

CHARAKTER I GENEZA ZMIENNOŚCI WŁAŚCIWOŚCI ZBIORNIKOWYCH DOLNOKREDOWYCH PIASKOWCÓW WĘGLOWIECKICH (KARPATY ZEWNĘTRZNE)

ORIGIN OF VARIABILITY OF RESERVOIR PROPERTIES OF THE EARLY CRETACEOUS WĘGLÓWKA SANDSTONE (OUTER CARPATHIANS)

GRAŻYNA STAŃCZAK¹

Abstrakt. Dolnokredowe warstwy węglowieckie stanowią kolektor ropy naftowej i gazu w złożu Węglówka, które stanowi jedno z najwcześniej odkrytych złóż ropy w Karpatach fliszowych. W obrębie dwóch fałdów odsłaniających się w półoknie tektonicznym Węglówki zarejestrowano szereg profili warstw węglowieckich, w których zgodnie z metodyką analizy facjalnej opisano następujące litofacje: piaskowce zlepieńcowate (SC), piaskowce (S), piaskowce z mułowcami (SM), mułowce z piaskowcami (MS) oraz mułowce (M). Dla piaskowców wchodzących w skład litofacji SC, S i SM oznaczono gęstość pozorną i nasiąkliwość. Badania petrograficzne obejmowały obserwacje w mikroskopie optycznym i skaningowym oraz w katodoluminescencji, a także badania porozymetryczne i oznaczenia współczynnika przepuszczalności. Wyniki badań wskazują na dwa czynniki odpowiedzialne za korzystne właściwości zbiornikowe piaskowców węglowieckich. Pierwszy stanowi wczesna i ograniczona cementacja krzemionkowa, mająca istotne znaczenie dla opóźnienia postępu kompaktacji i zachowania porowatości osadu w początkowej fazie diagenety. Drugi czynnik to koncentracja cementu węglanowego w obrębie konkrecji. Bioklasty krzemionkowe oraz najdrobniejsze frakcje ziaren kwarcu stanowiły źródło mikrokrystalicznego cementu kwarcowego oraz cementu chalcedonowego. Lokalnie wysoka zawartość biogenicznej krzemionki była przyczyną obfitej cementacji chalcedonowej. Cementacja węglanowa przyczyniła się do znacznej redukcji tej przestrzeni porowej, jaka zachowała się po wcześniejszej kompaktacji osadu i cementacji krzemionkowej. Cement węglanowy, jak również okruchy węglanowe rejestrowano tylko w obrębie konkrecji, podczas gdy w ich otoczeniu stwierdzono brak detrytycznego materiału węglanowego i cementu węglanowego. Zatoki korozyjne w ziarnach kwarcu i skaleni notowane w otoczeniu konkrecji stanowią ślady po pierwotnych węglanach. Proces powstawania konkrecji węglanowych w piaskowcach węglowieckich można uznać jako wczesnodiagenetyczny, przemawia za tym wysoka zawartość cementu węglanowego oraz luźne upakowanie ziaren szkieletowych w obrębie konkrecji. Stwierdzono, że główną rolę w kształtowaniu cech zbiornikowych odgrywa skład mineralny materiału okrucowego, który decyduje o kierunku przemian diagenetycznych i wykształceniu określonego zespołu spoiw, podczas gdy litofacje są mniej istotne dla ich właściwości kolektorskich.

Słowa kluczowe: piaskowce węglowieckie, konkrecje węglanowe, litofacje, pierwotna porowatość, cementacja, kompaktacja, właściwości zbiornikowe, kreda dolna.

Abstract. The Early Cretaceous Węglówka Beds is the reservoir of the Węglówka Oil Field, one of the earliest discovered in the Outer Carpathians (exploited since 1888). This region is the cradle of world oil exploration and petroleum industry. The Węglówka Beds form two anticlines within the half-window of the Sub-Silesian Unit. A sedimentological analysis of several sections revealed the following lithofacies of the subaqueous gravity flow: conglomeratic sandstones (SC), sandstones (S), sandstone-mudstone couplets (SM), mudstone-sandstone couplets (MS) and mudstones (M). Apparent density and water absorptivity were determined for 47 sandstone samples collected from the facies SC, S, SM. The 15 most differentiated samples were selected for further petrographic and diagenetic studies with optical and scanning electron microscopes, X-ray diffraction and cathodoluminescence. Furthermore, mercury injection curves and permeability coefficients were determined. The results of analyses indicate that two factors are responsible for the good/positive reservoir properties of the Węglówka Sandstone. The first factor is the early and limited siliceous cementation. Siliceous sponge spicules and very fine quartz grains were the source of sparse chalcedonic cement and microcrystalline quartz, which formed rims around the grains while pores remained free. Compaction was inhibited and initial porosity was preserved to a large extent. Stronger chalcedonic cementation and the reduction of po-

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; gstanczak@geol.agh.edu.pl

rosity occurred only locally as the result of the high content of biogenic silica. The other factor is the carbonate cement, which occurs only in spots (concretions). Carbonate cementation brought about a large reduction of the pore space within the concretions, which survived compaction and siliceous cementation. Both carbonate cement and carbonate detrital material were observed only within concretions. Corrosion of quartz and feldspars was the only trace of primary carbonates in their close vicinity. In turn, the abundance of the carbonate cement and a loose grain framework in the carbonate concretions was the evidence of the early origin of concretions. The study has revealed that the mineral composition of the detrital components controlled the diagenesis and formation of specific assemblages of cements and thus played the main role in modelling the reservoir properties of the Węglówka Sandstone. Those properties were controlled by the sedimentary conditions (facies) to a far lesser extent.

