

## **KEI, FUGAKU i YAKINIKU, czyli rzecz o superkropelkach, symulacjach chmurowych i modelach klimatu na najszybszych komputerach na świecie**

Ile kropelek może mieścić się w 1 metrze sześciennym powietrza chmurowego? Sto tysięcy? Milion? A może miliard? Prawidłowa odpowiedź brzmi: liczba kropelek chmurowych zawarta w 1 metrze sześciennym powietrza chmurowego jest rzędu 100 milionów. Kiedy i jak z tych 100 milionów kropelek chmurowych powstaje deszcz? Nie sposób było odpowiedzieć na te pytania bez utworzenia modeli numerycznych, które rozwiązują równania opisujące procesy fizyczne zachodzące w chmurach.

Krople chmurowe tworzą się na drobinach aerozolu, rosną na skutek kondensacji pary wodnej, a kiedy osiągną rozmiary rzędu kilkunastu mikrometrów zaczynają się zderzać ze sobą i łączyć, tworząc coraz większe krople aż do osiągnięcia rozmiaru typowego dla kropli deszczu. Typowy rozmiar kropelki chmurowej jest rzędu 10 mikrometrów, gdzie 1 mikrometr to 1 tysięczna milimetra. Pojedyncza kropla deszczu jest znacznie większa. Dla uproszczenia można przyjąć, że jej rozmiar to 1 milimetr. Zderzanie i łączenie się ze sobą tych kropelek jest najważniejszym z procesów, dzięki którym chmura produkuje deszcz. Możliwość przeprowadzania symulacji numerycznych na superszybkich komputerach umożliwia naukowcom dokładne śledzenie ruchu kropel, a w konsekwencji tworzenie poprawnego opisu całej chmury.

Jednak nawet przy niezwykle mocach obliczeniowych współczesnych superkomputerów nie sposób jest opisać ruchu i ewolucji wszystkich pojedynczych kropelek chmurowych, z uwagi na ich ogromną liczbę. Najefektywniejszą obecnie metodą opisu ich mikrofizyki, czyli ewolucji, jest opis tzw. superkropelk. Superkropelki to obiekty, z których każdy reprezentuje setki lub tysiące rzeczywistych cząsteczek. Z koncepcją tą jako pierwszy na świecie wyszedł japoński badacz, prof. Shin-ichiro Shima z Uniwersytetu Hyogo w Kobe.

Prof. Shima jest specjalistą od meteorologii, fizyki obliczeniowej, dynamiki nieliniowej oraz systemów złożonych. Metodę superkropelk wyłożył w swojej pracy, opublikowanej w 2009 roku na łamach Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, pt. „The super-droplet method (SDM) for the numerical simulation of clouds and precipitation: a particle-based and probabilistic microphysics model coupled with a non-hydrostatic model”.

Nowe numeryczne metody opisu kropel chmurowych, a w szczególności metoda superkropelk prof. Shin-ichiro Shimy, uznana za przełomową dla opisu mikrofizyki chmur, w połączeniu z mocami obliczeniowymi superszybkich komputerów XXI wieku, pozwalają odpowiedzieć z coraz większą precyzją i pewnością na pytania: jak i kiedy powstaje deszcz? Jaka będzie pogoda? Jak zmieniać będzie się klimat, zarówno w skali regionu, jak i całej planety?

W 2010 roku Sylwester Arabas, ówczesny doktorant w grupie badawczej prof. Hanny Pawłowskiej w Instytucie Geofizyki FUW, wielki entuzjasta Kraju Kwitnącej Wiśni, wyjechał na staż do The Earth Simulator Center w Yokohamie i Meteorological Research Institute w Tsukubie (2010). Między Sylwestrem a prof. Shimą zawiązała się owocna współpraca, stąd jeszcze kilkukrotne późniejsze wizyty Sylwestra na Uniwersytecie Hyogo w Kobe (2015, 2018, 2019) oraz w Global Cloud Resolving Modelling at RIKEN (2014).

Po Sylwestrze, przetartym przez niego szlakiem, wyjazdy do Japonii kontynuowali jego koledzy z grupy badawczej prof. Pawłowskiej. Piotr Dziekan odwiedził prof. Shimę na Uniwersytecie w Hyogo, gdzie brał udział m.in. w warsztatach poświęconych metodzie modelowania superkropelek (2017), a rok później, razem z Gustavo Abade, w RIKEN Center for Computational Science w Kobe wystąpili w ramach warsztatów z referatem "Workshop on particle-based modelling of cloud microphysics 2018". Aktualnie zarówno Piotr, jak i Gustavo, jako adiunkci w Zakładzie Fizyki Atmosfery IGF FUW, rozwijają swoje badania nad mikrofizyką i hydrodynamiką chmur.

