



Warszawa, 17 października 2025

Kropla po kropli: tajemnice kształtu stalagmitów

*Głęboko w jaskiniach kropla po kropli wyrastają stalagmity – kamienne kolumny węgla wapnia. Od miniaturowych po kilkumetrowe, przyrastają powoli, przez dziesiątki tysięcy lat. Ich uroda to jedno, lecz równie ważna jest pamięć: w kolejnych warstwach kalcytu zapisują się – jak w słojach drzew – dawne warunki klimatyczne. Co determinuje kształt stalagmitu? Dlaczego jedne przybierają postać smukłych stożków, inne – masywnych kolumn, a jeszcze inne – osobliwych słupków ze ściętym, płaskim wierzchołkiem? Nowe badania zespołu z Polski, USA i Słowenii, opublikowane w *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, przedstawiają pierwszy pełny matematyczny opis kształtów stalagmitów.*

Autorzy znaleźli analityczne rozwiązanie dla matematycznego modelu wzrostu „idealnych” stalagmitów w stałych warunkach jaskiniowych. Równania te pokazują, że różnorodne formy stalagmitów są przejawem tej samej matematycznej zależności sterowanej jednym parametrem – liczbą Damköhlera, która odzwierciedla rywalizację między wytrącaniem kalcytu a rozprzeczaniem się kropli po powierzchni stalagmitu. Gdy kapanie jest skoncentrowane w jednym punkcie, powstaje forma kolumnowa; szeroki rozprysk kropli sprzyja płaskim wierzchołkom. Gdy przepływ jest duży lub gdy krople spadają na stalagmit prosto z sufitu jaskini, powstają smukłe, stożkowe formy z ostrymi wierzchołkami.

– Okazuje się, że bogactwo kształtów stalagmitów można wyjaśnić jednym prostym parametrem – mówi autor korespondencyjny artykułu, Piotr Szymczak z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. – To rzadki przypadek, gdy piękno, które widzimy w naturze, odpowiada wprost eleganckiemu prawu matematycznemu.

Aby zweryfikować teorię, naukowcy wykorzystali tomografię rentgenowską stalagmitów z najsłynniejszej słoweńskiej jaskini, Postojnej. Skanowanie przeprowadzone w Uniwersyteckim Centrum Medycznym w Lublanie wykazało uderzającą zgodność przewidywań z rzeczywistymi formami. Nawet subtelne detale, takie jak przejście od płaskiego wierzchołka do kolumnowego korpusu, zostały uchwycone przez równania.

– Porównanie rozwiązań analitycznych z rzeczywistymi próbkami z jaskini dało znakomite dopasowanie – dodaje Matej Lipar z Centrum Badawczego Słoweńskiej Akademii Nauk i Sztuk. – Nawet w surowych warunkach terenowych widoczny jest ten sam, głęboki schemat geometryczny.

Zrozumienie czynników kontrolujących kształt stalagmitów ma także znaczenie dla klimatologii: stalagmity są wykorzystywane do odtwarzania historii opadów i temperatur na podstawie subtelnych zmian sygnatur izotopowych węgla uwięzionych w kolejnych

warstwach kamienia – przypomina to czytanie dziennika pisanego przez dawne deszcze. Znalezione rozwiązania ujawniają, że płaskie stalagmity zapisują te sygnały inaczej niż kolumnowe czy stożkowe, co może udoskonalić interpretację rekonstrukcji paleoklimatycznych.

– Stalagmity są naturalnymi archiwami klimatu, a teraz widzimy, że ich geometria pozostawia specyficzny ślad w zapisie izotopowym – wyjaśnia Anthony Ladd z University of Florida. – Uwzględnienie tego efektu pozwoli nam wydobyć bardziej wiarygodne informacje o przeszłych warunkach klimatycznych.

Następnym razem, gdy staniesz przed stalagmitem – w Jaskini Raj, w Jaskini Mamuciej albo w Postojnej – spróbuj dostrzec coś więcej niż osobliwą skałę. Stalagmity to nie tylko geologiczne ciekawostki; to naturalne laboratoria, w których spotykają się fizyka, chemia i geologia. A teraz, dzięki matematyce, ich kształty można czytać jak kod, który przez tysiąclecia zapisywała kapiąca woda.

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Fizyka i astronomia na Uniwersytecie Warszawskim pojawiły się w 1816 roku w ramach ówczesnego Wydziału Filozofii. W roku 1825 powstało Obserwatorium Astronomiczne. Obecnie w skład Wydziału Fizyki UW wchodzi Instytut: Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych Fizyki oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ponad 250 nauczycieli akademickich. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ponad 1300 studentów i ok. 150 doktorantów. Uniwersytet Warszawski w rankingu szanghajskim dla poszczególnych dziedzin (Shanghai's Global Ranking of Academic Subjects) znajduje się wśród 300 najlepszych na świecie jednostek, kształcących w dziedzinie fizyki.

PUBLIKACJA NAUKOWA:

P. Szymczak, A.J.C. Ladd, M. Lipar, D. Pekarovič, Shapes of ideal stalagmites, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 122, e2513263122, 2025

www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2513263122

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW251017b_fot01

https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2025/FUW251017b_fot01.tif

Stalagmit o płaskim wierzchołku, Jaskinia Postojna, Słowenia. Spadające krople rozbryzgują się i zwilżają niewielki obszar o kształcie koła, dzięki czemu wierzchołek pozostaje poziomy. (Fot. Matej Lipar)

FUW251017b_fot02

https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2025/FUW251017b_fot02.tif

„Romeo i Julia” – para stalaktyt-stalagmit z Jaskini Punkva w Czechach. Obie formy rosną ku sobie, gdy z kapiącej wody wytrąca się węglan wapnia. Ich asymetria – smukły, soplowy stalaktyt u góry i masywniejszy stalagmit u dołu – odzwierciedla różne reżimy kinetyki wytrącania węglanu wapnia. (Fot. Piotr Szymczak)

KONTAKT:

Prof. dr hab. Piotr Szymczak
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
pa.szymczak@uw.edu.pl

<https://www.fuw.edu.pl/~piotrek/>
tel. +48 22 55 32 909

POWIĄZANE STRONY WWW:

<https://www.fuw.edu.pl>
Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

<https://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html>
Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego