

Model przewidujący rozlew oleju w wodzie

Artur Dwornik, Maciej Malinowski, Szymon Wojturski

AGH University
9.04.2024

1 Wprowadzenie

Rozpoczęcie wydobywania oraz transportu ropy naftowej przez człowieka stworzyło nowy problem jakim jest przypadkowe rozlewanie ropy oraz jej pochodnych do zbiorników wodnych. Konsekwencją tego typu rozlewów jest poważne zanieczyszczenie naturalnego środowiska, co jest zagrożeniem dla ekosystemu. Najważniejszą informacją dla służb zajmujących się rozlewem jest kierunek i sposób rozprzestrzeniania się płynu. Wykreowało to potrzebę na model przewidujący rozprzestrzenianie się zanieczyszczenia olejem.

2 Opis modelu

Model będzie oparty na Automacie komórkowym. Każda komórka posiada 8 sąsiadów według sąsiedztwa Moorea oraz kilka zmiennych opisujących jej stan:

Zmienne opisujące stan komórki:

1. Czy jest płynem, czy stałym lądem? (Jeżeli lądem to pozostałe zmienne można pominąć)
2. Ilość oleju znajdującego się w komórce
3. Kierunek prądu wodnego
4. Siła prądu wodnego
5. Kierunek wiatru
6. Prędkość wiatru

3 Pasywna dyspersja oleju na tafli wody

Najprostszym modelem rozchodzenia się oleju po tafli oceanu jest dyspersja. W naszym programie jest ona realizowana przy pomocy automatu komórkowego z funkcją przejścia określoną przez pełną wersję następującego wzoru:

$$M_{i,j}^{t+1} = M_{i,j}^t + m[(M_{i-1,j}^t - M_{i,j}^t) + (M_{i+1,j}^t - M_{i,j}^t) + (M_{i,j-1}^t - M_{i,j}^t) + (M_{i,j+1}^t - M_{i,j}^t)] + md[(M_{i-1,j-1}^t - M_{i,j}^t) + (M_{i-1,j+1}^t - M_{i,j}^t) + (M_{i+1,j-1}^t - M_{i,j}^t) + (M_{i+1,j+1}^t - M_{i,j}^t)]$$

Obliczanie następnego stanu dyspersji oleju opiera się na następujących krokach:

Dla każdego sąsiada naszej komórki:

1. Jeżeli jego typem jest **WATER**
2. Jeżeli jest, oblicz różnicę pomiędzy **oil** w naszej komórce a sąsiadem oraz przemnoż ją przez **m**
3. Jeżeli komórka sąsiada jest w jednym z rogów sąsiedztwa naszej komórki, różnicę przemnoż również przez **d**
4. Odejmij tą różnicę od **nextOil** oraz dodaj ją do **nextOil** sąsiada

Przykład:

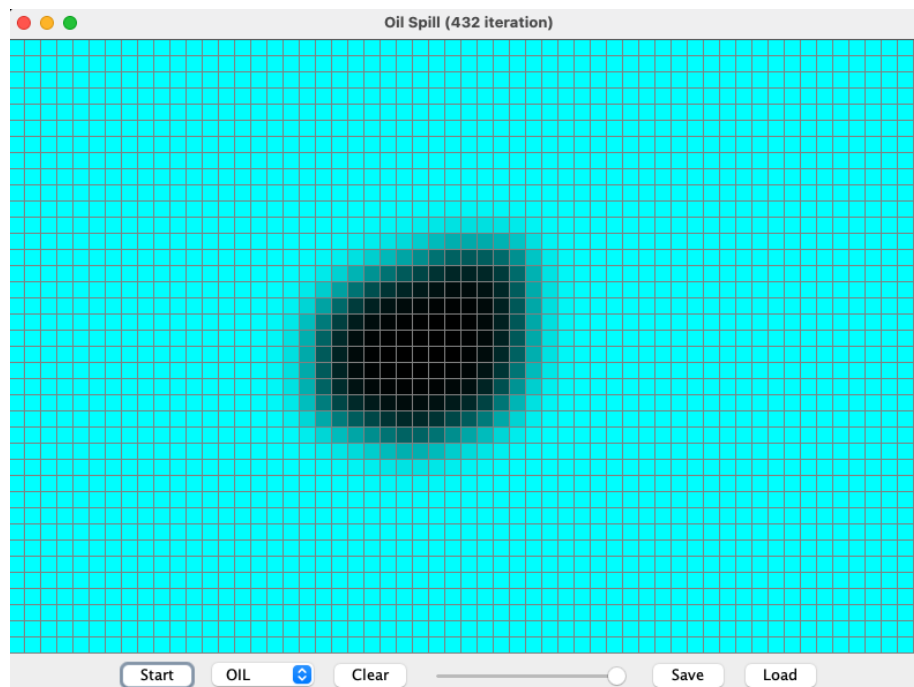


Image 1

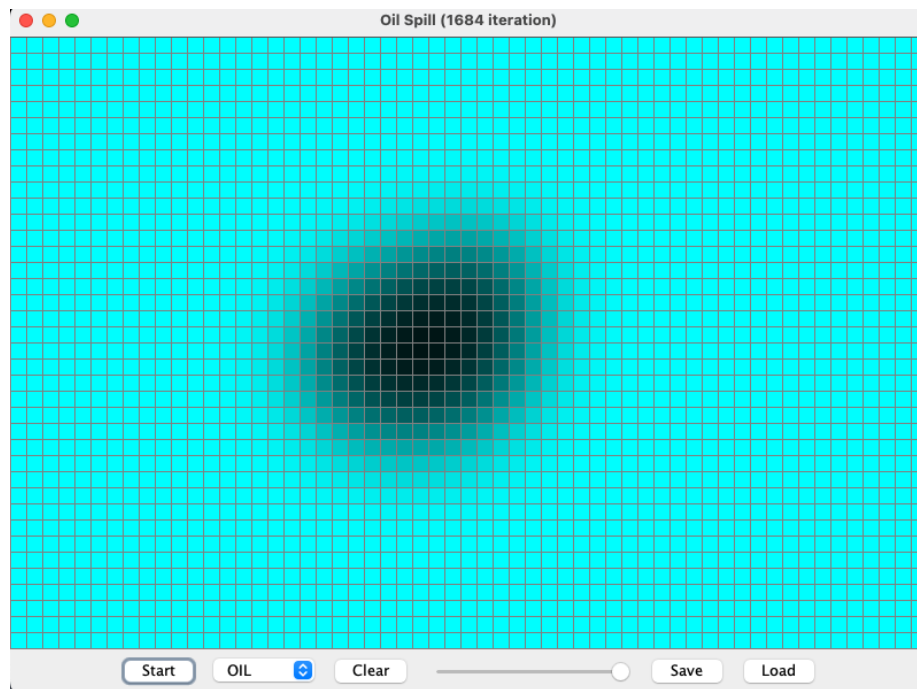


Image 2

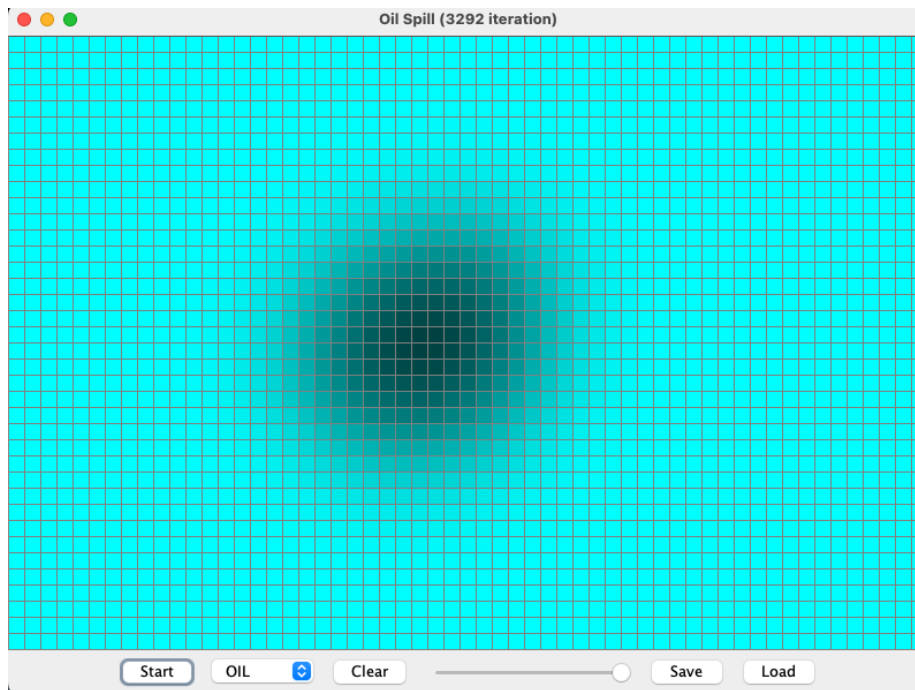


Image 3

4 Przegląd oraz przygotowanie danych

Naszym zadaniem jest stworzenie modelu rozprzestrzeniania się oleju w wodzie. Nie będziemy symulować zachowania wiatru oraz prądów morskich.

Dane kierunku oraz prędkości wiatru, jak i prądów morskich z poszczególnych stacji meteorologicznych na oceanie pozyskaliśmy od The Gulf of Mexico Coastal Ocean Observing System (GCOOS). Jest to organizacja non-profit której misją jest dostarczanie na żądanie informacji o przybrzeżnych wodach Zatoki Perskiej i otwartych wodach oceanicznych, które są dokładne, wiarygodne i przynoszą korzyści ludziom, ekosystemom i gospodarce.

Na ich stronie są do pobrania pliki .csv zawierające informacje o prądach morskich oraz wietrze, ich kierunkach, sile oraz dacie pomiaru.

