

# Materia organiczna łupków kambru, ordowiku i syluru w basenie bałtycko-podlasko-lubelskim Polski

Przemysław Karcz<sup>1</sup>, Marcin Janas<sup>2</sup>



P. Karcz



M. Janas

**Organic matter in Cambrian, Ordovician and Silurian shales of the Baltic-Podlasie-Lublin Basin in Poland.** *Prz. Geol.*, 64: 995–999.

*Abstract.* The upper Cambrian-Silurian Piaśnica, Sasino, Udal and Pelplin formations and the Jantar Member include the most organic-rich lower Paleozoic sedimentary rocks in the Baltic-Podlasie-Lublin Basin in Poland. These rocks vary significantly in terms of vertical and lateral organic matter distribution. Generally, the siltstones, mudstones, claystones and shales are characterized by TOC values from 0.1 to as much as 17.4 wt. %. Typically, the maximum TOC values reach about 9 wt. %. Rock-Eval, organic matter petrology and biomarkers data clearly indicate dominance of type II kerogen. Thermal maturity of organic matter of these rocks is variable and depends mainly on the burial history and depth. In the western slope of the East-European Craton the petroleum prospective formations are located throughout the whole spectrum of thermal maturity zones, from the immature zone (eastern margin of the formations occurrence), through the oil, condensate and gas windows, to the overmature zone dominated by exhausted source rocks in the western margins of the study area.

**Keywords:** Organic matter, Piaśnica Formation, Sasino Formation, Udal Formation, Jantar Member, Pelplin Formation, Rock Eval, TOC

Szczególne zainteresowanie ilasto-mułowcowymi bogatymi w materię organiczną utworami kambru, ordowiku i syluru w Polsce pojawiło się wraz z odkryciem w podobnych skałach niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w USA oraz Kanadzie. Na tej podstawie sugerowano, że skały łupkowe niższego paleozoiku występujące na terenie Polski również mogą być znaczącym źródłem węglowodorów (m.in. Karnkowski i in., 2010; Poprawa, 2010). Dlatego pojawiła się potrzeba szerokich badań tych skał mających na celu rozpoznanie ich potencjału węglowodorowego. Szczególną uwagę zwrócono na formacje: z Piaśnicy, Sasi- na i Udala, ogniwo z Jantaru i formację z Pelplina, zlokalizowane w obszarach bałtyckim oraz podlasko-lubelskim Polski. Warto dodać, że skały łupkowe w Polsce są badane już od dawna. Wśród grupy najbardziej podstawowych należałoby wymienić prace autorstwa: Gondk (1976), Szpanier (1976), Góreckiego i in. (1992), Grotek (1989, 2006), Rzepkowskiej (1989), Kotarby i in. (2008), Klimuszko i Grotek (2008), Karnkowskiego i in. (2010), Więclawa i in. (2010a, b), Kosakowskiego i in. (2016) oraz wielu innych. Spośród naukowców zagranicznych, którzy badali basen bałtycki, warto wymienić publikacje Zdanavičiūtė i Lazauskienė (2007) oraz Nielsena (2004).

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie w sposób przeglądowy najbardziej podstawowych, nowych wyników badań geochemicznych materii organicznej, które zostały uzyskane w ramach projektu badawczego pt. „Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania złóż węglowodorów niekonwencjonalnych w Polsce, etap I”, realizowanego przez Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB) (Rozpoznanie..., 2016) oraz wyników archiwalnych. Przedmiotem badań były łupki niższego paleozoiku w północnej i wschodniej części Polski.

W celu rozpoznania zawartości, pochodzenia oraz dojrzałości węgla organicznego wykonano analizę pirolityczną przy zastosowaniu aparatu Rock Eval w PIG-PIB. Umożliwia ona określenie zawartości węgla organicznego produktywnego (PC), nieproduktywnego (rezydującego, RC) i całkowitego (TOC) oraz innych parametrów i wskaźników geochemicznych niezbędnych przy określaniu typu, stopnia dojrzałości termicznej i pochodzenia materii organicznej.

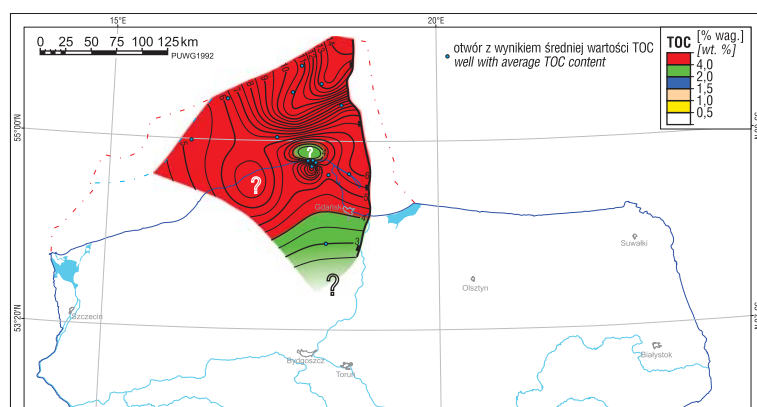
## WYNIKI I DYSKUSJA Formacja z Piaśnicy

