

POPULARNONAUKOWY OPIS BADAŃ Modelowanie wieloskalowe płynów i tkanek

Jednym z najbardziej fundamentalnych zagadnień współczesnej nauki jest zrozumienie, w jaki sposób populacje dużej liczby agentów organizują się przestrzennie, społecznie i dynamicznie. Ten projekt koncentruje się na zagadnieniach inspirowanych biologią, ponieważ obecnie dziedzina ta oferuje wyjątkowy dostęp do obfitej ilości precyzyjnych danych, umożliwiając rozwój nowatorskich i złożonych modeli matematycznych. Problemy, które będziemy badać, są sformułowane w języku nieliniowych równań różniczkowych cząstkowych.

Uchwycenie skomplikowanej struktury matematycznej tych równań wymaga ogromnego wysiłku. Biorąc pod uwagę praktyczne znaczenie leżących u ich podstaw zagadnień, począwszy od nauk medycznych i przemysłu chemicznego, a skończywszy na biologii komórkowej, konieczne jest dogłębne zrozumienie badanych modeli matematycznych. Rola matematyki wykracza bowiem poza samo opisanie analitycznej struktury tych nowych problemów. Obejmuje ona również wyjaśnianie jakościowego zachowania rozwiązań i ilościowe określanie ich właściwości.

Jedną z głównych cech tego projektu jest jego wieloskalowe podejście. Problemy, którymi będziemy się zajmować, mają wspólną cechę: dokładne zrozumienie ich makroskopowego zachowania wymaga dalekiego wglądu w hierarchię drobniejszych skal, obejmujących zarówno zachowanie indywidualnych agentów, jak i wpływające na nie czynniki molekularne. W ostatnich latach byliśmy świadkami ogromnego sukcesu w zastosowaniu narzędzi opracowanych w kontekście dynamiki płynów do problemów pojawiających się w biologii matematycznej. Nawet jeśli podstawowe zasady są inne, okazuje się, że podobne podejście analityczne może być stosowane w różnych sytuacjach. Istotnie, w języku równań różniczkowych cząstkowych, płyn, żywa tkanka, a nawet stado ptaków, nie różnią się zbyt wiele od siebie. W tym projekcie będziemy dążyć do wykorzystania nieodłącznego związku między układami biologicznymi a przepływami płynów, aby rzucić nowe światło na oba te zjawiska. W szczególności będziemy realizować następujące kierunki badań, które obecnie przyciągają wiele uwagi społeczności matematyki stosowanej.

Mechaniczne modele ruchu komórek: Wiele systemów biologicznych obejmuje transport i rozprzestrzenianie się substancji, takich jak składniki odżywcze, cząsteczki sygnalizacyjne lub jony. Zjawiska te odgrywają istotną rolę w różnych procesach biologicznych i mają znaczący wpływ na funkcjonowanie komórek, tkanek i narządów. Modele matematyczne obejmujące dyfuzję, adwekcję i konwekcję są obecnie dobrze ugruntowane w kontekście modelowania żywych tkanek. Typowe podejścia top-down opierają się na fenomenologicznych założeniach dotyczących biomechaniki. Niewielki nacisk kładzie się jednak na wzajemne zależności między tymi modelami. Na przykład, pożądane jest budowanie ścisłych pomostów między podejściami do modelowania w różnych skalach (pojedyncze komórki vs. makroskopowe gęstości vs. geometryczne płyty komórek).

Dynamika płynów polimerowych: Cząsteczki polimerów to długie łańcuchy powtarzających się podstawowych jednostek strukturalnych (monomerów), zwykle zawierające rzędu $10^3 - 10^6$ monomerów, a obecność tych długołańcuchowych cząsteczek w płynie może znacząco wpływać na jego właściwości makroskopowe. W szczególności, cząsteczki polimeru wprowadzają właściwości elastyczne, powodując szereg egzotycznych zjawisk, takich jak rozrzedzenie ścinaniem lub wspinanie się po prętach. Ponieważ mieszaniny polimerów i cieczy są wszechobecne w wielu gałęziach biologii i chemii, badanie modeli polimerów zawieszonych w rozpuszczalniku jest bardzo interesujące. Dodatkowo, modele te stanowią liczne wyzwania: zarówno na poziomie ich systematycznego wyprowadzania, analizy matematycznej, jak i symulacji numerycznych. Większość podejść do matematycznego modelowania płynów polimerowych opiera się na teorii kinetycznej, w której zachowanie mikroskopijnych cząsteczek polimeru jest scharakteryzowane w sensie statystycznym. Zarządzanie szerokim zakresem uproszczeń poczynionych na etapie modelowania, a także ilościowe porównanie różnych podejść stanowi poważne wyzwanie dla analizy matematycznej.