

Marcin Warnecki

Instytut Nafty i Gazu, Oddział Krosno

Doskonalenie techniki badań warunków flokulacji asfaltenów metodą prześwietlania ropy strumieniem światła podczerwonego

Wstęp

Asfalteny oraz parafiny są składnikami ropy naftowej stwarzającymi znaczne trudności i zagrożenia w czasie eksploatacji odwiertu, napowierzchniowego transportu węglowodorów oraz podczas procesów przeróbki ropy naftowej. Bardzo często trudno przewidzieć, gdzie i jakie skutki może spowodować wytrącenie asfaltenów, co w konsekwencji doprowadzić może do znacznego ograniczenia,

a nawet zatrzymania przepływu. Dla udrażniania odwiertów niezbędne jest wykonywanie kosztownych zabiegów, których realizacja wymaga dużej ilości specjalistycznego sprzętu oraz zaangażowania wielu jednostek serwisowych. Wraz ze spadkiem ciśnienia, zjawiska wytrącania się asfaltenów mogą narastać – stąd konieczność wykonywania odpowiednich prac.

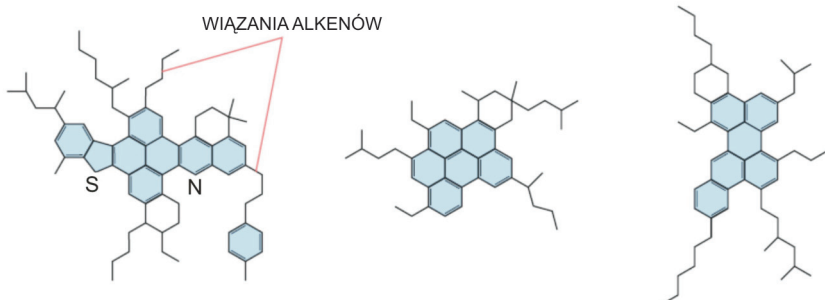
Ogólna charakterystyka asfaltenów

Asfalteny są najcięższymi i najbardziej polarnymi ze składników ropy naftowej – zawierają w swej budowie atomy węgla, wodoru, tlenu, azotu oraz siarki (rysunek 1). Złożona i kompleksowa budowa asfaltenów powoduje, że ich masa cząsteczkowa jest trudna do określenia i powszechnie podawana jako ok. 1000 g/mol [2].

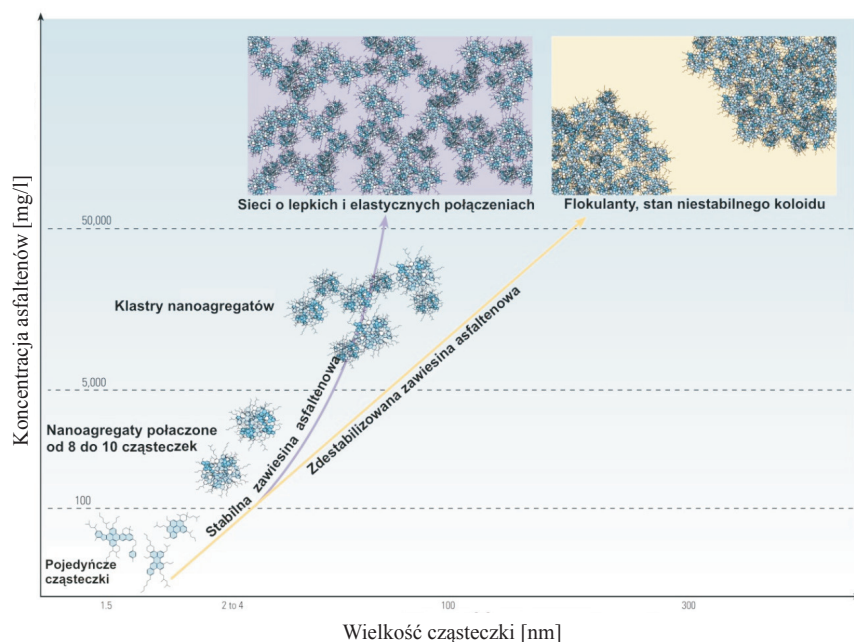
Wraz ze wzrostem stężenia, agregacje cząsteczek asfaltenów wykazują różne właściwości – w zależności od tego, czy są rozpuszczone w ropie naftowej (kolor fioletowy),

czy w toluenie (kolor żółty). Poszczególne cząsteczki są widoczne tylko przy stężeniach poniżej 100 mg/litr. Wraz ze wzrostem stężenia asfaltenów cząsteczki zaczynają się grupować: najpierw w parach, a następnie w większej liczbie. Przy wzroście koncentracji do około 100 mg/litr cząsteczki tworzą formy kulistych nanoagregatów, zawierających od ośmiu do dziesięciu połączonych cząsteczek. Po osiągnięciu stężenia powyżej 5000 mg/litr nanoagregaty łączą się, tworząc klastry. Klastry te mogą pozostawać na stałym poziomie,

aż stężenie zawiesiny koloidalnej osiągnie 50 000 mg/litr. Ich stabilność w ropie może być zachowana przy wyższych stężeniach, gdzie mogą się tworzyć klastry o lepkich, a zarazem sprężystych połączeniach. Wysookie stężenie asfaltenów w toluenie (powyżej 50 000 mg/l) powoduje powstawanie flokulantów, w formie niestabilnego koloidu. Powstawanie dużych cząsteczek asfaltenów spowodowane jest silną tendencją do „samolączenia” (rysunek 2) [1].



