

Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Elektrotechniki, Automatyki,
Informatyki i Inżynierii Biomedycznej

SYMULACJA POWIERZCHNIOWEJ
EKSPANSJI PLAM ROPY NAFTOWEJ W
ŚRODOWISKU WODNYM

Autorzy:

EWELINA RYBCZYŃSKA
WOJCIECH KUMOŃ
TOMASZ KRÓLCZYK

Teoretyczna dywagacja dotycząca
modelu i czynników wpływających na niego.

9 grudnia 2016

Spis treści

1	Wstęp	2
2	Parametry symulacji	4
2.1	Automat komórkowy	4
2.2	Dane wejściowe symulacji	5
2.3	Zmienne parametry symulacji	6
3	Procesy fizyczne wpływające na rozprzestrzenianie się ropy	6
3.1	Procesy niewpływające na własności fizyczne ropy	7
3.1.1	Adwekcja	7
3.1.2	Rozprzestrzenianie	8
3.2	Procesy wpływające na własności fizyczne ropy	9
3.2.1	Rozpuszczanie	9
3.2.2	Parowanie	9
3.2.3	Naturalne rozproszenie	9
3.2.4	Rozproszenie	10
3.2.5	Dotarcie ropy do brzegu	10
3.2.6	Fotooksydencja	10
4	Podsumowanie	10

1 Wstęp

Ropa naftowa w teraźniejszości jest jednym z najważniejszych surowców energetycznych na świecie, to właśnie dzięki niej i jej pochodnym, wykorzystywanym jako surowiec energetyczny do napędzania urządzeń mechanicznych, przemysł który znamy istnieje właśnie w takiej, a nie innej formie. Tak wielkie zapotrzebowanie pociąga za sobą potrzeby wydobywania, a także transportu milionów ton tego surowca dziennie. Najpopularniejszą formą transportu ropy naftowej jest droga morską, morza i oceany przemierzane są przez setki tankowców, a ich dna pokryte są siecią rurociągów. Przy produkcji tak dużych ilości surowca niestety dochodzi do wypadków w trakcie procesu wydobywania bądź w momencie transportu.



Rysunek 1: Wyciek ropy z platformy wiertniczej w Zatoce Meksykańskiej w 2010 roku

Wypadków, które są katastrofalne dla środowiska naturalnego - fauna i flora na terenach objętych katastrofą zostaje doszczętnie zniszczona, a niektóre z okolicznych gatunków całkowicie wyćpiona. Usuwanie skutków wycieków naftowych jest kosztowne, trwa miesiące a nawet lata, a lokalne środowisko długo nie wróci do stanu z przed wycieku.

Im szybsze i konkretniejsze działania podjęte w czasie akcji sprzątającej, tym większe prawdopodobieństwo uratowania środowiska, dlatego już w latach sześćdziesiątych XIX wieku zaczęto prowadzić badania nad trajektorią wycieku ropy oraz tworzone pierwsze modele jej rozprzestrzeniania.

W ciągu ostatnich dekad, wraz z rozwojem urządzeń liczących, udoskonalano matematyczne modele służących do przewidywania i prognozowania rozprzestrzeniania się rozlanej ropy naftowej. Skutkiem tego, naukowcy i ekolodzy mogą prewencyjnie instalować systemy zabezpieczające w punktach newralgicznych wyznaczonych na bazie symulacji po to, by w razie sytuacji wypadkowej ograniczyć zakres wycieku.

Z chemicznego punktu widzenia, ropa naftowa jest ciekłą mieszaniną węglowodorów z niewielkimi domieszkami związków azotu, tlenu, siarki i zanieczyszczeń nieorganicznych.

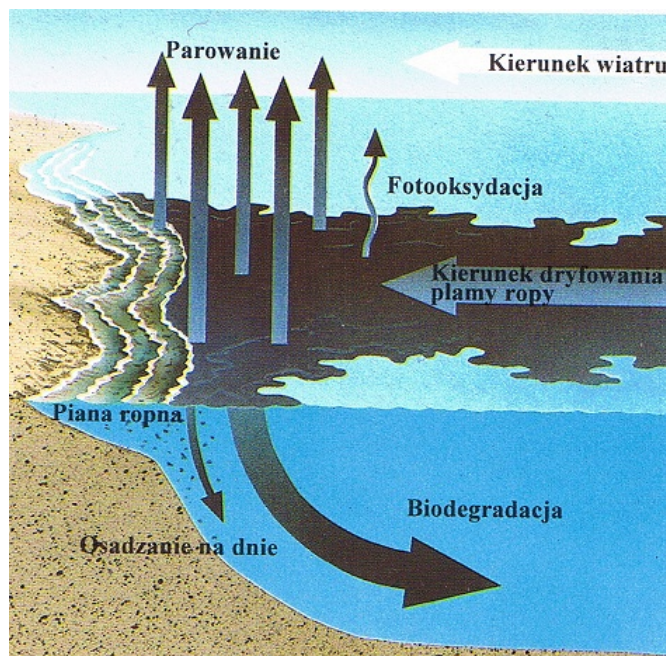
Na jej ekspansję powierzchniową wpływ mają czynniki takie jak:

