

*Remigiusz Dzikowski\*, Piotr Głogowski\**

## PRZEWIDYWANIE ROZPRZESTRZENIANIA SIĘ ROZLEWU OLEJOWEGO WYWOŁANEGO POTENCJALNYM WYCIEKIEM NA PLATFORMIE WYDOBYWCZEJ W PÓŁNOCNO-WSCHODNIEJ CZĘŚCI MORZA KASPIJSKIEGO W WARUNKACH ZAŁODZENIA

---

### **1. Wstęp**

Wydobycie surowców naturalnych na morzu stwarza ryzyko związane z zanieczyszczeniem zarówno środowiska morskiego jak i linii brzegowej. Usuwanie takich zanieczyszczeń, szczególnie rozlewów olejowych jest w tym środowisku zwykle bardzo utrudnione w związku ze zmiennością warunków hydrometeorologicznych. Istotnym zagadnieniem w realizacji akcji usuwania i zatrzymania rozlewu jest określenie kierunku rozprzestrzeniania się substancji olejowej w celu optymalnego użycia dostępnych sił i środków. Rozlew olejowy na powierzchni wody zachowuje się bardzo różnie w zależności od jego składu chemicznego a także od parametrów hydrologicznych akwenu. Morze Kaspijskie jest akwenem bardzo specyficznym. Jego dopływy to rzeki, które mają duży wpływ zarówno na zasolenie, gęstość, parametry prądów oraz poziom wody. Obszary, gdzie wydobywa się ropę w części roku są całkowicie zlodzone. Pojawia się problem budowy konstrukcji chroniących urządzenia wydobywcze przed działaniem napierającego lodu a także zabezpieczenia środowiska morskiego przed zanieczyszczeniem. Akwen ten posiada unikalny ekosystem, który może być zagrożony przez zanieczyszczenia pochodzące z przemysłu wydobywczego.

### **2. Charakterystyka hydrologiczna Morza Kaspijskiego**

Morze Kaspijskie ze względu na ułożenie geograficzne jest akwenem specyficznym pod względem różnic zasolenia, temperatur, kierunku działania prądów, dryfu lodu, falowania

---

\* Wydział Nawigacyjny, Akademia Morska w Szczecinie

występujących na obszarze tego morza [4]. Do Morza Kaspijskiego dostęp ma pięć państw. Są to: Azerbejdżan, Iran, Turkmenistan, Kazachstan i Rosja. Długość linii brzegowej to 5580 km. Długość południkowa to 1225 km. W najszerszym miejscu Morze Kaspijskie rozpościera się na dystansie 566 km. Obszar akwenu to 436 000 km<sup>2</sup>. Maksymalna głębokość to 1025 m. Średnia wartość głębokości Morza Kaspijskiego to 184 m. Naj płytszy akwen to część północna, gdzie średnie głębokości nie przekraczają 10 m a około 20% wód posiada mniej niż 1 m. Najgłębsza jest część południowa, gdzie średnie głębokości to 300 m.

Wielkość różnic temperatur wody ze względu na rozciągłość południkową jest widoczny szczególnie zimą, kiedy w północnej płytkiej części temperatura to 0–0,5° a w południowej w granicach 10–11°. W okresie letnim różnica ta jest znacznie mniejsza gdyż na północy to 24–25° a na południu 25–26°. Średnia roczna temperatura powietrza to 10° w północnej części i 17° w południowej. Najbardziej zimnym miesiącem jest zwykle luty. Wówczas to średnie temperatury wahają się w zakresie od –5° do –10° w części północnej oraz od –1° do –5° w części południowej akwenu.

Zasolenie także zmienia się południkowo. W obszarze, gdzie morze zasilane jest wodą z rzeki Wołgi zasolenie to 5–10 gr/l aczkolwiek w części, gdzie spotykają się wody dopływów Wołgi, Uralu i rzeki Terek to tylko 2–4 gr/l. Południowa część morza posiada zasolenie na poziomie 13 gr/l. Największe zasolenie znajduje się w zatoce Kara-Bogaz i wynosi 300–350 gr/l.

Falowanie na Morzu Kaspijskim jest także specyficzne. Dominujące na obszarze północnej części to wysokość średniej fali 3 m o średnim okresie 10 sek. i długości 85 m. W południowej oraz środkowej części to wysokości 2–3 m i średnim okresie 4 sek. i długości 16 m. Największe falowanie odnotowano wokół półwyspu Absheron. Podczas długotrwałych wiatrów północnozachodnich falowanie dochodzi do wysokości 7,5–8 m.

