

## PIASKOWCE DOLNEGO KARBONU STREFY WIELKOPOLSKO-ŚLĄSKIEJ JAKO UTWORY PERSPEKTYWICZNE POD WZGLĘDEM POSZUKIWAŃ ZŁÓŻ GAZU ZAMKNIĘTEGO (BADANIA WSTĘPNE)

### THE LOWER CARBONIFEROUS SANDSTONES IN THE WIELKOPOLSKA-SILESIA ZONE PROSPECTIVE FOR TIGHT GAS EXPLORATION (PRELIMINARY STUDIES)

ALEKSANDRA KOZŁOWSKA<sup>1</sup>, MARTA KUBERSKA<sup>1</sup>

**Abstrakt.** Piaskowce dolnego karbonu strefy wielkopolsko-śląskiej to waki, rzadziej arenity, głównie sublityczne, lityczne i subarkozowe. Ich porowatość całkowita wynosi najczęściej 1–2%, a ich przepuszczalność jest bardzo niska. W skałach tych zaobserwowano ślady działania następujących procesów diagenetycznych: kompaktacji, cementacji, a także zastępowania, przeobrażania i rozpuszczania składników. Piaskowce najbardziej perspektywiczne pod względem obecności gazu zamkniętego znajdują się w południowej i południowo-zachodniej części strefy wielkopolsko-śląskiej. Strop utworów karbonu w tych rejonach występuje przeważnie na głębokości do 3 km.

**Słowa kluczowe:** piaskowce, dolny karbon, gaz zamknięty, strefa wielkopolsko-śląska.

**Abstract.** The Lower Carboniferous sandstones of the Wielkopolska-Silesia zone are represented mainly by sublithic, lithic and subarkosic wackes and less frequent arenites. They are characterized by total porosity of mostly 1–2% and very low permeability. The effects of diagenetic processes such as compaction, cementation, replacement, alteration and dissolution have been distinguished in the investigated rocks. The most prospective tight gas sandstones occur in the south and south-western parts of the Wielkopolska-Silesia zone. The top of the Lower Carboniferous rocks does not exceed a depth of 3 km in these regions.

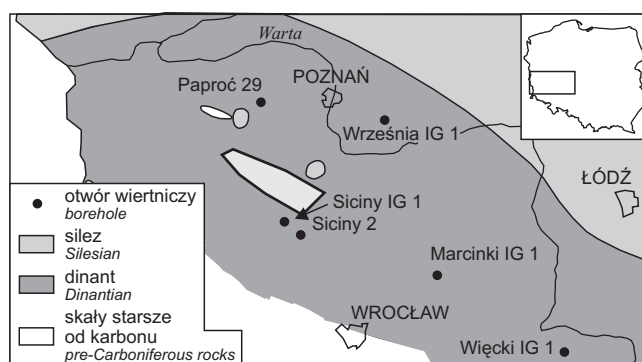
**Key words:** sandstones, Lower Carboniferous, tight gas, Wielkopolska-Silesia zone.

### WSTĘP

Badania perspektywiczności piaskowców dolnego karbonu strefy wielkopolsko-śląskiej pod kątem występowania w nich gazu ziemnego są prowadzone w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym (PIG-PIB) w ramach dwóch zadań państwowej służby geologicznej: „Szacowanie zasobów złóż węglowodorów – zadanie ciągle PSG” oraz „Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania złóż węglowodorów niekonwencjonalnych

w Polsce – etap I”. Do analiz wykorzystano próbki utworów z sześciu otworów wiertniczych: Marcinki IG 1, Paproć 29, Siciny IG 1, Siciny 2, Więcki IG 1 i Września IG 1 (fig. 1). Są to piaskowce dolnego karbonu (missisipu) zalegające w permsko-mezozoicznym podłożu basenu polskiego, głównie w strefie wielkopolskiej (Poprawa, Kiersnowski, 2008). W większości badanych otworów wiertniczych strop utworów karbonu występuje na głębokości nie większej niż 3 km

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: aleksandra.kozłowska@pgi.gov.pl, marta.kuberska@pgi.gov.pl.



**Fig. 1. Mapa stropu utworów karbonu (wg Waksmundzkiej, 2010) z lokalizacją badanych otworów wiertniczych**

Map of the Carboniferous top (according to Waksmundzka, 2010) with location of studied boreholes

(od ok. 1,6 km w otworze Więcki IG 1 do ok. 2,6 km w otworze Paproć 29), jedynie w otworze Września IG 1 znajduje się on na głębokości ponad 4,8 km. Sedymentacja klastyczna w analizowanym przypadku zachodziła na skłonie basenu fliszowego (Wójcicki i in., 2014). Materiał okrucowy piaskowców, reprezentujących asocjacje fliszową kompleksu o fałdowo-nasuwczym charakterze deformacji (Mazur i in., 2003), pochodził z bloku przedsudeckiego i Sudetów (Krze-

miński, 2005). Kompleks ten jest zbudowany z naprzemianległych iłowców, mułowców, piaskowców oraz zlepieńców o łącznej miąższości od kilkuset do kilku tysięcy metrów. W rozważaniach wykorzystano m.in. wyniki badań petrograficznych Cebulaka (1976), Butkiewicza (1977), Krzemińskiego (1997, 2005) oraz Kozłowskiej i Kuberskiej (2013).