Key words: Węglówka sandstone, carbonate concretions, facies, initial porosity, cementation, compaction, reservoir properties, Early Cretaceous.

WSTĘP

Na przedpołu czołowego nasunięcia płaszczowiny śląskiej w półknie tektonicznym Węglówki wyłania się jednostka podśląska, gdzie spod pstrych utworów kredy górnej wynurzają się dwie antykliny zbudowane między innymi z dolnokredowych warstw węglowieckich (Nowak, 1925; Goblot, 1928; Teisseyre, 1947; Jucha, Jabczyński, 1960;

Wdowiarsz, 1968). Stanowią one kolektor ropy naftowej i gazu w złożu Węglówka, które należy do jednych z najwcześniejszych odkrytych złóż ropy naftowej (eksploatacja trwa od 1888 roku) w Karpatach fliszowych, regionie będącym światową kolebką eksploracji naftowych (fig. 1, 2). W rejonie Węglówki profil warstw węglowieckich (fig. 3) dzieli się na

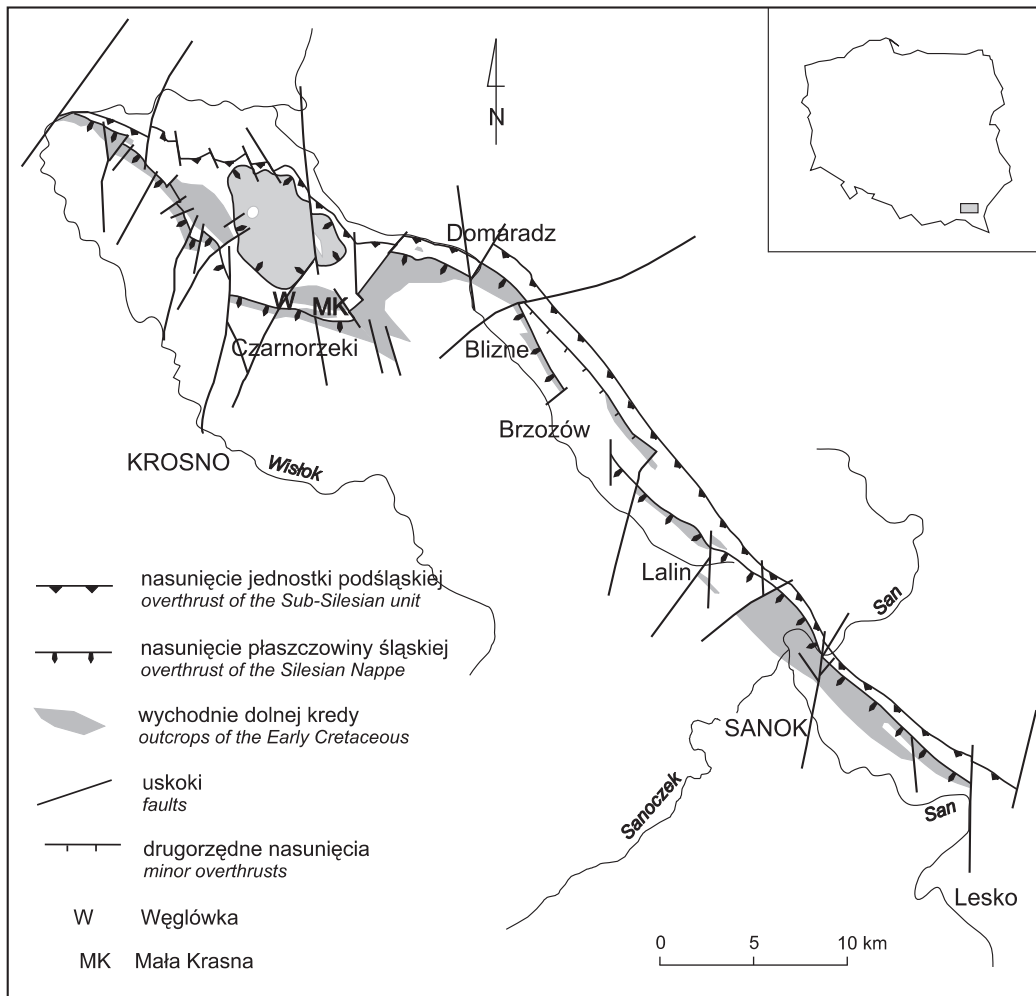


Fig. 1. Wychodnie dolnej kredy w strefie nasunięcia płaszczowiny śląskiej na jednostkę podśląską we wschodniej części polskich Karpat zewnętrznych (Geological Map... 2004, uzupełniona wg Mitura, Birecki, 1966)

Geological sketch showing outcrop belt of the Early Cretaceous within the frontal thrust of the Silesian Nappe over the Sub-Silesian Unit (Geological Map... 2004, completed after Mitura, Birecki, 1966)