Kierunek prądów na Morzu Kaspijskim ściśle uzależniony jest od kierunku dominujących wiatrów, różnicy temperatur pomiędzy częścią północną, środkową i południową akwenu a także wpływu ruchu wody zasilającej morze szczególnie dopływem Wołgi oraz od działania siły Coriolisa, którą wzmacnia także dopływ rzeki Ural. Wody wychodzące z rzeki wymuszają prądy o kierunku wschodnio-południowym idące wzdłuż zachodniego wybrzeża. W środkowej części Morza Kaspijskiego pod działaniem siły Coriolisa prądy skierowane są w kierunku północnym i północno zachodnim szczególnie wzdłuż wschodniego wybrzeża.

Morze Kaspijskie jest obszarem występowania silnych wiatrów szczególnie w okresie od listopada do marca, gdzie średnie siły wiatru to 6° w skali Beauforta. Dominującymi kierunkami wiatru są kierunki wschodnie, ale równie często występują wiatry zachodnie i północno-zachodnie.

Zalodzenie na akwenu Morza Kaspijskiego rozpoczyna się już od listopada. Zwykle część północna pokryta jest całkowicie lodem. Lód osiąga maksymalną grubość w styczniu. Topnieje dopiero w kwietniu. Podczas łagodnych zim zazwyczaj tylko wody o głębokości poniżej 2–3 m są pokryte są całkowicie lodem. Kierunek dryfowania lodu jest zgodny z kierunkiem wiatru, zwykle z północy na południe.

### 3. Zagrożenie rozlewami olejowymi

Od końca XIX wieku na Morzu Kaspijskim rozpoczęto wydobycie ropy naftowej. Rezultatem jest zanieczyszczenie akwenu bardzo wrażliwego ze względu na brak jakichkolwiek odpływów oraz różnorodność flory i fauny. Głównymi przyczynami zanieczyszczeń są: eksploracja dna morskiego i budowa platform wiertniczych, transport ropy statkami oraz rurociągami, zanieczyszczenia podczas eksploatacji odwiertów i rurociągów, zanieczyszczenia pochodzące z rzek, nielegalne zrzuty wód zaolejonych ze statków.

W celu monitorowania rozlewów olejowych prowadzi się obserwację wizualną a także wykorzystuje satelitarny system SAR (*Synthetic Aperture Radar*), który może być skorelowany z bazą geodezyjną GIS. Problemem jest wykrycie oleju pod warstwą lodu. Zwykle dokonywano obserwacji wizualnej oraz wykonywano odwierty w lodzie aby wyznaczyć granicę rozlewu. W latach 2003–2008 opracowano metodę GPR (*Ground Penetrating Radar*), która umożliwia monitorowanie rozlewów pod lodem do grubości 210 cm i warstwie oleju, co najmniej 2 cm [1]. Rozlewy o mniejszej grubości warstwy oleju nie są wykrywane za pomocą takiej metody.

Przy określeniu zasięgu rozlewów olejowych korzystać można także z oprogramowania zawierającego modele matematyczne służące do predykcji rozlewów a także wyznaczenia przypuszczalnego miejsca skąd pochodzi rozlew. Autorzy posłużyli się przy badaniu rozprzestrzeniania się rozlewu w warunkach występowania zalodzenia oprogramowaniem PISCES II — firmy TRANSAS, który oprócz symulacji rozlewu pozwala również optymalnie wspomagając wykorzystanie sił i środków do zwalczania rozlewu [2].

### 4. Badania symulacyjne

Celem przeprowadzenia badań symulacyjnych było prześledzenie rozmiaru i kierunku rozprzestrzeniania się hipotetycznego rozlewu olejowego w warunkach quasi arktycznych a także ustalenie wpływu niskich temperatur i grubości pokrywy lodowej na wielkość plamy olejowej. Na potrzeby niniejszego artykułu wykonano szereg symulacji komputerowych dla charakterystycznych warunków hydrometeorologicznych panujących na obszarze północno-wschodniej części Morza Kaspijskiego w okresie zimowym.

