

Jerzy Kuśnierczyk

Institut Nafty i Gazu, Oddział Krosno

Badanie procesów dyfuzji i rozpuszczania się gazu ziemnego w strefie kontaktu z ropą naftową

Wstęp

Badania mieszanin węglowodorowych prowadzone dla oceny zjawisk fazowych w warunkach zmiennego ciśnienia i temperatury wykonywane są w stanie równowagi dynamicznej, i polegają na dokładnym wymieszaniu obu faz – aż do uzyskania ustalonych parametrów tej równowagi. Inny proces zachodzi natomiast podczas statycznego układu na kontakcie fazy gazowej i ciekłej, gdzie obydwie fazy pozostają w kontakcie na granicy przez dłuższy czas. W takich warunkach zachodzi pro-

ces dyfuzji gazu w cieczy – zasadniczo różniący się od wcześniej wspomnianych warunków dynamicznych. Ten istotny problem może występować w przypadku magazynowania paliw ciekłych, gdy gaz stosowany jest jako czynnik wyporowy. Artykuł pokazuje podstawowe wyniki badań procesu dyfuzji gazu wykonane na kontakcie gazu ziemnego i ropy naftowej w temperaturach 40°C i 60°C, przy ciśnieniu 100, 60 i 20 bar, przy różnym czasie kontaktu.

Teoretyczne podstawy dyfuzji i rozpuszczania się gazu w cieczy

Dyfuzją nazywamy proces samorzutnego rozprzestrzeniania się cząsteczek w danym ośrodku (np. w gazie, cieczy lub ciele stałym), będący konsekwencją chaotycznych zderzeń cząsteczek dyfundującej substancji między sobą i/lub z cząsteczkami otaczającego ją ośrodka. Efektem dyfuzji w gazach i cieczach jest wyrównywanie się stężeń wszystkich składników w całej objętości fazy. Osiągnięcie stanu równowagi nie oznacza jednak ustania dyfuzji. Trwa ona nadal, natomiast dzięki dokładnemu wymieszaniu się wszystkich składników – nie prowadzi już do zmian stężenia. Bezpośrednią przyczyną dyfuzji jest istnienie gradientu stężenia na granicy zetknięcia się dwóch faz; im większy jest gradient stężenia, tym proces dyfuzji przebiega

szybciej. Ze względu na wielkość zjawiska, rozróżnia się dwa podstawowe rodzaje dyfuzji:

- dyfuzja śledzona (ang. *tracer diffusion*) – jest procesem na poziomie mikroskopowym, który polega na chaotycznym ruchu jednej, pojedynczej cząsteczki,
- dyfuzja chemiczna – jest procesem makroskopowym, obejmującym znaczne ilości (objętości) płynów, prowadzącym do wyrównania się stężeń dyfundujących substancji w całym układzie [1, 2].

Procesy dyfuzji opisują prawa Ficka. Są one wspólnie wykorzystywane w modelowaniu tych procesów w cieczach, gazach, tkankach, biopolimerach, farmakologii oraz w wielu innych dziedzinach życia.

Przygotowanie próbek oraz stanowiska laboratoryjnego

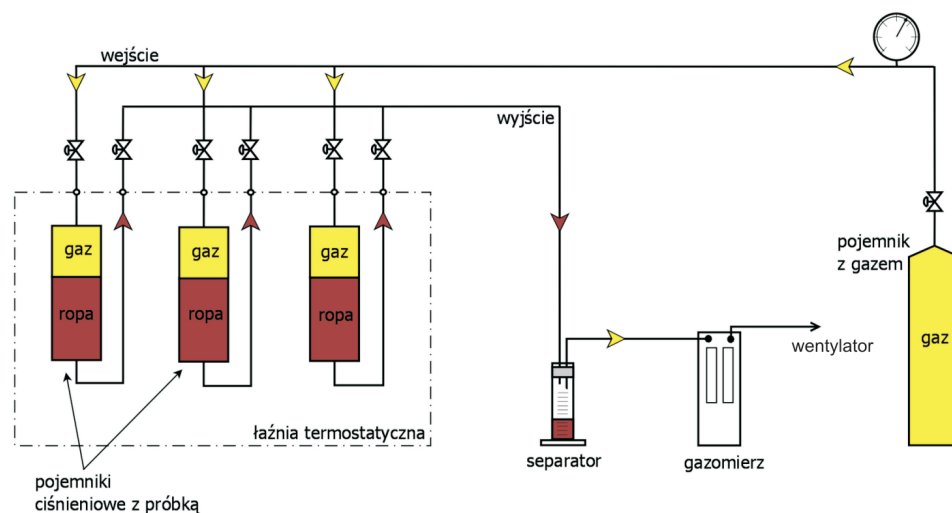
Przebieg procesu dyfuzji oraz rozpuszczania się gazu ziemnego w ropie naftowej w warunkach statycznych badano na przykładzie pojemników ciśnieniowych umieszczonych w łaźni termostatycznej. W celu utrzymania okre-

