

Remigiusz DZIKOWSKI

ANALIZA RYZYKA ZANIECZYSZCZENIA ŚRODOWISKA ROZLEWEM OLEJOWYM PODCZAS PRAC OFF-SHORE NA BAŁTYKU Z WYKORZYSTANIEM APLIKACJI PISCES II

Streszczenie

W artykule przedstawiono statystykę zdarzeń rozlewów olejowych powstałych podczas prac off-shore na morzu. Do analizy użyto informacje z bazy danych WOAD (World Offshore Accident Database) tworzoną przez towarzystwo klasyfikacyjne DNV GL. Dokonano analizę możliwych przyczyn rozlewu podczas prac badawczych oraz wydobywczo eksploatacyjnych na Morzu Bałtyckim. Stworzono model hipotetycznego rozlewu powstałego w polskiej strefie ekonomicznej oraz przy pomocy metody symulacyjnej oceniono jego skutki. W badaniach użyto oprogramowanie PISCES II. Uwzględniono warunki hydrometeorologiczne występujące najczęściej na obszarze Morza Bałtyckiego.

WSTĘP

Prace poszukiwawczo wydobywcze na morzu noszą ze sobą powstanie wielorakiego ryzyka. Ryzyko może wiązać się z wybuchem na jednostce off-shore, uszkodzeniem jednostki spowodowanym złymi warunkami hydrometeorologicznymi, kolizją z inną jednostką, wypadkom podczas przeładunku urządzeń wiertniczych, przeholunkach platform, transferu węglowodorów na jednostki FPSO lub FSO, ryzyko spowodowane błędami ludzkimi. Podczas prac wiertniczych, wydobywczych oraz produkcyjnych zachodzi duże ryzyko zanieczyszczenia środowiska węglowodorami wydobywanymi oraz przetwarzanymi przez jednostki off-shore. Przykładem dużej katastrofy ekologicznej to katastrofa platformy Deepwater Horizon, która wydarzyła się 20 kwietnia 2010 w Zatoce Meksykańskiej. 11 pracowników uznano za zaginionych a 17 zostało rannych wskutek eksplozji na platformie. Do środowiska wydostało się 666 tysięcy ton ropy. Kalkulowano, że dziennie wydobywało się 800 tysięcy litrów. Oszacowano, że walka z rozlewem oraz usuwanie jego skutków kosztowały koncern BP 8 miliardów dolarów. Dane dotyczące statystyk związanych z rozlewami olejowymi w przemyśle off-shore zebrane w bazie danych WOAD (World Offshore Database) sporządzonej przez towarzystwo klasyfikacyjne DNV GL w latach 1975-2014 przedstawiono na rys.2 i 3.

1. POLSKI PRZEMYSŁ WYDOBYWCZY NA OBSZARZE MORZA BAŁTYCKIEGO

Eksploatacja zasobów dna morskiego przez polskie podmioty gospodarcze odbywa się w polskiej strefie ekonomicznej [3]. Proces wydobywania jest bardzo złożony. Prace wydobywcze to ostatni z jego elementów. Począwszy od budowy modelu geologicznego obszarów wydobywania metodami badań geofizycznych, poprzez posadzenie platform, budowę podwodnych sieci eksploatacyjnych, zapewnienie transportu wydobytych węglowodorów na ląd oraz prace związane z przemieszczaniem platform wiertniczych na nowe obszary badań i okresowymi rekonstrukcjami istniejących odwiertów. Poniżej wyszczególniono czynności związane z wydobywaniem oraz eksploatacją istniejących otworów złożowych znajdujących się w polskiej strefie ekonomicznej:

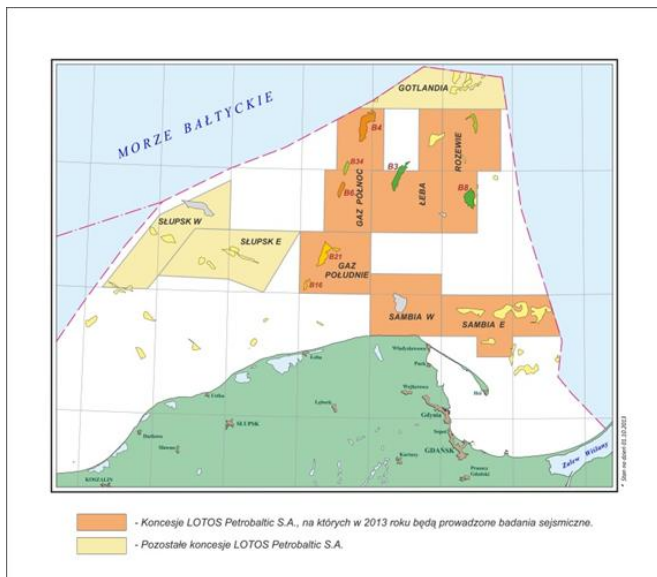
- prace poszukiwawcze realizowane są poprzez:
- a) badania sejsmiczne refleksyjne. Statki badawcze „Polar Duke” oraz „St. Barbara” prowadzą badania sejsmiczne trójwymiarowe

- na obszarze koncesji poszukiwawczo-rozpoznawczej na złożach B21 i B16 (Rys.1), potwierdzone otworami poszukiwawczymi,
- b) geofizykę otworową realizowaną przez platformy Petrobaltic oraz Lotos Petrobaltic;
- prace wydobywcze prowadzone są przy wykorzystaniu następujących typów platform:
 - a) „jack up” – stałe eksploatacyjne – platforma Baltic Beta,
 - b) „jack up” – mobilne wiertnicze – platformy Petrobaltic i Lotos Petrobaltic,
 - c) „Jacket” – stałe bezobsługowe platformy wydobywcze - platforma PG-1;
- na obszarach koncesji tworzone są otwory badawcze oraz eksploatacyjne. Otwory eksploatacyjne służą zarówno do pozyskiwania węglowodorów (ropa i gaz) jak i do zatłaczania złóż wodami złożowymi oraz wodą morską po przejściu odpowiedniego procesu filtracji w celu optymalizacji wydobywania;
- przesył gazu rurociągiem podwodnym do Władysławowa;
- załadunek z boi przeładunkowej usytuowanej przy platformie Baltic Beta oraz przewóz ropy zbiornikowcem „IKARUS III” do Gdańska;
- zapewnienie ciągłego zaopatrzenia platform przez jednostki morskie oraz nadzoru realizowane przez statki typu „stand by”. Jednostki obecnie wykorzystywane do tego celu to: holowniki Granit, Bazalt, Kambr oraz statki pomocnicze Aphrodite I, Sea Force;
- procesy holowania platform typu „jack up” na nowe pozycje wierceń;
- prace podwodne: nurkowe oraz konserwacyjne przy użyciu robotów podwodnych.

Poszukiwania i eksploatacja prowadzone są na polskim obszarze morskim obejmującym ok. 29 tys. km². Koncesje LOTOS Petrobaltic na poszukiwanie i rozpoznawanie złóż kopalin obejmują 8 obszarów o łącznej powierzchni 8,2 tys. km², leżących we wschodniej części obszaru morskiego RP.

Grupa kapitałowa LOTOS Petrobaltic ma też 4 koncesje na wydobywanie kopalin ze złóż B3, B4, B6 i B8. Aktualnie eksploatowane jest złożo ropy naftowej B3, a na złożu B8 rozpoczęto eksploatację przy pomocy platformy Lotos Petrobaltic w październiku 2015. Złożo to szacowane jest na 3,5 mln ton ropy naftowej co ma o 40 % zwiększyć wydobywanie. Przygotowuje się także zagospodarowanie

wanie złóż B4 i B6 zgodnie z programem EFRA (Efektywna Rafinacja) – budowy instalacji opóźnionego koksowania, która zapewni ma głębszy przerób ropy naftowej. LOTOS szacuje, że wartość programu EFRA to ok. 2,3 mld zł. Zakończenie inwestycji planowane jest w pierwszym kwartale 2018. Szacowane zasoby złóż gazowych B4/B6 na Bałtyku wynoszą ok. 4 mld m³ a rozpoczęcie wydobycia planowane jest na 2017/2018. Poniżej przedstawiono mapę z naniesionymi obszarami koncesji na prace poszukiwawcze i wydobywcze (Rys.1).