Rys. 1. Różne formy cząsteczek asfaltenów [1]



Rys. 2. Zależność pomiędzy wielkością cząstek a koncentracją asfaltenów [1]

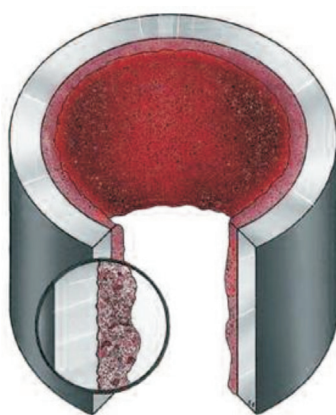
Dominującymi węglowodorami frakcji asfaltenowej są aromaty $C_{50}\div C_{100}$ o masie cząsteczkowej od 700 do 1400 g/mol [5]. Są one praktycznie nierozpuszczalne w węglowodorach parafinowych, a szczególnie w n-pentanie i n-heptanie. Ponieważ znaczącą część płynów złożowych stanowią węglowodory parafinowe, wytrącanie asfaltenowych frakcji z ropy jest zjawiskiem dość częstym. Powstają wówczas lepkie i kleiste wytrącenia o barwie brązowej lub czarnej (flokulacja), utrudniające przepływ ropy w systemie wydobywczym – poczynając od strefy przyodwiertowej (rysunek 3). Flokulacja jest więc zjawiskiem agregacji cząstek stałych i ich sedymentacji.

Do niedawna sądzono, że flokulacja asfaltenów jest procesem nieodwracalnym. Zakładano, iż rozpuszczone w ropie naftowej asfalteny są zawieszane jako skupiska niewielkich cząstek otoczonych warstwą ochronną żywic – zapobiegających

agregacji asfaltenów. Usunięcie warstwy ochronnej spowodowałoby ich agregację w większe skupiska, ulegające procesom wytrącania. Ze względu na brak możliwości odtworzenia warstwy ochronnej żywic, uznawano więc, że proces rozpuszczenia powstałych skupisk asfaltenów jest nie do zrealizowania. W Brazylii (1995 r.) wykonano jednak doświadczenia, które wykazały możliwość ponownego rozpuszczenia wytrąconych asfaltenów. Okazało się, że asfalteny mogą się wytrącać i ponownie rozpuszczać w oparciu o znane wcześniej zasady równowag fazowych.

Trwałość i stabilność asfaltenów zależy od składu ropy naftowej, w której są one rozpuszczone. W 1995 roku de Boer wykazał, że ropy lekkie z niewielką zawartością asfaltenów są częstszym źródłem problemów podczas produkcji, w porównaniu z ropami ciężkimi zawierającymi większe ilości asfaltenów. Ropy lekkie zawierają zwiększoną ilość węglowodorów parafinowych, w których z definicji asfalteny mają bardzo ograniczoną rozpuszczalność. Z kolei w ropach cięższych, składających się głównie z węglowodorów aromatycznych, które są bardzo dobrymi rozpuszczalnikami asfaltenów, zjawisko flokulacji jest zdecydowanie mniej prawdopodobne [4].

Zawartość asfaltenów w ropach naftowych nie ma natomiast zasadniczego wpływu na stopień prawdopodobieństwa wystąpienia zjawisk ich flokulacji. Zwykle ropy z wysoką zawartością asfaltenów zawierają równocześnie znaczną ilość aromatów – będących dobrymi rozpuszczalnikami asfaltenów. W takiej sytuacji prawdopodobieństwo wystąpienia zjawiska flokulacji będzie niewielkie.



Rys. 3. Osad asfaltenowy w rurze eksploatacyjnej [6]

Zjawiska fazowe układu gaz-ropa-asfalteny

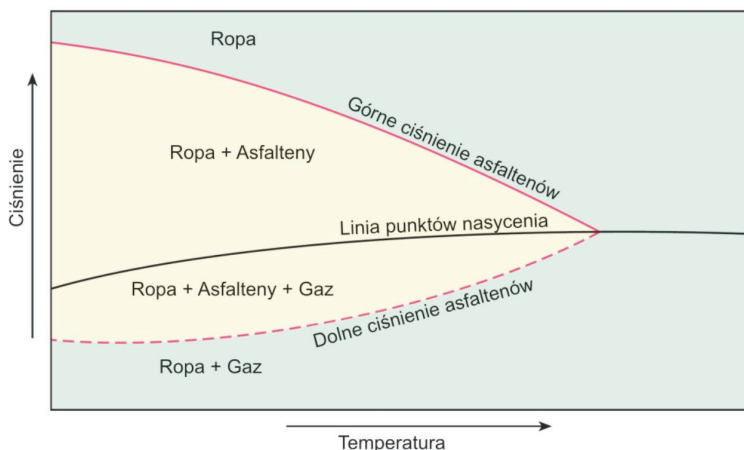
W warunkach, gdy ropa w maksymalnym stopniu nasycona jest węglowodorami lekkimi (ciśnienie nasyconia) zachodzi największe prawdopodobieństwo wytrącania się asfaltenów. Obecność węglowodorów lekkich (C_1 , C_2 , C_3) ogranicza rozpuszczalność asfaltenów w badanej ropie, gdyż są one słabymi rozpuszczalnikami.