Piaskowce missisipu strefy wielkopolsko-śląskiej uważa się za perspektywiczną zwięzłą formację zbiornikową o średnim potencjale złożowym. Złupkowacone iłowce, współwystępujące z piaskowcami, mogą zawierać gaz i mogą stanowić źródło gazu zakumulowanego w piaskowcach typu *tight* (Wójcicki i in., 2014). Dokładne określenie potencjału występowania gazu w analizowanych utworach karbonu jest trudne, ponieważ stopień deformacji tektonicznych obszaru jest bardzo wysoki.

Najważniejsze kryteria, na których podstawie wyznacza się perspektywiczne formacje zbiornikowe, to m.in.:

- niska przepuszczalność skały (poniżej 0,1 mD, ale niezerowa);
- niska porowatość całkowita (jednak nie mniej niż 3%) i jednocześnie porowatość efektywna nie mniejsza niż 2%;
- głębokość występowania (w zależności od warunków, w tym od położenia okna gazowego oraz od ciśnienia złożowego).

## METODY BADAŃ

Analizie petrograficznej (obserwacja struktur, tekstur oraz efektów procesów diagenetycznych) pod mikroskopem polaryzacyjnym poddano 67 preparatów. Zostały one wycięte z piaskowców, a następnie częściowo powleczone płynem Evamy'ego w celu wstępnej identyfikacji minerałów węglanowych (Migaszewski, Narkiewicz, 1983). Niektóre płytki cienkie piaskowców poddano szacunkowej analizie planimetrycznej (nazewnictwo skał oparto na klasyfikacji Pettijohna i in., 1972). Część próbek piaskowców zbadano w elek-

tronowym mikroskopie skaningowym typu 1430 firmy LEO sprzężonym ze spektrometrem rentgenowskim z dyspersją energii (EDS ISIS) i zidentyfikowano wybrane składniki mineralne. Z zastosowaniem programów VSP i SEM QUANT wykonano analizę chemiczną węglanów w mikroobszarze. Na podstawie obserwacji odłupków skalnych określono sposób zabudowy przestrzeni porowej przez minerały tworzące spoiwo.

## CHARAKTERYSTYKA PETROGRAFICZNA PIASKOWCÓW

Rozpatrywane piaskowce najczęściej są drobno- i bardzo drobnoziarniste, sporadycznie występuje niewielka domieszka frakcji zwirowej. Jedynie w profilu otworu wiertniczego Marcinki IG 1 przeważają piaskowce średnio- i gruboziarniste, miejscami zlepieńcowate oraz zlepieńce drobnoziarniste (Krzemiński, 2005). Stopień wysortowania materiału detrytycznego i upakowanie ziaren są zróżnicowane. Wysortowanie przeważnie jest słabe. Ziarna są półobtoczone i nieobtoczone, a ich kontakty głównie proste i punktowe.

Wśród piaskowców wyróżniono waki, rzadziej arenity, sublityczne i lityczne oraz subarkozowe. W profilach otworów wiertniczych Siciny IG 1 i Siciny 2 występują waki

i arenity lityczne, a w profilu Marcinki IG 1 – waki i arenity sublityczne i lityczne. Niektóre piaskowce z tych profili określono jako wulkanoklastyczne. W profilach otworów Września IG 1 i Więcki IG 1 rozpoznano waki i arenity sublityczne i subarkozowe. W profilu otworu Paproć 29 stwierdzono inny rodzaj piaskowców – arenity i waki kwarcowe.

Głównym składnikiem szkieletu ziarnowego piaskowców jest kwarc monokrystaliczny, rzadziej polikrystaliczny (tabl. I: 1). Prawie zawsze ziarna kwarcu przeważają ilościowo nad skaleniami i okrucami skał (Krzemiński, 2005). Miejscami litoklasty są dominującymi składnikami piaskowców (odmiany lityczne i sublityczne: Marcinki IG 1, Siciny IG 1

Tabela 1

## Skład chemiczny (EDS) węglanów (otwór wiertniczy Września IG 1)

Chemical composition (EDS) of carbonates (Września IG 1 borehole)

Głębokość [m]	Typ piaskowca	Punkt analizy	Mg	Ca	Mn	Fe	MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	MnCO <sub>3</sub>	FeCO <sub>3</sub>	Węglan
			[% wag.]						[% mol.]		
4906,8	wa k/sl	1	0	39,43	0,37	0,13	0	98,9	0,8	0,3	Mn-kalcyt
		2	0,15	40,28	0	0,02	0,5	99,5	0	0	kalcyt
4994,1	ar sl	1	3,63	21,85	0,88	15,14	12,7	54,3	1,8	31,2	ankeryt
		2	5,13	21,35	0,87	12,60	18,1	53,8	1,8	26,3	ankeryt
5774,1	wa sa	1	11,93	0,50	0,12	26,56	42,6	1,2	0,2	56,0	pistomesyt
		2	6,02	0,07	0,11	37,79	21,1	0,2	0,2	78,5	syderoplesyt
		3	8,14	20,87	0,18	9,09	28,5	52,3	0,4	18,8	ankeryt
		4	7,10	21,28	0,59	10,59	24,6	52,6	1,2	21,6	ankeryt

Objaśnienia: ar sl – arenit sublityczny, wa k/sl – waka kwarcowa/ sublityczna, wa sa – waka subarkozowa

