

Stanisław Dubiel*, Adam Zubrzycki*

**ANALIZA WŁAŚCIWOŚCI ZBIORNIKOWYCH UTWORÓW
MIOCENU AUTOCHTONICZNEGO
ZAPADLIKA PRZEDKARPACKIEGO
NA PODSTAWIE WYNIKÓW OPRÓBOWAŃ ZŁOŻOWYCH
I GEOFIZYKI WIERTNICZEJ****

1. WSTĘP

Gazonośne i wodonośne, piaszczysto-mułowcowo-ilaste utwory miocenu autochtonicznego w zapadlisku przedkarpackim charakteryzują się znaczną zmiennością facjalną, zarówno poziomą jak i pionową. Ich warstewkowo-laminowa struktura, z częstymi redukcjami miąższości powoduje występowanie zróżnicowanego nasycenia wodą złożową i gazem ziemnym. Z tego powodu wyniki opróbowań takich utworów, uzyskiwane na etapie poszukiwań naftowych, mogą mieć często charakter niejednoznaczny w lokalizowaniu nagromadzenia gazu ziemnego o wartości przemysłowej.

Właściwości zbiornikowe utworów miocenijskich w rozpatrywanym obszarze poszukiwań naftowych od szeregu lat badane są metodami geofizyki wiertniczej, rurowymi próbnikami złoża (RPZ) oraz z wykorzystaniem metod laboratoryjnych. Wyniki tych badań wykorzystywane są na bieżąco przez służby geologiczno – wiertnicze w zakresie podejmowania ważnych decyzji technologicznych oraz poszukiwawczych. Praktyka przemysłowa wykazała, że najłatwiejsze do uzyskania są te parametry z oznaczeń geofizyki wiertniczej oraz testów złożowych RPZ. Dane z badań laboratoryjnych rdzeni wiertniczych są zazwyczaj ograniczone do pojedynczych, krótkich interwałów poziomów gazonośnych i często mało miarodajne ze względu na dużą rozsypliwłość badanych próbek skał miocenijskich.

W artykule, przy wykorzystaniu metod statystycznych, podjęto próbę analizy regionalnej zmian przepuszczalności efektywnej dla wody skał zbiornikowych miocenu

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Praca wykonana w ramach badań statutowych

(określanej na podstawie testów złożowych RPZ), w zależności od ich porowatości efektywnej (określonej wg badań geofizycznych). Badano zależność: przepuszczalność vs porowatość dla wybranych interwałów w profilach miocenu autochtonicznego pochodzących z dwóch stref: południowej – między Bochnią i Rzeszowem oraz północnej – w strefie NE zapadliska (Wola Obszańska).

2. CHARAKTERYSTYKA DANYCH PRZEMYSŁOWYCH I SPOSOBY ICH UZYSKANIA

Badania rurowymi próbnikami złoża umożliwiają określenie podstawowych parametrów złożowych oraz właściwości zbiornikowych opróbowanych interwałów. W poszukiwaniach naftowych szczególne znaczenie ma znajomość współczynnika przepuszczalności efektywnej skał zbiornikowych dla wody. W przypadku badań próbnikami rurowymi wartość tego współczynnika dotyczy badanej strefy przyodwiertowej, której promień wynosi zwykle od kilku do kilkudziesięciu metrów.

Z analizy danych przemysłowych wynika, że w największej liczbie przypadków opróbowania utworów miocenu (w latach 1993–1998 około 80%) uzyskano przyływ wody bez śladów gazu ziemnego, ze śladami gazu lub lekko nagazowanej. Niekiedy w wodzie tej były także niewielkie ilości filtratu płuczkowego lub nawet płuczki wiertniczej [1, 3]. Do określania parametrów złożowych na podstawie wyników tego typu opróbowania używano najczęściej metody Hornera, jako najbardziej przydatnej do interpretacji krzywych odbudowy ciśnienia dennego, rejestrowanych w przedziale od 60 do 90 minut. Do interpretacji testów odbudowy ciśnienia dennego trwających ponad 90 minut stosowano często także metodę log–log [1, 2,].