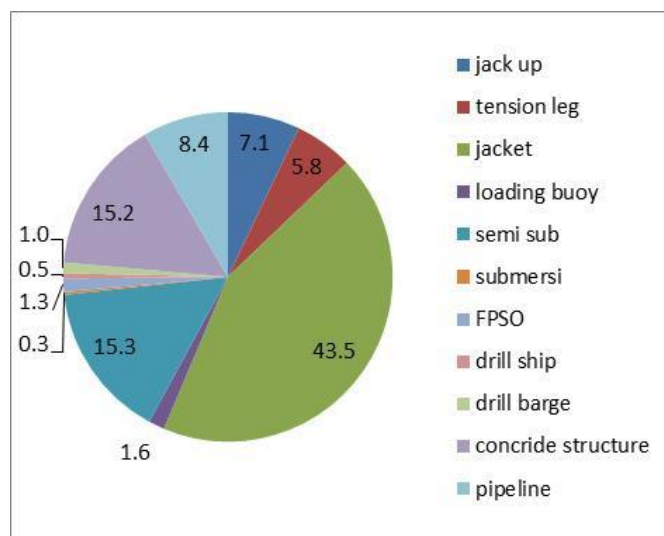
Rys. 1. Koncesje na wydobycie węglowodorów na obszarze południowego Bałtyku. Źródło: <http://www.lotos.pl/>

W ostatnich latach nastąpił znaczny wzrost tempa pozyskiwania nowych złóż w obszarze koncesji. Intensyfikuje się wydobycie poprzez uruchomienie platformy bezobsługowej oraz zakup kolejnych platform typu „jack up”. Intensyfikuje się także badania geofizyczne metodami refleksyjnymi oraz weryfikuje istniejące modele geologiczne złóż węglowodorów.

2. DANE STATYSTYCZNE DOTYCZĄCE ROZLEWÓW OLEJOWYCH NA PODSTAWIE BAZY DANYCH WOAD

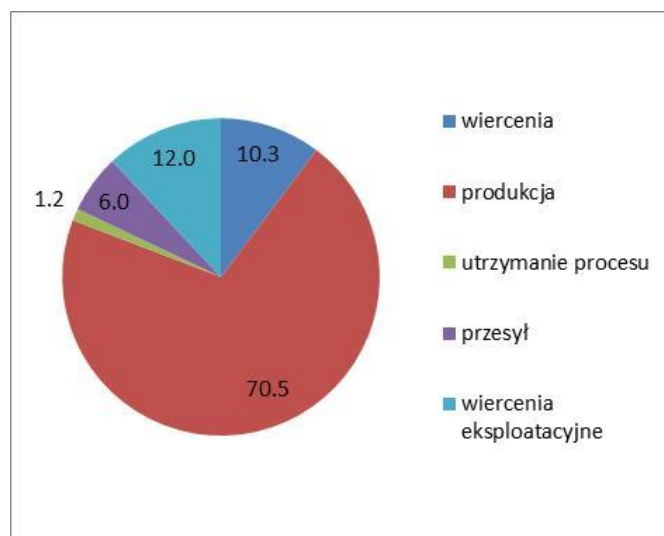
Przeprowadzono analizę danych zebranych przez towarzystwo klasyfikacyjne DNV GL, które jest czołowym klasyfikatorem jednostek wydobywczych na morzu [5]. W bazie danych WOAD zebrano informacje na temat ponad 6000 zdarzeń niebezpiecznych oraz wypadków od roku 1975 do 2015. Baza zawiera informacje nie tylko na temat wypadku ale także jego przyczyn i konsekwencji dla środowiska naturalnego związanego także z rozlewami olejowymi. Dokonano analizy bazy WOAD pod kątem rodzaju instalacji z której rozprzestrzenił się rozlew olejowy oraz podczas jakiego procesu wydobycia i eksploatacji złoża. Wyniki przedstawiono na rys.2 i 3. Stwierdzono że na 6189 wypadków w morskim przemyśle wydobywczym 798 wiążą się z rozlewami olejowymi co stanowi 13% wszystkich zdarzeń. Największy udział w takich zdarzeniach mają platformy typu jacket – 43,5 procent wszystkich zdarzeń. Na polskich wodach ekonomicznych platforma taka jest eksploatowana na złożu B-3. Platforma typu „jack-up”, „loading buoy” to kolejne 8,7 procent zdarzeń co daje 52,2 procent rozlewów. Wydaje się uzasadnionym zbadanie skutków rozlewu z takich obiektów. W polskiej strefie ekonomicznej eksploatowane jest już złożo B-3 na którym znajduje się platforma Baltic Beta typu jack up, platforma bezobsłu-