W ślad za starszymi kolegami poszedł młodszy członek zespołu, doktorant Piotr Żmijewski, który na przełomie 2022/23 roku spędził w RIKEN Center for Computational Science w Kobe u boku prof. Shimy trzy miesiące w ramach stażu naukowego 2022 RIKEN R-CCS International HPC Computational Science Internship Program. W ramach tego stażu dołączył do zespołu prof. Hirofumi Tomity Computational Climate Science Research Team. Piotr, w ramach swoich prac związanych z przygotowaniem doktoratu, wykorzystuje model UWLCM (University of Warsaw Lagrangian Cloud Model), w którym mikrofizyka jest opisywana w języku superkropelek.

Celem stażu Piotra w Japonii było poszerzenie wiedzy w zakresie modelowania zjawisk chmurowych z wykorzystaniem najmocniejszych komputerów na świecie. Piotr był odpowiedzialny za implementowanie metody piggybacking prof. Wojciecha Grabowskiego (2019) do modelu SCALE-SDM. SCALE jest nazwą grupy modeli atmosferycznych, a rozszerzenie SDM mówi o opisie mikrofizyki w języku superkropelek. Dzięki wykonanym przez Piotra symulacjom możliwe będzie lepsze sparametryzowanie ogólnego modelu SCALE do globalnego numerycznego prognozowania pogody i klimatu.

Metoda piggybacking prof. Grabowskiego jest nową techniką do badania oceny wpływu schematów i parametryzacji mikrofizycznych w numerycznych symulacjach chmur. Polega na uruchomieniu dwóch zestawów symulacji chmurowych, każda z innym sposobem opisu mikrofizyki. W jednej z nich mikrofizyka jest sprzężona z dynamiką, w drugiej dynamika jest narzucona (symulacja kinematyczna). Następnie dwa sposoby opisu mikrofizyki są zamieniane rolami. Opis mikrofizyki, który był wykorzystany w symulacjach kinematycznych, stosuje się w symulacji dynamicznej i na odwrót. Sama implementacja metody „piggybacking” w modelach atmosferycznych jest niezwykle trudna i czasochłonna oraz wymagająca dużych mocy obliczeniowych.

Zespół badawczy R-CCS Computational Climate Science Research Team prof. Hirofumi Tomity, we współpracy z prof. Shimą i innymi naukowcami z całego świata, buduje zaawansowane modele obliczeniowe, które służą do przeprowadzania symulacji numerycznej prognozy pogody dla Japonii, modelu klimatycznego Ziemi oraz innych ciał niebieskich Układu Słonecznego. RIKEN Center for Computational Science zostało powołane do życia w 2010 roku w celu obsługi superkomputera K computer, na którym przeprowadzane są wymienione wyżej symulacje pogodowe w skali pojedynczej chmury, regionalnej i globalnej.

Misją RIKEN R-CCS, poza współpracą i integracją dziedzin nauk obliczeniowych i informatyki, było również stworzenie międzynarodowej bazy badawczej dla zaawansowanych badań naukowych i przełomów technologicznych, w celu rozwoju japońskiej i światowej nauki oraz kapitału ludzkiego. Centrum to dotowane i promowane jest na świecie przez japońskie Ministerstwo Edukacji, Kultury, Sportu, Nauki i Technologii. W założeniu K computer stanowić miał rdzeń innowacyjnej infrastruktury obliczeniowej o wysokiej wydajności (z ang. High Performance Computing Infrastructure, HPCI).

K computer wykorzystywany był do pracy zarówno przez naukowców, jak i użytkowników przemysłowych, przez około siedem lat od jego uruchomienia we wrześniu 2012 roku. Posiada moc obliczeniową 10,51 petaFLOPS (z ang. floating point operations per second), czyli ilości operacji zmiennoprzecinkowych na sekundę. Został wyprodukowany przez Fujitsu w 2011 roku. Jego nazwa pochodzi od japońskiego słowa Kei, oznaczającego liczbę dziesięć. Od czerwca 2011 roku do czerwca 2012 roku K computer był najszybszym superkomputerem na świecie. W czerwcu 2012 został jednak zdetronizowany przez amerykański superkomputer Sequoia.

