

## Analiza sedymentologiczna drobnoziarnistych osadów górnoordowicko-dolnosylurskich basenu podlasko-lubelskiego

Paweł Lis<sup>1</sup>



Upper Ordovician-Lower Silurian fine-grained sediments in the Podlasie-Lublin Basin. *Prz. Geol.*, 58: 259–262.

*Abstract.* In western and central parts of the Podlasie-Lublin Basin, Upper Ordovician–Lower Silurian mixed siliciclastic-carbonate section is dominated by fine-grained sediments (claystones, mudstones), which are passing into more carbonaceous ones towards the east. In this region, subsidence was controlled by flexural bending of the East European Craton margin. Sedimentological analysis of drill cores revealed that deposition of those fine-grained sediments originated from suspension and traction currents. Amount of oxygen plays important role in the rock record (Fig. 1) whereas occurrence of pyrite is significant for determinations of sedimentary conditions, also in terms of sea level changes (Fig. 2). The rocks display abundant sedimentological structures such as current ripples, wave ripples, hummocky cross-stratification (HCS), graded beds, water escape structures, soft sediment deformation and scours (Fig. 3). The rocks are also characterized by predominance of wave ripples, common scours, graded beds and soft sediment deformations whereas current ripples, water escape structures and HCS are rather rare. The most frequent of the ichnofacies elements include unlined, rarely branched Planolites, which represent Scolithos, Cruziana and Zoophycus ichnofacies. The size of elements of Planolites ichnofacies appears dependent on environmental conditions and ranges from 0.5 mm to 15 mm. Chondrites, Anconichnus, Helminthopsis and Teichichnus, very important environment indicators, are present but not that common (Fig. 4). Textural analyses along with the records of diagenetic features made it possible to distinguish a succession of stratigraphic parasequences (Fig. 5). Early carbonate cementation appeared important, especially in the case of subtle or invisible changes in grain size. On the basis of the obtained results, depositional environment of fine-grained sediments in the Podlasie-Lublin Basin was interpreted as a wave-dominated shelf with turbidite episodes. Detailed sedimentological observations are crucial for defining facies types and prediction of their distribution, but also for tracing the most organic-rich units in the sedimentological profile, as the basis in terms of gas shale prospects. Apparently monotonous fine-grained sediments (claystones and mudstones) are shown to be in fact miscellaneous.

**Keywords:** Podlasie-Lublin Basin, mudstones, core analysis

Górnoordowicko-dolnosylurski basen podlasko-lubelski zdominowany jest przez facje drobnoziarniste (iłowce, mułowce), ku wschodowi przechodzące wyraźnie w utwory węglanowe. Analiza sedymentologiczna rdzeni wiertniczych dokumentuje depozycję osadów drobnoziarnistych zarówno z suspensji, jak i z prądów trakcyjnych. Pozyskane dane wsparte materiałem geofizyki otworowej stanowią kluczowy wkład w zrozumienie facji i asocjacji facjalnych basenu sedymentacyjnego, a także kluczowego składnika osadu w aspekcie poszukiwania złóż węglowodorów typu *gas shale* – materii organicznej.

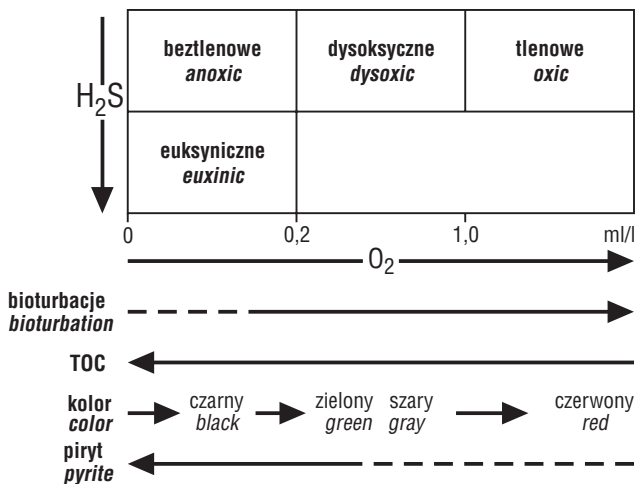
Górnoordowicko-dolnosylurskie osady wypełniające basen bałtycko-podlasko-lubelski (BPL) ułożone są w wyraźnie strefowym porządku, wykazując rozciągłość NNW–SSE. Część zachodnia i centralna zdominowana jest przez litofację ilastą, która ku wschodowi przechodzi w litofację marglisto-ilastą, dalej marglisto-dolomityczną osiągając maksimum zawartości węgla wapnia na wschodzie basenu, gdzie jest reprezentowana przez litofację wapienno-ilastą (Modliński i in., w przygotowaniu). Subsycjencja w basenie była kontrolowana przez fleksuralne uginanie zachodniej krawędzi platformy wschodnioeuropejskiej, które spowodowane było kolizją Avalonii z Baltiką. Pierwsza faza subsycjencji zapoczątkowana została w landowerze. Ograniczona dostawa materiału terygenicznego do basenu była spowodowana brakiem reliefu nasunięcia oraz znaczną odległością od frontu oro-