Redukcja ciśnienia wymusza desorpcję rozpuszczonego w ropie gazu, zmniejszenie zawartości węglowodorów lekkich oraz zwiększenie rozpuszczalności asfaltenów – co przyczynia się do ich stopniowego rozpuszczania i zaniku. Dolna wartość ciśnienia, przy której następuje całkowite rozpuszczenie fazy asfaltenowej w roztworze, nazywana

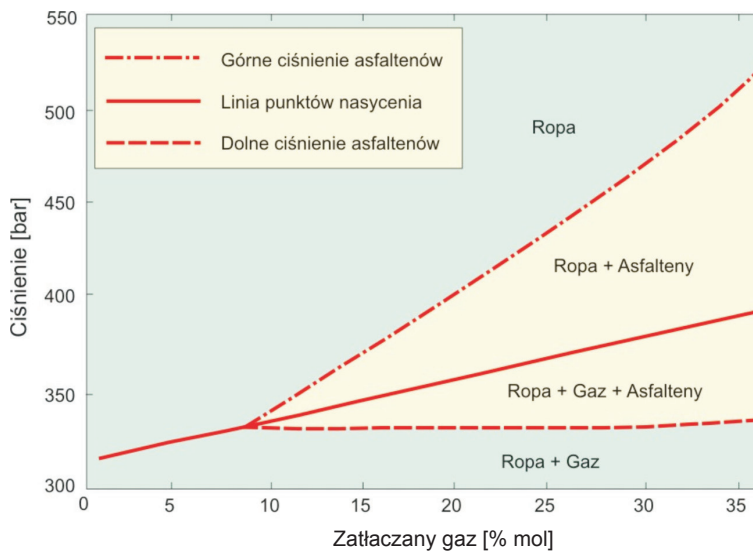
jest dolnym ciśnieniem zaniku lub pojawienia się asfaltenów, a więc dolnym ciśnieniem obszaru asfaltenowego. Wzrost ciśnienia powyżej wartości punktu nasycenia również spowoduje stopniowe rozpuszczanie fazy asfaltenowej. Ponieważ generalnie węglowodory parafinowe są słabymi rozpuszczalnikami asfaltenów, ich rozpuszczalność w ropie rośnie wraz ze wzrostem ciśnienia i dla jego wystarczająco wysokiej wartości – zwanej górnym ciśnieniem pojawienia się lub zaniku asfaltenów (górnym ciśnieniem asfaltenów) – faza asfaltenowa zanika (rysunek 4).

Problem wytrącania asfaltenów może pojawić się również podczas procesów zatłaczania gazu do złóż ropy, np. jako medium wypierającego, w metodach wspomaganie wydobyć ropy. Wnikające do fazy ropnej coraz większe ilości gazu mogą w rezultacie (po osiągnięciu pewnej granicznej wartości) zapoczątkować proces flokulacji asfaltenów. Zjawisko to zilustrowano na rysunku 5, gdzie w układzie ciśnienie-ilość dodanego gazu powstaje obszar asfaltenowy, ograniczony od dołu i góry krzywymi dolnego oraz górnego ciśnienia asfaltenów. Ośią tego obszaru jest krzywa punktów ciśnienia nasycenia. Po osiągnięciu pewnej granicznej wielkości, na osi pojawia się obszar asfaltenowy, którego rozpiętość – wraz z narastającą ilością dodawanego gazu – ulega stopniowemu rozszerzaniu. W tym wypadku wielkość ta wynosi około 8%.

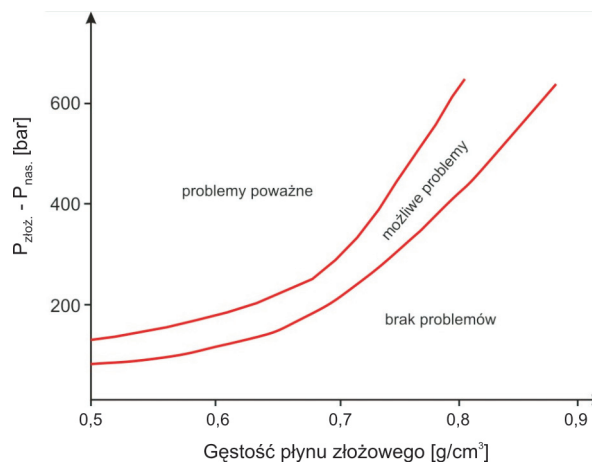
W praktyce przemysłowej [4] zaobserwowano również zjawisko uzależniające potencjał wytrącania asfaltenów od stanu powyżej ciśnienia nasycenia płynu złożowego i od jego gęstości, co przedstawiono na rysunku 6. Dla danej ropy w warunkach złożowych potencjał ten wzrasta wraz ze wzrostem ciśnienia powyżej punktu ciśnienia nasycenia. Im wyższe ciśnienie, tym więcej asfaltenów może być utrzymywane w roztworze w fazie ropnej. Następnym parametrem przedstawionym na rysunku 6 jest gęstość płynu złożowego. Ponieważ gęstość ropy rośnie wraz z rosnącą masą cząsteczkową jej głównych składników (w kolejności: parafiny → nafteny → aromaty), dla rop lekkich o dużym udziale parafin (będących słabymi rozpuszczalnikami asfaltenów) ich wytrącanie jest o wiele bardziej prawdopodobne. Odwrotnie, ropy ciężkie z dużym udziałem aromatów – będących doskonałymi rozpuszczalnikami asfaltenów – są mniej narażone na ich wytrącanie, nawet przy dużym ich udziale.



Rys. 4. Przykład typowego diagramu fazowego ropy tworzącej flokulację asfaltenową [1]



Rys. 5. Wpływ gazu zatłaczanego do ropy asfaltenowej na przesunięcie zakresu obszaru asfaltenowego, w funkcji ilości dodanego gazu oraz ciśnienia [5]

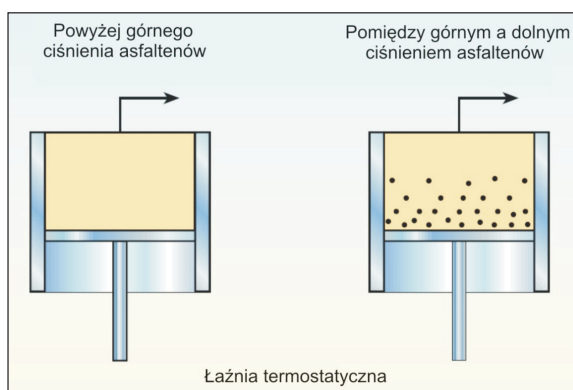


Rys. 6. Krzywe de Boer'a potencjału wytrącania asfaltenów w zakresie przekraczającym ciśnienie nasycenia ropy, w funkcji gęstości i nadwyżki ciśnienia [5]