gowa typu jacket oraz zbiornikowiec przycumowany do super boi – loading buoy.



Rys. 2. Procentowy udział jednostek i obiektów off-shore w rozlewach olejowych. Źródło [5]

Na rys. 3 przedstawiono procentowy udział rozlewów uwzględniający proces eksploatacji złoża. Widać, że największy udział ma proces produkcji wydobytej ropy naftowej. Na złożu B-3 platforma Baltic Beta dokonuje separacji ropy z odwiertów znajdujących się pod platformą oraz z platformy typu jacket. Ryzyko stwarza także eksploatacja zbiornikowca Ikarus III na który pompuje się wydobytą ropę.



Rys. 3. Procentowy udział rozlewów olejowych podczas procesów wydobywczo eksploatacyjnych. Źródło [5]

3. ZAGROŻENIA ZWIĄZANE Z EKSPLOACJĄ ORAZ EKSPLOATACJĄ ZŁOŻ B-3, B-8

Z eksploatacją platform wierniczych oraz wydobywczych wiąże się zagrożenie erupcyjnego awaryjnego rozlewu ropy naftowej, którego przyczyną jest zachwianie równowagi ciśnienia w otworze. Przyczyną takiego zjawiska fizycznego mogą być różne. Zaliczamy do nich za niski ciężar właściwy płuczki, za mała ilość tłoczonej płuczki, za szybkie wyciąganie przewodu wierniczego tzw. „tłokowanie”, niedogzowanie wypływającej płuczki, brak nadzoru nad procesem wiercenia i wydobycia, awaria systemów zabezpieczeń napowierzchniowych, błędy montażowe i wady materiałowe syste-

mu wydobywczego i wglębnego, uszkodzenie lub awaria systemów zagłowiczenia, systemów sterowania głowicami, zderzenie dużego statku z platformą, zbiornikowcem podczas procesu załadunku ropy, przemieszczeniem się platformy lub zbiornikowca podczas złych warunków atmosferycznych, zniszczenie podwodnej infrastruktury.

Prawdopodobieństwo erupcji na złożach bałtyckich jest małe. Ciśnienia złożowe otworów kambryjskich nie są wysokie a w skałach zalegających nad złożem nie wykryto pokładów ropy ani gazu. Przyczyną erupcji może być błąd obsługi. Można oczekiwać, że maksymalny wypływ bez dławienia to 500 m³ na dobę. Przyjmując taki wypływ można oszacować, że rozlew nie przekroczy 4000 m³.

Prawdopodobieństwo dużej katastrofy ekologicznej wiąże się z zagrożeniem kolizją ze zbiornikowcami odbiorczymi. Taki najgorszy scenariusz przeanalizowano w artykule przy użyciu aplikacji PISCES II. Ocena skutków ekologicznych wiąże się ze zjawiskami fizycznymi związanymi z rozlewem takimi jak rozprzestrzenianie się, odparowanie, dyspersja, emulgacja, rozpuszczanie, absorpcja, biodegradacja. Zachowanie się rozlewu i plamy olejowej jest skomplikowane. Głównymi czynnikami kierunku przemieszczania się ropy na morzu jest kierunek i prędkość prądu i wiatru oraz lepkość oleju.