W lądowej części obszaru basenu bałtyckiego w utworach formacji z Piaśnicy zawartość węgla organicznego (TOC) waha się w bardzo dużym zakresie od <0,5 do 9,6% wag. Wartości średnie TOC w tej formacji również oscylują w szerokim przedziale w zależności od lokalizacji, wynosząc średnio ok. 5,0–6,0% wag. w otworach Darżlubie IG 1, Żarnowiec IG 1 i Hel IG 1. Niższe wartości TOC odnotowano w południowych sektorach terenu lądowego. Natomiast najwyższe dominują w obszarze północnym i zachodnim występowania formacji (ryc. 1). Dojrzałość termiczna materii organicznej wyrażona jako parametr  $T_{max}$  oscyluje w granicach od 427 do 453°C, przy czym wartości średnie w otworach wahają się w zakresie 435–445°C i są typowe dla strefy wczesnego okna ropnego. Wyniki badań geochemicznych wskazują na dominację kerogenu typu II.

W obszarze morskim formacja z Piaśnicy jest skałą macierzystą, której najwyższe średnie wartości TOC na poziomie 8,8–13,2% wag. stwierdzono w północno-wschodniej jego części (Kotarba i in., 2008; Więclaw i in., 2010a).

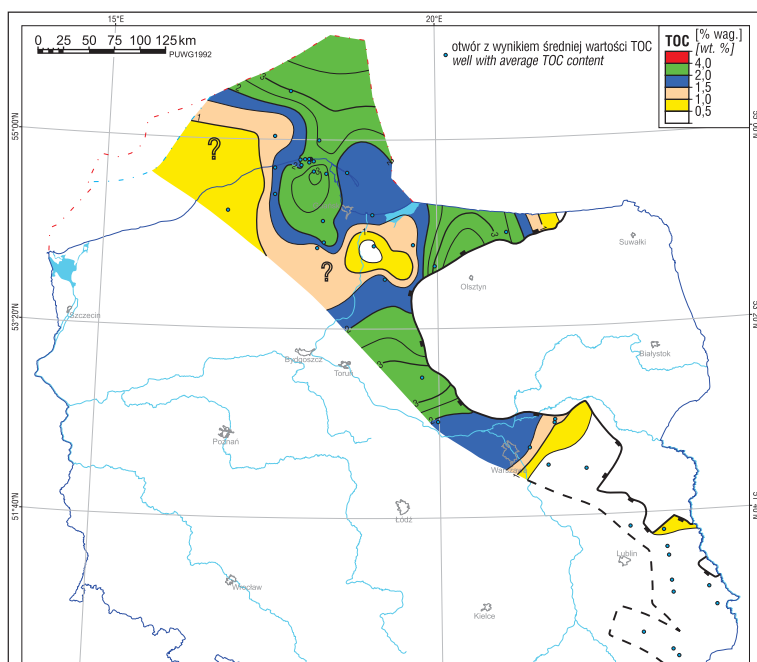
<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Dolnośląski, al. Jaworowa 19, 53-122 Wrocław; przemyslaw.karcz@pgi.gov.pl.

<sup>2</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; marcin.janas@pgi.gov.pl.



**Ryc. 1.** Mapa średniej zawartości węgla organicznego w formacji z Piaśnicy (% wag., TOC). Mapa skompilowana na podstawie danych projektu Rozpoznanie... (2016) oraz prac: Kotarba (1996), Kotarba i in. (2008), Więclaw i in. (2010a, b), Poprawa i in. (2011). Symbol „?” określa obszary, na których przebieg izolinii TOC jest przypuszczalny lub nie udało się wyznaczyć ich przebiegu ze względu na niewielką ilość danych

**Fig. 1.** Map of average total organic carbon content in the Piaśnica Formation (TOC, wt. %). Map compiled based on the project Identification... (2016) and after: Kotarba (1996), Kotarba et al. (2008), Więclaw et al. (2010a, b), and Poprawa et al. (2011). The mark “?” indicates areas where TOC isolines are uncertain or could not be determined due to the small amount of data



**Ryc. 2.** Mapa średniej zawartości węgla organicznego w formacjach z Sasina i Udala (% wag., TOC). Mapa skompilowana na podstawie danych projektu Rozpoznanie... (2016) oraz prac: Kotarba (1996), Kotarba i in. (2008), Więclaw i in. (2010a, b), Poprawa i in. (2011). Symbol „?” określa obszary, na których przebieg izolinii TOC jest przypuszczalny lub nie udało się wyznaczyć ich przebiegu ze względu na niewielką ilość danych