Przegląd metod określania warunków PT flokulacji asfaltenów

Metoda grawimetryczna

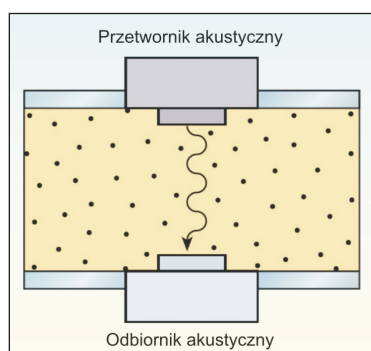
Badanie warunków flokulacji asfaltenów metodą grawimetryczną przeprowadza się w komorze PVT (rysunek 7). Badanie polega na dokonywaniu skokowych zmian ciśnienia próbki, przy jednoczesnym utrzymywaniu stałej temperatury eksperymentu. Z górnej części komory, w której nie ma wytrąconych cząsteczek asfaltenów, pobieramy próbki. W pobranych próbkach ropy określamy wielkość frakcji, w której zawierają się asfalteny i na podstawie tych badań określamy dolne i górne ciśnienie ich wytrącania. Dokładność tej metody zależy od wielkości interwału pomiędzy poszczególnymi punktami ciśnienia. Pomiar taki może być bardzo czasochłonny i wymaga dużych ilości płynów złożowych do badań [5].



Rys. 7. Badanie warunków wytrącania asfaltenów metodą grawimetryczną [1]

Metoda akustyczna

Metoda akustyczna polega na określeniu zmian akustycznych badanej ropy, spowodowanych wytrącaniem asfaltenów. W komorze ciśnieniowej aparatury PVT z jednej strony zamontowany jest przetwornik akustyczny, a z drugiej – odbiornik (rysunek 8). Metoda ta posiada dokładność ok. 7 bar (100 psi) i nie wymaga tak dużych ilości ropy jak

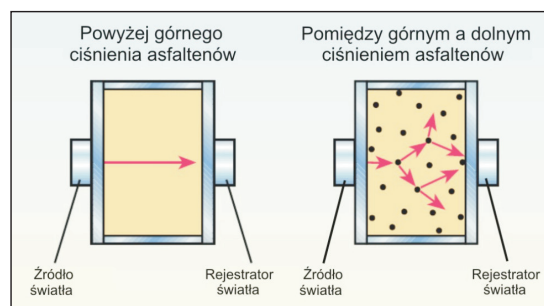


Rys. 8. Badanie warunków wytrącania asfaltenów metodą akustyczną [1]

ma to miejsce w metodzie grawimetrycznej. Wadą metody akustycznej jest to, że zmianę właściwości akustycznych może spowodować nie tylko flokulacja asfaltenów, lecz również inne substancje stałe, które mogą znajdować się w badanej ropie. Kolejnym mankamentem tej metody jest brak możliwości określenia dolnego ciśnienia wytrącania się asfaltenów [1].

Metoda rozpraszania światła

Metoda rozpraszania światła – wykorzystująca światło podczerwone, znana jest również jako system do wykrywania ciał stałych. Komora PVT skonstruowana jest w taki sposób, że z jednej jej strony znajduje się źródło światła, o długości fali od 800 do 2200 nm, które przenika przez badany płyn do rejestratora światła. Wytrącające się asfalteny powodują rozpraszanie światła i wówczas rejestrator wykrywa jego mniejsze ilości. Za pomocą tej metody możemy określić górne i dolne ciśnienie asfaltenów. Podobnie jak w przypadku metody akustycznej, do badań potrzebujemy niewielkiej ilości ropy; dużym atutem jest także krótki czas badań [1].



Rys. 9. Badanie warunków wytrącania asfaltenów metodą rozpraszania światła [1]

Metoda zmiany ciśnienia przy przepływie przez kapilarę

Jest to metoda pozwalająca na określenie początku i intensywności osadzania asfaltenów w określonych warunkach ciśnienia oraz temperatury. Pomiar polega na określeniu wydatku przepływu, a następnie pomiarze różnicy wskazań ciśnienia przed i za kapilarą. Metoda ta jest szczególnie skuteczna dla rop o bardzo niskiej zawartości asfaltenów (0,04% wag. asfaltenów), ponieważ nawet niewielkie ich wytrącenie powoduje dużą zmianę oporów przepływu [5].

Metoda przewodności elektrycznej

Metoda ta stosowana jest w celu ustalenia momentu flokulacji asfaltenów. Badanie polega na pomiarze prze-

wodności elektrycznej ropy naftowej w określonych warunkach ciśnienia i temperatury. Metoda ta bazuje na zjawisku nagłej zmiany przewodnictwa elektrycznego w momencie, gdy następuje wytrącenie asfaltenów [5].

Metoda filtracji

Metoda filtracji polega na przetłaczaniu badanej próbki ropy przez filtr o określonej przepuszczalności. Technika

ta może być użyta do zdefiniowania górnego i dolnego ciśnienia asfaltenów, a jej zaletą jest możliwość oszacowania, jaka ich ilość jest wytrącona z ropy naftowej oraz to, że fizycznie wytrącone asfalteny mogą posłużyć do bardziej szczegółowych analiz.

Na wyniki badań duży wpływ ma rozmiar zamontowanego filtra. Wadą tej metody jest jej znaczna czasochłonność [1].