Plik `gcoos_2010_04_wind.csv`, którego użyliśmy w naszej symulacji posiada następujące etykiety:

- **network:** nazwa sieci, do której należy platforma pomiarowa,
- **platform:** unikalny identyfikator platformy pomiarowej,
- **latitude:** szerokość geograficzna miejsca, w którym wykonano pomiary,

- `longitude`: długość geograficzna miejsca, w którym wykonano pomiary,
- `date`: data i czas, kiedy pomiary zostały wykonane,
- `vertical_datum`: wysokość n.p.m., na której wykonano pomiary,
- `wind_speed`: prędkość wiatru zmierzona na platformie,
- `wind_to_direction`: kierunek, w którym wieje wiatr, mierzony na platformie,
- `wind_speed_of_gust`: prędkość porywów wiatru zmierzona na platformie,
- `qcFlag`: kod flagi kontroli jakości, który wskazuje na ewentualne problemy z danymi pomiarowymi.

Przygotowanie danych opiera się na poszczególnych krokach:

1. Wybranie kolumn, które nas interesują, czyli: `latitude`, `longitude`, `vertical_datum`, `wind_speed` oraz `wind_to_direction`
2. Odwiltrowanie tych wierszy, których `wind_to_direction` nie jest z przedziału od 0 do 360, oraz tych którym brakuje wartości w polach `latitude` lub `longitude`
3. Zamiana wartości kątowej kierunku wiatru na dwie współrzędne `wind_to_direction_x` oraz `wind_to_direction_y` poprzez obliczenie wartości kolejno cosinusa oraz sinusa tego kąta.
4. Zaokrąglenie wartości współrzędnych mniejszych od $\epsilon = 1 \cdot 10^{-6}$ do zera, co nam później pozwoli na bezpieczniejsze operacje na wartościach zmiennoprzecinkowych.
5. Usunięcie niepotrzebnej już kolumny `wind_to_direction`
6. Zapisanie jako nowy plik `windmap.csv`

Warto zaznaczyć, że pobieramy wartości prędkości oraz kierunku wiatru na najbliższe tafli wodu.

Z racji na podobną naturę oddziaływania wiatru oraz prądu morskiego na olej, przygotowanie danych z prądem morskim jest analogiczne.

5 Przygotowanie łączonej mapy wiatrów oraz prądów morskich

Z racji, że mamy z tylko 32 różne stacje, do stworzenia mapy $M \times N$ będziemy interpolować siłę oraz kierunek wiatru z trzech najbliższych stacji badawczych, dla tych komórek, w których nie ma stacji.

Proces tworzenia mapy wiatrów polega na poszczególnych krokach:

1. Wybranie tych stacji których `latitude` i `longitude` mieście się w prostokącie tworzonym przez `upper_left_lat`, `upper_left_lon`, `lower_right_lat`, `lower_right_lon`, które są argumentami naszego programu.
2. Stworzenie mapy $M \times N$, gdzie M i N są argumentami naszego programu, do której będziemy wprowadzać prędkość oraz współrzędne kierunkowe wiatru.
3. Umiejętne zmapowanie stacji na poszczególne komórki w naszej macierzy zachowując ich relatywne położenie względem siebie.
4. Dla każdej pustej komórki znajdowane są trzy najbliższe względem odległości euklidesowej stacje, oraz obliczany jest wektory wypadkowy oraz średnia prędkość wiatru.
5. Zapisanie nowo powstałej mapy jako plik `.csv` z etykietami: `i`, `j`, `wind_speed`, `wind_to_direction_x` oraz `wind_to_direction_y`.

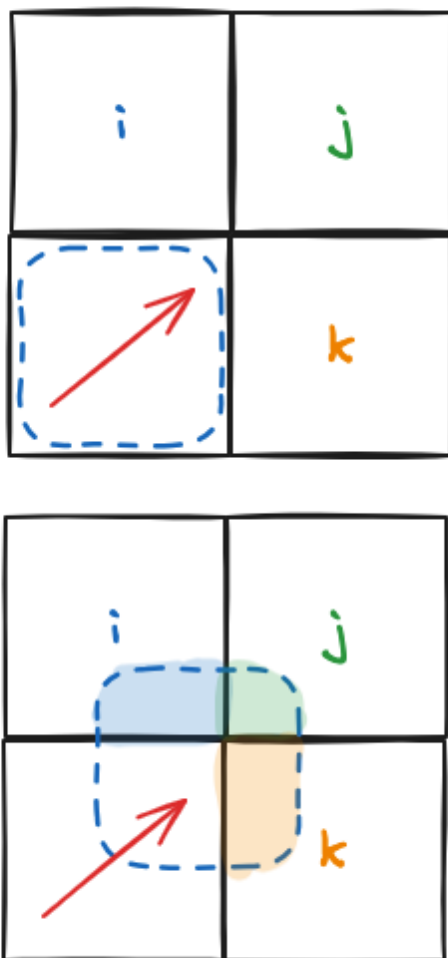
Proces tworzenia mapy prądów morskich wygląda analogicznie.

