

Jerzy Kuśnierczyk

Institut Nafty i Gazu, Oddział Krosno

Badanie procesu dyfuzji gazu ziemnego na kontakcie z benzyną w warunkach ciśnienia i temperatury

Wstęp

Badania mieszanin węglowodorowych prowadzone dla oceny zjawisk fazowych w warunkach zmiennego ciśnienia i temperatury zachodzą w stanie równowagi dynamicznej i polegają na dokładnym wymieszaniu obu faz, aż do uzyskania ustalonych parametrów badanego układu. Inny proces zachodzi natomiast podczas statycznego układu przy kontakcie fazy gazowej i ciekłej, gdzie obie fazy pozostają w kontakcie w długim okresie czasu.

Różni się on zasadniczo od wcześniej wspomnianych warunków dynamicznych. Ten istotny problem może występować w przypadku magazynowania paliw ciekłych, gdy gaz stosowany jest jako czynnik waporowy. Artykuł zawiera wyniki badań procesu dyfuzji gazu wykonane na powierzchni kontaktu gazu ziemnego i benzyny bezołowiowej 95 w temperaturze 20, 40 i 60°C, przy ciśnieniu 20, 40 i 60 bar, w różnych okresach czasowych.

Pojęcia podstawowe

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. Bezpośrednią przyczyną dyfuzji jest istnienie gradientu stężenia na granicy zetknięcia się dwóch faz. Im większy jest gradient stężenia, tym szybciej odbywa się proces dyfuzji. Ze względu na wielkość zjawiska rozróżnia się dwa podstawowe rodzaje dyfuzji:

- dyfuzja ślędzona (ang. *tracer diffusion*) – proces na poziomie mikroskopowym, który polega na chaotycznym ruchu jednej, pojedynczej cząsteczki,
- dyfuzja chemiczna – proces makroskopowy, obejmu-

jący znaczne ilości (objętości) płynów, prowadzący do wyrównania się stężeń dyfundujących substancji w całym układzie [1, 3].

Prawami opisującymi procesy dyfuzji są prawa Ficka. Są one współcześnie wykorzystywane w modelowaniu procesów dyfuzji w cieczach, gazach, tkankach, biopolimerach, farmakologii oraz wielu innych dziedzinach nauki.

Wielokrotnie w artykule używane jest pojęcie „wykładnika gazowego” – jest to stosunek objętości gazu do objętości cieczy odebranych z pojemnika. To bardzo ważny współczynnik, gdyż dzięki niemu określa się głębokość dyfuzji w czasie badania. Jak można zauważyć, początkowo wykładnik jest niewielki, co oznacza, że więcej napływa benzyny niż gazu. Później następuje znaczny wzrost wartości wykładnika, co można odczytać jako wzrost nasycenia benzyny gazem.

Przygotowanie próbek oraz stanowiska laboratoryjnego

Proces dyfuzji oraz rozpuszczania się gazu ziemnego zaazotowanego w benzynie bezołowiowej 95, w warunkach

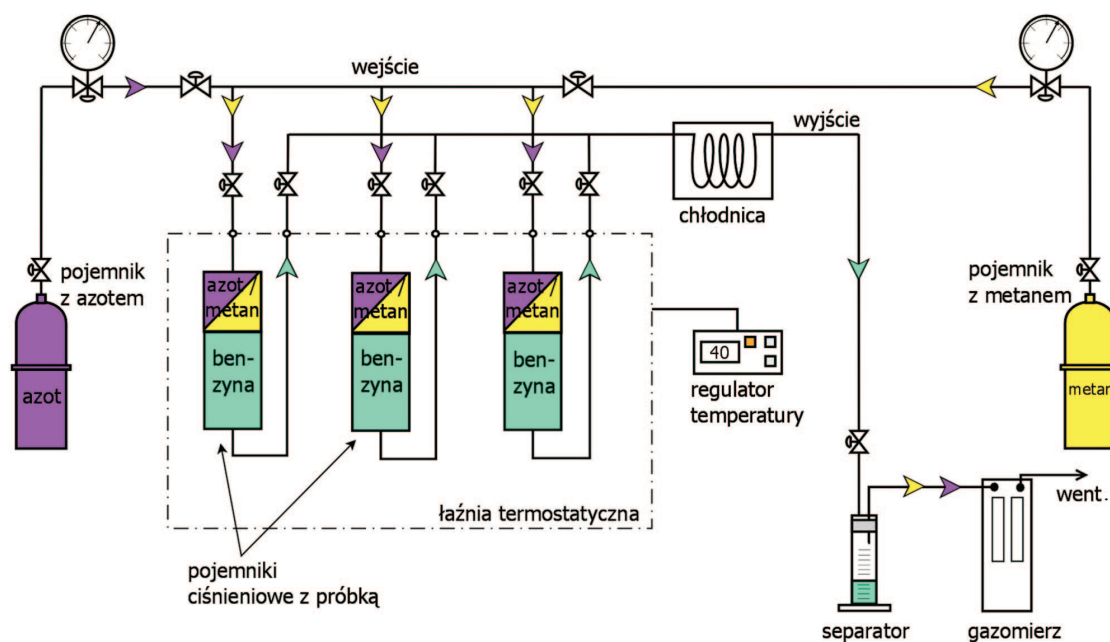
statycznych, przebiegał w pojemnikach ciśnieniowych Leu-terta o objętości 675 cm³ oraz średnicy 5,1 cm. Pojemniki te

