

MODELOWANIE MECHANIZMÓW MIESZANIA

le czasu potrzebuje przedmiot wrzucony do rzeki, by płynąc z prądem, dotrzeć do określonego miejsca? O coraz bardziej złożonych modelach tego pozornie prostego zagadnienia rozmawiamy z **prof. Ianem Guymere**m z Uniwersytetu w Sheffield.

Dlaczego woda jest tak ważnym przedmiotem badań?

IAN GUYMER: Woda jest niezbędna do życia! Większość ludzi kojarzy problemy środowiska wodnego z sytuacją, kiedy wody jest za dużo, czyli z powodzią, albo za mało – z suszą. Oba te stany niosą wielkie zagrożenie dla życia i bezpieczeństwa ludzi i dlatego są bardzo nagłaśniane. Wiadomości telewizyjne regularnie pokazują obrazy wyschniętej, nieurodzajnej ziemi czy też terenów kompletnie zalanych wskutek powodzi. Bez wątplenia ochrona przed takimi katastrofami należy do zadań inżynierów budownictwa

wodnego, często we współpracy z hydrologami. Jednak oprócz wyzwań dotyczących ilości wody istnieje wiele, często niezauważanych problemów związanych z zanieczyszczeniami, które mają wpływ na jej jakość.

Skażenie spowodowane obecnością zanieczyszczeń w wodzie staje się coraz istotniejszym problemem ochrony środowiska naturalnego i zapewnienia zrównoważonego zaopatrzenia w czystą wodę. Zanieczyszczenia mogą być różnego rodzaju, od podwyższonego poziomu substancji odżywczych pochodzących z nawozów, przez związki chemiczne wykorzystywane w pestycydach, herbicydach i produktach farmaceutycznych, do rozpuszczonych metali ciężkich i mikrocząstek plastiku. Moja dziedzina badań zajmuje się opracowywaniem metod pozwalających inżynierom i menedżerom ochrony środowiska na udoskonalanie prognoz dotyczących kierunku przemieszczania się zanieczyszczeń, czasu dotarcia do punktów zlokalizowanych w dole rzeki i pozostawiania tam, a także ich stężenia.

Jaki jest główny przedmiot pana badań?

Moje badania mają przede wszystkim charakter eksperymentalny i odbywają się w laboratorium albo w terenie. Można powiedzieć, że stanowią rozszerzoną wersję gry w misie-patysie. Gra została opisana po raz pierwszy w książce *Chatka Puchatka* autorstwa Alana Aleksandra Milne'a, wydanej w 1928 roku. Jest bardzo prosta i można w nią grać na każdym moście, pod którym płynie woda. Każdy gracz wrzuca patyk do wody po tej stronie, po której woda wpływa pod most; wygrywa ten, którego patyk jako pierwszy pojawi się po drugiej stronie mostu. Żeby w nią grać, nie potrzeba wielkich umiejętności, tylko dużo szczęścia!

Samo obserwowanie patyka da nam pojęcie o kierunku, w którym się przemieszcza. Jeżeli zarejestrujemy czas, w którym patyk przebywa odległość pod mostem, poznamy jego prędkość. Jeżeli sformułujemy wiele założeń i wiele uproszczeń, będziemy mogli przewidzieć, kiedy coś, co znajduje się w wodzie i płynie z prądem, pojawi się w określonym miejscu, np. w przypadku wycieku chemikaliów do rzeki. Będzie to jednak szacunek obarczony dużym marginesem błędu, dlatego powinniśmy wymyślić coś lepszego.

Jakie metody mogą ulepszyć te pomiary?

Chociaż znajomość kierunku i przebiegu rzeki jest przydatna, to trzeba mieć świadomość, że niecała woda płynie z taką samą prędkością. Dlatego wyzwanie we wspomnianej grze polega na tym, żeby wrzucić patyk w miejscu, gdzie woda płynie najszybciej. Jeżeli do wody wrzucimy jednocześnie więcej patyków, pojawią się po drugiej stronie mostu w niejednakowym czasie. Pokazuje to, w jaki sposób poszczególne cząsteczki rozpraszają się podczas przemieszczania w dół



prof. Ian Guymer

Pracuje na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Strukturalnej Uniwersytetu w Sheffield. Jest inżynierem dyplomowanym (CEng) i członkiem brytyjskiego stowarzyszenia Chartered Institution of Water and Environmental Management (CIWEM). W latach 2017–2019 był pierwszym stypendystą academic-in-residence przy inicjatywie „Shaping the World” brytyjskiego Stowarzyszenia Inżynierów Budownictwa (ICE), która ma na celu wykorzystanie wiedzy i doświadczenia inżynierów budownictwa w rozwiązywaniu najpilniejszych problemów świata.
i.guymer@sheffield.ac.uk



