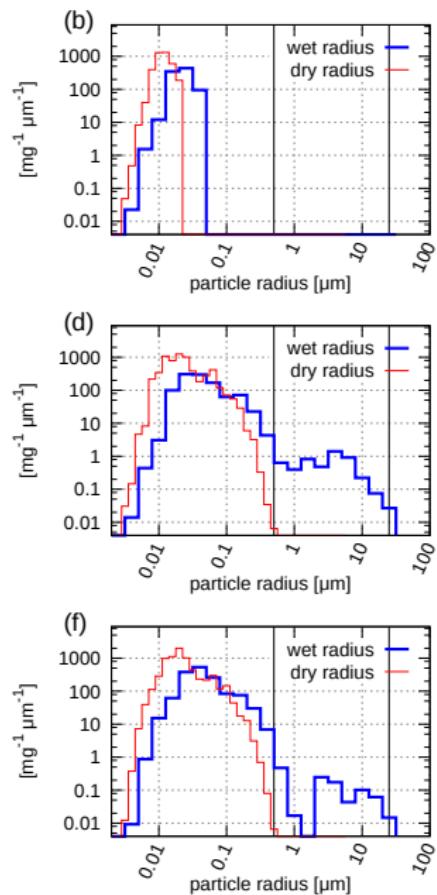
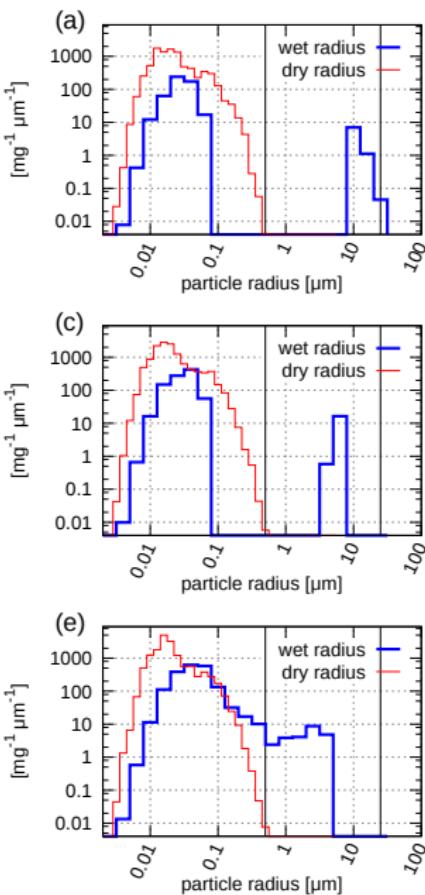


przykładowa symulacja (2D, opis lagr., zadany przepływ)

xxoooo



widma rozmiarów cząstek



Plan prezentacji

- Oddziaływanie aerozol - chmury - opad
- Modelowanie mikrofizyki chmur
- Porównanie z pomiarami

Plan prezentacji

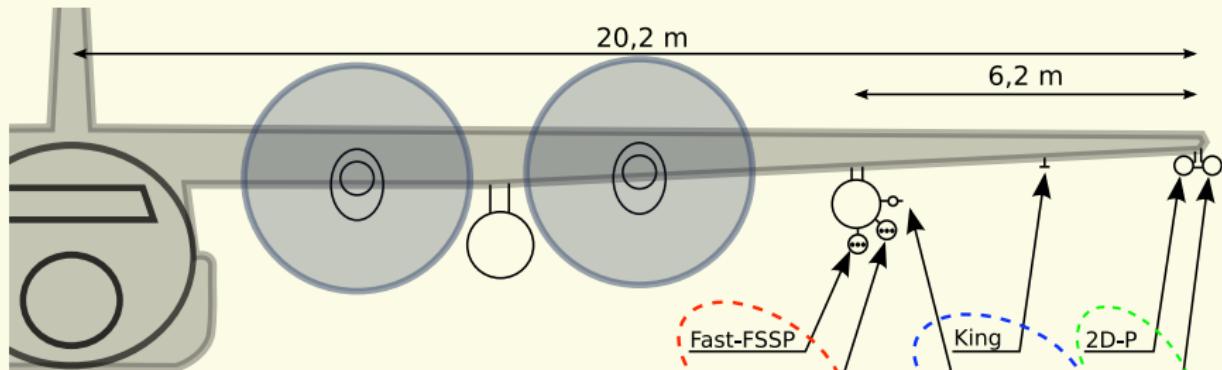
- Oddziaływanie aerozol - chmury - opad
- Modelowanie mikrofizyki chmur
- Porównanie z pomiarami