zostały umieszczone w łaźni termostatycznej, w której była możliwość regulacji temperatury oraz jej utrzymania na stałym poziomie przez regulator temperatury (rysunek 1). Temperatura w łaźni termostatycznej utrzymywana była z dokładnością $\pm 1^\circ\text{C}$. Dzięki zastosowaniu cieczy jako elementu przewodzącego ciepło możliwa była stosunkowo szybka stabilizacja zadanej temperatury, która następowała po około czterech godzinach.



Rys. 1. Regulator temperatury użyty w czasie badań

W celu zachowania określonego ciśnienia wszystkie trzy pojemniki połączono równolegle „od góry” do butli z gazem ziemnym w taki sposób, że możliwe było zamknięcie każdego z pojemników. Odczyt ciśnienia umożliwił manometr zamontowany na zaworze butli z gazem. Odbiór poszczególnych próbek benzyny nasyconej gazem następował „od dołu” pojemnika i był regulowany zaworem. W czasie badania próbkę wytłaczano azotem. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 2 [4].



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego

Tablica 1. Właściwości fizyczne i chemiczne badanej benzyny [2]

Postać	jasnożółta, przezroczysta ciecz
Zapach	specyficzny dla produktu
Temperatura (w 1013 hPa)	
– wrzenia [$^\circ\text{C}$]	50÷220
– zapłonu [$^\circ\text{C}$]	-40 (tygiel otwarty)
– samozapłonu [$^\circ\text{C}$]	> 300
Palność (ciała stałego, gazu)	skrajnie łatwopalny
Właściwości wybuchowe	granice wybuchowości w powietrzu: 0,76÷7,6 [% (V/V)]
Prężność par w 40 $^\circ\text{C}$ [hPa]	45÷90
Gęstość produktu w 15 $^\circ\text{C}$ [g/cm^3]	0,720÷0,775
Rozpuszczalność	
– w wodzie	nie rozpuszcza się
– w rozpuszczalnikach organicznych	rozpuszcza się w większości rozpuszczalników organicznych
Współczynnik podziału n-oktanol/woda (log KO/W)	2,1÷6
Lepkość kinematyczna w 40 $^\circ\text{C}$ [mm^2/s]	< 7

Trzy identyczne pojemniki wypełniono benzyną bezolowiową 95. Jej właściwości przedstawiono w tabelicy 1.

Pojemniki umieszczono w łaźni termostatycznej w celu dokładnego kształtowania temperatury przedmiotowej próbki i podniesiono temperaturę do wartości przewidzianej w badaniu (40 i 60 $^\circ\text{C}$). Do pojemników została podłączona

