

O badaniach izotopowych diagenetycznego illitu z piaskowców czerwonego spągowca Wielkopolski i Pomorza Zachodniego

Anna Maliszewska¹, Marta Kuberska¹



A. Maliszewska M. Kuberska

Isotopic investigations of diagenetic illite of Rotliegend sandstones from the Wielkopolska and Western Pomerania regions. *Prz. Geol.*, 57: 322–327.

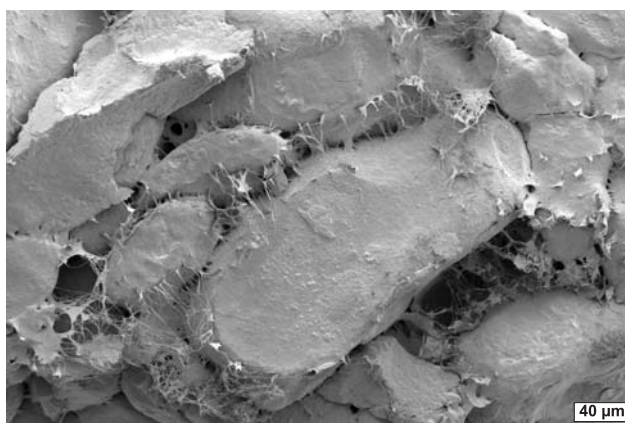
A b s t r a c t. Diagenetic illite tends to crystallize most often as fibres and it forms net-like textures reducing filtration abilities of sandstones. Rocks containing this type of illite show a very low permeability or may even be impermeable. K-Ar datings of crystallization of these fibres define the time when permeability was reduced and duration of the post-depositional period when the deposits were permeable for pore fluids, including gaseous and liquid hydrocarbons. Clay fractions $<0.2\ \mu\text{m}$ and $<0.3\ \mu\text{m}$ were isolated from 12 samples of the Rotliegend sandstones from Western Poland in order to define the K-Ar age of illite. The results of investigations show that this age from the fraction $<0.2\ \mu\text{m}$ falls between 187.1 and 113.6 Ma (tab. 1), that covers a long period since early Jurassic to late Cretaceous.

The determination of $\delta^{18}\text{O}$ in illite (15.1–15.9‰_{SMOW}), performed in East Kilbride laboratory, and calculations of hypothetic temperatures of illite crystallization (125–173°C) show that it crystallized from pore waters of marine origin and with $\delta^{18}\text{O}$ values ranging from 4.3 to 7.5‰_{SMOW}, which probably infiltrated from evaporitic Zechstein deposits.

Keywords: diagenetic illite, K-Ar age, pore waters, sandstones, Rotliegend

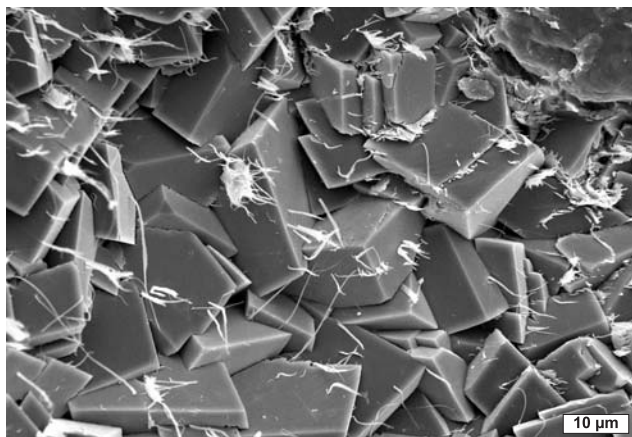
Diagenetyczny illit najczęściej występuje w postaci cienkich listewek i włókien. Włókna te wyrastają z blaszek illitu detrytycznego bądź narastają bezpośrednio na ziarnach kwarcu (ryc. 1), skaleni lub na kryształach cementów skalnych, np. kwarcu autigenicznego lub dolomitu (ryc. 2). Miejscami liczne, krzyżujące się włókna tworzą diagenetyczne mikrostruktury siatkowe (ryc. 3), ograniczające zdolności filtracyjne piaskowców. Przepuszczalność takich skał jest zwykle bliska zera.

Piaskowce zawierające diagenetyczny illit są pospolite w osadach czerwonego spągowca z europejskich prowincji gazonośnych, szczególnie na obszarze Niemiec, Belgii, Wielkiej Brytanii (w tym Morza Północnego) oraz zachodniej części Polski. Badania wieku K-Ar wzrostu illitu rozpoczęto w latach 80. ubiegłego stulecia. Oznaczony wiek krystalizacji włókien określa czas redukowania przepuszczalności, a jednocześnie pozwala wyznaczyć długość okresu po depozycji osadów, gdy były one drożne dla



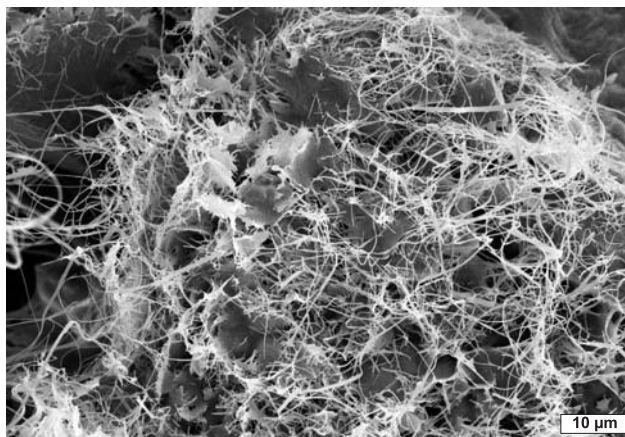
Ryc. 1. Fragment piaskowca z włóknami illitu; obraz w SEM. Otwór Kórnik-2, głęb. 3798,5 m

Fig. 1. Fragment of sandstone with fibres of illite; SEM image. Borehole Kórnik-2, depth 3798.5 m



Ryc. 2. Romboedry dolomitu i włókna illitu w spoiwie piaskowca; obraz w SEM. Otwór Kórnik-2, głęb. 4008,5 m

Fig. 2. Rhombohedrons of dolomite and fibres of illite in cement of sandstone; SEM image. Borehole Kórnik-2, depth 4008.5 m



Ryc. 3. Mikrostruktura siatkowa illitu w piaskowcu; obraz w SEM. Otwór Objezierze IG-1, głęb. 4221,6 m

Fig. 3. Net-like texture of illite in sandstone; SEM image. Borehole Objezierze IG-1, depth 4221.6 m

¹Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; anna.maliszewska@pgi.gov.pl, marta.kuberska@pgi.gov.pl

krążących roztworów porowych, w tym węglowodorów płynnych i gazowych. Oznaczenie wieku K-Ar illitu umożliwia obliczenie głębokości pogrzebienia osadów podczas krystalizacji tego minerału i wyznaczenie przypuszczalnej temperatury jego powstania. Oznaczenia $\delta^{18}\text{O}$ i δD w illicie są przydatne do określenia stosunków izotopowych tlenu i wodoru w wodzie krystalizacyjnej, a także pozwalają ocenić stopień jej zasolenia.

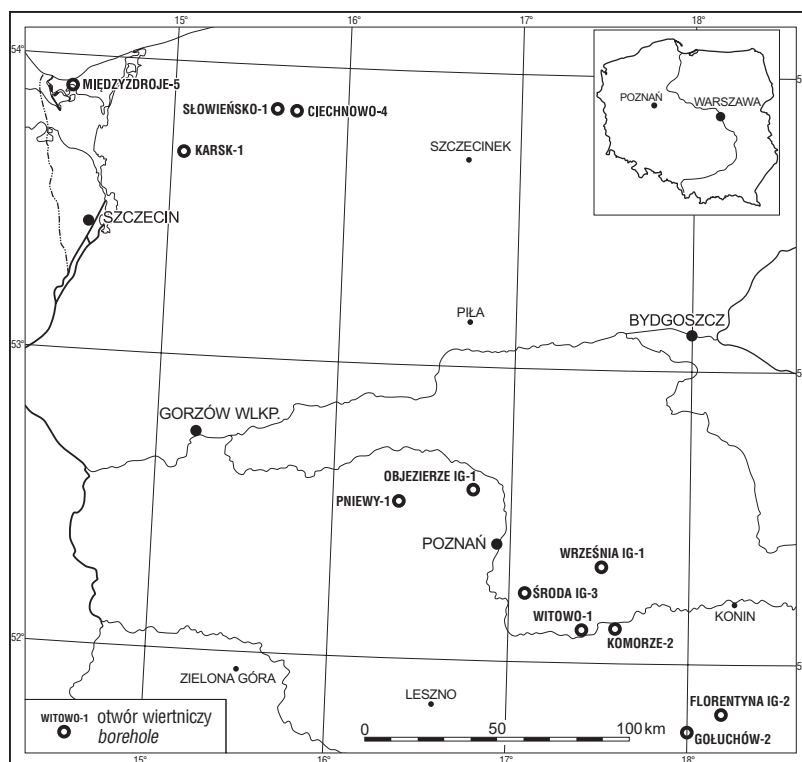
Do zbadania wieku K-Ar wzrostu illitu w osadach górnego czerwonego spągowca wybrano 12 próbek piaskowców należących do formacji noteckiej (Pokorski, 1981, 1997). Zdaniem Kiersnowskiego (1998) są to głównie piaskowce eoliczne (pochodzące z otworów wiertniczych w Wielkopolsce: Florentyna IG-2, Gołuchów-2, Komorze-2, Objezierze IG-1, Pniewy-1, Środa IG-3, Witowo-1, Września IG-1, ryc. 4), a w części piaskowce fluwialne (z Pomorza Zachodniego: Ciechnowo-4, Karsk-1, Międzyzdroje-5 i Słowieńsko-1). Zgodnie z klasyfikacją Pettijohna i in. (1972) próbki określono jako średnioziarniste arenity sublityczne, jedynie próbka z otworu Słowieńsko-1 jest arenitem kwarcowym. Piaskowce są złożone głównie z ziarn kwarcu, zawierają też drobne ilości skaleni oraz

okruchów skał wulkanicznych i granitoidów (Kuberska i in., 2008). Spoiwo stanowią tu cementy kalcytowe i kwarcowe, podrzędnie występują w nim uwodnione tlenki żelaza i anhydryt. Wydaje się, że udział detrytycznych minerałów ilastych jest tu niewielki. Agregaty autigenicznych minerałów ilastych są dobrze widoczne głównie w elektronowym mikroskopie skaningowym (SEM).

Metodyka badań

Płytki cienkie piaskowców analizowano w mikroskopie polaryzacyjnym *Optiphot 2* (firmy *Nikon*), a obserwacje pogłębiono badaniami odłupków próbek w elektronowych mikroskopach skaningowych typu JSM-35 (firmy *Jeol*) i typu 1430 (firmy *Leo*), sprzężonych ze spektrometrami rentgenowskimi z dyspersją energii (EDS, ISIS). Dla dostrzeżonych w SEM włókien minerałów ilastych uzyskano widma rentgenowskie. Z rozdrobionych próbek piaskowców oddzielono węglany, materię organiczną i związki żelaza, na podstawie metody Jacksona (1979), a następnie wyseparowano w wirówce trzy frakcje ziarnowe: $>2,0\ \mu\text{m}$, $<0,3\ \mu\text{m}$ i $<0,2\ \mu\text{m}$, które poddano dializie. W sześciu próbkach zostały przeprowadzone prace separatorskie, a następnie analiza rentgenostrukturalna (XRD) w laboratorium Instytutu Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk w Krakowie. Separację frakcji w pozostałych próbkach piaskowców i analizy rentgenostrukturalne minerałów ilastych wykonano w Państwowym Instytucie Geologicznym. Analizy prowadzono na preparatach orientowanych w stanie powietrzno-suchym, po nasyceniu ich glikolem etylenu i po wyprażeniu w temperaturze 550°C .

Wiek K-Ar wzrostu illitu został oznaczony w dwóch frakcjach ($<0,2\ \mu\text{m}$ i $<0,3\ \mu\text{m}$) z każdej próbki piaskowca. Próbki z otworów: Florentyna IG-1, Karsk-1, Objezierze IG-1, Pniewy-1, Środa IG-3 i Września IG-1 wysłano za



Ryc. 4. Lokalizacja otworów wiertniczych

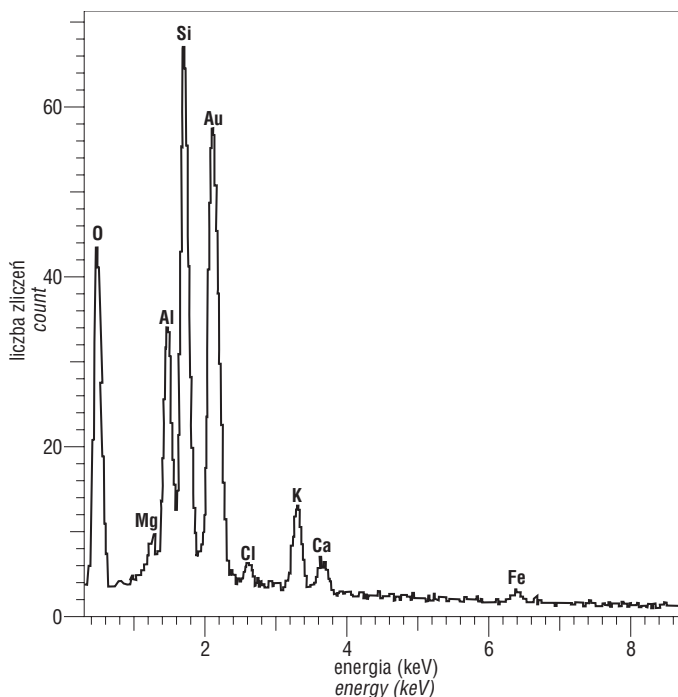
Fig. 4. Location of boreholes

pośrednictwem pracowni *GeoAnaliza* w Krakowie do prof. Anthony'ego E. Fallicka z Isotope Geoscience Unit, Scottish Universities Research and Reactor Centre w East Kilbride koło Glasgow. Próbki z otworów: Ciechnowo-4, Gołuchów-2, Komorze-2, Międzyzdroje-5, Słowieńsko-1 i Witowo-1 (pobrane później) przesłano do prof. Stanisława Hałasa z Instytutu Fizyki UMCS w Lublinie.

Według informacji dr. Z. Sawłowicza (*GeoAnaliza*) próbki przesłane do laboratorium w East Kilbride dygerowano w kwasie, a następnie oznaczono w nich udział potasu na spektrometrze płomieniowym. Argon oczyszczano w próżni. ^{40}Ar oznaczano metodą rozcieńczenia izotopowego, przy czym wykorzystano ^{38}Ar jako znacznik. Oznaczenia argonu wykonano za pomocą spektrometru mas. Próbki przesłane do Instytutu Fizyki UMCS w Lublinie były analizowane na spektrometrze TIMS (z użyciem znacznika mocno wzbogaconego w izotop ^{41}K), a pomiary koncentracji potasu wykonano na spektrometrze gazowym z próżnią statyczną — typu MS-10. Aby oznaczyć zawartość ^{40}Ar w próbce, do wyekstrahowanych gazów dodawano poprzez pipetowanie znacznik ^{38}Ar , zgodnie z metodą opisaną przez Hałasa i Maciochę (2000).

Wyniki analiz

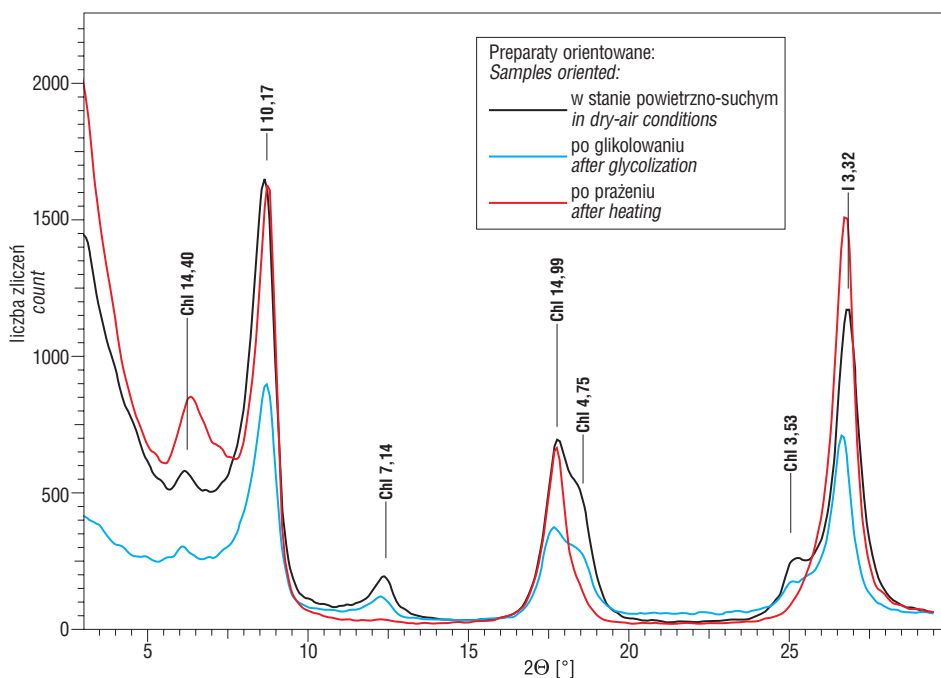
Badania mikrosondowe składu chemicznego (EDS) włóknistych minerałów ilastych, obserwowanych w elektronowym mikroskopie skaningowym, ujawniły obecność krzemu, glinu, potasu i tlenu, a także drobną domieszkę żelaza, magnezu i chloru (ryc. 5). W SEM dostrzegano również wachlarzowe agregaty blaszek Fe- i Fe/Mg-chlorytów, a miejscami robakowaty kaolinit. Autigenicznym minerałom ilastym często towarzyszy kwarc w postaci słupków o symetrii heksagonalnej.



Ryc. 5. Widmo rentgenowskie (EDS) składu chemicznego autigenicznego illitu; zwraca uwagę obecność chloru. Otwór Gołuchów-2, głęb. 3185,1 m

Fig. 5. X-ray spectrum (EDS) of chemical composition of authigenic illite; note presence of chlorine. Borehole Gołuchów-2, depth 3185.1 m

Wyniki badania dyfraktometrycznego wyseparowanych frakcji pelitycznych wykazały, że są one złożone przede wszystkim z illitu (ryc. 6). Illit jest reprezentowany głównie przez polityp 1M, uznawany za odmianę diagenetyczną (Stoch, 1974), towarzyszy mu polityp 2M1 pochodzenia detrytycznego (ryc. 7). W niektórych próbkach oznaczono również minerały mieszanopakietowe illit-smektyt,



Ryc. 6. Dyfraktogram rentgenowski frakcji ilastej <0,3 μm piaskowca z otworu Gołuchów-2, głęb. 3185,1 m; I — illit, Chl — chloryt

Fig. 6. XRD of clay fraction <0.3 μm of sandstone from borehole Gołuchów-2, depth 3185.1 m; I — illite, Chl — chlorite

o zawartości pakietów smektytowych rzędu 10%, lub chloryty.

Wyniki oznaczeń wieku K-Ar illitu zestawiono w tabeli 1. We frakcji <0,2 μm wiek ten waha się w granicach 113,6–187,0 mln lat, we frakcji <0,3 μm zaś wynosi 109,5–192,9 mln. W illicie frakcji ilastych z próbek badanych w East Kilbride oznaczono także stosunki izotopowe tlenu. Wartości $\delta^{18}\text{O}$ w minerałach są tu nadzwyczaj zbliżone i wynoszą 15,1–15,9‰_{SMOW}.

Podsumowanie i wnioski

Cytowane w tabeli 1 wyniki oznaczeń wieku K-Ar illitu dowodzą, że jego krystalizacja następowała najwcześniej na Pomorzu Zachodnim (synemur-pliensbach, otwór Ciechnowo-4). W Wielkopolsce początek krystalizacji illitu (frakcja <0,2 μm) datuje się na jurę środkową i późną oraz wczesną kredę — łącznie od bajosu po apt. Najmłodszy wiek illitu z frakcji <0,2 μm to 113,6 mln lat (apt, otwór Pniewy-1), a frakcji <0,3 μm — 109,5 mln lat (alb, Pniewy-1). Do określania epoki i piętra początku krystalizacji illitu wykorzystano najnowszą *Tabelę stratygraficzną Polski* (Wagner, 2008).

Wymienione wyniki datowań są zbliżone do oznaczeń wieku K-Ar illitu uzyskanych przez Michalika (1996) oraz Michalika i in. (2000) z piaskowców dolnego permu monokliny przedsudeckiej (wiek 158,8–186,2 mln lat). Natomiast różnią się zasadniczo od oznaczeń wymienionych przez tegoż autora z obszaru niecki północnosudeckiej (82,8–95,8 mln lat, Michalik, 1995).

Nowsze dane dotyczące wieku K-Ar krystalizacji illitu z piaskowców czerwonego spagowca Wielkopolski i Pomorza Zachodniego pochodzą z pracy Protasa i in. (2006). Wyniki datowania większości próbek odnoszą się do wczesnej i środkowej jury, obejmują także trias. Najstarsze uzyskane przez Protasa i in. (2006) rezultaty mogą stanowić

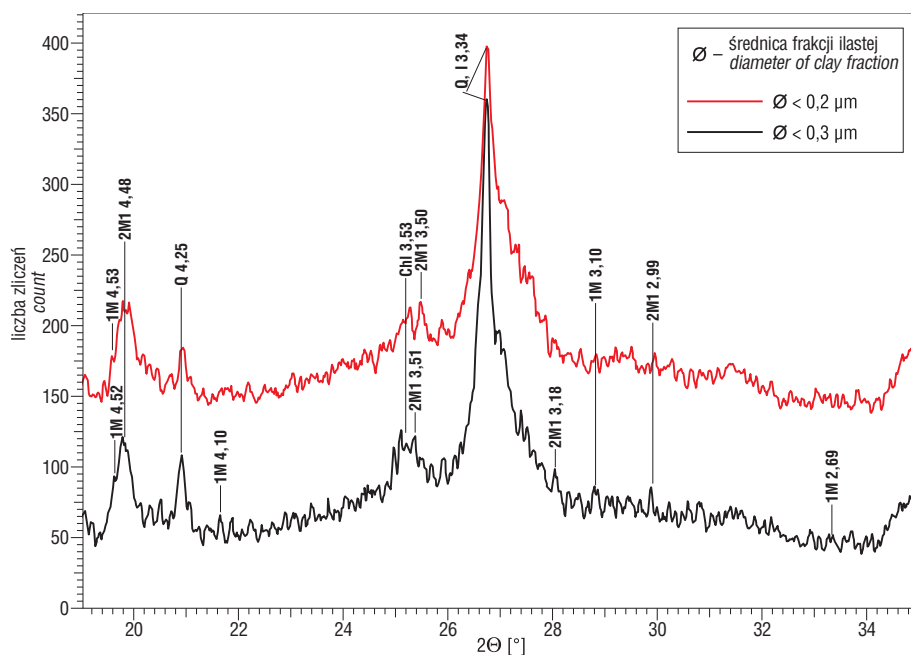
wynik przeprowadzenia oznaczeń wieku bardzo drobnych frakcji pelitu, <0,02 μm oraz w przedziale 0,02–0,05 μm. Jak wiadomo z pracy Howera i in. (1963), wyniki oznaczeń wieku K-Ar illitu są związane z wielkością frakcji ziarn z próbek poddanych analizom. W obrębie tej samej próbki najdrobniejszej frakcji ziarnowej odpowiada zwykle najstarszy wiek K-Ar illitu.

Trudności analityczne podczas określania wieku i w interpretacji wyników oznaczeń są zwykle związane z występowaniem obok siebie politypów 1M i 2M1, a więc z obecnością w próbkach potasu pochodzenia diagenetycznego i terytycznego. Problem ten był wielokrotnie poruszany i dyskutowany w literaturze, ostatnio został przedstawiony przez Szczerbę i Środonia (2008).

Wyniki datowań wieku krystalizacji illitu ze skał czerwonego spagowca z obszaru Polski korelują się dobrze

z rezultatami badań illitu z odpowiadających mu osadów w północno-zachodniej części Niemiec. Skały te w Niemczech występują na głębokości 3–5 km i osiągają miąższość 200–800 m (Platt, 1993). Wiek K-Ar illitu wynosi tu ok. 190 mln lat (Platt, 1993), 180–200 mln lat (Gaupp i in., 1993) lub 160–200 mln lat (Büker & Mäder, 1997). Na badanym obszarze występuje seria zrębów i rowów tektonicznych o przebiegu NE-SW (Platt, 1993). Zwingmann i in. (1998) stwierdzili, że wiek K-Ar krystalizacji illitu wynosi 180–210 mln lat w piaskowcach ze struktur zrębowych, a 155–190 mln lat w piaskowcach z rowów.

Wyniki datowań illitu ze skał czerwonego spągowca w południowej części Morza Północnego wskazują na wiek ok. 39–178 mln lat (Lee i in., 1989), ok. 158 mln lat (Robinson i in., 1993) oraz wiek 160–190 mln lat (Ziegler i in., 1994). Większość dat wskazuje na jurę, zwłaszcza



Ryc. 7. Fragmenty dyfraktogramów rentgenowskich z frakcji ilastych $<0,2 \mu\text{m}</math> i $<0,3 \mu\text{m}</math> piaskowca z otworu Słowieńsko-1, głęb. 3687,8 m; preparaty orientowane w stanie powietrzno-suchym. Zaznaczono wartości odstępów międzypłaszczyznowych d politypów illitu (I) 1M i 2M1 oraz kwarcu (Q) i chlorytu (Chl)$$

Fig. 7. Fragments of XRD of clay fraction $<0.2 \mu\text{m}</math> and $<0.3 \mu\text{m}</math> of sandstone from borehole Słowieńsko-1, depth 3687.8 m; oriented samples in dry-air conditions are marked. Values of interlayer spacings d of illite (I) polytypes 1M and 2M1, of quartz (Q) and of chlorite (Chl)$$

Tab. 1. Wyniki oznaczeń wieku K-Ar wzrostu diagenetycznego illitu

Table 1. Results of K-Ar age determinations of diagenetic illite growth

Lp. No	Otwór Borehole	Głębokość Depth [m]	Frakcja Fraction [μm]	K (%)	Radiogeniczny ^{40}Ar Radiogenic ^{40}Ar (%)	Wiek [mln lat] Age [Ma]	Błąd [+/- mln lat] Error [+/- Ma]	Wiek (epoka, piętro) Age (epoch, horizon)
1*	Ciechnowo-4	3796,8	$<0,2$ $<0,3$	4,98 5,06	92,7 92,6	187,1 192,9	1,9 1,9	J ₁ , pliensbach/ <i>Pliensbachian</i> J ₁ , synemur/ <i>Sinemurian</i>
2**	Florentyna IG-2	3381,0	$<0,2$ $<0,3$	5,22 5,60	48,9 37,1	135,4 129,7	3,9 4,5	K ₁ , hoteryw/ <i>Hauterivian</i> K ₁ , barrem/ <i>Barremian</i>
3*	Gołuchów-2	3185,1	$<0,2$ $<0,3$	5,30 5,89	93,0 93,0	172,5 156,8	1,6 1,3	J ₂ , aalen/ <i>Aalenian</i> J ₃ , oxford/ <i>Oxfordian</i>
4**	Karsk-1	4014,8	$<0,2$ $<0,3$	3,42 4,47	47,4 53,1	180,5 163,9	5,3 4,4	J ₁ , toark/ <i>Toarcian</i> J ₂ , kelowej/ <i>Callovian</i>
5*	Komorze-2	4223,7	$<0,2$ $<0,3$	6,69 8,64	95,0 95,0	165,4 131,1	1,2 1,3	J ₂ , baton/ <i>Bathonian</i> K ₁ , hoteryw/ <i>Hauterivian</i>
6*	Międzyzdroje-5	3012,4	$<0,2$ $<0,3$	6,38 5,92	91,4 91,1	162,0 175,3	1,6 1,8	J ₂ , kelowej/ <i>Callovian</i> J ₂ , aalen/ <i>Aalenian</i>
7**	Objezierze IG-1	4221,6	$<0,2$ $<0,3$	4,60 4,73	46,3 48,1	150,4 131,1	4,5 3,8	J ₃ , tyton/ <i>Tithonian</i> K ₁ , hoteryw/ <i>Hauterivian</i>
8**	Pniewy-1	3604,5	$<0,2$ $<0,3$	4,44 7,28	42,0 49,6	113,6 109,5	3,6 3,1	K ₁ , apt/ <i>Aptian</i> K ₁ , alb/ <i>Albian</i>
9*	Słowieńsko-1	3687,8	$<0,2$ $<0,3$	5,02 5,11	89,1 94,6	167,8 173,5	1,7 1,7	J ₂ , bajos/ <i>Bajocian</i> J ₂ , aalen/ <i>Aalenian</i>
10**	Środa IG-3	3854,3	$<0,2$ $<0,3$	5,87 6,21	65,4 51,5	154,7 147,4	3,7 4,0	J ₃ , kimeryd/ <i>Kimmeridgian</i> J ₃ , tyton/ <i>Tithonian</i>
11*	Witowo-1	3613,3	$<0,2$ $<0,3$	5,87 6,16	94,0 94,0	173,1 172,7	1,2 0,9	J ₂ , aalen/ <i>Aalenian</i> J ₂ , aalen/ <i>Aalenian</i>
12**	Września IG-1	4525,3	$<0,2$ $<0,3$	5,91 6,41	48,4 51,8	116,1 111,0	3,3 3,0	K ₁ , apt/ <i>Aptian</i> K ₁ , alb/ <i>Albian</i>

*Oznaczenia wykonali S. Hałas i A. Wójtowicz (Instytut Fizyki UMCS w Lublinie)

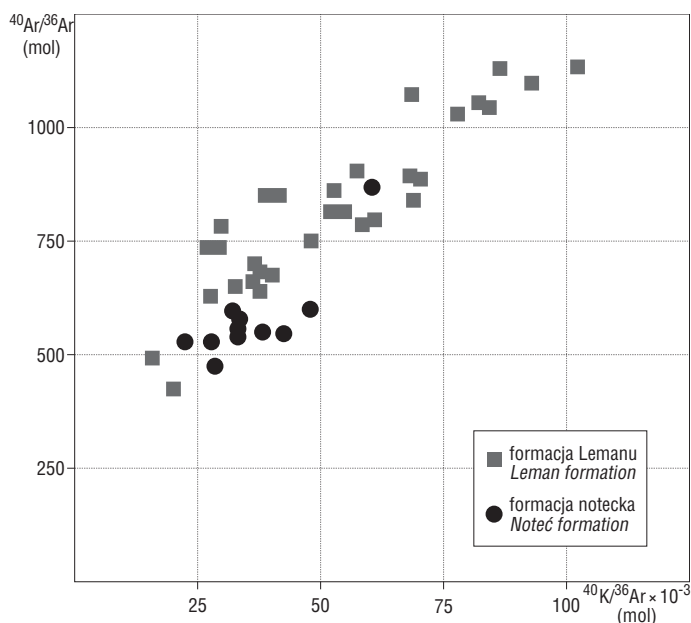
**Oznaczenia wykonał A.E. Fallick (Isotope Geoscience Unit, Scottish Universities Research and Reactor Centre w East Kilbride k. Glasgow)

*Determinations were conducted by S. Hałas and A. Wójtowicz (Maria Curie-Skłodowska University in Lublin)

**Determinations were conducted by A.E. Fallick (Isotope Geoscience Unit, Scottish Universities Research and Reactor Centre w East Kilbride, Glasgow)

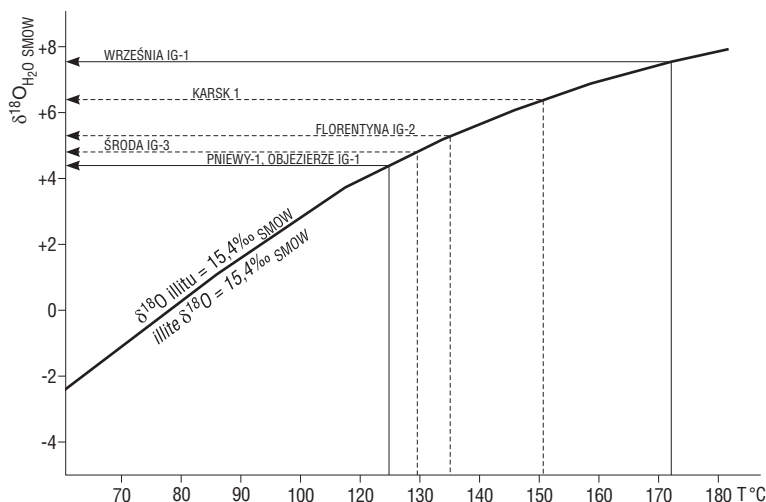
środkową i późną, niektóre — na wczesną kredę, a nawet na eocen (Lee i in., 1989). Cytowani autorzy, rozpatrując warunki tworzenia się illitu, podkreślają znaczenie ruchów tektonicznych orogenezy kimeryjskiej, które powodowały wzrost aktywności roztworów porowych wykrywających liczne uskoki.

Na podstawie wyników oznaczeń $\delta^{18}\text{O}$ illitu pochodzącego z próbek piaskowców wyliczono hipotetyczną temperaturę krystalizacji tego minerału. Wzorowano się tu na pracy Robinsona i in. (1993), dotyczącej badań izotopowych diagenetycznego illitu z obszaru Village Field w południowej części Morza Północnego. Odliczono więc miąższości nadkładu nad badanymi piaskowcami z poszczególnych otworów wiertniczych, zależnie od wieku krystalizacji illitu, i uzyskano przybliżone wartości pogrzebienia osadów w okresie wzrostu jego włókien. Wartości te były większe niż 3000 m, wyniosły 3127 m w Pniewach-1, 3790 m w Karsku-1, 4324 m we Wrześni IG-1. Jeśli przyjąć wartość gradientu geotermicznego $30^\circ\text{C}/\text{km}$ i brak wpływu dodatkowych (poza pogrzebaniem osadu) źródeł ciepła, to hipotetyczna temperatura krystalizacji illitu wahała się w granicach $94\text{--}130^\circ\text{C}$. W niniejszej pracy założono jednak wartość gradientu geotermicznego $40^\circ\text{C}/\text{km}$, zgodnie z poglądem A. Witkowskiego (1989) o wyższej niż obecnie wartości tego parametru w dawnych epokach geologicznych. Wydaje się, że wyborowi temu sprzyja usytuowanie osadów górnego czerwonego spągowca w zachodniej części Polski, ponad miąższymi utworami skał wulkanicznych lub w ich sąsiedztwie. Przybliżone wartości temperatury krystalizacji illitu, obliczone zgodnie z przyjętym założeniem, wyniosły $125\text{--}173^\circ\text{C}$.



Ryc. 9. Współzależność wartości $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ (mol) i $^{40}\text{K}/^{36}\text{Ar}$ (mol) w próbkach illitu z piaskowców formacji Lemanu i formacji noteckiej. Wykres Fallicka (nieco uproszczony), dotyczący badań Zieglera i in. (1994)

Fig. 9. Interdependence of $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ (mol) and $^{40}\text{K}/^{36}\text{Ar}$ (mol) in illite samples from sandstones of the Leman and Noteć formations. Fallick's diagram (slightly simplified), referring to the studies of Ziegler et al. (1994)



Ryc. 8. Wartość $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ wód formacyjnych w zależności od hipotetycznej temperatury krystalizacji diagenetycznego illitu. Krzywą frakcjonowania izotopów tlenu wykreślono dla średniej wartości $\delta^{18}\text{O}$ illitu ($15,4\text{‰}_{\text{SMOW}}$) w próbkach **Fig. 8.** $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ value of formation waters versus hypothetical crystallization temperature of diagenetic illite. Oxygen isotope fractionation curve is drawn for illite $\delta^{18}\text{O}$ value ($15,4\text{‰}_{\text{SMOW}}$) in samples

Wyniki oznaczeń $\delta^{18}\text{O}$ illitu, mieszczące się w wąskim przedziale $15,1\text{--}15,9\text{‰}_{\text{SMOW}}$, zwracają uwagę brakiem zróżnicowania pomiędzy próbkami z sześciu różnych otworów wiertniczych (Maliszewska, 1997). Bardzo przypominają wyniki podane przez Robinsona i in. (1993) z obszaru Village Field, dla frakcji $<0,2\ \mu\text{m}$ mieszczące się w granicach $14,1\text{--}17,8\text{‰}_{\text{SMOW}}$, średnio ok. 16‰ . Na rycinie 8 wykazano zależność między hipotetycznymi wartościami temperatury wzrostu illitu a wartością $\delta^{18}\text{O}$ wody krystalizacyjnej. Obliczono, że wartość ta waha się w granicach $4,3\text{--}7,5\text{‰}_{\text{SMOW}}$. Można sądzić, że roztwory porowe, z których krystalizował illit, były genetycznie związane ze zstępującymi wodami cechsztyńskimi. Pogląd ten wyraził wcześniej Michalik (1996) w odniesieniu do illitu z osadów białego spągowca z południowej części monokliny przedsudeckiej. Na związek wód krystalizacyjnych illitu z wodami cechsztyńskimi wskazuje także obecność w illicie chloru, wykazana analizami w mikrosondzie elektronowej (ryc. 5). Ścisłejsze dane dotyczące natury wód krystalizacyjnych illitu uzyskali Ziegler i in. (1994) dzięki oznaczeniu w tym mineralu stosunków izotopowych wodoru oraz wspólnej interpretacji rezultatów analiz δD i $\delta^{18}\text{O}$. W pracy poświęconej diagenecie białego spągowca Michalik (2001) zawarł przegląd wyników oznaczeń izotopów tlenu w illicie podanych przez badaczy osadów czerwonego spągowca w zachodniej Europie. Nawiązał również do opisanego przez Folka i Lyncha (2000) roli działania nanobakterii w tworzeniu się włóknistych form illitu.

Prof. A.E. Fallick w korespondencji z A. Maliszewską zwrócił uwagę na duże podobieństwo diagenetycznego illitu z piaskowców formacji noteckiej do illitu z gazonośnych piaskowców formacji Lemanu w Morzu Północnym. Piaskowce Lemanu badane w basenie Sole Pit i Shelf/Cleaver Bank przy wschodnim wybrzeżu Anglii odznaczają się doskonałymi właściwościami zbiornikowymi (Ziegler i in., 1994). Ich przepuszczalność jest mała z powodu dużej zawartości autigenicznego illitu. Na rycinie 9 przedstawiono

współzależność wartości $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ do $^{40}\text{K}/^{36}\text{Ar}$ w próbkach badanego illitu z Polski i Anglii. Prof. A.E. Fallick (współautor pracy Ziegler i in., 1994), autor cytowanej ryciny, wykazał, że położenie punktów projekcyjnych illitów z formacji noteckiej i z formacji Lemanu jest bardzo zbliżone. Całość uzyskanych wyników badań izotopowych illitu o podobnym, głównie jurajskim wieku krystalizacji wskazuje, że mezodiagenetyczna illityzacja osadów czerwonego spągowca była zarówno w Polsce, jak w zachodniej Europie zjawiskiem regionalnym w ogromnej skali.

Określenie momentu zamykania dróg migracji roztworów porowych w skałach gazonośnej prowincji czerwonego spągowca Polski zachodniej jest niezmiernie istotne w dalszych poszukiwaniach złóż węglowodorów. Z tego względu badania wieku krystalizacji diagenetycznego illitu powinny być kontynuowane. Należałoby je rozszerzyć o oznaczenia stosunków izotopowych tlenu i wodoru w illicie, aby bliżej rozpoznać naturę jego wód krystalizacyjnych. Uzyskane w ten sposób dane mogą okazać się przydatne także do poszerzenia zakresu wiedzy o basenach sedymentacyjnych permu.

Autorki niniejszego artykułu pragną wyrazić wdzięczność prof. Antony'emu E. Fallickowi ze Scottish Universities Research and Reactor Centre w East Kilbride koło Glasgow za wykonanie oznaczeń wieku K-Ar i $\delta^{18}\text{O}$ w sześciu próbkach illitu i dyskusję wyników badań. Dziękują również prof. Stanisławowi Hałasowi i Arturowi Wójtowiczowi za oznaczenia wieku illitu w kolejnych sześciu próbkach. Są bardzo zobowiązane prof. Annie Langier-Kuźniarowej i prof. Janowi Środoniowi za konsultacje dotyczące badań minerałów ilastych. Słowa wdzięczności należą się także Małgorzacie Zielińskiej i Teresie Linke oraz Tadeuszowi Szyrakowi za wyseparowanie frakcji ilastych z piaskowców, Wandzie Narkiewicz i Tadeuszowi Kawiakowi za wykonanie badań rentgenostrukturalnych, a Leszkowi Giro za przeprowadzenie badań w elektronowym mikroskopie skaningowym i w mikroskopie.

Literatura

- BÜKER C. & MÄDER U. 1997 — Modelling the geological and diagenetic evolution of a graben fill: a case study from northern Germany. [In:] Meeting of Molasse Group. Fribourg, 25.01.1997. Abstracts: 62.
- FOLK R.L. & LYNCH F.L. 2000 — The possible role of nanobacteria in clay-mineral diagenesis. *J. Sediment. Res.*, 67: 583–589.
- GAUPP R., MATTER A., PLATT J., RAMSEYER K. & WALZEBUCK J. 1993 — Diagenesis and fluid evolution of deeply buried Permian (Rotliegendes) gas reservoirs, Northwest Germany. *AAPG Bull.*, 77,7: 1111–1128.
- HAŁAS S. & MACIOCHA T. 2000 — Zastosowanie rozcieńczenia izotopowego do wyznaczania zawartości potasu. [W:] Datowanie minerałów i skał. V Ogólnopolska Sesja Naukowa. Kraków, 10–12.02.2000. Kraków: 17–23.
- HOWER J., HURLEY P.M., PINSON W.H. & FAIRBAIRN H.W. 1963 — The dependence of K-Ar age on the mineralogy of various particle size range in a shale. *Geochim. Acta*, 27: 405–410.
- JACKSON M.L. 1979 — Soil chemical analysis — advanced course. Madison, Wisconsin.
- KIERSNOWSKI H. 1998 — Architektura depozycyjna basenu czerwonego spągowca w Polsce. *Pr. Państw. Inst. Geol.* 165: 113–128.
- KUBERSKA M., MALISZEWSKA A. & GROTEK I. 2008 — Diagenеза a rozwój przestrzeni porowej w piaskowcach górnego czerwonego spągowca Pomorza Zachodniego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 430: 43–64.
- LEE M., ARONSON J.L. & SAVIN S.M. 1989 — Timing and conditions of Permian Rotliegendes sandstone diagenesis, Southern North Sea: K/Ar and oxygen isotopic data. *AAPG Bull.*, 73,1: 195–215.
- MALISZEWSKA A. 1997 — Wiek K/Ar włóknistego illitu z piaskowców czerwonego spągowca Wielkopolski. [W:] Datowanie minerałów i skał. IV Ogólnopolska Sesja Naukowa. UMCS Lublin, 11–12.12.1997: 50–55.
- MICHALIK M. 1995 — Datowanie K/Ar diagenetycznych illitów ze stropowej części dolnopermskich piaskowców z obszaru występowania dolnośląskich złóż miedzi — wnioski geologiczne. [W:] Datowanie minerałów i skał w oparciu o rozpad promieniotwórczy potasu-40. II Ogólnopolska Sesja Naukowa. UMCS Lublin, 26–27.10.1995. Lublin: 29–37.
- MICHALIK M. 1996 — Zróżnicowanie procesów krystalizacji diagenetycznych illitów w piaskowcach permu w niecce północnosudeckiej na monoklinie przedsudeckiej. [W:] Datowanie minerałów i skał. III Ogólnopolska Sesja Naukowa. UMCS Lublin, 24–25.10.1996. Lublin: 45–50.
- MICHALIK M. 2001 — Diagenesis of the Weissligend sandstones in the south-western margin of the Polish Rotliegend basin. *Pr. Miner. Komis. Nauk. Miner. PAN*, 91.
- MICHALIK M., HAŁAS S. & ŁATKIEWICZ A. 2000 — Określenie wieku krystalizacji diagenetycznych illitów w piaskowcach białego spągowca na monoklinie przedsudeckiej — próba rozpoznania dróg migracji roztworów. [W:] Datowanie minerałów i skał. V Ogólnopolska Sesja Naukowa. Kraków, 10–12.02.2000. Kraków: 34–37.
- PETTIJOHN F.J., POTTER P.E. & SIEVER R. 1972 — Sand and sandstone. Springer Verlag, New York.
- PLATT J.D. 1993 — Controls on clay mineral distribution and chemistry in the Early Permian Rotliegendes of Germany. *Clay Miner.*, 28, 3: 393–416.
- POKORSKI J. 1981 — Propozycja formalnego podziału litostratigraficznego czerwonego spągowca na Niżu Polskim. *Kwart. Geol.*, 25, 1: 41–58.
- POKORSKI J. 1997 — Perm dolny; sedymentacja, paleogeografia, paleotektonika. [W:] Marek S. & Pajchłowa M. (red.) Epikontynentalny perm i mezozoik w Polsce. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 153: 45–62.
- PROTAS A., HAŁAS S. & WÓJTOWICZ A. 2006 — Datowanie (K/Ar) illitu w utworach czerwonego spągowca na Niżu Polskim. [W:] Datowanie minerałów i skał. IX Ogólnopolska Sesja Naukowa. Gdańsk, 23–24.10.2006: 54–56.
- ROBINSON A.G., COLEMAN M.L. & GLUYAS J.G. 1993 — The age of illite cement growth, Village Field area, Southern North Sea: evidence from K-Ar ages and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratios. *AAPG Bull.*, 77, 1: 68–80.
- STOCH L. 1974 — Minerale ilaste. *Wyd. Geol. Warszawa*.
- SZCZERBA M. & ŚRODOŃ J. 2008 — Determination of diagenesis age from K-Ar dates of clay fractions contaminated with detrital illite. [In:] Dating of Minerals and Rocks. X All-Polish Scientific Conference. UMCS Lublin, 23–24.10.2008, Lublin: 37–42.
- WAGNER R. (red.) 2008 — Tabela stratygraficzna Polski. *Wyd. Państwowego Instytutu Geologicznego, Warszawa*.
- WITKOWSKI A. 1989 — Paleodynamika i ropogazonośność starszego paleozoiku Pomorza i Bałtyku Południowego. *Zesz. Nauk. AGH, 1250, Geol.*, 43.
- ZIEGLER K., SELLWOOD B.W. & FALLICK A.E. 1994 — Radiogenic and stable isotope evidence for age and origin of authigenic illite in the Rotliegendes, Southern North Sea. *Clay Miner.*, 29, 3: 555–565.
- ZWINGMANN H., CLAUER N. & GAUPP R. 1998 — Timing of fluid flow in a sandstone reservoir of the North German Rotliegendes (Permian) by K-Ar dating of related hydrothermal illite. [In:] Parnell J. (ed.) Dating and duration of fluid flow and fluid rock interaction. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 144: 91–106.