

Jerzy Kuśnierczyk

*Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy*

## Badania przepuszczalności rdzeni wiertniczych z użyciem różnych płynów złożowych

Przepuszczalność, obok porowatości, to jeden z ważniejszych parametrów petrofizycznych skały zbiornikowej. Jest on niezwykle istotny dla mobilności płynów złożowych, co ma bardzo duży wpływ na ostateczny stopień szczypania złoża. W celu przeprowadzenia badań skonstruowano stanowisko badawcze będące pewnym rozwinięciem możliwości aparatury PVT. Pomiar przepuszczalności są możliwe zarówno dla jednego rdzenia długości około 5 cm, jak również dla całej baterii / zestawu kilku rdzeni. Wykonano badania przepuszczalności dla różnych mediów (ropy, solanki oraz gazu) w zadanych warunkach ciśnienia i temperatury. Badania takie są wykorzystywane głównie przy pracach związanych z oceną efektywności procesów wypierania ropy z długich rdzeni wiertniczych.

Słowa kluczowe: przepuszczalność fazowa, warunki złożowe, rdzenie wiertnicze.

### Permeability studies of drill cores with different reservoir fluids

Other than porosity, permeability, is one of the most important petrophysical parameters of reservoir rock. It is extremely essential for the mobility of reservoir fluids, which has a huge effect on the final degree of depletion of the reservoir. For the tests to be performed, a new research station which is a development of the capabilities of the PVT apparatus was constructed. Transmission measurement is possible both for a single core, the length of which is about 5 cm, as well as for a whole set of cores. Permeability studies were conducted for a variety of medium (oil, brine and gas) in given pressure and temperature conditions. Such studies are primarily used in the assessment of the efficiency of the process of oil displacement from long cores.

Key words: phase permeability, reservoir conditions, grill cores.

### Wstęp teoretyczny

Zdolność przepływu (migracji) przez skały porowate różnego rodzaju płynów (woda, ropa, gaz) nazywamy przepuszczalnością. Jest to bardzo ważny parametr charakteryzujący każde złożo – im wyższa przepuszczalność, tym łatwiejszy dopływ ropy i gazu do odwiertu [2]. Wartość przepuszczalności zależy m.in. od rodzaju porów, ich kształtu i średnicy oraz od łączności hydraulicznej. Opisuje ona nie tylko własności skał, ale również charakter przepływu mediów w skałach [1]. Przepuszczalność ośrodków porowatych jest określona poprzez współczynnik przepuszczalności  $k$ . Definicja tego współczynnika opiera się na prawie Darcy'ego [2]:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta P / \mu \cdot L \text{ [m}^3\text{/sek]} \quad (1)$$

gdzie:

$k$  – współczynnik przepuszczalności [ $\text{m}^2$ ],  
 $\mu$  – lepkość dynamiczna cieczy [ $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ ],  
 $L$  – długość próbki [ $\text{m}$ ],  
 $\Delta P$  – różnica ciśnień [ $\text{N}/\text{m}^2$ ],  
 $F$  – powierzchnia przekroju [ $\text{m}^2$ ].

W zależności od rodzaju medium roboczego przepływającego przez skałę wyróżniamy dwa podstawowe wzory. Dla cieczy [2]:

$$k = Q \cdot \mu \cdot L / F \cdot (P_1 - P_2) \text{ [m}^2\text{]} \quad (2)$$

gdzie:

$Q$  – wydatek przepływu [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],

$\mu$  – współczynnik lepkości dynamicznej cieczy [ $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ ],  
 $L$  – długość próbki [m],  
 $F$  – powierzchnia przekroju poprzecznego próbki [ $\text{m}^2$ ],  
 $P_1, P_2$  – ciśnienie przed i za próbką [ $\text{N}/\text{m}^2$ ],

oraz dla gazu:

$$k = 742,308 \cdot \mu \cdot T_{sr} [L \cdot V_N / F \cdot (P_1^2 - P_2^2)] [\text{m}^2] \quad (3)$$

gdzie:

$T_{sr}$  – średnia temperatura przepływającego gazu [K],  
 $V_N$  – objętościowy wydatek przepływu [ $\text{Nm}^3/\text{s}$ ].

W warunkach złożowych zwykle wyróżniamy kilka rodzajów płynów. W zależności od rodzaju płynu oraz warunków

panujących w złożu można mówić o przepływie jednej lub kilku faz. Wielkość charakteryzującą poszczególne przepływy nazwano współczynnikiem przepuszczalności. Zależy on od kilku czynników, m.in.: charakterystyki skały zbiornikowej, rodzaju płynu przepływającego przez skałę, warunków złożowych (ciśnienie i temperatura) oraz nasycenia ośrodka porowatego danym medium.

Badania przepuszczalności dla różnych płynów można prowadzić w dwóch rodzajach stanu przepływu:

- ustalonym – przepływ laminarny przez próbkę, stałe gradienty ciśnienia oraz stały wydatek,
- pseudoustalonym – przepływ laminarny przez próbkę, w czasie którego nie są zachowane wszystkie warunki przepływu ustalonego [3].