butla z gazem ziemnym, aby uzyskać ciśnienie określone planem badania. Następnie z poszczególnych pojemników odebrano po 100 cm³ benzyny, utrzymując stałe ciśnienie. Tym samym wytworzono czapę gazową, która znajdowała się nad badaną benzyną, powodując jej stopniowe nasytanie. Zastosowanie butli z gazem ziemnym umożliwiło podtrzymywanie oraz regulację ciśnienia na zadanym poziomie. Było to ważnym elementem prac badawczych, gdyż przy wysokich nasyceniach zauważalny był szybki spadek ciśnienia w pojemnikach. Tak przygotowane próbki pozostawiano w warunkach statycznych na określony czas. Po upływie przewidzianego czasu (najczęściej dwóch, czterech lub siedmiu dobach) dokonywano kolejnych odbiorów próbki z poszczególnych pojemników, mierząc objętość benzyny oraz gazu na wyjściu. Do odmierzania poszczególnych partii próbki zastosowano tzw. krok pomiarowy, polegający na odbieraniu takiej samej objętości. Do badania użyto cylindra o pojemności 100 cm³, natomiast kroki pomiarowe ustalono na poziomie 45 cm³. Taką objętość przyjęto w celu łatwiejszego oraz dokładniejszego pomiaru próbki na wyjściu z pojemnika. Wytłaczania próbek paliwa z pojemników dokonywano za pomocą azotu, który został podłączony do stanowiska badawczego. Przed przystąpieniem do odbioru próbki z określonego pojemnika „odcinano” dopływ gazu ziemnego z butli. Ponadto zamykano zawory na pozostałych pojemnikach

w celu uniemożliwienia wymieszania się azotu z gazem ziemnym. Benzynę bezołowiową 95, nasyconą gazem, schładzano do temperatury laboratoryjnej, przepuszczając ją przez chłodnicę i utrzymując cały czas ciśnienie. Dzięki schłodzeniu benzyny można pominąć proces parowania lekkich składników. Wspomniany proces regulowano zaworem znajdującym się przed separatorem. Podczas prac badawczych rejestrowano również warunki otoczenia panujące w laboratorium. Czas, na jaki pozostawiano próbki paliwa przy określonym ciśnieniu i temperaturze, wahał się od dwóch do jedenastu dni. Jak wspomniano, do badań użyto gaz ziemny zaazotowany – jego skład podano w tablicy 2.

Tablica 2. Skład gazu ziemnego użytego w czasie badań

Składnik	Zawartość [% mol/mol]
metan	57,9890
etan	0,1508
propan	0,0038
i-butan	0,0001
n-butan	0,0002
n-pentan	0,0001
dwutlenek węgla	0,2851
azot	41,4756
hel	0,0953

Wyniki badań laboratoryjnych stopnia rozpuszczalności gazu ziemnego w benzynie bezołowiowej 95 w warunkach statycznych

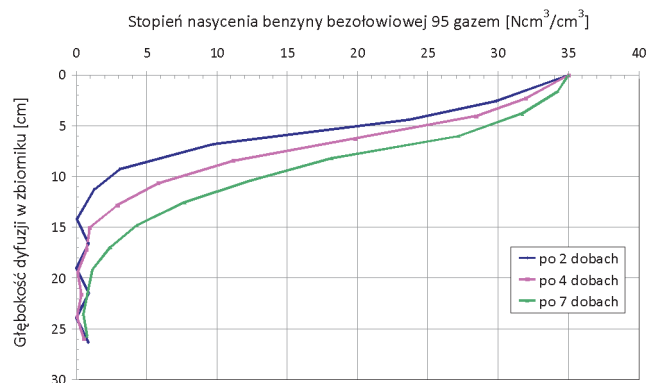
Badanie w temperaturze 20°C i ciśnieniu 60 bar

Pierwszy etap badań przeprowadzono w temperaturze 20°C, przy ciśnieniu wynoszącym 60 bar. Próbki odbierano kolejno po 2, 4 i 7 dobach. Wyniki uzyskanych pomiarów po 4 dobach stabilizacji przedstawiono w tablicy 3. Zbiorcze zestawienie wyników badań po 4, 5 i 7 dobach zamieszczono na rysunku 3.

W odniesieniu do danych zawartych w tablicy 3, niepewność uzyskanych wyników oszacowano na podstawie klasy dokładności przyrządów pomiarowych. Oszacowana niepewność nie przekracza: dla $V_B \pm 0,5 \text{ cm}^3$, dla $V_g \pm 2 \text{ cm}^3$, dla głębokości dyfuzji w zbiorniku $\pm 0,5 \text{ cm}$. Błąd pomiaru niepewności dla wyliczonej wielkości stopnia nasycenia badanej benzyny gazem wyniósł 1,2%. Oszacowano go na podstawie różniczki zupełnej.