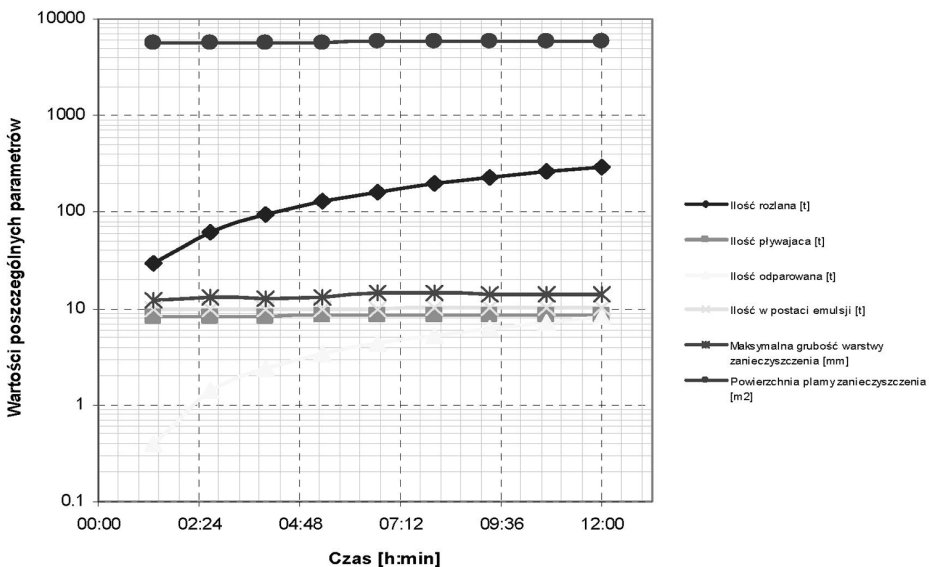
Model symulacyjny przygotowano w oparciu o następujące parametry wejściowe:

- rozmiar platformy wydobywczej:  $270 \times 160$  m, wokół której znajdował się pak lodowy o szerokości 100 m. Przyjęto dwie grubości pokruszonego lodu — odpowiednio o wartościach 100 i 400 mm. Poza obszarem paku występowało pole lodowe o rozmiarach  $10 \times 10$  km. Grubość pokrywy lodowej jak w przypadku paku lodowego;
- źródło symulowanego wycieku zlokalizowane było w północno-zachodniej części platformy. Rodzaj i ilość wydostającej się substancji przyjęto zgodnie z dostępnymi informacjami jako: surowa ropa naftowa o lepkości  $48^\circ$  API i 25 ton/1 godz. Symulacje prowadzono w 12 godzinnych oknach czasowych;

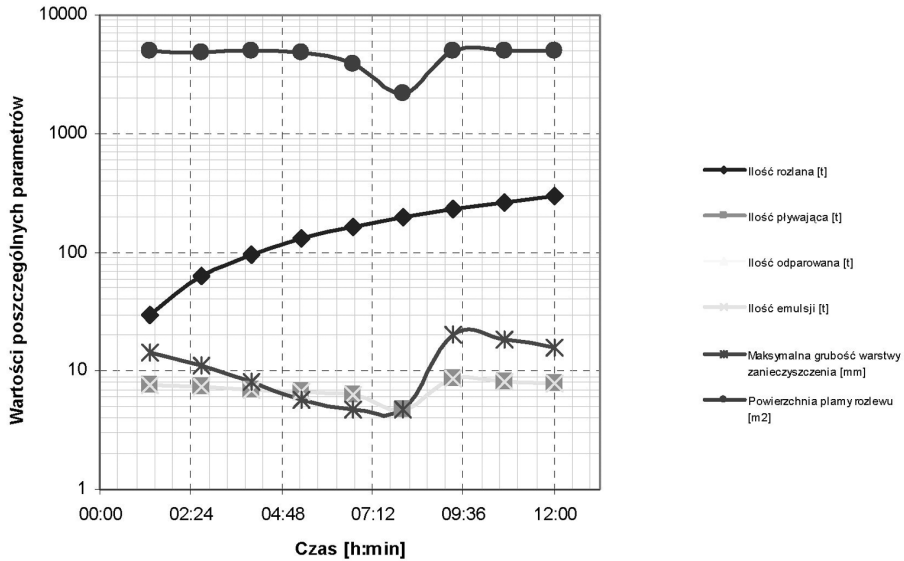
- przyjęto charakterystyczne dla obszaru północnej części Morza Kaspijskiego kierunki wiatru ( $k_w$ ) (E, W, NW) o prędkościach ( $v_w$ ) 5, 10 i 15 węzłów oraz prądu o kierunku ( $k_p$ ) 045° i prędkości ( $v_p$ ) 0,5 węzła;
- symulacje przeprowadzono dla następujących temperatur: wody ( $t_w$ ): 0°C i powietrza ( $t_p$ ) odpowiednio: 0°C i -20°C;
- gęstość wody przyjęto na: 1000 kg/m<sup>3</sup> z uwagi na lokalizację „zdarzenia”.