Photo Copyright © Sylwester Arabas

PLANESPOTTERS.NET

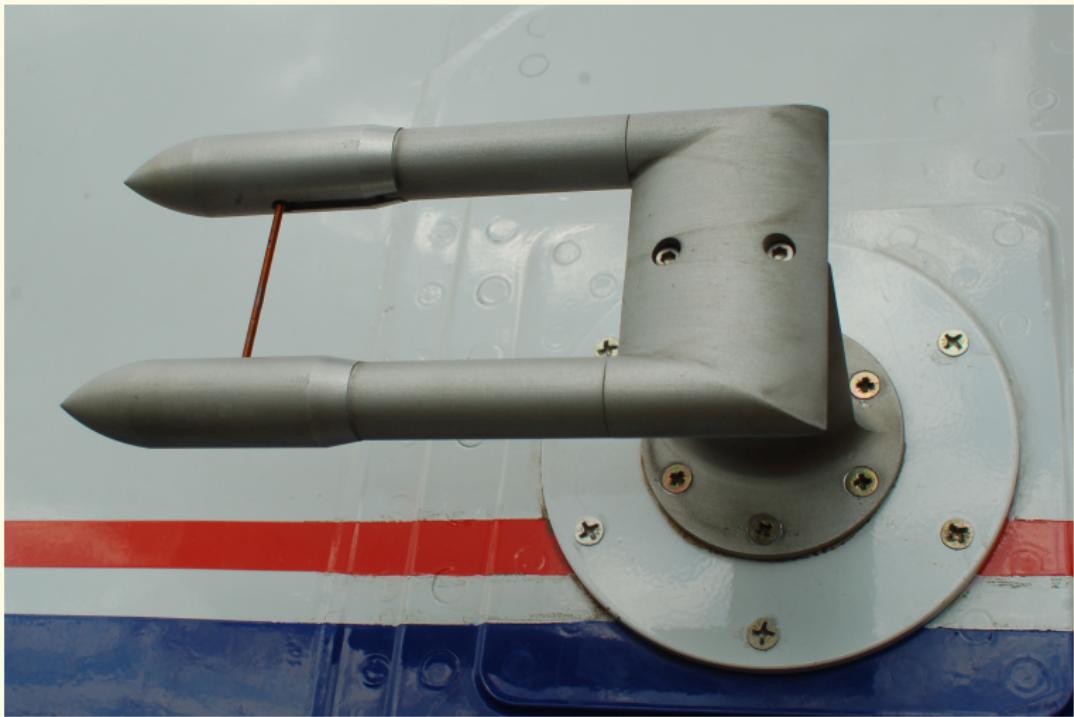
Pomiary mikrofizyki chmur z pokładu samolotu przykład: NSF/NCAR C-130Q, kampania RICO



- ▶ 19 ok. 8-godzinnych lotów badawczych
- ▶ 5–10% czasu lotu wewnątrz chmur
- ▶ loty nad powierzchnią oceanu
- ▶ spektrometria rozmiarów kropel chmurowych
- ▶ pomiary całkowej zawartości wody
- ▶ spektrometria rozmiarów kropel opadowych



Rysunek: Instrumenty FSSP-100 i FSSP-300 przymocowane pod skrzydłem samolotu M55 Geophysica