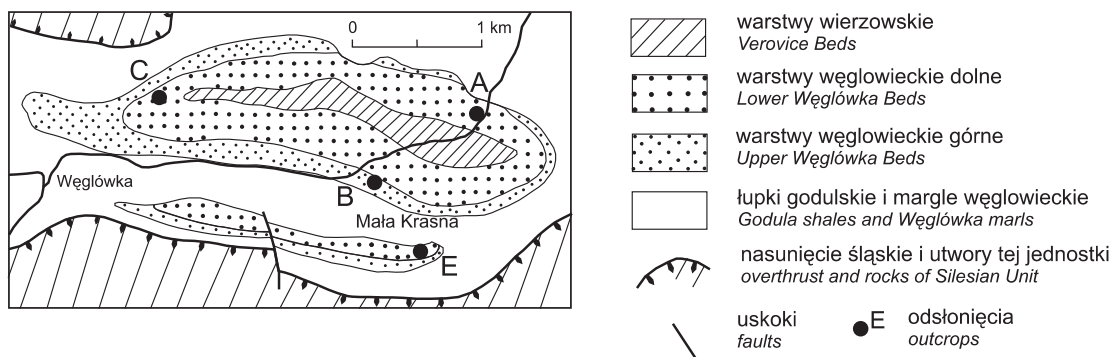


Fig. 2. Odslonięcia w półoknie tektonicznym Węglówki (wg Jucha i in., 1982)

Outcrops within half-window of Węglówka (after Jucha *et al.*, 1982)

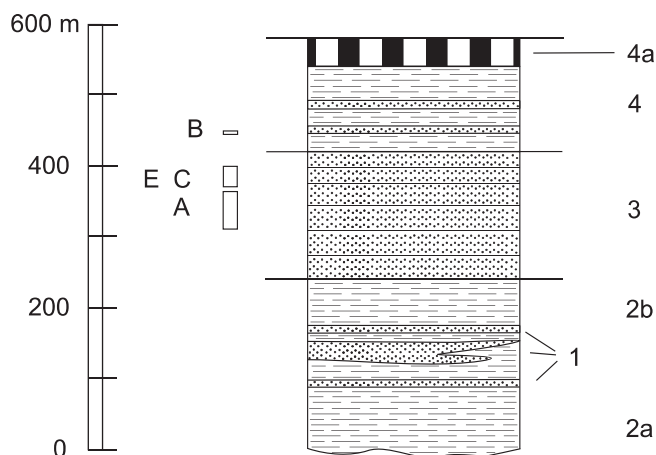


Fig. 3. Lokalizacja odslonień na tle profilu litostratigraficznego dolnej kredy jednostki podśląskiej w rejonie Węglówka–Krasna (wg Wdowiarz, Jucha, 1963)

Stratigrafia: 4a – margle krzemionkowe i spongiolity, 4 – górne warstwy węglowieckie, 3 – dolne warstwy węglowieckie, 2b – górne łupki wierzowskie, 1 – piaskowce grodziskie, 2a – dolne łupki wierzowskie; odslonięcia: B – antyklina północna, złoża Mała Krasna (odslonięcie B), C – antyklina północna, złoża Węglówka (odslonięcie C), A – antyklina północna, kamieniołom Mała Krasna (odslonięcie A), E – antyklina południowa (odslonięcie E)

Outcrops and the Early Cretaceous lithostratigraphic profile of the Sub-Silesian Unit in the area of Węglówka–Krasna (after Wdowiarz, Jucha, 1963)

Stratigraphy: 4a – the siliceous marls and spongiolities, 4 – the Upper Węglówka Beds, 3 – the Lower Węglówka Beds, 2b – the Upper Verovice Shales, 1 – the Grodziszcz Sandstones, 2a – the Lower Verovice Shales; outcrops: B – the northern anticline, Mała Krasna deposit (outcrop B), C – the northern anticline, Węglówka deposit (outcrop C), A – the northern anticline, Mała Krasna quarry (outcrop A), E – the southern anticline (outcrop E)

dolny oddział piaskowców gruboławicowych (dolne warstwy węglowieckie – alb środkowy) oraz oddział górny łupkowo-piaskowcowy z wkładkami gez (górne warstwy węglowieckie – alb górny), w którego stropie zalega wyższa część warstw gezowych górnych, wykształcona jako margle krzemionkowe i spongiolity – ce-

noman dolny (Koszarski i in., 1959; Koszarski, Nowak, 1960). Dolnokredowe warstwy węglowieckie serii podśląskiej stanowią odpowiednik warstw łgoeckich dolnych i gezowych górnych oraz rogowca mikuszowickiego (Koszarski red., 1985).

METODYKA BADAŃ

Podczas badań terenowych zarejestrowano w warstwach węglowieckich szereg profili, w których zgodnie z metodyką analizy facjalnej (Słomka, 1995) wyróżniono litofacje i ustalono dla nich udziały miąższościowe. Dolne warstwy węglowieckie w niższej części buduje głównie litofacja piaskowców zlepieńcowatych (SC), a podrzędnie piaskowce przechodzące w mułowce (SM). Ta ostatnia litofacja (SM) oraz piaskowce (S) stanowią główny składnik wyższej części dolnego oddziału warstw węglowieckich. Natomiast górne warstwy węglowieckie buduje zespół litofacyjny pia-

skowcowo-mułowcowy (SM-MS) oraz podrzędnie piaskowce zlepieńcowate (SC).

Piaskowce wchodzące w skład litofacji SC, S, SM zostały opróbowane (zbiór 47 próbek) i dla nich oznaczono gęstość pozorną i nasiąkliwość (PN-EN 1936; PN-EN 13755). Wielkość tych parametrów fizycznych, uwarunkowana składem petrograficznym i ziarnowym skały (m.in. Peszat, Buczek-Pułka, 1986), była podstawą selekcji 15 próbek do dalszych badań. Próbki pobierano z głębszych części ławic (kil-

kanaście cm od powierzchni), zwłaszcza w obrębie rozsypanych piaskowców.