Explanations: ar sl – sublithic arenite, wa k/sl – quartz/ sublithic wacke, wa sa – subarkosic wacke

i Siciny 2; tabl. I: 2). Skalenie są reprezentowane przez plagioklasy i skalenie potasowe (tabl. I: 1, 3). Plagioklasy, głównie albit szachownicowy, przeważają nad odmianami potasowymi. Okruchy skał to przede wszystkim fragmenty skał metamorficznych i wulkanicznych. Wśród fragmentów skał wulkanicznych wyróżniono odmiany kwaśne i obojętne, zaliczane do ryolitów, ryodacytów i dacytów (tabl. I: 2, 4). Okruchy andezytów i bazaltów występują sporadycznie. W piaskowcach obecny jest także materiał piroklastyczny w postaci licznych ziaren kwarcu z wrostkami szkliwa wulkanicznego lub zatokami korozyjnymi (tabl. I: 5). Fragmenty skał metamorficznych są zbudowane z łupków kwarcowo-łyszczykowych i metałowców. Są to głównie skały niskiego stopnia metamorfizmu. W piaskowcach z profilu otworu Marcinki IG 1 Krzemiński (2005) zidentyfikował okruchy skał średniego stopnia metamorfizmu przypominających gnejsy. Wśród okruchów skał osadowych wyróżniono mułowce i drobnoziarniste piaskowce. W piaskowcach z profilu otworów Siciny IG 1 (Kozłowska, Kuberska, 2013) oraz Września IG 1 (Butkiewicz, 1977) sporadycznie występują okruchy chalcedonitu. Materiał detrytyczny grubiej ziarnistych piaskowców z profilu otworu Marcinki IG 1 oraz piaskowców z profilu otworu Siciny 2 zawiera pojedyncze fragmenty skał kwarcowo-skaleniowych należących do granitoidów. Oprócz wymienionych składników w piaskowcach powszechnie występują łyszczyki (tabl. I: 1). Często są to duże, nieregularne, strzępiaste agregaty, miejscami przypominające odbarwiony biotyt (Cebulak, 1976). Jasne łyszczyki oraz chloryt przeważają nad biotytem. Biotyt bardzo

często jest częściowo lub nawet całkowicie schlorityzowany. Z minerałów ciężkich rozpoznano cyrkon, turmalin i rutyl.

Głównymi składnikami spoiwa piaskowców są matriks ilasto-żelazisty (tabl. I: 6), często zrekrytalizowany, oraz wodorotlenki żelaza. Część matriksu ilasto-żelazistego powstała wskutek roztrawienia silnie przeobrażonych okruchów skał wylewnych; określono ją jako pseudomatriks. Krzemiński (2005) wyróżnił również protomatriks i ortomatriks illitowo-chlorytowy (Dickinson, 1970). Spoiwo tworzą także węglany, kwarc autigeniczny, anhydryt oraz autigeniczne minerały ilaste. Węglany są reprezentowane głównie przez Fe-dolomit, ankeryt (tabl. II: 1) i kalcyt. Syderyt występuje lokalnie. Minerały węglanowe wstępnie zidentyfikowano na podstawie analizy barwnikowej (barwienie płytek cienkich płynem Evamy'ego), w wyniku której ankeryt i Fe-dolomit zabarwiły się na niebiesko (tabl. I: 4), a kalcyt na kolor różowo-filetowy; syderyt i dolomit nie uległy zabarwieniu. Dokładniejsze dane uzyskano na podstawie wykonanej pilotażowo punktowej analizy chemicznej, której poddano cement wybranych piaskowców z profilu otworu wiertniczego Września IG 1 (tab. 1). Kalcyt zawiera domieszki żelaza i manganu. Syderyt reprezentuje minerały szeregu izomorficznego syderyt-magnezyt, wśród których zidentyfikowano syderoplesyt i pistomesyt (tabl. II: 2, tab. 1). Minerały tego szeregu izomorficznego występują powszechnie w utworach karbonu obszaru lubelskiego (Kozłowska, 1997, 2001, 2004). Wśród autigenicznych minerałów ilastych rozpoznano chloryty (tabl. II: 3), illit (tabl. II: 4) i wyjątkowo kaolinit.

## PROCESY DIAGENETYCZNE

Analizowane piaskowce uległy zmianom w wyniku działania następujących procesów diagenetycznych: kompaktacji, cementacji, a także zastępowania, przeobrażania i rozpusz-

czenia składników, przy czym przeważają ślady dwóch pierwszych procesów. Wskutek kompaktacji mechanicznej powstały proste kontakty międzyziarnowe i nastąpiło powyginanie

blaszek łyszczyków lub plastycznych okruchów skał. Zaobserwowano także liczne spękania ziaren detrytycznych.

Efektom cementacji jest występowanie diagenetycznych krzemianów warstwowych, w tym diagenetycznego muskowitu, illitu (tabl. II: 4), mieszaniny illitu i chlorytu, chlorytu (tabl. II: 3) oraz przerostów kaolinitu z chlorytem (Krzemiński, 2005). W piaskowcach z profilu otworu wiertniczego Września IG 1 Butkiewicz (1977) rozpoznał chloryty oraz minerały mieszanopakiętowe illit/ smektyt. Spośród minerałów powstałych w procesie cementacji w piaskowcach podrzędnie występują węglany: Fe-dolomit lub ankeryt (tabl. II: 1), kalcyt oraz syderyt (minerały szeregu izomorficznego syderyt–magnezyt; tabl. II: 2), a sporadycznie także kwarc autogeniczny, tworzący cienkie obwódki na ziarnach kwarcu detrytycznego, oraz anhydryt w formie niewielkich tabliczek. Skały karbonu są pocięte żyłkami wypełnionymi przez węglany (Fe-dolomit i ankeryt), anhydryt i piryty.

