

Jolanta Mazurek, Leszek Smolarek, Kamil Wysocki

Ograniczanie ekspansji rozlewu olejowego - model symulacyjny

JEL: Q01 DOI: 10.24136/atest.2018.372

Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

Artykuł przedstawia model symulacyjny ograniczania ekspansji rozlewu olejowego. W pracy omówiono założenia i przeznaczenie modelu. Przedstawiono składowe oraz architekturę programu komputerowego, na podstawie którego zbudowano model symulacyjny. Zaprezentowano panel konfiguracji programu oraz przedstawiono funkcjonalność poszczególnych elementów panelu. Istotny element artykułu stanowi wynik działania programu przedstawiony za pomocą wybranego przykładu oraz zestawienie parametrów uzyskanych na drodze symulacji. Podejście symulacyjne dostarcza parametry ograniczania rozlewu olejowego scharakteryzowane ilościowo co pozwala analizować przebieg symulowanych działań ratowniczych.

Słowa kluczowe: model symulacyjny, rozlew olejowy, ograniczanie.

Wstęp

Model symulacyjny został zbudowany jako narzędzie wspomagające analizę działań ratowniczych, które należy podjąć w sytuacji kryzysowej polegającej na powstaniu zagrożenia spowodowanego nagłym pojawieniem się na morzu rozlewu olejowego przybierającego rozmiar katastrofy ekologicznej. Przedmiotem symulacji jest rozlew olejowy, który w wyniku wypadku pojawia się na akwenie wodnym oraz akcja ratownicza polegająca na otoczeniu rozlewu olejowego ciągiem zapór dla zapobieżenia dalszej ekspansji rozlewu na powierzchni wody. Program komputerowy pozwala prognozować zmiany zachodzące w czasie. Głównym założeniem modelu symulacyjnego było uwzględnienie wzajemnego oddziaływania rozlewu oraz akcji ratowniczej.

Modelowanie rozlewów olejowych, a w szczególności procesów zachodzących po powstaniu rozlewu olejowego, jest tematem wielu badań. Prace [2,9,10] przedstawiają przegląd modeli opisujących procesy fizyczne i chemiczne zachodzące po przedostaniu się oleju do wody. W najnowszych badaniach [2] do modelowania rozprzestrzeniającej się plamy olejowej wykorzystuje się diagramy Woronoja oraz błądzenie losowe. Powierzchnia plamy olejowej, reprezentowana przez diagram, aktualizuje się w każdym kroku czasu pod wpływem procesu rozprzestrzeniania reprezentowanego za pomocą błądzenia losowego. W modelu ekspansji rozlewu olejowego również wykorzystano grafy, których stan przedstawia wzajemne oddziaływanie rozlewu i akcji ratowniczej.

1. Modelowanie ograniczania ekspansji rozlewu olejowego

Przy modelowaniu niezbędne jest wyodrębnienie analizowanego zjawiska z otaczającej go rzeczywistości, co narzuca podział na elementy systemu oraz elementy otoczenia [5]. Elementy systemu, istotne pod kątem budowanego modelu, obejmują plamę olejową oraz siły i środki ratownictwa dostępne do przeprowadzenia akcji ratowniczej. Elementy otoczenia, mające znaczenia drugorzędne w pracy nad modelem symulacyjnym, to warunki hydro-meteorologiczne panujące na akwenie oraz procesy fizyczne i chemiczne, które zachodzą podczas przedostania się oleju do morza.

Przy budowie modelu zidentyfikowano i wyodrębniono parametry wejściowe oraz parametry wyjściowe badanego systemu [4]. Parametry wejściowe:

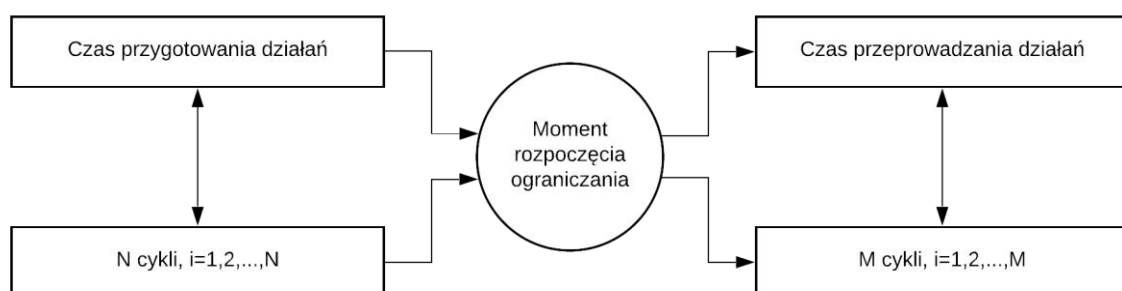
- początkowa wielkość plamy olejowej,
- wielkość plamy olejowej w momencie rozpoczęcia akcji ratowniczej,
- moment rozpoczęcia akcji ratowniczej,
- liczba środków dostępnych do przeprowadzenia akcji ratowniczej.