### Budowa stanowiska

Badania przepuszczalności dla poszczególnych płynów przeprowadzono na aparaturze do badań właściwości fazowych płynów złożowych (fotografia 1).



Fot. 1. Aparatura do badań PVT

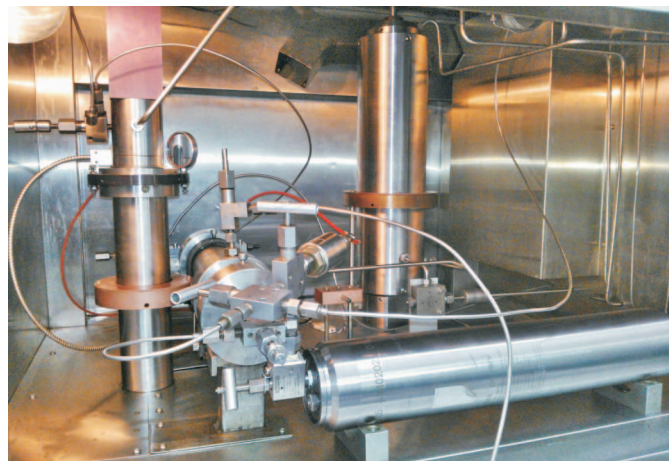
Aparaturę tę zmodyfikowano na potrzeby wykonania zaplanowanych prac badawczych, umieszczając dodatkowo w łaźni termostatycznej komorę rdzeniową (fotografia 2) wraz z rękawem gumowym utrzymującym rdzenie oraz pojemnik ciśnieniowy z zaworami (fotografia 3). Zabezpieczenie szczelności pomiędzy rękawem gumowym a bocznymi ściankami kolejnych baterii rdzeni realizowane było przez układ wodny (na rysunku 1 kolor niebieski). Jego główny element stanowiła wysokociśnieniowa pompa wodna, dzięki której utrzymywano odpowiednio wysokie ciśnienie uszczelnienia (około 100 bar wyższe niż ciśnienie mediów przepływających/tłoczonych przez rdzenie) [5].

Schemat stanowiska wraz z wszystkimi połączeniami przedstawiono na rysunku 1. Dzięki zastosowaniu łaźni termostatycznej oraz połączeń ciśnieniowych można było przeprowadzić badania w różnych warunkach ciśnienia i temperatury.

Badania przepuszczalności dla rdzeni wiertniczych zostały wykonane w pięciu krokach ciśnieniowych (30, 70,



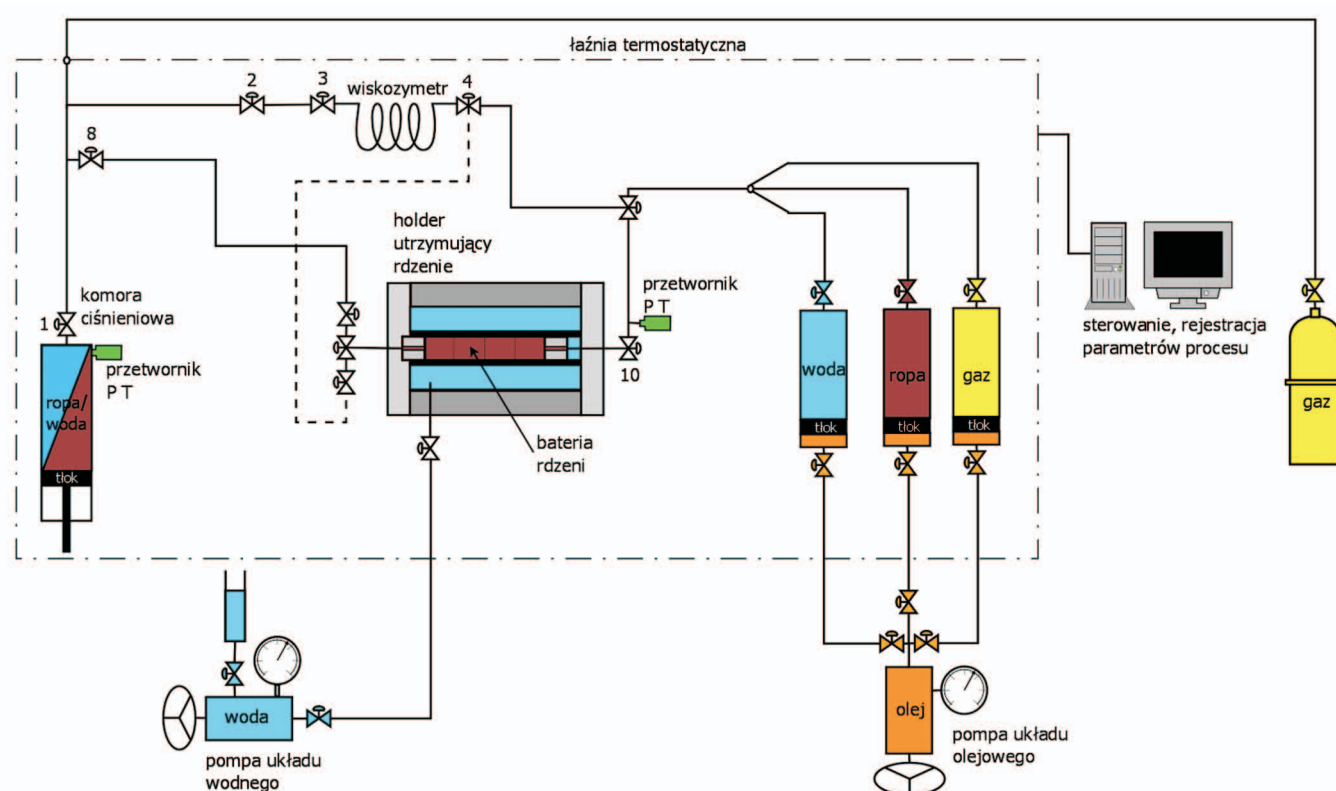
Fot. 2. Komora rdzeniowa (core holder) [4]