Składnikami piaskowców powstałymi w wyniku zastępowania są węglanowe, miejscami anhydrytowe pseudomorfozy po ziarnach skaleni i okruchach skalnych (tabl. I: 4). Zaobserwowano też zastępowanie matriksu, głównie przez węglany.

Przeobrażanie diagenetyczne obejmuje głównie przemiany skaleni, okruchów skał i łyszczyków; jego efekty są częste i dobrze widoczne w opisywanych piaskowcach. Większość ziaren skaleni uległa albityzacji, argilityzacji (tabl. I: 3) lub chlorytyzacji. Procesowi chlorytyzacji uległy również okruchy skał wylewnych (tabl. I: 4). Stwierdzono też obecność muskowitu, który powstał w wyniku rekrystalizacji illitu.

Rozpuszczanie diagenetyczne, szczególnie ziaren skaleni (tabl. II: 5), poprzedziło ich albityzację; ślady tego procesu obserwowane w mikroskopie polaryzacyjnym są słabo widoczne. Rozpuszczaniu ulegały też cement węglanowy i anhydrytowy, a miejscami ziarna kwarcu i litoklasty.

## POROWATOŚĆ I PRZEPUSZCZALNOŚĆ PIASKOWCÓW

Piaskowce dolnego karbonu strefy wielkopolsko-śląskiej mają niską porowatość całkowitą i bardzo słabą przepuszczalność. Porowatość piaskowców z poszczególnych profili wynosi:

- Siciny IG 1: 0,75–7,27% (Kühn, Paprocka, 1979);
- Siciny 2: 1,72–4,03% (Wójcicki i in., 2014);
- Marcinki IG 1: 0,43–1,21% (Wójcicki i in., 2014);
- Paproć 29: 2,37–8,30% (Barański, 1998);
- Września IG 1: 0,40–4,86% (Sokołowski, 1977);
- Więcki IG 1: brak danych.

Przepuszczalność tych skał jest na ogół bliska zera, jedynie w przypadku piaskowców z profilu otworu Września IG 1 miejscami dochodzi do ok. 3 mD.

Jak wynika z obserwacji w elektronowym mikroskopie skaningowym, w większości próbek występuje mikroporowatość wtórna, która powstała wskutek diagenetycznego roz-

puszczenia ziaren detrytycznych (tabl. II: 5) lub cementów ortochemicznych, szczególnie węglanowego. Z reguły wynikiem przeobrażeń diagenetycznych jest tworzenie się porowatości wtórnej – powstaje mikroporowatość (tabl. II: 6) międzykrystaliczna i śródziarnowa. Przepuszczalność natomiast nieznacznie spada lub utrzymuje się na niezmiennym poziomie. Niekorzystny wpływ na właściwości zbiornikowe piaskowców ma obecność illitu, zwłaszcza jego włóknistych form. Przykładowo powstanie włóknistego illitu w piaskowcach czerwonego spągowca (Kuberska, 2004), a także w piaskowcach górnego karbonu (Kuberska i in., 2007) przyczyniło się do znacznego obniżenia ich przepuszczalności. Włókna illitowe w początkowej fazie rekrystalizacji zidentyfikowano w piaskowcach z profilu otworu Paproć 29 (tabl. II: 4), których przepuszczalność jest właściwie zerowa.

## UWAGI KOŃCOWE

Przy określaniu perspektywiczności danego obszaru pod względem występowania złóż gazu zamkniętego należy brać pod uwagę procesy tektoniczne, jakie zachodziły w rejonie, rodzaj występujących skał, szczególnie piaskowców, ich potencjał zbiornikowy oraz obecność szczelin i spękań (Wójcicki i in., 2014).

Piaskowce dolnego karbonu strefy wielkopolsko-śląskiej to waki, rzadziej arenity, głównie sublityczne i lityczne oraz subarkozowe. Ich porowatość całkowita to najczęściej 1–2%, a przepuszczalność jest bardzo niska. W skałach tych zaobserwowano ślady następujących procesów diagenetycznych: kompaktacji, cementacji, a także zastępowania, przeobrażania i rozpuszczania składników. Piaskowce najbardziej perspektywiczne pod względem występowania gazu zamkniętego znaj-

dują się w południowej i południowo-zachodniej części strefy wielkopolsko-śląskiej, gdzie strop utworów karbonu występuje na głębokości nieprzekraczającej 3 km (Wójcicki i in., 2014). Wyniki modelowania procesów naftowych dla piaskowców (*op. cit.*) z profili otworów Marcinki IG 1, Siciny 2 i Paproć 29 potwierdziły potencjalne zdolności akumulacyjne tych skał. W utworze Siciny 2 (koncesja Góra, San Leon Energy) w utworach dolnego karbonu o miąższości ok. 1 km stwierdzono dwa horyzonty piaskowców z gazem zamkniętym i trzy z gazem z łupków (*op. cit.*). Kompleksy piaskowcowe z profilu otworu Marcinki IG 1 są bardzo zbliżone do tych z profilu otworu Siciny 2. Przeważają odmiany sublityczne i lityczne z wyraźnymi śladami przeobrażania, w mniejszym stopniu rozpuszczania diagenetycznego. Z uwagi na



konkluzje raportu PIG-PIB (*op. cit.*) oraz wyniki wstępnych badań petrograficznych, ze szczególnym uwzględnieniem efektów procesów diagenetycznych, wskazane jest kontynuowanie szczegółowych badań.

**Podziękowania.** Autorki dziękują dr. hab. A. Barczukowi, dr. hab. K. Jarmołowicz-Szulc i dr. G. Leśniakowi za re-

cenzę artykułu. Badania w mikroskopie elektronowym wykonał L. Giro.

*Badania przeprowadzono w ramach realizacji tematów 22.4105.1401.01.1 i 22.5105.1301.00.1 finansowanych przez NFOŚiGW.*

## LITERATURA

- BARAŃSKI W., 1998 — Dokumentacja wynikowa otworu rozpoznawczego Paproć 29. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- BUTKIEWICZ M., 1977 — Opracowanie petrograficzne utworów karbonu. *W: Dokumentacja wynikowa głębokiego wiercenia Września IG 1* (red. J. Sokołowski): 170–181. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- CEBULAK S., 1976 — Wyniki badań petrograficznych. Karbon. *W: Więcki IG 1* (red. W. Grodzicka-Szymanko). *Prof. Głęb. Otw. Wiertn. Inst. Geol.*, **35**: 47–57.
- DICKINSON W.R., 1970 — Interpreting detrital modes of graywacke and arkose. *J. Sedim. Petrol.*, **40**, 2: 695–707.
- KOZŁOWSKA A., 1997 — Cementy węglanowe w piaskowcach górnokarbońskich w północno-zachodniej części rowu lubelskiego. *Prz. Geol.*, **45**, 3: 301–304.
- KOZŁOWSKA A., 2001 — Syderyty magnezowe w piaskowcach górnokarbońskich środkowej Polski. *Prz. Geol.*, **49**, 4: 343–344.
- KOZŁOWSKA A., 2004 — Diagenеза piaskowców górnego karbonu występujących na pograniczu rowu lubelskiego i bloku warszawskiego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **411**: 5–86.
- KOZŁOWSKA A., KUBERSKA M., 2013 — Ekspertyza petrograficzna 36 próbek skał karbońskich z otworów wiertniczych Siciny IG 1 i Siciny 2. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- KRZEMIŃSKI L., 1997 — Analiza utworów karbonu w otworze rozpoznawczym Paproć 29. *W: Budowa geologiczna strefy waryscydu w podłożu monokliny przedsudeckiej* (red. M. Lipiec): V.1–V.7. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- KRZEMIŃSKI L., 2005 — Prowienienca materiału okrucowego piaskowców karbońskich z waryscyjskich basenów przedpola w południowo-zachodniej Polsce i na Morawach. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **417**: 27–108.
- KUBERSKA M., 2004 — Diagenеза osadów czerwonego spągowca w strefie Szczecinek–Bydgoszcz (Pomorze Zachodnie). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **411**: 87–168.
- KUBERSKA M., KOZŁOWSKA A., MALISZEWSKA A., BUNIAK A., 2007 — Ewolucja przestrzeni porowej w piaskowcach górnego karbonu i dolnego permu Pomorza Zachodniego. *Prz. Geol.*, **55**, 10: 853–860.
- KÜHN D., PAPROCKA I., 1979 — Dokumentacja wynikowa otworu badawczego Siciny IG 1. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- MAZUR S., KUROWSKI L., ALEKSANDROWSKI P., ŻELAŻNIEWICZ A., 2003 — Variscan foreland fold-thrust belt of Wielkopolska (W Poland): new structural and sedimentological data. *Geolines*, **16**: 71–73.
- MIGASZEWSKI Z., NARKIEWICZ M., 1983 — Identyfikacja pospolitych minerałów węglanowych przy użyciu wskaźników barwiących. *Prz. Geol.*, **31**, 4: 258–261.
- PETTIJOHN F.J., POTTER P.E., SIEVER R., 1972 — Sand and sandstone. Springer, New York.
- POPRAWA P., KIERSNOWSKI H., 2008 — Perspektywy poszukiwań gazu ziemnego w skałach ilastych (shale gas) oraz gazu ziemnego zamkniętego (tight gas) w Polsce. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **429**: 145–152.
- SOKOŁOWSKI J., 1977 — Dokumentacja wynikowa głębokiego wiercenia Września IG 1. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- WAKSMUNDZKA M.I., 2010 — Chapter 6. Carboniferous. *W: Petroleum geological atlas of the Southern Permian Basin Area* (red. H. Doornenbal, A. Stevenson): 81–99. EAGE Publ., Houten.
- WÓJCICKI A., KIERSNOWSKI H., DYRKA I., ADAMCZAK-BIAŁY T., BECKER A., GŁUSZYŃSKI A., JANAS M., KOZŁOWSKA A., KRZEMIŃSKI L., KUBERSKA M., PACZEŚNA J., PODHALAŃSKA T., ROMAN M., SKOWROŃSKI L., WAKSMUNDZKA M.I., 2014 — Prognostyczne zasoby gazu ziemnego w wybranych zwięzłych skałach zbiornikowych Polski. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.

## SUMMARY

The Lower Carboniferous sandstones from six boreholes (Marcinki IG 1, Paproć 29, Siciny IG 1, Siciny 2, Więcki IG 1 and Września IG 1) in the Wielkopolska-Silesia zone (Fig. 1) were studied. These sandstones are part of flysch sediments. Composed of alternating claystones, mudstones, sandstones and conglomerates, the thickness of which varies from some hundreds to some thousands metres.