Wielkości wyjściowe systemu, mierzone w momencie zakończenia akcji ratowniczej:

- końcowa wielkość plamy olejowej,
- czas trwania akcji ratowniczej,
- liczba środków użytych do przeprowadzenia akcji ratowniczej.

Model symulacyjny został zbudowany, by zbadać wzajemne oddziaływanie parametrów modelowanego systemu.

Podstawowym założeniem modelu jest wprowadzenie umownej jednostki czasu zdefiniowanej jako cykl. Proces ekspansji rozlewu oraz akcji ratowniczej przebiega w czasie mierzonym za pomocą cykli. Określenie pomiaru czasu za pomocą cykli pozwoliło zdefiniować prawa i reguły wzajemnego oddziaływania rozlewu i akcji ratowniczej oraz transformować wielkości występujące w systemie na parametry mierzalne. W modelu wyszczególniono podział czasu na dwie fazy. Faza pierwsza obejmuje przygotowanie działań ratowniczych, od momentu pojawienia się rozlewu olejowego do momentu rozpoczęcia ograniczania. Faza druga obejmuje przeprowadzanie działań, czyli akcją ratowniczą polegającą na ograniczeniu ekspansji rozlewu. Punktem zwrotnym podjętych działań ratowniczych jest moment rozpoczęcia ograniczania. Ilość cykli przygotowywania działań istotnie



Rys. 1. Modelowanie czasu ograniczania ekspansji rozlewu olejowego (opracowanie własne)

wpływa na ilość cykli przeprowadzania działań. Podział czasu przedstawia diagram na rysunku 1.

Model został zbudowany na grafie kratowym, który odwzorowuje akwen wodny. Wierzchołki kraty odpowiadają ustalonym fragmentom akwenu, a krawędzie kraty reprezentują kontakt pomiędzy sąsiednimi obszarami. W modelu zdefiniowano parametr N określający ilość cykli, które upłyną od momentu pojawienia się rozlewu olejowego do momentu rozpoczęcia akcji ratowniczej. Jest to liczba cykli, w czasie których rozlew rozprzestrzeni się na kracie – wierzchołki zajęte przez olej infekują swoich sąsiadów. W każdym cyklu zwiększa się obszar zajęty przez rozlew. Ekspansja rozlewu odbywa się w polu kołowym zgodnie z początkową fazą rozprzestrzeniania [1]. Odpowiedni wybór skali parametrów długości cyklu i obszaru odpowiadającego jednemu wierzchołkowi wiąże się z dokładnością modelu: czym mniejsza jednostka wskazanych parametrów tym dokładność modelu jest większa. W celu przeprowadzenia symulacji należy podać odpowiedni parametr N . Drugi parametr, niezbędny do przeprowadzenia symulacji, to liczba środków, w postaci barier przeciwolejujących, dostępnych do ograniczenia ekspansji rozlewu. Należy podać liczbę barier, jakie w czasie akcji ratowniczej będą dostępne w każdym cyklu. Akcja ratownicza polega na ustawianiu barier w taki sposób, by jak najszybciej ograniczyć ekspansję rozlewu. Algorytm otaczania rozlewu składa się z działań ratowniczych podzielonych na działania ataku i działania obrony. Bariery umieszcza się wokół rozlewu na wierzchołkach, które nie zostały jeszcze zanieczyszczone olejem. Początkowy stan wierzchołków jest pusty, następnie pusty wierzchołek może zostać zajęty przez rozlew lub ochroniony przez ustawienie na nim zapor. Stan wierzchołków zajętych przez rozlew lub zaporę nie zmienia się do końca trwania procesu. Liczba barier w każdym cyklu symulacji może być stała lub można ją zmieniać. Taka funkcja pozwala rozważać, jak zmieniają się parametry wyjściowe symulacji pod wpływem zwiększenia lub zmniejszenia liczby środków dostępnych do ograniczania ekspansji rozlewu.