4. ANALIZA PROCESU ZANIECZYSZCZENIA ŚRODOWISKA MORSKIEGO WYWOŁANEGO ROZLEWEM OLEJOWYM ZE ZŁOŻA B-3

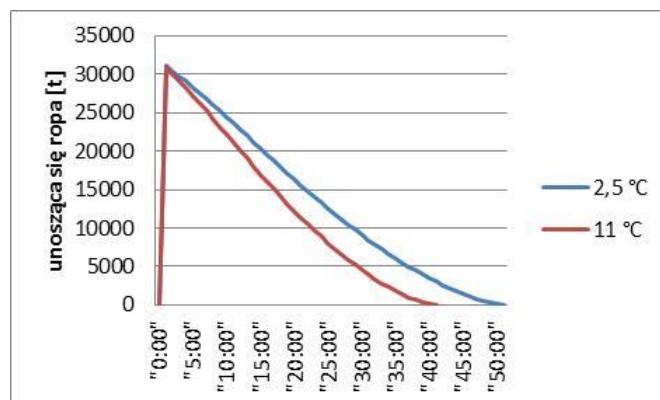
Do analizy procesów związanych z rozlewem olejowym wykorzystano metodę symulacyjną. Stworzono model rozlewu olejowego na obszarze wydobywania B-3 wykorzystując aplikację PISCES II (Potential Incident Simulation Control and Evaluation System).[4] Poligon badawczy przedstawiono na morskiej nawigacyjnej mapie wektorowej na rys. 4.



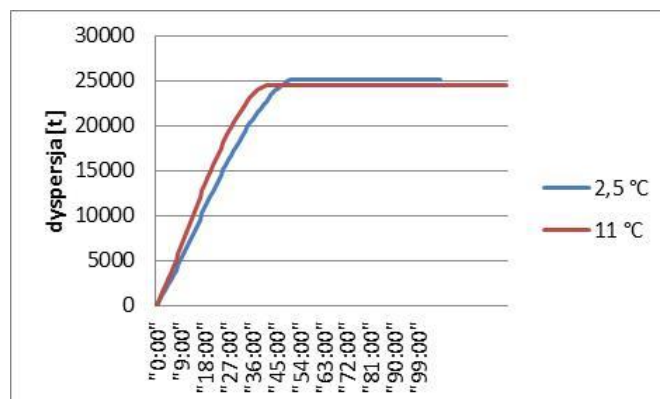
Rys. 4. Obszar badawczy rozlewu olejowego ze złoża B-3. Źródło: zrzut z ekranu PISCES II

Symulację rozlewu przeprowadzono przy warunkach pogodowych występujących z dużą częstotliwością w obszarze wydobywania. Informacje na temat średnich warunków pogodowych uzyskano na podstawie Locji Bałtyku. Przyjęto kierunki wiatru, które są częstymi na obszarze południowego Bałtyku a zarazem najbardziej niebezpiecznymi przy wypadku rozlewu dla polskiej linii brzegowej. Są to wiatry z kierunków północnych oraz północno wschodnich. Przyjęte prędkości wiatru to 5, 8, 10, 12, 20, 30 m/s.[2] Do budowy modelu rozlewu ropy pochodzącej ze złoża B-3, które są złożami kambryjskimi lekkich frakcji przyjęto następujące parametry fizykochemiczne: gęstość 0,813 g/cm³, lepkość 5,55 cSt, temperatura krzepnięcia

