

Małgorzata Kania, Irena Matyasik
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Testy stabilności znaczników fluorescencyjnych wykorzystywanych do śledzenia kierunku migracji płynów w złożach gazu ziemnego

Wstęp

Mianem „znaczników” (ang. *tracers*) określa się substancje chemiczne (proste lub złożone), które można łatwo identyfikować w celu śledzenia przebiegu procesów fizycznych, chemicznych lub biologicznych, zachodzących w różnych układach. Takim przykładowym układem może być złożo gazu ziemnego.

Podstawowym warunkiem, jaki powinien spełniać odpowiednio dobrany znacznik, jest jego pełna reprezentatywność dla określonego składnika badanego układu (tj. właściwości mechaniczne znacznika i danego składnika śledzonego powinny być zbliżone). Tym samym, znacznik musi się wyróżniać cechami specyficznymi (np. wykazywać różne właściwości chemiczne), dzięki którym można go łatwo oznaczać jakościowo i ilościowo, nawet przy jego śladowych stężeniach. Równoczesne spełnienie obu tych wymagań stanowi duże wyzwanie, gdyż od właściwego doboru znacznika i konkretnego celu badań zależy, czy te, sprzeczne ze sobą wymagania, są spełnione w praktyce w dostatecznym stopniu.

Wykorzystanie znaczników w światowym przemyśle naftowym wciąż ewoluuje, o czym świadczy m.in. wykaz przeprowadzonych znacznikowych testów międzyotworowych prowadzonych w latach 1950–2000 w różnych basenach naftowych na świecie [2], a także liczne pozycje literaturowe [np. 1, 10]. Stosowanie znaczników ma swoje uzasadnienie dla następujących celów:

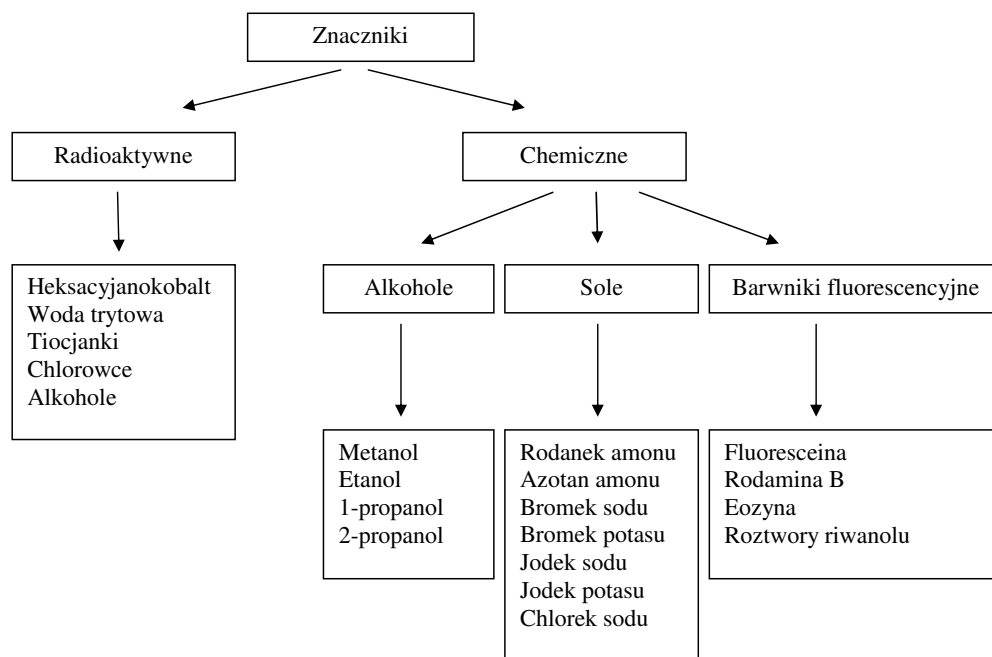
- oszacowania resztkowego nasycenia złoża ropą naftową,
- określenia kierunków i prędkości przepływu mediów złożowych w rejonie złoża,

- lokalizacji i określenia kierunku rozkładu szczelin, tak pierwotnych, jak i po zabiegach szczelinowania,
- lokalizacji uskoków i nieciągłości,
- identyfikacji stref chłonnych [7].

W testach międzyotworowych stosuje się, jako znaczniki iniekcyjne, tracery należące do dwóch kategorii: pasywnych i aktywnych, które można sklasyfikować pod względem zróżnicowania ich tworzenia, działania i analizy, i wyróżnić następujące grupy: radioaktywne atomy lub cząsteczki, nieradioaktywne związki chemiczne oraz związki zawierające trwałe izotopy [3]. Powszechnie stosuje się podział znaczników na dwie grupy (zgodnie z rys. 1): radioaktywne i chemiczne, z czego do tych drugich można zaliczyć: alkohole, sole oraz barwniki fluorescencyjne [8, 10].

Do badań wybrano znaczniki posiadające następujące cechy: niską toksyczność, wysoką rozpuszczalność w wodzie, brak reakcji z wodą złożową i ośrodkiem skalnym, stabilność oraz niski poziom detekcji przy zastosowaniu nieskomplikowanej aparatury analitycznej, niewymagającej pracy w wysokospecjalistycznych laboratoriach. Do oznaczenia trwałości barwników fluorescencyjnych zastosowano fluorometr filtrowy, ponieważ sygnał fluorescencyjny pochodzący od obojętnego znacznika fluorescencyjnego jest skorelowany z jego ilością [5]. Dwa spośród wcześniej monitorowanych [5, 9] znaczników fluorescencyjnych wybrano do dalszych testów laboratoryjnych, określając je jako:

- znacznik 1 – barwny znacznik fluorescencyjny,
- znacznik 2 – bezbarwny znacznik fluorescencyjny.



Rys. 1. Ogólny podział znaczników [8]

Metodyka badań

Fluorescencja jest szybkim procesem fotofizycznym, zachodzącym w czasie $\sim 10^{-8}$ s. Ponieważ bezpromieniasta dezaktywacja wyższych stanów oscylacyjnych wzbudzonego stanu elektronowego zachodzi jeszcze szybciej (ok. 10^{-12} s), fluorescencję obserwuje się jedynie z najniższego oscylacyjnego poziomu pierwszego elektronowego stanu wzbudzonego. W przeciwieństwie do znacznie wolniejszego procesu fosforescencji, fluorescencja nie pociąga za sobą zmiany multipletowości.

Podobnie jak w przypadku absorpcji, intensywność fluorescencji jest proporcjonalna do stężenia substancji emitującej (w zakresie niskich stężeń; dla wysokich stężeń charakterystyczne jest zjawisko autowygazania). Zależność ta ma postać:

$$I_F = k \cdot I_0 \cdot c \cdot s$$

gdzie:

k – stała proporcjonalności,

I_0 – natężenie promieniowania wzbudzającego,

c – stężenie,

s – grubość warstwy absorbującej [6].

Opracowanie metody oznaczania znaczników wykazujących właściwości fluorescencyjne oraz badanie ich trwałości odbyło się przy użyciu fluorymetru filtrowego Quantech, firmy Thermo Fisher Scientific Inc. Niepewność uzyskanych wyników stężeń dla poszczególnych pomiarów oszacowana została na podstawie klasy dokładności aparatu $\pm 0,01$ ppm.



Fot. 1. Fluorymetr filtrowy Quantech firmy Thermo Scientific używany do badań laboratoryjnych

Do oznaczenia stężenia znacznika 1 zastosowano następujące filtry:

- filtr wzbudzenia w zakresie Vis – 490 nm *narrow band filter* 10 nm,
- filtr emisji – 415 nm *sharp cutoff filter*,
- filtr blokujący – *quantech blank filter*.

Natomiast do oznaczenia stężenia znacznika 2 zastosowano filtry:

- filtr wzbudzenia w zakresie UV – 297 nm *narrow band filter* 10 nm,
- filtr blokujący – *quantech blank filter*.

Metoda do oznaczenia stężenia znacznika 2 wymaga użycia lampy rtęciowej, dlatego należy pamiętać o włączeniu lampy UV oraz o umieszczeniu filtru blokującego w uchwycie na filtr Vis.

Część doświadczalna

Przygotowanie roztworów

Dla znacznika 1 i 2 sporządzono szereg roztworów wzorcowych, na poziomach stężeń załączonych w tabelicy 1. Do przygotowania odpowiednich rozcieńczeń zastosowano rozpuszczalnik (odpowiednik wody zatłaczanej) – roztwór solanki o stężeniu 100 g/l.

Tabela 1. Stężenia roztworów wzorcowych dla znacznika 1 i 2

Znacznik 1		Znacznik 2	
Stężenie [ppm]	Stężenie [mg/ml]	Stężenie [ppm]	Stężenie [mg/ml]
1000	1	1000	1
200	0,2	40	0,04
5	0,005	20	0,02
4	0,004	10	0,01
2	0,002		
1	0,001		
0,5	0,0005		
0,2	0,0002		



Fot. 2. Roztwory wzorcowe znacznika 1 na 7 poziomach stężeń: 1000 ppm, 200 ppm, 20 ppm, 2 ppm, 1 ppm, 0,5 ppm oraz 0,2 ppm

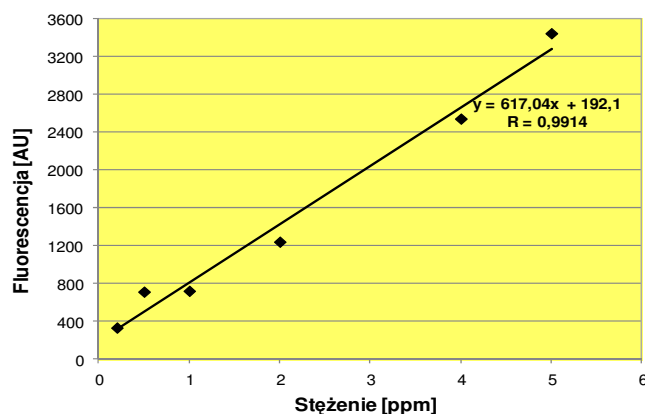
Kalibracja oraz analiza ilościowa

Do sporządzenia krzywych wzorcowych znacznika 1 i znacznika 2, a także oznaczeń ilościowych prób laboratoryjnych zawierających dodatki badanych markerów wykorzystano fluorometr filtrowy Quantech, firmy Thermo Scientific.

W przypadku znacznika 1 możliwy jest pomiar stężenia [ppm], jak również, ze względu na jego barwne właściwości, sygnałem mierzonym może być fluorescencja [AU] (przy wzmocnieniu $G = 10$). Bezpośredni odczyt fluorescencji bezbarwnego znacznika 2 (nawet przy zastosowaniu wysokich wartości wzmocnienia) nie jest możliwy, a sygnałem mierzonym w tym przypadku jest tylko stężenie [ppm].

Tabela 2. Przykładowe wyniki testu kalibracji dla znacznika 1

Stężenie [ppm]	Fluorescencja [AU]
5	3443
4	2541
2	1240
1	721
0,5	712
0,2	332

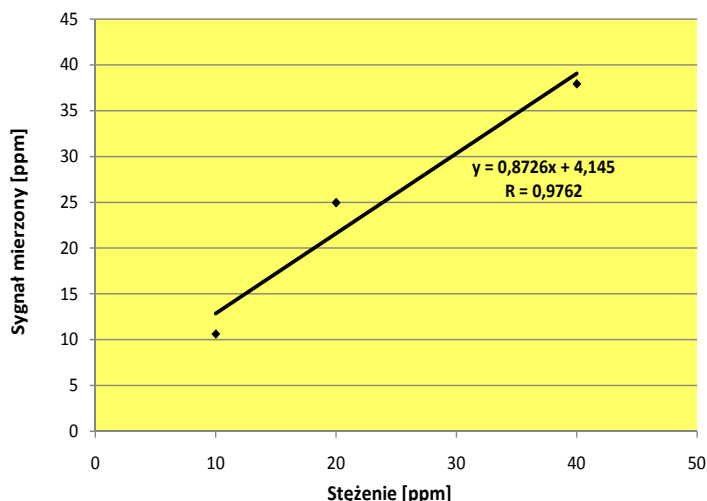


Rys. 2. Przykładowy przebieg krzywej kalibracyjnej dla znacznika 1 w zakresie stężeń 0,2÷5 ppm

W zakresie stężeń 0,2÷5 ppm krzywa kalibracyjna dla znacznika 1 wyznaczona metodą fluorymetryczną przyjmuje postać funkcji liniowej o równaniu $y = 617,04x + 192,1$ i współczynnika korelacji $R = 0,9914$.

Tabela 3. Wyniki testu kalibracji dla znacznika 2

Stężenie [ppm]	Sygnal mierzony [ppm]
40	37,93
20	24,96
10	10,63



W zakresie stężeń 10÷40 ppm krzywa kalibracyjna dla znacznika 2 wyznaczona metodą fluorymetryczną przyjmuje postać funkcji liniowej o równaniu $y = 0,8726x + 4,145$ i współczynnika korelacji $R = 0,9762$.

Rys. 3. Przebieg krzywej kalibracyjnej dla znacznika 2 w zakresie stężeń 10÷40 ppm

Badanie trwałości znaczników

Trwałość (stabilność) charakteryzuje właściwość próbki analitycznej (także materiału odniesienia) zapewniającą niezmiennosc jej składu (zawartości analitu) w czasie. Określa ona dopuszczalny czas przechowywania i możliwość wystąpienia zmian składu próbki podczas transportu i długotrwałego przechowywania [4].

W ramach badań laboratoryjnych wykonano test trwałości roztworów wzorcowych o znanych stężeniach znacznika 1, jak również znacznika 2. Próby badane, zawierające dodatek znaczników fluorescencyjnych, poddano działaniu czasu przy ograniczonym dostępie światła oraz bezpośredniej ekspozycji na światło widzialne przez okres 4 tygodni. Wpływ temperatury na trwałość roztworów wzorcowych badano dla trzech temperatur: 60, 75 i 90°C przez okres trzech tygodni. Wyniki przeprowadzonych kolejnych testów zestawiono w tablicach 4–11.

Wpływ czasu na stabilność roztworów

Wpływ czasu na roztwory znacznikowe kontrolowano przez okres 4 tygodni. Dla roztworów znacznika 1 zaobserwowano znaczny wzrost stężeń po pierwszym tygodniu prowadzenia testu. Fakt ten można tłumaczyć zbyt krótkim czasem wykonywania pomiaru od momentu wprowadzenia związku do roztworu. Poczynione obserwacje sugerują, że wymagany jest dłuższy czas dla osiągnięcia całkowitej rozpuszczalności znacznika 1 w stężonym roztworze solanki. Według przeprowadzonych badań, czas potrzebny dla osiągnięcia stanu równowagi sporządzanej mieszaniny wynosi około 2 dni. Podczas prowadzonych testów przez kolejne 3 tygodnie roztwory znacznika 1

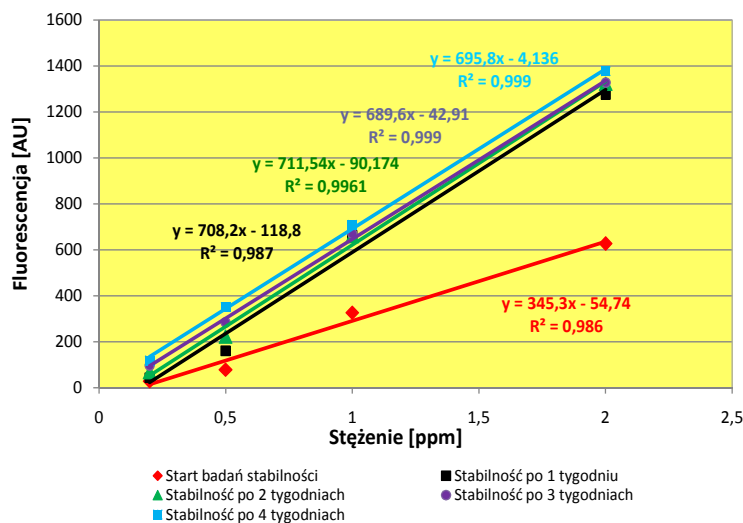
wykazały znacznie wyższą stabilność; stężenia utrzymywały się na stałym (wyższym w stosunku do początkowego) poziomie (rysunek 4 i tablica 4). Należy również zaznaczyć, że przez cały okres prowadzenia badań laboratoryjnych roztwory znacznika 1 nie zatraciły swoich barwnych właściwości, które uniemożliwiłyby ich wizualizację.

Tablica 4. Wpływ czasu na stężenie roztworów wzorcowych znacznika 1 (przy ograniczonym dostępie światła widzialnego)

Stężenie [ppm]	Stężenie po 1 tyg. [ppm]	Stężenie po 2 tyg. [ppm]	Stężenie po 3 tyg. [ppm]	Stężenie po 4 tyg. [ppm]
2	4,02	4,13	4,28	4,34
1	2,16	2,17	2,22	2,29
0,5	0,62	0,82	1,21	1,11
0,2	0,29	0,35	0,33	0,29

Tablica 5. Wpływ czasu na fluorescencję roztworów wzorcowych znacznika 1 (przy ograniczonym dostępie światła widzialnego)

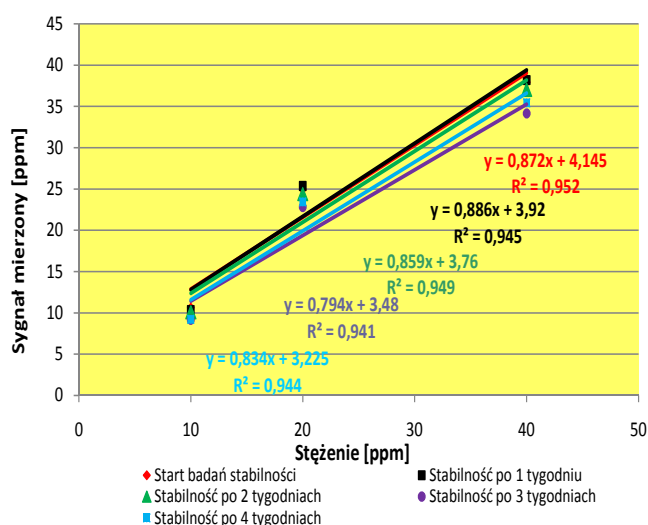
Stężenie [ppm]	Fluorescencja początkowa [AU]	Fluorescencja po 1 tyg. [AU]	Fluorescencja po 2 tyg. [AU]	Fluorescencja po 3 tyg. [AU]	Fluorescencja po 4 tyg. [AU]
2	627	1277	1323	1329	1378
1	326	664	660	670	710
0,5	78	160	222	284	352
0,2	28	44	67	97	118



Rys. 4. Wpływ czasu na przebieg krzywej kalibracyjnej dla znacznika 1 w zakresie stężeń 0,2÷2 ppm (przy ograniczonym dostępie światła widzialnego)

Tablica 6. Wpływ czasu na stabilność roztworów wzorcowych znacznika 2 (przy ograniczonym dostępie światła widzialnego)

Stężenie wyjściowe [ppm]	Stężenie po 1 tyg. [ppm]	Stężenie po 2 tyg. [ppm]	Stężenie po 3 tyg. [ppm]	Stężenie po 4 tyg. [ppm]
37,93	38,16	37,01	34,12	35,42
24,96	25,34	24,39	22,8	23,43
10,63	10,33	10,07	9,14	9,22



Rys. 5. Wpływ czasu na przebieg krzywej kalibracyjnej dla znacznika 2 w zakresie stężeń 10÷40 ppm (przy ograniczonym dostępie światła widzialnego)

Analogiczne testy wykonano dla trzech różnych stężeń znacznika 2. W przypadku tego markera zastosowano wyższe stężenia, z uwagi na wyższy próg detekcji używanego do pomiarów fluorymetru.

Dla roztworów znacznika 2 zaobserwowano nieznaczny wpływ czasu (przy ograniczonym dostępie światła widzialnego) na zmianę stężeń przechowywanych roztworów, co świadczy o wysokiej stabilności badanego znacznika.

Wpływ światła widzialnego na stabilność roztworów

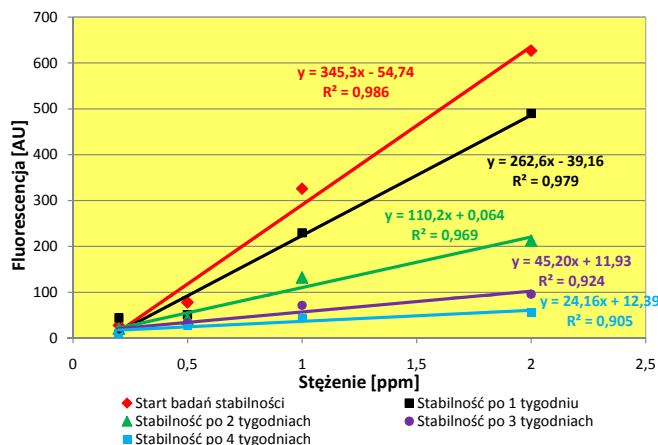
Wpływ światła widzialnego (analogicznie jak w przypadku wpływu czasu) na roztwory znacznikowe kontrolowano przez okres 4 tygodni. Dla roztworów znacznika 1 zaobserwowano znaczny spadek badanych stężeń w każdym kolejnym tygodniu prowadzenia testu (rysunek 6 i tablica 7). Światło widzialne ma również degradacyjny wpływ na barwę badanych roztworów – ich intensywność maleje wraz z upływem czasu, co można przede wszystkim zauważyć w przypadku roztworów o niskim stężeniu znacznika.

Tablica 7. Wpływ światła widzialnego na stężenie roztworów wzorcowych znacznika 1

Stężenie [ppm]	Stężenie po 1 tyg. [ppm]	Stężenie po 2 tyg. [ppm]	Stężenie po 3 tyg. [ppm]	Stężenie po 4 tyg. [ppm]
2	1,63	0,82	0,45	0,32
1	0,82	0,55	0,40	0,28
0,5	0,30	0,28	0,25	0,23
0,2	0,28	0,23	0,19	0,19

Tablica 8. Wpływ światła widzialnego na fluorescencję roztworów wzorcowych znacznika 1

Stężenie [ppm]	Fluorescencja początkowa [AU]	Fluorescencja po 1 tyg. [AU]	Fluorescencja po 2 tyg. [AU]	Fluorescencja po 3 tyg. [AU]	Fluorescencja po 4 tyg. [AU]
2	627	490	213	96	57
1	326	230	132	72	44
0,5	78	51	42	33	27
0,2	28	44	21	14	11

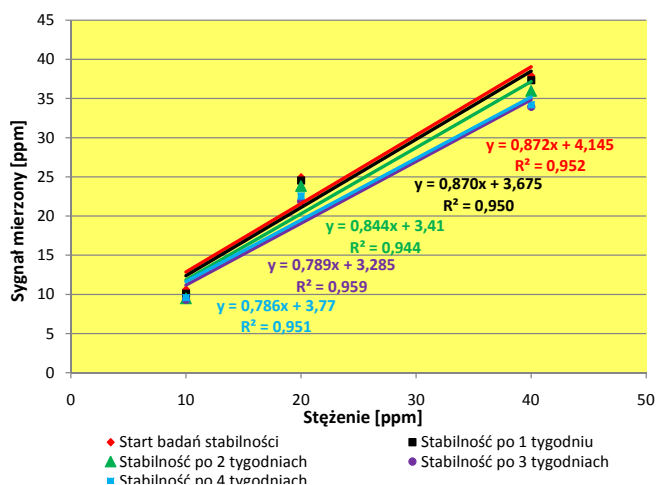


Rys. 6. Wpływ światła widzialnego na przebieg krzywej kalibracyjnej dla znacznika 1 w zakresie stężeń 0,2÷2 ppm

Dla roztworów znacznika 2 zaobserwowano nieznaczny wpływ światła widzialnego (podobnie w przypadku wpływu czasu) na zmianę stężeń przechowywanych roztworów, co świadczy o wysokiej stabilności badanego znacznika.

Tablica 9. Wpływ światła widzialnego na stabilność roztworów wzorcowych znacznika 2

Stężenie wyjściowe [ppm]	Stężenie po 1 tyg. [ppm]	Stężenie po 2 tyg. [ppm]	Stężenie po 3 tyg. [ppm]	Stężenie po 4 tyg. [ppm]
37,93	37,35	35,99	33,93	34,20
24,96	24,54	23,83	21,88	22,56
10,63	10,08	9,49	9,31	9,59



Rys. 7. Wpływ światła widzialnego na przebieg krzywej kalibracyjnej dla znacznika 2 w zakresie stężeń 10÷40 ppm

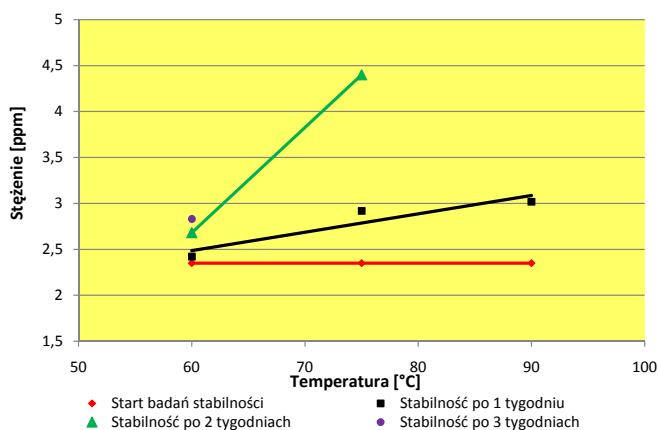
Wpływ temperatury na stabilność roztworów

Testy sprawdzające wpływ temperatury na stabilność roztworów wzorcowych wykonywano w warunkach stałych przez okres trzech tygodni. Badania laboratoryjne prowadzono na roztworze wzorcowym znacznika 1, o stężeniu wyjściowym ~2 ppm oraz na roztworze wzorcowym znacznika 2, o stężeniu początkowym ~20 ppm w trzech różnych temperaturach: 60, 75 i 90°C.

Badania laboratoryjne wpływu temperatury na roztwory wzorcowe znacznika 1 wykazały zarówno znaczną zmianę (wzrost) stężenia wyjściowego badanego roztworu (tablica 10 i rysunek 8), jak również zmianę jego zabarwienia (zwłaszcza w przypadku roztworu poddanego temperaturze 90°C). Intensywność roztworów wzrasta wraz ze wzrostem temperatury.

Tablica 10. Wpływ temperatury na stabilność roztworu wzorcowego znacznika 1, o stężeniu ~2 ppm

	Temp. 60°C	Temp. 75°C	Temp. 90°C
Stężenie wyjściowe [ppm]	2,35	2,35	2,35
Stężenie po 1 tyg. [ppm]	2,42	2,92	3,02
Stężenie po 2 tyg. [ppm]	2,68	4,40	Powyżej zakresu
Stężenie po 3 tyg. [ppm]	2,83	Powyżej zakresu	Powyżej zakresu



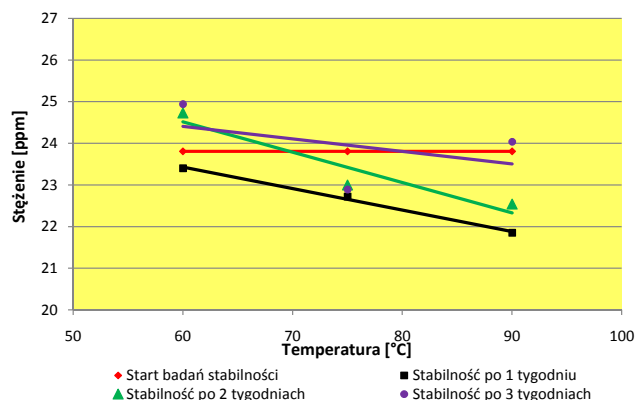
Rys. 8. Wpływ temperatury na stabilność roztworu wzorcowego znacznika 1, o stężeniu ~2 ppm

Roztwory wzorcowe znacznika 2 poddane działaniu wysokich temperatur wykazały znacznie wyższą stabilność niż roztwory wzorcowe znacznika 1. Nawet po okresie trzech tygodni stężenia roztworów zmierzone przy użyciu

fluorymetru charakteryzowały się nieznacznymi różnicami w stosunku do stężenia roztworu wyjściowego.

Tablica 11. Wpływ temperatury na stabilność roztworu wzorcowego znacznika 2, o stężeniu ~20 ppm

	Temp. 60°C	Temp. 75°C	Temp. 90°C
Stężenie wyjściowe [ppm]	23,81	23,81	23,81
Stężenie po 1 tyg. [ppm]	23,40	22,72	21,85
Stężenie po 2 tyg. [ppm]	24,73	23,00	22,54
Stężenie po 3 tyg. [ppm]	24,94	22,89	24,04



Rys. 9. Wpływ temperatury na stabilność roztworu wzorcowego znacznika 2, o stężeniu ~20 ppm

Podsumowanie

Znaczники chemiczne należące do grupy barwników fluorescencyjnych charakteryzują się stosunkowo niską toksycznością i, co ważne, ich stężenia mogą być monitorowane przy użyciu nieskomplikowanej aparatury analitycznej. Jak wykazały testy laboratoryjne, do tego typu oznaczeń doskonale nadaje się fluorymetr filtrowy, ponieważ sygnał fluorescencyjny pochodzący od obojętnego znacznika fluorescencyjnego jest skorelowany z jego ilością. To proste zarówno w budowie, jak i w obsłudze urządzenie pomiarowe bez problemów można również wykorzystać w warunkach polowych.

W trakcie czterech tygodni badań dla roztworów znacznika 1 i 2 zaobserwowano nieznaczny wpływ czasu (przy ograniczonym dostępie światła widzialnego) na zmianę stężeń przechowywanych roztworów, co świadczy o wysokiej stabilności badanych znaczników. Zdecydowanie mniejszą odpornością charakteryzują się roztwory znacznika 1, poddane bezpośredniej ekspozycji na światło

widzialne, jak również działaniu wysokich temperatur. Warunki te wywierają degradacyjny wpływ zarówno na barwę badanych roztworów, jak również na ich stężenia końcowe. Z kolei roztwory wzorcowe znacznika 2 poddane działaniu światła widzialnego oraz wysokich temperatur wykazały znacznie wyższą stabilność niż roztwory wzorcowe znacznika 1. Nawet po okresie kilku tygodni stężenia roztworów zmierzone przy użyciu fluorymetru charakteryzowały się nieznacznymi różnicami w stosunku do stężeń roztworów wyjściowych.

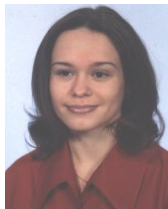
Wykonane testy stabilności w warunkach laboratoryjnych przy użyciu fluorymetru filtrowego wykazały, że wybrane znaczniki fluorescencyjne można wykorzystać do śledzenia kierunku migracji płynów w złożach gazu ziemnego. Kolejnym etapem będzie przeprowadzenie badań polowych w konkretnych warunkach złożowych, w celu bliższego poznania interakcji znaczników w kontakcie ze skałą złożową oraz wodami złożowymi.

Literatura

- [1] Bjørnstad T., Maggio G. E.: *Tracers in oil fields and Geothermal Reservoirs*. IAEA Safety Report Series, No. 423, Vienna 2004.
- [2] Guan L., Du Y., Johnson S. G., Choudhary M. K.: *Advanced of Interwell Tracer Analysis in the Petroleum Industry*. „Journal of Canadian Petroleum Technology” 2005, vol. 44, No. 5.
- [3] Hartvig S. Kr.: *Development and assessment of tracer methods for petroleum industry, Project description*. Institute for Energy Technology (IFE), Norway.
- [4] Michalski R., Mytych J.: *Akredytacja laboratoriów badawczych według normy PN-EN ISO/IEC 17025*. Wydawnictwo Elamed. Kraków 2008.
- [5] Nieuwenhuis H., Janssen Jan A. M., Hoots John E.: *Use of tracers to monitor application of treatment products to cut flowers*. United States Patent No. US 6,472,219 B1, 2002.
- [6] Orzeł Ł., Dąbrowski J.: *Zastosowanie pomiarów fluorescencji w biochemii i chemii bionieorganicznej*. Zespół Fizykochemii Koordynacyjnej i Bionieorganicznej. Wydział Chemii UJ.
- [7] Such J. i in.: *Dobór znaczników do monitorowania migracji płynów w procesach zatłaczania mediów do złoża BMB*. Arch. INiG. Kraków 2008.
- [8] Such J.: *Możliwości wykorzystania znaczników chemicznych w krajowym górnictwie ropy i gazu*. „Nafta-Gaz” 2010, nr 7, s. 621–629.

[9] Zeiher Kelle E. H., Ho Bosco P., Hoots J. E.: *Method of monitoring membrane cleaning processes*. United States Patent No. US 7,169,236 B2, 2007.

[10] Zemel B.: *Tracers in the Oil Field*. „Developments in Petroleum Science”, No. 43. Elsevier Science. Amsterdam 1995.



Mgr Małgorzata KANIA – ukończyła Wydział Chemii UJ o specjalizacji nowoczesna synteza i fizykochemia organiczna oraz Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki AGH w Krakowie, ze specjalizacją: analityka i kontrola jakości. Asystent w Zakładzie Geologii i Geochemii INiG w Krakowie. Specjalizuje się w analizach chromatograficznych, a także w rozwoju i walidacji metod analitycznych.



Dr hab. inż. Irena MATYASIK – adiunkt, kierownik Laboratorium Nafty i Gazu w Zakładzie Geologii i Geochemii INiG. Ukończyła Wydział Chemiczny Politechniki Krakowskiej. Prowadzi prace z zakresu geochemii naftowej. Specjalizuje się w badaniach geochemii organicznej skał macierzystych i mediów złożowych oraz korelacji rop naftowych i skał macierzystych w oparciu o wyniki analiz biomarkerów.

ZAKŁAD GEOLOGII I GEOCHEMII

Zakres działania:

- analiza systemów naftowych (badania skał macierzystych, modelowanie generacji, ekspulsji i migracji węglowodorów, analiza dróg migracji, analiza parametrów zbiornikowych pułapek złożowych);
- badania prospekcyjne (trendy przestrzennego rozwoju parametrów zbiornikowych i filtracyjnych, analiza macierzystości, ranking stref zbiornikowych);
- konstrukcja statycznych modeli geologiczno-złożowych 3D;
- analiza procesów diagenetycznych i ich wpływu na parametry zbiornikowe skał;
- genetyczna korelacja płynów złożowych ze skałami macierzystymi;
- obliczanie zasobów złóż węglowodorów z analizą niepewności;
- modele przepływu płynów złożowych w skałach zbiornikowych;
- badania ekshalacji gazu;
- badania złóż typu *tight/shale gas*;
- specjalistyczne analizy: przestrzeni porowej, petrograficzne, geochemiczne RSO, płynów złożowych, analizy biomarkerów, analizy chromatograficzne, analiza GC/MS, GC/MS/MS;
- interpretacja danych geofizyki wiertniczej.

Kierownik: dr inż. Grzegorz Leśniak

Telefon: 12 421-00-33 w. 262

Adres: ul. Lubicz 25A, 31-503 Kraków

Faks: 12 430-38-85

E-mail: grzegorz.lesniak@inig.pl