geny. Wielkość subsycjencji znacząco wzrosła w wenloku i ludlowie, potwierdzając postęp nasunięcia w kierunku wschodnim i osiągając swoje maksimum w przydołu. Basen osadowy znajdował się pod wpływem dwóch obszarów źródłowych, zachodniego — orogenicznego oraz wschodniego — platformowego. Na obszarze basenu BPL zauważalne jest przesuwanie się osi maksimum subsycjencji z zachodu ku wschodowi (Lazauskiene i in., 2003).

### Sedymentologia osadów drobnoziarnistych

Utwory drobnoziarniste, o frakcji ilastej i mułowcowej (zawierające cząsteczki o wielkości do 64  $\mu\text{m}$ ) stanowią najbardziej rozpowszechniony typ osadów na Ziemi, jednocześnie ich rozpoznanie jest stosunkowo słabe (Potter i in., 2005). Lateralnie osady te mogą przechodzić w piaskowce lub wapienie. Subtelne zmiany wykształcenia mułowców, podobnie jak piaskowców oraz wapieni, pozwalają między innymi na identyfikację zmian względnie poziomu morza (WPM), dostarczają kluczowych wskazówek do korelacji, stanowiąc wartościową informację zarówno w skali lokalnej, jak i regionalnej, nawet na przestrzeni kilkuset kilometrów. Terygeniczny materiał frakcji mniejszej niż 4 mikrometry (ił) pochodzi głównie z wietrzenia chemicznego, a także może być efektem działania lodowców lub wulkanów. Terygeniczny osad frakcji wielkości 4–64 mikrometrów (muł) pochodzi głównie z wietrzenia fizycznego (Potter i in., 2005). Jedną z podstawowych i najważniejszych właściwości iłowców jest ich depozycja w formie agregatów (O'Brien & Slatt, 1990). Pojedyncze cząsteczki łączą się ze sobą w procesie flokulacji, zarówno na drodze procesów fizycznych, jak i biologicznych. Dzięki tej właściwości pojedyncze ziarna

<sup>1</sup>Państwowy Instytut Geologiczny — Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; pawel.lis@pgi.gov.pl



Ryc. 1. Środowiska sedymentacji mułowców w funkcji zawartości tlenu w osadzie (Potter i in., 2005)

Fig. 1. Sedimentary environments of mudstones defined by oxygen (Potter et al., 2005)

osadu przybierają wielkość nawet kilkuset mikrometrów, a tym samym mogą osiągać podobną wielkość jak ziarna piasku drobno- (125–250  $\mu\text{m}$ ) lub średnioziarnistego (250–500  $\mu\text{m}$ ). Depozycja w formie agregatów mułowcowych może przebiegać na drodze prądów trakcyjnych, tworząc formy dna podobne jak w przypadku piaskowców (Macquaker & Bohacs, 2007; Schieber i in., 2007), czyli tworzone są pola riplemarków lub pojedyncze riplemarki o wysokości do kilku centymetrów.