Już w początkowym etapie prowadzenia badań zdołano zaobserwować wyraźną prawidłowość, która potwierdziła się w dalszej części eksperymentu, tj. że kierunek i siła wiatru ma znikomy wpływ na rozprzestrzenianie się rozlewu olejowego w warunkach zalodzenia. Potwierdziło to wstępne przypuszczenia, które oparto na założeniu, że większość substancji wnika pod warstwę lodu a tam rozprzestrzenia się niesiona prądami powierzchniowymi. Wniosek ten pozwolił ograniczyć liczbę wariantów do przeanalizowania i bardziej skoncentrować się na pozostałych parametrach determinujących skalę rozprzestrzeniania się symulowanego rozlewu.

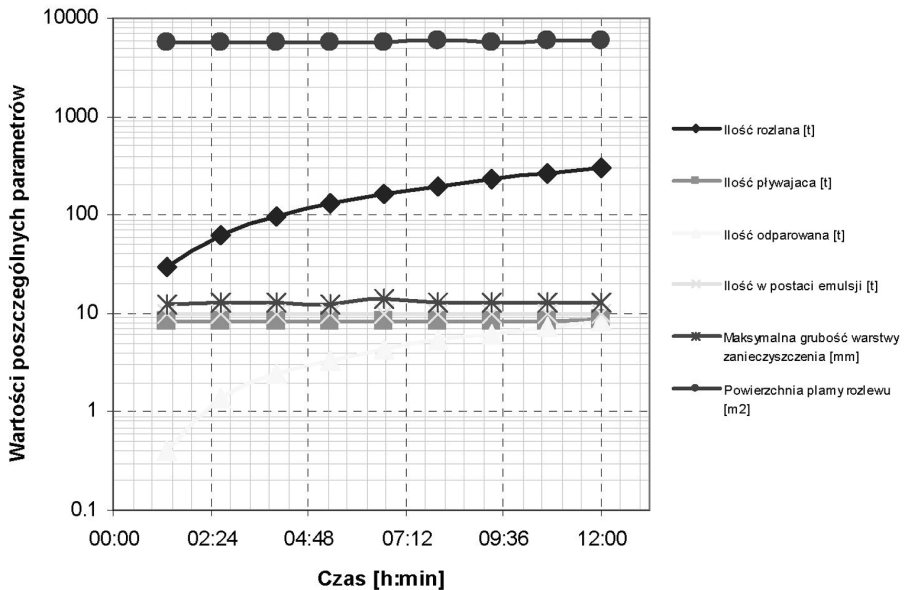
Poniższa seria wykresów (rys. 1–4) przedstawia wyniki potencjalnie najgorszego wariantu hydrometeorologicznego przyjętego do symulacji. Wiatr o maksymalnej, przyjmowanej w symulacji sile i kierunku zbliżonym do kierunku prądu nie powinien osłabiać efekt oddziaływania powierzchniowego prądu morskiego.



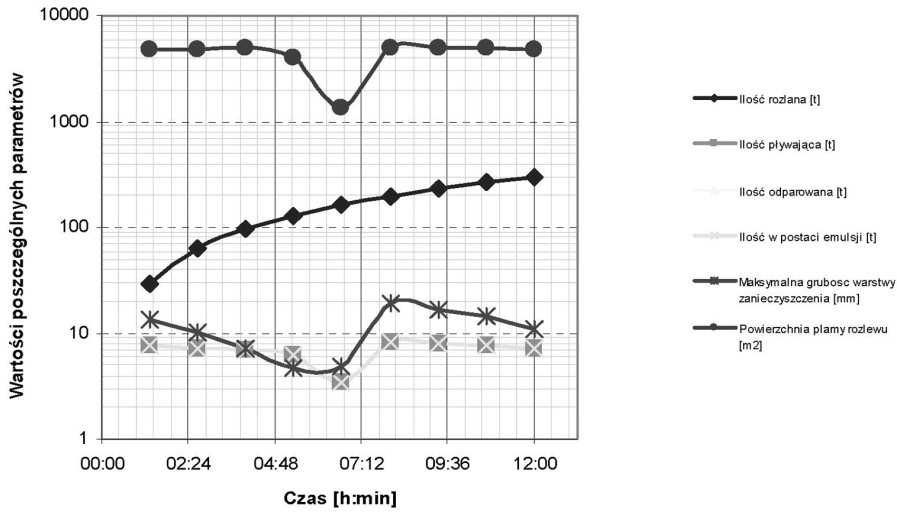
**Rys. 1.** Wykres zmian ilościowych rozlewu olejowego dla następujących parametrów:  $t_p = 0^\circ\text{C}$ ,  $t_w = 0^\circ\text{C}$ ,  $k_w: W$ ,  $v_w = 15$  węzłów,  $k_p = 045^\circ$ ,  $v_p = 0,5$  węzła, grubość pokrywy lodowej 100 mm [Opracowanie własne]



