

Anna Turkiewicz, Piotr Kapusta, Joanna Brzeszcz  
*Instytut Nafty i Gazu, Kraków*

## Mikroorganizmy i procesy mikrobiologiczne w przemyśle naftowym

W artykule omówiono kilka dziedzin zastosowania mikroorganizmów oraz badań procesów biogenych dla potrzeb przemysłu naftowego. Prace badawcze zostały zrealizowane w Zakładzie Mikrobiologii INiG, przy współpracy specjalistów z Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa SA. Zaprezentowano badania nad wpływem procesów mikrobiologicznych na biodegradację cieczy wiertniczych i na stan strefy przyodwiertowej oraz metody intensyfikacji wydobywania ropy naftowej. Ponadto omówiono zastosowanie drobnoustrojów w pracach poszukiwawczych, a także przedstawiono procesy biogenne zachodzące w środowisku złożowym magazynów gazu i w środowisku paliw płynnych.

### Microorganisms and biogenic processes in oil industry

The paper reports the practical applications of microorganisms and biogenic processes in oil and gas industry. This research works were performed in Microbiology Dep. of Oil and Gas Institute with the collaboration of Polish Oil and Gas Company. Laboratory studies concern biodegradation of drilling fluids, the effect of bacteria on rocks permeability and the application of microbial survey techniques in oil industry. Moreover, we focus our attention on microbial enhanced oil recovery (MEOR). The article also discusses the methods which were employed during the fuels storage and underground gas storage in depleted reservoirs.

### Wstęp

Procesy mikrobiologiczne odgrywają znaczącą rolę w wielu dziedzinach gospodarki i działalności przemysłowej oraz w problematyce ochrony środowiska. W ciągu ostatnich kilkunastu lat nastąpił wzrost zainteresowania tą dyscypliną wiedzy i praktycznym zastosowaniem metod i technologii uwzględniających procesy metaboliczne drobnoustrojów dla potrzeb poszukiwań i eksploatacji złóż węglowodorów. Przez wiele lat wyniki prac naukowo-badawczych zrealizowanych przez Zakład Mikrobiologii INiG miały praktyczne zastosowanie w przemyśle nafty i gazu, i były zakończone wieloma wdrożeniami na krajowych obiektach złożowych. Obecnie metody mikrobiologiczne nadal spotykają się z zainteresowaniem ze strony

przedstawicieli przemysłu, a metody badawcze są wciąż udoskonalane i modyfikowane w zależności od aktualnych potrzeb i pojawiających się problemów.

Mikroorganizmy i procesy biogenne mogą być wykorzystywane dla usprawnienia poszukiwań i eksploatacji złóż, jednak w wielu przypadkach ich nadmierny i niekontrolowany rozwój może być przyczyną powstania skażenia mikrobiologicznego, czego przykładem są procesy biodegradacji płuczek wiertniczych, zanieczyszczenie paliw i magazynowanego gazu ziemnego oraz korozja mikrobiologiczna. Poniżej omówiono kilka dziedzin zastosowania mikrobiologii w pracach badawczych prowadzonych dla potrzeb krajowego przemysłu naftowego.

### Zastosowanie drobnoustrojów wskaźnikowych w pracach poszukiwawczych

Biorąc pod uwagę związek mikroorganizmów ze złożami bituminów, przez wiele lat badania mikrobiologiczne były włączone do kompleksowych badań geochemicznych i geologicznych realizowanych w ramach prac poszukiwawczych. Instytut Nafty i Gazu wykonywał prace badawcze wykorzystując metodę biokarotażu (tj. mikrobiologicznego profilowania odwiertów) oraz metodę powierzchniową – opartą na izolacji bakterii wykorzystujących węglowodory jako jedyne źródło węgla organicznego. W metodzie

profilowania odwiertów, obiektem badań są rdzenie skalne reprezentujące różne utwory geologiczne, z których przy pomocy specjalistycznych podłoży mikrobiologicznych izoluje się drobnoustroje wskaźnikowe, występujące w warstwach ropo- i gazonośnych. Metodę biokarotażu według Mogilewskiego zmodyfikowano, poszerzając zakres oznaczeń, jak również opracowano własną metodykę poboru i badania materiału skalnego. Omawiana metoda pozwala na określenie stref rozmieszczenia poszczególnych grup

mikroorganizmów oraz stopnia ich aktywności w profilu geologicznym, wykorzystując metaboliczne właściwości w zakresie utleniania poszczególnych węglowodorów. Ułatwia również prognozowanie perspektywiczności badanego obszaru, a otrzymane wyniki potwierdzają ścisłą współzależność z wynikami badań geochemicznych rozproszonej substancji organicznej w materiale skalnym. Zaletą metody jest jej wysoka czułość, co umożliwia wykrycie śladowych zawartości węglowodorów.

