

Modelowanie Systemów Dyskretnych  
Oil Spill Modelling  
Dokumentacja projektu

Mikołaj Siatkowski, Jakub KroczeK, Piotr Koproń

Semestr letni 2023

# Spis treści

<b>1</b>	<b>Wprowadzenie</b>	<b>2</b>
1.1	Motywacja . . . . .	2
1.2	Podstawy naukowe . . . . .	2
1.3	Obszar symulacji . . . . .	3
1.4	Podstawowe parametry . . . . .	3
1.5	Przebieg symulacji . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Wykorzystane dane</b>	<b>4</b>
2.1	Trudności z pozyskaniem . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Aspekty techniczne</b>	<b>5</b>
3.1	Idea implementacji . . . . .	5
3.2	Symulowane zjawiska fizyczne . . . . .	5
3.3	Wykorzystane technologie . . . . .	6
3.3.1	Preprocessing . . . . .	6
3.3.2	Docelowa aplikacja . . . . .	6
3.4	Opis działania wczytywania mapy . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Wnioski oraz obserwacje</b>	<b>9</b>
4.1	Co zauważyliśmy podczas prac nad projektem . . . . .	9
4.2	Rezultaty działania programu . . . . .	10

# Rozdział 1

## Wprowadzenie

Po zakończeniu zajęć laboratoryjnych z Modelowania Systemów dyskretnych, zdecydowaliśmy się na zamodelowanie w ramach projektu wycieku ropy naftowej w pewnym miejscu. Temat wydawał się zbliżony do tych, które opracowywaliśmy na zajęciach, jednak próba uzyskania symulacji opartej na rzeczywistych danych oraz z uwzględnieniem licznych zjawisk fizycznych okazała się ciężka. Pomimo tego udało nam się uzyskać model, który z pewnym przybliżeniem odzwierciedla potencjalny wyciek.

### 1.1 Motywacja

Temat modelowania wycieków ropy naftowej jest często poruszany w środowiskach naukowych, ze względu na katastroficzne skutki oraz szeroką gamę czynników oraz procesów, które składają się na to zjawisko. Z tego powodu istnieje zapotrzebowanie na możliwe dokładne symulacje wycieków, celem dostosowania akcji organów odpowiedzialnych za redukcję szkód powstających poprzez rozprzestrzenianie się ropy.

### 1.2 Podstawy naukowe

Po sformuowaniu problemu, rozpoczęliśmy kwerendę stosownej literatury naukowej. W rzeczywistym modelowaniu wycieków ropy naftowej, popularnym podejściem okazało się zastosowanie automatów komórkowych wraz z dyskretnym algorytmem Lagrange’a. Publikacją, która zawierała najwięcej kluczowych informacji był artykuł [4], stąd nasza decyzja o przyjęcie go jako praca wiodąca dla naszego projektu.

## 1.3 Obszar symulacji

Wykorzystując dane pozyskane dzięki uprzejmości profesora Jarosława Wąsa, zdecydowaliśmy się w ramach testu modelu dokonać symulacji wycieku Deepwater Horizon w regionie Zatoki Meksykańskiej w roku 2010. Model został wstępnie przetestowany na pierwszym dniu wycieku. Prezyzyjnie, nasz model bada następujący obszar:

- Szerokość geograficzna od 26.443105 do 30.529433
- Długość geograficzna od -92.048461 do -84.862920
- Wymiary obszaru: 454x799 [km]

## 1.4 Podstawowe parametry

- krok symulacji - 20 sekund
- gęstość ropy -  $835 \frac{kg}{m^3}$
- dynamiczna lepkość ropy - 0.31
- dynamiczna lepkość wody - 0.00a1

## 1.5 Przebieg symulacji

Działanie modelu rozpoczyna się od ustalenia źródła wycieku ropy na mapie, po czym jest widoczny postęp wycieku z każdym kolejnym krokiem czasowym (ustalona ilość). Graficznie reprezentowane są typy komórek oraz - w przypadku komórek oceanicznych - nasycenie ropą (stosunek objętości ropy do ogólnej objętości płynów w danej komórce).