Fot. 3. Pojemnik ciśnieniowy użyty do badań

110, 150 i 200 bar) dla trzech temperatur (20°C, 40°C oraz 60°C). Pomiary przeprowadzono zarówno na zestawie składającym się z czterech rdzeni (tablica 1) o znanych parametrach, jak również na pojedynczym rdzeniu (tablica 2). Do określenia przepuszczalności zostały wykorzystane trzy media: azot, ropa naftowa oraz solanka złożowa. Przed rozpoczęciem pomiarów przepuszczalności próbkę przetłaczano przez wiskozymetr kapilarny w celu określenia lepkości medium w warunkach  $P$ ,  $T$  badania. Medium umieszczano w komorze ciśnieniowej, ustalano odpowiednie warunki ciśnienia

i temperatury, po czym przetłaczano przez rdzenie z odpowiednim wydatkiem, utrzymując stałe warunki. Dzięki zastosowaniu precyzyjnych manometrów przed i za ośrodkiem porowatym można było dokładnie określić różnicę ciśnień  $\Delta P$ . Odbiór płynu następował do pojemnika ciśnieniowego. Po zakończeniu serii badań wyciągano rdzenie z komory rdzeniowej, dokładnie oczyszczano oraz osuszano. Następnie podmieniano medium, a także pojemnik, dokonywano stabilizacji warunków ciśnienia oraz temperatury i przystępowano do kolejnych pomiarów.



Rys. 1. Schemat poglądowy stanowiska badawczego

Tablica 1. Parametry zestawu rdzeni użytych do badań (pierwsza seria badań)

Nr identyfikacji rdzenia	Współczynnik przepuszczalności	Współczynnik porowatości efektywnej	Objętość rdzenia wyznaczona wagą rteciovą	Gęstość szkieletowa skał	Długość rdzenia [cm]	Średnica rdzenia [cm]
	[mD]	[%]	[cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]		
1	51,4	26,23	27,750	2,811	5,48	2,54
2	33,6	20,57	27,733	2,833	5,47	2,54
3	25,4	28,72	27,962	2,818	5,52	2,54
4	10,6	18,20	28,554	2,828	5,64	2,54
<b>Parametry baterii rdzeni</b>						
Współczynnik przepuszczalności rdzeni ułożonych szeregowo [mD]					21,7	
Średni współczynnik porowatości efektywnej [%]					23,4	
Objętość całej baterii rdzeni [cm <sup>3</sup> ]					112,0	
Objętość porowa [cm <sup>3</sup> ]					26,2	
Długość całej baterii rdzeni [cm]					22,1	

Tablica 2. Parametry pojedynczego rdzenia użytego do badań (druga seria badań)

Nr identyfikacji rdzenia	Współczynnik przepuszczalności	Współczynnik porowatości efektywnej	Objętość rdzenia wyznaczona wagą rтęciovą	Gęstość szkieletowa skał	Długość rdzenia	Średnica rdzenia
	[mD]	[%]	[cm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[cm]	[cm]
5	7,6	19,85	29,304	2,829	5,78	2,54