PETER CRIPPS/HUTTERSTOCK.COM

Kambodzanka nabierająca wodę z publicznego ujęcia



IAN GUYMER

rzeki – każda pokonuje tę trasę inną drogą i z inną prędkością. To rozproszenie, zwane w bardziej specjalistycznym języku dyspersją, moje badania starają się wyrazić w postaci liczbowej.

W tym celu zamiast wrzucania mnóstwa patyków używamy ciekłego znacznika o pewnych unikatowych właściwościach, które umożliwiają łatwy pomiar jego stężenia. Najczęściej używamy rodaminy WT, jaskrawoczerwonego barwnika fluorescencyjnego, który jest nieszkodliwy dla środowiska i dobrze widoczny w miejscu jego wprowadzenia. Kiedy znacznik przemieszcza się w dół rzeki, rejestrujemy jego stężenie w interesujących nas punktach. Z chwilą, kiedy stężenie zmniejszy się 1 000 000 razy, znacznik stanie się niewidoczny gołym okiem. Tymczasem fluorometri – przyrządy stosowane przez nas podczas badań terenowych – potrafią zmierzyć stężenia tak mikroskopijne jak 1 cząsteczka barwnika w 1 000 000 000 000 (bilionie) cząsteczek wody! Jest to znacznie poniżej zdolności widzenia oka.

Czy mógłby pan dać przykład, jak to działa w praktyce?

Stosując to podejście, we współpracy z Instytutem Geofizyki PAN przeprowadzono wielkoskalowy eksperyment na odcinku górnej Narwi, między zalewem Siemianówka i Narwiańskim Parkiem Narodowym. Celem tego eksperymentu było zbadanie transportu niebieskozielonych glonów wypływających ze zbiornika. Zakres eksperymentu objął odcinek rzeki o długości 90 km. Do rzeki wiano jednocześnie z dwóch pojemników 24 litry barwnika rodaminy WT. Pomiar przeprowadzono w kilku miejscach zlokalizowanych

wzdłuż rzeki. Pierwsze cząstki barwnika dotarły do granicy parku narodowego po mniej więcej 65 godzinach. Najwyższe stężenie, wynoszące około 300 cząsteczek na miliard, znacznik osiągnął po 75 godzinach. W tym miejscu stężenie znacznika dawło się zmierzyć jeszcze po 130 godzinach od wprowadzenia barwnika! Pomiar wykazały średnią prędkość na poziomie około 0,3 m/s, lecz być może jeszcze bardziej zaskakujące było to, że różnica w czasie między najwolniejszymi i najszybszymi cząsteczkami znacznika, które dotarły do parku narodowego, czyli rozproszenie, wyniosło około 65 godzin! To tylko jeden przykład pokazujący, jak ważne jest lepsze poznanie czasu transportu i sposobu mieszania się substancji w zbiornikach wodnych.

Jakie są praktyczne zastosowania takich eksperymentów?

Niestety, w Europie i na całym świecie zdarza się wiele wypadków, kiedy do rzeki dostają się nieoczyszczone substancje skażające. Na zajęciach ze studentami, które prowadzę na Uniwersytecie w Sheffield, jako przykład podaję katastrofę przemysłową, do której doszło w Chinach w 2005 roku i która zagroziła zaopatrzeniu w wodę Harbinu, miasta liczącego 3,8 mln mieszkańców. Wskutek wybuchu instalacji przemysłowej do rzeki Sungari, 380 km od miasta, dostało się 100 ton benzenu. Dziesięć dni później odcięto pobór wody pitnej dla miasta, ponieważ stężenie benzenu ponadstukrotnie przekroczyło krajowe normy bezpieczeństwa. Długość plamy benzenu w rzece wynosiła około 80 km i spowodowała zaprzestanie dostaw wody na pięć dni, podczas których plama przechodziła przez miasto. Zaopatrzenie w wodę w Harbinie zostało przywrócone, lecz rzeka Sungari uchodzi do Amuru, który płynie na terenie Rosji. Pokazuje to potencjalne międzynarodowe skutki katastrof i zależność człowieka od bezpiecznego źródła czystej wody.