ślonego ciśnienia wszystkie trzy pojemniki były połączone równolegle „od góry” do butli z gazem ziemnym, z możliwością zamknięcia każdego z pojemników. Odczyt ciśnienia był możliwy dzięki manometrowi zamontowane-

mu na zaworze butli z gazem. Odbiór poszczególnych próbek nagazowanej ropy naftowej następował „od dołu” pojemnika. Odcinano wtedy gaz ziemny i podłączano azot. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 1 [3].

W warunkach utrzymywanego w czapie gazowej stałego ciśnienia, zadane porcje ropy były rozgazowywane, dla określenia stopnia nasycenia gazem. Każda następna porcja ropy pochodziła kolejno z coraz wyższych partii pojemnika.

Dla każdego pojemnika utrzymywany był różny czas kontaktu, w określonych warunkach ciśnienia i temperatury. W ten sposób uzyskiwano wielkość nasycenia każdej porcji ropy, w zależności od miejsca jej położenia w pojemniku.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego

Pozwoliło to na określenie wielkości dyfuzji gazu w ropie, w funkcji głębokości. Czas utrzymywania próbek w danych warunkach ciśnienia i temperatury wahał się od dwóch do dziesięciu dni.

Wyniki badań laboratoryjnych stopnia rozpuszczalności gazu ziemnego w ropie naftowej w warunkach statycznych

Badanie pilotażowe

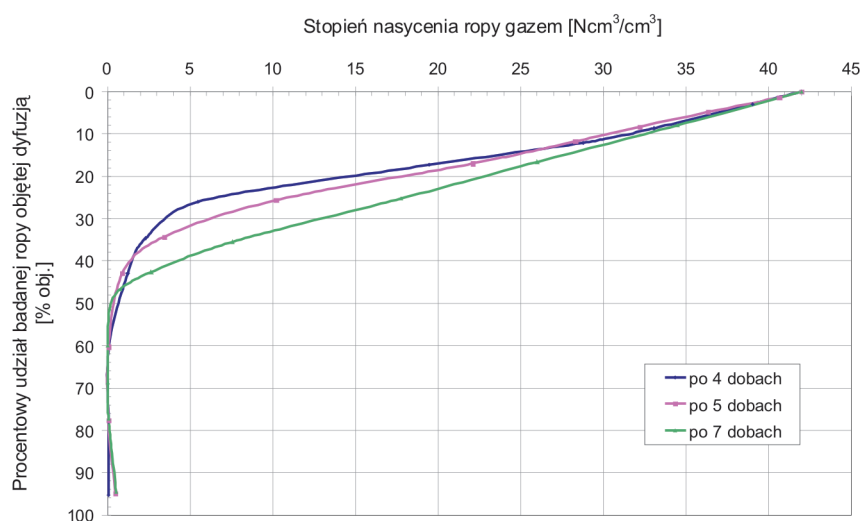
Pierwsze badanie miało charakter pilotażowy i zostało przeprowadzone w celu wypracowania odpowiedniej procedury badawczo-pomiarowej. Wykonano je w temperaturze 20°C, przy ciśnieniu wynoszącym 100 bar. Próbki odbierano kolejno po 4, 5 i 7 dobach. Przykładowe wyniki

uzyskanych pomiarów po 4 dobach przedstawiono w tabelicy 1, a zbiorcze zestawienie wyników po 4, 5 i 7 dobach badania zobrazowano na rysunku 2.