Obserwacje mikroskopowe szlifów impregnowanych niebieską żywicą przeprowadzono w świetle przechodzącym, wykonano także badania katodoluminescencyjne w aparaturze CCL 8200 mk4a Cambridge Image Technology Ltd współpracującej z mikroskopem polaryzacyjnym Nikon Optiphot T2-Pol. Wybrane próbki piaskowców były badane w mikroskopie skaningowym JEOL 5200, wyposażonym w analizator chemiczny EDS Link eXL. Uziarnienie ustalano mierząc maksymalne średnice 300 kolejnych ziaren przeciętych przez linię pomiarową, skąd dalej na podstawie szeregów kumulacyjnych wyznaczano graficzne parametry ziarnowe według formuł Folka, Warda (1957). Relacje przestrzenne składników detrytycznych określano na podstawie oceny indeksu kondensacji (IK) oraz średniego wskaźnika kontaktów (SWK), które według Allena (1962) stanowią miarę stopnia kompaktacji. Ustalano również wskaźnik ilości kontaktów (WIK), zdefiniowany przez Pettijohna i in. (1972).

WYNIKI BADAŃ PETROGRAFICZNYCH

Materiał okruchowy w szlifach litofacji piaskowców zlepieńcowatych (SC) charakteryzuje się największym rozrzutem wielkości ziaren ($-1,90-5 \text{ } \ddot{\text{o}}$), ich średnia średnica (GSS) waha się od 0,43 do 2,30 $\ddot{\text{o}}$, stopień wysortowania ziaren przeważnie jest umiarkowany i zły, rzadziej umiarkowanie dobry (GSO: 0,81–1,53). W szlifach litofacji piaskowców (S) wielkości ziaren mają mniejszy rozrzut ($-0,60-5 \text{ } \ddot{\text{o}}$), ich przeciętna średnica oscyluje między 0,63 a 3,03 $\ddot{\text{o}}$, najczęściej są one umiarkowanie dobrze wysortowane, rzadziej umiarkowanie oraz źle (GSO: 0,51–1,09). Materiał detrytyczny piaskowców należących do litofacji piaskowców przechodzących w mułowce (SM) charakteryzuje się najmniejszym rozrzutem wielkości ziaren ($-0,46-5 \text{ } \ddot{\text{o}}$), umiarkowanym i rzadziej umiarkowanie dobrym stopniem wysortowania (GSO: 0,77–0,88), podczas gdy średnia średnica ziaren waha się od 1,00 do 2,08 $\ddot{\text{o}}$.

Jakość wysortowania materiału (GSO) zależy od wielkości ziaren (GSS), im drobniejsze ziarna tym lepsze jest ich wysortowanie; zależność ta dla całego zbioru próbek piaskowców węglowieckich odznacza się współczynnikiem korelacji liniowej równym $[-0,48]$. Indeks kondensacji (IK) oraz średni wskaźnik kontaktów (SWK) obliczone dla próbek z niższej części dolnych warstw węglowieckich wykazują wyższe wartości, odpowiednio 0,42–0,97 oraz 3,74–4,69, w stosunku do próbek piaskowców z wyższej części tego poziomu (odpowiednio 0–0,12 dla IK oraz 0,77–2,41 dla SWK). Tendencja spadkowa utrzymuje się dalej ku stropowi profilu, gdzie dla próbek z górnych warstw węglowieckich wartości indeksu kondensacji oraz średniego wskaźnika kontaktów są niższe i wynoszą odpowiednio 0–0,09 i 0,99–2,94. Podobnie zachowuje się wskaźnik ilości kontaktów (WIK), gdyż dla próbek dolnych warstw węglowieckich w niższej części zmienia się w zakresie 0,95–1,00, zaś w wyższej części:

Skład mineralny piaskowców określano metodą punktową przy użyciu stolika integracyjnego Eltinor. W każdym preparacie, w odstępie dobranym w zależności od wielkości ziarna, rejestrowano 500 punktów (Galehouse, 1971; Ratajczak i in., 1998), w których oznaczano standardowo wyróżniane składniki ziarnowe, pory lub spoiwo (Unrug, 1968; Bromowicz, 1992; Peszat, 1999). Oceniano zawartość ziaren odpornych oraz nieodpornych na działanie kompaktacji (Bloch, 1991; Worden i in., 2000). Do odpornych kwalifikowano ziarna kwarcu, fragmenty skał magmowych (granitoidy), metamorficznych (gnejsy, łupki krystaliczne), osadowych (okruchy piaskowców, skał krzemionkowych, wapieni) oraz minerały akcesoryczne. Jako składniki nieodporne zaliczano ziarna skaleni, blaszki mik, glaukonit, bioklasty, okruchy skał wylewnych, mułowców, łupków i substancję organiczną wraz z towarzyszącym jej pirytem. Spoiwo piaskowców dzielono na matriks pochodzenia detrytycznego oraz cement.