Jak można zauważyć na wykresie (rysunek 3), objętość gazu odbieranego na wyjściu z pojemnika zaraz po rozpoczęciu badania była większa niż objętość benzyny. Wykładnik gazowy zbliżył się do zera, ale nie osiągnął

punktu zerowego. Można z tego wnioskować, że gaz nasycił całą objętość benzyny, jednak przy wypieraniu nastąpił gwałtowniejszy wzrost wykładnika gazowego, co wiąże się z głębokością dyfuzji gazu w benzynie. W przypadku dwóch dob głębokość nasycenia kształtowała się na poziomie 12 cm wysokości pojemnika, co stanowi około 45%



Rys. 3. Krzywe nasycenia próbek benzyny bezołowiowej 95 w temperaturze 20°C i ciśnieniu 60 bar

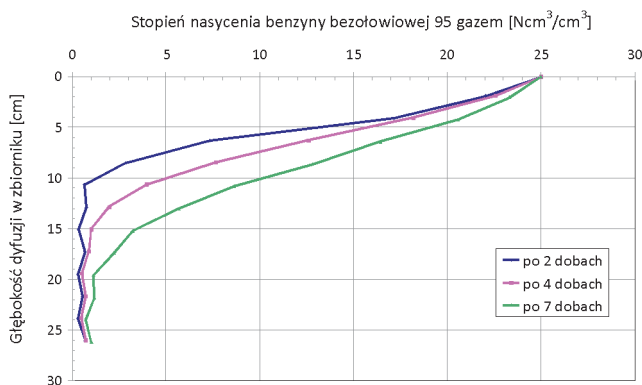
Tablica 3. Odbiór nasyconej benzyny bezołowiowej 95 w warunkach $P = 60$ bar i $T = 20^{\circ}\text{C}$ po 4 dobach

Lp.	Objętość benzyny na kroku pomiarowym V_b	Objętość gazu na kroku pomiarowym V_g	Głębokość dyfuzji w zbiorniku	Stopień nasycenia badanej benzyny gazem dla danego kroku
	[cm^3]	[cm^3]	[cm]	[Ncm^3/cm^3]
1.	45	72	25,98	0,548
2.	45	48	23,79	0,061
3.	45	63	21,59	0,365
4.	45	49	19,40	0,081
5.	45	80	17,21	0,710
6.	45	92	15,01	0,954
7.	45	190	12,82	2,942
8.	45	332	10,62	5,824
9.	45	596	8,43	11,181
10.	45	1022	6,24	19,825
11.	45	1446	4,04	28,429
12.	38	1410	2,29	31,959

udziału badanej benzyny objętej dyfuzją. Po 4 dobach głębokość nasycenia zbliżyła się do 15 cm (56,3%), natomiast w przypadku 7 dób stanowiła 17,5 cm, czyli 65,7% udziału badanej benzyny objętej dyfuzją. Wielkość tę obliczono na podstawie objętości, jaką zajmowała benzyna po wzroście wykładnika gazowego. Dzięki znajomości wymiarów pojemnika można było obliczyć objętość benzyny, która uległa nasyceniu gazem, a odnosząc tę wartość do całkowitej objętości benzyny w pojemniku, wyliczono procentowy udział badanej benzyny objętej dyfuzją.

Badanie w temperaturze 20°C i ciśnieniu 40 bar

W kolejnym etapie badań obniżono ciśnienie do 40 bar. Temperatura badania pozostała na takim samym poziomie jak poprzednio (temperatura pomieszczenia laboratoryjnego). Odbiory poszczególnych próbek benzyny z pojemników następowały kolejno po 2, 4 i 7 dobach. Wyniki tych badań przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Krzywe nasycenia próbek benzyny bezołowiowej 95 w temperaturze 20°C i ciśnieniu 40 bar

Tak jak w poprzednim etapie badań (w temperaturze 20°C) również i tu zaobserwowano znaczną objętość gazu w początkowej fazie. Różnica pomiędzy poszczególnymi odczytami może być spowodowana „wybijaniem” lżejszych frakcji benzyny przy spadku kropli do separatora z większej wysokości. Zwiększenie się objętości benzyny w separatorze powodowało zbliżenie się jej nasycenia do zera.

