

Litofacje formacji perspektywicznych dla gazu i ropy w łupkach w utworach ordowiku i syluru na obszarze bałtyckim i podlasko-lubelskim

Anna Feldman-Olszewska¹, Joanna Roszkowska-Remin¹



A. Feldman-Olszewska



J. Roszkowska-Remin

Lithofacies of the Ordovician and Silurian formations prospective for shale gas/oil in the Baltic and Podlasie-Lublin areas. *Prz. Geol.*, 64: 968–975.

Abstract. The paper presents a sedimentological analysis of Ordovician (Sandbian–Hirnantian = Caradoc–Ashgill) and Silurian (Landover–Wenlock, lower Ludlow) claystones and mudstones from the north-eastern (Baltic Basin) and south-eastern (Podlasie-Lublin Basin) parts of the East European Craton. In both basins, formations prospective for shale gas/oil were analyzed: the Sasino Fm., Pasłek Fm. (including the Jantar Mb.), Pelplin Fm., Udal Fm., Wrotnów Fm. and Terespol Fm. Based on lithological and sedimentological criteria, 34 lithofacies and 11 lithofacies associations have been distinguished. The most promising lithofacies are represented by the L-1, L-3 and L-4 associations which are characterized by dark grey colour, a very low degree or lack of bioturbation, rare sedimentary structures, and common content of small pyrite concretions. They dominate in the Sasino Fm., Pasłek Fm. (in the Jantar Mb.

only) and Pelplin Fm., but are much less common in the Udal Fm., Terespol Fm. and Pasłek Fm. (excluding the Jantar Mb.).

Keywords: lithofacies, Ordovician, Silurian, shales

W ostatnich latach drobnoziarniste utwory ilasto-mułowcowe ordowiku i syluru są przedmiotem zainteresowania ze względu na ich potencjał węglowodorowy. Jedną z możliwości wskazania stref perspektywicznych w tych utworach jest rozpoznanie ich przestrzennego zróżnicowania facjalnego. Przedmiotem badań była analiza sedimentologiczna i facjalna skał ordowiku: sandb–hirnant (= karadok–aszgil) i syluru (landower–wenlok, niższy ludlow), występujących na obszarze kratonu wschodnio-europejskiego Polski północno-wschodniej (obszar bałtycki) i południowo-wschodniej (obszar podlasko-lubelski).

Celem pracy było scharakteryzowanie pod względem sedimentologicznym tych formacji łupkowych ordowiku i syluru, które są uważane za perspektywiczne dla występowania w nich gazu i ropy w Polsce.

METODYKA BADAŃ

Na potrzeby rozpoznania litofacji charakterystycznych dla perspektywicznych interwałów ordowiku i syluru na obu obszarach wykonano badania materiału rdzeniowego z otworów archiwalnych, w których perspektywiczne kompleksy skalne (formacje) były najpełniej rdzeniowane, oraz z nowo odwierconych. Dla obszaru bałtyckiego zostały sprofilowane otwory archiwalne: Lębork IG 1 (Feldman-Olszewska, 2015), Kościerzyna IG 1, Darżlubie IG 1, Olsztyn IG 2 oraz nowe otwory: Borch 1, Wysin 1, Lubocino 1, B8-Z4 i B8-Z5. Na obszarze podlasko-lubelskim profilowanie przeprowadzono w następujących otworach: Tłuszcz IG 1, Żebrak IG 1, Krowie Bagno IG 1, Busówno IG 1, a także w nowo odwierconym Lubycza Królewska 1. Ze względu na podobieństwo w rozwoju facjalnym osadów niższego paleozoiku w obszarze podlasko-lubelskim oraz strefy Narola, znajdującej się na granicy ze strefą TESZ (Trans European Suture Zone), sprofilowano także

wybrane fragmenty rdzenia w dwóch otworach ze strefy Biłgoraj–Narol: Narol IG 1 i Narol PIG 2.

Przeprowadzona analiza facjalna uwzględniała profilowania litologiczno-sedimentologiczne, które były wykonywane w skali centymetrowej, pod uwagę brano następujące zmienne: litologię, frakcję, obecność i rodzaj struktur sedimentacyjnych (typy laminacji, warstwowania, uziarnienie frakcjonalne, granice erozyjne), obecność, wielkość i rodzaj kongrecji (pirytowych, węglanowych, fosforytowych), stopień bioturbacji, kolor osadu wapnistość osadów (parametr określany przez stopień reakcji na kwas solny), ilość, stan zachowania i sposób występowania makrofauny, teksturę, obecność żył, zaburzenia tektoniczne. Po rozpoznaniu literaturowym (Potter i in., 2005; Macquaker & Adams, 2003; Lazar i in., 2015; Lis, 2010) przyjęto następujący podział skał drobnoklastycznych: łąwce, mułowce łąwcowe/ilaste, mułowce, mułowce pylaste, pyłowce. Dla określenia stopnia bioturbacji zastosowano skalę od 1 do 6 (Taylor & Goldring, 1993). Barwa osadu została oznaczona wg skali kolorystycznej Geological Rock-color Chart, ustalonej przez firmę Munsell.

Na podstawie zmienności powyższych parametrów wyznaczono litofacje charakterystyczne dla wybranych kompleksów skalnych. Zostały one pogrupowane w zespoły litofacjalne (asocjacje litofacjalne).

CHARAKTERYSTYKA LITOFACJI

Zasobność materii organicznej w osadzie na etapie jej powstawania jest warunkowana trzema procesami: produkcją, niszczeniem i rozpraszaniem (Bohacs i in., 2005; Passey i in., 2010; Potter i in., 2005). Im bliżej wybrzeża morza tym produkcja materii organicznej jest wyższa, ale równie wysoki jest stopień rozproszenia materii organicznej zgromadzonej na dnie zbiornika lub w górnej części

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; anna.feldman-olszewska@pgi.gov.pl, joanna.roszkowska-remin@pgi.gov.pl.

osadów. Wynika to z większej dostawy materiału z ładu, oddziaływania prądów i fal oraz niszczenia przez faunę zamieszkującą dobrze natlenione dno zbiornika. Stopień bioturbacji oraz obecność struktur sedymentacyjnych, wskazujących na dynamiczne procesy działające na dnie basenu sedymentacyjnego to podstawowe kryteria sedymentologiczne, dzięki którym w utworach drobnoziarnistych można wskazać interwały mniej lub bardziej perspektywiczne dla występowania węglowodorów.