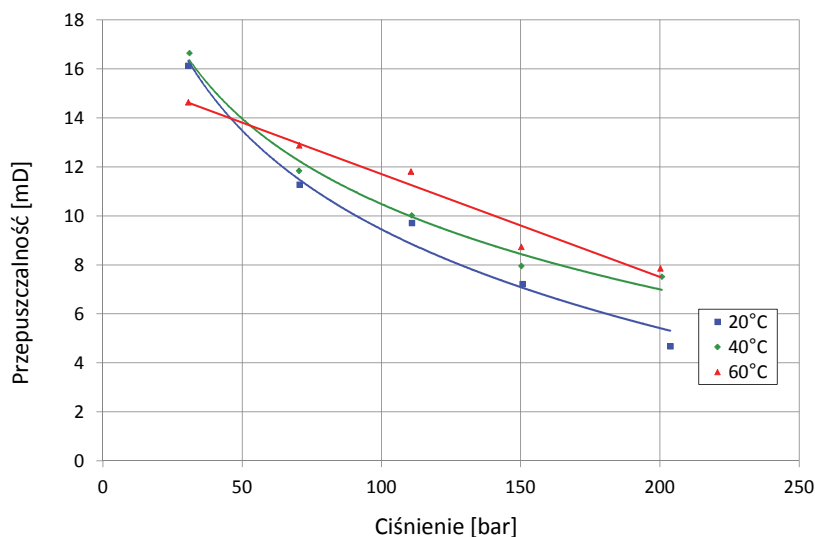
**Wyniki przeprowadzonych badań**

W pierwszej kolejności zastosowano gaz (azot). Uzyskane wyniki pomiarów przepuszczalności baterii rdzeni z jego użyciem dla różnych ciśnień i temperatur zestawiono w tablicy 3 oraz zobrazowano na rysunku 2.

W przypadku gazu można zauważyć spadek przepuszczalności wraz ze wzrostem ciśnienia. Spowodowane jest to zwiększeniem się różnicy ciśnień przed i za rdzeniami. Na wyniki wpływ ma również zmiana lepkości gazu prze-

Tablica 3. Wyniki pomiarów dla baterii rdzeni (gaz – azot)

Temperatura	Ciśnienie badania	Różnica ciśnień $\Delta P$	Lepkość w warunkach $P, T$	Przepuszczalność
[°C]	[bar]	[bar]	[cP]	[mD]
20	203,72	4,287	0,0238	4,68
	150,64	3,645	0,0219	7,22
	110,92	3,053	0,0206	9,71
	70,58	2,750	0,0194	11,28
	30,65	2,232	0,0183	16,14
40	200,69	3,861	0,0242	7,52
	150,22	3,620	0,0225	7,96
	110,82	3,131	0,0212	10,03
	70,36	2,813	0,0202	11,85
	31,03	2,320	0,0193	16,65
60	200,14	3,916	0,0245	7,86
	150,20	3,606	0,0231	8,74
	110,55	3,020	0,0219	11,82
	70,44	2,825	0,0209	12,89
	30,59	2,607	0,0202	14,64



Rys. 2. Zmiana przepuszczalności baterii rdzeni w funkcji ciśnienia dla gazu

tlącanego przez rdzenie, gdyż rośnie ona wraz ze wzrostem ciśnienia.

Po zakończeniu serii badań z gazem dokonano zmiany płynu na ropę mąrtwą i rozpoczęto dalsze pomiary.

Jak wynika z pomiarów, różnice przepuszczalności na poszczególnych krokach ciśnieniowych są niewielkie. Znacznie większy wpływ na otrzymane wyniki ma temperatura badania. Wraz z jej wzrostem zmniejsza się lepkość ropy, a tym samym poprawia się jej mobilność. Różnica ciśnień uzyskanych w trakcie badania świadczy o obecności cięższych węglowodorów, które utrudniają przepływ, a tym samym blokują pory w rdzeniach.

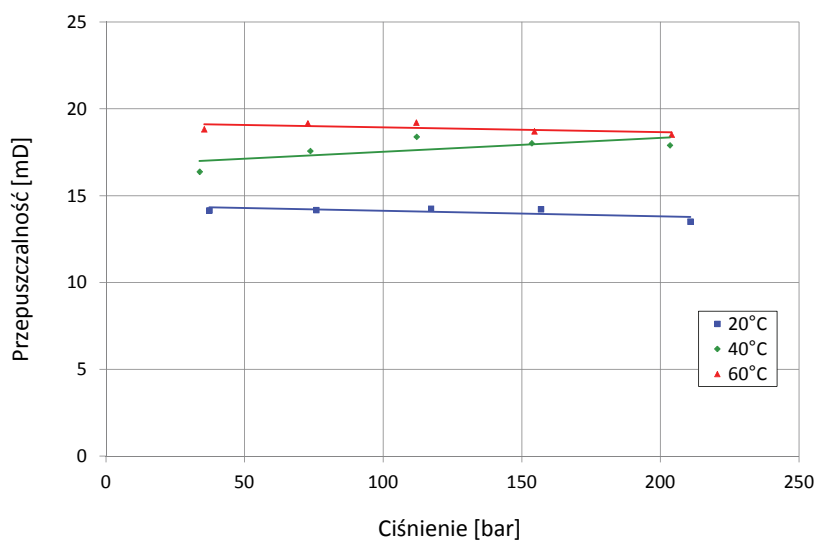
Podobnie jak w przypadku ropy przeprowadzono se-

rię badań z użyciem wody złożowej (solanki). Pomiary wykonywano w takich samych warunkach ciśnienia i temperatury jak poprzednio. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabelicy 5 i na rysunku 4.

Podobnie jak w przypadku ropy tutaj również można zaobserwować niewielkie zmiany przepuszczalności wraz ze wzrostem ciśnienia. Zmiana temperatury również nie przynosi znaczącego efektu. Różnice pomiędzy poszczególnymi wynikami wynoszą zaledwie kilka dziesiątych milidarcy. W przypadku badań prowadzonych w temperaturach 40°C i 60°C nastąpiło odwrócenie trendu spadku przepuszczalności wraz ze wzrostem temperatury. Takie zachowanie wynika najprawdopodobniej z błędów pomiarowych, który wystąpił w trakcie badania.