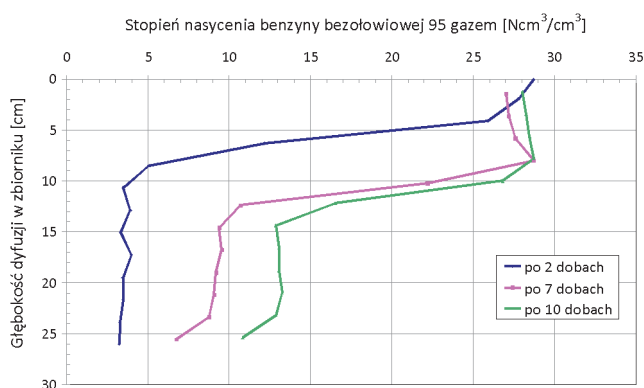
Głębokość dyfuzji gazu w benzynie dla określonych dni (dób) wynosiła w przypadku drugiej doby 11 cm wysokości pojemnika, czyli około 41,3% całkowitej objętości benzyny w pojemniku. Po 4 dobach dyfuzja osiągnęła poziom 14 cm, co stanowi 52,6% całkowitej objętości benzyny w pojemniku. Najwyższy poziom dyfuzji zanotowano po 7 dobach, to jest 18 cm, co stanowi 67,6% objętości nagazowanej benzyny (rysunek 4).

Badanie w temperaturze 40°C i ciśnieniu 60 bar

Następne badania przeprowadzono w temperaturze 40°C oraz ciśnieniu 60 bar. Tok postępowania był podobny jak poprzednio. Wypełnione benzyną bezołowiową 95 pojemniki pozostawiono w warunkach statycznych na określony czas.

Przeprowadzono badania, a wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 5.

Dokonując analizy wyników zamieszczonych na tym rysunku stwierdzono, że istnieje analogia do wcześniejszych badań – również gaz pojawia się od samego początku prowadzenia odbioru oraz im dłużej próbka przebywa w zadanych warunkach, tym większe jest nasycenie w całej objętości pojemnika. Zauważono znaczną różnicę nasycenia początkowego po dwóch dobach, które kształtowało się

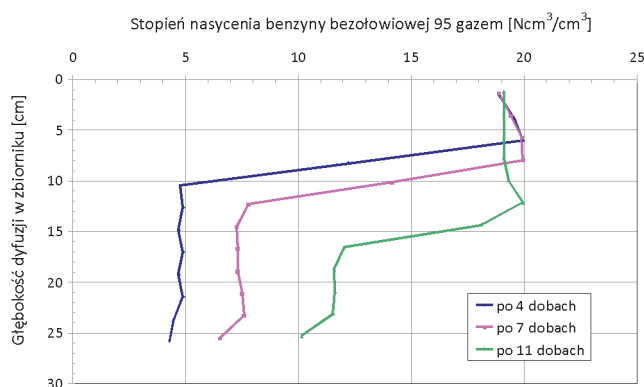


Rys. 5. Krzywe nasycenia próbek benzyny bezołowiowej 95 w temperaturze 40°C i ciśnieniu 60 bar

na poziomie około $3,5 \text{ Ncm}^3/\text{cm}^3$, natomiast po 11 dobach wartość ta wzrosła do poziomu około $13,5 \text{ Ncm}^3/\text{cm}^3$. Należy podkreślić, że pierwszy punkt odbioru paliwa odbiega od dalszych przebiegów linii nasycenia – wiąże się to z niedostatecznym rozpuszczaniem gazu w benzynie, w warunkach statycznych. Poszczególne głębokości nasycenia w pojemnikach wynosiły odpowiednio: dla 2 dni – 10 cm (37,6%), dla 7 dni – 13 cm (48,8%), natomiast dla 10 dni – 14 cm (52,6%). Zauważono nagły wzrost wykładnika gazowego, co stanowi punkt głębokości dyfuzji, a następnie – po osiągnięciu maksymalnego nasycenia próbki – następuje stabilizacja (w niektórych przypadkach lekki spadek) wykładnika, co obrazuje rysunek 5.

Badanie w temperaturze 40°C i ciśnieniu 40 bar

W kolejnym etapie badań obniżono ciśnienie o 20 bar, natomiast temperaturę pozostawiono bez zmian. Badania w tych warunkach prowadzono w czasie 4, 7 i 11 dni. Wyniki pomiarów zamieszczono na rysunku 6.