- grawitacja
- bezwładność
- lepkość
- napięcie powierzchniowe



Rysunek 2: Kalifornijskie wybrzeże zanieczyszczone wyciekami ropy naftowej.

Ropa rozlana w dużej ilości, w bardzo krótkim czasie, na początku rozprzestrzenia się szybko w wodzie. Jest poddawana działaniu fal we wzburzonym morzu, które powodują rozpad ropy na mniejsze krople o różnej średnicy [2].



Rysunek 3: Procesy wpływające na rozprzestrzeniającą się plamę ropy

W przypadku tej pracy, opracowanie modelu ma na celu przewidzenie obszaru wody na którym rozleje się ropa, w funkcji czasu dla zadanych parametrów wejściowych.

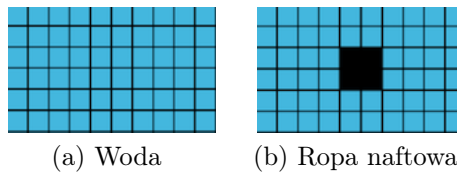
Model konieczny do przeprowadzenia symulacji procesu rozprzestrzeniania się ropy naftowej w zbiornikach wodnych został przedstawiony poniżej.

2 Parametry symulacji

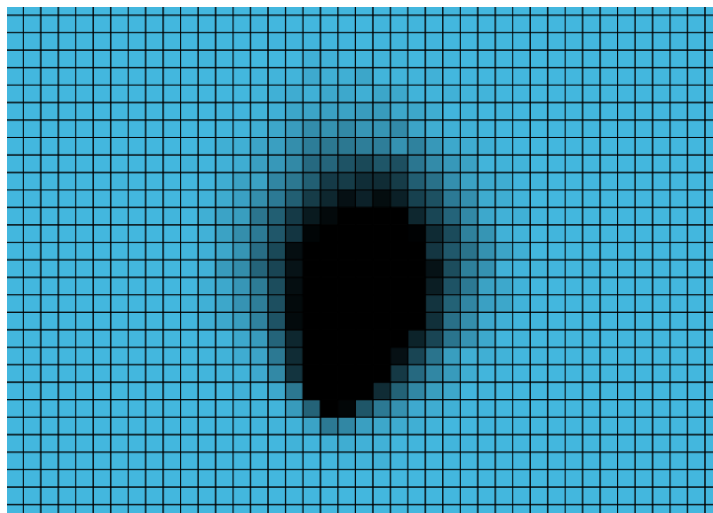
Rozprzestrzenianie się ropy zostanie przedstawione za pomocą dwuwymiarowego automatu komórkowego. Automat komórkowy jest to system składający się z jednakowych komórek, z których każda posiada swój stan. Liczba stanów jest skończona. Dwuwymiarowy model może dostarczyć precyzyjnych estymat na temat lokalizacji ciała. Prędkość prądu morskiego zostaje uśredniona pionowo, co stanowi znaczącą wadę tego rozwiązania. [8]

2.1 Automat komórkowy

W przedstawionym modelu każda komórka może zawierać cząstki ropy, a także być ich źródłem. Źródło posiada zadaną z góry, skończoną liczbę cząstek ropy oraz prędkość (ilość cząstek wypływających do komórki w której znajduje się źródło w ciągu jednej iteracji). Każda cząstka, która jest komórką automatu posiada współrzędne, które są kolejnymi liczbami naturalnymi. Ruch cząstek ropy zależy jest między innymi od adwekcji i procesów rozprzestrzeniania. Cząstka ropy jest nierozrywalna ale posiada właściwości takie jak masa, objętość (właściwości te będą ulegały zmianie na skutek takich zjawisk jak rozpuszczanie, parowanie, fotooksydencja).



