

PRZESTRZEŃ POROWA PIASKOWCÓW JURY DOLNEJ W REJONIE BĘŁCHATOWA

PORE SPACE IN LOWER JURASSIC SANDSTONES OF THE BĘŁCHATÓW REGION

ALEKSANDRA KOZŁOWSKA¹, MARTA KUBERSKA¹,
MAGDALENA PAŃCZYK¹, MAGDALENA SIKORSKA¹

Abstrakt. Analizie petrograficznej i petrofizycznej poddano piaskowce jury dolnej w rejonie Bełchatowa, z ośmiu otworów wiertniczych: Florentyna IG 2, Gomunice 13, Jeżów IG 1, Kalisz IG 1, Niechmirów IG 1, Zakrzyn IG 1, Zamoście 1 i Zaosie 2. W pracach wykorzystano następujące metody badawcze: mikroskop polaryzacyjny (PL), katodoluminescencję (CL), skaningowy mikroskop elektronowy (SEM) i mikrosondę energetyczną (EDS, ISIS), badania rentgenostrukturalne (XRD) oraz laboratoryjne badania petrofizyczne. Piaskowce reprezentują głównie arenity i waki kwarcowe od bardzo drobnego- do średnioziarnistych. Głównym składnikiem ich szkieletu ziarnowego jest kwarc, natomiast skalenie, litoklasty i łyszczki występują w niewielkiej ilości. Dominującym rodzajem spoiwa jest masa wypełniająca typu matriks, której towarzyszą cementy: kwarcowy, węglanowy reprezentowany przez syderyt (oraz inne minerały szeregu syderyt-magnezyt) i Fe-dolomit/ankeryt oraz kaolinitowy. Skąły te charakteryzują się bardzo dobrymi i dobrymi właściwościami filtracyjnymi. Porowatość piaskowców często przekracza 15%, a przepuszczalność mieści się w przedziale od 0,1 do 1361,7 mD. Parametry przestrzeni porowej pomierzone w porozymetrze kształtują się następująco: współczynnik porowatości dynamicznej 4,7–30,0%, średnia wartość ilości porów >1 μm 5–99%, średnica progowa 0,2–64,0 μm i histereza 2–87%.

Słowa kluczowe: przestrzeń porowa, piaskowce, jura dolna, rejon Bełchatowa.

Abstract. Lower Jurassic sandstones from eight boreholes (Florentyna IG 2, Gomunice 13, Jeżów IG 1, Kalisz IG 1, Niechmirów IG 1, Zakrzyn IG 1, Zamoście 1 i Zaosie 2) of the Bełchatów region were studied for petrography and petrophysical properties. The following research methods were used: polarizing microscope observations (PL), cathodoluminescence studies (CL), scanning electron microscope (SEM) investigations and energy dispersive spectrometer studies (EDS ISIS), X-ray diffraction analyses (XRD) and laboratory petrophysical examinations. The sandstones are represented by very fine- to medium-grained quartz arenites and wackes. The main component of the grain framework is quartz. Feldspars, lithoclasts and micas occur in minor proportions. The sandstone is bonded predominantly by matrix accompanied by quartz, siderite (and other minerals of the siderite–magnetite series), Fe-dolomite/ankerite and kaolinite cements. The rocks are characterized by good and very good filtration properties. Porosity of the sandstones, very often exceeds 15%, and permeability ranges from 0.1 to 1361.7 mD. Pore space parameters measured in porosimeter show the following trend: dynamic porosity factor: 4.7–30.0%, average amount of pores >1 μm: 5–99%, threshold diameter: 0.2–64.0 μm and hysteresis: 2–87%.

Key words: pore space, sandstones, Lower Jurassic, Bełchatów region.

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: aleksandra.kozlowska@pgi.gov.pl, marta.kuberska@pgi.gov.pl, magdalena.panczyk@pgi.gov.pl, magdalena.sikorska@pgi.gov.pl

WSTĘP

Przedstawiono wyniki badań petrograficznych i petrofizycznych 115 próbek skał jury dolnej z ośmiu otworów wiertniczych: Florentyna IG 2, Gomunice 13, Jeżów IG 1, Kalisz IG 1, Niechmirów IG 1, Zakrzyn IG 1, Zamoście 1 i Zaosie 2 (fig. 1). Badania zostały wykonane w ramach projektu „Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania”, realizowanego przez konsorcjum, którym kieruje Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy. Problem emisji CO₂ i zanieczyszczenia środowiska natural-

nego spowodował intensyfikację badań nad procesami sekwestracji CO₂. W 2005 roku ukazała się praca pod redakcją Tarkowskiego Podziemne składowanie CO₂ w Polsce w głębokich strukturach geologicznych (ropo-, gazo- i wodonośnych). Autorzy wskazali trzy poziomy mezozoiczne: trias dolny, jura dolna i kreda dolna na Niżu Polskim, jako najbardziej odpowiednie serie stratygraficzne do poszukiwania w ich obrębie warstw kolektorskich oraz lokalizacji struktur geologicznych dla podziemnego składowania dwutlenku węgla. Analizowane skały jury dolnej występują na głębokości 800–2000 m, a więc spełniają niezbędny warunek dla typowania potencjalnych kolektorów do bezpiecznego składowania CO₂. Wśród próbek rdzeni dominują piaskowce, a w mniejszej ilości występują mułowce i iłowce.

Celem badań była analiza przestrzeni porowej piaskowców jako potencjalnych kolektorów oraz sprawdzenie skał izolujących, którymi są iłowce i mułowce.