Następnie tworzymy łączoną mapę `combinedmap.csv` w następujący sposób:

1. Dla każdego `i`, `j`, gdzie $i \in M$ oraz $j \in N$
2. Pobranie wartości `wind_speed`, `wind_to_direction_x`, `wind_to_direction_y`, odpowiadającej polu `i`, `j` z `windmap.csv`
3. Pobranie wartości `sea_water_speed`, `direction_of_sea_water_velocity_x`, `direction_of_sea_water_velocity_y`, odpowiadającej polu `i`, `j` z `currentmap.csv`
4. Obliczenie średniej arytmetycznej odpowiadającym sobie polom
5. Zapanie nowo wyliczonych wartości do pliku `combinedmap.csv`

6 Przemieszczanie się oleju za pomocą wiatru oraz prądu morskiego

Następne stany sąsiadujących komórek obliczamy poprzez "przemieszczenie" komórki w stronę łączonego kierunku wiatru oraz prądu morskiego (od teraz nazywanego **kierunkiem**) z prędkością łączonej prędkości wiatru oraz prądu morskiego (od teraz nazywanej **prędkością**) oraz obliczenia intersekcji komórki z poszczególnym sąsiadami, na które nasza komórka się przemieściła.



Ilustracja przemieszczenia się komórki, wiatr wieje na północny-wschód.

Proces obliczania następnych stanów komórek sąsiadów opiera się na następujących krokach:

1. Obliczenie wysokości dNS oraz szerokości dEW o którą przesunęłaby się komórka
2. Znalezienie tych sąsiadów na które przesunęłaby się komórka
3. Obliczenie areaów **newArea** nachodzących na siebie sąsiadów oraz naszej komórki

4. Obliczenie odpowiednich proporcji $\text{proportion} = \text{newArea} / \text{area}$, gdzie area to pole powierzchni komórki
5. Obliczenie ilości oleju, które przepłynęły na poszczególnych sąsiadów
6. Odjęcie ich od `nextOil` naszej komórki oraz dodanie ich do `nextOil` poszczególnych sąsiadów

Przykład działania programu:

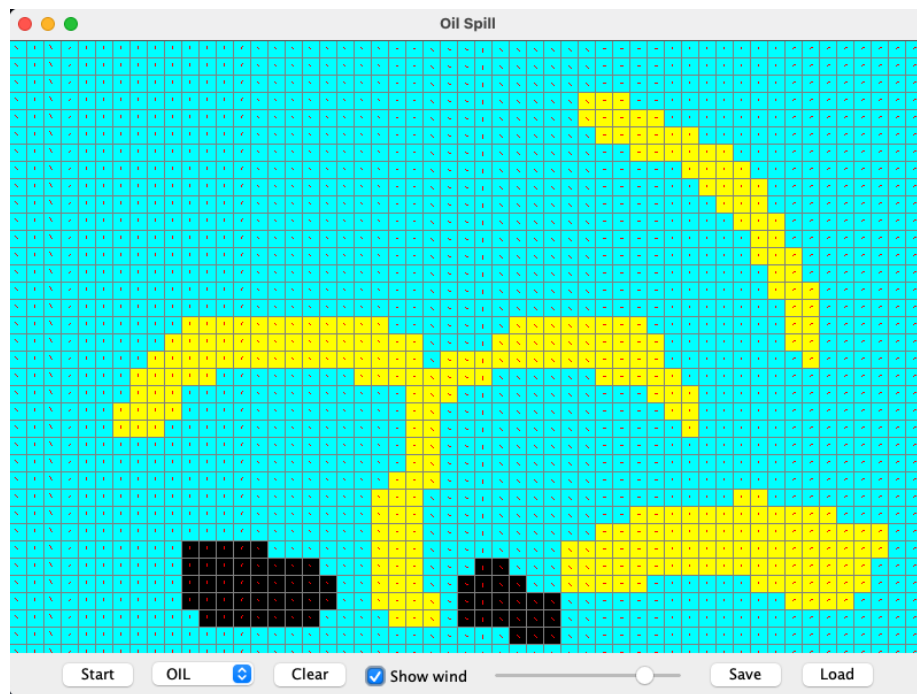


Image 4

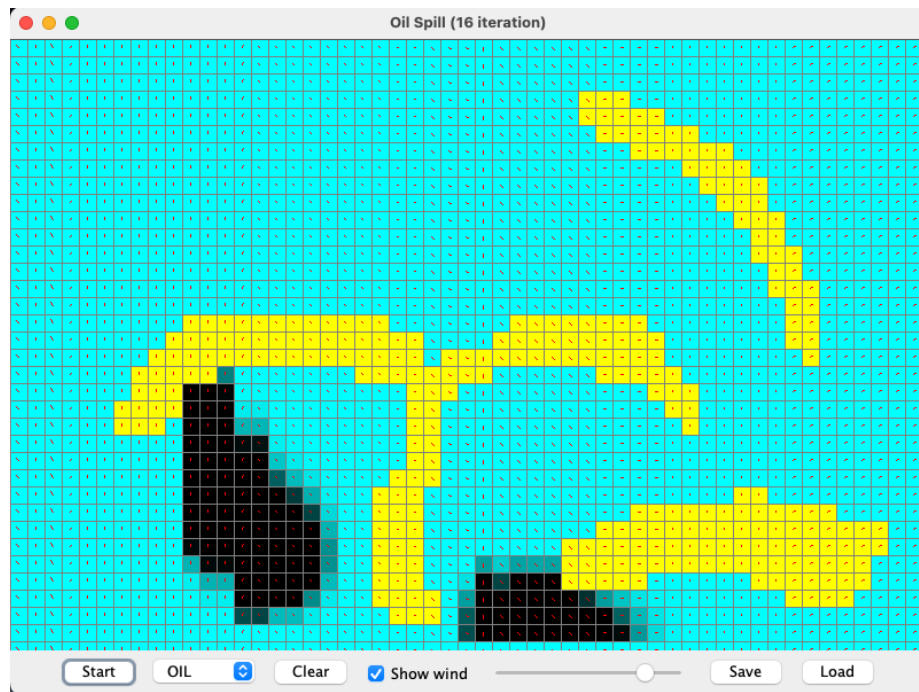


Image 5



Image 6

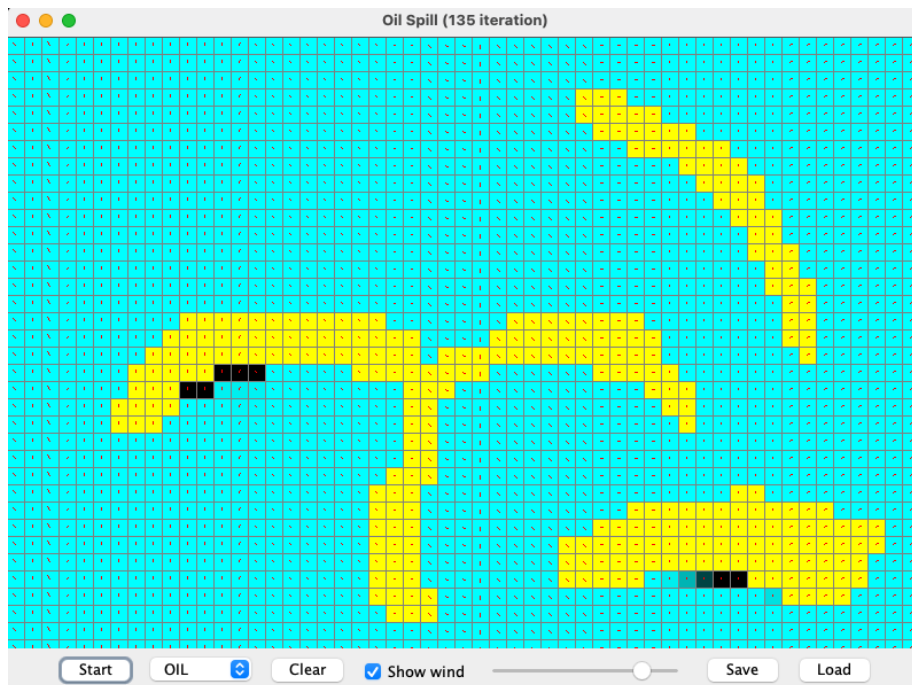


Image 7

7 Metryka spójności symulacji z rzeczywistą katastrofą

Jako metrykę jakości naszej symulacji używamy metody Intersection over Union.

Intersection over Union (IoU) jest miarą używaną w zadaniach oceny wydajności algorytmów detekcji obiektów w dziedzinie widzenia komputerowej. Polega na obliczeniu stosunku obszaru wspólnego (intersection) między prawdziwym obszarem obiektu a obszarem wykrytym przez algorytm, a obszarem sumy (union) tych dwóch obszarów. Wartość IoU mieści się w zakresie od 0 do 1, gdzie wartość 1 oznacza doskonałe pokrycie pomiędzy obszarem prawdziwym a wykrytym, a wartość 0 oznacza brak pokrycia. Jest to istotna miara, szczególnie w ocenie skuteczności algorytmów detekcji obiektów, ponieważ pozwala ona określić, jak dobrze algorytm identyfikuje obiekty na obrazie w porównaniu do rzeczywistych obiektów.