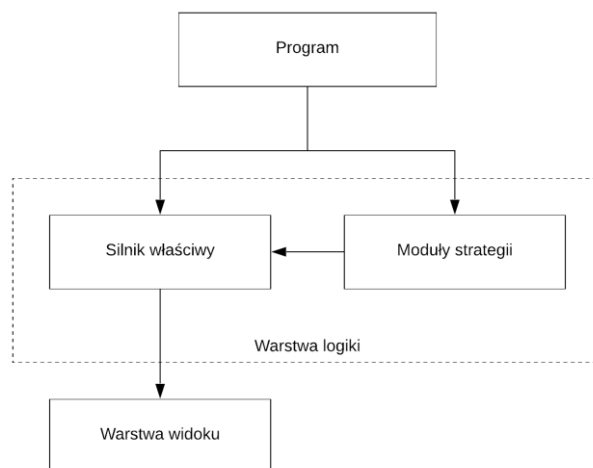
W modelu symulacyjnym uwzględniono trzy rodzaje krat, pozwalające analizować różne warunki ograniczania; dla każdej z krat zbudowano dwie różne strategie ograniczania rozlewu. Opis analizowanego systemu za pomocą grafu kratowego oraz algorytmu ograniczania rozlewu zostały zainspirowane „algorytmem strażaka”, gdzie głównym celem badań jest otoczenie pożaru wykorzystując minimalną liczbę strażaków [3,7,8].

2. Budowa i architektura programu

Program symulacji ograniczania ekspansji rozlewu olejowego został wykonany jako aplikacja internetowa. Takie rozwiązanie zapewnia możliwość dostępu do aplikacji z dowolnego komputera, bez ko-

nieczności instalowania żadnych dodatkowych pakietów lub środowiska programistycznego. Do użycia programu niezbędna jest jedynie przeglądarka internetowa. Program jest napisany w języku JavaScript. Ze względu na konieczność uniknięcia niepotrzebnego narzutu wydajnościowego, aplikacja jest utworzona w wariacie tzw. Vanilla JS, czyli bez wykorzystania żadnych zewnętrznych bibliotek lub modułów mogących taki narzut wprowadzać.

Pod kątem architektury program można podzielić na dwie główne części: silnik właściwy oraz moduły strategii. Rysunek 2 przedstawia główne elementy programu. Funkcjonalność poszczególnych elementów programu prezentuje rysunek 3.

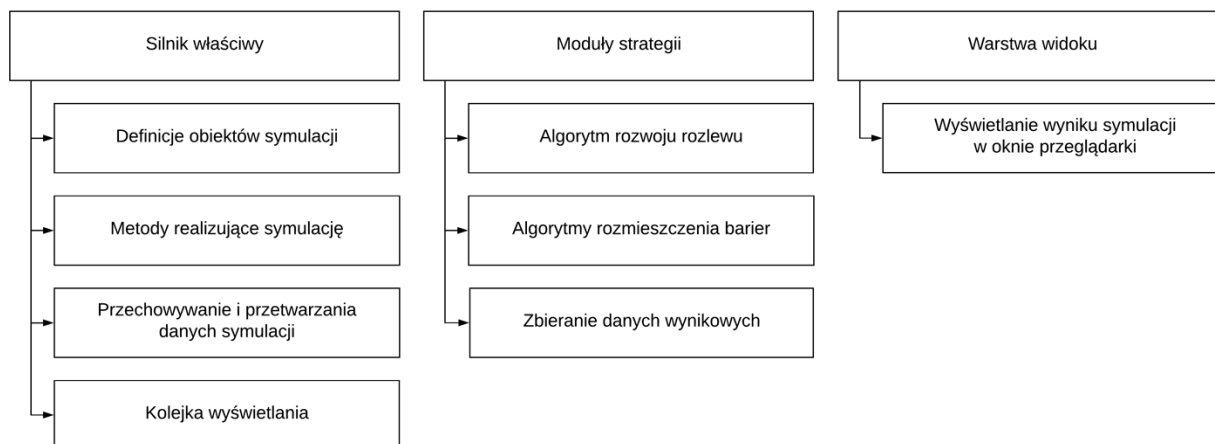


Rys. 2. Schemat implementacji algorytmu strategii z wykorzystaniem środowiska programistycznego (opracowanie własne)

Moduły strategii zawierają metody opisujące przebieg symulacji: algorytm rozwoju rozlewu oraz algorytmy rozmieszczania barier w zależności od rodzaju kraty oraz strategii. Moduły strategii zawierają również funkcje odpowiedzialne za zbieranie danych wynikowych.

