

- a) jednopozycyjną (monodentatną),
- b) dwupozycyjną (bidentatną): chelatującą i mostkującą,
- c) trójpozycyjną (tridentatną) chelatująco-mostkującą i mostkująco-mostkującą,
- d) czteropozycyjną (tetradentatną) chelatująco-mostkującą i mostkująco-mostkującą.

Reasumując wszystkie opisane kwasy chlorooctowe mają szerokie zastosowanie w rolnictwie, przemyśle kosmetycznym, a przede wszystkim w medycynie. Ich właściwości sprawiają, iż są aktualnym obiektem badań i zainteresowania wielu uczonych.

#### Literatura:

- [1] Białecka-Florjańczyk E., Włostowska J., *Chemia organiczna*, WNT Warszawa 2003.
- [2] Karty charakterystyk: kwas monochlorooctowy, dichlorooctowy, trichlorooctowy, P.O.Ch Gliwice.
- [3] <http://www.plastech.pl/wiadomosci/Zaklad-produkujacy-kwas-monochlorooctowy-powstanie-w-8145>, 11.2015.
- [4] Jankowska A., Bystry K., Czerczak S., 2003, Dokumentacja dopuszczalnych wielkości narażenia zawodowego, Podstawy i Metody

Oceny Środowiska Pracy, 4(78), 83–118.

[5] Bonnet S., Archer S. L., Allalunis-Turner J., 2006, Mitochondria-K+ Channel Axis Is Suppressed in Cancer and Its Normalization Promotes Apoptosis and Inhibits Cancer Growth, *Cancer Cell*, 11, 37-51.

[6] Othmer D. F., Krik R. E., Krik-Othmer encyclopedia of chemical technology, John Wiley & Sons, New York 2001.

[7] Biuletyn informacyjny Okręgowej Izby Lekarskiej w Zielnej Górze, 24(2014)1426.

[8] Resse C. B., 2005, Oligo- and poly-nucleotides: 50 years of chemical synthesis, *Organic and Biomolecular Chemistry*, 3, 3851-3868.

[9] Perenack J., Biggerstaff T., 2012, Metody modyfikacji warg stosowane w celu poprawienia estetyki uśmiechu i uzębieni, *Stomatologia estetyczna*, 1, 8-32.

[10] Jeżewska A., 2012, Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy, 1(71), 105-109.

[11] Wiley D., Douglas J., Beutner K., 2002, External genital warts: Diagnosis, treatment, and prevention, *Clinical Infectious Diseases*, 35, 210–224.

[12] Brzyska W., Wstęp do chemii koordynacyjnej, Wydawnictwo UMCS, Lublin 1996.

**Bartłomiej Biegarczyk, Andrzej Żarczyński, Marcin Zaborowski**

„Bartłomiej Biegarczyk” <bartlomiej.biegarczyk@op.pl>; „Andrzej Żarczyński” <andrzej.zarczynski@p.lodz.pl>; *Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka*

# Wyciek ropy naftowej do wód Zatoki Meksykańskiej w 2010 r. – analiza katastrofy w zakresie bezpieczeństwa technicznego i zagrożenia środowiska naturalnego

## Wstęp

Problematyka zanieczyszczenia mórz i oceanów produktami ropopochodnymi jest aktualna od dziesięcioleci, istnieje bowiem szereg przyczyn zatrutowania ich powyższą grupą substancji. Aktualnie maleje znaczenie odprowadzania ich wraz ze ściekami miejskimi i nieoczyszczonymi odpływami pochodzącymi z przemysłu. Innymi, zasadniczymi przyczynami wciąż pozostają: płukanie ładowni statków przez przepływ wody zaburtowej, eksploatacja podwodnych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego, a także dokonywanie nowych odwiertów. Ponadto zanieczyszcze-

niu wód morskich sprzyja użytkowanie zbiorników dennych i pływających, podwodnych rurociągów ropy naftowej i gazu, a także katastrofy przemysłowe mieszczące się w definicji poważnej awarii [1-10]. Uwzględniając skalę wydobycia i codziennego transportu ropy naftowej drogą morską wynoszącą ponad 120 mld litrów surowca i jego produktów [7], nie dziwi, że mimo procedur bezpieczeństwa zdarzają się rozlewy węglowodorów różnej objętości, o czym świadczą doniesienia literaturowe [1, 3, 4, 6, 8-10]. Rozlewy prowadzą do długotrwałego zanieczyszczenia środowiska morskiego, plaż, skał nadbrzeżnych, ogromnych szkód we florze i faunie morskiej oraz ptactwie żerującym na morzu

[4, 9]. Wyniki analiz przebiegu tych zdarzeń wskazują, że większości katastrof zbiornikowców i platform morskich można było uniknąć. Oprócz niekorzystnych warunków atmosferycznych i zawodności urządzeń technicznych, najczęstszą przyczyną poważnych awarii na morzu były następstwa błędów ludzkich, zarówno wynikające z błędnych decyzji, jak i zaniedbań, np. braku ostrożności podczas rejsu tankowców czy użytkowania platform wiertniczych [1, 2, 4, 9, 10]. W ostatnich dziesięciu latach najbardziej znaną poważną awarią z udziałem surowej ropy naftowej był jej ogromny rozlew w Zatoce Meksykańskiej, powstały wskutek katastrofy platformy wiertniczej Deepwater Horizon. Celami niniejszej pracy były: analiza przebiegu zdarzenia w oparciu o klasyczny mechanizm powstawania poważnych awarii w przemyśle chemicznym, zestawienie kalendarium ważniejszych faktów, a także określenie przyczyn i zgrubna ocena skutków dla środowiska naturalnego oraz gospodarki.