## Rozdział 2

# Wykorzystane dane

Dane, na których oparta jest nasza symulacja pochodzą z pomiarów wykonanych przez Straż Wybrzeża oraz Ocean Circulation Group w roku 2010. Są one w formacie plików csv, zawierających informacje o:

- dacie i godzinie pomiaru
- lokalizacji na mapie
- temperaturze powierzchni wody
- prędkości i kierunku wiatru
- prędkości pływów morskich (wektorowo)

Dane te zostały przez nas przetworzone oraz wykorzystane w odpowiednich komórkach automatu.

### 2.1 Trudności z pozyskaniem

Informacje, których poszukiwaliśmy są trudno dostępne ze względu na koszt ich pozyskania oraz ograniczoną ilość instytucji zajmujących się zbieraniem odpowiednich pomiarów. Ze względu również na małe pokrycie pomiarowe obszaru blisko 99.99% CEV naszych komórek jest uzyskane wynikiem ekstrapolacji na poziomie preprocesowania danych.

# Rozdział 3

## Aspekty techniczne

Przy doborze odpowiednich narzędzi do utworzenia symulacji, kierowaliśmy się publikacjami oraz wiedzą zdobytą podczas laboratoriów. Z tego względu najbardziej sensowne okazało się wykorzystanie modelu *automatu komórkowego* oraz adaptacja szablonu kodu dostarczonego przy okazji zajęć laboratoryjnych.

### 3.1 Idea implementacji

Cechy automatu komórkowego, który jest fundamentem symulacji są następujące

- Komórka reprezentuje rzeczywisty obszar  $2 \times 2$  [km], stąd otrzymujemy mapę  $400 \times 227$  komórek
- Każda z komórek ma jeden z trzech stanów - ląd, wybrzeże, woda
- Zastosowane zostało klasyczne sąsiedztwo von Neumanna
- Każda z komórek posiada zestaw cech zależnych od jej stanu wewnętrznego (np ilość cząsteczek ropy) - CIV oraz od stanu zewnętrznego (np prędkość pływów) - CEV

Dodatkowo stosujemy pewne rozszerzenie tego modelu - w danej komórce może się znajdować różna objętość ropy, stąd podział jej na dyskretne cząsteczki, ilość których będzie pamiętana.

### 3.2 Symulowane zjawiska fizyczne

Dla każdego z wymienionych zjawisk

- adwekcja
- rozprzestrzenianie
- emulgowanie
- zmiana w gęstości
- rozproszenie
- zmiana w lepkości
- oddziaływanie z wybrzeżem

stosujemy procedury dokładnie opisane w [4] wraz z wykorzystaniem podanych tam wzorów. Natomiast niektóre wzory zostały przez nas zmodyfikowane ze względu na braki danych, bądź przez trudności z ich pozyskaniem. Zjawiska te będą występowały po kolei (w każdym kroku czasowym).

## 3.3 Wykorzystane technologie

### 3.3.1 Preprocessing

Do przetworzenia danych które otrzymaliśmy oraz wczytania mapy, będącej w formie obrazu napisane oraz wykorzystane zostały skrypty w języku Python, które zostały również dołączone jako część projektu (foldery Data Analysis oraz map\_generation).