Silnik aplikacji to główna część symulatora składająca się z dwóch warstw. Pierwsza warstwa to warstwa logiki, druga warstwa to warstwa widoku. Warstwa logiki zawiera definicje obiektów biorących udział w symulacji: punktów rozlewu, barier obrony oraz barier ataku.

Warstwa logiki wykorzystuje moduły strategii w celu przeprowadzenia symulacji. Zawiera całą logikę wspólną programu, czyli metody potrzebne do zrealizowania symulacji bez względu na obraną strategię. Wśród nich są funkcje odpowiedzialne za detekcję ustawionych już barier, wyznaczanie pozycji kolejnych barier obrony, przetwarzanie parametrów symulacji i wykonywanie kolejnych iteracji. Warstwa logiki jest odpowiedzialna za przechowywanie informacji na



Rys. 3. Funkcjonalność elementów programu (opracowanie własne)

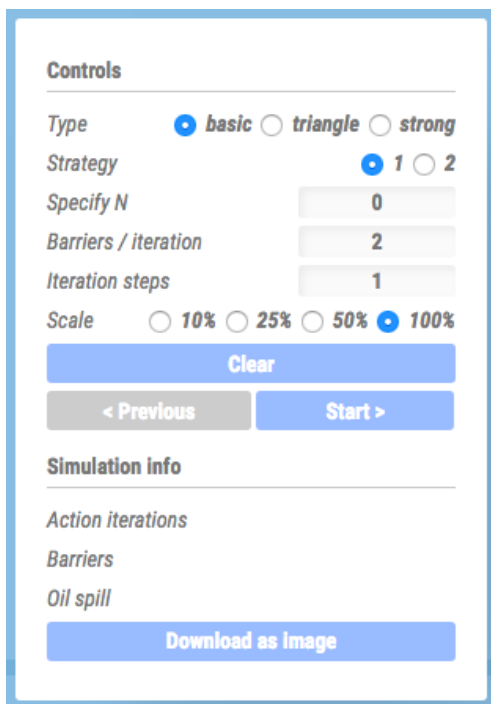
temat wszystkich obiektów symulacji. Zawiera również kolejkę renderowania (wyświetlania), która przekazywana jest do warstwy widoku.

Warstwa widoku zajmuje się graficznym przedstawieniem symulacji w oknie przeglądarki. W tym celu wykorzystuje kolejkę renderowania. Kolejka ta zawiera wszystkie elementy, które oczekują na wyświetlenie na ekranie. Kolejka renderowania jest aktualizowana we wszystkich iteracjach, natomiast wyświetlana i czyszczona jest dopiero po zakończeniu liczby iteracji zdefiniowanej przez użytkownika jako parametr symulacji (iteration steps). Zastosowanie takiego rozwiązania ogranicza obciążanie przeglądarki niepotrzebnymi aktualizacjami widoku w trakcie trwania symulacji i wykonywania obliczeń.

W aplikacji internetowej programu ograniczenia ekspansji rozlewu olejowego użyto języka angielskiego, ze względu na jego uniwersalność. Wszystkie rysunki, będące wynikiem działania programu, są w języku angielskim.

3. Panel konfiguracji programu

Rysunek 4 prezentuje panel konfiguracji programu - „Controls”. Dane wejściowe wprowadzane przez użytkownika obejmują wartość parametru N odpowiadającą liczbie cykli, które upłyną od momentu pojawienia się rozlewu do momentu rozpoczęcia akcji ratowniczej, oraz parametr akcji ratowniczej, czyli liczbę barier dostępnych w każdym cyklu akcji. Należy wybrać również jedną z dwóch dostępnych strategii oraz typ kraty: „basic” to krata Kartezjańska, „triangle” - krata trójkątna, „strong” - krata mocna.



Rys. 4. Panel konfiguracji programu

Parametr „Iteration steps” to możliwość wyboru liczby iteracji, które będzie wyświetlał program. Użycie przycisku „Start” rozpoczyna proces symulacji. W oknie pojawia się obraz przedstawiający wybraną liczbę iteracji zdefiniowanego rozlewu i akcji ratowniczej. Przycisk „Start” zamienia się na przycisk „Next”. Kolejne kliknięcia przycisku „Next” powodują wyświetlanie w oknie programu kolejnej liczby iteracji. Wartość „iteration steps” można zmienić w każdej chwili działania programu i za pomocą przycisków „Next” i „Previous” odpowiednio dodawać i odejmować kolejne kroki iteracji wyświetlanego procesu. Podczas pracy programu można zmieniać również liczbę barier dostępnych w cyklu akcji.