0,57–0,94. Natomiast dla górnych warstw węglowieckich waha się on w granicach 0,62–0,95. Zróżnicowanie parametrów upakowania wskazuje na wyższy stopień zagęszczenia szkieletu ziarnowego dolnych warstw węglowieckich i tym samym wyższy stopień ich kompaktacji w stosunku do górnych warstw węglowieckich. Jednak takie zachowanie wartości indeksów może być związane ze zmiennością litofacyjną profilu dolnych i górnych warstw węglowieckich i stopniem wysortowania materiału detrytycznego w poszczególnych litofacjach. Stwierdzono związek między indeksem kondensacji (IK) a wysortowaniem materiału okruchowego (GSO), dla którego współczynnik korelacji liniowej równy jest $[0,56]$. Zależność ta wskazuje na większą zawartość ziaren nieustalonych i wolnych w stosunku do ustalonych (IK mniejsze) w lepiej wysortowanym materiale okruchowym (GSO mniejsze), natomiast wyższy jest udział ziaren ustalonych w gorzej wysortowanym osadzie (GSO większe).

Wśród składników szkieletowych dominują ziarna odporne mechanicznie, gdyż ich średni udział osiąga 71,1% (50,7–86,7%), przy odchyleniu standardowym 11,3%. Natomiast ziarna podatne na odkształcenia mechaniczne stanowią średnio 8,1% (4,4–17,1%), przy odchyleniu standardowym 3,4% (tab. 1).

Spoiwo piaskowców węglowieckich w przeważającej części prób ma skład krzemionkowo-ilasty (suma spoiw 7,0–35,0%, średnio 22,2%) bądź ilasto-krzemionkowy (suma spoiw 6,0–12,0%, średnio 10,1%), rzadziej węglano-krzemionkowo-ilasty (suma spoiw 25,3%) lub węglano-krzemionkowy (suma spoiw 33,2–35,5%). Ogólna zawartość sumy spoiw waha się od 6,0 do 35,5%, zaś jej średnia wynosi 20,8%, przy odchyleniu standardowym 10,5%. Zawartość sumy spoiwa krzemionkowego zmienia się w zakresie 0,2–32,9%, a jej średnia wynosi 11,0%. Do składni-

Tabela 1

Piaskowce warstw węglowieckich – skład mineralny i zawartość porów

Sandstones of the Węglówka Beds – mineral composition and microscope measured content of pores [% of volume]

Składniki mineralne i pory [% obj.]	Min	Max	\bar{x}	s	V
Kwarc – <i>Q</i>	47,8	84,2	66,4	10,6	16,0
monokrystaliczny – <i>Q</i>	32,8	63,6	45,3	8,4	18,5
polikrystaliczny – <i>Q</i>	3,2	38,2	21,0	11,9	56,5
Skalenie – <i>F</i>	1,5	4,3	3,4	0,8	23,6
potasowe	0,9	3,4	2,4	0,8	31,8
plagioklasy	0,5	1,5	1,0	0,3	30,4
Okruchy skał obcych – <i>R</i>	1,1	7,6	4,4	1,9	43,7
skały magmowych – <i>R</i>	0	4,5	2,1	1,4	70,1
skały metamorficznych – <i>R</i>	0	2,7	1,1	0,8	66,6
skały osadowe inne – <i>R</i>	0,2	3,2	1,2	0,9	78,3
piaskowce	0	0,8	0,3	–	–
skały krzemionkowe	0	2,2	0,7	–	–
skały ilaste	0	1,3	0,2	–	–
skały węglanowe – <i>R</i>	0	0,6	0,04	–	–
wapienie mikrytowe	0	0,6	0,04	–	–
Bioklasty – <i>B</i>	0	1,6	0,1	–	–
Łyszczki – <i>M</i>	0	1,9	0,3	–	–
Glaukonit – <i>Gl</i>	0	5,0	1,6	1,3	80,3
Piryty i substancja organiczna – <i>PO</i>	0,2	10,9	2,5	2,5	99,1
Minerały ciężkie – <i>M</i>	0	1,5	0,5	0,4	98,6
Spoiwo – <i>MC</i>	6,0	35,5	20,8	10,5	50,3
spoiwo krzemionkowe – <i>C</i>	0,2	32,9	11,0	10,5	94,7
cement mikrokrystaliczny	0	22,4	5,7	–	–
obwódki regeneracyjne	0	24,5	3,4	–	–
cement chalcedonowy	0	29,0	1,9	–	–
spoiwo ilaste – <i>MC</i>	0	11,5	3,9	3,5	91,3
matriks ilasta	0	6,9	2,4	–	–
kaolinit detrytyczny	–	–	–	–	–
formy autigeniczne – suma	0	7,3	1,5	–	–
kaolinit autigeniczny	0	0,4	0,03	–	–
spoiwo węglanowe – <i>MC</i>	0	34,7	5,9	–	–
matriks mikrytowa	0	1,9	0,1	–	–
sparyt ortochemiczny	0	1,0	0,1	–	–
pseudosparyt	0	34,7	5,7	–	–
Ziarna odporne mechanicznie – <i>R</i>	50,7	86,7	71,1	11,3	16,0
Ziarna nieodporne mechanicznie – <i>D</i>	4,4	17,1	8,1	3,4	42,2
Pory – <i>P</i>	0	17,6	6,2	4,5	72,5

min – wartość minimalna; max – wartość maksymalna; \bar{x} – średnia; s – odchylenie standardowe; V – współczynnik zmienności;

min – minimum; max – maximum; \bar{x} – mean; s – standard deviation; V – coefficient of variation; *Q* – total quartz; *Q* – monocrystalline quartz; *Q* – polycrystalline quartz; *F* – feldspars; *R* – total rock fragments; *R* – total igneous rock fragments; *R* – total metamorphic rock fragments; *R* – total sedimentary rock fragments

without *R*; *R* – total carbonate rock fragments; *B* – bioclasts; *M* – micas; *Gl* – glauconite; *PO* – pyrite and organic matter; *M* – heavy minerals; *MC* – total content of matrix and cements; *C* – total siliceous cements; *MC* – total clay matrix and cements; *MC* – total carbonate matrix and cements; *R* – rigid grains; *D* – ductile grains;