Szanse na zachowanie się w osadzie znacznej ilości materii organicznej zwiększa niedotlenienie lub obecność warunków beztlenowych w strefie wód przydennych (Calvert & Pedersen, 1992). Takie warunki sprzyjają jednocześnie powstawaniu i zachowaniu w osadzie siarczków żelaza (pirytu). To właśnie nieutlenione siarczki i materia organiczna wpływają w zdecydowany sposób na barwę skał iłowcowo-mułowcowych, nadając im w miarę wzrostu zawartości coraz ciemniejszą barwę. Dlatego kolejnym kryterium makroskopowym podczas wyszukiwania perspektywicznych litofacji jest kolor skały oraz zawartość kongrecji pirytowych, przede wszystkim tych najdrobniejszych, które mogą mieć syngenedymentacyjny lub wczesnodiagenetyczny charakter.

Wymienione kryteria makroskopowego opisu skał zastosowano dla osadów ilasto-mułowcowych ordowiku i syluru na obszarach basenu bałtyckiego i podlasko-lubelskiego w celu wydzielenia tych części profilu, które z punktu widzenia sedymentologicznego reprezentują kompleksy najbardziej perspektywiczne dla generowania i występowania w nich węglowodorów. Wyznaczono 34 litofacje, zostały one pogrupowane w 11 zespołów (Feldman-Olszewska & Roszkowska-Remin, 2016), których nadrzędną cechą jest obecność charakterystycznej struktury sedymentacyjnej, wspólnej dla wszystkich litofacji z danej grupy. W kilku przypadkach (L-0, L-2, L-10, L-11) litofacja została podniesiona do rangi zespołu, ponieważ charakteryzujące ją struktury sedymentacyjne są odmienne od obserwowanych w pozostałych grupach.

Zespoły litofacji

L-0 zespół iłowców bezwapniastych o silnie zaburzonej strukturze, z litoklastami, przepelnionych kongrecjami pirytowymi miejscami nawet onkoidami żelazistymi barwy czarnej lub brązowo-czarnej.

L-1 zespół iłowców lub mułowców ilastych masywnych, bez bioturbacji, w skład którego wchodzi następujące litofacje:

L-1A iłowców/mułowców ilastych bezwapniastych, z pirytem (kongrecje, laminy, warstewki), barwy czarnej (N1), ciemnoszaro-czarnej (N2) lub brązowo-czarnej (5YR 2/1), z graptolitami (ryc. 1A);

L-1B iłowców/mułowców ilastych bezwapniastych, bez pirytu, barwy czarnej (N1) lub ciemnoszaro-czarnej (N2), z graptolitami;

L-1C iłowców/mułowców ilastych bezwapniastych, bez pirytu, barwy ciemnoszarej (N3) lub szaro-ciemnoszarej (N4), z graptolitami (ryc. 1B);

L-1D mułowców ilastych bezwapniastych, bez pirytu, barwy szarej (N5) lub jasnoszaro-szarej (N6), z graptolitami;

L-1E iłowców/mułowców ilastych bezwapniastych, z pirytem (kongrecje, wprysnięcia, laminy), barwy ciemno-

szarej (N3) lub szaro-ciemnoszarej (N4), z graptolitami (ryc. 1C);

L-1F iłowców/mułowców ilastych wapniastych, z pirytem (kongrecje), barwy ciemnoszarej (N3) lub szaro-ciemnoszarej (N4), z graptolitami;

L-1G mułowców ilastych wapniastych, bez pirytu, barwy ciemnoszaro-czarnej (N2) lub ciemnoszarej (N3), bez graptolitów lub z pojedynczymi poziomami wzbogaconymi w graptolity;

L-1H iłowców/mułowców ilastych wapniastych, bez pirytu, barwy ciemnoszaro-szarej (N4), z graptolitami i ortocerasami;

L-1I iłowców/mułowców ilastych wapniastych, bez pirytu, barwy szarej (N5) lub szaro-jasnoszarej (N6), czasem z pojedynczymi poziomami z licznymi graptolitami;

L-2 zespół iłowców/pyłowców bezwapniastych o warstwowaniu gradacyjnym (ryc. 1D-E).

L-3 zespół iłowców lub mułowców ilastych z pojedynczymi laminami i soczewkami, rzadko pojedynczymi bioturbacjami, w skład którego wchodzi litofacje:

L-3A iłowców wapniastych z pojedynczymi laminami i soczewkami pyłowca wapniastego, barwy ciemnoszaro-szarej (N4), bez graptolitów lub z pojedynczymi poziomami z graptolitami (ryc. 1F);

L-3B iłowców/mułowców ilastych, bezwapniastych masywnych z pojedynczymi laminami węglanowymi, rzadko z kongrecjami pirytowymi, barwy czarnej (N1), ciemnoszaro-czarnej (N2), oliwkowo-czarnej (5Y 2/1) lub zielonkavo-czarnej (5GY 2/1), bez graptolitów lub z pojedynczymi poziomami z graptolitami (ryc. 1G);

L-3C iłowców bezwapniastych z pojedynczymi laminami i soczewkami pyłowca, niekiedy z pirytem (kongrecje), barwy ciemnoszaro-czarnej (N2) lub ciemnoszarej (N3), z graptolitami.

