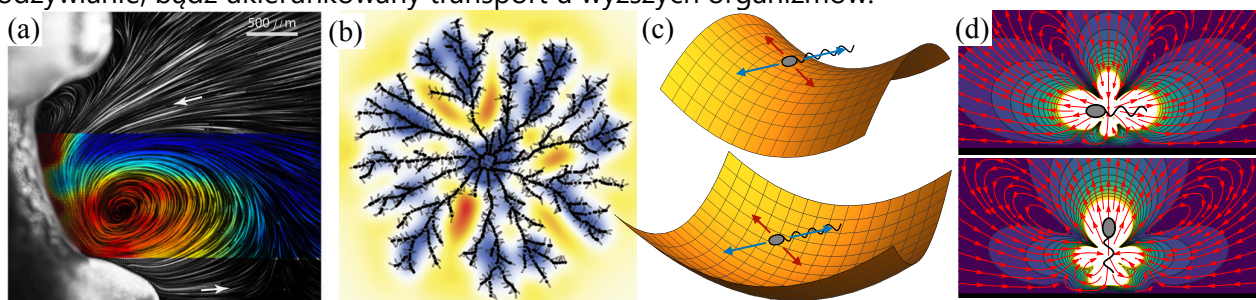


## Mikroskalowy transport płynu przez aktywne powierzchnie

Życie na Ziemi w znacznej większości polega na ruchu w środowisku płynnym, na skalach długości od subkomórkowej i nanoskopowej do oceanicznej. W układach wielkoskalowych przepływy są typowo turbulентne, jednak w dynamice mikroskopowej lepkość staje się dominującym czynnikiem determinującym procesy transportu i dynamikę zanurzonych w cieczy obiektów. Z jednej strony, mikroorganizmy są zdolne do pływania, a przy tym mieszają płyn wokół siebie, indukując lokalne przepływy, które wpływają na ich otoczenie. Przy wysokich stężeniach, populacje pływaków tworzą tzw. aktywne zawiesiny, które z kolei mogą wytwarzać wielkoskalowe przepływy. Z drugiej strony obserwujemy, że osiadłe mikroorganizmy wytwarzają systematyczne przepływy strumieniowe, aby wspomóc transport składników odżywczych wokół nich. Grupy takich obiektów, zwane aktywnymi powierzchniami, często działają synchronicznie, tworząc w ten sposób złożone przepływy z wyraźnymi fluktuacjami, które widać np. u koralowców [rys. (a)], w larwach morskich i biofilmach bakteryjnych, zwanych "aktywnymi dywanami" [rys. (b)]. Stanowią one przykład procesów transportu nierównowagowego, które leżą u podstaw wielu funkcji biologicznych, takich jak pływanie lub odżywanie, bądź ukierunkowany transport u wyższych organizmów.



We wszystkich tych przypadkach biologiczne mikroprzepływy, od skali pojedynczych rzęsek do wielu komórek, powstają na powierzchniach, w pobliżu których płyn jest pompowany, mieszany i kierowany. Taki przepływ może być wytwarzany przez pojedyncze rzęski bądź wici, grupy aktywnych rzęsek, osiadłe mikroorganizmy, a także zaprojektowane w laboratorium bionaśladowcze sztuczne mikroukłady, wykorzystujące np. chemicznie generowane przepływy foretyczne lub uruchamiane przez pola elektryczne lub magnetyczne – istnieje wiele tego typu rozwiązań. Powszechnie wiadomo, że struktura i topologia aktywnych przepływów powierzchniowych w żywych układach w mikroskali jest powiązana z ich funkcją biologiczną lub warunkami środowiskowymi. Jednak wpływ sposobu pobudzania płynu przez powierzchnię, geometrii powierzchni na strukturę przepływu, istotny dla procesów biologicznych w skali komórkowej i tkankowej, pozostaje w dużej mierze niezbadany. Projekt ma na celu wypełnienie tej luki poprzez połączenie modelowania teoretycznego i analizy numerycznej, w zastosowaniu do danych doświadczalnych, uzyskanych w laboratorium.

Wspólnym czynnikiem dla wszystkich tego typu zagadnień jest obecność płynu, którego przepływ jest zdominowany przez lepkość. Oddziaływania hydrodynamiczne w takich przepływach są znane z dalekiego zasięgu i mają decydujący wpływ na mechanizmy transportu. Kształt przepływu silnie zależy od geometrii powierzchni [np. rys. (c)], co skutkuje zróżnicowanymi polami prędkości [rys. (d)], a w konsekwencji różnymi charakterystykami mieszania i pompowania przez nie płynu.

Zajmiemy się tymi zagadnieniami, stosując różne techniki modelowania matematycznego przepływów Stokesa i metody fizyki statystycznej do opisu fluktuujących przepływów i charakteryzacji ich zdolności mieszania i pompowania. Utrzymując ścisłą współpracę z wiodącymi grupami eksperymentalnymi i międzynarodowymi ekspertami zapewnimy stosowalność i trafność proponowanych modeli matematycznych.

Głównym rezultatem tego projektu będzie zestaw narzędzi teoretycznych i numerycznych, dostosowanych do wieloskalowego opisu aktywnych przepływów powierzchniowych w różnych warunkach przepływu. Narzędzia te zostaną zastosowane do badania roli przepływu w wybranych procesach biologicznych. Pomogą one również w projektowaniu bionaśladowczych, sztucznych mechanizmów poruszania płynu, które mogą być stosowane w układach mikroprzepływowych i mikrobiologicznych do kontrolowania struktury przepływu.