Po 4 dniach badania, dyfuzją gazu objęte było około 60% objętości ropy; po 5 dniach głębokość była zbliżona do poprzedniej i wynosiła 63,8%; natomiast po 7 dniach osiągnęła 65,7%.

Tablica 1. Odbiór nasyconej ropy naftowej w warunkach $P = 100$ bar i $T = 20^{\circ}\text{C}$ po 4 dobach

Objętość ropy na kroku pomiarowym V_R	Objętość gazu na kroku pomiarowym V_g	Procentowy udział badanej ropy objętej dyfuzją	Stopień nasycenia badanej ropy gazem dla danego kroku
[cm^3]	[cm^3]	[% obj.]	[Ncm^3/cm^3]
100	7	95,3	0,064
102	7	78,0	0,063
100	6	60,3	0,085
48	66	43,0	1,236
50	160	34,6	2,323
50	306	26,0	5,502
30	650	17,3	19,480
20	640	12,1	28,770
33	955	8,7	33,068
17	628	2,9	39,026

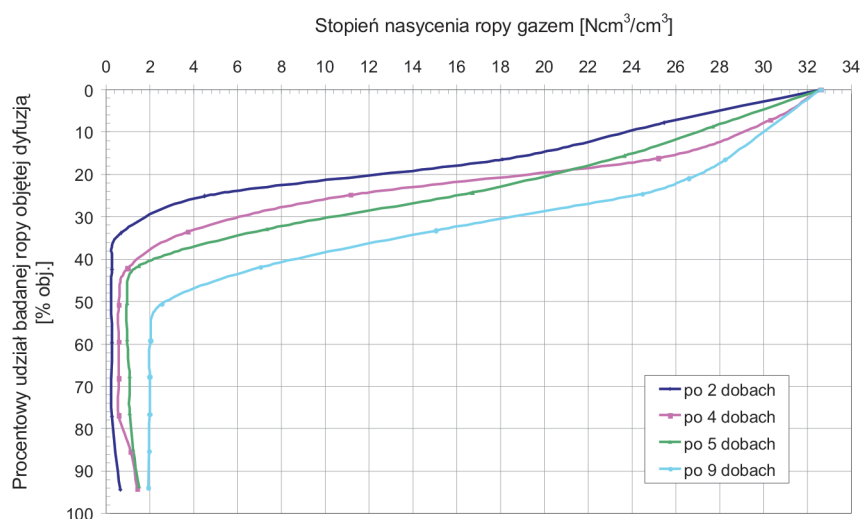


Rys. 2. Zestawienie wyników badań dla próbek ropy naftowej w temperaturze 20°C przy ciśnieniu 100 bar

Badanie w temperaturze 40°C przy ciśnieniu 100 bar

Badania w tych warunkach prowadzono w czasie 2, 4, 5 i 9 dni. Zbiórcze wyniki zestawiono na rysunku 3.

Dla poszczególnych badań, głębokość dyfuzji gazu w ropie w przypadku 2 dni wynosiła 37,6% całkowitej objętości ropy w pojemniku; po 4 dniach – 45,1%, a po 5 dniach nieznacznie wzrosła – do 45,8%. Najgłębiej strefa dyfuzji znajdowała się po 9 dniach, obejmując 54,5% objętości ropy.

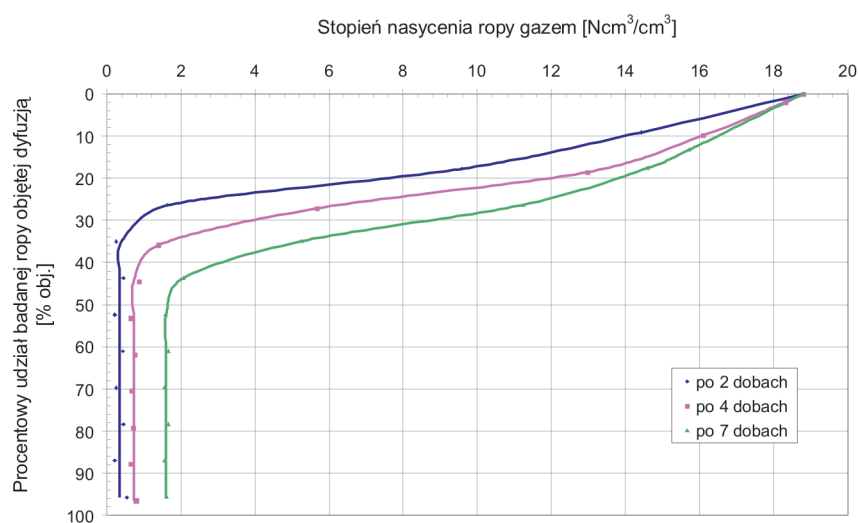


Rys. 3. Zestawienie wyników badań dla próbek ropy naftowej w temperaturze 40°C przy ciśnieniu 100 bar