L-4 zespół iłowców i/lub mułowców ilastych/mułowców, laminowanych, zazwyczaj bez bioturbacji. W jej skład zostały włączone litofacje:

L-4A iłowców i mułowców ilastych bezwapniastych o laminacji poziomej/soczewkowej, z pirytem (kongrecje), barwy ciemnoszaro-czarnej (N2), ciemnoszarej (N3), ciemnoszaro-szarej (N4), szarej (N5) lub zielonkavo-czarnej (5GY 2/1) (ryc. 1H);

L-4B iłowców/mułowców wapniastych o laminacji poziomej/soczewkowej, z pirytem (kongrecje), barwy ciemnoszaro-czarnej (N2), ciemnoszarej (N3) lub zielonkavo-czarnej (5GY 2/1), czasem z rzadko spotykanymi graptolitami lub ortocerasami;

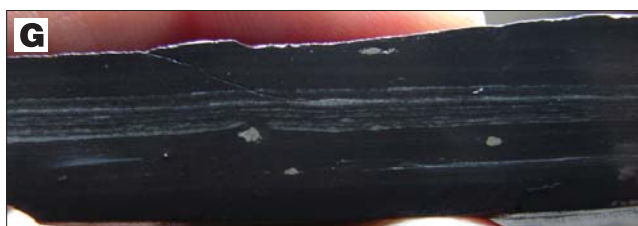
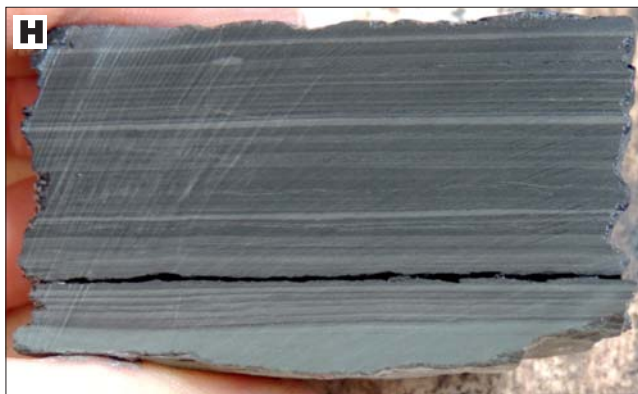
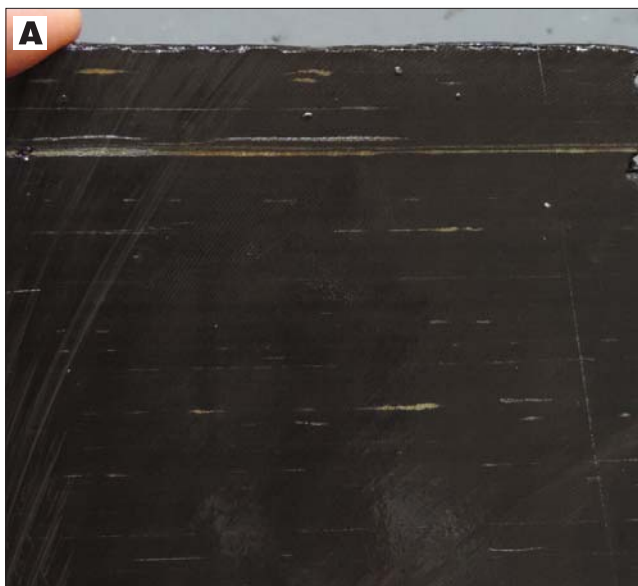
L-4C iłowców/mułowców wapniastych o laminacji poziomej/soczewkowej, bez pirytu, barwy ciemnoszarej (N3), ciemnoszaro-szarej (N4), szarej (N5), zielonkavo-czarnej (5GY 2/1), niekiedy z graptolitami lub ortocerasami;

L-4D iłowców bezwapniastych poziomo/soczewkowo laminowanych pyłowcem, bez pirytu, barwy ciemnoszarej (N3), ciemnoszaro-szarej (N4), nieraz z graptolitami (ryc. 1I).

L-5 zespół iłowców/pyłowców warstwowanych poziomo. Składa się z litofacji:

L-5A iłowców bezwapniastych, barwy brązowawo-szarej (5YR 4/1) (ryc. 2A);

L-5B iłowców/pyłowców wapniastych lub słabo wapniastych, rzadko z pirytem (kongrecje), miejscami zbioturbowanych (*Chondrites* isp., *Planolites* isp.), barwy



Ryc. 1. Przykłady wybranych litofacji: **A** – L-1A, iłowiec masywny z laminami pirytowymi, otwór Borch-1, formacja z Pasłęka (ogniwo Jantaru); **B** – L-1E, iłowiec masywny z poziomem konkrecji pirytowych, otwór Olsztyn IG 2, gł. 2359,73–2359,78 m, formacja z Pasłęka; **C** – L-1H, iłowiec masywny, otwór Olsztyn IG 2, gł. 2335,1–2335,3 m, formacja z Pelplina; **D** – L-2, wkładka pyłowca o warstwowaniu gradacyjnym, otwór Lębork IG 1, gł. 3261,5 m, formacja z Pasłęka; **E** – L-2, iłowcowo/pyłowcowe wkładki o warstwowaniu gradacyjnym, otwór Lębork IG 1, gł. 3260,05 m; formacja z Pasłęka; **F** – L-3A, pozioma lamina pyłowca wapienistego w iłowcu masywnym, otwór Olsztyn IG 2, gł. 2313,6–2313,65 m, formacja z Pelplina; **G** – L-3B, węglanowe laminy i soczewki w iłowcu, pojedyncze *Planolites* isp. (białe kropki), otwór Tłuszcz IG 1, gł. 1960,8 m, formacja z Pasłęka (ogniwo Jantaru); **H** – L-4A, iłowiec o laminacji poziomej, otwór Wysin 1, formacja z Pasłęka; **I** – L-4D, iłowiec o laminacji poziomej i soczewkowej (ripplemarki symetryczne), w górze litofacja L-1C z konkrecją pirytową, otwór Olsztyn IG 2, gł. 2357,7–2357,75 m, formacja z Pasłęka