Skały zbiornikowe typu klastycznego reprezentowane przez piaskowce, charakteryzuje zasadniczo proporcjonalność przepuszczalności efektywnej dla wody do porowatości otwartej określonej badaniami laboratoryjnymi, zbliżonej do porowatości efektywnej określonej metodami geofizyki wiertniczej [6]. Proporcjonalność ta jest zróżnicowana i zależy od typu mineralogicznego piaskowców, ich tekstury oraz przebiegu procesu diagenetyzacji w czasie geologicznym, a zwłaszcza od procesu zagęszczania (kompakcji) piaskowców [5]. W profilach głębokościowych najłatwiej dostępne są wartości tych parametrów pochodzące z ilościowych ocen geofizyki wiertniczej oraz wyników testów złożowych, dokonywanych w trakcie poszukiwań naftowych, na etapie wiertniczego rozpoznania.

Profil miocenu autochtonicznego zapadliska przedkarpackiego tworzy kompleks molasa o bardzo zróżnicowanej miąższości: od 2 tys. m w strefie południowej (przed czołem nasunięcia fliszu karpackiego) do kilkuset m w strefie krawędziowej – północnej i północno-wschodniej, spoczywający na zróżnicowanym wiekowo podłożu mezo-paleozoicznym platformy zachodnioeuropejskiej. Kompleks ten budują utwory badenu i górnego sarmatu w postaci sekwencji ławic drobno-rytmicznych piaskowców (często rozsyplywych), drobno i średnioziarnistych oraz mułowców i łupków. Zmiany facjalne następują dość szybko, zarówno w profilu pionowym, jak i poziomym.

Akumulacje gazu ziemnego o charakterze przemysłowym występują zasadniczo w poziomach piaszczystych, o sprzyjającej pozycji strukturalnej, niemniej nasycenie gazem spotykane jest również w drobnolaminowanych poziomach piaszczysto-ilastych lub mułowcowo-ilastych. Interesujące wydaje się problem, czy w tak zróżnicowanym facjalnie i głębokościowo basenie zapadliska przedkarpackiego występują strefy o odrębnej charakterystyce zależności właściwości zbiornikowych (przepuszczalność – porowatość), czy raczej basen mioceński jest pod tym względem bardziej jednorodny.

Celem zbadania tego problemu wytypowano dwie odrębne pod względem pozycji strukturalnej oraz miąższości profilu osadów miocenu autochtonicznego strefy zapadliska przedkarpackiego, a następnie dokonano analizy metodami statystycznymi zależności logarytmu przepuszczalności efektywnej ($\log k$), określonej na podstawie testów złożowych RPZ, od porowatości efektywnej (Φ), określanej metodami geofizyki wiertniczej. Dane te zestawiono w tabelach 1 i 2. Dla porównania wyznaczono podobną zależność wykorzystując (częściowo publikowane) wartości przepuszczalności efektywnej dla wody i porowatości otwartej, określone metodami laboratoryjnymi dla mioceńskich próbek rdzeniowych, pochodzących ze strefy Bochni (strefa S) [4] i Nowosielca (strefa NE).

Dane przemysłowe dotyczące porowatości efektywnej zebrane w tabach 1 i 2 (strefa S i strefa NE) zostały określone na podstawie krzywych geofizyki wiertniczej przy typowaniu do opróbowania RPZ poziomów potencjalnie gazonośnych. Wartości przepuszczalności efektywnej zestawione w zamieszczonych tabelach pochodzą z testów złożowych wykonanych RPZ w tych interwałach, z których uzyskano przypiły wód złożowych lekko zgazowanych, z niewielką domieszką płynów wiertniczych.

Tabela 1

Zestawienie wartości współczynników porowatości i przepuszczalności skał miocenu określonych odpowiednio metodami geofizyki wiertniczej oraz na podstawie wyników opróbowań RPZ w strefie południowej zapadliska przedkarpackiego [1]

Lp.	Odwiert i nr zapięcia w roku	Głębokość interwału opróbowania [m]	Porowatość geof. Φ [%]	Przepuszczalność k [mD]	$\log k$
1	Tarnów – 70k; 87/93	1058–1096	8,0	7,0	0,845
2	Radłów – 3; 89/95	813–831	8,0	58,0	1,763
3	Pilzno – 45k; 56/95	1445–1486	8,0	80,0	1,903
4	Pilzno – 45k; 58/95	1367–1378	7,0	35,0	1,544
5	Zaczarnie – 8; 51/96	1110–1085	7,0	25,4	1,405
6	Zawada – 4; 51/93	1678–1693	15,0	10,0	1,000
7	Brzeziny – 6; 8/94	920–952	6,0	2,5	0,398
8	Zaczarnie – 7; 158/94	1140–1145	15,0	63,0	1,799
9	Zdrochec – 2; 167/94	532–569	9,0	22,5	1,352

Tabela 1 cd.