### Charakterystyka platformy Deepwater Horizon i kalendarium jej katastrofy

Platforma wiertnicza Deepwater Horizon (BP) była dynamicznie pozycjonowaną, półzanurzalną jednostką górnictwa naftowego, zbudowaną w 2001 r. w Korei Południowej, zarejestrowaną w mieście Majuro na Wyspach Marshalla jako własność przedsiębiorstwa Transocean, która na złożu Macondo realizowała we współpracy z koncernem Halliburton Energy Services Inc. odwiert Mississippi Canyon 252, zlecony przez koncern British Petroleum (BP) [11, 12]. W dniu 20 kwietnia 2010 r. o godzinie 22.00 czasu miejscowego w Zatoce Meksykańskiej doszło do eksplozji na pokładzie wiertniczym, pożaru i po niespełna dwóch dniach zatonięcia opisywanej platformy wiertniczej, co zapoczątkowało jedną z największych katastrof ekologicznych w czasach nowożytnych [13-21].

Kalendarium zdarzeń dotyczących katastrofy platformy Deepwater Horizon [9, 11, 19]:

- 20 kwietnia 2010 – powstanie gwałtownego pożaru na platformie wiertniczej Deepwater Horizon ze 126 osobami na pokładzie, wskutek eksplozji metanu i zapłonu surowej ropy naftowej, w wyniku którego 11 pracowników obiektu zostało zabitych (zaginionych), 17 rannych, a pozostałych ewakuowano;
- 22 kwietnia 2010 – zatonięcie platformy wiertniczej w Zatoce Meksykańskiej (głębokość morza 1650 m) w odległości około 80 km od wybrzeży Luizjany (USA);
- 24 kwietnia 2010 – stwierdzenie podwodnego wycieku ropy naftowej z rur wiertniczych szacowanego wówczas na 150 m<sup>3</sup>/d;
- 27 kwietnia 2010 – przemieszczanie się plamy wycieku ropy w kierunku wybrzeża Luizjany, straż przybrzeżna oraz kilka tysięcy ochotników zbudowało sztuczne tamy, które miały za zadanie powstrzymać dalszy rozlew surowca naftowego;
- 28 kwietnia 2010 – skierowanie przez amerykańską marynarkę wojenną samolotów przystosowanych do rozpylania środków chemicznych dyspergujących ropę naftową w wodzie;
- 30 kwietnia 2010 – dotarcie rozprzestrzeniającej się po morzu plamy ropy naftowej do wybrzeży Luizjany (USA), skutkujące stratami ekologicznymi wśród ptactwa wodnego, ryb i ssaków nie tylko w tym regionie (fot.1);
- 2 maja 2010 – podjęcie nieudanej próby zatamowania wycieku poprzez zamknięcie głowicy przeciwerupcyjnej, a także rozpoczęcie prac nad wykonaniem dodatkowego odwiertu, który mógłby obniżyć ciśnienie złożowe;
- 7-8 maja 2010 – nieudana próba zatamowania wycieku poprzez opuszczenie stalowej kopuły, umożliwiającej zbieranie i odprowadzanie ropy do tankowca znajdującego się na powierzchni morza, wkrótce zatłkanej i uniesionej ku górze przez rozkładające się hydraty metanu (klatraty metanu) [11];
- 16 maja 2010 – wiercenie szybu ratunkowego w sąsiedztwie otworu z wciąż trwającym wyciekem;
- 16-17 maja 2010 – zamontowanie rury do odsysania ropy z otoczenia uszkodzonego szybu o długości 1,6 km transportującego ropę i gaz do statku wiertniczego Discoverer Enterprise;
- 19 maja 2010 – stwierdzenie, że instalacja odsysająca przesyła dziennie na powierzchnię około 5000 bbl\* (795 m<sup>3</sup>/d);
- 21 maja 2010 – ogłoszenie przez Baracka Obamę – prezydenta Stanów Zjednoczonych zamiaru powołania komisji śledczej w celu ustalenia przyczyn katastrofy;
- 26 maja 2010 – próba ograniczenia wycieku polegająca na wstrzykiwaniu do odwiertu gęstego płynu płuczkowego w celu zacementowania go, zakończona niepowodzeniem ze względu na zbyt wysokie ciśnienie wypływającego surowca;
- 27 maja 2010 – próba ograniczenia wycieku polegająca na tłoczeniu do odwiertu fragmentów pociętej gumy i plastiku w celu zaczopowania otworu wiertniczego, także zakończona niepowodzeniem;
- 1 czerwca 2010 – wykonanie pierwszego podsumowania kosztów akcji ratowniczej, z którego wynikało, że nakłady na jej realizację przekroczyły już 1 mld dolarów;
- 3 czerwca 2010 – zainstalowanie kopuły odsysającej ropę