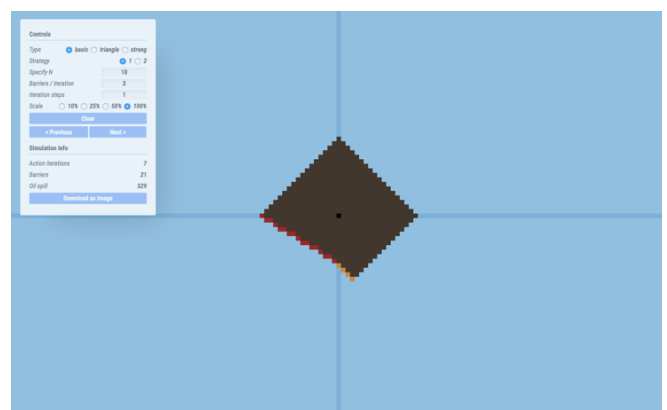
Przycisk „Clear” powoduje usunięcie wyniku przeprowadzanej symulacji. Istnieje możliwość zapisu wyniku symulacji do pliku.

Na panelu konfiguracji programu umieszczono również informacje dotyczące wyniku symulacji. Program podaje liczbę iteracji ograniczenia rozlewu, liczbę użytych barier oraz obszar zajęty przez rozlew (liczbę zajętych wierzchołków).

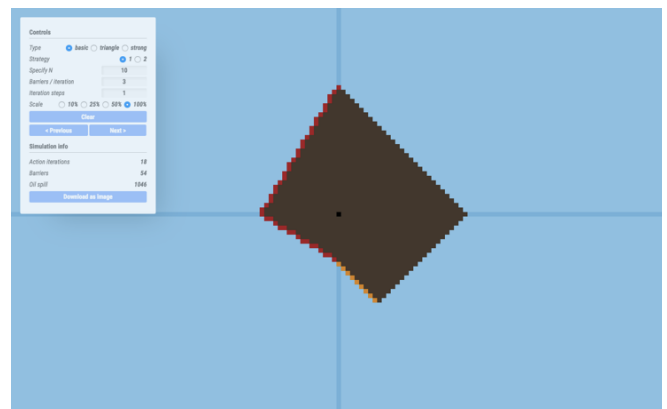
Wyświetlany wynik symulacji można zmniejszać oraz zwiększać. Zastosowano również skalę umożliwiającą wyświetlenie wyniku symulacji w dwukrotnym pomniejszeniu, czterokrotnym pomniejszeniu lub dziesięciokrotnym pomniejszeniu. Możliwość pomniejszania obrazu jest przydatna przy symulacjach z małą ilością środków do ograniczenia rozlewu oraz przy symulacjach z dużymi rozlewami.

4. Algorytm ograniczania ekspansji rozlewu olejowego

Algorytm ograniczania ekspansji rozlewu olejowego pozwala otoczyć rozlew linią barier, by zapobiec jego dalszemu rozprzestrzenieniu. Działanie algorytmu prezentują rysunki 5-8.

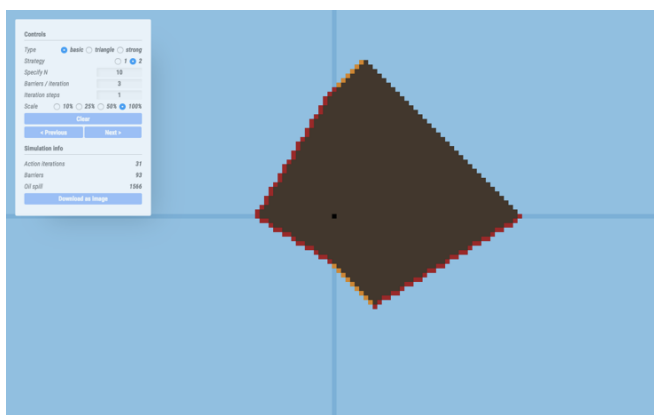


Rys. 5. Etap I ograniczania ekspansji rozlewu olejowego na kratce Kartezjańskiej

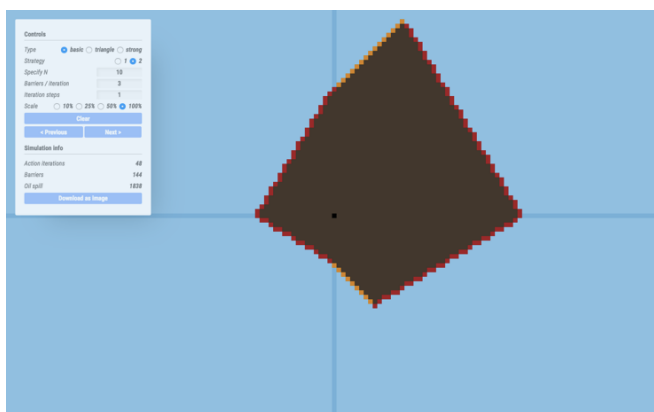


Rys. 6. Etap II ograniczania ekspansji rozlewu olejowego na kratce Kartezjańskiej