P – microscope measured content of pore space

ków tego spoiwa należą obok kwarcowego cementu mikrokrystalicznego (0–22,4%, średnio 5,7%), obwódki regeneracyjne (0–24,5%, średnio 3,4%) oraz cement chalcedonowy (0–29,0%, średnio 1,9%). W lokalnie występujących silnie zsylikowanych piaskowcach stwierdzono współwystępowanie cementu chalcedonowego (29,0%) obok cementu kwarcowego w postaci obwódek regeneracyjnych (3,9%). Udział spoiwa ilastego zmienia się w granicach 0–11,5%, a jego średnia równa jest 3,9%. Przeciętna zawartość matriksu ilastego wynosi 2,4%, przy zakresie wahań 0–6,9%. Podrzednym składnikiem spoiwa ilastego są autigeniczne minerały ilaste, wśród których zidentyfikowano kaolinit. Sumaryczny ich udział waha się od 0 do 7,3%, przy średniej 1,5%. W wyższej części warstw węglowieckich dolnych zarejestrowano w obrębie grubych ławic piaskowców (litofacja S) konkrecyjne formy bogate w spoiwo węglanowe. Sta-

nowią one zwięzłe fragmenty tych ławic wypreparowane przez wietrzenie (Jucha i in., 1982). Oceniono, że zawartość spoiwa węglanowego w konkrekcjach zmienia się w granicach 21,8–34,7% (średnio 29,6%), a towarzyszy mu krzemionkowe spoiwo typu obwódek regeneracyjnych, którego udział waha się od 0,8 do 3,1% (średnio 1,6%) oraz śladowe ilości matriksu minerałów ilastych (0–0,4%). Spoiwo węglanowe to głównie pseudosparyt, który tworzy drobno- i bardzo drobnokrystaliczne formy, rzadziej są one średniokrystaliczne czy mikrokrystaliczne (tekstura spoiw wg Peszata, 1999). Natomiast kryształy ortosparytu występują jedynie lokalnie w formie bardzo drobnokrystalicznej, rzadziej drobnokrystalicznej, a ich pierwotne struktury (Bathurst, 1971) zostały zatarte przez późniejsze procesy rekryształizacji.

ZMIENNOŚĆ WŁAŚCIWOŚCI ZBIORNIKOWYCH

Dla wybranych 15 próbek wykonano badania w poroźymetrze rtęciowym Autopore II 9220 (Micromeritics) oraz w piknometrze AccuPyc 1330, a dla 12 z nich wykonano oznaczenia przepuszczalności dla gazu. Powyższe oznaczenia wykonano w Instytucie Nafty i Gazu w Krakowie. Dla tych próbek udział porów określony planimetrycznie zmienia się w szerokim zakresie 0–17,6%, średnio wynosi 6,2%, przy odchyleniu standardowym 4,5% (tab. 1). Najczęściej zawartość porów należy do przedziału 4,0–8,0% obj.

Wyniki badań poroźymetrycznych dały podstawę do wyróżnienia typów skał o odmiennych właściwościach zbiornikowych, a jako kryterium podziału przyjęto współczynnik porowatości otwartej (efektywnej, K) (por. Such, 2000).

Zbiór danych uszeregowano według współczynnika porowatości otwartej (K) malejąco i rozdzielono na klasy (typy), wyróżniając cztery klasy zbiornikowe, dla których w tabeli 2 przedstawiono zmienność parametrów opisujących przestrzeń porową. Definicje wymienionych parametrów zawarte są w cytowanej wyżej pracy. W obrębie warstw węglowieckich do klas o najlepszych (1) i średnich (2–3) właściwościach zbiornikowych zostały zakwalifikowane głównie litofacje piaskowców zlepieńcowatych (SC) oraz piaskowców z mułowcami (SM), w których zawartość cementu krzemionkowego wykazuje znaczne wahania (0,2–24,5%), wobec całkowitego braku cementu węglanowego (tab. 3). Natomiast do klasy czwartej o najgorszych cechach zbiorni-

Tabela 2

Typy skał zbiornikowych wśród piaskowców warstw węglowieckich
Types of reservoir rocks for the sandstones of the Węglówka Beds

Typ	Porowatość otwarta K [%]	Liczba prób N	[Gęstość obj. P] D [t/m]	Przepuszczalność K [mD]	Średnia kapilarna D [μm]	Średnica progowa D [μm]	Histeresa H [%]	Nasiąkliwość wagowa N [%]
1	20,4–35,8	5	1,79–2,12	46–70	0,34–0,45	10–50	31–58	7,74–15,77
2	13,3–16,6	3	2,22–2,31	10–31	0,17–0,32	10	46–77	4,82–7,31
3	9,4–11,6	3	2,27–2,40	0,10–3,00	0,20–0,32	4–10	65–82	1,75–4,16
4	0–2,3	4	2,47–2,61	0,08–0,15	0,04–0,08	0,03–0,40	23–70	0,67–2,28

K – effective porosity measured in helium pycnometer,

N – number of samples,

[Gęstość obj. P] – gęstość objętościowa wyznaczona w pomiarach poroźymetrycznych,

D – bulk density calculated from porosimetric measurement,

K – klinkenberg-corrected permeability,

D – average pore diameter,

D – threshold pore diameter,

H – hysteresis,

N – water absorptivity.

