

Sylwia Kowalska, Anna Przelaskowska

Instytut Nafty i Gazu, Kraków

## Szacowanie porowatości neutronowej tzw. suchych iłó, na podstawie analizy składu mineralnego frakcji ilastej

Neutronowe sondy geofizyczne mierzą całkowitą zawartość wodoru w skałach. Wyznaczenie ilości wody występującej w przestrzeni porowej wymaga uwzględnienia poprawki na H, występujący w formie grup OH w strukturze krystalograficznej minerałów ilastych. Grupy OH stanowią tzw. wodę trwale związaną, której usunięcie łączy się z całkowitym zniszczeniem struktury krystalograficznej tych minerałów. Szacowanie ilości H związanego z suchymi iłami wykonano dla próbek o znanych właściwościach petrofizycznych pochodzących z dwóch różnych basenów sedimentacyjnych. Na podstawie kompilacji wyników szczegółowych badań mineralogicznych (ilościowej analizy rentgenowskiej składu mineralnego całej skały oraz frakcji ilastej) została oszacowana ilość wodoru związana z tzw. suchymi iłami, czyli tzw. indeks wodorowy „suchych” iłó.

### Estimation of neutron porosity of dry clay on the basis of the analysis of mineralogical composition of clay fraction

Neutron logs measure total content of hydrogen in rocks. To obtain the quantity of water present in the pore space demand the adjustment for the hydrogen in the OH groups present in the crystallographic net of clay minerals appearing in them. The estimation of quantity of H was done for samples coming from two different sedimentary basins, which petrophysical properties were known. Hydrogen index and neutron porosity of so called “dry clay” was estimated on the basis of the detail mineralogical investigations (XRD quantitative analysis of mineralogical composition of whole rock and clay fraction, EDS microprobe analysis of chemical composition).

### Wstęp

Największy wpływ na wskazania sondy neutronowej mają jony wodoru [2]. Profilowania neutronowe określają więc głównie koncentrację wodoru w ośrodku skalnym. Koncentracja ta nazywana jest indeksem wodorowym (*Hydrogen Index*, HI) i definiowana jako stosunek koncentracji atomów H w centymetrze sześć-

ciennym ( $\text{cm}^3$ ) ośrodka, do jego koncentracji w czystej wodzie w temperaturze 75°F (ok. 24°C). Stąd czysta woda ma HI = 1,0 ( $HI_f$ ). HI minerałów bezwodnych tworzących matrycę skalną (takich jak kwarc, kalcyt, skalenie itp.) wynosi 0. Minerale i substancje zawierające w swojej strukturze krystalograficznej H mają różne wartości HI (tablica 1).

W celu oszacowania porowatości efektywnej na podstawie profilowań neutronowych potrzebna jest znajomość porowatości neutronowej w 100% „suchych” iłó ( $(\Phi_N)_{cl}^*$ ). Parametr ten jest składową wzoru:

$$\phi_e = \phi_N (1 - v_Q \cdot Q_v) - V_{cl}^* \cdot (\phi_N)_{cl}^* \quad (1)$$

Porowatość ta zależna jest również od indeksu wodorowego roztworów porowych oraz indeksu wodorowego matriksa skalnego, co opisuje równanie:

$$(\phi_N)_{cl}^* = \frac{(HI_{ma} - HI_{cl}^*)}{(HI_{ma} - HI_f)} \quad (2)$$

gdzie:  $HI_{ma}$ ,  $HI_f$  i  $HI_{cl}^*$  to odpowiednio indeks wodo-

**Tablica 1.** Indeks wodorowy minerałów ilastych w zestawieniu z indeksem wody i solanki [4]

Substancja	Ilość H w $\text{cm}^3$ (x $10^{23}$ )	Indeks wodorowy HI
<b>Woda destylowana</b>		
600 F, 14,7 psi	0,669	1,00
2000F, 7000 psi	0,667	1,00
<b>Solanka 200,000 ppm NaCl</b>		
600 F, 14,7 psi	0,614	0,92
2000F, 7000 psi	0,602	0,90
<b>Minerale ilaste</b>		
Kaolinit	0,250	0,37
Illit	0,059	0,09
Smektyt	0,428	0,64
Chloryt	0,213	0,32

rowy matriksa skalnego, roztworów porowych oraz „suchych” ilów.