Rozbudowa beztrzęciowej aparatury PVT, w celu przeprowadzenia eksperymentalnych badań wytrącania asfaltenów metodą prześwietlania ropy strumieniem światła podczerwonego

Badania termobarycznych warunków flokulacji asfaltenów w ropie prowadzono z wykorzystaniem – zaadoptowanej do tego celu – beztrzęciowej aparatury PVT do badań właściwości fazowych płynów złożowych. Jej zasadniczym elementem są dwie komory ciśnieniowe, posadowione w powietrznej łaźni termostatycznej (fotografia 1). Komora do badań ropy/ciekłych płynów złożowych ma objętość 415 cm³ i zaprojektowana jest z myślą o prowadzeniu badań do ciśnienia ok. 690 bar (tj. 10 000 psi). Komora gazowo-kondensatowa o objętości roboczej 1025 cm³ umożliwia badania przy ciśnieniu dwukrotnie wyższym – 1380 bar (20 000 psi).

Osiągnięcie odpowiedniej temperatury badawczej realizowane jest przez system grzałek – umieszczonych wewnątrz łaźni oraz u podstawy komory „ropnej”. Praca grzałek sterowana jest przez oprogramowanie optymalizujące proces szybkiego osiągnięcia zadanej temperatury komór ciśnieniowych. Pożądaną temperaturę badań zadaje się z dokładnością do 0,1°C. Aparatura umożliwia prowadzenie badań w szerokim zakresie temperatur, tzn. od temperatury pokojowej do 204°C (400°F).

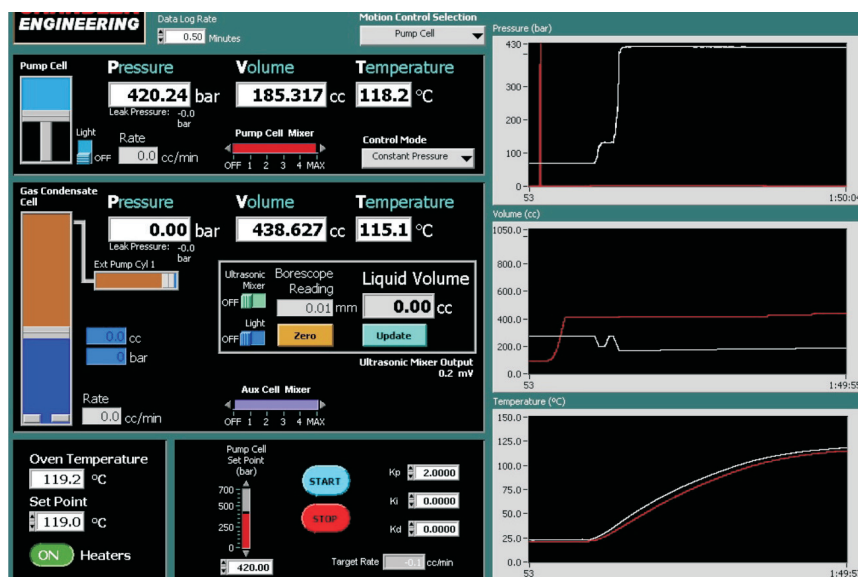
Pomiaru temperatury i ciśnienia dokonuje się jednocześnie, poprzez przetwornik (PT) zaprojektowany tak, że obydwa czujniki (ciśnienia i temperatury) są zintegrowane w kompaktowej obudowie, odpornej na niekorzystne czynniki. Przetworniki te zostały przetestowane i skalibrowane fabrycznie, a wyniki tych kalibracji – w formie odpowiednich tabel – wprowadzono do obsługującego aparaturę oprogramowania [3].

Ponieważ obie komory posadowione są na stałe w powietrznej łaźni termostatycznej i niemożliwe jest poruszanie/kiwanie nimi w celu szybszego wy-



Fot. 1. Komory ciśnieniowe

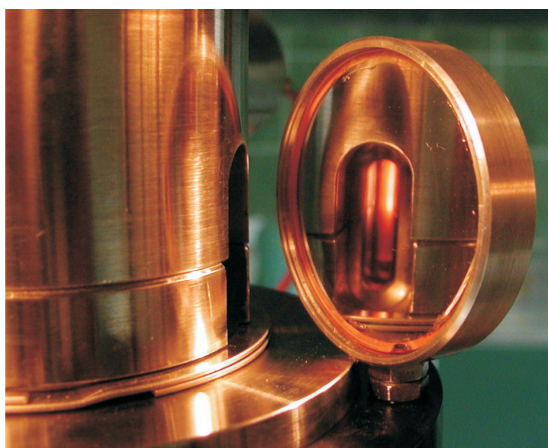
mieszania, dla osiągnięcia równowagi fazowej badanej próbki posiadają one mieszadła magnetyczne o regulowanej prędkości mieszania. Proces mieszania próbki realizowany jest poprzez pierścień magnetyczny, przesuwany w górę i w dół komory. Pierścień ten porusza magnetyczny krążek znajdujący się wewnątrz komory. Cyklicznie przemieszcza-



Rys. 10. Panel sterowania aparaturą, z możliwością odczytu parametrów PVT

jący się przez badaną próbkę krążek pozwala na skuteczne mieszanie i szybsze osiągnięcie warunków równowagi oraz stabilizacji badanej mieszaniny w zadanych warunkach ciśnienia i temperatury. Efektywne mieszanie próbki skutkuje wymiernym skróceniem czasu badań [7].

W górnej, najwyższej części komory „ropnej” wbudowany jest odporny na wysokie ciśnienie i temperaturę szklany wziernik, dzięki któremu możliwa jest obserwacja próbki w trakcie prowadzenia badań (fotografia 2). Powyższa cecha pozwoliła na wykorzystanie aparatury PVT do prowadzenia badań warunków PT flokulacji asfaltenu techniką prześwietlania ropy strumieniem światła podczerwonego.