Podczas depozycji osadów drobnoziarnistych istotna jest zawartość tlenu w górnej warstwie osadu, tlen pozwa-

la na rozwijanie się infauny i epifauny. Wraz ze spadkiem stężenia tlenu w osadzie spada ilość infauny, co bezpośrednio przekłada się na lepsze zachowanie laminacji osadu (niższy indeks bioturbacji), a także wzrasta ilość materii organicznej, wyrażonej przez całkowitą zawartość węgla organicznego (TOC — *Total Organic Carbon*), kolor zmienia się z czerwonego przez zielony, szary do czarnego, wzrasta też przy tym zawartość pirytu (ryc. 1). W osadach basenu podlasko-lubelskiego piryt występuje w różnych postaciach, od pojedynczych wyraźnych kryształów, przez skupienia, które najczęściej związane są z bioturbacjami o wielkości 0,2–20,0 mm, do ciągłych lamin (w skali szerokości rdzenia) o grubości od 0,2 do około 15 mm (ryc. 2). Osady dolnopaleozoiczne basenu podlasko-lubelskiego wykazują znaczną liczbę struktur sedymentacyjnych, takich jak: riplemarki falowe, riplemarki prądowe, warstwowanie kopułowe (*hummocky cross-stratification*), uziarnienie frakcjonalne, deformacje plastyczne, struktury ucieczkowe oraz powierzchnie erozyjne (ryc. 3). Znaczna przewaga riplemarków falowych wśród struktur sedymentacyjnych oraz rodzaj depozowanego materiału wskazują na depozycję w środowisku szelfu o dominacji falowej. Znaczna liczba lamin wykazujących normalne uziarnienie frakcjonalne wskazuje na to, że basen był często nawiedzany przez pędzące prądy turbidytowe (*surge turbidite*), które nie wykazywały przyspieszania (*waxing*) i zwalniania (*waning*) podczas depozycji osadu. Natomiast absencja odwróconego uziarnienia frakcjonalnego w osadzie, może świadczyć o braku depozycji z przydennych prądów gęstościowych (hiperpyknyty).