- naftową u podstawy odwiertu z systemem tłoczenia jej do zbiorników tankowców;
- 4 czerwca 2010 skażenie przez ropę fragmentów wybrzeża dwóch kolejnych amerykańskich stanów, tj. Missisipi i Alabamy;
  - 17 czerwca 2010 – montaż systemu odciągającego ropę naftową z otworu erupcyjnego, pozwalającego ograniczyć jej wypływ do wód morskich o 12 720 m<sup>3</sup>/d;
  - 21 czerwca 2010 – oszacowanie kosztów dotychczasowej akcji ratunkowej na 2 mld dolarów;
  - 29 czerwca 2010 – kolejny etap tamowania wycieku polegający na finalizowaniu wiercenia dwóch bocznych szybów ratunkowych, w celu obniżenie ciśnienia złożowego w otworze erupcyjnym do poziomu umożliwiającego zatkanie go samozestalającą się płuczką wiertniczą, co nastąpiło 15 lipca;
  - 5 lipca 2010 – włączenie w zespół ratowniczy statku A Whale (Wieloryb), supertankowca przystosowanego do zbierania ropy naftowej z powierzchni wody;
  - 12 lipca 2010 opuszczenie na dno Zatoki Meksykańskiej kopuły ważącej 75 ton, której zamontowanie pozwoliło na zabezpieczenie otworu erupcyjnego po przerwaniu wycieku w dniu 15 lipca;
  - 19 lipca wykryto nowy wyciek ropy z dna morskiego w okolicy uszkodzonego odwiertu, utrzymujący się do września 2010, jednak niekoniecznie związany z opisywaną katastrofą, bowiem przydenne wypływy surowca naftowego są zjawiskiem dość częstym, zachodzącym w tym regionie także w sposób naturalny;
  - 27 lipca 2010 – ogłoszenie przez koncern BP, że w październiku 2010 r. ze stanowiska dyrektora generalnego

firmy ustąpi Tony Hayward, powszechnie krytykowany za błędne decyzje podjęte bezpośrednio po katastrofie platformy;

- Wrzesień 2010 – zakończenie procesu tamowania wypływu ropy naftowej oraz kontynuacja oczyszczania powierzchni morza i wybrzeży z substancji ropochodnych. /\*1 baryłka ropy naftowej (skrót: 1 bbl) = 42 galony amerykańskie = 158,987 (~159 l), to standardowa jednostka objętości w przemyśle naftowym/.

## Zakres i metodyka analizy katastrofy Deepwater Horizon

Fizycznym wyrazem zagrożeń w toku działalności przemysłowej (wydobycie surowców, transport ich do miejsc przetwarzania, produkcja użytecznych wyrobów zaliczanych do materiałów niebezpiecznych, magazynowanie oraz dystrybucja do odbiorców) są pożary, wybuchy, skażenia toksyczne i rzadziej emisje promieniowania radioaktywnego. Warunki powstawania zagrożeń w przemyśle chemicznym zwykle są bardzo złożone i wymagają indywidualnej oceny w stosunku do każdego procesu [3, 10, 22-26]. Można jednak zaproponować następujący ogólny mechanizm powstawania zagrożeń przyjmując, że zagrożenie jest elementem ciągu wydarzeń oraz warunków opisujących powstawanie wypadków w procesie chemicznym. W tym ciągu można wskazać cztery charakterystyczne stadia obejmujące: wydarzenia (czynniki) inicjujące, wydarzenie szczytowe, zagrożenie i katastrofę. Klasyczny schemat przedstawiony przez Markowskiego [22, 23] umożliwia analizę zdarzenia typu poważnej awarii w przemyśle chemicznym, magazynowaniu lub transporcie materiałów niebezpiecznych, który przyjmuje postać drzewa wydarzeń. W pracy podjęto próbę zastosowania powyższego diagramu do analizy przebiegu katastrofy platformy Deepwater Horizon oraz modelu uproszczonej realizacji akcji ratunkowej. Uzyskano schemat przedstawiony na rys. 1, z zamieszczonymi opisami bloków diagramu.