Proces obliczania IoU w naszej symulacji opiera się na poszczególnych krokach:

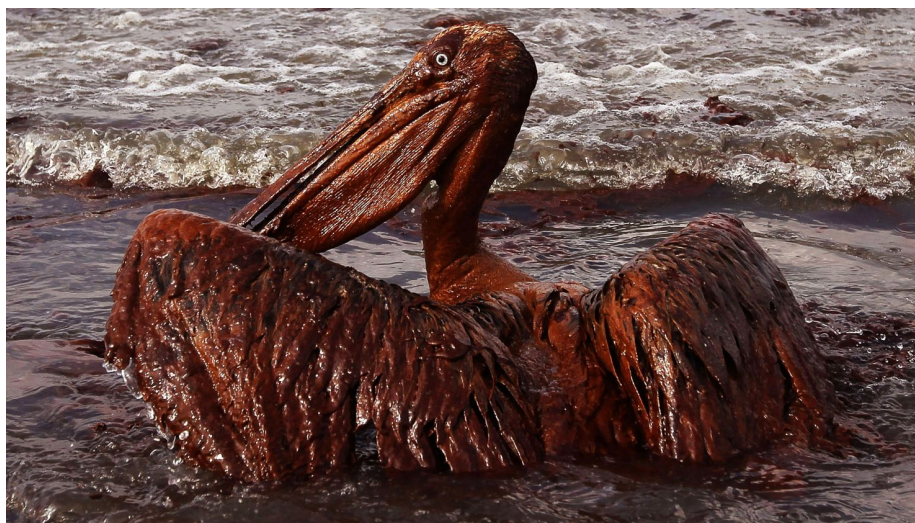
1. Przygotowanie danych rzeczywistych do porównania z symulacją. U nas jest to przygotowanie pięciu różnych map z pięciu następnych dni katastrofy.
2. Co każdy krok czasowy zliczamy ile komórek z jednej lub drugiej mapy

zawiera olej (`union`) oraz ile komórek z jednej oraz z drugiej mapy zawiera olej (`intersection`)

3. Zwracamy `intersection / union`

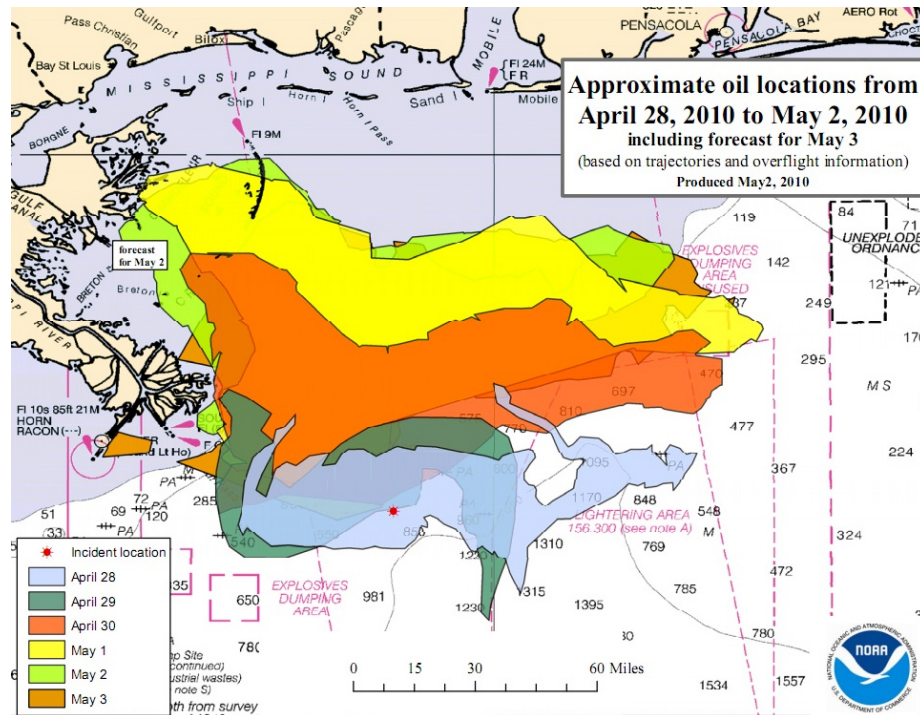
8 Przygotowanie scenariusza: Deepwater Horizon oil spill

Katastrofa ekologiczna związana z wyciekami ropy z platformy wiertniczej Deepwater Horizon (znana również jako „wyciek ropy BP”) rozpoczęła się 20 kwietnia 2010 roku u wybrzeży Stanów Zjednoczonych w Zatoce Meksykańskiej na terenie eksploatowanym przez BP na złożu Macondo. Jest ona uznawana za największy wyciek ropy naftowej do morza w historii przemysłu naftowego i szacuje się, że objętościowo była większa od poprzedniego największego wycieku, Ixtoc I, również w Zatoce Meksykańskiej, o 8 do 31 procent. Katastrofa była wynikiem erupcji i eksplozji na platformie wiertniczej Deepwater Horizon. Rząd federalny Stanów Zjednoczonych oszacował całkowity wyciek na 4,9 miliona baryłek (780 tysięcy m^3). Po kilku nieudanych próbach powstrzymania wycieku, szyby zostały oficjalnie uznane za zamknięte 19 września 2010 roku. Raporty z początku 2012 roku wskazywały, że miejsce wycieku nadal przecieka. Katastrofa związana z wyciekami ropy z Deepwater Horizon jest uważana za jedną z największych katastrof ekologicznych w historii świata.