### 3.3.2 Docelowa aplikacja

Zgodnie z wcześniejszymi ustaleniami wykorzystaliśmy gotowy szablon aplikacji graficznej napisany w języku Java, który dostosowaliśmy do własnych potrzeb. Zastosowaliśmy następujący podział na klasy wraz z ich odpowiedzialnościami:

- CEVLoader - wczytywanie przetworzonych danych dotyczących parametrów zewnętrznych do komórek
- MapLoader - ładowanie początkowego stanu mapy (typy komórek) na podstawie przetworzonych danych
- Board - rzeczywista część symulująca, odpowiada za stan planszy która się wyświetla

- Cell - reprezentacja komórki oraz jej obecny stan w symulacji
- CEV - wartości zewnętrzne, każda komórka otrzymuje własną instancję
- CIV - wartości wewnętrzne, każda komórka otrzymuje własną instancję
- GUI - część odpowiadająca za grafikę, w większości niezmieniona w stosunku do szablonu
- Globals - odpowiednie stałe oraz przyjęte parametry wykorzystywane we wzorach związanych ze zjawiskami
- OPS (Oil Point State) - wewnętrzne wartości dla jednej kropelki ropy
- OilParticle - stan oraz logika związana z kropelką ropy oraz jej przemieszczaniem się
- Program - punkt wejściowy do aplikacji
- RNG - instancja generatora liczb pseudolosowych
- Spiller - działanie punktu wycieku ropy

Dodatkowo wykorzystaliśmy system budowy Gradle, dzięki czemu aplikacja jest bardziej przenośna i łatwiejsza do uruchomienia przez użytkownika, nie będącego autorem.

### 3.4 Opis działania wczytywania mapy

Ten etap wstępnego przetwarzania danych jest prosty - wykorzystując grafikę z [2], mapowane są poszczególne piksele na typy, w zależności od ich koloru. Procedura przebiega następująco:

1. Wczytaj plik .png, z wymiarami takimi jak docelowa mapa
2. Dla każdego z pikseli dopasuj jego typ poprzez wyliczenie minimalnej odległości w metryce euklidesowej trójwymiarowej przestrzeni reprezentującej kolory (R, G, B). Kilka kolorów reprezentujących wartości zostało pobranych z wykorzystanej grafiki i do nich odległość będzie wyliczana
3. Przeprowadź korektę błędnie dopasowanych typów, za pomocą prostego algorytmu opierającego się na liczbie sąsiadów (problem występował przy błędnym dopasowaniu wody zamiast lądu)



4. Każdą komórkę typu ląd, która sąsiaduje z przynajmniej jedną komórką typu woda zamień na komórkę typu wybrzeże
5. Wynikową tablicę typów zapisz do pliku, który zostanie wczytany z poziomu aplikacji