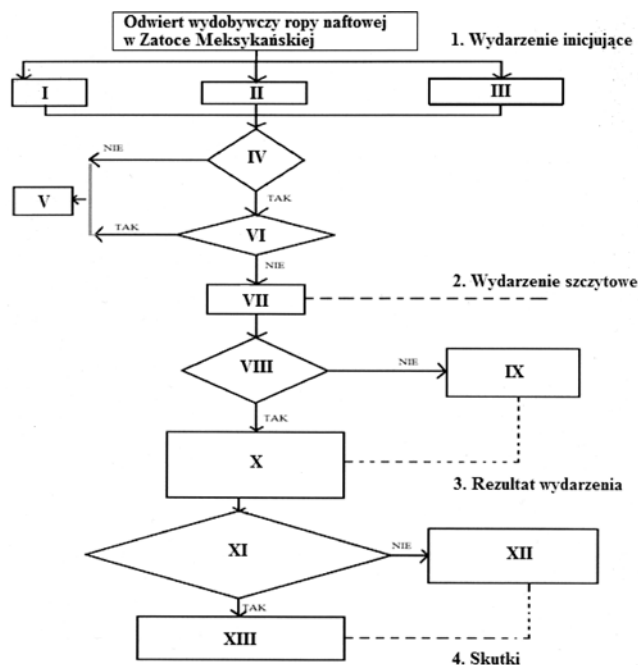
I – substancje niebezpieczne, tj. gaz ziemny, ropa naftowa i prawdopodobnie hydraty metanu;

II – ekstremalne warunki: praca na morzu, zmienna pogoda (okresowo sztormowa), operacja zaczopowania cementem otworu wywierconego w dnie morskim do złoża ropy naftowej, w celu zamknięcia go aż do czasu podjęcia eksploatacji;

III – zagrożenia procesowe, a zwłaszcza użycie sześciu zamiast 21 centralizatorów w otworze wiertniczym, wybór niewłaściwego rodzaju cementu dla zabezpieczenia odwier-



Fot. 1. Blok Poczty Republiki Mozambiku z listopada 2010 r. nawiązujący do katastrofy platformy wiertniczej BP i strat ekologicznych (własność Autorów)



Rys. 1. Schemat analizy poważnej awarii platformy wiertniczej Deepwater Horizon

tu; błędne odczyty urządzeń mierzących ciśnienie złóżowe, rutynowe podejście do pracy;

IV – źródła zapłonu, np. maszynownia i punkty oświetlenia w strefie rozprzestrzeniania się gazu ziemnego na poziomie wiertniczym i w jego otoczeniu – wypływającego wraz z ropą naftową i nieorganicznymi materiałami złożowymi, niewystarczające wykształcenie załogi, uchybienia w procedurach postępowania załogi na wypadek zaistnienia poważnej awarii o tej intensywności jej rozwoju;

V – przywrócenie bezpieczeństwa pracy platformy;

VI – podjęcie akcji gaśniczej na platformie, ewakuacja załogi platformy, poszukiwanie osób poszkodowanych oraz udzielanie im pomocy medycznej;

VII – zapłon i wybuch gazu ziemnego, niekontrolowane spalanie gazu ziemnego i ropy naftowej, wysoka temperatura w strefie pożaru na platformie;

VIII – sztormowa pogoda, ciągły dopływ palnych i wybuchowych mediów do strefy pożaru;

IX – rosnące wokół platformy skażenie morza ropą naftową bez możliwości przerwania jej dopływu;

X – rozszerzenie się pożaru na całą platformę bez możliwości jego ugaszenia, obecność ropy naftowej wokół platformy i w strefie realizacji akcji gaśniczej;

XI – działanie sekcji własnej ratownictwa platformy Deepwater Horizon, użycie morskich i lotniczych jednostek gaśniczych, postawienie zapór redukujących rozprzestrzenianie się ropy naftowej po powierzchni morza, oczyszczanie morza i wybrzeży Stanów Zjednoczonych z produktów naf-

towych, udzielanie pomocy skażonym ptakom i zwierzętom morskim, stopniowe ograniczanie skali skażenia, a w lipcu 2010 r. przerwanie wypływu ropy naftowej ze złoża podwodnego Macondo;

XII – wyżej wymienione liczby ofiar śmiertelnych i osób rannych, a także zatonięcie platformy wiertniczej, jednakże w przypadku niepodjęcia akcji ratowniczej straty byłyby znacząco większe;

XIII – wielkoobszarowe skażenie morza ropą naftową w okresie pięciu miesięcy mimo jej usuwania z powierzchni wody i unieszkodliwiania, olbrzymie koszty finansowe akcji ratowniczej, masowe skażenie fauny i flory, zaprzestanie połowu ryb na znacznej części Zatoki Meksykańskiej, utrata dochodów z turystyki w skażonych rejonach wybrzeża Stanów Zjednoczonych; użycie środków powierzchniowo-czynnych szkodliwych dla środowiska.

## Próba analizy zdarzenia i interpretacja faktów

### Analiza akcji ratowniczej

Straty w ludziach (ofiary śmiertelne i ranni) nastąpiły w pierwszym okresie rozwoju katastrofy, kiedy to ewakuowano także pozostałych członków załogi platformy. Z czasem oszacowano ilość surowej ropy naftowej wprowadzonej do morza na 698 tys. m<sup>3</sup>, wskutek wycieku surowca z różnym natężeniem w okresie od 20 kwietnia do 17 września 2010 r. [11].