The sandstones are represented mainly by sublithic, lithic and subarkosic wackes and, less frequent, arenites. Quartz, and locally feldspars and rock fragments are the main

components of the grain fabric (Plate I: 1–4). Feldspar grains are represented predominantly by plagioclase, less frequently by potassium feldspar. Micas (muscovite and chlorites) predominate over biotite. Heavy minerals represented by zircon, tourmaline and rutile. Lithoclasts include fragments of metamorphic and volcanic rocks. Pyroclastic material is common (e.g. quartz grains with embayments and volcanic glass inclusions, Plate I: 5). The grain are bound together by (mostly recrystallized) matrix (Plate I: 6) and cement (Plate II: 1–4). Cements are composed mainly of lay-

ered silicates (*e.g.* diagenetic muscovite, illite, a mixture of illite and chlorite, and chlorite, Plate II: 3, 4) and carbonates (ankerite, calcite, sideroplesite, pistomesite, Table 1, Plate II: 1, 2). Authigenic quartz, kaolinite, fibrous illite and anhydrite appear subordinarily.

The effects of diagenetic processes such as: compaction, cementation, replacement, alteration and dissolution have been distinguished in the investigated rocks. Mechanical compaction (*e.g.* undulated mica flakes) and cementation (mainly authigenic clay and carbonate minerals) are the most dominant processes. Replacement, mainly carbonatic pseudomorphs after feldspar grains and rock fragments, is very common. Alteration corresponds also to albitization,

argilitization (Plate I: 3) and chloritization of most of feldspars and illite recrystallization to muscovite is widespread. The effects of dissolution are observed in feldspars (Plate II: 5).

The sandstones are characterized by total porosity of mostly 1–2% and very low permeability. Secondary porosity (Plate II: 5) and microporosity (Plate II: 6) constitute the porosity of sandstones.

The most prospective tight gas sandstones occur in the southern and south-western part of the Wielkopolska-Silesia zone. The top of Lower Carboniferous rocks does not exceed a depth of 3 km in these regions.

**TABLICE**  
**PLATES**

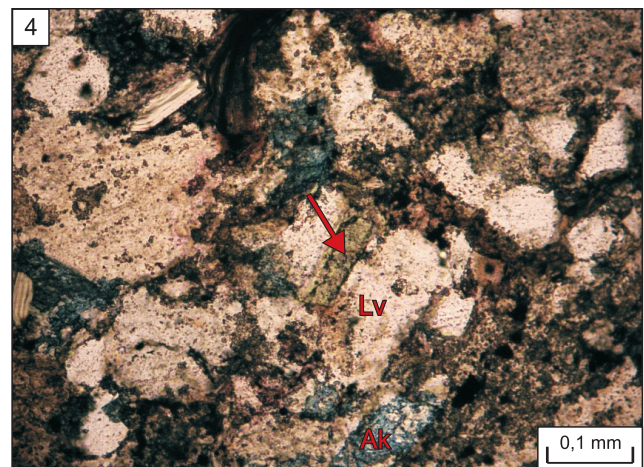
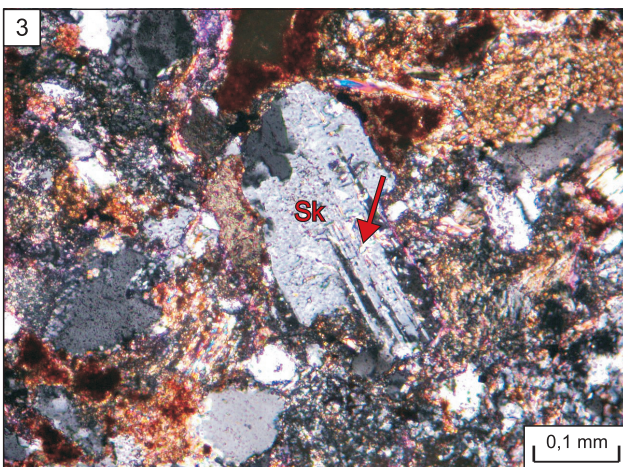
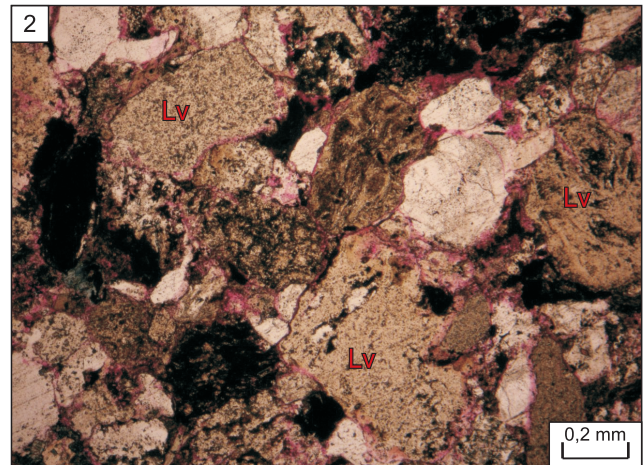
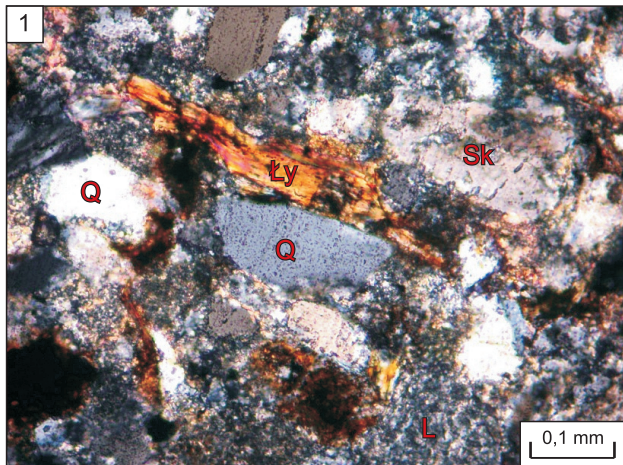
## TABLICA I

### Zdjęcia piaskowców wykonane w mikroskopie polaryzacyjnym

Sandstones photographs taken in polarizing microscope

- Fig. 1. Ziarna kwarcu (Q), skaleni (Sk), litoklastów (L) i blaszka łuszczyka (Ły) w wace litycznej (otw. Siciny 2, głęb. 2552,8 m, nikole skrzyżowane)  
Quartz (Q), feldspar (Sk) and lithoclast (L) grains and mica flake (Ły) in lithic wacke (Siciny 2 borehole, depth 2552.8 m, crossed nicols)
- Fig. 2. Liczne okruchy skał wulkanicznych (Lv) w arenicie litycznym, wulkanoklastycznym (otw. Siciny IG 1, głęb. 2499,9 m, jeden nikol)  
Many fragments of volcanic rocks (Lv) in volcanoclastic, lithic arenite (Siciny IG 1 borehole, depth 2499.9 m, one nicol)
- Fig. 3. Ziarno skalenia (Sk) ze śladami argilityzacji (strzałka) w wace litycznej (otw. Siciny 2, głęb. 2140,7 m, nikole skrzyżowane)  
Feldspar (Sk) grain with traces of argillitization in lithic wacke (Siciny 2 borehole, depth 2140.7 m, crossed nicols)
- Fig. 4. Okruch skały wulkanicznej (Lv) częściowo schlorityzowany (strzałka) oraz ankeryt (Ak, niebieska barwa) w wace litycznej (otw. Siciny 2, głęb. 2116,3 m, jeden nikol)  
Volcanic rock fragment (Lv) partly chloritized (arrow) and ankerite (Ak, blue colour) in lithic wacke (Siciny 2 borehole, depth 2116.3 m, one nicol)
- Fig. 5. Ziarna kwarcu (Q) z zatokami korozyjnymi (strzałki) w arenicie litycznym, wulkanoklastycznym (otw. Siciny 2, głęb. 2232,8 m, nikole skrzyżowane)  
Quartz (Q) grains with embayments (arrows) in volcanoclastic, lithic arenite (Siciny 2 borehole, depth 2232.8 m, crossed nicols)
- Fig. 6. Matriks (strzałki) w wace litycznej (otw. Siciny 2, głęb. 2607,2 m, nikole skrzyżowane)  
Matrix (arrows) in lithic wacke (Siciny 2 borehole, depth 2607.2 m, crossed nicols)





Aleksandra Kozłowska, Marta Kuberska — Piaskowce dolnego karbonu strefy wielkopolsko-śląskiej jako utwory perspektywiczne pod względem poszukiwań złóż gazu zamkniętego (badania wstępne)