Kolor komórki automatu zależy od zawartości ropy w wodzie. Wyjściowy kolor wody to niebieski a ropy czarny. Im więcej ropy znajduje się w wodzie tym ciemniejszy kolor przyjmuje komórka.



Rysunek 4: Gradient kolorów podczas procesu rozprzestrzeniania się ropy

2.2 Dane wejściowe symulacji

Podstawową daną wejściową dla modelu jest topografia terenu (w postaci mapy składającej się z jednakowej wielkości, kwadratowych komórek). Obszar symulacji opisany jest poprzez dwuwymiarowy kartezjański układ współrzędnych (x, y) . Istnieje możliwość przypisania poszczególniej komórce typu - morskiego lub lądowego. Dodatkowo, każda z tych komórek charakteryzuje się zmiennymi parametrami takimi jak grubość warstwy oleju, zawartość wody które wynikają z właściwości cząstki ropy obecnie znajdującej się w konkretnej komórce. Przed rozpoczęciem symulacji, należy również wprowadzić parametry opisujące ropę, takie jak:

- gęstość
- lepkość
- napięcie powierzchniowe
- kompozycja

Parametry, które pozostają stałe przez cały okres trwania symulacji wymienione zostały w tabeli 1.

Tabela 1: Parametry stałe przez cały okres trwania symulacji

Parametr	Wartość
Długość boku komórki	50 m
Liczba wierszy	50-150
Liczba kolumn	50-150
Początkowa masa cząstki ropy	50 kg
Czas pojedynczego kroku	600 s
Współczynnik propagacji	3
Gęstość ropy (15°)	835 kg/m ³

2.3 Zmienne parametry symulacji

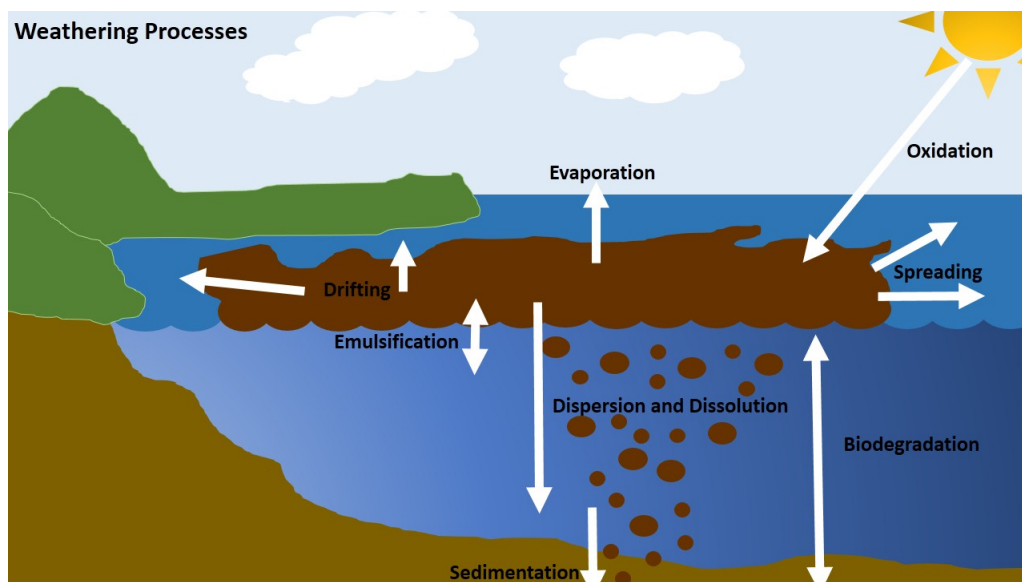
W czasie trwania symulacji istnieje możliwość modyfikacji kierunku wiatru oraz kierunku prądów morskich.

3 Procesy fizyczne wpływające na rozprzestrzenianie się ropy

Na ekspansję powierzchniową ropy wpływa wiele procesów zarówno chemicznych, fizycznych jak i biologicznych. Na owe procesy wpływają zarówno właściwości oleju, takie jak skład gęstość czy lepkość, ale także warunki zewnętrzne, do których należy wiatr, temperatura, prądy morskie, ciśnienia a także zasolenie. Oto najbardziej znaczące:

- parowanie
- naturalna dyspersja
- emulsja
- adwekcja

- interakcja plam ropy z linią brzegową



Rysunek 5: Procesy fizyczne wpływające na rozprzestrzenianie się ropy

Poniżej zostały przedstawione i pokrótce opracowane procesy, które zachodząc mają bezpośredni wpływ na przemieszczanie i rozprzestrzenianie się ropy.