Obliczono, że w akcji ratowniczej kosztującej do września 2010 r. łącznie 4 mld dolarów zaangażowanych było okresowo 40 tys. ludzi, prawie 7 tys. różnych jednostek pływających oraz około 100 śmigłowców i samolotów [9, 19]. W tym czasie plamy ropy wciąż skażały znaczne fragmenty wybrzeża Stanów Zjednoczonych, tj. Luizjany, Alabamę, Teksas, Missisipi i Florydę [9, 11]. Główna część akcji ratowniczej trwała cztery miesiące, będąc realizowaną na ogromnej powierzchni morskiej i brzegowej, wielokrotnie w ekstremalnie trudnych warunkach atmosferycznych. Mimo wielu nieudanych prób wyciek został w końcu zatamowany poprzez zrównoważenie ciśnienia złożowego szybko wiążącą płuczką wiertniczą i zacementowanie odwiertu [27, 28]. Opisująca poważną awarię była największą katastrofą ekologiczną w historii Stanów Zjednoczonych związaną z wypływem surowej ropy naftowej do środowiska morskiego. W celu usuwania zanieczyszczenia z powierzchni wody zbierano je stosując tamy izolujące i urządzenia do odsysania emulsji, sporadycznie wypalano, bądź poddawało procesom fizyko-chemicznej dyspersji z wodą morską, preparatami chemicznymi obniżającymi napięcie powierzchniowe wody, ale nieobojętnymi dla organizmów żywych [14, 28]. Akcja



ratownicza, oprócz wód Zatoki Meksykańskiej, objęła również wybrzeża kilku powyżej wymienionych stanów USA.

W ramach akcji ratowniczej podejmowano – chociaż początkowo bez powodzenia – pionierskie działania zmierzające do przerwania wypływu, jak przykrycie otworu erupcyjnego stalową kopułą z rurą odprowadzającą ropę do tankowca oraz próba zatkania go lekkimi materiałami z tworzyw sztucznych, jak pocięta guma i piłki golfowe, tłoczonymi impulsowo pod ciśnieniem [11]. Powodzeniem zakończyło się wykonanie dwóch odwiertów w dnie morskim i wtłoczenie nimi odpowiedniej ilości tzw. płuczki wiertniczej o dużym ciężarze właściwym. Mieszanina ta umożliwiała wytworzenie ciśnienia hydrostatycznego, równoważącego napór złoża ropy i zaczopowanie otworu wiertniczego [9, 11].

### **Identyfikacja przyczyn katastrofy**

Przyczyny katastrofy Deepwater Horizon można podzielić na pośrednie i bezpośrednie. Bezpośredni powód to erupcja produktów złożowych – ropy naftowej i gazu ziemnego, ich wybuch na platformie wiertniczej, a następnie pożar niemożliwy do ugaszenia. Pośrednie, to przesadne oszczędności koncernu BP na zabezpieczeniach, zwłaszcza brak dodatkowej głowicy przeciwerupcyjnej ujęcia ropy ze złoża, błędy aparatury w odczycie ciśnienia produktów złożowych, użycie cementu o składzie niezapewniającym odporności na rzeczywiste ciśnienie surowca, użycie sześciu tzw. centralizatorów odwiertu zamiast zalecanych 21 [9, 17, 29].

Wykonując analizę przyczyn i przebiegu katastrofy w czasie, zastosowano schemat powstawania poważnych awarii w przemyśle i starano się określić odpowiednie działania, które mogą w przyszłości zapobiec podobnemu zdarzeniu. Przed wszystkim w inwestycji o tak wysokim potencjalnym oddziaływaniu na środowisko nie można oszczędzać na systemach bezpieczeństwa, należy wprowadzać najnowocześniejsze technologie zabezpieczające otoczenie oraz doskonalić wyszkolenie załogi [9]. Do prawidłowego współdziałania wszystkich powyższych czynników ludzkich i technicznych potrzebna jest wyszkolona kadra zarządzająca, przygotowana do realizacji różnych, także nietypowych scenariuszy awarii.

### **Skutki dla środowiska naturalnego i gospodarki narodowej**

Stwierdzono, że już rok po katastrofie ekologicznej w Zatoce Meksykańskiej życie w tym regionie stopniowo normalizowało się, a po pięciu latach na plażach Alabamy i Luizjany podobnie jak dawniej wypoczywali turyści, delta