Algorytm zawarty w modułach strategii określa sposób i kierunek działań ratowniczych polegających na rozmieszczeniu kolejnych zapór. Dla każdej z krat istnieją dwie strategie ograniczania. W obu strategiach zastosowano podział działań na działania obronne i działania polegające na ataku. Działania w obronie polegają na wykorzystaniu minimalnej liczby środków zapobiegającej, by rozlew nie wyprzedził linii barier. Działania w ataku to wykorzystanie pozostałej liczby zapór w taki sposób, by jak najszybciej okrążyć rozlew. Strategie różnią się kierunkiem przeprowadzanych działań. W strategii I działania w obronie i w ataku przeprowadzane są cały czas w tym samym kierunku. W strategii II następuje zamiana kierunku działań.



Rys. 7. Etap III ograniczania ekspansji rozlewu olejowego na kracie Karczejańskiej



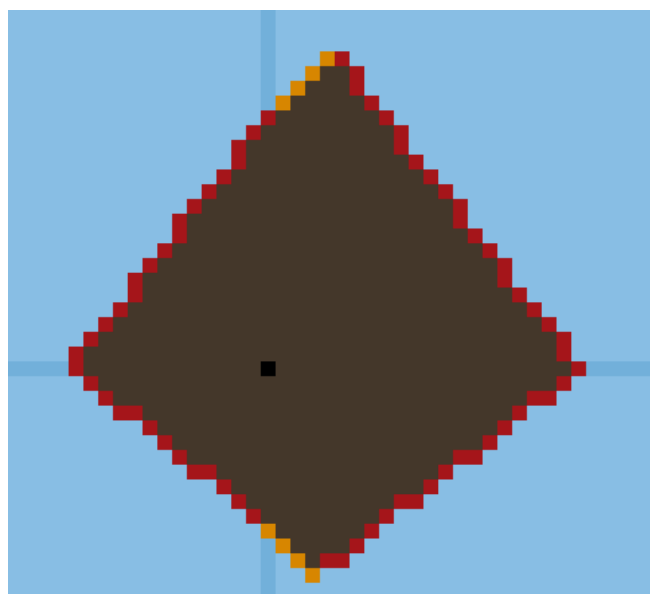
Rys. 8. Etap IV ograniczania ekspansji rozlewu olejowego na kracie Karczejańskiej – zakończenie akcji ratowniczej

Rysunki 5-8 przedstawiają kolejne etapy ograniczania rozlewu na kracie Karczejańskiej przy użyciu strategii II. Kolor brązowy oznacza rozlew. Kolor czerwony i żółty to odpowiednio bariery ataku i obrony. Środek plamy olejowej, oznaczony kolorem czarnym, wyznacza środek układu współrzędnych. Akwen wodny należy interpretować jako układ współrzędnych. Na kracie Karczejańskiej algorytm ustawiania barier ataku zmienia się w zależności od ćwiartki, w której prowadzi się działania. Oba algorytmy pozwalają ukończyć ograniczanie rozlewu olejowego.