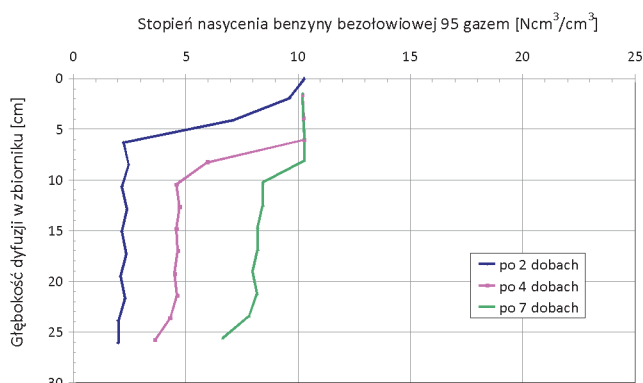
Rys. 6. Krzywe nasycenia próbek benzyny bezołowiowej 95 w temperaturze 40°C i ciśnieniu 40 bar

Poszczególne krzywe nasycenia gazu w benzynie zachowują się w analogiczny sposób do poprzednich.

Pierwszy punkt odbioru nieco odbiega od prostej, można także zaobserwować „wygięcie” krzywej, co stanowi maksymalną wartość nasycenia, a następnie jej lekki spadek. Głębokość, po której nastąpił gwałtowny skok wykładnika gazowego, wynosiła odpowiednio: dla 4 dni około 10 cm, co stanowi 37,6% całkowitej objętości benzyny w pojemniku, dla 7 dni było to 12,5 cm (47,0%), natomiast dla 11 dni – 16 cm (60,1%).

Badanie w temperaturze 40°C i ciśnieniu 20 bar

Po separacji wszystkich próbek wypuszczono azot oraz schłodzono pojemniki do temperatury otoczenia. Następnie nabrano nową porcję benzyny i zatłoczono gaz, odbierając z każdego pojemnika po 100 cm^3 próbki. Podgrzano pojemniki w łaźni termostatycznej do temperatury 40°C, jednocześnie utrzymując ciśnienie 20 bar. Tak przygotowane próbki pozostawiono w warunkach statycznych. Po okresie kolejno 2, 4 i 7 dni następował odbiór nasyczonej próbki benzyny z pojemnika, przy naddatku 2÷4 bar powyżej zadanego ciśnienia roboczego. Wyniki badań zamieszczono na rysunku 7.



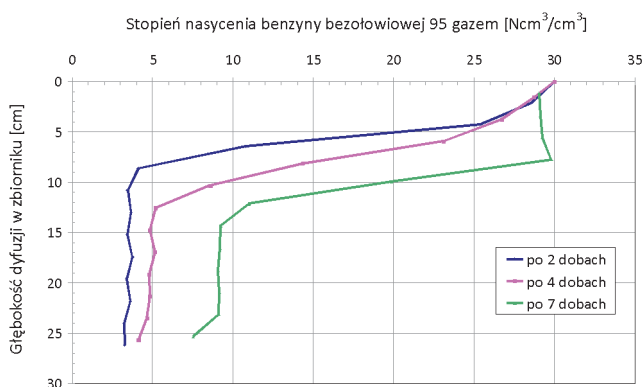
Rys. 7. Krzywe nasycenia próbek benzyny bezołowiowej 95 w temperaturze 40°C i ciśnieniu 20 bar

W serii badań przeprowadzonych przy ciśnieniu 20 bar oraz temperaturze 40°C można zauważyć analogię do dwóch poprzednich ciśnień. We wszystkich niemal przypadkach występuje charakterystyczne wygięcie krzywej nasycenia, wyjątkami są badania, w których odbiór następował wcześniej (na ogół po 2 dniach). Wykresy w pozostałych badaniach posiadają zbliżoną formę przebiegu. Po dwóch dniach płaszczyzna dyfuzji osiągnęła głębokość około 6 cm, czyli 22,5% objętości benzyny, po czterech dniach było to już 9,5 cm, to jest 35,7%, natomiast po siedmiu dniach płaszczyzna przesunęła się zaledwie o 0,5 cm i osiągnęła głębokość 10 cm, czyli 37,6% (rysunek 7). Tak niewielka różnica przesunięcia się płaszczyzny dyfuzji może wynikać z niskiego ciśnienia badania, jak również