Missisipi nie wyglądała na skażoną, a lokalna gospodarka osiągnęła już obroty zbliżone do poziomu sprzed katastrofy. Naukowcy ostrzegają jednak, że znaczna część surowca węglowodorowego spoczęła na dnie akwenu i skutki tego zdarzenia mogą być odczuwalne nawet szereg lat po wycieku [14, 20]. Efektem wypływu ropy naftowej były ogromne straty ekologiczne w ptactwie wodnym i ssakach morskich, zwłaszcza populacjach delfinów oraz żółwi, mimo, iż wielu specjalistów i ratowników zajmowało się udzielaniem im pomocy [15]. Straty gospodarcze w połowach i turystyce były spowodowane rozprzestrzenieniem się plamy ropy naftowej, która wydostając się z uszkodzonego otworu wiertniczego objęła olbrzymi obszar morski. W prasie i w literaturze popularno-naukowej wciąż odnotowywane są doniesienia rybaków o wysokiej liczbie zwierząt z różnymi defektami genetycznymi. Odnajdywane są martwe małe delfiny i żółwie, których śmierci nie można tłumaczyć typowymi chorobami. Stwierdzono, że koralowce żyjące dookoła odwiertu Macondo zostały także poważnie uszkodzone. Badania potwierdzają tezę, że ropa wchłonięta przez fito- i zooplankton w części powędrowała w górę łańcucha troficznego. Im wyżej w hierarchii biologicznej jest dany organizm, tym większe jest stężenie w jego organizmie niektórych składników i metabolitów ropy [14, 18, 20, 21, 27]. Mimo licznych badań – wiedza o długofalowych skutkach takich katastrof, jak zaistniała w Zatoce Meksykańskiej, jest wciąż ograniczona [14].

Standardową metodą pozbywania się ropy z powierzchni akwenu oprócz jej zbierania, jest użycie środków dyspersyjnych, które wiążąc ropę, rozbijają jej plamę na mniejsze fragmenty, a następnie rozpraszają ją w wodzie, minimalizując osadzanie jej na plażach. Stosowane chemikalia nie są jednak obojętne dla flory i fauny środowiska morskiego. Podczas akcji ratowniczej decydenci akceptowali zasadę mniejszego zła: rozlewano preparaty na powierzchni morza i w ten sposób chroniono plaże przed zanieczyszczeniem produktami ropopochodnymi [9, 14, 27, 28].

Koncern BP sporządzając raport za 2010 r. stwierdził, że wydał bądź jest zobowiązany do rychłej zapłaty łącznie 40 mld dolarów, głównie w formie odszkodowań [12, 13].

### **Wnioski**

Z powodu coraz większej konkurencji na rynku paliw i stopniowego wyczerpywania się złóż ropy naftowej, koncerny paliwowe sięgają po zasoby surowca coraz trudniej dostępne, w tym zlokalizowane pod dnem morskim. Budowane są wysoce skomplikowane urządzenia instalowane na platformach wiertniczych, którym stawia się ekstremalne

wymagania dotyczące warunków pracy i zapewnienia bezpiecznej eksploatacji złóż. Obserwacje i wnioski pozwalające na uniknięcie w przyszłości poważnych awarii, porównywalnych do zaistniałej w Zatoce Meksykańskiej, zamieszczono poniżej.

Jedną z głównych przyczyn była oszczędność koncernu BP na wyposażeniu platformy wiertniczej w stosowne zabezpieczenia. Według wielu ekspertów katastrofy można było uniknąć, instalując dodatkowy zawór bezpieczeństwa, tj. drugą głowicę przeciwerupcyjną. Koszty tej inwestycji to około 500 tys. dolarów, kwota spora, ale faktycznie niewielka w porównaniu z około 40 mld dolarów koniecznych na realizację akcji ratunkowej i stopniową zapłatę odszkodowań.

Kolejną z możliwych przyczyn wycieku było niezgodne ze sztuką realizacji poszukiwań ropy naftowej przygotowanie odwiertu, poprzez użycie w nim zbyt małej liczby centralizatorów, błędne odczyty ciśnienia złożowego w odwiercie przez aparaturę kontrolną, a także nieskuteczne zabezpieczenie go przed możliwością erupcji produktów złożowych wskutek użycia cementu o niewłaściwym składzie. Do tak trudnych przedsięwzięć jak prace wiertnicze na morzu należy zatrudniać osoby kompetentne, zwłaszcza w pionie decyzyjnym i nadzorze technicznym.

Odpowiednie wyszkolenie załogi i jej czujność według części specjalistów mogło zadecydować o wcześniejszym zdiagnozowaniu zagrożenia erupcją produktów złożowych. Prawdopodobnie, gdyby na platformie Deepwater Horizon załoga uświadomiła sobie wcześniej niebezpieczeństwo i odpowiednio profesjonalnie zareagowała, do katastrofy by nie doszło. Z doniesień medialnych wynika, że technologie i aparatura są ciągle udoskonalane, jednak dużo ludzi pracujących na platformach wiertniczych faktycznie jest niewystarczająco przygotowanych do ich bezpiecznej obsługi.

Konieczne jest ciągłe doskonalenie technologii poszukiwania ropy naftowej, opracowywanie skutecznych technik zabezpieczania odkrytych złóż, przygotowywania ich do eksploatacji i przesyłania surowca, nawet wzajemnie dublujących się.