-31,7 °C, temperatura wrzenia 30,5°C, temperatura zapłonu 30°C, prężność par 1440 kPa/50°C, temperatura samozapłonu 265°C. Na rys. 5 przedstawiono wyniki badania rozprzestrzeniania się rozlewu dla prędkości wiatru 12 m/s przy przyjętych temperaturach wody 2,5°C oraz 11°C. Gęstość wody morskiej Bałtyku przyjęto w modelu jako 1,005 g/cm³. Zasympulowano najgorszy wariant rozlewu pod względem ilości ropy w środowisku morskim tj. podczas wypadku zbiornikowca na który transportuje się ropę z platformy Baltic Beta oraz PG-1 rurociągami podwodnymi. Ilość rozlanej ropy przyjęto jako 32000 t aby sprawdzić jaki wpływ na środowisko ma tak potężny rozlew. Dokonano analizy czasu rozchodzenia się ropy, obszaru zanieczyszczenia, dyspersji, parowania oraz grubości warstwy ropy w funkcji czasu. Wyniki przedstawiono na rys. 5-8.

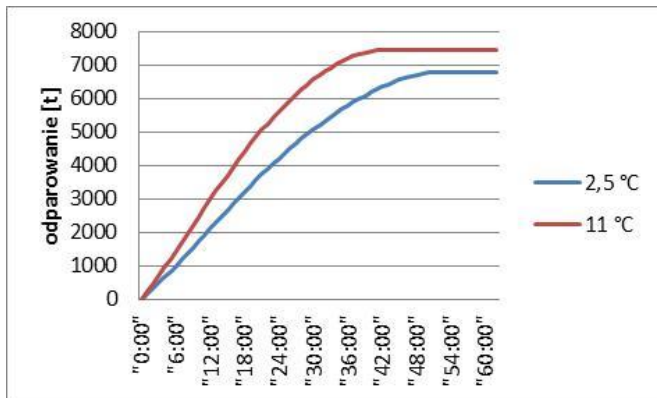


Rys. 5. Wykres ilości unoszącej się ropy w funkcji czasu dla temperatur wody 2,5°C i 11°C. Źródło: badania własne

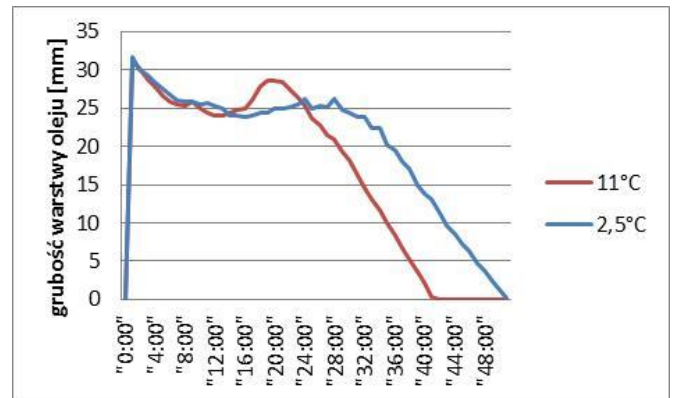


Rys. 6. Wykres dyspersji ropy w funkcji czasu dla temperatur wody 2,5°C i 11°C. Źródło: badania własne

Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu naukowego stwierdzono, że temperatura morza ma znaczący wpływ przede wszystkim na czas rozchodzenia się rozlewu, ilość unoszącej się ropy oraz na grubość jej warstwy. Czas liczony od rozpoczęcia rozlewu do całkowitego rozproszenia się plamy to dla temperatury wody 2,5°C to 52 godziny zaś dla temperatury 11°C 45 godz. Znajomość przedstawionych parametrów daje możliwość zaplanowania akcji usuwania zanieczyszczeń a także dobór odpowiednich sił i środków. Kolejne badania wykonano przy zmiennych prędkościach wiatru. Na rys. 9 przedstawiono charakterystyki związane z procesem rozprzestrzeniania się oleju w środowisku morskim. Charakterystyki wskazują wyraźne różnice przy zmiennych warunkach meteorologicznych.