Co jeszcze można zrobić, by chronić wodę przed skażeniem?

Od 1990 roku prowadzę program badawczy, umożliwiający pomiar dyspersji wzdłużnej występującej w różnych miejskich systemach kanalizacji burzowej. Początkowo program badał wpływ studzienek kanalizacyjnych (ich średnicy, zmiany w stopniach, zmiany kierunku), a także przelewów burzowych, zbiorników retencyjnych i separatorów dynamicznych. Najpierw pokazaliśmy ograniczenia tradycyjnego podejścia do opisywania dyspersji w studzienkach kanalizacyjnych, które zakłada losowy rozkład w stosunku do średniego czasu przepływu. Następnie nasze badania dowiodły, że dwa bezwymiarowe rozkłady czasu przebywania (*residence time distributions* – RTD) dla przeciążonych studzienek są w stanie precyzyjnie opisać całościowy wpływ wielkości studzienki, wysokości przeciążenia i zrztu na mieszanie wzdłużne.

Jakie ma pan plany na najbliższe lata?

W 2018 roku Rada ds. Badań w Zakresie Nauk Inżynierskich i Fizycznych przy UK Research and Innovation przyznała mi stypendium Established Career Fellowship (EP/P012027/1). Dzięki przydzielonym środkom mogę skoncentrować się na różnych aspektach mieszania w odniesieniu do zarządzania jakością wody w rzekach, miejskich systemach kanalizacji burzowej i sieciach wodociągowych, które mają kluczowe znaczenie dla dobrostanu ludzi i środowiska. Prognozowanie skutków różnych strategii gospodarowania wymaga znajomości procesów hydrodynamicznych sięgających w skali przestrzennej od kilku milimetrów (turbulencje) aż do kilkuset kilometrów (zlewnie), a w skali czasowej od milisekund do tygodni. Prowadzone prace mają udoskonalić zdolność prognostyczną jednowymiarowych (1D) modeli zmiennych w czasie, które istotnie umożliwiają oszczędne, szybkie, wygodne zastosowania w bardzo złożonych sytuacjach występujących w zlewniach rzek, w sieciach wodociągowych i miejskich systemach kanalizacji burzowej. W większości systemów wodnych standardowe prognozy oparte na modelach 1D nie sprawdzają się ze względu na nasze ograniczenia w zrozumieniu słabych turbulencji i nieumiejętność odwzorowania kształtów 3D oraz przepływów niestabilnych. Do najważniejszych korzyści płynących z badań będzie można zaliczyć znaczne ulepszenie odwzorowania transportu i mieszania rozpuszczalnych

zanieczyszczeń i mikroskopijnych cząstek w rzekach, sieciach wodociągowych i miejskich systemach kanalizacji burzowej. Zrozumienie tych procesów jest niezbędne do prognozowania stężeń umożliwiającego ocenę ryzyka i wpływu na środowisko, zwłaszcza w warunkach dynamicznych, takich jak wycieki czy ścieki opadowe, powodujące gwałtowne zmiany w poziomie stężenia.

Kwestia jakości wody wykracza poza granice miejscowości, krajów, a nawet kontynentów i potęguje wyzwania spowodowane przez zmiany klimatu, rosnącą urbanizację, malejące bezpieczeństwo żywnościowe i coraz większy niedobór wody. Zapotrzebowanie na wodę staje się coraz bardziej nie zrównoważone w stosunku do zasobów. Środki zmniejszania ryzyka przewidziane w ramowej dyrektywie wodnej UE dla priorytetowych substancji zanieczyszczających mogą okazać się kosztowne. W tej sytuacji dostarczenie precyzyjnych informacji o zachowaniu takich substancji może pomóc w opracowaniu optymalnych, elastycznych rozwiązań. Bezpieczeństwo zasobów i ekosystemów wodnych to jeden z kamieni węgielnych ochrony środowiska w Europie i na świecie. Jak ujmują to Cele Zrównoważonego Rozwoju ONZ, jest sprawą konieczną, by „zapewnić wszystkim ludziom dostęp do wody i warunków sanitarnych przez zrównoważoną gospodarkę zasobami wodnymi”.

ROZMAWIAŁA DR JUSTYNA ORŁOWSKA



Mieszanie się wód przy zbiegu rzek

IAN GUYMER