Fot. 2. Wziernik umożliwiający obserwację próbki

Dla realizacji badań zestaw PVT musiał zostać odpowiednio dostosowany. Podstawową rzeczą jaką należało wykonać było odpowiednie zamontowanie źródła światła podczerwonego, które mogło prześwietlać badaną próbkę ropy w zadanych warunkach ciśnienia i temperatury. Wykonano i przetestowano kilka paneli świetlnych emitujących światło podczerwone. Składały się one z diod Infrared LED, emitujących promieniowanie elektromagnetyczne o długości fali 940 nm. Panel z diodami LED połączono z zasilaczem stabilizowanym. Umożliwiał on płynną regulację generowanego napięcia i prądu, i wyposażony był w wewnętrzny woltomierz oraz amperomierz. Wnętrze powietrznej łaźni termostatycznej zostało całkowicie

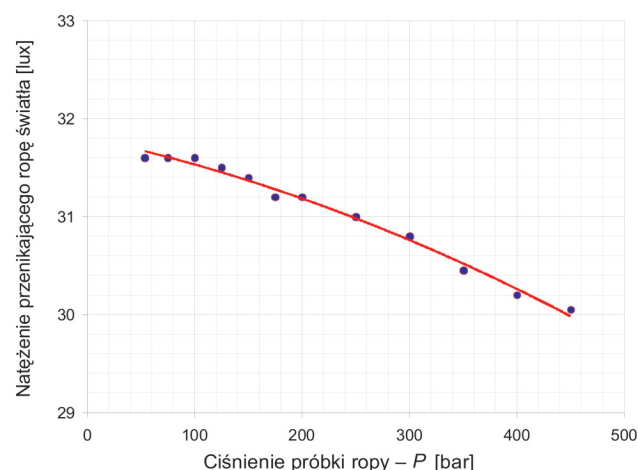
Badania pilotażowe, zorientowane na wypracowanie odpowiedniej procedury badawczej

Wykonane prace adaptacyjne dotyczące aparatury PVT oraz badania podstawowe/bazowe i właściwa współpraca dodatkowych, nowych urządzeń (kamera, monitor, lukso-mierz), pozwoliło przystąpić do badań pilotażowych, na podstawie których możliwe będzie opracowanie procedury

uszczelnione i zaciemnione. Dążono do sytuacji, w której przy wyłączonym źródle promieniowania podczerwonego pomiary natężenia oświetlenia wskazywałyby wartość 0 lux. Cel ten udało się osiągnąć, a powstały podczas prześwietlania próbki ropy strumieniem światła podczerwonego obraz był rejestrowany i transmitowany do monitora. Jednym z ważniejszych parametrów przy doborze kamery video był duży zoom optyczny i jakość obiektywu HD.

Do monitora ukazującego obraz z komory ciśnieniowej przytwierdzono czujnik luksomierza. Specjalna, gumowa tuleja pozwoliła odizolować element światłoczuły od otoczenia – mierzono wyłącznie natężenie światła przenikającego przez próbkę ropy w komorze badawczej PVT.

Dla poprawnej realizacji badań nieodzownym było sporządzenie charakterystyk pracy źródeł promieniowania. Następnie, dla wybranego zestawu (składającego się z ośmiu diod) przeprowadzono eksperyment mający na celu zbadanie zmienności natężenia światła przenikającego/tłumionego przez ropę bezasfaltenu, w funkcji ciśnienia (rysunek 11). Wraz ze wzrostem ciśnienia odnotowano wzrost tłumienia przenikającego przez próbkę ropy promieniowania podczerwonego. Wynika to głównie ze wzrostu gęstości prześwietlanej próbki wraz ze wzrostem ciśnienia. Użyta w niniejszym badaniu bezasfaltenu ropa lekka eliminuje zjawisko wytrącania się asfaltenu, a uzyskana zależność stanowi pewne „tło” dla badań właściwych.



Rys. 11. Tłumienie promieniowania podczerwonego w funkcji ciśnienia próbki ropy

prowadzenia badań warunków flokulacji asfaltenu na zmodernizowanej aparaturze PVT.

Odpowiednią objętość badanej ropy złożowej wprowadzono do komory ciśnieniowej aparatury badawczej PVT. Następnie podnoszono temperaturę i ciśnienie w układzie

badawczym. Próbką była intensywnie mieszana oraz przetłaczana pomiędzy komorami ciśnieniowymi, przy ciśnieniu przewyższającym ciśnienie nasycenia. Ostatecznie płyn złożowy gromadzono w komorze ropnej, a następnie sprężano do maksymalnego planowanego ciśnienia badań.

Utrzymując zadane ciśnienie badań, badaną próbkę przetłaczano z komory ropnej do komory kondensatowej, z ustalonym wydatkiem tłoczenia. W trakcie badania mieszadło magnetyczne było włączone, a badana ropa – w całej objętości jednorodnie wymieszana.

W trakcie przetłaczania ropę prześwietlano strumieniem światła podczerwonego i w stałych odstępach objętościowych/czasowych dokonywano odczytu natężenia przenikającego promieniowania. Po zakończeniu badań na pierwszym stopniu ciśnieniowym ciśnienie w układzie obniżano i przygotowywano ropę do badania przy kolejnym, niższym ciśnieniu.

W opisany sposób przeprowadzono 6 serii pomiarowych, z których każdą realizowano przy różnych temperaturach, wynoszących: 119°C, 90°C, 60°C, 45°C, 32°C oraz 20°C. Dokonywano także ciągłej obserwacji ropy w komorze, pod kątem przezroczystości i/lub stopnia zmętnienia w danych warunkach PT.

Uzyskane wyniki badań zebrano w tabeli 1 oraz przedstawiono na rysunku 12. Badania prowadzone w wyższych temperaturach (119°C, 90°C, 60°C i 45°C) charakteryzowały się stałą lub lekko malejącą tendencją natężenia mierzonego promieniowania w funkcji redukcji ciśnienia ropy.