Rys.7. Wykres odparowania ropy w funkcji czasu dla temperatur wody 2,5°C i 11°C. Źródło: badania własne



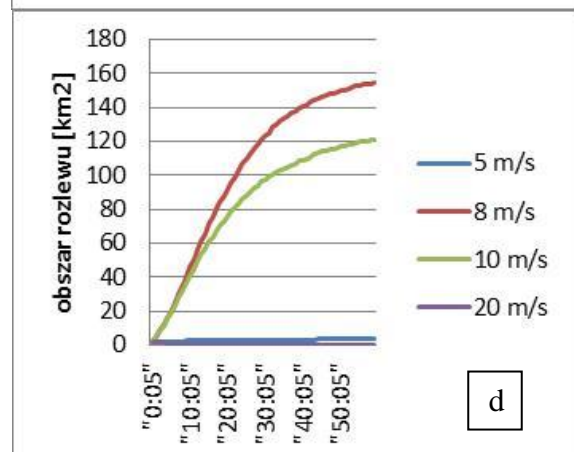
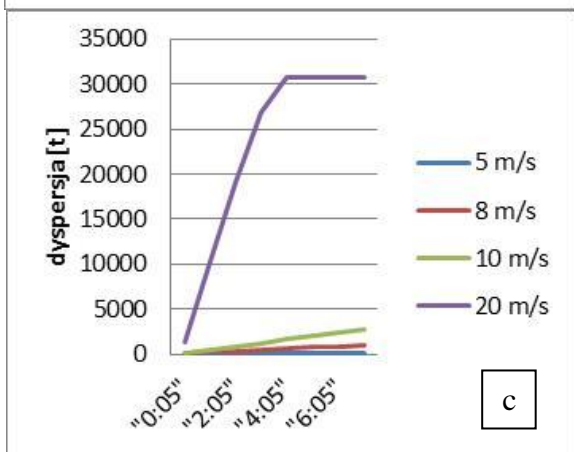
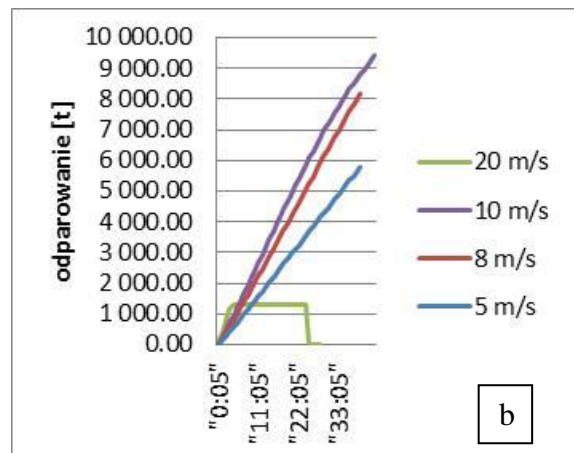
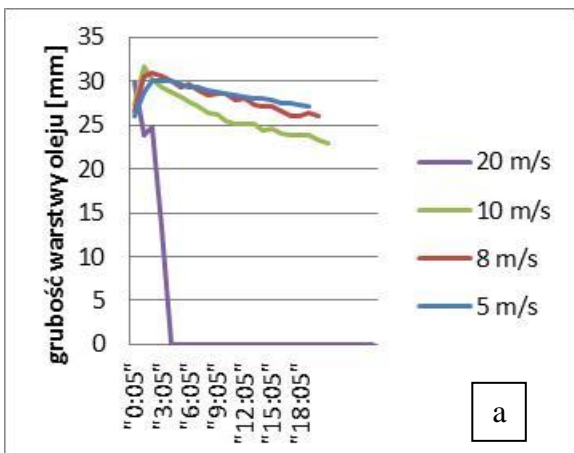
Rys.8. Wykres grubości unoszącej się ropy w funkcji czasu dla temperatur wody 2,5°C i 11°C. Źródło: badania własne

Na podstawie przeprowadzonych badań i wyników z rys. 9 można wywnioskować, że znaczące rozbieżności w procesie rozlewu uzyskano przy dużej sile wiatru tj. 20 m/s w stosunku do pozostałych przyjętych prędkościach. Przy takiej sile wiatru, która odpowiada 5 stopniom w skali Beauforta rozlew ulega całkowitemu rozproszeniu już po 3 godzinach. Przy takiej sile wiatru duża jest także wartość dyspersji rozlanego oleju, która wyniosła 27032 t. Najniższa jest zaś ilość odparowania, która wyniosła 1276 t. W żadnej z symulowanych scenariuszy rozlew nie dotarł do linii brzegu z powodu odległości rozlewu od linii lądu oraz właściwości fizykochemicznych wydobywanych węglowodorów.