Fig. 1. Lithofacies examples: **A** – L-1A, massive claystone with pyrite laminae, Borch-1 borehole, Pasłęk Formation (Jantar Member); **B** – L-1E, massive claystone with a level of pyrite concretions, Olsztyn IG 2 borehole, depth 2359.73–2359.78 m, Pasłęk Formation; **C** – L-1H, massive claystone, Olsztyn IG 2 borehole, depth 2335.1–2335.3 m, Pelplin Formation; **D** – L-2, siltstone with graded bedding, Lębork IG 1 borehole, depth 3261.5 m, Pasłęk Formation; **E** – L-2, claystone/siltstone with graded bedding, Lębork IG 1 borehole, depth 3260.05 m, Pasłęk Formation; **F** – L-3A, horizontal lamina of calcareous siltstone in massive claystone, Olsztyn IG 2 borehole, depth 2313.6–2313.65 m, Pelplin Formation; **G** – L-3B, calcareous laminae and lenses in claystone, single *Planolites* isp. (dots), Tłuszcz IG 1 borehole, depth 1960.8 m, Pasłęk Formation (Jantar Member); **H** – L-4A, claystone with horizontal lamination, Wysin 1 borehole, Pasłęk Formation; **I** – L-4D, claystone with parallel and lenticular lamination (symmetrical ripple marks), in upper part L-1C lithofacies with a pyrite concretion, Olsztyn IG 2 borehole, depth 2357.7–2357.75 m, Pasłęk Formation

←

ciemnoszarej (N3) ciemnoszaro-szarej (N4) i szarej (N5), rzadko występują ramienionogi.

L-6 zespół iłowców zbioturbowanych, o barwach szarych, w skład której wchodzi litofacje:

L-6A iłowców bezwapienistych masywnych, słabo zbioturbowanych (*Chondrites* isp., *Planolites* isp.), bez pirytu, barwy ciemnoszaro-czarnej (N2) lub ciemnoszarej (N3) (ryc. 2B);

L-6B iłowców wapienistych masywnych, słabo zbioturbowanych (*Chondrites* isp.), bez pirytu, barwy ciemnoszaro-szarej (N4) i szarej (N5), z graptolitami (ryc. 2C); L-6C iłowców bezwapienistych silnie zbioturbowanych (*Chondrites* isp., *Planolites* isp.), bez pirytu, barwy ciemnoszaro-czarnej (N2) lub ciemnoszarej (N3);

L-6D iłowców bezwapienistych silnie zbioturbowanych (*Chondrites* isp., *Planolites* isp.), z pirytem (konkrecje), barwy ciemnoszaro-czarnej (N2) lub ciemnoszarej (N3) (ryc. 2D);

L-6E iłowców wapienistych, zbioturbowanych (*Chondrites* isp.), barwy ciemnoszaro-szarej (N4) lub szarej (N5) (ryc. 2E);

L-6F warstwowanych iłowców/pyłowców wapienistych lub słabo wapienistych, zbioturbowanych (*Chondrites* isp., *Planolites* isp., ?*Phycodes* isp.), barwy ciemnoszarej (N3) ciemnoszaro-szarej (N4) i szarej (N5), rzadko występują pojedyncze brachiopody.

L-7 zespół iłowców zbioturbowanych o barwach zielonych. W jej skład wchodzi litofacje:

L-7A iłowców bezwapienistych lub słabo wapienistych, rzadko z pirytem (konkrecje, laminy), słabo zbioturbowanych (*Helminthopsis* isp.), barwy zielonej (ryc. 2F);

L-7B iłowców bezwapienistych lub wapienistych, rzadko z pirytem (konkrecje), silnie zbioturbowanych (*Chondrites* isp., *Planolites* isp.), barwy zielonej (ryc. 2G).

L-8 zespół iłowców/mułowców wapienistych masywnych, rzadko z pirytem (konkrecje), barwy zielonej (ryc. 2H).

L-9 zespół iłowców masywnych zlitfikowanych. Składa się z:

L-9A iłowców bezwapienistych silnie scementowanych lub skrzemionkowanych;

L-9B iłowców scementowanych/?zdomolomityzowanych, rzadko z pojedynczymi graptolitami;

L-9C iłowców lekko scementowanych/?zdomolomityzowanych, bardzo rzadko obecny jest w nich piryt (soczewki), rzadko pojedyncze graptolity.

L-10 zespół tufitów barwy szaro-jasnobrazowej (5YR 6/1) lub jasnooliwkowo-szarej (5Y 6/1) (ryc. 2I).

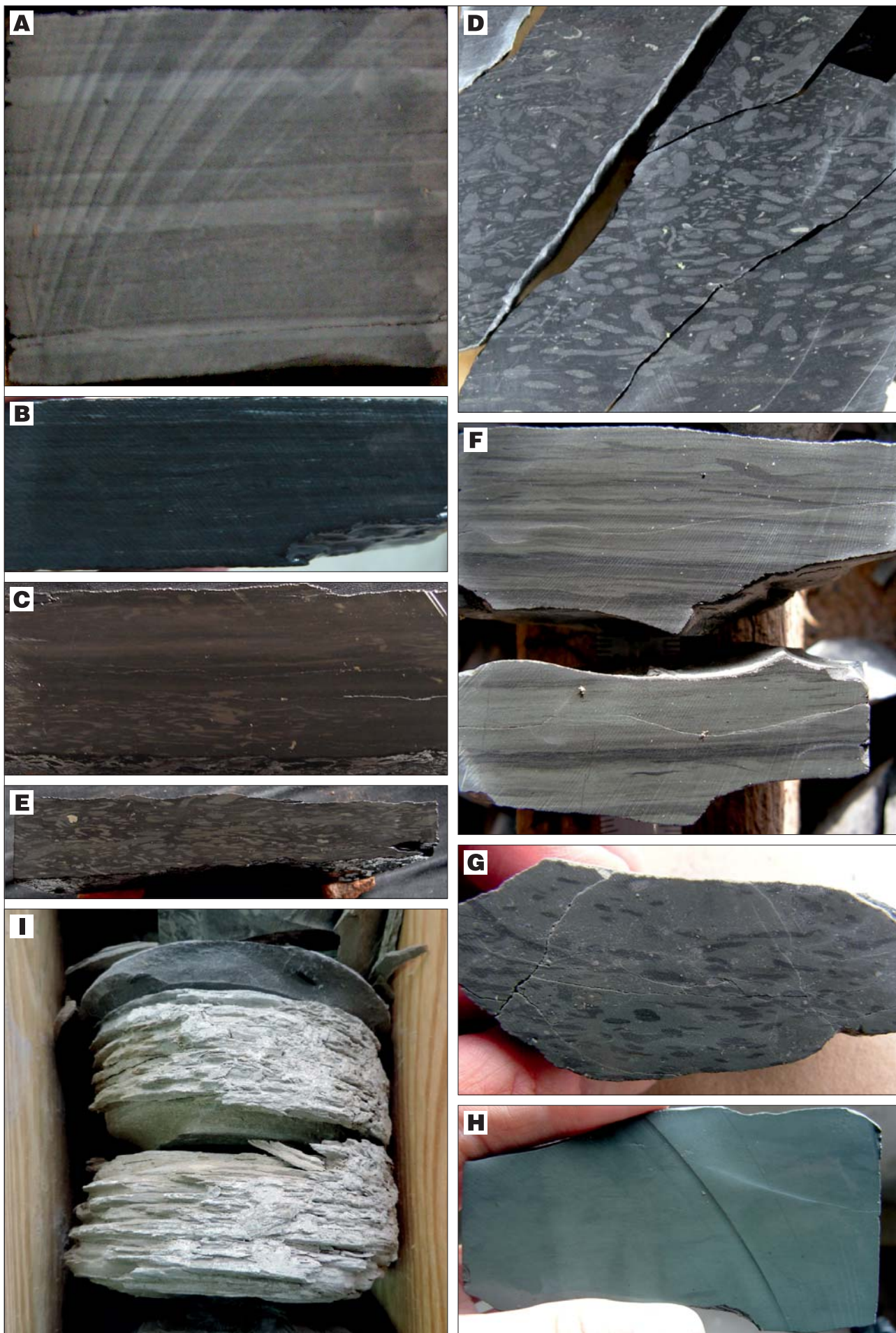
L-11 zespół wapieni (w postaci wkładek wapiennych o różnej miąższości).

CHARAKTERYSTYKA LITOFACJALNA FORMACJI PERSPEKTYWICZNYCH W BASENIE BAŁTYCKIM

Na podstawie badań sedymentologicznych materiału rdzeniowego, rozpoznania literaturowego oraz bieżącego stanu wiedzy za formacje potencjalnie perspektywiczne w ordowiku i sylurze uznano: formację iłowców z Sasina, której wiek przypada na środkowy/górny ordowik (Modliński & Szymański, 1997), formację iłowców z Pasłęka (głównie ogniwo iłowców bitumicznych z Jantaru; Modliński i in., 2006) wieku sylur-landower oraz formację iłowców z Pelplina (Modliński i in., 2006) wieku sylur-wenlok. Osady tych formacji są w literaturze najczęściej uznawane za monotennie wykształcone osady ilasto-mułowcowe.

Ordowik (sandb/kat; karadok) – formacja iłowców z Sasina

W centralnej części basenu bałtyckiego charakterystyczna jest trójdzielność formacji z Sasina. W jej spagu, powyżej granicy erozyjnej można, wydzielić charakterystyczną graniczną litofację L-0 o zaburzonej strukturze, przepelnioną konkrecjami pirytowymi, a miejscami onkoidami żelazistymi. Według Podhalańskiej (1980) spoiwo w tej litofacji zawiera również fosforyty. Dolna i górna część formacji jest zdominowana przez asocjację litofacji L-1 (w tym głównie L-1A i L-1F). Sporadycznie zdarzają się niewielkie interwały litofacji L-3B lub L-6A, a w części górnej również L-7A i wkładki węglanowe (L-11). W najbardziej zachodniej części basenu opisanej trójdzielności nie obserwuje się, dominuje litofacja L-1B, której cechą charakterystyczną jest brak pirytu. We wschodniej części obszaru przeważają utwory o nieco jaśniejszej szarej barwie (litofacja L-1C), chociaż spotyka się tu również litofację L-1B.



Ryc. 2. Przykłady wybranych litofacji cd.: **A** – L-5A, warstwowanie poziome iłowiec/pyłowiec, otwór Lębork IG 1, gł. 3080,76–3080,83 m, formacja z Pelplina; **B** – L-6A, iłowiec słabo zbioturbowany (*Chondrites* isp.), otwór Kościerzyna IG 1, gł. 4390,4 m, formacja z Pasłęka (ogniwo Jantaru); **C** – L-6B, iłowiec słabo zbioturbowany (*Chondrites* isp.) w dole silnie zbioturbowany, otwór Busówno IG 1, gł. 2919,3 m, formacja iłowców Udala; **D** – L-6D, iłowiec silnie zbioturbowany (*Chondrites* isp. ?*Phycodes* isp.), otwór Lubyca Królewska 1, formacja iłowców Udala; **E** – L-6E, iłowiec zbioturbowany (*Chondrites* isp. *Planolites* isp.), otwór Busówno IG 1, gł. 2919,5 m, formacja iłowców Udala; **F** – L-7A, iłowiec słabo zbioturbowany (*Helminthopsis* isp.), barwy zielonej, otwór Olsztyn IG 2, gł. 2359,5 m, formacja z Pasłęka; **G** – L-7B, iłowiec silnie zbioturbowany (*Chondrites* isp., *Planolites* isp.), barwy zielonej, otwór Krowie Bagno IG 1, gł. 2733,2 m, formacja Udala; **H** – L-8, iłowiec masywny barwy zielonej, otwór Tuszcz IG 1, gł. 1928,7 m, formacja z Pasłęka; **I** – L-10, otwór B8-Z4, wkładka tufitowa, formacja z Pasłęka (ogniwo Jantaru)

Fig. 2. Lithofacies examples cont.: **A** – L-5A, claystone/siltstone horizontal bedding, Lębork IG 1 borehole, depth 3080.76–3080.83 m, Pelplin Formation; **B** – L-6A, weakly bioturbated (*Chondrites* isp.) claystone, Kościerzyna IG 1 borehole, depth 4390.4 m, Pasłęk Formation (Jantar Member); **C** – L-6B, weakly bioturbated (*Chondrites* isp.) claystone, strongly bioturbated in the lower part, Busówno IG 1 borehole, depth 2919.3 m, Udal Formation; **D** – L-6D, strongly bioturbated (*Chondrites* isp., ?*Phycodes* isp.) claystone, Lubyca Królewska 1 borehole, Udal Formation; **E** – L-6E, bioturbated (*Chondrites* isp., *Planolites* isp.) claystone, Busówno IG 1 borehole, depth 2919.5 m, Udal Formation; **F** – L-7A, bioturbated (*Helminthopsis* isp.) green claystone, Olsztyn IG 2 borehole, depth 2359.5 m, Pasłęk Formation; **G** – L-7B, strongly bioturbated (*Chondrites* isp., *Planolites* isp.) green claystone, Krowie Bagno IG 1 borehole, depth 2733.2 m, Udal Formation; **H** – L-8, massive green claystone, Tuszcz IG 1 borehole, depth 1928.7 m, Pasłęk Formation; **I** – L-10, tuffite intercalation, B8-Z4 borehole, Pasłęk Formation (Jantar Member)

←

Sylur (landower) – formacja iłowców z Pasłęka (ogniwo iłowców bitumicznych z Jantaru)

Ogniwo z Jantaru wydzielane w dolnej części formacji iłowców z Pasłęka (nie występuje w otworze Olsztyn IG 2) na obszarze bałtyckim charakteryzuje się niewielką zmiennością litofacjalną. Dominującą asocjacją jest L-1, głównie L-1A (zawierająca drobne konkracje pirytowe) oraz L-1B – bez pirytu. W całym ogniwie sporadycznie i na bardzo krótkich odcinkach (kilku cm) można wydzielić interwały słabo zbioturbowane (litofacje L-6A lub L-7A).

W części spągowej, na granicy z formacją z Prabut, w niektórych otworach zaobserwowano zwiększony udział materiału węglanowego (litofacje L-1F, L-3B), a w skrajnie zachodniej części barwa skały staje się nieco jaśniejsza (litofacja L-1C). Z kolei w stropowych partiach ogniwa charakterystyczne są kilkucentymetrowe wkładki węglanowe litofacji L-11.

Sylur (landower) – formacja iłowców z Pasłęka

W formacji iłowców z Pasłęka w centralnej części basenu cechą charakterystyczną jest występowanie interwałów „ciemnych” masywnych lub laminowanych iłowców i mułowców ilastych naprzemiennie z „jaśniejszymi” zielonkawymi zbioturbowanymi iłowcami i mułowcami. Zmiany w litofacjach występują zwykle w skali kilku-, kilkunastocentymetrowej. W spągowej części formacji dominującymi „ciemnymi” litofacjami są L-1A, L-1B, L-1C oraz L-4A, które występują naprzemiennie z „jasnymi” litofacjami L-7A, 7B, a niekiedy L-8.

Wyżej w profilu w „ciemnych” interwałach zanikają litofacje L-1 i dominują litofacje z asocjacji L-4 (głównie L-4A), jedynie w części skrajnie zachodniej nadal dominuje litofacja L-1B, miejscami z wkładkami L-3C lub L-2. Natomiast „jasne” litofacje to w dalszym ciągu L-7A i L-7B oraz L-8, rzadziej L-1C, L-1G i L-1H. W tej części profilu w większości otworów interwały „jasnych” litofacji przeważają nad „ciemnymi”.

W górze profilu „ciemne” odcinki zaczynają dominować, a w nich poza litofacją L-4A pojawiają się utwory bardziej wapniste (L-4B lub L-4C). Jedynie we wschodniej części obszaru bałtyckiego litofacje wapniste (L-1F i L-4B)

są obecne w dole tej części profilu, a pozostałą część tworzą litofacje L-1E, rzadziej L-3C z wkładkami utworów mniej lub bardziej zbioturbowanych barwy zielonej (L-7A) lub ciemnoszarej (L-6D). W całej formacji z Pasłęka sporadycznie występują wkładki wapieni (L-11).

Sylur (wenlok) – formacja iłowców z Pelplina

W centralnej części basenu dominujące są litofacje z asocjacji facjalnej L-4 – głównie L-4B i L-4C, podrzędnie L-4A. Są to osady bardzo monotonne, rozciągające się praktycznie przez cały interwał formacji. Podrzędnie, zwłaszcza w części spągowej, występują cienkie poziome tufitowe (litofacja L-10). Liczne i charakterystyczne dla tego zespołu litofacji są wczesnodiagenetyczne konkracje węglanowe typu *cannon ball* z zachowaną wewnątrz pierwotną laminacją.

W zachodniej części obszaru bałtyckiego dominuje litofacja L-4A. Dodatkowo w dolnej części profilu pojawiają się wkładki litofacji L-2 i L-6A, a w środkowej – L-3C oraz wkładki wapieni (L-11) lub konkracje węglanowe. W górnym odcinku zaczyna dominować litofacja L-5A z wkładkami L-4A, a wyżej L-1D.

Bardziej zróżnicowany jest profil formacji we wschodniej części obszaru. W dolnym odcinku często obserwuje się znaczną homogenizację pierwotnie laminowanych iłowców w wyniku zbioturbowania osadu (dominuje litofacja L-6E). Miejscami występują też wkładki litofacji L-4A, L-4B, L-1F, L-1G, L-1H oraz L-9C. Tomczyk (1977) napisał też o wkładkach bentonitowych i tufitowych (L-10). Ważnym elementem tej części profilu jest obecność kilkumetrowej warstwy skał wulkanicznych (diabazów wg Tomczyk, 1977) oraz 40-centymetrowej warstwy porfirowej. W górnej części formacji pojawiają się litofacje typowe dla centralnej części basenu.