Badanie w temperaturze 40°C przy ciśnieniu 60 bar

Badania w tych warunkach prowadzono w czasie 2, 4 i 7 dni. Zbiórcze wyniki zestawiono na rysunku 4.

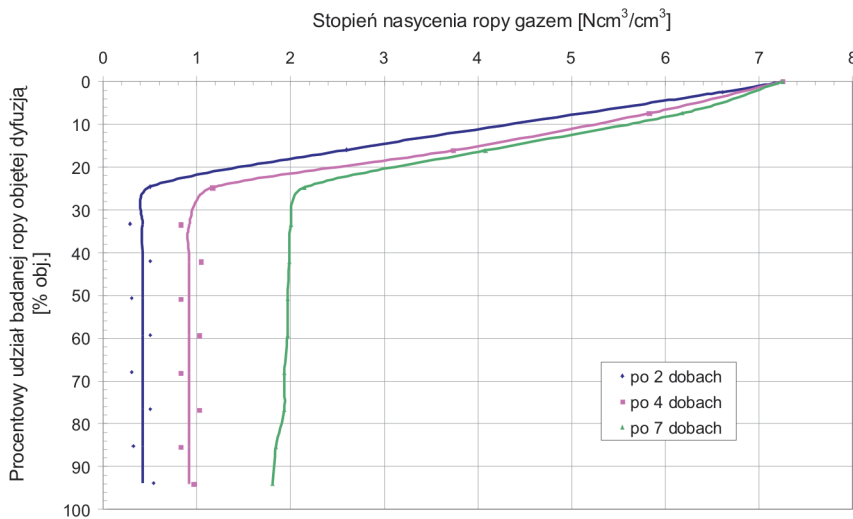
Dla poszczególnych badań, głębokość dyfuzji gazu w ropie w przypadku 2 dni wynosiła 37,6% całkowitej objętości ropy w pojemniku, a po 4 dniach – 47%. Najgłębiej strefa dyfuzji znajdowała się po 7 dniach, obejmując 56,3% objętości ropy.



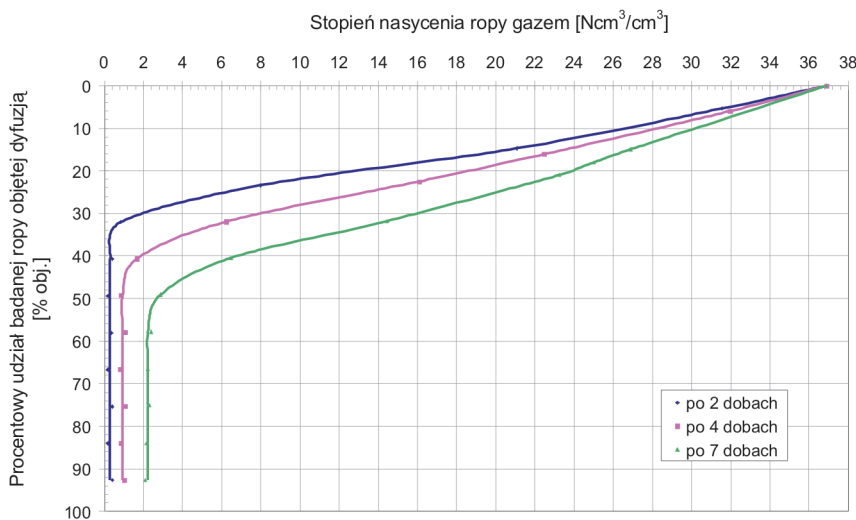
Rys. 4. Zestawienie wyników badań dla próbek ropy naftowej w temperaturze 40°C przy ciśnieniu 60 bar