z ogólnego nasycenia próbki w całej jej objętości. Początkowe nasycenie benzyny w pojemniku dla ciśnienia 20 bar i terminu odbioru 4 dni wyniosło $4,5 \text{ Ncm}^3/\text{cm}^3$ i dopiero przy „przebieciu” azotu wzrosło do ponad $10 \text{ Ncm}^3/\text{cm}^3$. Natomiast w przypadku 7 dni i tego samego ciśnienia początkowo można było już zaobserwować nasycenie w okolicach $8 \text{ Ncm}^3/\text{cm}^3$, co stanowi niemal dwukrotność początkowego poziomu z poprzedniego badania.

Badanie w temperaturze 60°C i ciśnieniu 60 bar

Badania w tych warunkach prowadzono w czasie 2, 4 i 7 dni. Zbiorcze wyniki zestawiono na rysunku 8.



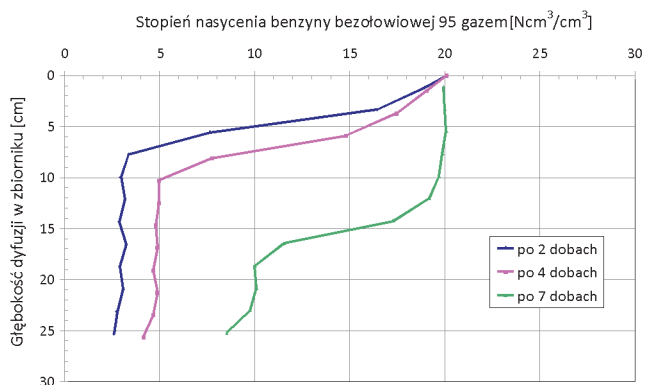
Rys. 8. Krzywe nasycenia próbek benzyny bezolowiowej 95 w temperaturze 60°C i ciśnieniu 60 bar

Przedstawioną serię badań przeprowadzono w temperaturze 60°C i ciśnieniu 60 bar. W dwóch pierwszych przypadkach, czyli po dwóch i czterech dniach, krzywe nasycenia mają standardowy przebieg. Natomiast w przypadku siedmiu dni występuje charakterystyczne „przebiecie” krzywej, a następnie stabilizacja wykładnika gazowego. Z wykresów można również odczytać głębokość, po jakiej nastąpiło „przebiecie” się gazu wypierającego, którym był azot. Początkowe nasycenie próbki gazem znalazło się w przedziale od $3,5 \text{ Ncm}^3/\text{cm}^3$ (po dwóch dniach) do około $9 \text{ Ncm}^3/\text{cm}^3$ (po siedmiu dniach). Po dwóch dniach nasycenie doszło do głębokości około 8,5 cm, czyli 31,9% objętości benzyny, po czterech dniach było to już 13 cm, to jest 48,8%, natomiast po siedmiu dniach – 14,5 cm, czyli 54,5%. Początkowo prędkość dyfuzji jest znaczna, ponieważ już po 2 dobach osiąga 8,5 cm wysokości słupa cieczy w pojemniku, jednak z czasem staje się coraz wolniejsza. Różnica głębokości płaszczyzny dyfuzji pomiędzy czterema a siedmioma

dniami wynosi tylko 1,5 cm, z kolei pomiędzy pierwszym a drugim odbiorem jest to 4,5 cm.

Badanie w temperaturze 60°C i ciśnieniu 40 bar

Temperaturę pozostawiono na poziomie 60°C, natomiast ciśnienie obniżono do 40 bar. Badania w tych warunkach prowadzono w czasie 2, 4 i 7 dni. Zbiorcze wyniki zestawiono na rysunku 9.