Pelikan pokryty grubą warstwą ropy. Fot. CNN

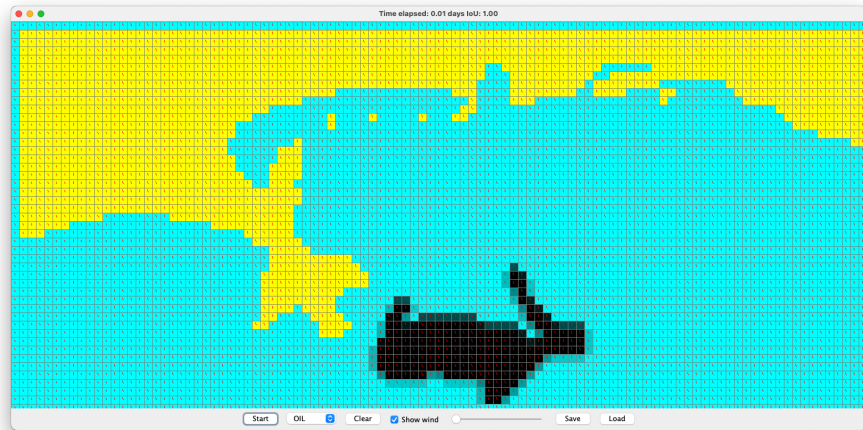
Metryka Intersection over Union została oparta na tych danych satelitarnych.



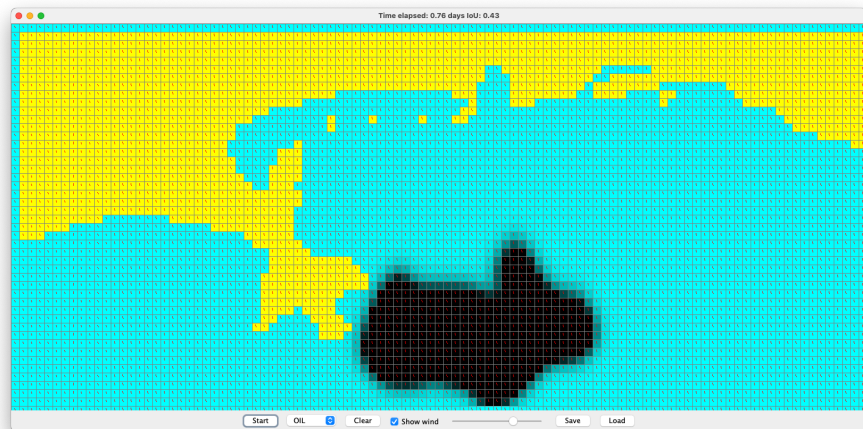
Ustawienia startowe symulacji takie jak szerokość komórki (w kilometrach), ilość ropy rozlanej w jednej komórce (w litrach) oraz szerokość oraz wysokość geograficzną lewego górnego oraz prawego dolnego rogu mapy możemy ustawić w pliku setting.yaml. Dane wiatrów oraz prądów morskich ły pobrane z bazy danych GCOOS (czytaj Przegląd oraz przygotowanie danych).

Ustawienia dla naszej symulacji:

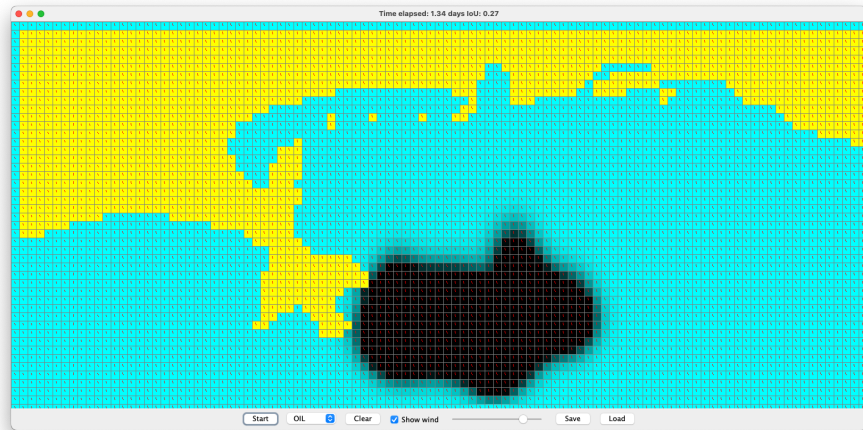
```
cell_width = 20,
oil_per_cell = 1000000
upper_left_lat = 30.43
upper_left_lon = -90.69
lower_right_lat = 28.58
lower_right_lon = -86.27
```