3.1 Procesy niewpływające na własności fizyczne ropy

3.1.1 Adwekcja

Adwekcja jest mechanizmem transportu substancji przez płyn (transport substancji spowodowany jest ruchem płynu). Prędkość unoszonej substancji równa jest prędkości przepływającego płynu.

W przypadku wycieków ropy, adwekcję można interpretować jako znoszenie oleju wywołanego przez prądy morskie. Ruch wody jest podstawowym czynnikiem wpływającym na przemieszczanie się ropy. Ropa przemieszcza się poziomo w środowisku morskim również pod wpływem wiatru, fal oraz prądów. W dwuwymiarowym modelu stosowane są następujące zmienne: prędkość prądu wody oraz prędkość wiatru [11].

$$\Delta v_k = \alpha v^{prdu}(ij) + \beta v^{wiatru}(ij) \quad (1)$$

gdzie:

Δv_k - prędkość w k-tej iteracji

$v^{prdu}(ij)$ - prędkość prądu wody w komórce o współrzędnych (ij)

$v^{wiatru}(ij)$ - prędkość wiatru w komórce o współrzędnych (ij)

α - współczynnik dla wody

β - współczynnik dla wiatru

3.1.2 Rozprzestrzenianie

Proces rozprzestrzeniania polega na zwiększeniu się obszaru oleju z równoczesnym zmniejszeniem się grubości jego warstwy. Równania na rozprzestrzenianie się ropy zostały początkowo opracowane przez Fay'ego (1969, 1971) i Hoult'a (1972) [11]. Rozprzestrzenianie się ropy odpowiada przemieszczaniu się cząstki ropy w modelu. Ruch cząstek ropy jest skorelowany. Model rozprzestrzeniania dzieli się na trzy fazy [8]:

Faza pierwsza - grawitacyjno-inercyjna - dominuje w pierwszej godzinie

Faza druga - grawitacyjno-lepkościowa - ważna w czasie pierwszego tygodnia

Faza trzecia - lepkości powierzchniowej - ważna po 7 dniach

W modelu została uwzględniona faza druga. Wymaga ona obliczenia zmiany masy dla każdej pary komórek przyjmując sąsiedztwo von Neumanna.

$$\Delta m = \frac{1}{2}(m_{i+1} - m_i)(1 - \exp(-2\frac{D}{\Delta x^2}\Delta t)) \quad (2)$$

gdzie:

Δm - zmiana masy między komórkami (znak wskazuje na kierunek przepływu)

Δx - długość boku komórki

Δt - czas przypadający na iterację

m_i - komórka o indeksie i

m_{i+1} - komórka sąsiednia dla komórki o indeksie i

D - współczynnik uwzględniający parametry ropy naftowej

$$D = \frac{0.48}{n^2} \left(\frac{V^2 g \Delta}{v_w^{1/2}} \right)^{1/3} t^{-1/2} \quad (3)$$

gdzie:

n - współczynnik propagacji
 V - objętość ropy naftowej
 g - przyspieszenie ziemskie
 Δ - gęstość ropy naftowej
 v_w - lepkość ropy naftowej
 t - czas przypadający na iterację

3.2 Procesy wpływające na własności fizyczne ropy

3.2.1 Rozpuszczanie

Część składników ropy naftowej może rozpuścić się w wodzie. Proces ten jest zależny głównie od powierzchni ropy będącej w kontakcie z wodą. Trudno uzyskać wartości rozpuszczenia, ponieważ proces odparowywania znacznie szybciej wyczerpuje lotne węglowodory plamy ropy, pozostawiając niewielki odsetek składników do rozpuszczenia się w wodzie.

3.2.2 Parowanie

Parowanie jest ważnym procesem dla większości wycieków ropy. W ciągu kilku dni ropa można stracić nawet do 45% swojej masy. Największą trudność w modelowaniu odparowywania ropy stanowi fakt, iż jest ona mieszaniną setek związków chemicznych. [3]

Proces parowania jest wymagany w celu określenia trwałości wycieku, a także jest podstawą do oszacowania zmian właściwości oleju [11].

3.2.3 Naturalne rozproszenie

Obliczanie naturalnego rozproszenia jest wymagane dla oceny żywotności wycieku oleju. Zależy ono od parametrów środowiska, ale także od parametrów związanych z ropą (grubość warstwy ropy i jej właściwości - gęstość, lepkość, napięcie powierzchniowe).