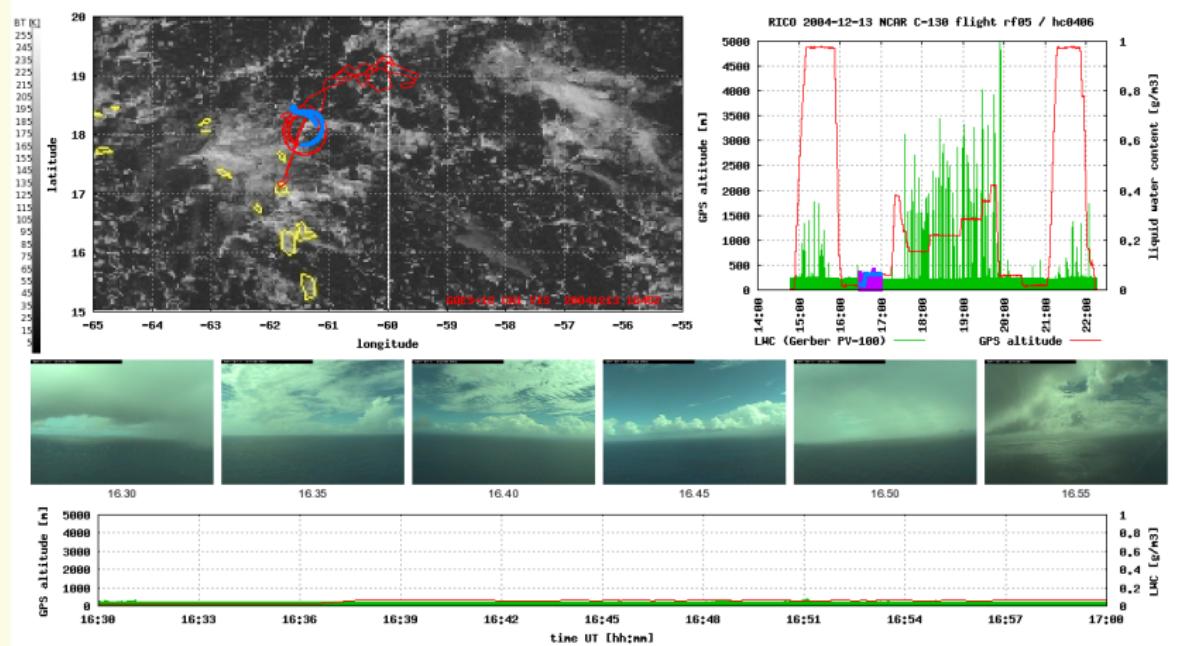


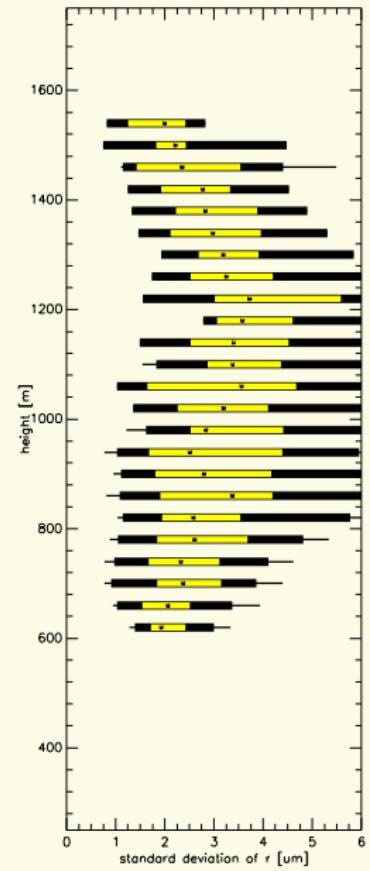
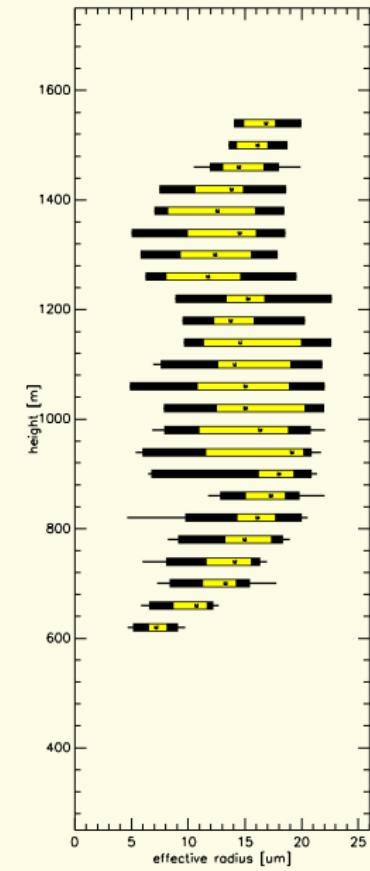
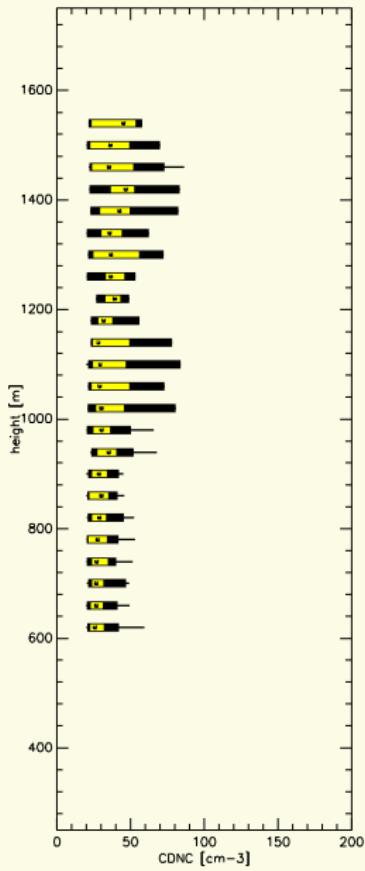
Rysunek: Instrument King-probe przymocowany do kadłuba samolotu ATR-42