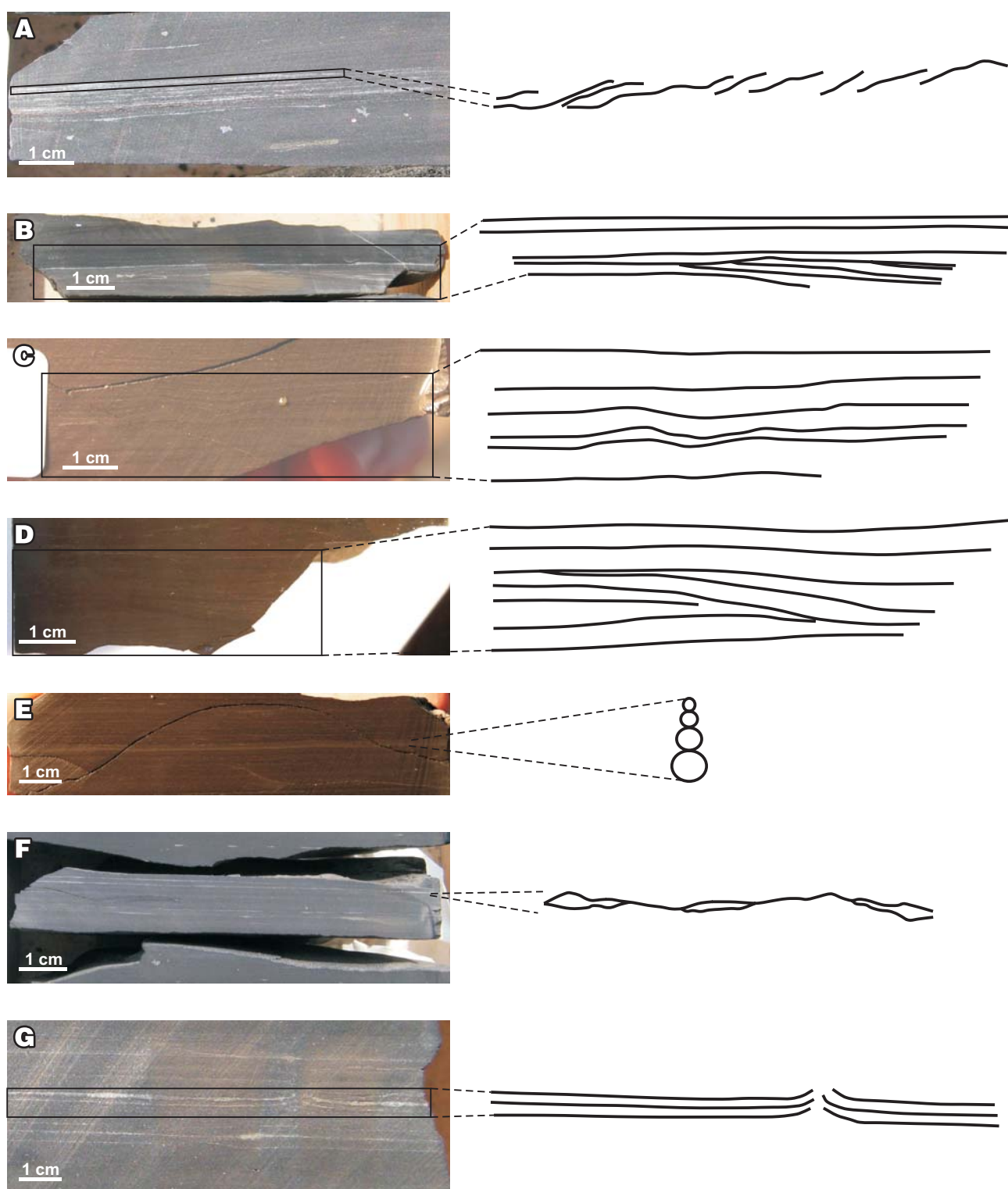
Mnogość ichnoskamieniałości w połączeniu z innymi wskaźnikami jest bardzo pomocna w określeniu środowiska depozycji. Najbardziej typową ichnoskamieniałością w badanych osadach, reprezentującą element ichnofacji *Skolithos*, *Cruziana* i *Zoophycos* jest *Planolites*, którego wielkość waha się od 0,5 do 15,0 mm. Pospolitym wskaźnikiem ichnofacji *Cruziana* są elementy *Teichichnus* oraz *Chondrites*. *Anconichnus* jest składnikiem ichnofacji *Skolithos* i *Cruziana*, a najbardziej dystalne środowisko reprezentuje *Helminthopsis* (ryc. 4), który jest elementem ichnofacji *Zoophycos*. Pośrednim wskaźnikiem energetyczności środowiska depozycji jest stopień zachowania skamieniałości, głównie graptolitów.

Analiza sedymentologiczna jest jednym z podstawowych narzędzi badania osadu, które pozwala na dokonanie korelacji międzyotworowej, w szczególności gdy obserwacje te wsparte są danymi geofizyki otworowej. Dla zrozumienia dystrybucji facji oraz materii organicznej w basenie kluczowe jest zbudowanie ram opartych na stratygrafii sekwencji. Przy wyznaczaniu granic podstawowej jednostki (parasekwencji) bardzo pomocne jest wskazanie interwałów wczesnej cementacji węglanowej (ryc. 5). Tuż powyżej tego interwału wyznaczyć można powierzchnie zalewu morskiego, w większości przypadków jest ona podkreślona znaczącą zmianą wielkości ziarna. Natomiast w przypadku subtelnej zmiany wielkości ziarna lub jej braku wyjątkowo pomocny w wyznaczeniu powierzchni zalewu jest interwał wykazujący wczesną cementację węglanową. Kluczowym,