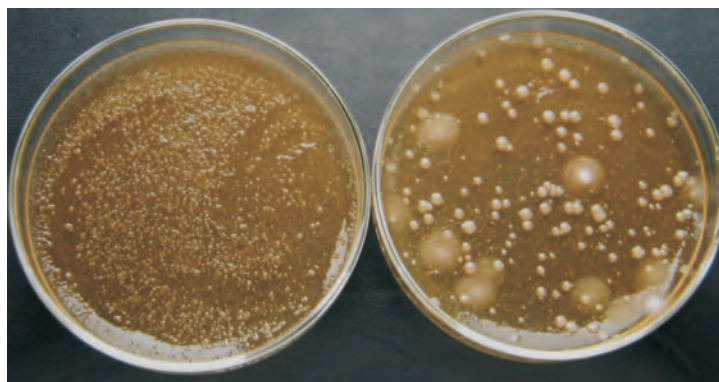
Drugą omawianą metodą jest metoda powierzchniowa [11], opierająca się na założeniu, że węglowodory, które są generowane i/lub gromadzone na znacznych głębokościach, migrują do powierzchni przez system mikropęknięć i szczelin. Jest to proces niezwykle powolny, jednakże w skali czasu geologicznego objawiający się przez istnienie nieznacznie podwyższonego, ale wykrywalnego za pomocą metod analitycznych stężenia lekkich węglowodorów (przede wszystkim  $C_1$ - $C_5$ ), szczególnie w glebie i wodach przypowierzchniowych. Podwyższonemu stężeniu węglowodorów towarzyszy statystycznie istotny wzrost liczby specyficznych mikroorganizmów utleniających te węglowodory, tj. bakterii metanotrofowych (utleniających metan), i mikroorganizmów utleniających propan/butan. Istnienie anomalii powierzchniowej powinno zatem odzwierciedlać akumulację węglowodorów. Dlatego wszelkie struktury, a także potencjalne pułapki występujące w pobliżu anomalii powierzchniowych należy uznawać za znacząco bardziej perspektywiczne niż te, które nie są związane z takimi anomaliami.

Do zalet mikrobiologicznej metody powierzchniowej należy:

- udokumentowanie istnienia generacji i migracji węglowodorów,
- relatywnie niski koszt, łatwość i szybkość poboru prób oraz ich analizy,
- przydatność zarówno w pracach lądowych, jak i morskich,
- wysoka czułość, która pozwala na wykrycie nawet nieznacznych, „dyskretnych” stanów anomalnych – pod warunkiem prawidłowej oceny wartości progowych,

- przydatność w badaniach rozpoznawczych w celu oszacowania perspektywiczności danego obszaru (również przed wykonaniem prac sejsmicznych),
- minimalny wpływ na środowisko naturalne, a więc możliwość prowadzenia badań na obszarach niedostępnych dla szczegółowych prac sejsmicznych, jak również wszędzie tam, gdzie prace sejsmiczne mogłyby być mało efektywne ze względu na czynniki geologiczne i środowiskowe,
- powtarzalność; wyników,
- możliwość oceny zarówno stratygraficznych, jak i strukturalnych pułapek pod względem akumulacji węglowodorów, ponadto możliwość lokalizacji pułapek słabo udokumentowanych danymi sejsmicznymi,
- możliwość stosowania tej metody w rozmaitych warunkach klimatycznych i terenowych,
- w szczególnych przypadkach możliwość rozróżnienia pomiędzy złożem gazowym, a ropno-gazowym.