Lp.	Odwiert i nr zapięcia w roku	Głębokość interwału opróbowania [m]	Porowatość geof. Φ [%]	Przepuszczalność k [mD]	$\log k$
10	Bogumiłowice – 5; 11/95	303–313	15,0	60,0	1,778
11	Brzeziny – 9; 45/95	1148–1166	7,0	0,61	–0,215
12	Brzeziny – 9; 48/95	933–972	12,0	4,5	0,653
13	Jarząbkowice – 1; 40/94	169–190	2,0	2,3	0,362
14	Pojawie – 7; 125/94	605–641	13,0	5,0	0,699
15	Pojawie – 7; 127/94	557–607	5,0	33,0	1,518
16	Pojawie – 7; 129/94	440–456	5,0	4,0	0,602
17	Pojawie – 7; 132/94	380–411	8,0	12,0	1,079
18	Brzeziny – 7; 113/94	1161–1176	5,0	13,0	1,114
19	Dwojanów – 1; 200/94	943–1047	8,0	10,0	1,000
20	Tarnów – 80; 162/94	1479–1525	7,0	2,0	0,301
21	Tarnów – 80; 164/94	1315 – 1354	9,0	0,94	–0,027
22	Rzędzin – 7; 1/93	1742–1785	12,0	3,0	0,477
23	Schabowiec – 1; 54/93	831–875	15,0	96,0	1,982
24	Schabowiec – 1; 55/93	772–806	10,0	90,0	1,954
25	Żyraków – 1; 67/93	754–887	4,0	7,0	0,845
26	Łazy – 8; 137/93	757–789	5,0	2,0	0,301
27	Brzeziny – 4; 165/93	820–860	5,5	6,0	0,778
28	Pilzno – 45k; 54/95	1537–1586	10,0	6,3	0,799
29	Tarnów – 70k; 94/93	878–912	6,0	11,0	1,041
30	Pilzno – 47; 99/96	810–815	20,0	525,0	2,721
31	Róża – 3; 123/96	1048–1059	5,0	1,25	0,097
32	Kielanówka–14A;116/93	2263–2273	16,0	207,0	2,316

Tabela 2

Zestawienie wartości współczynników porowatości i przepuszczalności skał miocenu uzyskanych metodami geofizyki wiertniczej oraz na podstawie wyników opróbowania RPZ w strefie północno-wschodniej zapadliska przedkarpackiego w latach 1996–2000 [1, 3]

Lp.	Nazwa odwiertu	Głębokość interwału opróbowania [m]	Porowatość geof. Φ [%]	Przepuszczalność k [mD]	$\log k$
1	Wola Obszańska – 6	498–503	20,0	100,0	2,000
2	Wola Obszańska – 6	508–511	25,0	500,0	2,699
3	Wola Obszańska – 6	579–583	14,0	40,0	1,602
4	Wola Obszańska – 6	589–593	24,0	200,0	2,301
5	Wola Obszańska – 6	603–624	12,0	10,0	1,000