**Fig. 2.** Map of average total organic carbon content in the Sasina and Udala Formations (TOC, wt. %). Map compiled based on the project Identification... (2016) and after: Kotarba (1996), Kotarba et al. (2008), Więclaw et al. (2010a, b), and Poprawa et al. (2011). The mark “?” indicates areas where TOC isolines are uncertain or could not be determined due to the small amount of data

Niższe średnie wartości TOC (5,2–6,6% wag.) odnotowano w środkowej części obszaru morskiego. Stopień przeobrażenia termicznego materii organicznej wzrasta wraz z głębokością pograżenia skał z północnego wschodu na południowy zachód. Średnie wartości  $T_{max}$  mieszczą się w

zakresie od 430 do 503°C, a więc wskazują na przedział od wczesnego okna ropnego do przejrzalej materii organicznej (Kotarba i in., 2008; Więclaw i in., 2010a).

### Formacje z Sasina i Udala

Formacja z Sasina w obecnym obszarze lądowym cechuje się szerokim zakresem zawartości węgla organicznego od 0,1 do 8,6% wag. W północnej jego części w rejonie otworów Darżlubie IG 1, Żarnowiec IG 1 i Hel IG 1 zawartość węgla organicznego mieści się w przedziale od 0,1 do 5,9% wag., (średnio 1,5–2,8% wag., ryc. 2). Teren wschodni opisany danymi z otworów Gdańsk IG 1, Malbork IG 1, Prabuty IG 1, Kętrzyn IG 1 charakteryzuje się wartościami TOC maksymalnie do 8,6% (średnio 0,1–2,6% wag.). W części zachodniej (otwory Kościerzyna IG 1 i Lębork IG 1) TOC osiąga maksymalnie wartość 6,2% (średnio 1,1–1,6% wag.).

Dojrzałość termiczna formacji z Sasina została określona na podstawie wartości parametru  $T_{max}$  w profilach ww. otworów. Na obszarze północnym potwierdzono średnie wartości  $T_{max}$  w zakresie 437–449°C, natomiast wschodni cechuje się średnim  $T_{max}$  – 430–453°C. Z kolei lądowe tereny zachodnie omawianego obszaru charakteryzują się ogromną rozpiętością wartości  $T_{max}$ , które powszechnie uznaje się za niemiernodajne jako efekt występowania przejrzalej materii organicznej. Kerogen w utworach formacji z Sasina to kerogen typu II.

W środkowej części obszaru morskiego odnotowano średnie wartości TOC dla całej formacji – 1,2–3,0% wag., (Poprawa i in., 2011; Kotarba i in., 2008; Więclaw i in., 2010a). Wartości temperatury  $T_{max}$  wzrastają zazwyczaj w kierunku południowo-zachodnim, zgodnie ze wzrostem głębokości pograżenia skał od 438 do 445°C (Kotarba i in., 2008).

Formacja z Sasina, która występuje w zachodniej i północno-zachodniej części basenu podlaskiego, została zbadana w otworach Łochów IG 2, Tłuszcz IG 1 i Okuniew IG 1. Całkowita zawartość węgla organicznego w skałach tej formacji mieści się w przedziale od 0,1 do 3,9% wag. (średnio 1,1–1,5% wag.), a stopień przeobrażenia materii organicznej wyrażony przez parametr  $T_{max}$ , osiąga wartości od 434°C w otworze Tłuszcz IG 1 (okno ropne) do 463°C w otworze Okuniew IG 1 (okno kondensatu). Powyższe oznaczenia  $T_{max}$  są zbieżne z trendem oznaczeń refleksyjności macerałów wityrynitopodobnych (Rozpoznanie..., 2016) i wykazują wprost proporcjonalną zależność z głębokością pograżenia skał.

Równowiekowe skały wschodniej części basenu podlaskiego wykazują odmienną charakterystykę geochemiczną. W otworze Żebrak IG 1 i S-1 są one znacznie uboższe w materię organiczną (0,1–0,4% wag., średnio 0,2–0,3% wag.). Wartości parametru  $T_{max}$  w tych otworach

wahają się od 422 do 442°C (od niedojrzałej materii organicznej do środkowej fazy okna ropnego). Kerogen tej formacji to ropotwórcza materia organiczna typu II.