Tablica 4. Wyniki pomiarów dla baterii rdzeni (ropa mąrtwa)

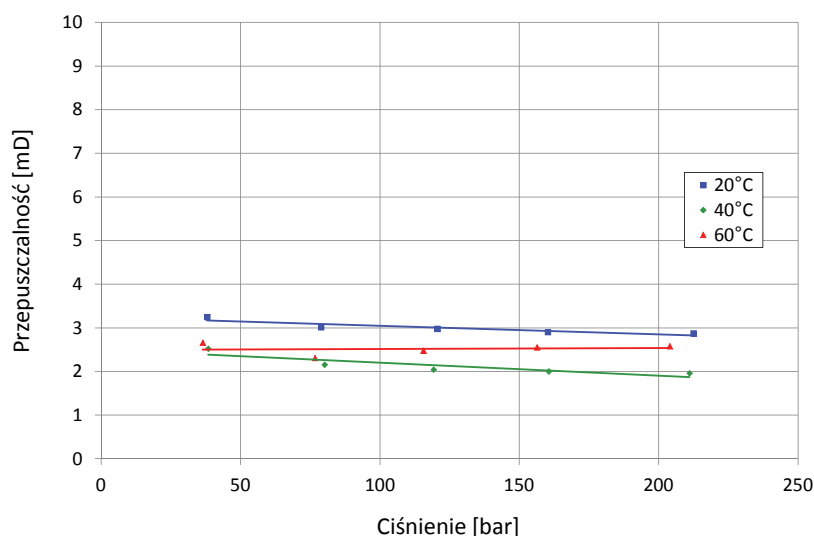
Temperatura [°C]	Ciśnienie badania [bar]	Różnica ciśnień $\Delta P$ [bar]	Lepkość w warunkach $P, T$ [cP]	Przepuszczalność [mD]
20	210,85	27,865	10,354	13,51
	156,91	24,947	9,763	14,22
	117,25	23,070	9,047	14,25
	75,84	21,804	8,504	14,18
	37,29	20,197	7,866	14,16
40	203,47	11,434	5,632	17,91
	153,59	10,618	5,265	18,02
	112,06	9,938	5,029	18,39
	73,69	9,666	4,673	17,58
	33,76	9,787	4,410	16,38
60	204,05	13,855	3,831	18,53
	154,55	13,077	3,366	18,71
	111,95	12,091	3,196	19,22
	72,78	11,405	3,007	19,17
	35,42	10,953	2,837	18,83



Rys. 3. Zmiana przepuszczalności baterii rdzeni w funkcji ciśnienia dla ropy

Tablica 5. Wyniki pomiarów dla baterii rdzeni (solanka)

Temperatura	Ciśnienie badania	Różnica ciśnień $\Delta P$	Lepkość w warunkach $P, T$	Przepuszczalność
[°C]	[bar]	[bar]	[cP]	[mD]
20	212,48	31,722	1,253	2,87
	160,21	31,568	1,260	2,90
	120,61	30,798	1,262	2,97
	78,85	30,072	1,246	3,01
	38,05	28,120	1,255	3,24
40	211,03	30,747	0,829	1,96
	160,57	30,038	0,827	2,00
	119,23	29,700	0,834	2,04
	80,12	26,732	0,793	2,15
	38,37	23,116	0,802	2,52
60	203,96	17,467	0,620	2,58
	156,37	17,847	0,627	2,55
	115,57	18,243	0,622	2,47
	76,69	19,256	0,612	2,31
	36,41	16,444	0,602	2,66



Rys. 4. Zmiana przepuszczalności baterii rdzeni w funkcji ciśnienia dla wody złożowej

Po zakończeniu serii pomiarów z wykorzystaniem baterii rdzeni – dokonano podmiany na jeden rdzeń o znanych parametrach (tablica 2). Następnie powtórzono serię badań z zastosowaniem wcześniej użytych płynów. W pierwszej kolejności wzięto pod uwagę azot. Wyniki uzyskanych pomiarów przedstawiono w tablicy 6 oraz na rysunku 5.