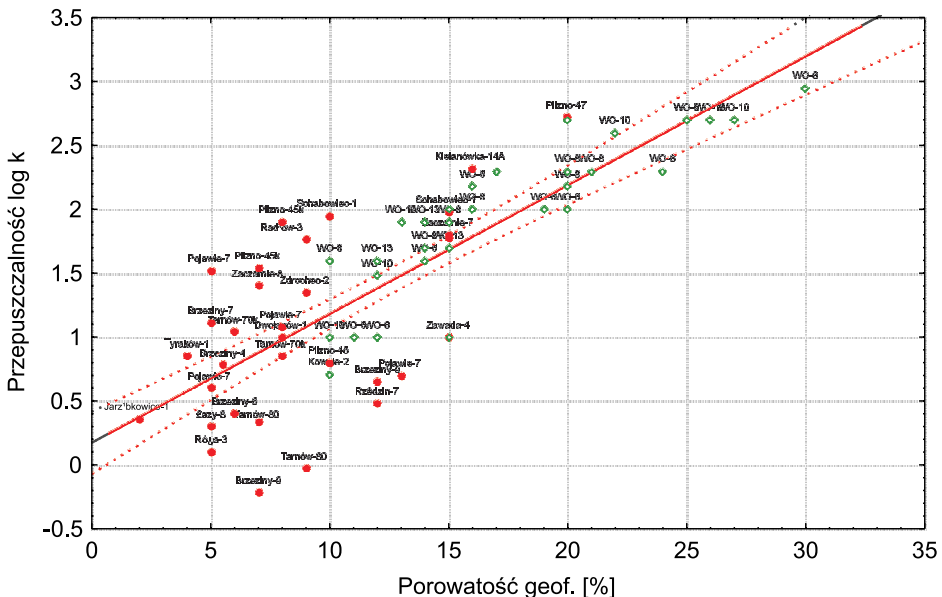
Tabela 2 cd.

6	Wola Obszańska – 6	632–641	11,0	10,0	1,000
7	Wola Obszańska – 6	675–694	19,0	100,0	2,000
8	Wola Obszańska – 6	729–745	12,0	10,0	1,000
9	Wola Obszańska – 6	833–842	16,0	150,0	2,176
10	Wola Obszańska – 6	879–883	30,0	900,0	2,954
11	Wola Obszańska – 8	495–496	10,0	40,0	1,602
12	Wola Obszańska – 8	572–577	11,0	10,0	1,000
13	Wola Obszańska – 8	583–587	20,0	150,0	2,176
14	Wola Obszańska – 8	598–618	14,0	50,0	1,699
15	Wola Obszańska – 8	625–635	11,0	10,0	1,000
16	Wola Obszańska – 8	669–688	20,0	200,0	2,301
17	Wola Obszańska – 8	696–710	15,0	80,0	1,903
18	Wola Obszańska – 8	722–739	16,0	100,0	2,000
19	Wola Obszańska – 8	752–773	21,0	200,0	2,301
20	Wola Obszańska – 8	779–811	16,0	100,0	2,000
21	Wola Obszańska – 8	826–835	17,0	200,0	2,301
22	Wola Obszańska – 10	492–495	10,0	10,0	1,000
23	Wola Obszańska – 10	501–504	27,0	500,0	2,699
24	Wola Obszańska – 10	572–576	14,0	40,0	1,602
25	Wola Obszańska – 10	596–617	12,0	30,0	1,477
26	Wola Obszańska – 10	626–634	15,0	80,0	1,903
27	Wola Obszańska – 10	668–687	15,0	80,0	1,903
28	Wola Obszańska – 10	723–738	13,0	80,0	1,903
29	Wola Obszańska – 10	756–772	22,0	400,0	2,602
30	Wola Obszańska – 13	570–574	12,0	10,0	1,000
31	Wola Obszańska – 13	582–584	14,0	80,0	1,903
32	Wola Obszańska – 13	596–615	12,0	10,0	1,000
33	Wola Obszańska – 13	625–632	15,0	50,0	1,699
34	Wola Obszańska – 13	668–685	26,0	500,0	2,699
35	Wola Obszańska – 13	695–707	24,0	200,0	2,301
36	Wola Obszanska – 13	722–736	12,0	40,0	1,602
37	Wola Obszańska – 13	751–770	20,0	500,0	2,699
38	Wola Obszańska – 13	779–811	16,0	100,0	2,000
39	Wola Obszańska – 13	826–832	15,0	100,0	2,000
40	Kowale – 2	426–433	10,0	5,14	0,711