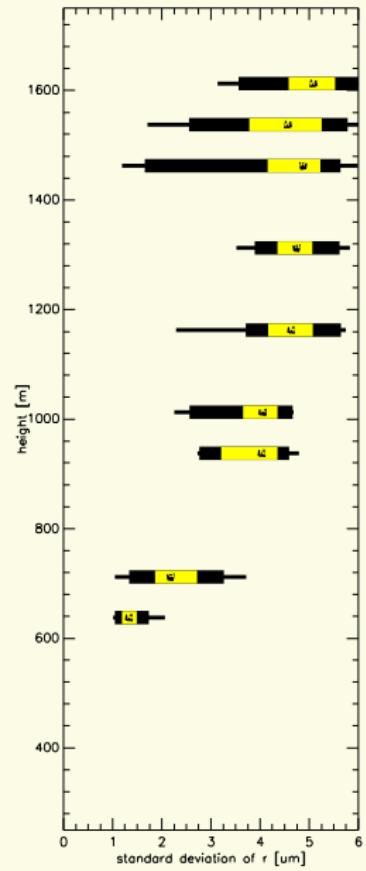
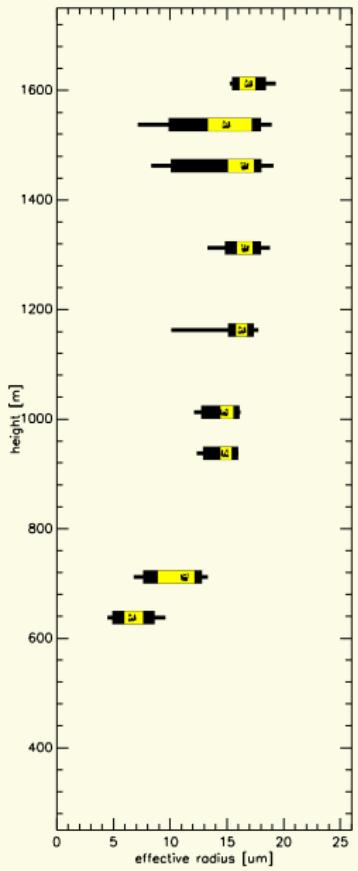
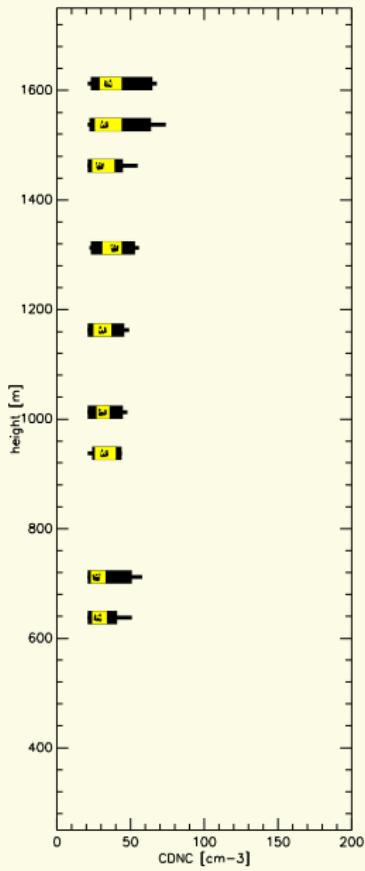


Rysunek: Instrument PVM-100A przymocowany do kadłuba samolotu ATR-42

Przykładowy lot badawczy RICO: C-130 RF05







a w rzeczywistości wirtualnej...

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLupuoB0sASq6gZ2ryszf4JzB98JglpAfI>



【VR180 3D 4K】微速度撮影された雲の様子を観察してみよう：「京」コンピュータを使ったシミュレーション編2【2019年度R-CCS一般公開】

Dziękuję za uwagę!