Kluczowym zagadnieniem decydującym o sukcesie zastosowania metody powierzchniowej jest prawidłowe wyznaczenie poziomu tła. Wartość tła może się wahać w dużym zakresie w zależności od obszaru, na którym prowadzone są badania i dlatego zawsze musi być wyznaczana indywidualnie. Biorąc pod uwagę istotną rolę, jaką odegrały mikroorganizmy w diagenecie substancji organicznej oraz ich związek ze złożami bituminów, badania mikrobiologiczne stanowią cenne uzupełnienie kompleksowych badań geochemicznych oraz geologicznych realizowanych dla potrzeb poszukiwań złóż węglowodorów.



Fot. 1. Przykład rozwoju bakterii wskaźnikowych – hodowla na szalkach Petriego

### Badania procesów biodegradacji płuczek wiertniczych

Problemy związane z rozkładem materiałów technicznych stosowanych w wiertnictwie dotyczą przede wszystkim organicznych składników płuczek polimerowych [2, 10]. Obecnie zwraca się również uwagę na stan mikrobiologiczny płynów nadpakerowych i zaczynów

cementowych. Warunkiem rozwoju mikroorganizmów w płuczce wiertniczej jest obecność wody oraz dostępność podstawowych składników odżywczych. Przystawalnym źródłem węgla są wysokocząsteczkowe polimerowe związki organiczne. Mineralne składniki odżywcze mikroorga-

nizmy czerpią m.in. z rozkładu środków pomocniczych (emulgatorów, inhibitorów korozji), jak również z wody bazowej i związków nieorganicznych, przedostających się do płuczki z przewierczanych warstw.

W celu zapewnienia wysokiej jakości i trwałości płuczek wiertniczych, dla potrzeb przemysłu przeprowadzono szereg badań mikrobiologicznych wód bazowych, przeznaczonych do sporządzania płuczek wiertniczych, płuczek polimerowych w różnych stadiach ich użytkowania oraz badania procesów biodegradacji polimerów [15]. Ocena stopnia skażenia mikrobiologicznego płynów stosowanych w inżynierii złożowej oraz dobór odpowiednich preparatów antybakteryjnych, dostosowanych do wymagań technologicznych i warunków złożowych, jest przedmiotem zainteresowania firm poszukiwawczych. W Zakładzie Mikrobiologii INiG wykonano serię badań laboratoryjnych nad doбором odpowiednich preparatów oraz metod ich zastosowania w płuczkach polimerowych. Należy zaznaczyć, że badania mikrobiologiczne płynów wiertniczych znajdują zastosowanie w przemyśle naftowym, dostarczając ważnych informacji dotyczących skuteczności działania wielu środków antybakteryjnych w warunkach złożowych.

Z doniesień literaturowych [12, 13, 16] znane są zjawiska biologicznego rozkładu polimerów naturalnych i półsyntetycznych, a nawet syntetycznych – pomimo ich wysokiej odporności uwarunkowanej budową chemiczną. Zjawisko to jest możliwe dzięki specyficznym enzymom bakteryjnym, które atakują wiązania w cząsteczkach polimerów i uwalniają poszczególne monomery, wykorzystując je jako źródło węgla, azotu i fosforu. Od wielu lat w technologii płuczek wiertniczych stosowane są liczne polimery, spełniające szereg różnych funkcji omówionych powyżej. Preparaty polimerowe, w porównaniu z konwencjonalnymi materiałami stosowanymi do sporządzania płuczek wiertniczych, są najlepszymi materiałami, ponieważ nie są toksyczne, a zatem nie stwarzają zagrożenia dla środowiska naturalnego. Problematyka biodegradacji płuczek wiertniczych stanowi szczególnie istotny aspekt w całości zjawisk związanych z degradacją tych płynów. Problem dotyczy przede wszystkim ochrony polimerów jako składników płynów wiertniczych, a więc wiąże się ze stosowaniem odpowiednich biocydów. Z drugiej strony należy zwrócić uwagę, że procesy biodegradacji również mają korzystne znaczenie, gdy pojawia się problem odpadów pozostających po wierceniu i konieczność ich utylizacji.

Drobnoustroje, dzięki swoim szczególnym właściwościom pełnią ważną rolę w wielu przemianach zachodzących w przyrodzie, jak również w procesach technolo-

gicznych z ich udziałem. Decyduje o tym duża szybkość przemiany materii, różnorodność prowadzonych reakcji chemicznych i produktów syntezy oraz znaczna zmienność fizjologiczna bakterii, co pozwala na sterowanie przebiegiem procesów mikrobiologicznych poprzez odpowiedni dobór parametrów środowiskowych. Omawiając problemy związane z degradacją wodno-dyspersyjnych polimerowych płuczek wiertniczych, za które odpowiedzialne są drobnoustroje, należy zwrócić uwagę na znaczenie tego procesu w technologii wiercenia. Podstawą procesu biodegradacji płuczek wiertniczych są zdolności różnych grup mikroorganizmów, takich jak bakterie właściwe, promieniowce, grzyby pleśniowe i drożdże, do wykorzystywania składników organicznych (wchodzących w skład płuczek) w reakcjach metabolicznych. Za biologiczny rozkład płuczek polimerowych odpowiedzialna jest mikroflora, reprezentowana przede wszystkim przez formy aerobowe (tlenowce), które doprowadzają do szybkiej degradacji. Procesy degradacji w warunkach anaerobowych są również istotne ze względu na zmiany parametrów płuczek wiertniczych, lecz zachodzą one znacznie wolniej. Mikrobiologiczny rozkład materiałów płuczkowych przebiega w wyniku rozwoju mikroorganizmów; bytujących w wodzie bazowej oraz pochodzących ze skażenia płuczki w trakcie jej sporządzania, przechowywania oraz podczas kontaktu z mikroflorą złożową.

Procesy te należą do szczególnie uciążliwych zjawisk występujących w trakcie prac wiertniczych. Pomimo stosowania szeregu środków prewencyjnych, w warunkach przemysłowych nadal pojawiają się problemy związane z niekontrolowanym rozwojem mikroflory, prowadzące do pogarszania się parametrów technologicznych oraz reologicznych płuczek wiertniczych. Zagadnienie to jest bardzo istotne ze względu na konieczność utrzymania prawidłowych parametrów płuczki wiertniczej w trakcie procesu wiercenia, ale również ze względu na ochronę przed skażeniem bakteriologicznym strefy przyodwiertowej.

Stan mikrobiologiczny wód bazowych, stosowanych w warunkach przemysłowych do sporządzania płuczek wiertniczych, w znacznym stopniu wpływa na jakość oraz trwałość płuczki. Drobnoustroje, które występują w wodzie technologicznej aktywnie uczestniczą w procesach biodegradacji i stanowią źródło skażenia płuczki wiertniczej. Liczebność i aktywność aerobowych oraz anaerobowych mikroorganizmów uzależniona jest nie tylko od składu chemicznego płuczki wiertniczej, ale również od szeregu innych czynników, m.in. temperatury, pH środowiska oraz warunków przechowywania wody technologicznej (wody zarobowej do sporządzania płuczki).



W warunkach wysokiej alkaliczności cieczy wiertniczej zostaje unieczynniona część enzymów, a także następuje rozpad struktur komórkowych. Istnieją jednak mikroorganizmy przystosowane metabolicznie do takich środowisk. Należą do nich bakterie alkali-filne, które tolerują lub nawet preferują ekstremalne wartości pH dla optymalnego wzrostu.



Fot. 2, 3. Komora z laminarnym przepływem sterylnego powietrza do badań mikrobiologicznych oraz hodowle bakteryjne w podłożu płynnym

Omawiane prace badawcze obejmowały:

- ocenę stopnia skażenia mikrobiologicznego płuczek wiertniczych stosowanych w krajowym przemyśle naftowym,
- izolację drobnoustrojów powodujących biodegradację polimerowych płuczek wiertniczych,
- badanie wpływu mikroorganizmów na zmiany parametrów reologicznych cieczy wiertniczej,
- opracowanie metod ochrony polimerowych płuczek wiertniczych przed biodegradacją w warunkach przemysłowych, w oparciu o badania laboratoryjne.



Fot. 4. Spektrofotometr MARCEL MEDIA EKO, stosowany do badań stopnia biodegradacji polimerów

Badaniom poddano płuczki wiertnicze stosowane w krajowym wiertnictwie w ciągu ostatnich kilku lat. Badania te dotyczyły występowania procesów rozkładu polimerów, w tym przede wszystkim: karboksymetylocelulozy, pochodnych skrobiowych oraz poliakryloamidu w płuczkach wiertniczych. W pracach laboratoryjnych uwzględniono badania mikrobiologiczne dotyczące procesów szybkiej biodegradacji płuczki wiertniczej, zawierającej w składzie

chemicznym tzw. blokator organiczny, przeciwdziałający zanikom (ucieczkom) płuczki wiertniczej w trakcie wiercenia. Uwzględniono również procesy biologicznej redukcji siarczanów w środowisku polimerowej płuczki wiertniczej przy udziale beztlenowych bakterii z grupy SRB (*Sulphate Reducing Bacteria*).

Badania skuteczności działania biocydów o zróżnicowanych składach chemicznych w środowisku płuczki wiertniczej miały na celu wytypowanie najbardziej efektywnego środka bakteriobójczego, zwalczającego skażenie biologiczne i zabezpieczającego płuczki polimerowe przed biodegradacją.

Przeprowadzono także badania zmian parametrów reologicznych w płuczce wiertniczej pod wpływem działania mikroorganizmów. Celem tych badań było stwierdzenie, w jakim zakresie drobnoustroje wpływają na poszczególne parametry płuczki wiertniczej, a tym samym na jej jakość i trwałość w procesie wiercenia otworu. Wyizolowaną mikroflorę wykorzystano w badaniach zmian przepuszczalności skał zbiornikowych [4, 5, 15], w celu stwierdzenia, w jakim stopniu drobnoustroje rozkładające polimery stosowane w płuczkach wiertniczych mogą być przydatne w likwidacji uszkodzeń strefy przyodwiertowej, powstających na skutek procesu kolmatacji. Przeprowadzone badania wykazały, że mikroorganizmy są zdolne zmniejszać uszkodzenia strefy przyodwiertowej oraz usuwać tzw. placek filtracyjny (ang. „filter cake”) w rdzeniach modelowych. Co więcej, udowodniono, że w procesie tym można wykorzystywać rozmaite bakterie; ważne jest tylko, aby rozkładające polimery same nie powodowały blokowania przestrzeni porowej skały zbiornikowej. Obecnie poszukuje się mikroorganizmów zdolnych do degradowania oporniejszych związków polimerowych, takich jak żywica guarowa i polimer XCD (guma ksantanowa).

## Intensyfikacja wydobycia węglowodorów przy udziale mikroorganizmów – metody MEOR (*Microbial Enhanced Oil Recovery*)

Jednym z ważnych problemów, w obliczu których staje przemysł naftowy, jest odzysk znacznych ilości ropy naftowej, która pozostaje po wyczerpaniu się naturalnych warunków energetycznych złoża oraz na skutek wydzielenia się frakcji smolisto-asfaltowych, a także wypadania parafiny w strefie przyodwiertowej. Technologie te obejmują między innymi wprowadzenie do złoża rozpuszczalników i związków powierzchniowo-czynnych, jak również nagażowanie i nawadnianie złoża. Zastosowanie technologii intensyfikacyjnych (zwanych również wtórnymi metodami odzysku ropy) napotyka jednak szereg ograniczeń. Przede wszystkim drastycznie wzrasta całkowity koszt wydobycia, co w wielu przypadkach czyni sam proces odzysku ekonomicznie nieopłacalnym. Z tego powodu wzrosło zainteresowanie metodami alternatywnymi ukierunkowanymi na obniżenie kosztów, a równocześnie nieszkodliwymi dla środowiska naturalnego. Metodami spełniającymi powyższe warunki są metody mikrobiologiczne, oparte na zdolnościach metabolicznych bakterii [1, 3, 6]. Powstało kilka wyspecjalizowanych firm stosujących mikrobiologiczne metody intensyfikacji wydobycia ropy naftowej. Bardzo dobre efekty uzyskano w wielu krajach, np. Argentynie, Chinach, Kanadzie, USA i Wenezueli. Najnowsze zastosowania dotyczą także złóż zlokalizowanych na Morzu Północnym, w Meksyku, Trynidadzie i w Australii.

Kluczową sprawą dla odniesienia sukcesu w stosowaniu technologii mikrobiologicznych jest dobór odpowiednich mikroorganizmów. Mikroorganizmy mogą wpływać na odzysk ropy działając w rozmaity sposób:

- produkując gazy, które zwiększają ciśnienie złożowe i zmniejszają lepkość ropy,
- produkując kwasy, które rozpuszczają skałę zbiornikową, zwiększając tym samym całkowitą przepuszczalność,
- modyfikując przepuszczalność stref o wysokiej przepuszczalności przez, wzrost biomasy i produkcję polimerów, a tym samym uniemożliwiając ucieczkę wody w procesie nawadniania złoża,
- zmieniając zwilżalność,
- wydzielając środki powierzchniowo-czynne, które obniżają napięcie powierzchniowe,
- redukując lepkość ropy poprzez degradację węglowodorów nasyconych o długim łańcuchu.

Z powyższych względów, komercyjne preparaty bakteryjne stosowane w procesie mikrobiologicznej intensyfikacji stanowią złożone konsorcjum mikroorganizmów, których działanie ma charakter synergiczny. Najważniejszym kryterium selekcji mikroorganizmów jest zdolność rozkładu węglowodorów. Proces ten prowadzi do całego szeregu przemian biochemicznych w ropie naftowej i w konsekwencji jest kluczowy dla całego zagadnienia intensyfikacji. Następuje zwiększenie frakcji węglowodorów o krótszym łańcuchu ( $< C_{15}$ ), a więc tzw. frakcji transportującej ropę, co z kolei ogranicza wypadanie parafin. Ważne są również inne kryteria, takie jak tolerancja wysokiego stężenia soli i szerokiego zakresu pH przez mikroorganizmy, wzrost w warunkach tlenowych i beztlenowych, a także w zakresie średnich i wyższych temperatur (bakterie mezo- i termofilne). Do niedawna za niezmiernie istotną cechę uważano ruchliwość, natomiast obecnie przyjmuje się, że mikroorganizmy przenoszone są raczej pasywnie z płynami złożowymi; kolonizacja następuje także poprzez tworzenie biofilmu wewnątrz struktur porowatych, a oddziaływanie odbywa się wyłącznie na granicy faz woda złożowa-ropa. Zasadniczo omawiana technologia opiera się na wprowadzeniu mikroorganizmów z zewnątrz, równolegle z dostarczeniem im substancji pokarmowych. Założenie to jest jak najbardziej słuszne, ale wiąże się z czasochłonnym przygotowaniem zawiesiny bakteryjnej. Obecnie trwają prace badawcze polegające na pobudzeniu aktywności metabolicznej bakterii znajdujących się w złożu, co może jeszcze obniżyć koszt całej technologii. Dodatkowo technologię można przygotować tak, aby – oprócz stymulacji wydobycia ropy – równolegle następowała kontrola procesu korozji i eliminowanie produkcji biogenego siarkowodoru.

### Powstawanie biogenego siarkowodoru w wyniku działalności bakterii w środowisku złożowym podziemnych magazynów gazu

Problematyka podziemnego magazynowania gazu w warunkach złożowych wiąże się z opracowaniem metod zabezpieczenia przechowywanych zasobów m.in. przed szkodliwą działalnością mikroorganizmów. Jedną z waż-

nych przyczyn obniżenia jakości (tj. zasiarczenia gazu) jest proces biologicznej redukcji siarczanów. Pojawienie się siarkowodoru, będącego produktem przemian metabolicznych bakterii redukujących siarczany, stwarza szczególnie

problem w trakcie eksploatacji, ponieważ czynnikiem odpowiedzialnym za obecność  $H_2S$  są drobnoustroje o wysokich zdolnościach przystosowawczych. Wykazują one znaczną tolerancję w stosunku do ekstremalnych warunków środowiska oraz wykazują odporność na wiele znanych środków antybakteryjnych.

Procesy mikrobiologiczne, których efektem jest zsiarczenie magazynowanego gazu ziemnego, związane są ze skażeniem wód towarzyszących złożom węglowodorów. Stanowią one dogodne dla rozwoju bakterii środowisko, a zawarte w nich węglowodory dodatkowo stymulują wzrost mikroorganizmów – przyczyniając się tym samym do powstania na wewnętrznej powierzchni rur oraz zbiorników błony zawierającej komórki bakteryjne i produkty ich metabolizmu (tzw. biofilmu). Aby skutecznie przeciwdziałać procesom tworzenia się  $H_2S$  w złożu oraz korozji siarkowodorowej, konieczne jest monitorowanie

stanu bakteriologicznego i chemicznego wód złożowych oraz składu magazynowanego gazu ziemnego. Korozja mikrobiologiczna w przypadku tak istotnych obiektów jak magazyny gazu, które – oprócz regulowania godzinowych, dobowych oraz sezonowych zapotrzebowań na gaz – gwarantują bezpieczeństwo energetyczne kraju, jest zjawiskiem szczególnie groźnym.

Prace badawcze nad izolacją grup bakterii redukujących i utleniających związki siarki z wód złożowych oraz nad wytypowaniem skutecznych preparatów antybakteryjnych (biocydów i  $H_2S$  Scavengers) realizowane były na kilku obiektach magazynowych i zakończyły się licznymi wdrożeniami [7, 14]. Zagadnienia te spotkały się również z dużym zainteresowaniem ze strony specjalistów z Society of Petroleum Engineers i zostały zaprezentowane na sesji naukowej dotyczącej ochrony środowiska, na Konferencji ATCE 2004 w Houston [9].



**Fot. 5, 6.** Krajowe obiekty PMG, na których wdrożono technologię INiG opartą na synergicznym zastosowaniu biocydów i  $H_2S$  Scavengers bezpośrednio do złoża oraz w instalacji powierzchniowej

### Mikrobiologiczna degradacja paliw płynnych

Oprócz magazynowania gazu ziemnego, ważnym problemem jest również magazynowanie paliw płynnych. Paliwa te mogą stanowić substraty w procesach metabolicznych wielu grup mikroorganizmów. Powszechnie znane są przypadki szkodliwego oddziaływania drobnoustrojów na różne rodzaje paliw, co związane jest ze znacznymi stratami ekonomicznymi.

Jedną z przyczyn tego zjawiska są procesy biogenne, zachodzące na dnie zbiorników naziemnych przeznaczonych do przechowywania paliw (np. olejów napędowych i opałowych), w warstwie wody oraz na granicy faz wody i oleju. Procesy destrukcji paliw płynnych spowodowane są przez działalność mikroorganizmów reprezentowanych przez różnorodne grupy systematyczne, m.in. kilka rodzajów

bakterii właściwych, promieniowców i grzybów pleśniowych. Na podstawie zrealizowanych w INiG w latach 90. badań mikrobiologicznych skażonych olejów napędowych i opałowych pochodzących ze zbiorników rafineryjnych, w badanych próbkach stwierdzono obecność obfitej i różnorodnej mikroflory aerobowej oraz anaerobowej [8].

Drobnoustroje były izolowane z 3 ośrodków:

- fazy olejowej,
- fazy wodno-olejowej,
- fazy wodnej.

Przeprowadzono testy efektywności działania biocydów, z wyznaczeniem optymalnego preparatu antybakteryjnego, który w minimalnej dawce charakteryzował się najwyższą skutecznością w likwidacji drobnoustrojów



odpowiedzialnych za biodegradację. Badania zrealizowano z wykorzystaniem biocydów z grupy Dodigenów, przeznaczonych do zastosowania w środowisku węglowodorów

płynnych. Rezultaty badań mikrobiologicznych oraz badań testowych preparatów antybakteryjnych zostały wykorzystane w krajowym przemyśle rafineryjnym.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Józef Raczkowski