Ryc. 2. Piryt wykształcony jako: A — skupienia; B — laminy

Fig. 2. A — Nodular pyrite; B — Laminar pyrite

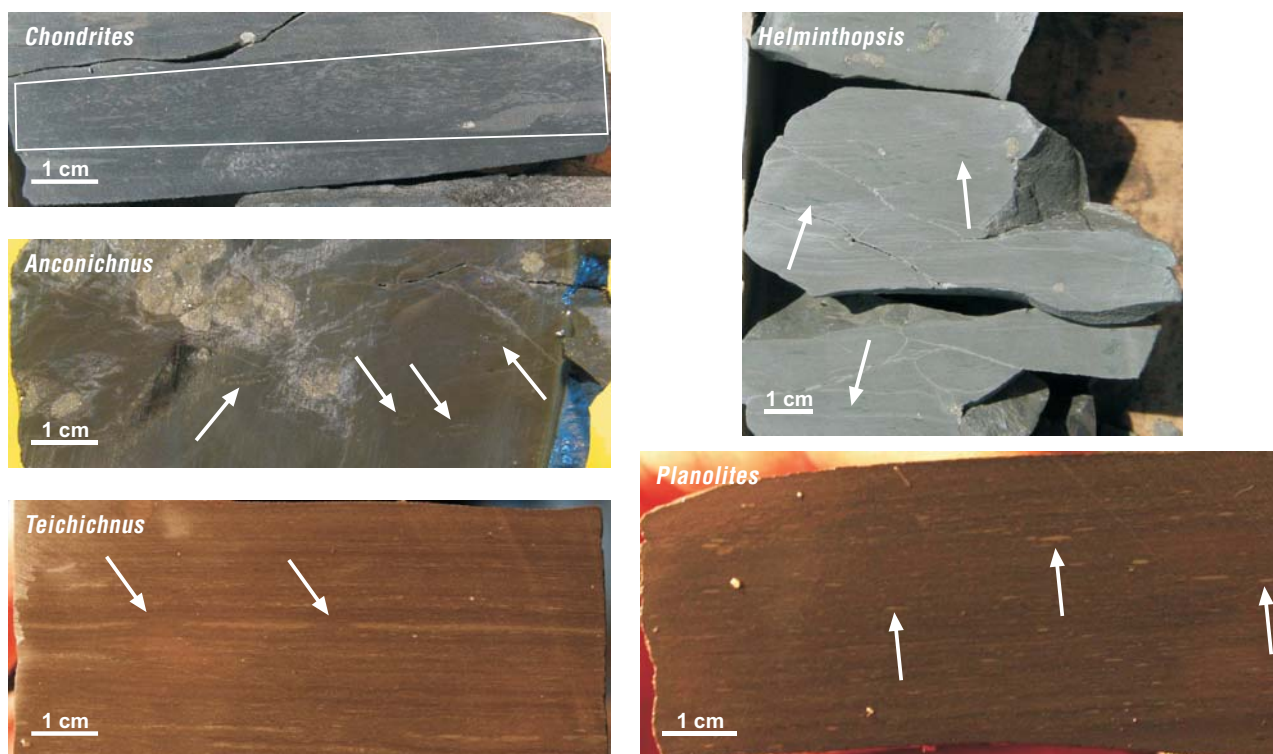


**Ryc. 3.** Struktury sedymentacyjne w osadach basenu podlasko-lubelskiego: **A** — riplemark prądowy; **B** — powierzchnia erozyjna; **C** — deformacje plastyczne; **D** — warstwowanie kopułowe (*hummocky cross-stratification*); **E** — uziarnienie frakcyjne; **F** — riplemark falowy; **G** — struktura uciezkowa

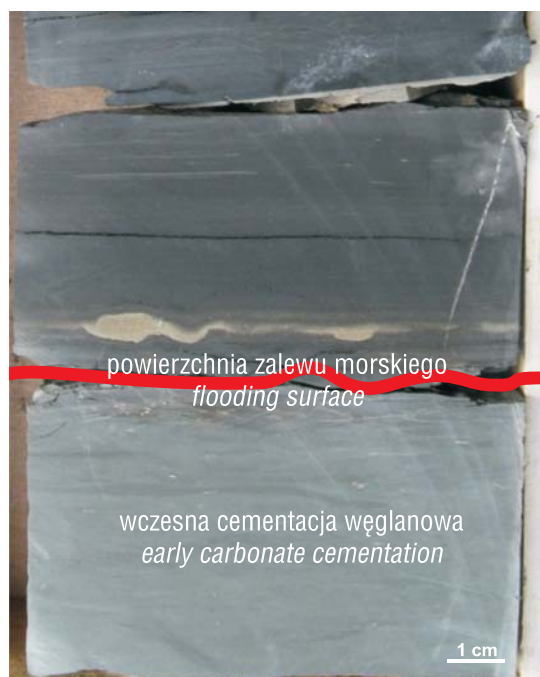
**Fig. 3.** Sedimentological structures in deposits of the Podlasie-Lublin Basin: **A** — current ripple; **B** — scour; **C** — soft sediment deformation; **D** — hummocky cross-stratification; **E** — graded bed; **F** — wave ripple; **G** — water escape structure