T a b e l a 3

Klasy zbiornikowe i litofacje a zawartości spoiw w piaskowcach warstw węglowieckich

Reservoir classes (types), lithofacies and mineral composition of cements of the Węglówka Sandstones

Litofacje:

SC – piaskowce zlepniocowate,

S – piaskowce,

SM – piaskowce z mułowcami.

“Lithofacies”:

SC – conglomeratic sandstones,

S – sandstones,

SM – sandstone–mudstone couplets,

C – total siliceous cements;

MC – total clay matrix and cements,

MC – total carbonate matrix and cements.

Klasy (typy) zbiornikowe Reservoir type	Litofacje (liczba prób) Lithofacies (number of samples)	Suma spoiwa krzemionkowego C [% obj.]	Suma spoiwa węglanowego MC [% obj.]	Suma spoiwa ilastego MC [% obj.]
1	SC (2)	0,2–5,2	0	5,7
	SM (3)	4,4–22,4	0	2,7–11,5
2–3	SC (3)	4,4–13,2	0	1,3–6,9
	S (2)	18,2–24,5	0	1,5–3,6
	SM (1)	1,9	0	10,1
4	S (4)	0,8–3,1 32,9 (w tym 29,0 spoiwo chalcedonowe)	21,8–34,7 0	0–0,4 2,0

kowych należą litofacje piaskowców (S) o bogatym cemencie węglanowym (21,8–34,7%) lub krzemionkowym (32,9%). Parametry uzyskane z analiz porozymetrycznych próbek z odsłonięć warstw węglowieckich mogą wykazywać tendencję

zmian wykształcenia przestrzeni porowej w kierunku makroporów, która objawia się podwyższeniem średniej średnicy progowej i przeciętnej kapilary (por. Leśniak, 2005).

PROCESY DIAGENETYCZNE A PRZESTRZEŃ POROWA

Wyniki badań petrograficznych wskazują na dwa czynniki odpowiedzialne za wykształcenie korzystnych właściwości zbiornikowych w piaskowcach warstw węglowieckich. Pierwszy stanowi wczesna i ograniczona cementacja krzemionkowa, mająca istotne znaczenie dla opóźnienia postępu kompaktacji i zachowania porowatości osadu w początkowej fazie diagenety. Natomiast drugi czynnik to koncentracja cementu węglanowego w obrębie konkrecji. Bioklasty krzemionkowe oraz najdrobniejsze frakcje ziaren kwarcu stanowiły źródło mikrokryształicznego cementu kwarcowego oraz cementu chalcedonowego. Lokalnie wysoka zawartość biogenicznej krzemionki przyczyniła się do redukcji porowatości przez obfitą cementację chalcedonową. Stwierdzono, że cementacja węglanowa przyczyniła się do znacznej redukcji tej przestrzeni porowej, jaka zachowała się po wcześniejszej kompaktacji osadu i cementacji krzemionkowej. Cement węglanowy, jak również okruszki węglanowe rejestrowano tylko w obrębie konkrecji, podczas gdy w ich otoczeniu stwierdzono brak detrytycznego materiału węglanowego i cementu

węglanowego. Zatoki korozyjne w ziarnach kwarcu i skaleni notowane w otoczeniu konkrecji stanowią ślady po pierwotnych węglanach. Proces powstawania konkrecji węglanowych w piaskowcach węglowieckich można uznać jako wczesnodiagenetyczny, za czym przemawia wysoka zawartość cementu węglanowego oraz luźne upakowanie ziaren szkieletowych w obrębie konkrecji (por. Peszat, 1998). Stwierdzono, że główną rolę w kształtowaniu cech zbiornikowych odgrywa skład mineralny materiału okruszowego, który decyduje o kierunku przemian diagenetycznych i wykształceniu określonego zespołu spoiw, podczas gdy litofacje są mniej istotne dla ich właściwości kolektorskich.

Badania były finansowane z grantu KBN nr 4 T12B 003 26 oraz z prac statutowych nr 11.11.140.562.

Recenzent, dr Tomasz Malata, nie akceptuje użycia nazwy piaskowce węglowieckie, jest to nazwa przestarzała, będąca odpowiednikiem warstw lgockich i gezowych.