CHARAKTERYSTYKA LITOFACJALNA FORMACJI PERSPEKTYWICZNYCH W BASENIE PODLASKO-LUBELSKIM

W basenie podlasko-lubelskim za formacje potencjalnie perspektywiczne w ordowiku uznano: formację iłowców z Sasina (Modliński & Szymański, 1997), przypa-

dającą na środkowy i górny ordowik, oraz jej regionalny odpowiednik występujący w zachodniej i południowej części Lubelszczyzny – formację iłowców Udala (Modliński, 1984). Dla syluru są to: formacja iłowców z Pasłęka (wraz z ogniwem iłowców bitumicznych z Jantaru; Modliński i in., 2006), która na wschodzie obszaru w górnej części profilu przechodzi obocznie w formację iłowców marglistych z Wrotnowa – obie przypadające na dolny sylur–landower, oraz formacja iłowców z Pelplina (Modliński i in., 2006), która na wschodzie obszaru (wschodnia część obniżenia podlaskiego i wschodnia część obszaru lubelskiego) obocznie przechodzi w formację iłowców wapnistych z Terespoła (Podhalańska i in., 2010) – obie przypadające na wenlok. Utwory te w są literaturze najczęściej uznawane za monotonicznie wykształcone osady ilasto-mułowcowe lub marglisto-ilasto-mułowcowe.

Ordowik (sandb/kat; karadok) – formacja iłowców z Sasina

Formacja ta została wyznaczona w dwóch otworach położonych w północno-zachodniej części obszaru: Żebrak IG 1 i Tłuszcz IG 1. W odróżnieniu od basenu bałtyckiego w formacji tej dominują iłowce i mułowce ciemnoszare bezwapniste, mniej lub bardziej zbioturbowane (L6A/6C/6D), sporadycznie zdarzają się wkładki węglanowe kilkucentymetrowej miąższości (L-11).

Ordowik (sandb/kat; karadok) – formacja iłowców Udala

Formacja ta zbadana została w trzech otworach z południowo wschodniej Lubelszczyzny. W całym profilu formacji przeważają ciemnoszare oraz zielonkawe iłowce i mułowce wapniste mniej lub bardziej zbioturbowane (L-6A, L-6B, L-6D, L-6E, L-7A, L-7B). Dodatkowo w dole profilu sporadycznie obserwuje się wkładki litofacji L-1B lub dominuje litofacja L-1C z wkładkami słabo zbioturbowanych iłowców (L-6A, L-6F) i wapieni „plamistych” (litofacja L-11). W wyższej części formacji profil wykazuje większe zróżnicowanie pomiędzy otworami. W części z nich dominują średnio i silnie zbioturbowane iłowce barwy szaro-zielonej (litofacja L-7B) z wkładkami wapieni „plamistych” i masywnych mułowców (L-8), w innych wyższy odcinek profilu jest zbudowany z zestawów iłowców/mułowców/pyłowców o warstwowaniu gradacyjnym, w różnym stopniu zbioturbowanych, barwy od ciemno- do jasnoszarej (litofacja L-5B i L-6F).

Sylur (landower) – formacja iłowców z Pasłęka (ogniwo iłowców bitumicznych z Jantaru)

Na obszarze podlasko-lubelskim oraz w strefie Biłgoraj-Narol ogniwo z Jantaru budują litofacje czarnych masywnych iłowców i mułowców bezwapnistych (L-1A/1B), z pojedynczymi laminami materiału węglanowego (L-3B) lub lekko wapniste iłowce (L-1F). Sporadycznie zdarzają się interwały o zwiększonym stopniu bioturbacji (L-6A) oraz drobne – do kilkunastu centymetrów, wkładki wapieni (L-11).

Sylur (landower) – formacja iłowców z Pasłęka

Podobnie jak w basenie bałtyckim, cechą charakterystyczną iłowców z Pasłęka jest naprzemiennie występowanie interwałów „ciemnych” wraz z „jaśniejszymi”. Dominującą litofacją „ciemną” jest L-4A, a w górze profilu również (L-4B), które występują naprzemiennie z utworami zbioturbowanymi barwy zielonkawej (L-7A/7B) i szarej (L-6A/L-6C); miejscami obecne są też wkładki utworów masywnych barwy zielonej (L-8). Niekiedy w dolnym odcinku formacji dominuje litofacja L-2, a pojawiające się zbioturbowane interwały są barwy wyłącznie szarej (litofacja L-6A, L-6C, L-6E). W całym profilu formacji z Pasłęka w analizowanych otworach pojawiają się sporadycznie cienkie wkładki węglanowe (L-11).

Sylur (landower) – formacja iłowców marglistych z Wrotnowa

Formacja ta została opisana w otworze Busówno IG 1. Charakteryzuje się podobnym wykształceniem jak w przypadku formacji z Pasłęka, ale zasadniczą różnicą jest zwiększony udział materiału węglanowego w iłowcach i mułowcach. Wśród litofacji „ciemnych” dominuje tu L-1F, która występuje naprzemiennie z jaśniejszymi, zbioturbowanymi, lecz bardziej wapnistymi lub dolomitycznymi litofacjami (L-6B, L-6E, L-7A/7B, L-8).

Sylur (wenlok, niższy ludlow) – formacja iłowców z Pelplina

Formację tworzą głównie drobnoziarniste utwory wapniste o dobrze widocznej laminacji (L-4B i L-4C), w których występują wczesnodiagenetyczne kongrecje węglanowe typu *cannon ball*. Spotyka się również interwały bardziej masywne (litofacje L-1H i L-1I). Sporadycznie odnotowywano pojedyncze laminy tufitów (L-10).

Sylur (wenlok) – formacja iłowców wapnistych z Terespoła

Dominującymi litofacjami są L-1F i L-4B, rzadziej pojawia się litofacja L-3A, L-1H i L-9C. Sporadycznie występują kilku-, kilkunastomilimetrowe wkładki tufitów (L-10) oraz pojedyncze kongrecje węglanowe.