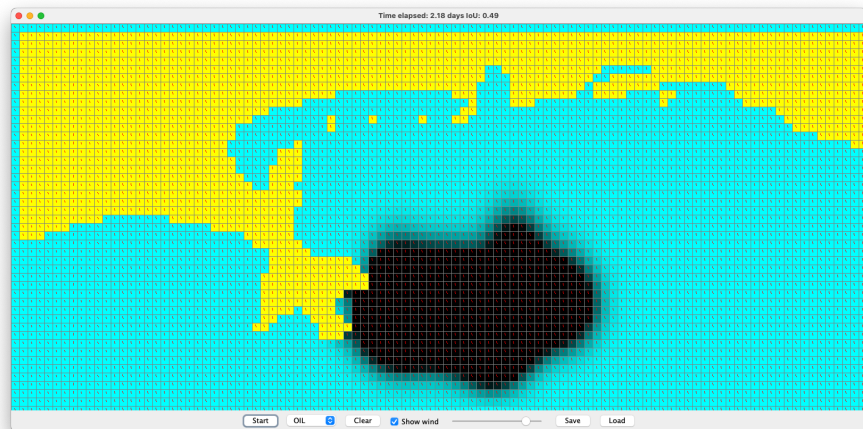
0 days since T_0 , IoU 1.0



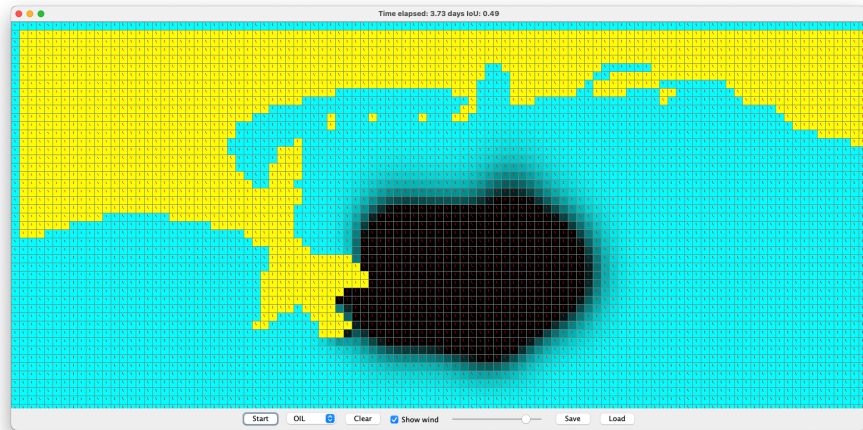
0.76 days since T_0 , IoU 0.43



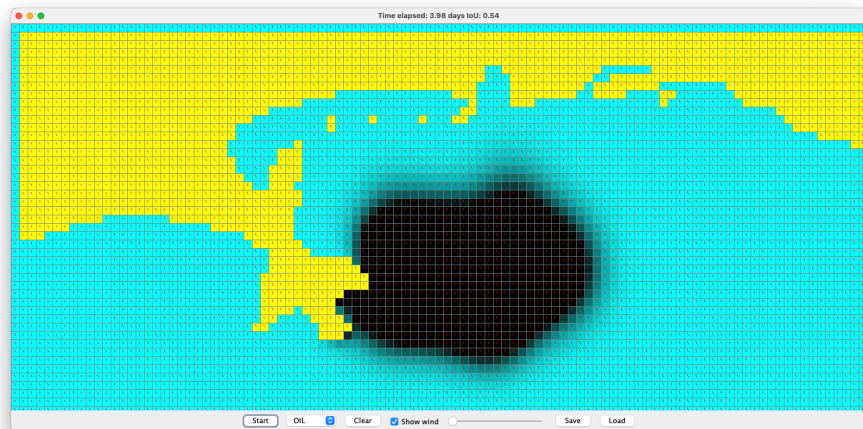
1.34 days since T_0 , IoU 0.27



2.18 days since T_0 , IoU 0.49



3.73 days since T_0 , IoU 0.49



4 days since T_0 , IoU 0.54

9 Wnioski

Nasza symulacja wysoce odbiega od rzeczywistości. Jest to spowodowane poniższymi czynnikami:

- Dane wiatrów oraz prądów morskich pochodzą tylko z jednego punktu czasowego w dniu katastrofy, czyli 20.04.2010.
- Interpolacja wiatrów oraz prądów morskich jest tworzona na podstawie stacji badawczych rozmieszczonych na całej Zatoce Meksykańskiej, nie tylko w pobliżu miejsca katastrofy.
- Na przemieszczaniei plamy oleju po powierzchni oceanu wpływa wiele innych czynników, takich jak temperatura oraz gęstość wody, których nie braliśmy pod uwagę w symulacji.

10 Materiały źródłowe

- W większości korzystaliśmy z pracy autora: Ioannis Karafyllidis
[Link do artykułu](#)
- Wspomagaliśmy się także pracą autorów: Ioannis Vourkas i Georgios Ch. Sirakoulis
[Link do artykułu](#)
- Dane pozyskane od systemu obserwacji Zatoki Meksykańskiej (GCOOS) organizacja nonprofit
[Link do danych](#)
- Deepwater Horizon oil spill Wikipedia
[Link do artykułu](#)
- Intersection over Union CloudFactory
[Link do artykułu](#)