w aspekcie złożowym, składnikiem osadu jest zawartość materii organicznej oraz jej dystrybucja w basenie. Doświadczenie pokazuje, że interwały z najwyższą zawartością materii organicznej nie przekładają się bezpośrednio na te, w których pierwotna produkcja materii organicznej była największa. Na przykład w formacji Monterey (mion-

cen, Kalifornia) materia organiczna w interwałach o największej produkcji była niejako rozmyta przez materiał biogeniczny oraz krzemionkę. Dobre warunki zachowania przy nawet średniej stopie produkcji pozwalają, na ogół, na znaczące koncentracje materii organicznej (Bohacs i in., 2005).



Ryc. 4. Typowe bioturbacje w osadach dolnego paleozoiku z basenu podlasko-lubelskiego  
 Fig. 4. Typical Lower Paleozoic bioturbations in deposits of the Podlasie-Lublin Basin



Ryc. 5. Fragment rdzenia wiertniczego z powierzchnią zalewu morskiego oraz interwałem z wczesną cementacją węglanową  
 Fig. 5. Part of drillcore displaying flooding surface and interval with early carbonate cementation

### Wnioski

Szczegółowa analiza rdzeni wiertniczych dostarcza ważnych informacji dotyczących środowiska sedimentacji. Badane osady wykazują mnogość struktur sedimentacyjnych, wśród których dominują riplemarki falowe.

Tekstura osadu i ilościowy stosunek poszczególnych struktur sedimentacyjnych wskazują, że środowiskiem sedimentacji był szelf zdominowany procesami falowymi, do którego epizodycznie schodziły pędzące prądy turbidytowe. Badania sedimentologiczne pozwalają na wskazanie powierzchni zalewów morskich oraz granic sekwencji w pozornie monotonicznych osadach mułowcowych. Ważną rolę spełnia tu wyznaczenie interwałów wczesnej cementacji węglanowej. Wysokorozdzielcza analiza wsparta danymi geofizyki otworowej pozwala na precyzyjne korelacje międzyotworowe oraz wskazanie najbardziej perspektywicznych, pod względem gazoności, obszarów basenu.

### Literatura

- BOHACS K., GRABOWSKI G., CARROLL A., MANKIEWICZ P., MISKELL-GERHARDT K., SCHWALBACH J., WEGNER M. & SIMO J. 2005 — Production, destruction, and dilution — the many paths to source-rock development. SEPM Sp. Publ., 82: 61–101.
- LAZAUSKIENE J., SLIAUPA S., BRAZAUSKAS A. & MUSTEIKIS P. 2003 — Sequence stratigraphy of the Baltic Silurian succession: tectonic control on the foreland infill [In:] McCann T. & Saintot A. (eds.) Tracing Tectonic Deformation Using the Sedimentary Record. Geol. Soc. London, Sp. Publ., 208: 95–115.
- MACQUAKER J. & BOHACS K. 2007 — On the Accumulation of Mud. Science, 318:1734–1735.
- MODLIŃSKI Z., PODHALAŃSKA T., SZYMAŃSKI B. (w przygotowaniu) — Atlas map paleomiąższościowo-litofacjalnych i paleogeologicznych. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- O'BRIEN N.R. & SLATT R.M. 1990 — Argillaceous Rock Atlas. Springer, Berlin-Heidelberg-New York.
- POTTER P.E., MAYNARD J.B., DEPETRIS P.J. 2005 — Mud & Mudstones: Introduction and Overview. Springer, Berlin-Heidelberg.
- SCHIEBER J., SAUTHARD J., THAISEN K. 2007 — Accretion of Mudstone Beds from Migrating Floccule Ripples. Science, 318: 1760–1763.

Praca wpłynęła do redakcji 15.02.2010 r.  
 Po recenzji akceptowano do druku 01.03.2010 r.