LITOFACJE NAJBARDZIEJ PERSPEKTYWICZNE I ICH WYSTĘPOWANIE W FORMACJACH

Podsumowując na podstawie wyników szczegółowej analizy sedymentologicznej można stwierdzić, że najbardziej perspektywiczne litofacje występujące w skałach ordowiku i syluru w basenach bałtyckim i podlasko-lubelskim to litofacje reprezentujące asocjacje litofacjalne L-1, L-3 i L-4. Charakteryzują się one ciemną, czarną barwą, bardzo niskim stopniem bioturbacji lub brakiem bioturbacji, niewielką ilością struktur sedymentacyjnych oraz często zawierają drobne kongrecje pirytowe. W obu regionach asocjacje te dominują w formacjach: iłowców z Sasina, iłowców z Pasłęka (ale tylko w ogniwie iłowców bitumicznych z Jantaru), iłowców z Pelplina oraz w dużo mniejszym stopniu w formacjach: iłowców Udala, formacji

z Terespoła, czy z Pasłęka (poza ogniwem z Jantaru). Należy też podkreślić, że w basenie bałtyckim, zwłaszcza w jego części centralnej, formacja z Sasina jest trójdzielna, a perspektywiczne litofacje występują jedynie w jej spągu i stropie. Z kolei ogniwo z Jantaru formacji z Pasłęka w basenie bałtyckim jest jednostką litostratygraficzną najbardziej monotonna i z dominującymi litofacjami perspektywicznymi. W basenie podlasko-lubelskim niemal we wszystkich sprofilowanych otworach w formacji łośców Udała dominują litofacje o wysokim stopniu bioturbacji, co zmniejsza jej perspektywiczność. Również w formacjach z Wrotnowa i Terespoła perspektywicznych litofacji jest dużo mniej.

Autorki serdecznie dziękują Recenzentowi Panu dr. Piotrowi Dziadzio (INiG-PIB) za wnikliwą recenzję i cenne uwagi. Prace wykonano w ramach tematu „Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węgłowodorów w Polsce, etap I” i były finansowane przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (umowa dotacji nr 784/2013/Wn-07/FG-SM-DN z dn. 5.11.2013 r.).

LITERATURA

- BOHACS K.M., GRABOWSKI G.J., CARROLL A.R., MANKIEWICZ P.J., MISKELL-GERHARDT K.J., SCHWALBACH J.R., WEGNER M.B. & SIMO J.A. 2005 – Production, Destruction and Dilution – the many paths to source-rock development. [W:] *The Deposition of Organic-Carbon-Rich Sediments: Models, Mechanisms and Consequences*. SEMP Spec. Publ. 82: 61–101.
- CALVERT S.E. & PEDERSEN T.F. 1992 – Organic carbon accumulation and preservation in marine sediments: how important is anoxia? [W:] Whelan J. & Farrington J.W. (red.), *Organic matter: productivity, accumulation, and preservation in recent and ancient sediments*. Columbia Univ. Press, New York: 231–263.
- FELDMAN-OLSZEWSKA A. 2015 – Charakterystyka sedymentologiczna utworów ordowiku górnego oraz landoweru i wenloku (sylur). [W:] Podhalańska T. & Sikorska-Jaworowska M. (red.), *Lębork IG 1 Profile Głęb. Otw. Wiert. PIG-PIB*, 145: 56–66.
- FELDMAN-OLSZEWSKA A. & ROSZKOWSKA-REMIN J. 2016 – Charakterystyka wydzieleni litofacyjnych w skałach ordowiku i syluru w obszarze bałtyckim (BO-SNE) i obszarze podlasko-lubelskim (BO-SSE). [W:] Podhalańska T. (red.), *Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania złóż węgłowodorów niekonwencjonalnych w Polsce, etap I*, Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- LAZAR R.O., BOHACS K.M., MACQUAKER J.H.S., SCHIEBER J. & DEMKO T.M. 2015 – Capturing key attributes of fine-grained sedimentary rocks in outcrops, cores, and thin sections: nomenclature and description guidelines. *J. Sed. Research.*, 85: 230–246.
- LIS P. 2010 – Analiza sedymentologiczna drobnoziarnistych osadów górnordowicko-dolnosylurskich basenu podlasko-lubelskiego. *Prz. Geol.*, 58 (3): 259–262.
- MACQUAKER J.H.S. & ADAMS A.E. 2003 – Maximizing information from fine-grained sedimentary rocks: an inclusive nomenclature for mudstones. *J. Sed. Research.*, 73: 735–744.
- MODLIŃSKI Z. 1984 – Stratygrafia potremadockich osadów ordowiku Lubelszczyzny. *Kwart. Geol.*, 28 (1): 1–16.
- MODLIŃSKI Z. & SZYMAŃSKI B. 1997 – The Ordovician lithostratigraphy of the Peribaltic Depression (NE Poland). *Geol. Quart.*, 41 (3): 273–288.
- MODLIŃSKI Z., SZYMAŃSKI B. & TELLER L. 2006 – Litostratygrafia syluru polskiej części obniżenia bałtyckiego – część lądowa i morska (N Polska). *Prz. Geol.*, 54 (9): 787–796.
- PASSEY Q.R., BOHACS K., ESCH W. L., KLIMENTIDIS R. & SINHA S. 2010 – From oil-prone source rock to gas-producing shale reservoir-geologic and petrophysical characterization of unconventional shale gas reservoirs. [W:] *International oil and gas conference and exhibition in China*. Soc. Petrol. Engineer.
- PODHALAŃSKA T. 1980 – Stratigraphy and facial development of Middle and Upper Ordovician deposits in the Leba Elevation (NW Poland). *Acta Geol. Polon.*, 30 (4): 327–390.
- PODHALAŃSKA T., MODLIŃSKI Z. & SZYMAŃSKI B. 2010 – Nowelizacja stratygrafii syluru brzeżnej części kratonu wschodnioeuropejskiego (obszar Lubelszczyzny i Podlasia). Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- POTTER P.E., MAYNARD J.B. & DEPETRIS P.J. 2005 – *Mud and Mudstones – Introduction and Overview*. Springer, Berlin.
- TAYLOR A.M. & GOLDRING R. 1993 – Description and analysis of bioturbation and ichnofabric. *J. Geol. Soc. London.*, 150: 141–148.
- TOMCZYK H. 1977 – Profil litologiczno-stratygraficzny otworu wiertniczego Olsztyn IG 2. Sylur. [W:] Modliński Z. (red.), *Olsztyn IG 1, Olsztyn IG 2. Profile Głęb. Otw. Wiert. PIG-PIB*, 39: 76–84.



Mułowiec, formacja z Pelplina, sylur, wenlok. Fot. R. Koczyński