## Rozdział 4

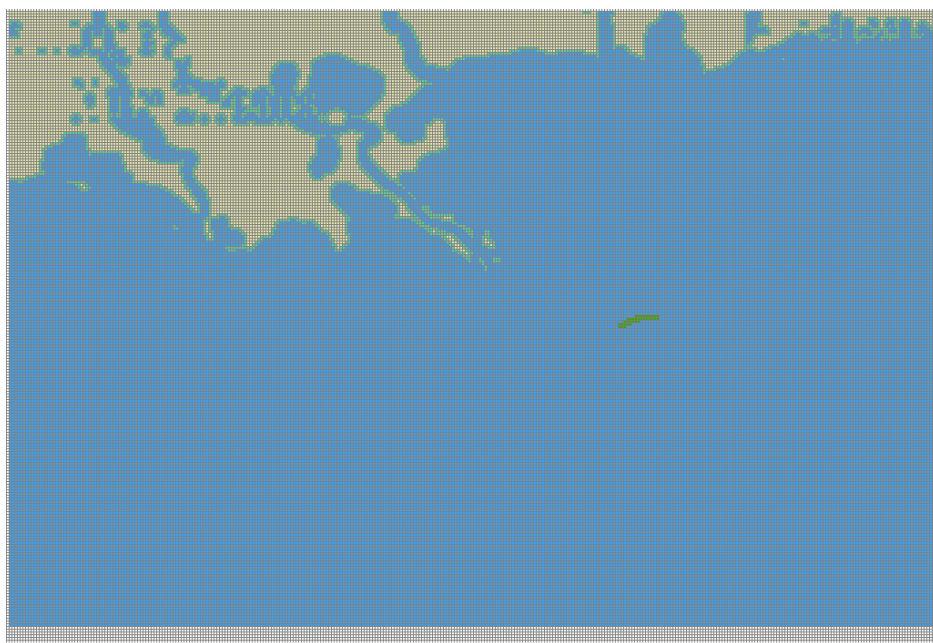
# Wnioski oraz obserwacje

Naszym początkowym założeniem było, że zamodelowanie, a raczej implementacja symulacji wycieku ropy będzie względnie prosta. Po napisaniu projektu możemy jednoznacznie stwierdzić, że rzeczywiście poziom trudności części implementacyjnej nie dorównywał pozyskaniu rzetelnych danych oraz informacji na temat zjawisk.

### 4.1 Co zauważyliśmy podczas prac nad projektem

- Najcięższym aspektem pisania kodu było rozplanowanie struktury, z której będziemy korzystać do logicznej reprezentacji poszczególnych części
- Pomimo posiadania danych z okresu około 5 miesięcy, symulację udało nam się zamodelować jedynie na czas 1 doby. Spowodowane to było kosztem obliczeniowym wstępnego przetworzenia danych.
- Ze względu na wspomniane wcześniej ograniczenia, sam wynik symulacji nie wygląda imponująco

## 4.2 Rezultaty działania programu



Rysunek 4.1: Modelowana plama ropy 24h po wycieku.

# Bibliografia

- [1] Haibo Chen i in. “Numerical study of underwater fate of oil spilled from deepwater blowout”. W: ScienceDirect (2015). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801815005624>.
- [2] Deep water oil spill article. <https://www.britannica.com/event/Deepwater-Horizon-oil-spill#ref294126>. Dostęp: 12.06.2023.
- [3] GNOME Online Oceanographic Data Server. <https://gnome.orr.noaa.gov/goods>. Dostęp: 21.05.2023.
- [4] Maciej Gług i Jarosław Wąs. “Modeling of oil spill spreading disasters using combination of Lagrangian discrete particle algorithm with Cellular Automata approach”. W: ScienceDirect (2018). URL: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801818300295?fbclid=IwAR2FNsKM8I7TodBau-JE1ARRTatV2CvIjh5ksJFKD0vc6E9BSSLV4S\\_Hz0Q#cebib0010](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801818300295?fbclid=IwAR2FNsKM8I7TodBau-JE1ARRTatV2CvIjh5ksJFKD0vc6E9BSSLV4S_Hz0Q#cebib0010).
- [5] Ioannis Karafyllidis. “A model for the prediction of oil slick movement and spreading using cellular automata”. W: Environment International 23.6 (1997), s. 839–850. ISSN: 0160-4120. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(97\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(97)00096-2). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412097000962>.
- [6] Panagiota Keramea i in. “Oil spill modeling: A critical review on current trends, perspectives, and challenges”. W: Journal of Marine Science and Engineering (2021). URL: <https://www.mdpi.com/2077-1312/9/2/181>.
- [7] Lin Liu i in. “Simulating and Predicting Offshore Oil Spills by Using Cellular Automata”. W: Journal of Marine Science and Technology (2022). URL: <https://jmstt.ntou.edu.tw/cgi/viewcontent.cgi?article=2577&context=journal>.
- [8] Office of Response and Restoration. <https://response.restoration.noaa.gov/>. Dostęp: 21.05.2023.

- [9] Shiahn wern Shyue, Hung chun Sung i Yung fang Chiu. “Oil spill modeling using 3D cellular automata for coastal waters”. W: The International Society of Offshore (2007). URL: [https://www.researchgate.net/publication/286804292\\_Oil\\_spill\\_modeling\\_using\\_3D\\_cellular\\_automata\\_for\\_coastal\\_waters](https://www.researchgate.net/publication/286804292_Oil_spill_modeling_using_3D_cellular_automata_for_coastal_waters).
- [10] Yihan Zhang. “Sensitivity analysis in simulating oil slick using CA model”. W: ScienceDirect (2020). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801820311410>.