## Literatura

- [1] Austin B., Calomiris J.J., Walker J.D., Colwell R.R.: *Numerical taxonomy and ecology of petroleum-degrading bacteria*. Applied Environ. Microbiology, July 1977.
- [2] Bland R.G. et al.: *Biodegradation and drilling fluid chemicals Proc. of the Drill. Conf., SPE/IADC*, Amsterdam 1993.
- [3] Dietrich F.L., Brown F.G., Zhou Z.H., Maure M.A.: *Microbial EOR technology advancement: case studies of successful projects*. Denver, Colorado, USA, SPE ATCE 1996.
- [4] Falkowicz S., Kapusta P.: *Biological control of formation damage*. SPE nr 73792, Int. Symposium and Exhibition, Louisiana, USA, Feb. 2002.
- [5] Falkowicz S., Turkiewicz A., Kapusta P.: *Effect of Anaerobic Bacteria on Permeability Changes of Reservoir Rocks*. Konferencja Naukowo-Techniczna AGH nt.: „Modern Exploration and Improved Oil and Gas Recovery Methods – East Meets West?”. Materiały konferencyjne. Kraków, wrzesień 1998.
- [5] Karaskiewicz J.: *Zastosowanie metod mikrobiologicznych w intensyfikacji eksploatacji karpaccich złóż ropy naftowej*. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice, 1974.
- [6] Niewiadomska A.: *Badania procesów mikrobiologicznych w PMG Swarzów i metody zapobiegania powstawaniu biologicznego H<sub>2</sub>S*. Nafta-Gaz nr 11. 1994.
- [7] Niewiadomska A., Turkiewicz A.: *Oleje napędowe i palowe jako substraty w procesach metabolicznych mikroorganizmów tlenowych i beztlenowych*. Konferencja Naukowo-Techniczna GEOPETROL nt.: „Problemy naukowo-badawcze i rozwojowe poszukiwań i eksploatacji złóż gazu ziemnego i ropy naftowej”. Zakopane, wrzesień 2000. Prace IGNiG nr 110: s. 781-784.
- [8] Raczkowski J., Turkiewicz A., Kapusta P.: *Elimination of Biogenic Hydrogen Sulfide in Underground Gas Storage: A Case Study*. ATCE SPE, Houston, TX, Sep. 26-29, 2004, SPE 89906.
- [9] Raczkowski J., Chudoba J., Półchłópek T., Suffczyński S.: *Środki chemiczne zapobiegające rozkładowi biologicznemu organicznych składników płuczek wiertniczych*. Nafta-Gaz 1995; (1): s. 18-22.
- [10] Schumacher D.: *Geochemical tools - Surface geochemical exploration [w] T. Beaumont, ed., Exploring for traps and seals: AAPG Treatise of Petroleum Geology Handbook*, 1999, s. 1-20.
- [11] Smith E.A., Prues S.L., Oehme F.W.: *Environmental degradation of polyacrylamides. Effects of artificial environmental conditions: temperature, light and pH*. Ecotoxicol. Environ. Saf., 35 (2), 1996, s. 121-135.
- [12] Tomme P. et al.: *Characterization of CenC, an enzyme from Cellulomonas fimi both endo- and exoglucanase activities*. Journ. Bacteriol., 178 (14), 1996, s. 4216-4223.
- [13] Turkiewicz A., Kapusta P.: *Sposób ograniczenia zawartości siarkowodoru w płynach złożowych i gazie ziemnym*. Patent RP nr 199583, 2008.
- [14] Turkiewicz A., Raczkowski J.: *Wpływ procesów mikrobiologicznych na biodegradację wodnodispersyjnych polimerowych płuczek wiertniczych*. Monografia, Prace IGNiG nr 143, 2007.
- [14] Warren R.A.: *Microbial hydrolysis of polysaccharides*. Ann. Rev. Microbiol., 50, 1996, s. 183-212.



Dr Anna TURKIEWICZ – absolwentka Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi Uniwersytetu Jagiellońskiego. Adiunkt w Instytucie Nafty i Gazu, kierownik techniczny Zakładu Mikrobiologii INiG. Autorka ok. 50 publikacji naukowych, w tym patentów z zakresu PMG. Specjalizacja: mikrobiologia płynów złożowych i biodegradacja płynów wiertniczych.



Dr Piotr KAPUSTA – absolwent Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi Uniwersytetu Jagiellońskiego. Adiunkt w Instytucie Nafty i Gazu, kierownik Zakładu Mikrobiologii INiG. Zainteresowania badawcze: bioremediacja, mikrobiologia złóż ropy naftowej i gazu ziemnego.



Mgr Joanna BRZESZCZ – absolwentka Wydziału Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego. Specjalizacja: chemia biologiczna, synteza organiczna. Odebrała staż naukowy na Uniwersytecie Orleans we Francji, uczestniczyła w krajowych i zagranicznych konferencjach naukowo-technicznych i seminariach.