## Literatura

- [1] Surygała J., Śliwka E., 1999, Wycieki ropy naftowej. *Przem. Chem.*, 78(9), 323-325.
- [2] Pezeshki S. R., Hester M. W., Lin Q., Nzman J. A., 2000, The effects of oil spill and clean-up on dominant US Gulf coast marsh macrophytes: a review, *Environ. Pollut.*, 108, 129-139.
- [3] Makles Z., 2004, Bezpieczeństwo pracy przy magazynowaniu i transporcie ropy naftowej oraz produktów ropopochodnych. *Bezp. Pracy*, 1, 15-17.
- [4] Bzdon S., Żarczyński A., 2004, Dwie katastrofy morskie, *Aura*, 2, 23-25.

- [5] Bonenberg K., 2004, Przewlekły stan ropny, *Aura*, 3, 23-24.
- [6] Bonenberg K., Bonenberg Ł., 2004, Przewlekły stan ropny (2), *Aura*, 4, 28-29.
- [7] Surygała J., 2006, Wpływ użytkowania paliw naftowych na środowisko, *Ekol. Technika*, 14(4), 135-142.
- [8] Rutkowski G., 2011, Problemy bezpieczeństwa w przemyśle off-shore. Część 1. Rozlewy olejowe oraz inne rodzaje zagrożeń rejestrowane w sektorze off-shore, *Prace Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni*, 26, 61-77.
- [9] Biegarczyk B., Praca inżynierska pt. Wyciek ropy naftowej do wód Zatoki Meksykańskiej w 2010 r. – analiza przyczyn zdarzenia, akcja ratownicza oraz wpływ na środowisko naturalne. *ICHOiE, Politechnika Łódzka, Łódź* 2012.
- [10] Mihailidou E. K., Antoniadis K. D., Assael M. J., 2012, The 319, major industrial accidents since 1917, *Inter. Rev. Chem. Engineering (I.RE.CH.E.)*, 4(6), 529-540.
- [11] Deepwater Horizon oil spill, [http://en.wikipedia.org/wiki/Deepwater\\_Horizon\\_oil\\_spill](http://en.wikipedia.org/wiki/Deepwater_Horizon_oil_spill), dostęp: 14.02.2016.
- [12] BP 2010. Deepwater Horizon Accident Investigation Report. Houston, TX, BP. [http://www.bp.com/liveassets/bp\\_internet/globalbp/globalbp\\_uk\\_english/incident\\_response/STAGING/local\\_assets/downloads\\_pdfs/Deepwater\\_Horizon\\_Accident\\_Investigation\\_Report.pdf](http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/incident_response/STAGING/local_assets/downloads_pdfs/Deepwater_Horizon_Accident_Investigation_Report.pdf), dostęp: 14.02.2016.
- [13] Paszkowski M., 2010, BP po katastrofie, *Przem. Chem.*, 89(9), 1173.
- [14] Belter Ch., 2014, Deepwater Horizon: A Preliminary Bibliography of Published Research and Expert Commentary, NOAA Central Library Current References Series No. 2011-01, USA, February 2011- 13 May 2014; [http://www.lib.noaa.gov/researchtools/subjectguides/dwh\\_bibliography.pdf](http://www.lib.noaa.gov/researchtools/subjectguides/dwh_bibliography.pdf), dostęp: 24.02.2016.
- [15] Zbyryt A., 2012, Ile ptaków zginie w Zatoce Meksykańskiej, *Aura*, 4, 16-18.
- [16] Dupuis A., Ucan-Marin F., 2015, A literature review on the aquatic toxicology of petroleum oil: An overview of oil properties and effects to aquatic biota, Fisheries and Oceans Canada, Ottawa, dostęp: [http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/Publications/ResDocs-DocRech/2015/2015\\_007-eng.pdf](http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/Publications/ResDocs-DocRech/2015/2015_007-eng.pdf), dostęp: 04.03.2016.
- [17] Finneran S.R., Thompson N.G., Padgett B.N., Rollins B.C., 2013, Forensic Investigation of the Deepwater Horizon Blowout Preventer. *Materials Performance* 52(12), 30-35. <http://mp.epubxp.com/i/214911-dec-2013>, dostęp: 04.03.2016.
- [18] Barron M. G., 2012, Ecological Impacts of the Deepwater Horizon Oil Spill: Implications for Immunotoxicity, *Toxicol. Pathol.*, 40(2), 315-320.
- [19] Belanger M., Tan L., Askin N., Wittnich C., 2010, Chronological effects of the Deepwater Horizon Gulf of Mexico oil spill on regional seabird casualties. *Journal of Marine Animals and Their Ecology*, 3(2), 10-14.
- [20] Lamendella R., Strutt S., Borglin S., Chakraborty R., Tas N., Mason O.U., Hultman J., Prestat E., Hazen T.C., Jansson J.K., 2014, Assessment of the Deepwater Horizon oil spill impact on Gulf coast microbial communities, *Frontiers in Microbiol.*, 5, 130.
- [21] 2012. Deepwater Horizon Oil Spill Principal Investigator Workshop: Final Report. Washington, DC: National Science and Technology Council, Subcommittee on Ocean Science and Technology. <http://www.marine.usf.edu/conferences/fio/NSTC-SOST->



-PI-2011/documents/SOST\_2011\_DWH\_Workshop\_Final\_Report.pdf, dostęp: 04.03.2016.