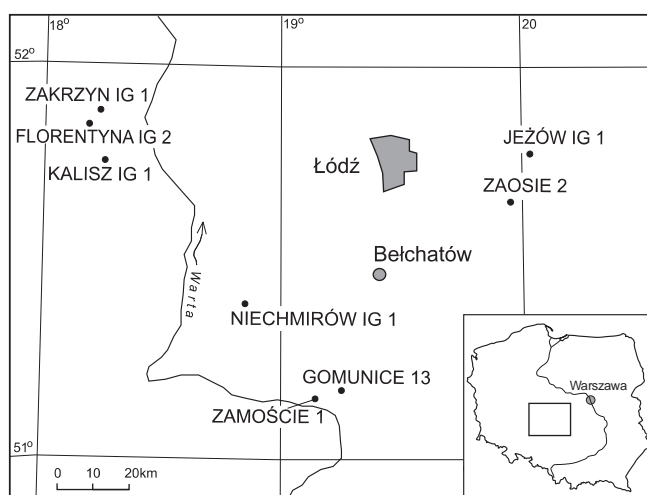


Fig. 1. Lokalizacja badanych otworów wiertniczych

Location of the study boreholes

METODY BADAŃ

Wszystkie próbki skał zostały nasączone niebiesko zabarwioną żywicą, tak aby pory były dobrze widoczne pod mikroskopem. Z tak przygotowanego materiału wykonano preparaty jednostronnie polerowane, odkryte. Przeprowadzono standardowe badania płytek cienkich w mikroskopie polaryzacyjnym firmy Nikon Eclipse LV 100 Pol. Planimetrowano wszystkie piaskowce oraz, jeżeli to było możliwe, mułowce. Zliczano po 300 ziaren w jednej płytce cienkiej, tak aby obliczony skład mineralny danej skały był statystycznie poprawny i reprezentatywny. W badanych płytkach cienkich oznaczono również zawartość procentową porów. Wydzielenia mikrolitofacjalne piaskowców oparto na klasyfikacji Dotta zmodyfikowanej przez Pettijona i in. (1972), z dalszymi zmianami Jaworowskiego (1987). Wykonano analizę katodoluminescencyjną (CL) przy użyciu aparatury z zimną katodą CCL 8200 mk 3, firmy Cambridge

Image Technology Ltd. Metodyka tych badań została szczegółowo przedstawiona w pracy Sikorskiej (2005). Analizę chemiczną w mikroobszarze wraz z dokumentacją graficzną (obrazy BSE) wykonał L. Giro z użyciem mikroskopu elektronowego JSM-35 firmy JEOL wyposażonego w dwa spektrometry WDS i spektrometr EDS (analizy składu chemicznego węglanów i skaleni) i mikroskopu elektronowego LEO 1430 firmy ZEISS wyposażonego w spektrometr EDS. W. Narkiewicz wykonała badania rentgenostrukturalne (XRD) składu fazowego ogólnego i składu frakcji ilastej na dyfraktometrze rentgenowskim firmy Philips PW 1840 z lampą Cu i detektorem półprzewodnikowym. W laboratorium Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie dr G. Leśniak z zespołem wykonał badania petrofizyczne: pomiary porowatości całkowitej, przepuszczalności oraz parametrów przestrzeni porowej skały (analiza porozymetryczna).

CHARAKTERYSTYKA MIKROLITOFACJALNA

PIASKOWCE

Piaskowce reprezentują głównie arenity i waki kwarcowe, rzadziej subarkozowe. Arenity charakteryzują się teksturą bezładną (fig. 2A, B), natomiast waki mają często teksturę kierunkową podkreśloną ułożeniem blaszek minerałów ilastych i łuszczyków oraz materii organicznej i syderytu (fig. 2C). Uziarnienie arenitów jest drobne i średnie, lokalnie grube, natomiast wak bardzo drobne i drobne. Wielkość najczęstszego ziarna kwarcu waha się od 0,06 do 0,75 mm, a maksymalnego od 0,14 do 2,70 mm. Materiał detrytyczny przeważnie jest dobrze wysortowany, słabo i półobtoczony. Upakowanie ziaren w piaskowcach jest na ogół luźne. Kontakty międzyziarnowe w arenitach są punktowe lub proste, rzadko wklęsło-wypukłe, a w wakach punktowe lub brak jest kontaktów.

Głównym składnikiem mineralnym szkieletu ziarnowego piaskowców jest kwarc, którego zawartość waha się od 52,4 do 79,4%, przeciętnie stanowi około 70% obj. skały. Kwarc monokrystaliczny przeważa ilościowo nad kwarcem polikrystalicznym. Do grupy ziaren kwarcu polikrystalicznego zaliczono także okruchy kwarcytów, łupków kwarcowych oraz czertów (Pettijohn i in., 1972).

Skalenie, reprezentujące głównie skalenie potasowe występują w ilości od 0 do 6,7%, przeciętnie stanowią około 1% obj. skały. Skład chemiczny skalenia alkalicznych zbadanych w mikrosondzie energetycznej przedstawia się następująco: SiO₂ od 64,78 do 66,54% wag., Al₂O₃ od 20,25 do 21,96% wag., K₂O od 10,78 do 13,04% wag., Na₂O od 0 do 1,55% wag., CaO od 0 do 0,1% wag., FeO od 0 do 0,29% wag. i TiO₂ od 0 do 0,32% wag. Skalenie potasowe w obrazie katodoluminescencyjnym wykazują świecenie w barwach niebieskich (fig. 2A, B). Ziarna skalenia poddane były działaniu procesów rozpuszczania (fig. 2D), przeobrażania oraz zastępowania przez minerały wtórne. Blaszkki łuszczyków (głównie muskowitu, rzadziej biotyту) oraz chlorytu w piaskowcach stanowią od 0,0 do 15,3% obj. W arenitach zawartość ich przeważnie nie przekracza 1% obj. skały, natomiast w wakach najczęściej jest wyższa. Występują tu również drobne, zwęglone szczątki roślinne oraz rozproszona materia organiczna. Z minerałów ciężkich dostrzeżono cyrkon, turmalin, minerały nieprzezroczyste oraz tlenki tytanu. W badanych piaskowcach stwierdzono również obecność litoklastów od 0,0 do 2,3%, najczęściej w ilości około 1% obj. skały. Reprezentują one głównie fragmenty skał magmowych typu granitoidów.

Spoiwo, w postaci matriksu i/lub cementu, w arenitach ma charakter porowy, natomiast w wakach jest porowe i kontaktowe. W wielu badanych arenitach spoiwo występuje skąpo, czego efektem jest ich wysoka porowatość sięgająca lokalnie 31,7% obj. skały. Głównym typem spoiwa jest matriks, którego zawartość waha się od 0,4 do 39,7%. Najczęściej tworzy go mieszanina detrytycznych minerałów ilastych, pyłu kwarcowego, wodorotlenków żelaza i materii

organicznej. Udział cementu w piaskowcach wynosi natomiast od 0 do 27,3% obj. Budują go minerały diagenetyczne wśród których wyróżniono: kwarc, węglany i minerały ilaste.

Największe znaczenie w piaskowcach jury dolnej odgrywa cement kwarcowy, którego zawartość waha się od 0,0 do 20,7% obj. Tworzy on obwódki syntaksjalne na ziarnach kwarcu, zarastając przestrzenie porowe piaskowca. Granica między kwarcem detrytycznym a obwódką niekiedy zaznaczona jest przez obecność inkluzji fluidalnych. Obwódki kwarcu autigenicznego są bardzo dobrze widoczne w obrazie CL. Charakteryzują się one luminescencją o barwie ciemnobrązowej, odróżniając się wyraźnie od ziaren kwarcu, które wykazują świecenie w barwach niebieskofioletowej, brązowej lub zielonej (fig. 2E, F). Miejscami obserwowano efekty procesu rozpuszczania obwódek kwarcu autigenicznego oraz zastępowania go przez węglany.

Cementy węglanowe reprezentowane są głównie przez syderyt (oraz inne minerały szeregu syderyt-magnezyt) i Fe-dolomit/ankeryt. Najczęściej węglany tworzą spoiwo typu porowego, lokalnie podstawowe, a zawartość ich wynosi od 0 do 15,5% obj. skały. Syderyt często tworzy skupienia bardzo drobnokrystalicznych ziaren. Wypełniają one pierwotną przestrzeń porową w skale oraz występują w ilastych laminach wzbogaconych w materię organiczną. Punktowe analizy chemiczne wykazały, że minerał tworzący je odpowiada składem syderytowi oraz syderoplesytowi (tab. 1; fig. 3A, B). Miejscami występuje też syderyt grubokrystaliczny, niekiedy wykształcony w postaci romboedrow. Obrazy typu BSE z mikroskopu elektronowego ujawniły złożoność jego budowy. W obrębie cementu syderytowego zaznaczają się obszary wyraźnie różniące się odcieniem szarości, których barwa związana jest głównie z zawartością magnezu (tab. 1, fig. 3C, D). Punktowe analizy chemiczne wskazują na występowanie syderoplesytu oraz miejscami pistomesytu. W porównaniu z drobnokrystalicznym syderytem jego grubokrystaliczna odmiana charakteryzuje się wyższą zawartością MgCO₃. Romboedry syderoplesytów i pistomesytów opisywane były wcześniej, m.in. w klastycznych osadach jury środkowej rejonu Kujaw (Maliszewska, 1998) oraz w piaskowcach karbonu rowu lubelskiego (Kozłowska, 1997, 2004). W analizowanych piaskowcach stwierdzono zastępowanie przez syderyt ziaren kwarcu i skalenia oraz cementów: kwarcu autigenicznego i kaolinitu. Ankeryt tworzy cement sparowy, często w postaci izolowanych euhedralnych kryształów romboedrycznych. Ponadto ankeryt zastępuje niekiedy ziarna skalenia i kwarcu oraz składniki cementu: kwarcu autigenicznego, syderytu i kaolinitu. Lokalnie obserwujemy efekty procesów rozpuszczania ankerytu. Ze względu na znaczną zawartość Fe⁺² ankeryt w badaniach w CL nie wykazuje świecenia.

Autigeniczne minerały ilaste reprezentowane są głównie przez kaolinit, którego zawartość w skale wynosi maksymalnie 3,0% obj. skały. Najczęściej kaolinit występuje w formie

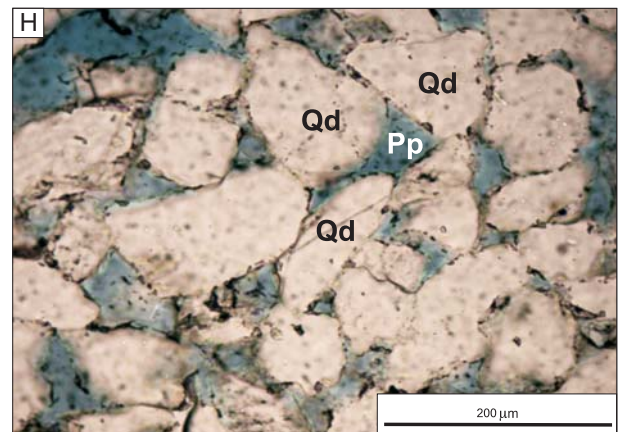
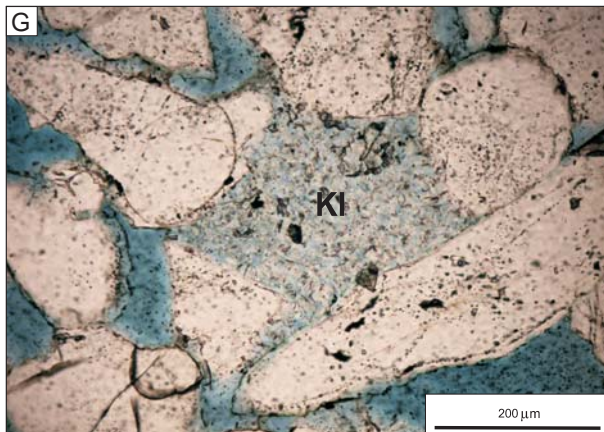
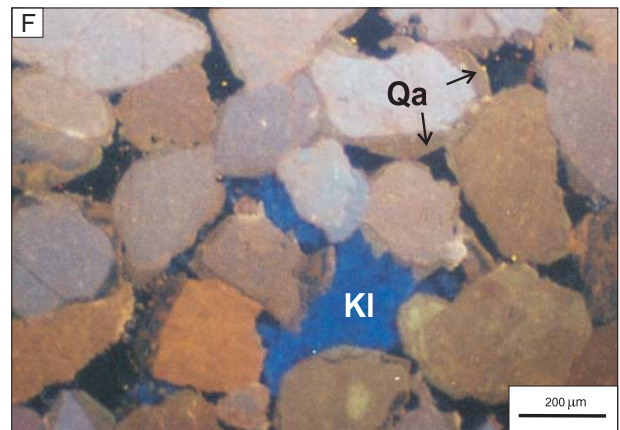
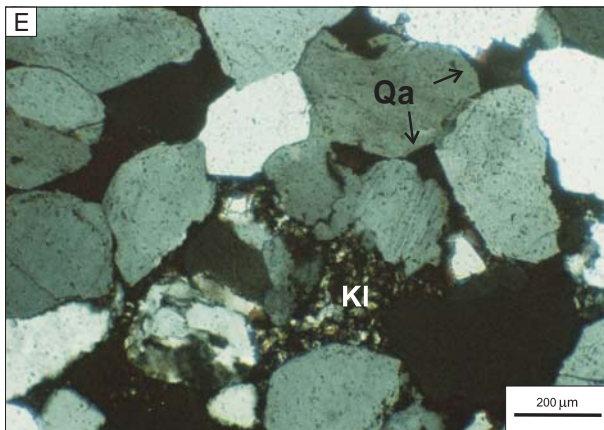
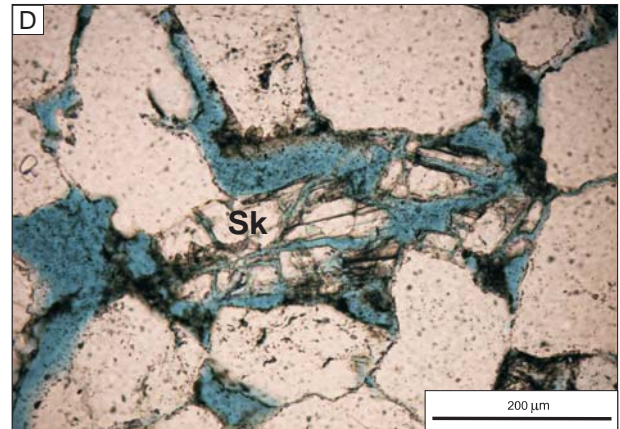
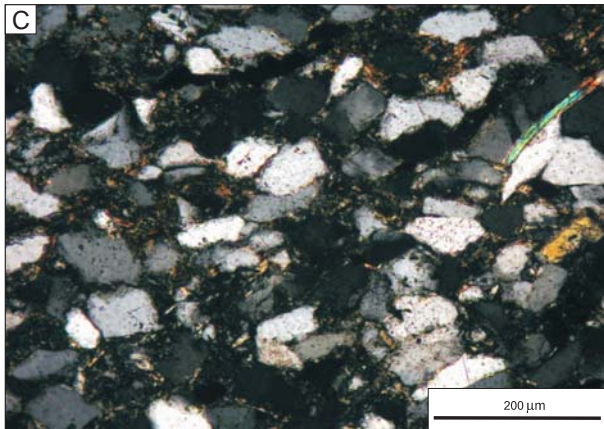
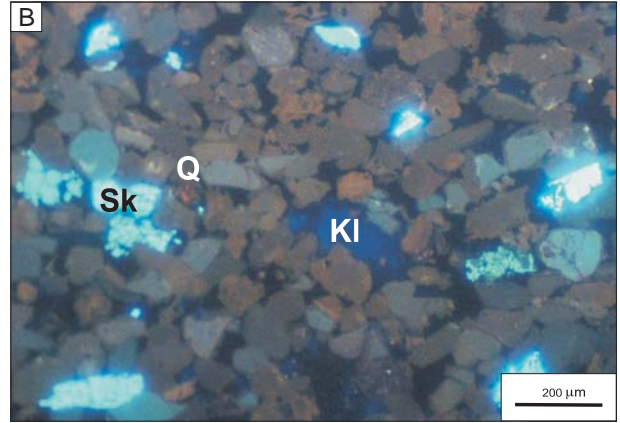
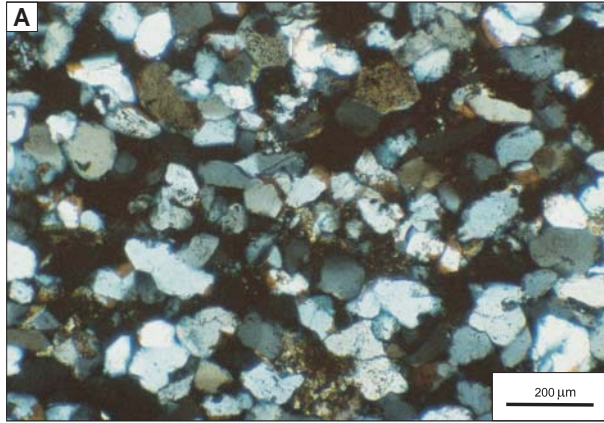


Fig. 2. Zdjęcia wykonane w mikroskopie polaryzacyjnym (PL) i w katodoluminescencji (CL)

A. Piaskowiec drobnoziarnisty, arenit kwarcowy; otwór wiertniczy Zaosie 2; głębokość 1006,1 m; PL – nikole skrzyżowane. **B.** Obraz w CL próbki z figury 2A; ziarna skaleni potasowych (Sk) wykazują luminescencję barwy niebieskiej, a ziarna kwarcu (Q) są brązowe; kaolinit (Kl) świeci w kolorze ciemnoniebieskim. **C.** Piaskowiec drobnoziarnisty, waka subarkozowa; tekstura kierunkowa podkreślona ułożeniem minerałów ilastych, łyszczyków i materii organicznej; otwór wiertniczy Jeżów IG 1; głębokość 1286,2 m; PL – nikole skrzyżowane. **D.** Porowatość wtórna powstała w wyniku rozpuszczania skałenia potasowego (Sk) w arenicie kwarcowym; otwór wiertniczy Jeżów IG 1; głębokość 795,4 m; PL – bez analizatora. **E.** Cementy kwarcowy (Qa) i kaolinitowy (Kl) w średnioziarnistym arenicie kwarcowym; otwór wiertniczy Jeżów IG 1; głębokość 1772,9 m; PL – nikole skrzyżowane. **F.** Obraz w CL próbki z figury 2E; kwarc autogeniczny (Qa) wykazuje luminescencję barwy ciemnobrązowej, a ziarna kwarcu są brązowe; kaolinit (Kl) świeci w kolorze ciemnoniebieskim. **G.** Mikroporowatość widoczna między krystalitami kaolinitu (Kl); otwór wiertniczy Florentyna IG 2; głębokość 1420,2 m; PL – bez analizatora. **H.** Porowatość pierwotna (Qa) pomiędzy ziarnami kwarcu (Qd) w arenicie kwarcowym; otwór wiertniczy Florentyna IG 2; głębokość 1345,3 m; PL – bez analizatora

Photographs taken in polarizing microscope (PL) and cathodoluminescence (CL)

A. Fine-grained sandstone, quartz arenite; Zaosie 2 borehole; depth 1006.1 m; PL – crossed nicoles. **B.** CL image of sample shown in Figure 2A; blue luminescence of potassium feldspar (Sk) and brown luminescence of quartz grains (Q); dark blue luminescence of kaolinite (Kl). **C.** Fine-grained sandstone, subarkosic wacke; lamination accentuated by arrangement of clays, micas and organic matter; Jeżów IG 1 borehole; depth 1286.2 m; PL – crossed nicols. **D.** Secondary porosity formed by dissolution of potassium feldspar (Sk) in quartz arenite; Jeżów IG 1 borehole; depth 795.4 m, PL – without analyser. **E.** Quartz (Qa) and kaolinite (Kl) cements in medium-grained quartz arenite; Jeżów IG 1 borehole; depth 1772.9 m; PL – crossed nicoles. **F.** CL image of sample shown in Figure 2E; dark brown luminescence of authigenic quartz (Qa) and brown luminescence of quartz grains; dark blue luminescence of kaolinite (Kl). **G.** Microporosity between kaolinite crystals (Kl); Florentyna IG 2 borehole; depth 1420.2 m; PL – without analyser. **H.** Primary porosity (Pp) between quartz grains (Qd) in quartz arenite; Florentyna IG 2 borehole; depth 1345.3 m; PL – without analyser

Tabela 1

Skład chemiczny (EDS) węglanów (w % mol)
Chemical composition (EDS) of carbonates (in % mol)

Otwór wiertniczy	Głębokość [m]	Numer analizy	CaCO ₃	MgCO ₃	FeCO ₃	MnCO ₃	Rodzaj węglanu
Jeżów IG 1	1006,0	1	1,0	0,0	97,1	1,9	syderyt
		2	2,8	23,5	71,7	2,0	syderoplesyt
	1007,4	1	1,5	20,4	75,6	2,5	syderoplesyd
		2	1,2	0,0	95,4	3,4	syderyt
	1400,8	1	0,8	29,0	69,0	1,2	pistomesyt
		2	0,2	15,2	83,4	1,2	syderoplesyt
		3	0,7	17,4	79,9	2,0	syderoplesyt
	1704,7	1	0,6	30,6	66,9	1,9	pistomesyt
		2	0,1	16,5	81,6	1,8	syderoplesyt
		3	0,4	18,8	78,9	1,9	syderoplesyt
1712,9	1	1,4	16,8	79,7	2,1	syderoplesyt	
	2	5,0	0,5	93,3	1,2	syderyt	
	3	5,1	0,6	94,2	0,1	syderyt	
Zaosie 2	1005,2	1	0,1	10,2	87,6	2,1	syderoplesyt
		2	2,1	23,2	72,1	2,6	syderoplesyt
	1006,1	1	0,0	13,9	84,7	2,4	syderoplesyt
		2	0,4	22,5	75,2	1,9	syderoplesyt
		3	0,0	4,9	92,7	2,4	syderyt
		4	0,3	16,4	81,7	1,6	syderoplesyt
		5	0,5	9,0	87,2	3,3	syderoplesyt

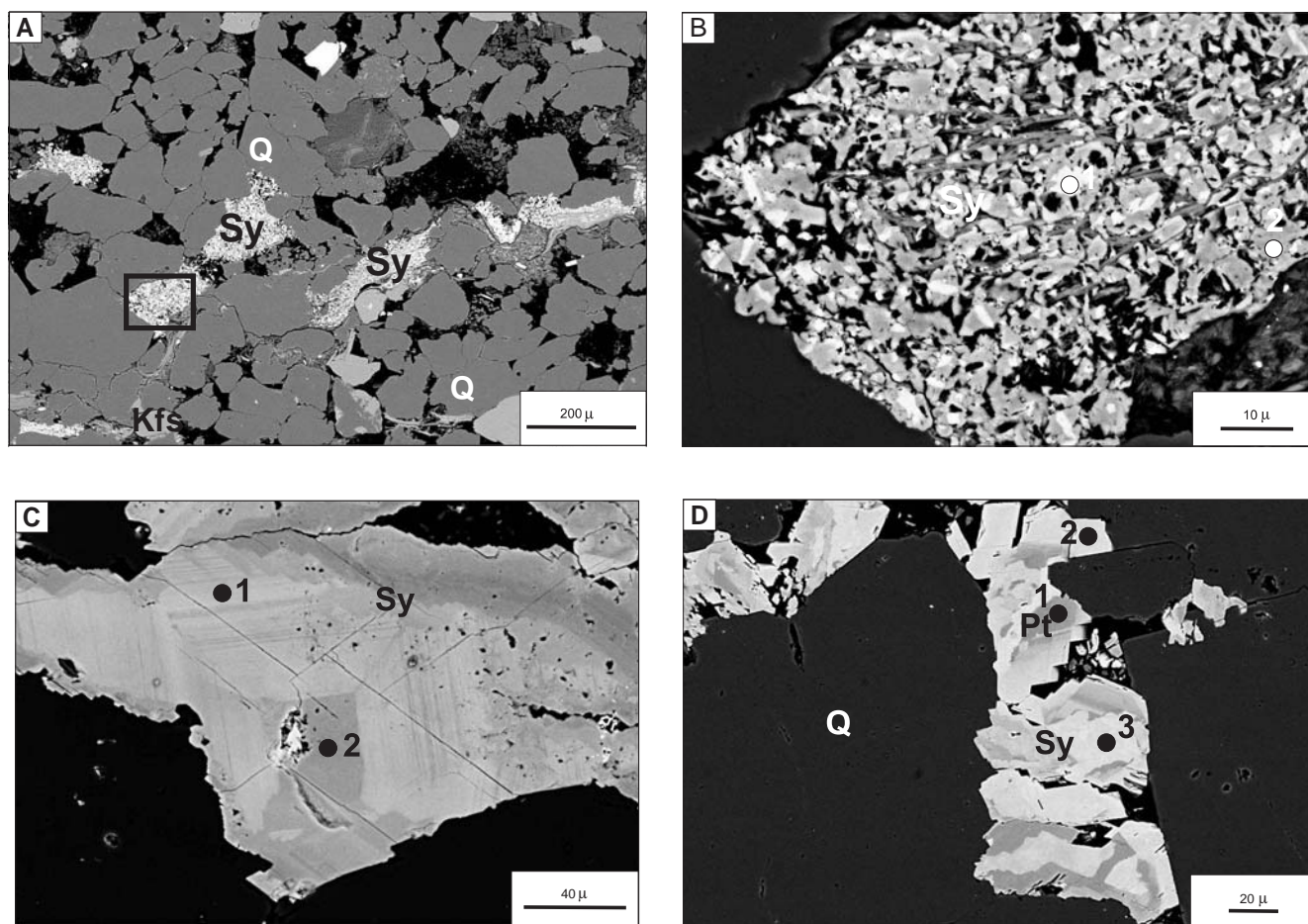


Fig. 3. Zdjęcia wykonane w skaningowym mikroskopie elektronowym (BSE)

A. Cement syderytowy (Sy) w drobnoziarnistym arenicie kwarcowym; otwór wiertniczy Jeżów IG 1; głębokość 1006,8 m. **B.** Fragment zaznaczony na figurze 3A; cement syderytowy z punktami analiz chemicznych (EDS; tabela 1). **C.** Cement syderoplesytowy (Sy) o budowie pasowej z punktami analiz chemicznych (EDS; tabela 1). **D.** Cementy syderoplesytowy (Sy) i pistomesytowy (Pt) z punktami analiz chemicznych (EDS, tabela 1); Otwór Jeżów IG 1; głębokość 1704,7 m

Scanning electron microscope (BSE) photographs

A. Siderite cement (Sy) in fine-grained quartz arenite; Jeżów IG 1 borehole, depth 1006.8 m. **B.** Image fragment marked in Figure 3A; points of chemical analysis (EDS) in siderite cement (Table 1). **C.** Zoned structure of sideroplesite (Sy) cements with points of chemical analysis (EDS; Table 1); Zaosie 2 borehole, depth 1005.2 m. **D.** Sideroplesite (Sy) and pistomesite (Pt) cements with points of chemical analysis marked (EDS; Table 1); Jeżów IG 1; głębokość 1704.7 m

plytkowych agregatów, które w elektronowym mikroskopie skaningowym widoczne są jako pseudoheksagonalne kryształy tworzące charakterystyczne formy książeczkowe. W obrazie katodoluminescencyjnym kaolinit charakteryzuje się barwą ciemnoniebieską (fig. 2B, F) dzięki czemu jest łatwiejszy do identyfikacji niż w standardowym obrazie mikroskopowym (fig. 2E, G). W przypadku kaolinitu dane planimetryczne mogą być więc nieco zaniżone. Obserwacje mikroskopowe wskazują na występowanie kaolinitu robako watego (Kozłowska, 2004). Chloryt autigeniczny, tworzący obwódki na ziarnach kwarcu, obserwowano lokalnie w obrazie z mikroskopu elektronowego (Gomunice 13; głębokość 1035–1041 m). Na podstawie analizy składu che-

micznego w mikrosondzie energetycznej EDS ISIS stwierdzono, że chloryty reprezentują odmianę żelazisto-magnezową (Kozłowska, 2009).

MUŁOWCE

Skały aleurytowe reprezentowane są przez mułowce i mułowce piaszczyste. Charakteryzują się one przeważnie teksturą kierunkową, podkreśloną równoległym ułożeniem blaszek minerałów ilastych i łyszczyków, którym często towarzyszą materia organiczna i drobnokrystaliczny syderyt, wodorotlenki żelaza oraz lokalnie piryt (fig. 4A). Skład mi-

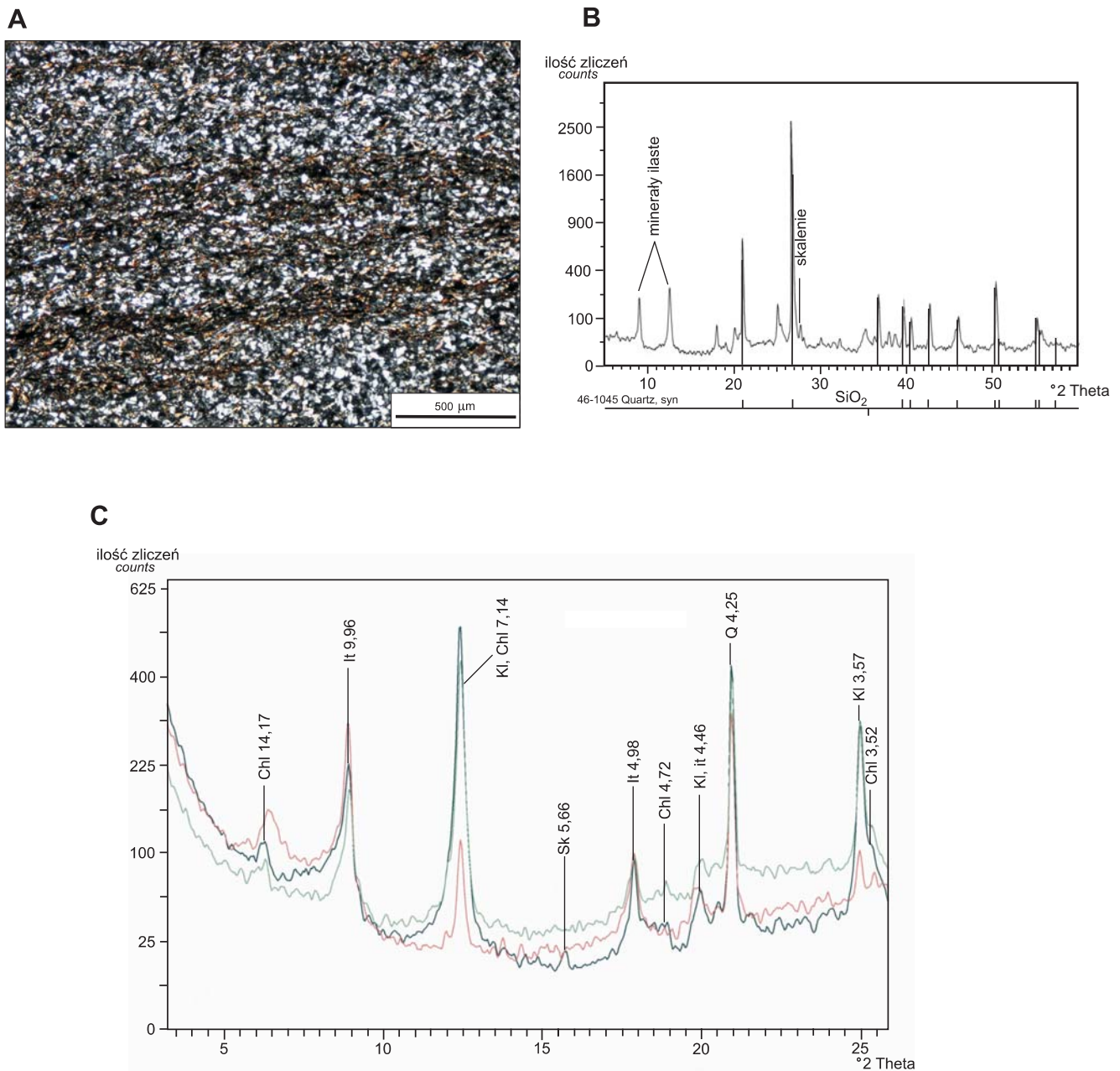


Fig. 4. **A.** Obraz mikroskopowy laminowanego mułowca; otwór wiertniczy Jeżów IG 1; głębokość 1177,1 m; PL – nikle skrzyżowane. **B.** Dyfraktogram rentgenowski (skład fazowy całej próbki). **C.** Dyfraktogram rentgenowski orientowanych preparatów frakcji ilastej w stanie powietrzno-suchym (kolor czarny), glikolowanych (kolor zielony) i prażonych w temperaturze 550°C (kolor czerwony); zidentyfikowano: Chl – chloryt, It – illit, Kl – kaolinit, Sk – skalenie i Q – kwarc

A. Microscopic image of laminated mudstone; Jeżów IG 1 borehole; depth 1177.1 m; PL – crossed nicols. **B.** Diffraction pattern (whole sample phase composition). **C.** Diffraction pattern of welloriented clay fraction preparations air-dried (black), ethylene glycol-solvated (green) and heated in 550°C (red); Identified: Chl – chlorite, It – illite, Kl – kaolinite, Sk – feldspar and Q – quartz

neralny mułowców jest analogiczny do składu piaskowców. Ziarna materiału detrytycznego są najczęściej nieobtoczone. Masa podstawowa złożona jest w różnej proporcji z następujących składników: minerałów ilastych, pyłu kwarcowego, rozproszonych wodorotlenków żelaza i materii organicznej. Miejscami mułowce są zsyderytyzowane, a w niektó-

rych próbkach obserwowano sferolity syderytowe. Badania próbek przy użyciu dyfrakcji rentgenowskiej wykazały obecność kwarcu i skaleni alkalicznych, a szczegółowe analizy dyfrakcyjne frakcji ilastej występowały: kaolinitu, illitu i chlorytu (klinochloru; fig. 4B, C).

ŁOWCE

Łowce są skałami pelitowymi lub pelitowo-aleurytowymi, złożonymi głównie z ilastej masy podstawowej bogatej w illit i kaolinit oraz miejscami chloryt (Krystkiewicz,

1999). Zawierają one także pył kwarcowy, drobną sieczkę roślinną, wodorotlenki żelaza, materię organiczną i piryt, a niekiedy syderyt w postaci drobnokrystalicznej lub w formie sferolitów. W łowcach często obserwujemy blaszki muskowitu, biotyty i chlorytu.

PRZESTRZEŃ POROWA PIASKOWCÓW

Badania laboratoryjne skał wykazały, że porowatość całkowita waha się od 4,96 do 31,5%, przeciętnie powyżej 15,0%. Na podstawie klasyfikacji Jenyona (1990) piaskowce jury dolnej można zaliczyć do skał o dobrej, a miejscami bardzo dobrej porowatości. Porowatość mierzona w płytkach cienkich waha się od 0,3 do 31,7% obj. skały, przeciętnie wynosi ponad 10,0% obj. W analizowanych piaskowcach dominuje porowatość pierwotna (fig. 2H), lokalnie wtórna (fig. 2D, G). Wpływ na częściowe zachowanie pierwotnej porowatości w skale, pomimo działania kompaktacji mechanicznej, mogły mieć wczesne cementy. Wydaje się, że największe znaczenie miały obwódki kwarcu autigenicznego, które ograniczyły działanie tego procesu. Porowatość wtórna powstała głównie jako efekt rozpuszczania ziarn skałeni potasowych, ponadto pomiędzy krystalitami minerałów ilastych występuje mikroporowatość. Różnice w pomiarach porowatości metodą laboratoryjną oraz planimetryczną mogą wskazywać na ilość mikroporów w skale, których nie da się pomierzyć w płycie cienkiej.

Przepuszczalność piaskowców waha się od 0,1 do 1361,7 mD. Większość próbek charakteryzuje się dobrą przepuszczalnością (10–100 mD), a niektóre nawet bardzo dobrą (>100 mD) zgodnie z klasyfikacją Levorsena (1956). Nieliczne piaskowce są nieprzepuszczalne (<0,1 mD).

Charakterystykę przestrzeni porowej skały przedstawiono na podstawie pomiarów porozymetrycznych: porowatości dynamicznej (określa objętość porów mogących przewodzić płyny złożowe), udziału procentowego porów o średnicy >1 μm , wielkości średnicy progowej (wyznacza rozmiary porów, w których zaznacza się ciągły przepływ przez próbkę) i histerezy (im mniejsza tym lepsze właściwości filtracyjne skały). Pomierzone wartości mieszczą się w następujących przedziałach: współczynnik porowatości dynamicznej 4,7–30,0%, średnia wartość ilości porów >1 μm 5–99%, średnica progowa 0,2–64,0 μm i histereza 2–87%. Przeciętne wielkości tych parametrów wynoszą odpowiednio: 20,5%, 68%, 27 μm oraz 40% i wskazują na bardzo dobre cechy przestrzeni porowej piaskowców jury dolnej.

PODSUMOWANIE

Osady jury dolnej w rejonie Bełchatowa są wykształcone głównie jako piaskowce, mułowce i łowce. Piaskowce reprezentują najczęściej arenity i waki kwarcowe od bardzo drobno- do średnioziarnistych. Głównym składnikiem ich szkieletu ziarnowego jest kwarc, natomiast skałenie, litoklasty i łuszczyki występują w niewielkiej ilości. Materiał detrytyczny spojony jest matriksem oraz cementem. Analiza piaskowców wykazała bardzo dobre i dobre właściwości filtracyjne tych skał. Charakteryzują się one porowatością, która często wynosi powyżej 15% i przepuszczalnością w przedziale od 0,1 do 1361,7 mD. Przeciętne wartości parametrów petrofizycznych wynoszą: porowatość dynamiczna – 20,5%, udział procentowy porów o średnicy >1 μm – 68%, wielkość średnicy progowej – 27,0 μm i histereza – 40%. W piaskowcach dominuje porowatość pierwotna, a porowatość wtórna, powstała głównie jako efekt rozpuszczania ziaren skałeni,

ma niewielkie znaczenie. Głównymi procesami, które miały wpływ na zmniejszenie porowatości pierwotnej piaskowców były kompaktacja i cementacja. Jednakże, tworzenie się wczesnych obwódek kwarcu autigenicznego na ziarnach kwarcu mogło przyczynić się do zachowania znacznej części porowatości w skale. Cement kwarcowy prawdopodobnie ograniczył działanie kompaktacji mechanicznej, która redukowała porowatość piaskowców. Cementami, które zmniejszyły przestrzeń porową piaskowców były węglany – syderyt i Fe-dolomit/ankeryt. Natomiast minerały ilaste reprezentowane głównie przez kaolinit, wykształcony w formie robakowatej, nie przyczyniły się do redukcji porowatości.

Podziękowania. Autorki dziękują Pani mgr M. Połńskiej i Panu dr. L. Krzemińskiemu za wykonanie części analiz planimetrycznych.

LITERATURA

- JAWOROWSKI K., 1987 — Kanon petrograficzny najczęstszych skał osadowych. *Prz. Geol.*, **4**: 205–209.
- JENYON M.K., 1990 — Oil and gas traps. Aspects of their seismostratigraphy, morphology and development. John Wiley and Sons, Chichester.
- KOZŁOWSKA A., 1997 — Cementy węglanowe w piaskowcach górnokarbońskich w północno-zachodniej części rowu lubelskiego. *Prz. Geol.*, **45**, 3: 301–304.
- KOZŁOWSKA A., 2004 — Diagenetyzacja piaskowców górnego karbonu występujących na pograniczu rowu lubelskiego i bloku warszawskiego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **411**: 5–70.
- KOZŁOWSKA A., 2009 — Jura dolna. W: Diagenetyzacja osadów mezozoicznych niecki łódzko-miechowskiej a ich właściwości zbiornikowe (red. M. Kuberska). Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KRYSTKIEWICZ E., 1999 — Jura dolna. W: Diagenetyzacja osadów permu górnego i mezozoiku Kujaw. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **167**: 64–77.
- LEVORSEN A.I., 1956 — Geology of petroleum. Freeman and Comp., San Francisco.
- MALISZEWSKA A., 1998 — New petrological data on carbonate mineralogy in the Middle Jurassic siliciclastic deposits of the Kujawy region (Polish Lowlands). *Geol. Quart.*, **42**, 4: 413–434.
- PETTIJOHN F.J., POTTER P.E., SIEVER R., 1972 — Sand and sandstones. Springer-Verlag, New York.
- SIKORSKA M., 2005 — Badania katodoluminescencyjne minerałów. *Instr. Met. Badań Geol.*, **59**.
- TARKOWSKI R. (red.), 2005 — Podziemne składowanie CO₂ w Polsce w głębokich strukturach geologicznych (ropo-, gazo- i wodonośnych). Wyd. IGSMiE, Kraków.