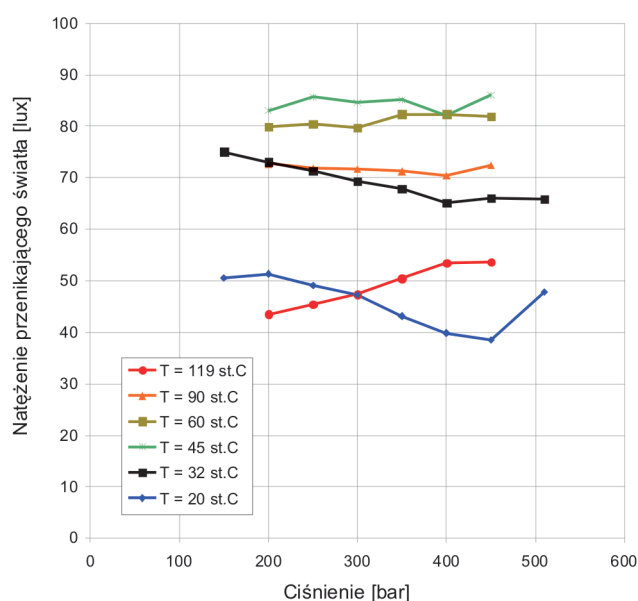
Dokonyjąc wnikliwej analizy uzyskanych krzywych, można zauważyć następującą prawidłowość: w serii badań prowadzonej w temperaturze najwyższej – złożowej (119°C – kolor czerwony), wraz z redukcją ciśnienia obserwowano spadek natężenia promieniowania przenikającego ropę; kolejne serie (90°C, 60°C i 45°C) charakteryzowały się w miarę stałym poziomem promieniowania, natomiast dwie ostatnie serie badawcze, prowadzone w najniższych temperaturach (32°C i 20°C), odznaczały się trendem odmiennym – najpierw promieniowanie nieznacznie malało (widać to zwłaszcza na izotermie 20°C), a później odnotowywany był jednostajny trend rosnący (w miarę redukcji ciśnienia).

Niestety, omawianych badań nie można porównywać na podstawie bezwzględnych wartości zmierzonego promieniowania. Prezentowane izotermy przecinają się i nie są logicznie uporządkowane – co może być wynikiem braku

powtarzalności parametrów badań pomiędzy poszczególnymi seriami. Zmienne warunki pracy źródła promieniowania (temperatury od 20 do 119°C) doprowadziły też do znacznych zmian w charakterystykach pracy użytych diod LED. Przy zadanym napięciu zasilającym zmieniały się parametry przepływającego przez panel świetlny prądu oraz ulegała zmianie pobierana moc – w efekcie czego emisja promieniowania podczerwonego w poszczególnych seriach także była różna. Ponadto każde poruszenie jednego z elementów układu: wzornik → kamera → monitor → luksomierz mogło spowodować zmiany rejestrowanych

Tablica 1. Zebrane wyniki badań

Seria nr	1	2	3	4	5	6
T [°C]	119	90	60	45	32	20
P [bar]	Natężenie promieniowania podczerwonego [Lux]					
510	–	–	–	–	65,9	47,8
450	53,6	72,5	81,9	86,0	66,1	38,5
400	53,5	70,4	82,3	82,1	65,2	39,8
350	50,5	71,2	82,3	85,1	67,9	43,1
300	47,4	71,7	79,7	84,6	69,4	47,3
250	45,4	71,9	80,4	85,6	71,3	49,1
200	43,5	72,7	79,8	83,0	73,0	51,3
150	–	–	–	–	75,1	50,5



Rys. 12. Wyniki badań prześwietlania ropy strumieniem światła podczerwonego

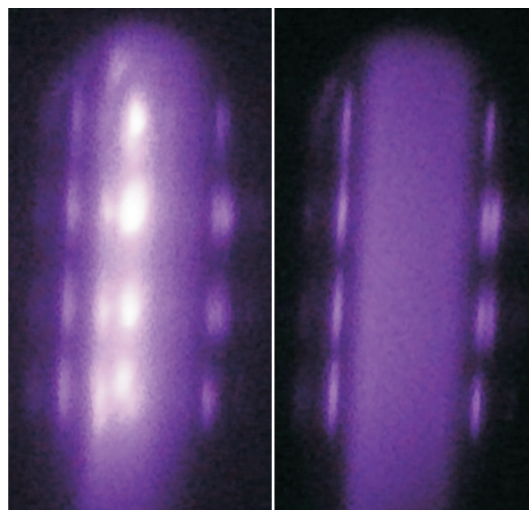
wartości światła. Na powtarzalność wykonywanych pomiarów negatywny wpływ miało także włączanie i wyłączanie aparatury pomiędzy badaniami.

Podsumowując, trendy rejestrowanych wartości promieniowania poszczególnych izoterm można porównywać oraz – co bardzo ważne – dokonywanie ostatecznej interpretacji wyników umożliwia sam wygląd prześwietlanej ropy.

Analiza zmiany trendu izoterm 30°C i 20°C połączona była ze zmianą wyglądu ropy, która to z przezroczystej stała się bardziej matowa/kremowa (fotografia 3).

Na podstawie powyższych obserwacji oszacowano, iż dla badanej ropy granica obszaru asfaltenowego i bezasfaltenowego przebiega pomiędzy temperaturą 45°C (gdzie natężenie promieniowania w całym zakresie ciśnień było stałe, a ropa bardziej klarowna), a temperaturą 30°C (gdzie obserwowana próbka ropy miała małą klarowność – fotografia 3, po prawej stronie – oraz charakteryzowała się odmiennym trendem izotermy promieniowania podczerwonego).