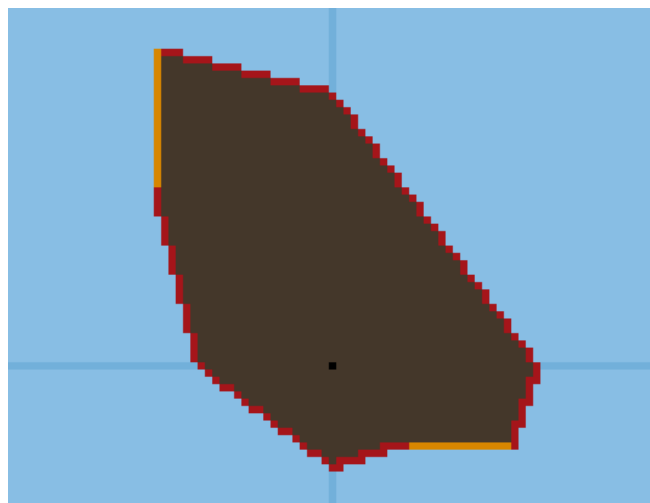
5. Przykładowe wyniki symulacji

Po wybraniu odpowiednich parametrów użytkownik na ekranie komputera może śledzić kolejne kroki akcji ograniczania ekspansji rozlewu. Ostateczny wynik symulacji przedstawia stan rozlewu w momencie zakończenia akcji ratowniczej. Jest to otoczony rozlew olejowy, który nie może się dalej rozprzestrzeniać. Rysunki 9-11 to obrazy otrzymane na drodze symulacji za pomocą programu komputerowego (zrzut ekranu).

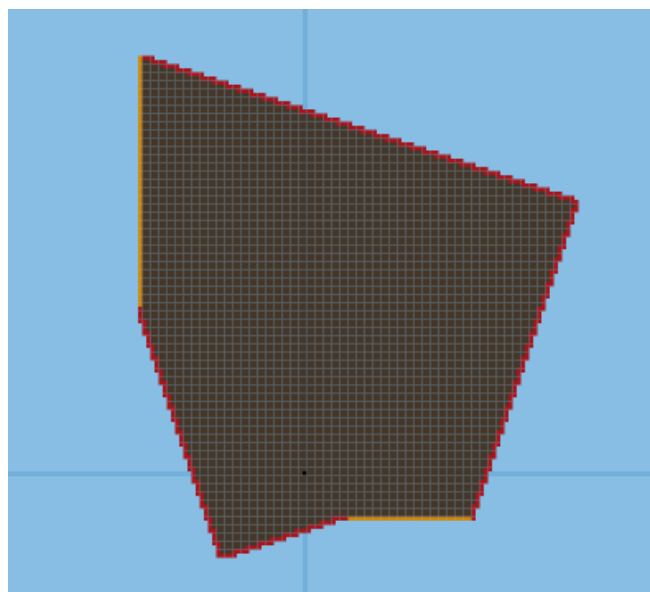
Wyniki symulacji zaprezentowane na rysunkach 9-11 prezentują różnorodność krat wykorzystanych w opisywanym modelu. Przeprowadzone symulacje przedstawiają rozlew olejowy o parametrze $N=10$ oraz działania ratownicze, gdzie w każdym cyklu akcji użyto 5 barier na cykl. Taka liczba środków do ograniczenia rozlewu daje zupełnie różne wyniki dla każdej z krat. Działania ratownicze zostały przeprowadzone przy użyciu strategii II ograniczania ekspansji rozlewu olejowego.



Rys. 9. Ograniczenie ekspansji rozlewu olejowego na Kracie karczejańskiej (skala 100%)



Rys. 10. Ograniczenie ekspansji rozlewu olejowego na kracie trójkańskiej (skala 50%)



Rys. 11. Ograniczenie ekspansji rozlewu olejowego na kracie mocnej (skala 25%)

Rysunek 9 przedstawia wynik symulacji na kracie Kartezjańskiej, gdzie przy użyciu takiej liczby barier stosunkowo szybko ograniczono ekspansję. Czas ograniczania trwał 16 cykli, do ograniczania użyto 77 barier, a rozlew zajął 577 wierzchołków.

Rysunek 10 prezentuje wynik symulacji na kracie trójkątnej. Ze względu na wielkość obrazu zastosowano skalę 50%. Akcja ograniczania rozlewu trwała 33 cykle, łącznie użyto 164 bariery. Rozlew olejowy rozprzestrzenił się na 1782 wierzchołki.

Na rysunku 11 w skali 25% zaprezentowano ograniczenie ekspansji rozlewu olejowego na kracie mocnej. Dane wyjściowe symulacji zaprezentowano na panelu konfiguracyjnym programu - rysunek 12. W czasie akcji ratowniczej, która trwała 91 cykli, użyto 454 bariery, a ekspansja rozlewu objęła 8596 wierzchołków.