Badanie w temperaturze 40°C przy ciśnieniu 20 bar

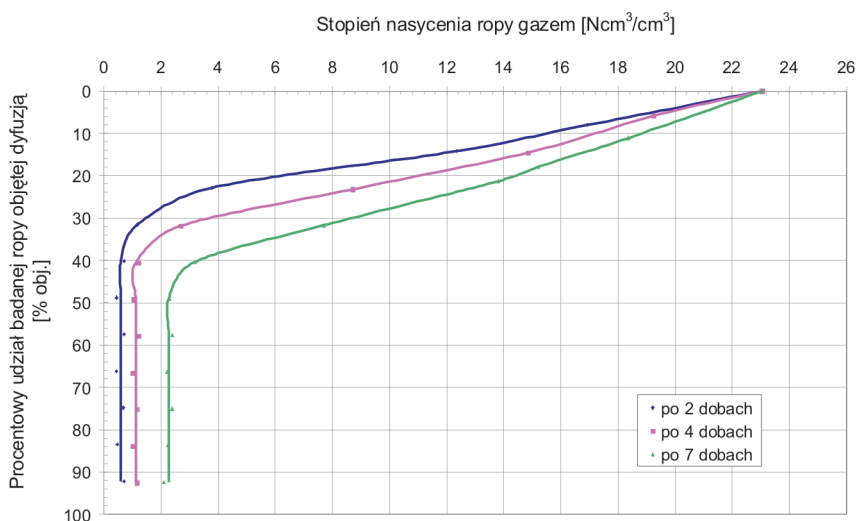
Badania w tych warunkach prowadzono w czasie 2, 4 i 7 dni. Zbiórcze



Rys. 5. Zestawienie wyników badań dla próbek ropy naftowej w temperaturze 40°C przy ciśnieniu 20 bar



Rys. 6. Zestawienie wyników badań dla próbek ropy naftowej w temperaturze 60°C przy ciśnieniu 100 bar



Rys. 7. Zestawienie wyników badań dla próbek ropy naftowej w temperaturze 60°C przy ciśnieniu 60 bar

wyniki zestawiono na rysunku 5. Dla poszczególnych badań, głębokość dyfuzji gazu w ropie w przypadku 2 dni wynosiła 26,3% całkowitej objętości ropy w pojemniku, a po 4 dniach – 28,2%. Najgłębiej strefa dyfuzji znajdowała się po 7 dniach, obejmując 30,1% objętości ropy.

Pomiędzy kolejnymi odbiorami próbek jest niewielka różnica procentowej objętości nagazowanej ropy; przyczyną tego mogą być niskie warunki ciśnienia, w jakich przeprowadzono badanie.

Badanie w temperaturze 60°C przy ciśnieniu 100 bar

Badania w tych warunkach prowadzono w czasie 2, 4 i 7 dni. Zbiorcze wyniki zestawiono na rysunku 6.

Dla poszczególnych badań, głębokość dyfuzji gazu w ropie w przypadku 2 dni wynosiła 33,8% całkowitej objętości ropy w pojemniku, a po 4 dniach – 47%. Najgłębiej strefa dyfuzji znajdowała się po 7 dniach, obejmując 52,6% objętości ropy.

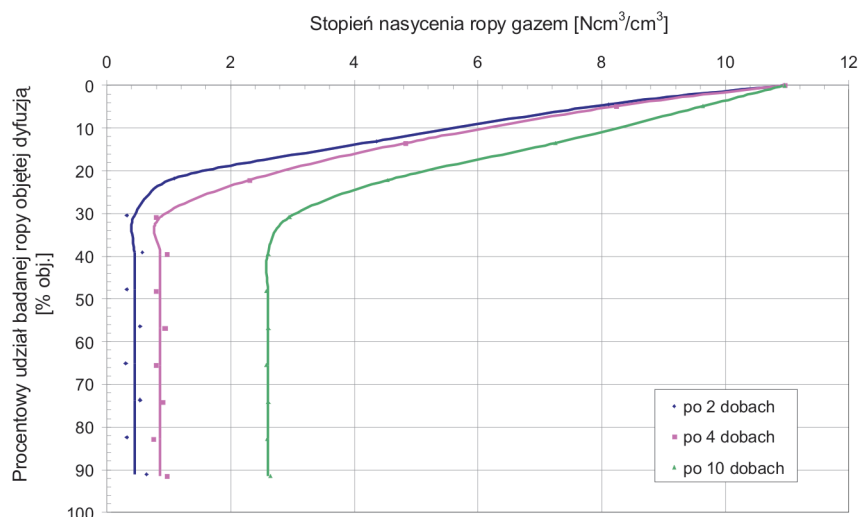
Badanie w temperaturze 60°C przy ciśnieniu 60 bar