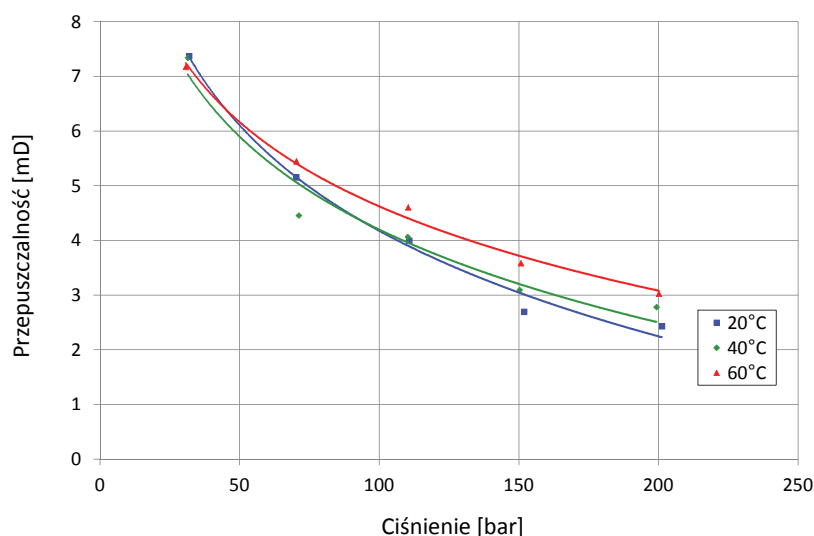
Podobnie jak w przypadku badań z użyciem baterii składającej się z kilku rdzeni zauważalny jest spadek przepuszczalności pojedynczego rdzenia wraz ze wzrostem ciśnienia. Znacznie mniejszy wpływ na uzyskane wyniki ma zmiana temperatury. Gaz (azot) we wszystkich badaniach (jak w przypadku kilku rdzeni) był przetłaczany pomiędzy komorą a pojemnikiem ciśnieniowym z prędkością 30 cm<sup>3</sup>/min,

w celu uzyskania odpowiedniej/mierzalnej różnicy ciśnień od 1,6 bar do 3,3 bar. Po zakończeniu serii pomiarowych z użyciem azotu dokonano zmiany medium tłoczonego przez rdzeń i powtórzono badania w tych samych warunkach  $P, T$ . Niepewność uzyskanych wyników oszacowano na podstawie klasy dokładności urządzeń pomiarowych. Oszacowana niepewność nie przekracza: dla pomiarów ciśnienia  $\pm 0,2$  bar, natomiast dla pomiarów temperatury  $\pm 0,1$ °C.

Jak można zauważyć na wykresie, charakter przebiegu zmiany przepuszczalności w funkcji ciśnienia w temperaturze 20°C znacznie odbiega od pozostałych rezultatów. Wynika to z faktu obecności cięższych węglowodorów, które w znacznym stopniu blokują przepływ medium. Gdy ropa została

Tablica 6. Wyniki pomiarów dla pojedynczego rdzenia (gaz – azot)

Temperatura	Ciśnienie badania	Różnica ciśnień $\Delta P$	Lepkość w warunkach $P, T$	Przepuszczalność
[°C]	[bar]	[bar]	[cP]	[mD]
20	201,22	3,313	0,0238	2,43
	151,85	3,017	0,0219	2,70
	110,74	2,404	0,0206	3,99
	70,22	2,055	0,0194	5,15
	31,91	1,671	0,0183	7,37
40	199,32	3,207	0,0242	2,78
	150,27	2,932	0,0225	3,10
	110,16	2,483	0,0212	4,07
	71,17	2,317	0,0202	4,46
	31,43	1,765	0,0193	7,34
60	200,14	3,189	0,0245	3,03
	150,71	2,845	0,0231	3,59
	110,33	2,445	0,0219	4,61
	70,31	2,197	0,0209	5,45
	30,74	1,882	0,0202	7,18



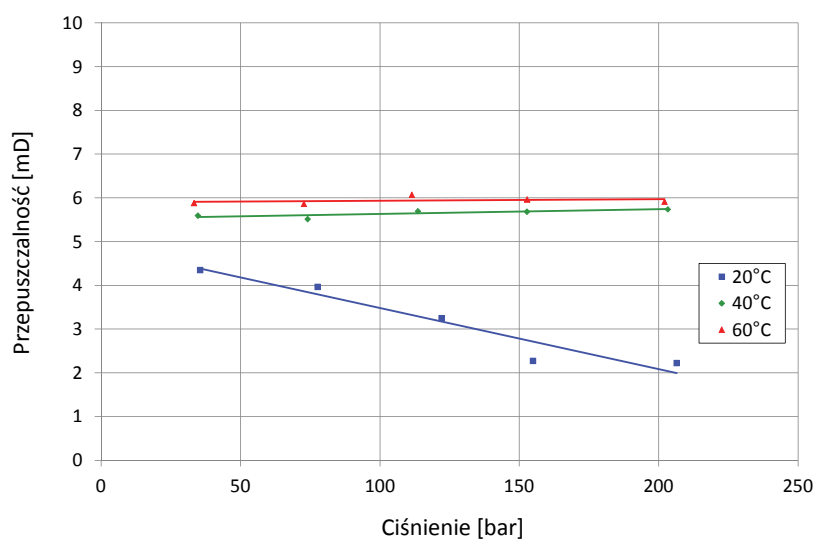
Rys. 5. Zmiana przepuszczalności pojedynczego rdzenia w funkcji ciśnienia dla gazu (azot)

podgrzana do 40°C, ten efekt nieco się zmniejszył, lecz nie zanikł. Nawet wzrost temperatury do 60°C nie zlikwidował tego problemu. W celu poprawy parametrów przepływu przetłaczano ropę w przeciwnym kierunku ze znacznie większym wydatkiem oraz większą objętością niż w trakcie badania. W ten sposób postępowano po każdym kroku ciśnieniowym. To działanie nieco zmniejszyło efekt wzrostu różnicy ciśnień, jednak nie zlikwidowało go całkowicie. W celu likwidacji problemu zalecałoby się dalszy wzrost temperatury badania. Następnie oczyszczono rdzeń oraz cały układ, nabrano wody złożowej, ustabilizowano układ i przystąpiono do kolejnej serii pomiarowej. Uzyskane wyniki zebrano w tablicy 8 i zobrazowano na rysunku 7.