K computer przyczynił się bez wątpienia do rozwoju japońskich i światowych dziedzin nauk obliczeniowych i informatyki a jego dumnym następcą jest superkomputer FUGAKU, który obecnie jest drugim najszybszym komputerem na świecie. Jego budowa zaczęła się w 2014 roku a debiut miał miejsce w 2020 roku. Nazwa pochodzi od alternatywnej nazwy góry Fuji, najwyższego szczytu Japonii, który mierzy 3,776.24 m n.p.m. i jest drugim co do wysokości po Mount Kerinci na Sumatrze najwyższym azjatyckim wulkanem.

FUGAKU został najszybszym superkomputerem na świecie na liście TOP500 w czerwcu 2020 roku i jest jednocześnie pierwszym superkomputerem na tej liście opartym na architekturze ARM (z ang. Advanced RISC Machines), który to osiągnął. Jego moc obliczeniowa sięga 1,42 exaFLOPS. Regularną działalność rozpoczął w 2021 roku. Został wyprzedzony jako najszybszy superkomputer na świecie w maju 2022 roku przez amerykańskiego Frontiera.

YAKINIKU, czyli trzecie tajemnicze słowo z tytułu niniejszego artykułu, nie odnosi się ani do mikrofizyki chmur, ani superszybkich komputerów, ani słynnych superszybkich japońskich pociągów, ale do japońskiej kuchni. To „japońskie barbecue” wyłącznie z mięsa wołowego, a dokładniej z wołowych policzków, języka i innych mięsnych podrobów. Ogólnie, jak wiele innych populacji wyspiarskich, mimo otoczenia wodami bogatymi w ryby i owoce morza,

Japończycy kochają mięso i są mistrzami w jego przyrządzaniu na żywo, na oczach gości, o czym przekonał się osobiście, a po powrocie żywo relacjonował Piotrek Żmijewski.

Japończycy szczycą się również tzw. KOBE BEEF, czyli najstynniejszą i najsmaczniejszą wołowiną na świecie. Nie wiadomo, co na to krowy pasące się na łąkach w okolicach Kobe, ale ponoć na pocieszenie dostać mogą łyk piwa, które później wzmacnia walory smakowe ich mięsa, serwowanego w postaci steku z selekcjonowanej, marmurkowej wołowiny. Pozostałe najbardziej popularne dania kuchni japońskiej, to zupy RAMEN (z jajkiem) i UDON (jedno z niewielu wegańskich dań), YAKITORI, czyli szaszłyki z kurczaka (serca, wątróbki, udka), SASHIMI, czyli filety z suszonych ryb i, *last but not least*, SUSHI podawane na licznych małych talerzykach.

Na koniec warto również wspomnieć o potrawie TEMPURA, sprowadzonej do Japonii w XVI wieku przez portugalskich Jezuitów. Ich język był bardzo często niezrozumiały dla tubylców, niczym język superkropelek prof. Shimy dla laików. Stąd dochodziło do wielu nieporozumień, uproszczeń i przeinaczeń. Portugalskie „Peixinhos da horta”, czyli „małe rybki z ogrodu” były to panierowane i smażone w głębokim tłuszczu strąki zielonej fasoli, spożywane podczas Wielkiego Postu, razem z rybami i innymi warzywami. Stąd łacińskie słowo „tempora” od „ad tempora quadragesimae” ( z łac. w czasach Wielkiego Postu) przeszło do japońskiego jako tempura, a danie na stałe zagościło w menu Japończyków.

#### Konsultacja naukowa:

prof. dr hab. Hanna Pawłowska

dr Piotr Dziekan

mgr inż. Piotr Żmijewski

#### Referencje:

<https://www.igf.fuw.edu.pl/pl/projects/143/>

<http://ww2.ii.uj.edu.pl/~arabas/>

<https://www.researchgate.net/profile/Shin-Ichiro-Shima>  
[Shima Research Group \(sakura.ne.jp\)](http://sakura.ne.jp)

<https://www.r-ccs.riken.jp/en/about/history/>

<https://scale.riken.jp/>

#### Publikacje:

[https://www.researchgate.net/publication/335702061\\_Separating\\_physical\\_impacts\\_from\\_natural\\_variability\\_using\\_piggybacking\\_master-slave\\_technique](https://www.researchgate.net/publication/335702061_Separating_physical_impacts_from_natural_variability_using_piggybacking_master-slave_technique)

[The super-droplet method for the numerical simulation of clouds and precipitation: a particle-based and probabilistic microphysics model coupled with a non-hydrostatic model - Shima - 2009 - Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society - Wiley Online Library](#)