Controls

Type basic triangle strong

Strategy 1 2

Specify N

Barriers / iteration

Iteration steps

Scale 10% 25% 50% 100%

Simulation info

Action iterations	91
Barriers	454
Oil spill	8596

Rys. 12. Dane wyjściowe symulacji - panel konfiguracji programu

Parametry wejściowe, czyli początkowa wielkość rozlewu olejowego oraz liczba środków dostępnych do przeprowadzenia działań ratowniczych, są identyczne dla każdej z przedstawionych symulacji (rysunki 9-11). Działania ratownicze przeprowadzone na każdej z krat znacznie różnią się pod względem uzyskanych parametrów wyjściowych. Czas ograniczania oraz ilość użytych barier są ponad dwa razy większe na kracie trójkątnej niż na kracie Kartezjańskiej i prawie sześć razy większe na kracie mocnej niż na kracie Kartezjańskiej. Wielkość rozlewu olejowego w momencie zakończenia akcji jest ponad trzy razy większa na kracie trójkątnej niż na kracie Kartezjańskiej i prawie 15 razy większa na kracie mocnej niż na kracie Kartezjańskiej.

Różnorodność uzyskanych wyników pozwoli wykorzystać stworzony model do analizy działania systemu w różnych warunkach wpływających na efektywność prowadzonych działań ratowniczych.

Podsumowanie

Zaprezentowany model symulacyjny odwzorowujący wzajemne oddziaływanie rozlewu olejowego oraz akcji ratowniczej ograniczania ekspansji rozlewu stanowi pewnego rodzaju grę decyzyjną [6]. Projektowanie symulacyjnych gier decyzyjnych polega na odwzorowaniu rzeczywistości za pomocą modeli dla celów poznawczych i celów prognostycznych. Stosowanie gier na potrzeby szkoleniowe pozwala

wnikliwie przeanalizować i zrozumieć badane zjawisko jak również przewidywać zachowanie modelowanego obiektu.

Przy pomocy programu komputerowego wykonano szereg symulacji przeprowadzonych dla różnych parametrów wejściowych. Baza uzyskanych wyników pozwoliła szczegółowo przeanalizować proces akcji ratowniczej oraz wpływ parametrów wejściowych na parametry wyjściowe. Wyniki otrzymane drogą symulacji zostaną użyte do badania wpływu rozmieszczenia i liczby środków ratownictwa na ostateczną ocenę akcji ratowniczej pod kątem parametrów ekologicznych i ekonomicznych.

Bibliografia:

1. Bolałek J., Ochrona środowiska morskiego od teorii do praktyki, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, 2016.
2. Durgut I., Reed M., Modeling spreading of oil slicks based on random walk methods and Voronoi diagrams, Marine Pollution Bulletin, 118(1-2), 2017.
3. Fogarty P., Catching the Fire on Grids, Master of Science Thesis, Department of Mathematics, University of Vermont, 2003.
4. Gutenbaum J., Podstawy modelowania matematycznego, Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej i Zarządzania, Warszawa 2001.
5. Jacyna M., Modelowanie i ocena systemów transportowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2009
6. Kalinowski M., Dylematy projektowania i stosowania symulacyjnych gier decyzyjnych w rozwoju pracowników, Journal of Management and Finance, Vol. 14, No.1, 2016.
7. Messinger M. E., Average firefighting on infinite grids, Australian Journal of Combinatorics 41, pp. 15-28, 2008.
8. Messinger M. E., Firefighting on the Triangular Grid, Journal of Combinatorial Mathematics and Combinatorial Computing 63, 37-45, 2007.
9. Reed M., Johansen Ø., Brandvik R. J., Daling P., Lewis A., Fiocco R., Mackay D., Prentki R., Oil spill modeling toward the close of the 20th century: overview of the state of the art, Spill Science and Technology Bulletin 5, 3-16, 1999.
10. Spaulding M. L., State of the art review and future directions in oil spill modeling, Marine Pollution Bulletin 115(1), 7-19, 2017.

Limiting the oil spill expansion - simulation model

The article presents a simulation model limiting oil spill expansion. The work discusses the assumptions and purpose of the model. The components and the architecture of the computer program were presented based on which the simulation model was built. Configuration panel of the program and specific functions of the elements of the panel were presented. The important element of the article is result of the program shown by the means of the chosen example and parameters comparison that resulted from the simulation. Simulation approach delivers parameters limiting the oil spill expansion characterized in quantity that allows to analyse simulated rescue actions.

Keywords: simulation model, oil spill, limiting.

Autorzy:

dr hab. inż. **Leszek Smolarek**, prof. UMG - Uniwersytet Morski w Gdyni - Katedra Transportu i Logistyki

mgr inż. **Jolanta Mazurek** - Uniwersytet Morski w Gdyni - Katedra Matematyki

mgr inż. **Kamil Wysocki** – współautor programu komputerowego (implementacja algorytmów i interfejsu graficznego)