Tak jak w badaniach na baterii rdzeni tutaj również można zauważyć niewielkie różnice w wynikach, zarówno dla zmian ciśnienia, jak i temperatury badania. Wartości układają się niemalże w linii prostej. Solankę we wszystkich przeprowadzonych badaniach (tak jak w przypadku baterii rdzeni) przetłaczano pomiędzy komorami ciśnieniowymi z prędkością 1 cm<sup>3</sup>/min, w celu uzyskania odpowiedniej różnicy ciśnień. Wzrost temperatury badania nieznacznie zmniejsza przepuszczalność badanego rdzenia. Różnice, tak samo jak w przypadku zmian ciśnienia, wynoszą zaledwie kilka dziesiątych milidarcy. Niepewność wyznaczenia średnich wartości przepuszczalności została oszacowana na podstawie odchylenia standardowego z serii pomiarów [6].

Tablica 7. Wyniki pomiarów dla pojedynczego rdzenia (ropa martwa)

Temperatura	Ciśnienie badania	Różnica ciśnień $\Delta P$	Lepkość w warunkach $P, T$	Przepuszczalność
[°C]	[bar]	[bar]	[cP]	[mD]
20	206,40	26,803	10,354	2,23
	154,89	24,715	9,763	2,27
	122,05	53,295	9,047	3,25
	77,59	41,086	8,504	3,97
	35,50	17,306	7,866	4,35
40	203,26	18,749	5,632	5,74
	152,71	17,695	5,265	5,69
	113,57	16,878	5,029	5,70
	74,02	16,187	4,673	5,52
	34,64	15,048	4,410	5,60
60	202,06	11,388	3,831	5,92
	152,76	10,765	3,366	5,97
	111,42	10,042	3,196	6,07
	72,68	9,781	3,007	5,87
	33,26	9,203	2,837	5,88



Rys. 6. Zmiana przepuszczalności pojedynczego rdzenia w funkcji ciśnienia dla ropy martwej

W przypadku zestawu rdzeni odchylenie standardowe dla gazu wahało się w granicach od 0,112 do 0,612, dla ropy: od 0,037 do 0,285, natomiast dla wody od 0,014 do 0,064.

W przypadku pomiarów dla pojedynczego rdzenia odchylenie standardowe zawierało się w przedziale: dla gazu od 0,063 do 0,447, dla ropy od 0,082 do 0,282, a wody od 0,031 do 0,053.

### Podsumowanie

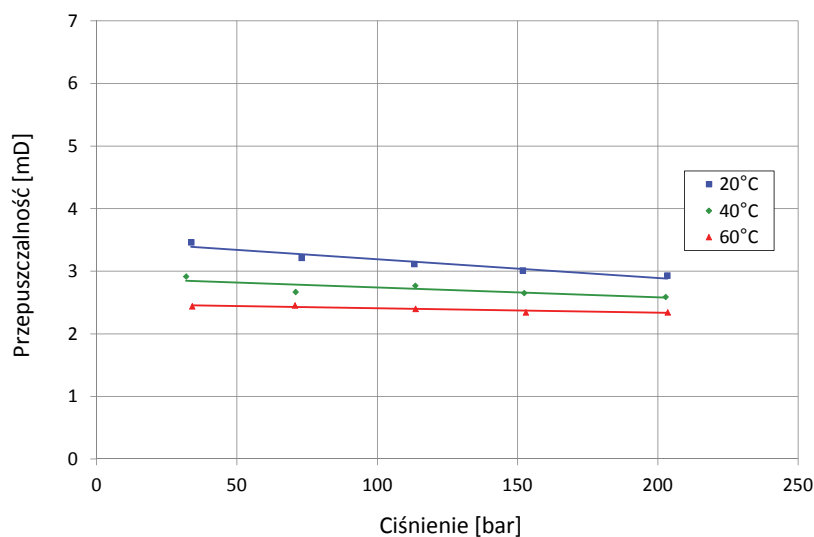
Przeprowadzone badania wykazały, że w przypadku cieczy wraz ze wzrostem ciśnienia występuje nieznaczna zmiana przepuszczalności rdzeni. Różnice w wartościach oscylują w zakresie kilku dziesiątych milidarcy. Wynika to z uśrednienia kilkuset punktów pomiarowych zarejestrowanych w czasie badania. W badaniach prowadzonych z użyciem ropy odnotowano istotniejszą różnicę przy zmianie temperatury.