Badania w tych warunkach prowadzono w czasie 2, 4 i 7 dni. Zbiorcze wyniki zestawiono na rysunku 7.

Dla poszczególnych badań, głębokość dyfuzji gazu w ropie w przypadku 2 dni wynosiła 37,6% całkowitej objętości ropy w pojemniku, a po 4 dniach – 41,3%. Najgłębiej strefa dyfuzji znajdowała się po 7 dniach, obejmując 48,8% objętości ropy.

Badanie w temperaturze 60°C przy ciśnieniu 20 bar

Badania w tych warunkach prowadzono w czasie 2, 4 i 10 dni. Zbiorcze wyniki zestawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Zestawienie wyników badań dla próbek ropy naftowej w temperaturze 60°C przy ciśnieniu 20 bar

Dla poszczególnych badań, głębokość dyfuzji gazu w ropie w przypadku 2 dni wynosiła 30,1% całkowitej objętości ropy w pojemniku, a po 4 dniach – 31,9%. Najgłębiej strefa dyfuzji znajdowała się po 10 dniach, obejmując 41,3% objętości ropy.

W dwóch pierwszych przypadkach jest to niewielka różnica, natomiast w ostatnim można zauważyć znaczny wzrost głębokości, co spowodowane jest dłuższym przebywaniem próbki w określonych warunkach ciśnienia i temperatury.

Podsumowanie

Badania zmian wielkości strefy objętej dyfuzją gazu ziemnego przeprowadzono w temperaturach 20, 40 i 60°C, przy ciśnieniach 20, 60 i 100 bar, dla czasów kontaktu 2–10 dni. Prace badawcze wykonano na stanowisku wyposażonym w pojemniki ciśnieniowe oraz łaźnię termostatyczną.

Pierwsze badanie jakie zostało wykonane miało charakter pilotażowy i służyło głównie wypracowaniu odpowiedniej procedury badawczej, dlatego też przeprowadzono je tylko w jednym ciśnieniu – 100 bar, w temperaturze laboratoryjnej (20°C).

Jak można zauważyć na załączonych wykresach, ilość rozpuszczonego w ropie gazu, w stosunku do objętości, w żadnym punkcie nie jest równa zero. Wykonane analizy chromatograficzne wykazały przeważającą zawartość metanu w uwalnianym gazie: w przypadku temperatury 40°C jego zawartość wynosiła 62,71%, natomiast w temperaturze 60°C – 80,72%.

W badaniach potwierdzono głęboką dyfuzję gazu w magazynowanej ropie, która jest zależna od temperatury, ciśnienia i czasu kontaktu.

Artykuł nadesłano do Redakcji 5.11.2010 r. Przyjęto do druku 13.01.2011 r.

Recenzent: dr hab. inż. Jan Lubaś

Literatura

- [1] Crank J.: *The Mathematics of Diffusion*. Second Edition, Oxford Science Publication, Oxford, March 1980.
- [2] Owsik W.: *Fizyczne podstawy technologii wydobywania ropy i gazu*. Katowice 1971.
- [3] Such J.: *Badanie wielkości strefy rozpuszczania się gazu ziemnego w kontakcie z olejem napędowym w temperaturze 50°C i ciśnieniu 17 MPa*. Dokumentacja INiG, Biblioteka Zbiorów Specjalnych, INiG, Kraków, czerwiec 2009.



Mgr inż. Jerzy KUŚNIERCZYK – absolwent Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Pracownik laboratorium PVT Zakładu Badania Złóż Ropy i Gazu w Instytucie Nafty i Gazu, Oddział Krosno. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z inżynierią złożową, badaniami zjawisk fazowych płynów złożowych oraz dyfuzją gazu w cieczach w warunkach ciśnienia i temperatury.