Indeks wodorowy suchych ilów  $HI_{cl}^*$  jest właśnie obiektem naszych badań i może być policzony, jeżeli określony zostanie skład ilościowy sumy minerałów ilastych, według wzoru:

$$HI_{cl}^* = A \cdot HI_S + B \cdot HI_I + C \cdot HI_K + D \cdot HI_{Ch} \quad (3)$$

gdzie: A, B, C, D – to odpowiednio udziały procentowe minerałów ilastych: smektytu, illitu, kaolinitu i chlorytu.

Rentgenowska analiza fazowa pozwala nam określić udziały wagowe pomiędzy składnikami skały. Aby więc móc skorzystać z powyższego równania niezbędne jest

jeszcze przeliczenie udziałów wagowych na objętościowe. Przy przeliczeniu przyjęto przybliżone gęstości minerałów ilastych, podane w tablicy 2 [4].

**Tablica 2.** Średnia gęstość minerałów ilastych [4]

Minerał ilasty	a	b	c	Masa atomowa g/mol	Gęstość właściwa g/cm <sup>3</sup>
	[A]				
Kaolinit	5,16	8,94	7,38	516,70	2,52
Illit 1	5,21	9,02	10,00	791,70	2,80
Illit 2	5,20	9,01	10,00	784,00	2,78
Smektyt	5,17	8,96	9,60	746,90	2,79
Chloryt	5,39	9,34	14,26	1168,70	2,70

a, b, c – parametry komórki elementarnej.

## Metodyka pomiarowa

### Analiza składu mineralnego frakcji ilastej metodą rentgenowską

Problemy z jednoznaczną identyfikacją minerałów ilastych wynikają z podobieństw strukturalnych (tworzą one struktury mieszanopakietowe), z niewielkich rozmiarów ich kryształów oraz często niewielkiego udziału w ogólnej objętości próbek. Aby ominąć te trudności, pomiary prowadzi się na preparatach sporządzonych z najdrobniejszej frakcji ziarnowej próbki tak, by uzyskać jak najczystszy koncentrat minerałów ilastych. Usunięcie większości minerałów nieilastych wraz z grubiej ziarnistymi frakcjami pozwala również uzyskać lepszą orientację blaszek minerałów ilastych przy wykonywaniu preparatów sedymentowanych, wykorzystywanych przy oznaczaniu składu frakcji ilastej.

Rozdziału na frakcje ziarnowe dokonano metodą Jacksona [3, 5]. Wstępnie rozdrobnione próbki zostały poddane odpowiedniej obróbce chemicznej: usuwaniu węglanów, związków żelaza, substancji organicznej oraz wymianie kationowej na Na<sup>+</sup>. Frakcje ziarnowe < 2 μm lub < 0,2 μm wydzielono poprzez odwirowywanie w odpowiednich wirówkach wysokoobrotowych. Dla obu frakcji preparaty sedymentowane w stanie powietrzno-suchym oraz glikolowane wykonano w ten sam sposób. Preparaty sedymentowane przygotowywane były poprzez zakroplenie zawiesiny wodnej próbki na szkiełko mikroskopowe o powierzchni ok. 10 cm<sup>2</sup>. Zawiesinę sporządzano poprzez zdyspergowanie 70 mg próbki w 3 ml wody przy wykorzystaniu ultradźwięków (czas działania ultradźwięków ok. 30 s). Preparaty były

pozostawiane do wyschnięcia (swobodna sedymentacja cząstek), a tuż przed pomiarem wygrzewane przez 1 godzinę w temperaturze ok. 60°C. Po wykonaniu pomiaru w stanie powietrzno-suchym preparaty umieszczano w szalce Petriego w oparach glikolu etylenowego na co najmniej 12 h, również w temperaturze ok. 60°C.

Identyfikacji składników materiału illitowego wydzielonego z próbek dokonano przy pomocy wykresów Środonia [1, 8, 9, 10], podających zależności pomiędzy położeniem różnych refleksów diagnostycznych na dyfraktogramach (uzyskanych dla preparatów sedymentowanych nasyconych glikolem etylenowym), a procentową zawartością pakietów smektytowych i typem uporządkowania struktury I/S. Wykresy te zostały skonstruowane w oparciu o symulacje komputerowe dyfraktogramów rentgenowskich [9, 10] i zweryfikowane na podstawie dyfraktogramów próbek naturalnych oraz sztucznie przygotowanych mieszanek I oraz I/S. Technika Środonia [9, 10] daje również możliwość identyfikacji I/S w mieszaninie z dyskretnym illitem. Wybór refleksów diagnostycznych (co zostało omówione poniżej) zależy od typu uporządkowania oraz od składu materiału illitowego; od tego czy jest to czysty I/S, czy I/S współwystępuje z I. Przy założeniu dokładności pomiaru położenia refleksów ±0,02° (2 θ), szacunkowa wielkość błędu wynosi około ±5% S [1, 8]. Identyfikację minerałów przeprowadzono w oparciu o karty identyfikacji ICDD, opublikowane przez Joint Committee on Powder Diffraction Standards oraz zestawienia podane przez Moora i Reynoldsa [5]. Położenie refleksów wyznaczono przy pomocy programu PC-APDW 4.0b Philipsa.

### Rentgenowska analiza ilościowa

Analiza ilościowa została przeprowadzona metodą wzorca wewnętrznego, zgodnie z procedurą zaproponowaną przez Środonia i in. [11], opracowaną specjalnie dla skał zawierających dużą ilość minerałów ilastych. W procedurze Środonia i in. [11], jako refleksy diagnostyczne wykorzystywane są refleksy niewrażliwe lub mało wrażliwe na zmienność struktury i składu chemicznego. Wybór takich refleksów do pomiaru jest szczególnie istotny w przypadku minerałów ilastych, ponieważ właśnie te minerały charakteryzują się bardzo dużą zmiennością wymienionych cech. Wzorcem wewnętrznym wykorzystywanym w tej metodzie jest tlenek cynku (ZnO).

### Warunki pomiarowe

Badania rentgenowskie wykonano na dyfraktometrze X'Pert MPD firmy Philips (lampa rentgenowska

– Cu), wyposażonym w wysokostabilizowany generator wysokiego napięcia, goniometr w układzie  $\theta$ - $\theta$  z elektroniczną kontrolą położenia (o promieniu 20 cm), gięty monochromator grafitowy oraz ksenonowy detektor proporcjonalny. Zastosowano następujący układ optyczny: optyka wiązki pierwotnej składa się ze szczeliny Solera 0,04 rad i szczeliny dywergencyjnej  $1^\circ$ , a optyka wiązki wtórnej – ze szczeliny antyrozproszeniowej  $1/4^\circ$ , szczeliny odbiorczej 0,15 mm, szczeliny Solera 0,04 rad i giętego monochromatora grafitowego. Przy wszystkich pomiarach zastosowano napięcie wzbudzenia 40 kV, natężenie prądu anodowego 34 mA oraz krok pomiarowy  $0,02^\circ 2\theta$ . Zakres pomiarowy zmieniano w zależności od celu przeprowadzania analizy i wynosił on odpowiednio: przy oznaczaniu składu ilościowego całej próbki – od 5 do  $65^\circ 2\theta$ , a przy analizie jakościowej frakcji ilastej wykonywanej na preparatach sedymentowanych – od 2 do  $50^\circ 2\theta$ .

### Obiekt badań

Do badań wytypowano 8 próbek o różnej litologii, pochodzących z dwóch różnych basenów sedymentacyjnych: mioceńskiego, z zapadliska przedkarpackiego oraz czerwonego spągowca z rejonu Wału Wolsztyńskiego. próbki pochodzą z trzech otworów wiertniczych: mioceńskie z Palikówki-5 i Palikówki-3, a czerwonego spągowca z Cichej Góry-7. próbki testowe dobrano tak, aby uzyskać pomiędzy nimi jak największą zmienność indeksu wodorowego HI. Analiza objęła więc baseny o skrajnie różnej historii diagenetycznej. Uchwycone zróżnicowanie składu mineralogicznego prezentują tablica 3 (dla analizy ilościowej całej skały) oraz tablica 4 (dla szacowania składu sumy minera-

łów ilastych). Przykładowe dyfraktogramy frakcji  $< 0,2 \mu\text{m}$  i  $< 2 \mu\text{m}$  przedstawiono na rysunkach 1 i 2. Czarną linią zaznaczono dyfraktogram preparatu w stanie powietrzno-suchym, a czerwoną linią w stanie glikolowanym. Wyniki analizy składu jakościowego frakcji ilastej oraz pomiarów zawartości pakietów smektytowych w minerale mieszanopakietowym illit/smektyt zestawiono w tablicy 5.

Głównym składnikiem frakcji ilastej próbek mioceńskich jest illit/smektyt, o uporządkowaniu  $R = 0$  oraz o bardzo wysokiej zawartości pakietów smektytowych  $< 80\%$  S. We wszystkich badanych próbkach oprócz illitu/smektytu stwierdzono również obecność

**Tablica 3.** Wyniki analizy ilościowej składu mineralnego badanych próbek, wykonanej dla całej skały

Numer próbki	Q [%]	Sk [%]	C [%]	D [%]	Sy [%]	Ba [%]	P [%]	Hm [%]	A [%]	Ba [%]	$\Sigma$ il [%]	Razem [%]
<b>Miocen</b>												
5586	55	19	9	5		0,5	0,5	0,5	0,5		13,5	103,5
5595	64	18	8	5		0,5	0,5				8,5	104,5
5602	44	16	7	8		1	1				24,5	101,5
5946	27	12	9	8	1	1	0,5		0,5		38	97
<b>Czerwony spągowiec</b>												
6216	52	25	2	3		1			4		17,5	104,5
6220	69	17	6	0,5							9,5	102
6234	62	16	0,5	3		0,5			12		6	100
6236	51	23		4				2	2	0,5	17	99,5

**Tablica 4.** Szacunkowy skład ilościowy minerałów ilastych

Numer próbki	KI [%]	M [%]	Ch [%]	Σil [%]
<b>Miocen</b>				
5586	0,5	10	3	13,5
5595	0,5	6	2	8,5
5602	0,5	17	7	24,5
5946	1	28	9	38
<b>Czerwony spagowiec</b>				
6216	0,5	14	3	17,5
6220	0,5	6	3	9,5
6234	0,5	5	0,5	6
6236	2	13	2	17

illitu, chlorytu i kaolinitu, choć w znacznie mniejszych ilościach. Obie wydzielone frakcje ziarnowe zawierają podobną ilość chlorytu i kaolinitu. Nie stwierdzono żadnego zróżnicowania jakościowego pod względem składu mineralogicznego frakcji ilastej pomiędzy badanymi łożycami i piaskowcami.

W przypadku próbek czerwonego spagowca mamy do czynienia z I/S wysokoillitowym, w którym zawartość pakietów smektytowych zawiera się w wąskim przedziale 10-15%. W próbkach tych występuje też znacznie więcej chlorytów, w stosunku do próbek mioceńskich, natomiast zawartości kaolinitu są podobnie małe. W przypadku chlorynów zaobserwowano większe ich zawartości dla frakcji < 2 μm niż dla frakcji

**Tablica 5.** Analiza jakościowa składu mineralnego frakcji ilastej < 0,2 i < 2 μm, wydzielonej z badanych próbek

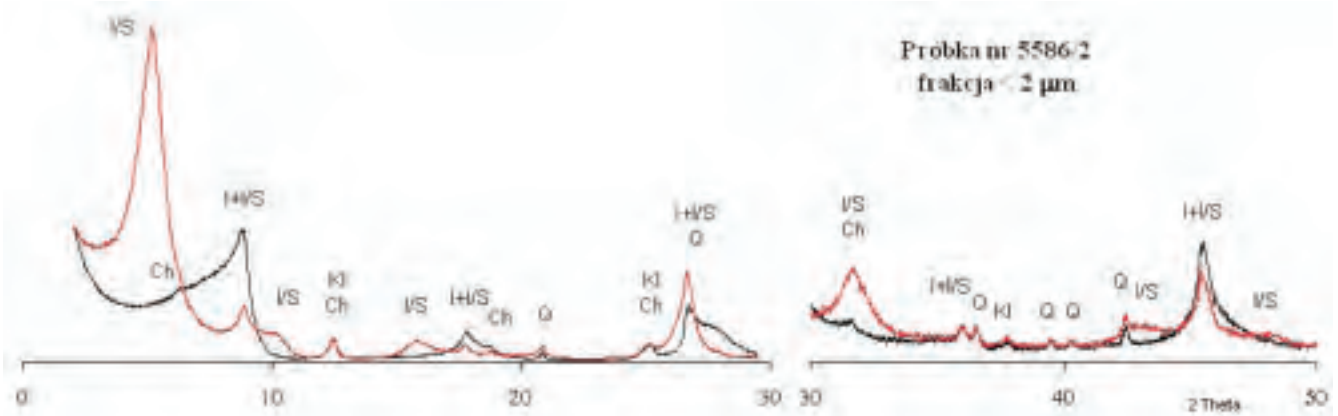
**A) próbki mioceńskie**

Nr próbki	Skład frakcji ilastej	Identyfikacja rodzaju I/S									
		Polożenie refleksów - preparaty glikolowane $d < 0,2$						I <sub>001</sub> /I <sub>002</sub>	Śr. % S	Typ materiału illitowego	
		(5-8)	(9-10)	(15-17) <sup>a</sup>	(> 26) <sup>a</sup>	(31-33) <sup>a</sup>	(42-48)				
5586	I+I/S, Ch, KI	5,19	8,85	15,82	26,60	31,65	42,00	48,05	0,54	83-100	R=0
5595	I+I/S, KI, Ch	5,18	8,85	15,88	26,60	31,70	43,09	48,12	0,57	78-94	R=0
5602	I+I/S, Ch, KI	5,16	8,85	15,92	26,60	31,64	42,92	48,20	0,80	76-88	R=0
5946	I+I/S, Ch, KI	5,16	8,84	15,83	26,60	31,68	42,95	48,24	0,60	83-100	R=0

**B) próbki z czerwonego spagowca**

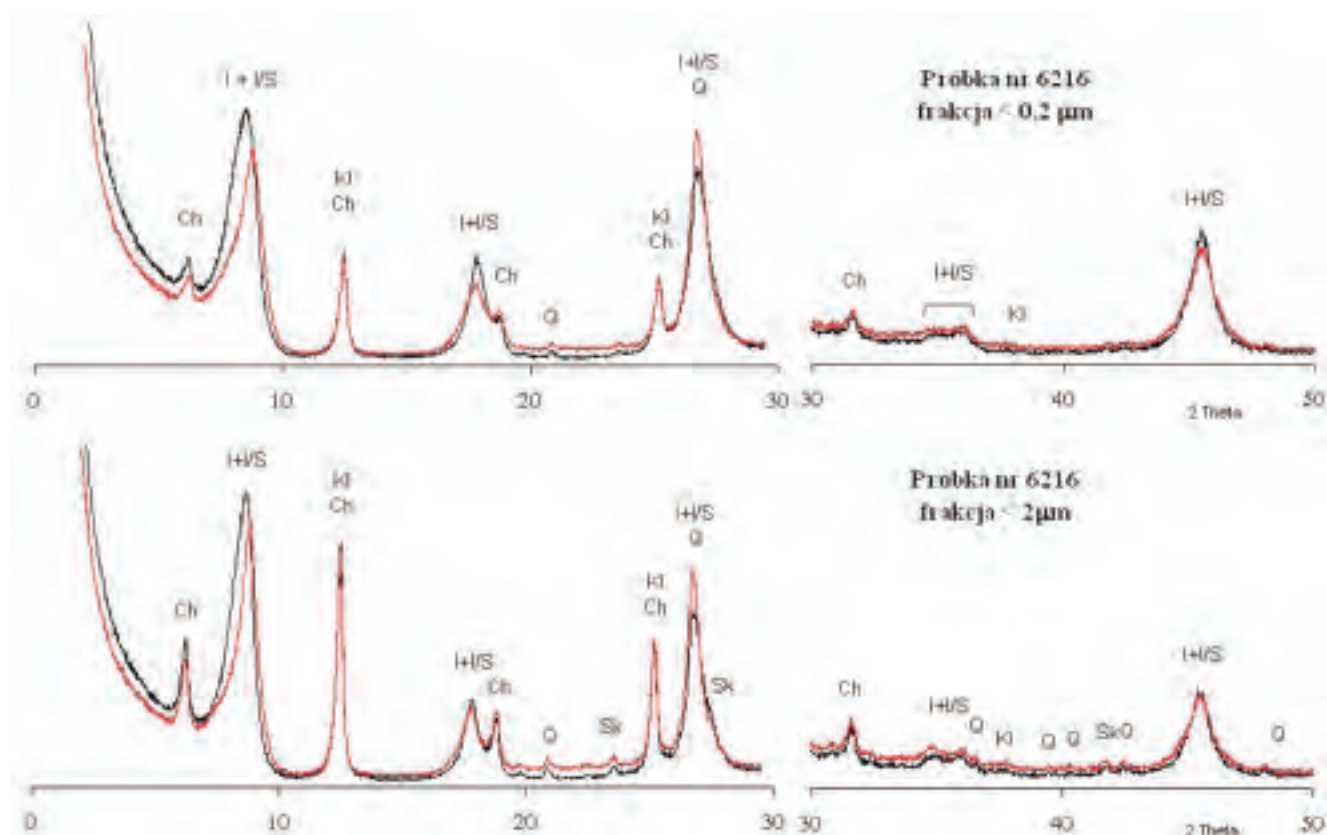
Nr próbki	Skład frakcji ilastej	Identyfikacja rodzaju I/S									
		Polożenie refleksów - preparaty glikolowane $d < 0,2$						I <sub>r</sub>	Śr. % S	Typ materiału illitowego	
		(5-8)	(9-10)	(15-17)	(> 26) <sup>a</sup>	(31-33) <sup>a</sup>	(42-48)				
6216	I+I/S, Ch, KI	> 7	8,85	?	26,76	34,91	-	-	< 1 (Q)	10-15	R 2/3
6220	Ch, I+I/S, KI	> 7	8,83	?	26,72	34,87	-	-	1,13	10-15	R 2/3
6234	I+I/S, Ch, KI	> 7	8,82	?	26,85	34,30	-	-	< 1 (Q)	10-15	R 2/3
6236	I+I/S, Ch, KI	> 7	8,83	?	26,66	34,80	-	-	< 1 (Q)	10-15	R 2/3

<sup>a</sup> - zaznaczono refleksy diagnostyczne (dla określenia zawartości pakietów smektytowych) w I/S



**Rys. 1.** Dyfraktogramy rentgenowskie frakcji < 0,2 i < 2 μm próbki 5586/2, otwór Palikówka-5, basen mioceński

Objaśnienia: czarna linia – próbka w stanie powietrzno-suchym; czerwona linia – preparat glikolowany; I/S – minerał mieszanopakietowy illit/smektyt; I – illit; Ch – chloryt; KI – kaolinit; Q – kwarc



**Rys. 2.** Dyfraktogramy rentgenowskie frakcji  $< 0,2$  i  $< 2 \mu\text{m}$  próbki 6216, otwór Cicha Góra-7, basen czerwonego spągowca  
 Objaśnienia: czarna linia – próbka w stanie powietrzno-suchym; czerwona linia – preparat glikolowany; I/S – minerał mieszanopakietowy illit/smektyt; I – illit; Ch – chloryt; Kl – kaolinit; Q – kwarc

$< 0,2 \mu\text{m}$ . Analiza składu chemicznego EDS wykazała, że w skałach czerwonego spągowca mamy do czynienia przede wszystkim z chlorytami żelazowo-magnezo-

wymi. Dla próbek miocénskich badania takie nie były możliwe, ze względu na bardzo niewielkie rozmiary kryształów chlorytowych.

### Wyliczenie ilości H obecnego w „suchych” ilach

Wyliczenia indeksu wodorowego dla „suchych” ilów ( $HI_{cl}^*$ ) dokonano na podstawie wyników analizy ilościowej zawartości minerałów ilastych podanych w tabelicy 4. Obliczenia wykonano zgodnie ze wzorem (3). Nie jest możliwe określenie dokładnej zawartości poszczególnych minerałów z grupy illitu i mik w całej skale na podstawie analizy rentgenowskiej. Ponieważ indeksy wodorowe smektytu i illitu (muskowitu) drastycznie się różnią, przy obliczeniach przyjęto dla próbek miocénskich o przewadze smektytu – HI smektytu, a dla próbek czerwonego spągowca, w których dominuje illit – HI illitu.

Oprócz indeksu wodorowego według wzoru (2), wyliczono również porowatość neutronową badanych skał  $(\Phi_N)_{cl}^*$ . Na podstawie analizy składu mineralnego

**Tabela 6.** Zestawienie wartości indeksu wodorowego „suchych” ilów ( $HI_{cl}^*$ ) i ich porowatości neutronowej  $(\Phi_N)_{cl}^*$ , wyliczonych dla badanych próbek

Numer próbki	Kl [%]	M [%]	Ch [%]	$\Sigma ij$ [%]	HI K	HI M	HI Ch	HI I	$(\Phi_N)_{cl}^*$
<b>Miocen</b>									
5586	0,5	10	3	13,5	0,01	0,47	0,07	0,56	0,57
5595	0,5	6	2	8,5	0,02	0,45	0,08	0,55	0,56
5602	0,5	17	7	24,5	0,01	0,44	0,09	0,54	0,55
5946	1	28	9	38	0,01	0,47	0,08	0,56	0,57
<b>Czerwony spągowiec</b>									
6216	0,5	14	3	17,5	0,01	0,07	0,05	0,14	0,15
6220	0,5	6	3	9,5	0,02	0,06	0,10	0,18	0,20
6234	0,5	5	0,5	6	0,03	0,08	0,03	0,13	0,15
6236	2	13	2	17	0,04	0,07	0,04	0,15	0,17

całej skały można stwierdzić, że HI matriksa skalnego jest równe 0. Przy obliczeniach przyjęto: dla miocenu – indeks wodorowy HI solanki o stężeniu 50,000 ppm

NaCl na litr równy 0,98, a dla czerwonego spągowca – HI solanki 250,000 ppm NaCl, czyli 0,90. Wyniki obliczeń zestawiono w tablicy 6.

### Podsumowanie

Przeprowadzony eksperyment wykazał przydatność zastosowanej metodyki do wyznaczania porowatości neutronowej ośrodka skalnego. Pokazał on również, jak ważne jest uwzględnianie rzeczywistego składu frakcji ilastej przy określaniu indeksu wodorowego dla „suchych” ilów ( $HI_{cl}^*$ ).

Wartości powyższego indeksu uzyskane dla próbek z dwóch analizowanych basenów sedimentacyjnych drastycznie się różnią:  $HI_{cl}^*$  dla skał miocennych zawiera się w przedziale 0,54-0,56, a dla skał czerwonego

spągowca w przedziale 0,13-0,18. Wielkość indeksu nie zależy w tym przypadku od litologii badanej skały. Porowatość neutronowa badanych skał  $(\Phi_N)_{cl}^*$  wyniosła odpowiednio: 0,55-0,57 i 0,15-0,20.

Dalszy postęp, w celu coraz precyzyjniejszego określenia tego parametru, wymaga rozwiązania problemu z rozdzieleniem I od I/S i M przy pomocy metody rentgenowskiej (lub innej). Problem ten jednak, choć od lat jest obiektem wysiłków wielu badaczy, do tej pory nie doczekał się pozytywnego rozwiązania.

Recenzent: doc. dr hab. Piotr Such

### Literatura

- [1] Dudek T., Środoń J.: *Identification of illite/smectite by X-ray powder diffraction taking into account the lognormal distribution of crystal thickness*. Geol. Carpathica-Clays, 5, 21-32, 1996.
- [2] Ellis D., Singer J.: *Well Jogging for Earth Scientists*. Springer, Netherlands, 2007.
- [3] Jackson M.L.: *Soil chemical analysis – Advanced course: 2nd ED*. Published by the author. University of Wisconsin, Madison, USA, 1969.
- [4] Kurniawan: *Shaly sand interpretation using CEC-dependent petrophysical parameters*. PHD, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, 2005.
- [5] Moore D.M., Reynolds R.C.: *X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. Oxford, University Press, Second Edition, 1997.
- [6] Reynolds R.C. JR., Hower J.: *The nature of interlayering in mixed-layer illite-montmorillonites*. Clays Clay Miner., 18, 25-36, 1970.
- [7] Reynolds R.C. Jr.: *NEWMOD® a computer program for the calculation of one-dimensional diffraction patterns of mixed-layered clays*. R.C Reynolds, 8 Brook Dr., Hanover, New Hampshire, 1985.
- [8] Środoń J.: *Precise identification of illite/smectite interstratification by X-ray powder diffraction*. Clays Clay Miner., 28, 401-411, 1980.
- [9] Środoń J.: *X-ray identification of randomly interstratified illite/smectite in mixtures with discrete illite*. Clay Miner., 16, 297-304. 1981.
- [10] Środoń J.: *X-ray powder diffraction identification of illitic materials*. Clays Clay Miner., 32, 337-349, 1984.
- [11] Środoń J., Drits V., McCarty D., Hsieh J., Eberl D.: *Quantitative X-ray analysis of clay-bearing rocks from random preparations*. Clays and Clay Miner., 49, 514-521, 2001.



Mgr Sylwia KOWALSKA – absolwentka wydziału Biologii i Nauk o Ziemi Uniwersytetu Jagiellońskiego, na kierunku Geologia, specjalizacji Mineralogia i Geochemia. W Instytucie Nafty i Gazu zajmuje się analizą rentgenowską składu mineralnego skał, ze szczególnym uwzględnieniem identyfikacji minerałów ilastych, oraz badaniem własności petrofizycznych skał.



Mgr Anna PRZELASKOWSKA – ukończyła studia na wydziale Biologii i Nauk o Ziemi Uniwersytetu Jagiellońskiego, na kierunku Geologia, specjalizacji Mineralogia i Geochemia. W Instytucie Nafty i Gazu w Krakowie zajmuje się analizą rentgenowską składu mineralnego skał oraz badaniem własności petrofizycznych, w tym pomiarach przewodności cieplnej.