## TABLICA II

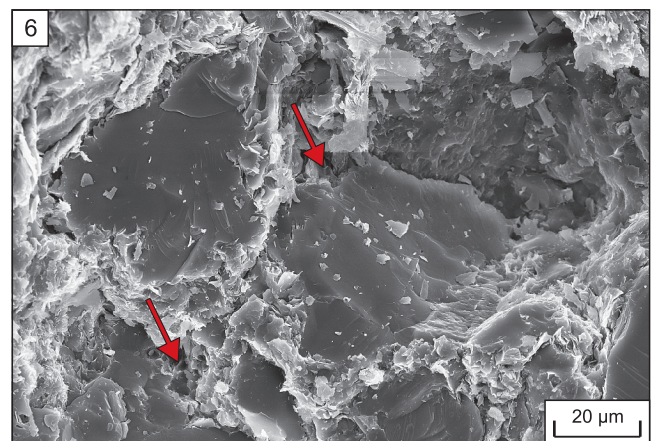
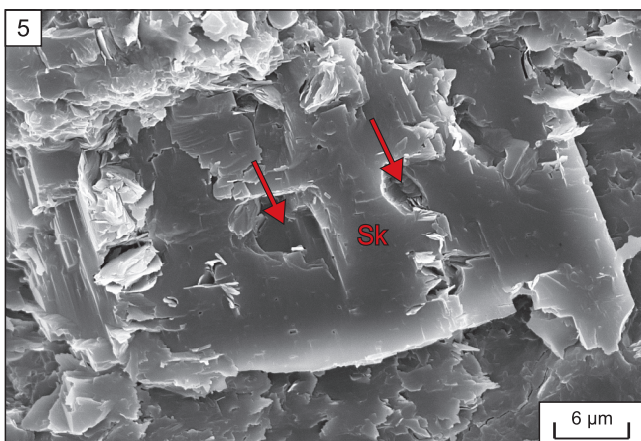
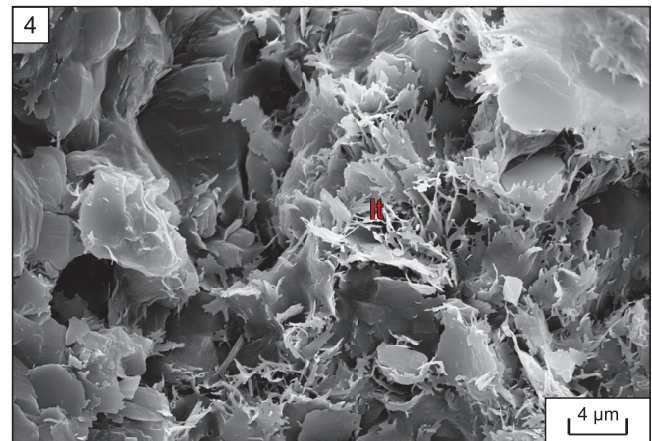
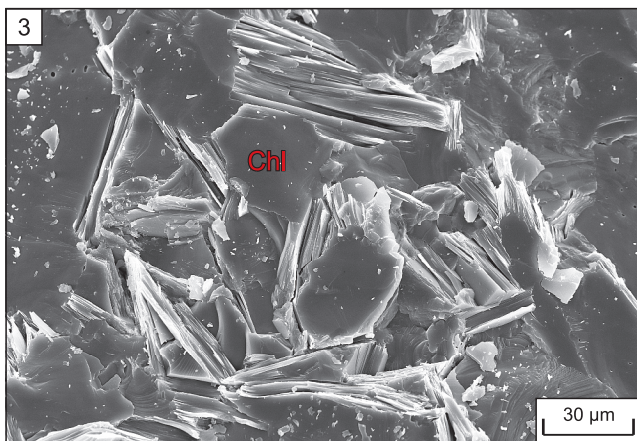
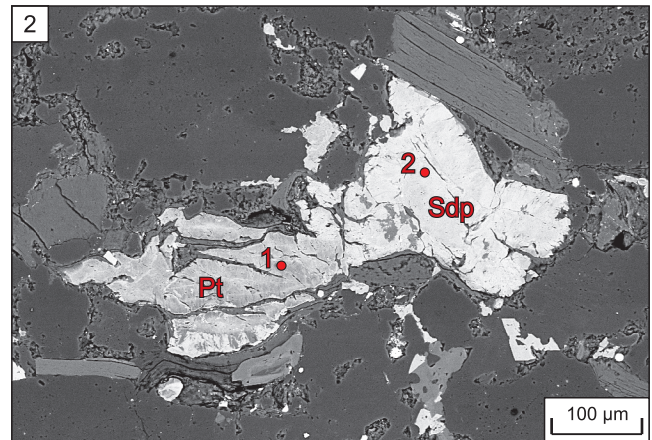
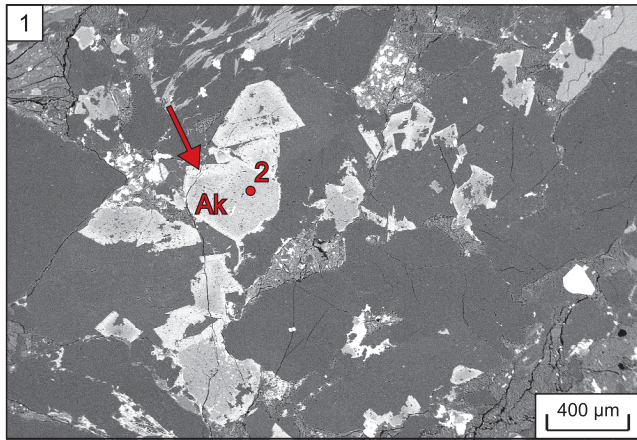
### Zdjęcia piaskowców wykonane w skaningowym mikroskopie elektronowym

Sandstones photographs taken in scanning electron microscope

- Fig. 1. Cement ankerytowy (Ak) w piaskowcu (punktem zaznaczono miejsce wykonania analizy chemicznej EDS – tab. 1); warstwa zewnętrzna kryształu (strzałka) zubożona w żelazo (otw. Września IG 1, głęb. 4994,1 m, BSE)  
Ankerite cements (Ak) in sandstone (with marked point of EDS chemical analysis – Table 1); outer layer of crystal (arrow) depleted in iron (Września IG 1 borehole, depth 4994.1 m, BSE)
- Fig. 2. Syderoplesyt (Sdp) i pistomesyt (Pt) w piaskowcu (punktami zaznaczono miejsca wykonania analizy chemicznej EDS – tab. 1; otw. Września IG 1, głęb. 5774,1 m, BSE)  
Sideroplesite (Sdp) and pistomesite (Pt) in sandstone (with marked points of EDS chemical analysis – Table 1; Września IG 1 borehole, depth 5774.1 m, BSE)
- Fig. 3. Błazki autigenicznego chlorytu (Chl; otw. Marcinki IG 1, głęb. 4200,2 m, SE)  
Authigenic chlorite flakes (Chl; Marcinki IG 1 borehole, depth 4200.2 m, SE)
- Fig. 4. Illit włóknisty (It) narastający na illicie blaszkowym (otw. Paproć 29, głęb. 3276,6 m, SE)  
Fibrous illite (It) growing on illite flake (Paproć 29 borehole, depth 3276.6 m, SE)
- Fig. 5. Porowatość wtórna (strzałki) powstała w wyniku rozpuszczenia ziarna skalenia (Sk; otw. Siciny IG 1, głęb. 2998,5 m, SE)  
Secondary porosity (arrows) created as the results of feldspar (Sk) grain dissolution (Siciny IG 1 borehole, depth 2998.5 m, SE)
- Fig. 6. Mikroporowatość (strzałki) w piaskowcu (otw. Września IG 1, głęb. 4959,3 m, SE)  
Microporosity (arrows) in sandstone (Września IG 1 borehole, depth 4959.3 m, SE)

SE – obrazy w widmie elektronów wtórnych, BSE – obrazy w widmie elektronów wtórnie rozproszonych

SE – secondary electron imaging, BSE – back-scattered electron imaging



Aleksandra Kozłowska, Marta Kuberska — Piaskowce dolnego karbonu strefy wielkopolsko-śląskiej jako utwory perspektywiczne pod względem poszukiwań złóż gazu zamkniętego (badania wstępne)