Interesującym zjawiskiem jest zmiana grubości plamy olejowej. Przy silnym wietrze grubość warstwy oleju gwałtownie spada co wiąże się z dużą dyspersją rozlewu przy takiej sile wiatru. Rys.9 a i b. Przy tak gwałtownej dyspersji odparowanie jest stosunkowo małe. Obszar, który objęty został rozlewem jest maksymalny przy wiatrach o średnich prędkościach. Rys. 9 d. Przy prędkościach wiatru 5 to maksymalnie 5 km² oraz 20 m/s to 2 km². Największy obszar zanieczyszczenia to 164 km² przy prędkości wiatru 8 m/s.

PODSUMOWANIE

1. Modelowanie rozprzestrzeniania się rozlewu daje możliwości zaplanowania efektywnej akcji walki z rozlewami i optymalizacja



Rys. 9. Wykres grubości warstwy unoszącej się ropy, ilości odparowanej ropy, dyspersji oraz obszaru pokrytego rozlewem w funkcji czasu dla prędkości wiatru 5,8,10,20 m/s z kierunku północno wschodniego, wysokości fali 2 m, temperaturze wody 10°C. Źródło: badania własne

- doboru sił i środków.
2. Aplikacje do modelowania rozlewów są dobrym narzędziem do analizy ryzyka i jego skutków w przemyśle off-shore. Proces rozlewu olejowego w środowisku morskim jest skomplikowany i zależy od wielu czynników takich jak temperatura wody, powietrza, falowania, gęstości wody, prędkości wiatru i przede wszystkim własności ropy w szczególności jej gęstości oraz lepkości.
 3. Duży wpływ na procesy towarzyszące rozlewom na morzu tj. parowanie, dyspersja, osiadanie i rozprzestrzenianie się ma prędkość wiatru oraz jego kierunek. Działanie prądu na obszarze Morza Bałtyckiego jest nieznaczne.
 4. Modelowanie rozprzestrzeniania się rozlewu daje możliwości zaplanowania efektywnej akcji walki z rozlewami i optymalizacja doboru sił i środków.
 5. Aplikacje do modelowania rozlewów są dobrym narzędziem do analizy ryzyka i jego skutków w przemyśle off-shore.

BIBLIOGRAFIA

1. „Accident Statistic for offshore Units on the UKCS” 1990-2007, Oil and Gas UK, April 2009.
2. Admiralty Sailing Directions NP18 Baltic Pilot, Vol. 1 16th Edition 2012.
3. Dzikowski R., Ślęczka W., Analysis of IWRAP mk2 application for oil and gas operations in the area of the Baltic Sea in view of fishing vessel traffic, Scientific Journals of The Maritime University of Szczecin, 2014.
4. PISCES II User Manual. Transas Ltd., 2008.
5. WOAD (1970-2015) Baza danych o wypadkach w sektorze off-shore., DNV.

OIL SPILLAGE RISK ANALYSIS DURING OFFSHORE ACTIVITIES IN THE BALTIC SEA WITH THE USE OF PISCES II APPLICATION

Abstract

The article presents statistics on incidents of oil spills have occurred during offshore activities at sea. For the analysis was used information from the database WOAD (World Offshore Accident Database) created by the classification society DNV GL. There have been analyzing the possible causes of oil spills during the research and mining exploitation in the Baltic Sea. The model of a hypothetical spill has been created. Its influence on the environment has been researched. The study included hydrometeorological conditions occur most frequently in the Baltic Sea.

Autorzy:
mgr inż. kpt.ż.w. **Remigiusz Dzikowski** – Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Nawigacyjny, Instytut Nawigacji Morskiej