Przeprowadzone serie badań testujących wypracowaną metodykę badawczą pozwoliły na ostateczne



Fot. 3. Widok ropy rejestrowany w trakcie badań (z prawej – obszar asfaltenowy)

zdefiniowanie dokładnej procedury (nie przytaczanej tutaj) eksperymentalnego określania warunków PT flokulacji asfaltenów, z użyciem zaadoptowanej do tego celu bezręciowej aparatury PVT.

Podsumowanie

Aparatura PVT Zakładu Badania Ropy i Gazu w Instytucie Nafty i Gazu Oddział Krosno została zaadoptowana do prowadzenia eksperymentalnych badań warunków ciśnienia i temperatury flokulacji asfaltenów metodą prześwietlania ropy strumieniem światła podczerwonego.

Na podstawie przeprowadzonych badań pilotażowych wypracowano i ustalono odpowiednią procedurę badawczą, dzięki czemu możliwe stało się laboratoryjne określanie potencjalnych obszarów zagrożenia asfaltenami; począwszy od warunków złożowych, do powierzchniowych.

Wiarygodność i dokładność otrzymanych wyników – oprócz reprezentatywności badanej próbki – zależy od ilości i staranności wykonania badań, które powinny rozpoczynać się w temperaturze złożowej, natomiast kolejne serie nale-

ży prowadzić w temperaturach coraz niższych. Pomiędzy kolejnymi seriami badawczymi korzystne jest stosowanie niewielkich odstępów temperaturowych (10÷20°C).

Poprawne wyznaczenie warunków i/lub obszaru PT występowania asfaltenów polega na wnikliwej obserwacji wyglądu prześwietlanej próbki ropy w połączeniu z interpretacją izoterm natężenia promieniowania światła podczerwonego.

W wyniku rozbudowania aparatury PVT oraz dzięki opracowaniu odpowiedniej metody badawczej, w Instytucie Nafty i Gazu możliwe stało się eksperymentalne określanie warunków flokulacji asfaltenów w ropie – co jest istotnym zagadnieniem z punktu widzenia eksploatacji wielu złóż ropy.

Artykuł nadesłano do Redakcji 7.03.2011 r. Przyjęto do druku 8.03.2011 r.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Jan Lubaś

Literatura

- [1] Abkarzadeh K., Hammami A., Kharrat A., Zhang D., Allenson S., Creek J., Kabir S., Jamaluddin A., Marshall A.G., Rodgers R.P., Mullins O.C., Solbakken T.: *Asphaltenes – Problematic but rich in potencial*. 2007.
- [2] Aske N., Kallevik H., Johnsen E.E., Sjöblom J.: *Asphaltene aggregation from crude oils and model systems studied by high-pressure NIR spectroscopy*. Energy & Fuels, 16, p. 1287–1295, 2002.
- [3] Chandler Engineering – Dokumentacja techniczna aparatury PVT: 3000-L PVT System, Flow Diagram, Tulsa, USA 2002.
- [4] Materiały ze strony internetowej: <http://baervan.nmt.edu/Petrophysics/group/intro-2-asphaltenes.pdf>, dostęp dnia: 5.07.2010.
- [5] Pedersen K.S., Christensen P.I.: *Phase behavior of petroleum reservoir fluids*. Taylor & Francis Group, New York 2006.

- [6] Production Enhancement, Paraffin and Asphaltene Control, Paraffin and Asphaltene Deposits can be Literally Choking off Your Production and Creating Very Expensive Mechanical Problems. Materiały handlowe firmy Halliburton, H04347 04/05, Halliburton, USA, 2005.
- [7] Warnecki M.: *Określenie właściwości fazowych ropy naftowej znajdującej się w obszarze ciśnienia nasycenia*. Zlec. wew. INiG 31/KBZ, Krosno 2005.
- [8] Warnecki M.: *Zwiększenie stopnia szczypania kondensatu i ropy naftowej poprzez zatłaczanie gazu zaazotowanego*

z wykorzystaniem modelu złoża „cienka rurka”. Zlec. wew. INiG 542/KBZ, Krosno 2006.



Mgr inż. Marcin WARNECKI – absolwent Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Pracownik laboratorium PVT Zakładu Badania Złóż Ropy i Gazu Instytutu Nafty i Gazu Oddział Krosno. Zajmuje się zagadnieniami inżynierii złożowej, eksploatacji, badaniami własności fazowych płynów złożowych i symulacjami procesów złożowych.

ZAKŁAD BADANIA ZŁÓŻ ROPY I GAZU

- pobór wgłębnych i powierzchniowych próbek płynów złożowych;
- kompleksowe badania i analizy zmian fazowych próbek płynów złożowych na zestawie aparatów PVT firmy Chandler i Ruska;
- modelowanie procesu wypierania ropy gazem na fizycznym modelu złoża tzw. „cienka rurka”;
- pomiar lepkości ropy wiskozymetrem kulkowym lub kapilarnym w warunkach PT;
- optymalizacja procesów powierzchniowej separacji ropy naftowej;
- laboratoryjne oraz symulacyjne badania warunków wytrącania się parafin i asfaltenów w ropie oraz tworzenia się hydratów w gazie;
- badanie skuteczności działania środków chemicznych zapobiegających tworzeniu się hydratów;
- laboratoryjne modelowanie procesów wypierania ropy gazem w warunkach mieszania faz;
- badanie procesów sekwestracji CO₂ w solankowych poziomach wodonośnych, nasyconych gazem ziemnym;
- badania na długich rdzeniach wiertniczych dla oceny efektywności metod zwiększenia stopnia odzysku ropy.

Kierownik: mgr inż. Józef Such

Adres: ul. Armii Krajowej 3, 38-400 Krosno

Telefon: 13 436-89-41 w. 111

Faks: 13 436-79-71

E-mail: jozef.such@inig.pl