LITERATURA

- ALLEN J.R.L., 1962 – Petrology, origin and deposition of the highest Lower Old Red Sandstone of Shropshire, England. *J. Sediment. Petrol.*, **32**, 4: 657–697.
- BATHURST R.G.C., 1971 – Carbonate sediments and their diagenesis. *Developments in Sedimentology*, **12**. Elsevier, Amsterdam.
- BLOCH S., 1991 – Empirical prediction of porosity and permeability in sandstones. *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, **75**, 7: 1145–1160.
- BROMOWICZ J., 1992 – Basen sedimentacyjny i obszary źródłowe piaskowców magurskich. *Zesz. Nauk. AGH*, **1485**, Geol., 54.
- FOLK R.L., WARD W.C., 1957 – Brazos River bar: a study in the significance of grain-size parameters. *J. Sediment. Petrol.*, **27**, 1: 3–27.
- GALEHOUSE J.S., 1971 – Point counting. *W: Procedures in sedimentary petrology* (red. R.E. Carver): 385–407. John Wiley – Interscience, New York.
- GEOLOGICAL Map of the Outer Carpathians: borderlands of Poland, Ukraine and Slovakia, 1:200 000 (red. L. Jankowski, R. Kopicowski, W. Ryłko). Państw. Inst. Geol. Warszawa, 2004.
- GOBLOT H., 1928 – O budowie geologicznej Karpat na północ od Krosna. *Spraw. PIG*, **4**, 3/4: 442–463.
- JUCHA S., JABCZYŃSKI Z., 1960 – Nowe perspektywy rozwoju kopalni w Węglówce. *Nafta*, **16**, 9: 238–244.
- JUCHA S., PESZAT C., RUTKOWSKI J., 1982 – O możliwości wykorzystania piaskowców węglowickich do produkcji piasków budowlanych i drogowych. *Kwart. Geol.*, **26**, 2: 409–422.
- KOSZARSKI L. (red.), 1985 – Geology of the Middle Carpathians and the Carpathian Foredeep. Guide to Excursion 3. Carpatho-Balkan Geological Association XIII Congress. Kraków.
- KOSZARSKI L., NOWAK W., 1960 – Uwagi w sprawie wieku warstw Igockich. *Kwart. Geol.*, **4**, 2: 468–483.
- KOSZARSKI L., NOWAK W., ŻYTKO K., 1959 – W sprawie wieku warstw godulskich. *Kwart. Geol.*, **3**, 1: 127–151.
- LEŚNIAK G., 2005 – Diageniza piaskowców wschodniej części jednostki śląskiej a migracja węglowodorów. *Pr. Inst. Gór. Naft. i Gaz.*, **131**.
- MITURA F., BIRECKI T., 1966 – Budowa geologiczna Karpat między Korczyną a Domaradzem. *Pr. Inst. Naft.*
- NOWAK J., 1925 – Stosunki geologiczne obszaru między Krosnem a Węglówką. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, **2**: 35–48.
- PESZAT C., 1998 – Litologia i geneza konkretyjnych piaskowców wapienistych jednostki śląskiej (polskie Karpaty fliszowe). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **382**: 75–102.
- PESZAT C., 1999 – Właściwości strukturalno-teksturalne i geneza spoiw węglanowych gruboławicowych piaskowców jednostki śląskiej (polskie Karpaty fliszowe). *Gosp. Sur. Miner.*, **15**, 1: 65–104.
- PESZAT C., BUCZEK-PUŁKA M., 1986 – Znaczenie surowcowe piaskowców cergowskich na tle ich właściwości fizyczno-mechanicznych. *Biul. Inst. Geol.*, **351**: 179–211.
- PETTIJOHN F.J., POTTER P.E., SIEVER R., 1972 – Sand and sandstone. Springer-Verlag, Berlin.
- PN-EN 1936 – Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczenie gęstości i gęstości objętościowej oraz całkowitej i otwartej porowatości; zastąpiła normę polską PN-66/B-04100 – Materiały kamienne: Oznaczanie gęstości objętościowej, gęstości, porowatości i szczelności. Polski Komitet Normalizacyjny.
- PN-EN 13755 – Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczenie nasiąkliwości przy ciśnieniu atmosferycznym; zastąpiła normę polską PN-85/B-04101 – Materiały kamienne: Oznaczanie nasiąkliwości wodą. Polski Komitet Normalizacyjny.
- RATAJCZAK T., MAGIERA J., SKOWROŃSKI A., TUMIDAJSKI T., 1998 – Ilościowa analiza mikroskopowa skał. Skrypty uczelniane AGH, **1534**, Wyd. AGH, Kraków.
- SŁOMKA T., 1995 – Głębokomorska sedimentacja silikoklastyczna na warstwach godulskich Karpat. *Pr. Geol. Komis. Nauk Geol. PAN Krak.*, **139**.
- SUCH P., 2000 – Studium badań przestrzeni porowej skał dla potrzeb geologii naftowej. *Pr. Inst. Gór. Naft. i Gaz.*, **104**.
- TEISSEYRE H., 1947 – Budowa geologiczna okolic Węglówki. *Nafta*, **3**: 146–149, 185–190, 220–224, 258–261.
- UNRUG R., 1968 – Kordyliera śląska jako obszar źródłowy materiału klastycznego piaskowców fliszowych Beskidu Śląskiego i Beskidu Wysokiego (polskie Karpaty Zachodnie). *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, **38**, 1: 81–164.
- WDOWIARZ S., 1968 – Silesian and Sub-Silesian units north of Krosno. *W: Guide to Excursion No C44. Poland. Geology of the Polish Flysch Carpathians* (red. M. Książkiewicz). Intern. Geol. Congress, XXIII Session: 58–65, Prague.
- WDOWIARZ S., JUCHA S., 1963 – Excursion B-II-2. *W: Karpates externes, Guide des excursions* (red. S. Wdowiarz, W. Nowak). Association Géologique Karpato-Balkanique, VI Congrès: 109–126. Warszawa–Kraków.
- WORDEN R.H., MAYALL M., EVANS I.J., 2000 – The effect of ductile-lithic sand grains and quartz cement on porosity and permeability in Oligocene and Lower Miocene clastics, South China Sea: prediction of reservoir quality. *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, **84**, 3: 345–359.