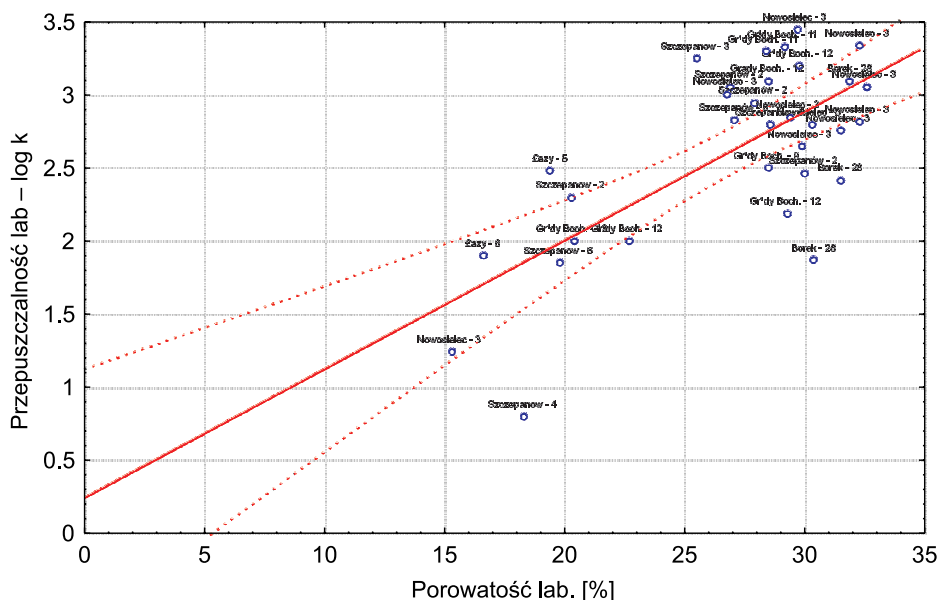
3. ANALIZA STATYSTYCZNA ZALEŻNOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA PRZEPUSZCZALNOŚCI EFEKTYWNEJ OD WSPÓŁCZYNNIKA POROWATOŚCI DLA SKAŁ ZBIORNIKOWYCH MIOCENU AUTOCHTONICZNEGO

Metodami analizy statystycznej badano zależność: $\log k = a + b \cdot \Phi$, gdzie: k – współczynnik przepuszczalności efektywnej skał dla wody [mD]; Φ – współczynnik porowatości efektywnej skał [%], wykorzystując odpowiednie dane przemysłowe zestawione w tabelach 1 i 2. Zebrane w nich dane dotyczące współczynnika przepuszczalności efektywnej określone zostały na podstawie wyników interpretacji testów złożowych metodami: Hornera oraz log–log [1, 2], natomiast wartości współczynnika porowatości efektywnej badanych interwałów uzyskano za pomocą interpretacji wyników profilowań geofizycznych.

Wykorzystując metody analizy statystycznej stwierdzono znaczną zgodność (brak istotnej różnicy przy poziomie istotności testowania $\alpha = 0.05$) wartości współczynników korelacji parzystej, liniowej między $\log k$ i Φ dla rozpatrywanych dwóch stref złożowych zapadliska przedkarpacciego. Na tej podstawie utworzono jeden zbiór danych, który wykorzystano do konstrukcji wykresu przedstawionego na rysunku 1. Dla porównania na rysunku 2 przedstawiono zależność współczynnika przepuszczalności efektywnej dla wody (k_{lab}) od porowatości otwartej (Φ_{lab}) dla oznaczeń laboratoryjnych badanych właściwości zbiornikowych skał mioceńskich.



Rys. 1. Zależność przepuszczalności efektywnej dla wody (na podstawie testów złożowych RPZ) jako $\log k$, od porowatości efektywnej (wyznaczonej metodami geofizyki wiertniczej) dla utworów piaszczystych mioceńskich autochtonicznego zapadliska przedkarpacciego. Romby pełne – strefa S; romby puste – strefa NE zapadliska. Linie przerywane – przedziały ufności 95%



Rys. 2. Zależność przepuszczalności efektywnej dla wody jako $\log k_{lab}$, od porowatości otwartej (Φ_{lab}) wyznaczonych metodami laboratoryjnymi [4] dla utworów piaskowcowych miocenu autochtonicznego zapadliśka przedkarpackiego (strefa S i NE). Linie przerywane – przedziały ufności 95%

Przedstawione na rysunkach 1 i 2 wykresy badanej zależności opisują następujące równania regresji, przy poziomie istotności 0,05 z określeniem 95-procentowych przedziałów ufności:

- $\log k = 0.174 + 0.101 \cdot \Phi$, przy współczynniku korelacji $r = 0.814$ (wartość krytyczna $r_{kr} = 0,232$) dla obu stref (S + NE) analizowanych łącznie, w zakresie głębokości od 168 do 2273 m (rys. 1);
- $\log k_{lab} = 0.242 + 0.0882 \cdot \Phi_{lab}$, przy współczynniku korelacji $r = 0.699$ (wartość krytyczna $r_{kr} = 0,349$) dla obu stref analizowanych łącznie, w zakresie głębokości od 103 do 1082 m (rys. 2).