Rys. 9. Krzywe nasycenia próbek benzyny bezolowiowej 95 w temperaturze 60°C i ciśnieniu 40 bar

Jak wynika z przedstawionego wykresu, pierwsze dwie próbki, które odebrano, mają taki sam przebieg jak w badaniu poprzednim, natomiast ostatnia posiada charakterystyczne „przebiecie” i stabilizację wykładnika gazowego na poziomie około $20 \text{ Ncm}^3/\text{cm}^3$ (rysunek 9). Krzywe nasycenia podobne są również w początkowym przebiegu, pierwsze dwa odbiory mają zbliżone początkowe nasycenie (po 2 dniach – $3 \text{ Ncm}^3/\text{cm}^3$, po 4 dniach – $5 \text{ Ncm}^3/\text{cm}^3$). Inaczej wygląda sytuacja przy ostatnim odbiorze, gdyż początkowe nasycenie kształtuje się na poziomie około $10 \text{ Ncm}^3/\text{cm}^3$, czyli niemal dwa razy większym niż we wcześniejszych przypadkach.

Po dwóch dniach płaszczyzna dyfuzji znajdowała się na głębokości około 7 cm (26,3%), po czterech dniach było to już 10 cm (37,6%), natomiast po siedmiu dniach płaszczyzna przesunęła się aż na głębokość 18 cm (67,6%).

Ważnym elementem prowadzonych badań było utrzymywanie stałego ciśnienia w pojemnikach przez cały okres prowadzenia prac. Gaz, który rozpuszczał się w benzynie natychmiast zastępowany był przez „nowy” pochodzący z butli. Przedział czasowy, w którym następował odbiór próbki, był bardzo krótki w stosunku do czasu badania.

Podsumowanie

Badania zmian wielkości strefy objętej dyfuzją gazu ziemnego przeprowadzono w temperaturze 20, 40 i 60°C oraz ciśnieniu 20, 40 i 60 bar, w różnych przedziałach czasowych (od 2 do 11 dni). Prace badawcze wykonano na stanowisku wyposażonym w pojemniki ciśnieniowe oraz łąnię termostatyczną.

W oparciu o analizę wyników przedstawionych w formie graficznej zauważa się, że nasycenie próbki w stosunku do objętości w żadnym punkcie nie wynosi zero. Jest to spowodowane odparowywaniem lżejszych frakcji z benzyny. Im dłużej próbka przechowywana jest w obecności wysokiej temperatury, tym wykładnik gazowy na początku odbioru z pojemnika jest wyższy.

W początkowej fazie odbioru wykładnik gazowy, pomimo że był podwyższony, utrzymywał się na stałym poziomie niemal we wszystkich przypadkach. Po „przebiciu” się gazu wypierającego (azotu) następował gwałtowny przyrost wykładnika gazowego. Na krokach od 0 do 45 cm³ jest większa ilość gazu, natomiast od 45 do 90 cm³ ilość

gazu jest mniejsza. Wynika to prawdopodobnie z tego, że do badań użyto benzyny, która – jak wiadomo – jest jedną z lekkich frakcji ropy naftowej i posiada niską temperaturę parowania. Przy dalszej analizie krzywych dyfuzji zauważalne jest odchylenie początkowych punktów odbioru od następnych. Związane jest to z niedostatecznym rozpuszczeniem się gazu w rurce pomiędzy pojemnikiem a zaworem odcinającym. Dlatego na ogół pierwszy punkt odbioru ma mniejszy wykładnik gazowy od kolejnych. Następnym wyróżniającym się elementem jest gwałtowne „przebiegnięcie” się krzywej dyfuzji. Po „przebiciu” się gazu wypierającego następowała stabilizacja, a nawet lekki spadek wykładnika gazowego, co określa maksymalne nasycenie badanej benzyny.

Prowadzone badania nad zjawiskiem dyfuzji są badaniami kinetycznymi. Skupiono się głównie na zmianie czasu pozostawienia próbki w określonej wcześniej temperaturze i przy zadanym ciśnieniu. Ten parametr ma największy wpływ na głębokość dyfuzji.

Literatura

- [1] Crank J.: *The Mathematics of Diffusion* (Second Edition). Oxford Science Publication. Oxford, March 1980.
- [2] *Karta charakterystyki dla benzyny bezołowiowej 95, benzyny bezołowiowej 95 AL, benzyny bezołowiowej 95 EXPORT, benzyny bezołowiowej 98*, Wyd. 3, GL42.
- [3] Owsik W.: *Fizyczne podstawy technologii wydobywania ropy i gazu*. Katowice 1971.
- [4] Such J.: *Badanie wielkości strefy rozpuszczania się gazu ziemnego w kontakcie z olejem napędowym w temperaturze 50°C i ciśnieniu 17 MPa*. 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.