

## Kropla po kropli: tajemnice kształtu stalagmitów

2025-10-18

*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.*



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

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 rozplywaniem 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 najświetniejszej 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.



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)

– 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 uwieczonych 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

kszałty 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 Instytuty: 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 1000 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  
<https://doi.org/10.1073/pnas.2513263122>

### KONTAKT:

Prof. dr hab. Piotr Szymczak  
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego  
[pszymczak@uw.edu.pl](mailto:pszymczak@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

### MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW251017b\_fot01  
[https://www.fuw.edu.pl/tl\\_files/press/images/2025/FUW251017b\\_fot01.jpg](https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2025/FUW251017b_fot01.jpg)  
Stalagmit o płaskim wierzchołku, Jaskinia Postojna, Słowenia. Spadające krople rozbrzygują 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.jpg](https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2025/FUW251017b_fot02.jpg)  
„Romeo i Julia” – para stalaktyt-stalagmit z Jaskini Punkva w Czechach. Obie formy rosną ku sobie, gdy z kapiącej wody wytrąca się węgiel wapnia. Ich asymetria – smukły, soplewy stalaktyt u góry i masywniejszy stalagmit u dołu – odzwierciedla różne reżimy kinetyki wytrącania węglanu wapnia. (Fot. Piotr Szymczak)

 [FUW251017a - stalagmity.pdf \(386.6 kB\)](#)