4. WNIOSKI KOŃCOWE

- Metodami analizy statystycznej stwierdzono stosunkowo silną, liniową korelację między wartością logarytmu z przepuszczalności efektywnej dla wody określonej na podstawie testów złożowych RPZ, a porowatością efektywną, określoną na podstawie badań geofizyki wiertniczej dla skał piaskowcowych miocenu autochtonicznego zapadliśka przedkarpackiego.
- Analiza statystyczna danych przemysłowych wykazała istnienie bardzo zbliżonych zależności pomiędzy przepuszczalnością efektywną dla wody, określoną na podstawie

testów złożowych RPZ i porowatością efektywną, określoną metodami geofizyki wiertniczej dla utworów piaskowcowych miocenu autochtonicznego, w dwóch różnych strefach zapadliska przedkarpackiego, co pozwoliło na wyznaczenie jednej zależności dla całego obszaru zapadliska.

3. Wyznaczone równanie regresji może służyć do prognozowania wartości przepuszczalności efektywnej dla wody w skałach piaskowcowych miocenu, na podstawie wartości współczynnika porowatości efektywnej tych skał, określonego metodami geofizyki wiertniczej, w analizowanych obszarach poszukiwań naftowych zapadliska przedkarpackiego.
4. Wykres przedstawiony na rysunku 1, interpretowany w skali regionalnej, wskazuje na znaczną jednolitość utworów piaskowcowych basenu mioceńskiego pod względem analizowanych właściwości zbiornikowych. Z tego względu, możliwe jest ujednoczenie doboru racjonalnych parametrów technologicznych w procesach dowiercania, udostępniania i opróbowania skał zbiornikowych miocenu autochtonicznego dla całego obszaru zapadliska przedkarpackiego.
5. Pewnym potwierdzeniem jednolitości utworów piaskowcowych basenu mioceńskiego są również wyniki analizy statystycznej zależności logarytmu z wartości przepuszczalności efektywnej dla wody, od porowatości otwartej, wyznaczonych za pomocą badań laboratoryjnych dla tego typu skał miocenu autochtonicznego zapadliska przedkarpackiego (rys. 2).

LITERATURA

- [1] Dubiel S., Rzyczniak M., Wójtowicz T., Kułaga T. i in.: *Analiza i interpretacja wyników opróbowania rurowymi próbnikami złoża warstw perspektywicznych w obszarze przedgórzia Karpat i w Karpatach*. Wydział WNiG AGH, Kraków 1993–1998 (niepublikowane)
- [2] Dubiel S., Chrząszcz W., Rzyczniak M.: *Problemy opróbowania warstw perspektywicznych rurowymi próbnikami złoża*. UWND AGH, Kraków 2003
- [3] Dubiel S.: *Ocena wyników z opróbowania rurowymi próbnikami złoża warstw miocenu na Przedgórzu Karpat*. Wiertnictwo, Nafta, Gaz (rocznik AGH), t. 20, z. 1, 2003
- [4] Hollendonner M.: *Sedimentology and petrology of autochthonous Miocene of the Polish Carpathian Foredeep in the area of Bochnia*. South Poland – Clausthaler Geowiss. Diss. Nr. 49, TU-Clausthal-Zellerfeld, 1995
- [5] Twardowski K., Traple J.: *Wpływ kompacji na właściwości zbiornikowo-filtracyjne skał miocenu Przedgórzia Karpat*. Wiertnictwo, Nafta, Gaz (półrocznik AGH), t. 25, z. 2, 2008
- [6] Twardowski K., Traple J.: *Charakterystyka ilościowa porowatości ośrodków gruntowo-skalnych a zjawiska molekularno-powierzchniowe*. Wiertnictwo, Nafta, Gaz (rocznik AGH), t. 23, z. 1, 2006