Rys. 2. Wykres zmian ilościowych rozlewu olejowego dla następujących parametrów:  $t_p = -20^\circ\text{C}$ ,  $t_w = 0^\circ\text{C}$ ,  $k_w: W$ ,  $v_w = 15$  węzłów,  $k_p = 045^\circ$ ,  $v_p = 0,5$  węzła, grubość pokrywy lodowej 100 mm [Opracowanie własne]



Rys. 3. Wykres zmian ilościowych rozlewu olejowego dla następujących parametrów:  $t_p = 0^\circ\text{C}$ ,  $t_w = 0^\circ\text{C}$ ,  $k_w: W$ ,  $v_w = 15$  węzłów,  $k_p = 045^\circ$ ,  $v_p = 0,5$  węzła, grubość pokrywy lodowej 400 mm [Opracowanie własne]



Rys. 4. Wykres zmian ilościowych rozlewu olejowego dla następujących parametrów:  $t_p = -20^{\circ}\text{C}$ ,  $t_w = 0^{\circ}\text{C}$ ,  $k_w$ :  $W$ ,  $v_w = 15$  węzłów,  $k_p = 045^{\circ}$ ,  $v_p = 0,5$  węzła, grubość pokrywy lodowej 400 mm [Opracowanie własne]

## 5. Analiza wyników i wnioski końcowe

Z przeprowadzonych badań wynika, że warunki quasi arktyczne o ile z jednej strony znacznie utrudniają i ograniczają możliwości prowadzenia akcji zapobiegającej rozprzestrzenianiu się rozlewu olejowego to na pewno w znacznym stopniu naturalnie wstrzymują jego intensywność. Łatwo zauważyć, że dla wszystkich wariantów, przy uwzględnieniu wszystkich towarzyszących procesów, powierzchnia całkowita rozlewu w całym okresie symulacji nie ulegała większym zmianom. W warunkach niskiej temperatury powietrza ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) obserwujemy nawet chwilowe zmniejszenie się powierzchni zanieczyszczonej rozlewem, co wywołane jest prawdopodobnie znaczącą zmianą właściwości fizykochemicznych rozlewającej się substancji. Proces wizualizacji pozwolił ustalić kierunek i odległość, na jaką rozlew był w stanie rozprzestrzenić się. Pamiętając o znikomym wpływie wiatru, głównym przyczyną rozprzestrzeniania się rozlewu, w omawianych warunkach, są prądy powierzchniowe. Niezależnie od warunków meteorologicznych kształt plamy olejowej determinowany był jego kierunkiem. Powierzchnie grubego lodu stanowią naturalną barierę dla rozprzestrzeniającego się rozlewu olejowego absorbując znaczne ilości rozlewającej się substancji (ok. 80% rozlewu wmarzało w lód). Maksymalna pozioma odległość, na jaką wydostawało się zanieczyszczenie nie przekraczała 500 m. Wyniki przeprowadzanych symulacji pokazały, że sama grubość warstwy lodu nie wpływa istotnie na wielkość powierzchni zajętej rozlewem. Ten wniosek należałoby potwierdzić kolejnymi, bardziej uszczegółowionymi badaniami. Pozwoliłyby one precyzyjniej wytyczyć minimalny graniczny stopień

zalodzenia, przy którym rozprzestrzenianie się rozlewu olejowego przebiegałoby praktycznie w przewidywalny sposób.

#### LITERATURA

- [1] Arctic Oil Spill Response Research and Development Program. U.S. Department of the Interior Minerals Mangement Service.
- [2] PISCES II(version 2.93) User Manual.
- [3] *Verlinden V.W.J.*: The Depositional Environments and Shallow Subsurface Architecture of the Northeastern Caspian Sea, 2009.
- [4] [www.caspinfo.net](http://www.caspinfo.net).