[22] Markowski A. S. (red), Materiały Seminarium nt. „Identyfikacja i ocena zagrożeń chemicznych”, Politechnika Łódzka, CSzOŚ, Świecie 1993.

[23] Markowski A. S., (red.), Zarządzanie ryzykiem w przemyśle chemicznym i procesowym, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2001.

[24] Borysiewicz M., 2003, Zapobieganie poważnym awariom w przemyśle chemicznym, *Przem. Chem.*, 82(1), 5-8.

[25] Rak J., Babiarczyk B., Tchórzewska-Cieślak B., Studziński A., 2005, O podstawowych uwarunkowaniach analiz i ocen ryzyka, *Gaz, Woda Techn. Sanit.*, 11, 42-45.

[26] Myszyńska K., 2015, Emisje amoniaku i innych związków

azotu jako grupa poważnych awarii na terenie Polski, *Eliksir*, 1, 17-20.

[27] Dobrosz D., Znamy przyczyny katastrofy ekologicznej w Zatoce Meksykańskiej

<http://paliwa.inzynieria.com/cat/19/art/25489/znamy-przyczyny-katastrofy-ekologicznej-w-zatoce-meksykanskiej#ixzz41uS2W2IA>, dostęp: 14.02.2016.

[28] Kujawinski E. B., Kido Soule M. C., Valentine D. L., Boysen A. K., Longnecker K., Redmond M. C., 2011, Fate of Dispersants Associated with the Deepwater Horizon Oil Spill. *Environ. Sci. Technol.*, 45(4), 1298-1306.

[29] Smith P., Kincannon H., Lehnert R., Wang Q., Larrañaga M., 2013, Human error analysis of the macondo well blowout. *Proc. Safety Progr.*, 32(2), 217-221.

**Bolesław Szadkowski, Martyna Pingot**

bolekszadkowski92@gmail.com

*Instytut Technologii Polimerów i Barwników, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka*

## Nanorurki węglowe – materiał przyszłości

### Budowa nanorurek węglowych

Nanometrycznej wielkości rurki węglowe, niewidoczne gołym okiem mają zdaniem naukowców zmienić nasz świat w taki sam sposób, jak zmieniły go komputery, internet, lasery, czy też inne wynalazki i odkrycia naukowe. Od roku 1991 historia odkrycia i badań nanorurek węglowych trwale wpisana jest w najnowszą historię nauki na świecie, a za odkrywców uznaje się naukowców z laboratorium NEC w Japonii (Prof. Sumio Iijima).

Nanorurki węglowe jako jedna z odmian alotropowych węgla są materiałami, które swoją budową przypominają walec. Możemy je zaliczyć do nanonapełniaczy wykazujących strukturę 2D. Średnica nanorurek osiąga wartości od 2 do 20 nm, natomiast sama ich długość może sięgać 2 cm. Nanorurki węglowe zostają utworzone poprzez zwinięcie jednoatomowej płaszczyzny grafitowej, lecz sposób zwijania płaszczyzn nie jest jednakowy dla każdej nanostruktury. Nanorurki różnią się między sobą długością, średnicą, a także kątem skrętności. Wyróżnia się następujące rodzaje nanorurek węglowych [1-5]:

- jednowarstwowe,
- wielowarstwowe,
- nanocewki,
- nanotorusy,
- fuleryty.

Parametrem, który określa sposób, w jaki warstwa grafenowa jest owinięta wokół osi nanorurek, jest chiralność. Związki chiralne są optycznie czynne, co oznacza, że mogą one skręcać w lewo lub w prawo światło spolaryzowane, które rozchodzi się wzdłuż osi. Chiralność opisywana jest przez takie czynniki, jak: wskaźniki chiralności (oznaczają współrzędne sześciokąta na płaszczyźnie grafenowej), wektor chiralny (opisany przez wskaźniki chiralności), kąt chiralny (kąt zawarty pomiędzy osią symetrii a wektorem chiralnym) [6]. W zależności od wielkości kąta chiralnego mamy do czynienia z różnymi strukturami nanorurek:

- struktura fotelowa ( $\theta = 30^\circ$  – struktura ta jest optycznie nieczynna)
- struktura zygzak ( $\theta = 0^\circ$  – struktura nie jest chiralna, nanorurki zachowują się jak metale)
- struktura skrętna ( $0 < \theta < 30^\circ$  – nanorurki są chiralne).

### Otrzymywanie nanorurek

Otrzymywanie nanorurek węglowych opiera się na powolnej kondensacji gorących par atomów węgla. Podczas łączenia się poszczególnych atomów węgla utworzone płaskie konfiguracje są niestabilne, co związane jest z wysoką energią nienasyconych wiązań na brzegach płaszczyzn. Prowadzi to do utworzenia struktury zamkniętej typu fulerenów bądź nanorurek, ponieważ zmniejsza się w taki sposób