3.2.4 Rozproszenie

Rozproszenie to proces w którym falowanie powoduje podział powierzchni warstwy oleju na kropelki [8]. Poza odparowywaniem, rozproszenie jest głównym czynnikiem w usuwaniu ropy z powierzchni zbiornika wodnego.

3.2.5 Dotarcie ropy do brzegu

Gdy rozlana ropa osiągnie linię brzegową, jej część pozostaje na plaży oraz mieliźnie natomiast pozostała część zawraca z powrotem do środowiska wodnego. Na podstawie analizy wycieków ropy, zaobserwowano iż zdolność plaży do zachowywania ropy jest ograniczona. Maksymalna ilość ropy, która może znajdować się na różnego typu plażach jest zależna od rodzaju ropy naftowej, jej objętości oraz lepkości, nachylenia plaży.

3.2.6 Fotooksydencja

Fotooksydencja jest procesem, w którym ropa na skutek energii pochodzących z promieni słonecznych ulega utlenianiu. Efektem fotooksydencji może być zmiana lepkości oraz właściwości emulgacji oleju. Wpływ tego procesu zaczyna się po tygodniu od wycieku. Nie jest on znaczący, ponieważ w jego wyniku może ulec redukcji jedynie 1% masy ropy.

4 Podsumowanie

20 kwietnia 2010 roku na zawsze zapisał się w historii przemysłu naftowego na świecie. Około godziny 22 czasu miejscowego, w Zatoce Meksykańskiej doszło do eksplozji na platformie wiertniczej Deepwater Horizon, czego następstwem był rekordowy wyciek ropy naftowej do wody (szacowana ilość wycieku wynosi blisko 5 milionów baryłek). To właśnie dzięki opracowanym modelom rozprzestrzeniania się ropy z wycieku można było drogą symulacji z pewnym prawdopodobieństwem oszacować kierunek i skalę rozprzestrzeniania się wycieku tak, by skupić największą uwagę na miejscach krytycznych i minimalizować straty związane z przemieszczaniem się plamy ropy.



Rysunek 6: Zatoka Meksykańska

Z powyższego przykładu widać, jak istotne jest dokładne i uważne podejście do teoretycznego przygotowania modelu tak, by oparta na nim symulacja jak najmniej odbiegała od rzeczywistej reprezentacji problemu. Dokładność tę uzyskuje się poprzez rzeczowe przeanalizowanie czynników i procesów wpływających na stan modelu, im więcej zaimplementowanych rzeczywistych czynników, tym bliższa przypadkowi realnemu będzie symulacja.

Literatura

- [1] Maciej Gług, Jarosław Wąs *Modeling of oil spill spreading disasters*
- [2] K. S. Aravamudan, P. K. Raj, Arthur D. Little *Simplified models to predict the breakup of oil on rough seas*
- [3] Merv F. Fingas *Modeling Oil and Petroleum Evaporation*
- [4] James A. Fay *Physical processes in the spread of oil on a water surface*
- [5] James C. Huang, Raytheon Company *A review of the state-of-the-art of oil spill fate/behavior models*
- [6] Eilleen Ao-Ieong, Anna Chang, Steven Gu *A Simplified Model of Oil Diffusion in Water*
- [7] Barbara Kurc, Janusz Chrzanowski Ewa Abramowska *Zagrożenia rozlewami szkodliwych chemikaliów oleistych na morzu*
- [8] Huseyin Murat Cekirge *Mathematical modeling of oil spilled into marine waters*
- [9] D. R. Blaikley, G. F. L. Dietzel, A. W. Glass, P. J. van Kleef *Sliktrak - a computer simulation of offshore oil spills, cleanup, effects and associated costs*
- [10] Kenneth Lee, Zhengkai Li, Michel C Boufadel *Modeling Oil Droplet Formation and Evolution under Breaking Waves*
- [11] Mark Reed, Øistein Johansena, Per Johan Brandvik, Per Daling, Alun Lewis, Robert Fiocco, Don Mackay, Richard Prentki *Oil Spill Modeling towards the Close of the 20th Century: Overview of the State of the Art*
- [12] Remigiusz Dzikowski, Piotr Głogowski *Przewidywanie rozprzestrzeniania się rozlewu olejowego wywołanego potencjalnym wyciekami na platformie wydobywczej w północno-wschodniej części morza kaspijskiego w warunkach zaledzenia*
- [13] Independent Petroleum Laboratory <http://www.ipl.co.nz/ipl-blog/understanding-oil-weathering-processes-in-open-ocean-spills>