W przypadku gazu (azotu) zmierzono znacznie większy spadek parametru przepuszczalności w funkcji ciśnienia, niż miało to miejsce przy cieczach. Ma to związek ze wzrostem lepkości gazu w wyższych ciśnieniach oraz temperaturach. W niższych ciśnieniach (30 bar) rozbieżność punktów pomiarowych jest znacznie większa niż przy ciśnieniu wyższym (200 bar). Temperatura badania miała znacznie



Tablica 8. Wyniki pomiarów dla pojedynczego rdzenia (solanka)

Temperatura	Ciśnienie badania	Różnica ciśnień $\Delta P$	Lepkość w warunkach $P, T$	Przepuszczalność
[°C]	[bar]	[bar]	[cP]	[mD]
20	203,38	8,153	1,253	2,93
	151,86	7,978	1,260	3,01
	113,17	7,728	1,262	3,12
	73,04	7,397	1,246	3,21
	33,70	6,916	1,255	3,46
40	202,80	6,104	0,829	2,59
	152,34	5,950	0,827	2,65
	113,56	5,745	0,834	2,77
	70,86	5,668	0,793	2,67
	31,85	5,245	0,802	2,92
60	203,50	5,043	0,620	2,35
	152,97	5,102	0,627	2,35
	113,63	4,940	0,622	2,40
	70,64	4,756	0,612	2,46
	34,00	4,704	0,602	2,44



Rys. 7. Zmiana przepuszczalności pojedynczego rdzenia w funkcji ciśnienia dla solanki

mniejszy wpływ na wynik, zarówno w przypadku pojedynczego rdzenia, jak również całego zestawu rdzeni.

W trakcie badań prowadzonych na pojedynczym rdzeniu z użyciem ropy pojawił się problem blokowania przepływu. Jest to wynik obecności cięższych frakcji ropy, które wchodziły w przestrzeń porową rdzenia i blokowały przepływ. Następował wtedy wzrost ciśnienia przed rdzeniem i zwiększała się różnica ciśnień. Ten problem, ale w znacznie mniejszym stopniu pojawił się podczas badań na zestawie składającym się z kilku rdzeni. Były one ułożone w rękawie gumowym w kolejności malejącej przepuszczalności, dzięki

czemu zmniejszony przepływ wystąpił tylko na pierwszym z nich, który miał największą przepuszczalność. W głównej mierze wartość przepuszczalności była determinowana przez rdzeń znajdujący się na końcu zestawu i posiadający najniższą przepuszczalność (10,6 mD). Weryfikację laminarności przepływu prowadzono na podstawie oznaczeń liczby Reynoldsa, która nawet dla gazu nie przekraczała wartości 1500. Dużym problemem okazał się odpowiedni dobór materiału rdzeniowego. Parametry poszczególnych rdzeni musiały być tak dobrane, aby można było wykonać na nich badania zarówno dla cieczy, jak i dla gazu.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2015, nr 2, s. 87–96

Artykuł nadesłano do Redakcji 9.10.2014 r. Zatwierdzono do druku 5.11.2014 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt.: *Oznaczenie przepuszczalności fazowej rdzeni wiertniczych dolomitu głównego w warunkach PT złożowych z użyciem aparatury PVT* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr archiwalny: DK-4100-26/14, nr zlecenia: 0026/KB/14/01 z 13.01.2014 r.

### Literatura

- [1] Jarzyna J., Ujma M.: *Wyznaczanie przepuszczalności skal klastycznych czerwonego spagowca z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych*. Nafta-Gaz 2012, nr 2, s. 85–96.
- [2] Liszka K.: *Podstawy eksploatacji złóż ropy*. Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 1982, s. 20–28.
- [3] Such P.: *Wyjaśnienie systemu transportu płynów złożowych na złożu BMB oraz określenie ciągłości złoża*. Dokumentacja INiG, Kraków 2000, zlec. wew. 538/SG, s. 39–40.
- [4] Warnecki M.: *Badania efektów wypierania mieszającego gazem i kondensatem ropy BMB na długich rdzeniach wiertniczych, optymalizacja metody pod kątem właściwego doboru parametrów procesu*. Dokumentacja INiG, Krosno, listopad 2009, zlec. wew. 345/KB, s. 8.
- [5] Warnecki M.: *Badanie skuteczności wypierania ropy naftowej Lubiatow i Grotow z długich rdzeni wiertniczych z użyciem gazu Miedzochod, CO<sub>2</sub> oraz solanki*. Dokumentacja INiG, Krosno, listopad 2013, zlec. wew. 786/KB, s. 6–9.
- [6] Ziemianin K.: *Korelacja parametrów petrofizycznych z analiza facji w otworach Bonikowo-1, Bonikowo-2 oraz Kokorzyn-2*. Nafta-Gaz 2012, nr 3, s. 153–164.



Mgr inż. Jerzy KUŚNIERCZYK  
Specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie  
Badania Złóż Ropy i Gazu.  
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Lubicz 25A  
31-503 Kraków  
E-mail: kusnierczyk@inig.pl