Charakterystyka geochemiczna materii organicznej skał formacji Udala (regionalnego odpowiednika formacji z Sasina w basenie lubelskim) jest podobna. Wyniki badań z odwiertów: Busówno IG 1, Krowie Bagno IG 1, Łopiennik IG 1, Tarkawica 3 oraz Terebin IG 5 potwierdzają, że są to skały o niskiej zawartości węgla organicznego (0,05–2,10% wag., średnio 0,36% wag.) i niskim potencjale generacyjnym. Dojrzałość termiczna materii organicznej wyrażona w skali temperatury  $T_{max}$  wynosi średnio od 447°C w otworze Tarkawica 3 (okno ropne) przez 461°C w otworze Krowie Bagno IG1 (okno kondensatu) do 490°C (późne okno gazowe) w otworze Busówno IG 1. W skałach formacji Udala występuje kerogen typu II.

### Ogniwo z Jantaru

W północnej części lądowego obszaru występowania ogniwa z Jantaru, wyznaczonej położeniem otworów Darżlubie IG 1, Hel IG 1 i Żarnowiec IG 1, zawartość węgla organicznego zmienia się od wartości bliskich 0,1 do 10,2% wag. (średnio 4,0–5,2% wag.). W obszarze wschodnim (rejon otworów Prabuty IG 1 i Gdańsk IG 1) maksymalne wartości TOC wynoszą do 8,5% wag. (średnio 0,9–2,1% wag.). Z kolei w zachodnim – w otworach Kościerzyna IG 1 i Lębork IG 1, wartości TOC wahają się od 0,1 do 4,3% wag. (średnio 0,9–1,7% wag.) (ryc. 3). Dojrzałość termiczna materii organicznej oscyluje w obszarze północnym od 438 do 463°C (średnio 445–455°C) w skali temperatury  $T_{max}$ . W obszarze wschodnim wartości  $T_{max}$

wynoszą 447–467°C (średnio 456°C). W skałach ogniwa z Jantaru występuje kerogen typu II.

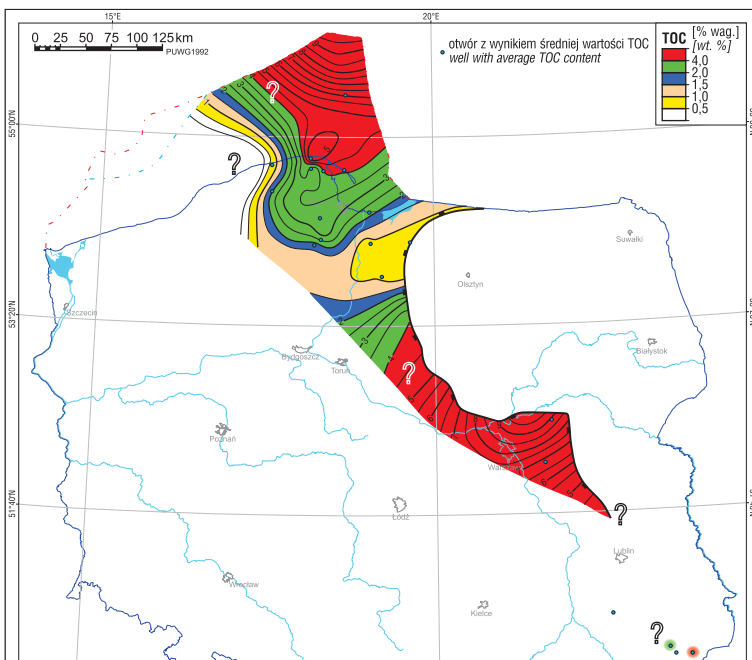
W obszarze morskim ogniwa z Jantaru zostało scharakteryzowane jedynie na podstawie wyników pochodzących z otworu B8-Z4/2012. W tym otworze skały ogniwa z Jantaru są bardzo bogate w materię organiczną o wartościach TOC w zakresie 0,6–11,9% wag. (średnio 6,1% wag.) i średniej wartości  $T_{max}$  – 442°C (okno ropne). Ze względu na brak informacji geologicznej z innych otworów, rozkład izolinii TOC ogniwa z Jantaru na obszarze morskim jest hipotetyczny.

W zachodniej i północno-zachodniej części basenu podlaskiego również stwierdzono występowanie wiekowego odpowiednika ogniwa iłowców bitumicznych z Jantaru, który w tej części kraju tworzą bardzo dobre skały macierzyste. Mają one jednak niekorzystnie małą miąższość – rzędu kilku metrów (Rozpoznanie..., 2016). Taka sytuacja występuje w otworze Tłuszcz IG 1 i S-1. Skały te cechują się wysokim potencjałem generacyjnym oraz bardzo wysoką zawartością węgla organicznego w szerokim przedziale od 2,3 do 17,4% wag. (średnio 6,8–8,9% wag.). Dojrzałość termiczna materii organicznej w skali temperatury  $T_{max}$  wskazuje na zmienny stopień jej przeobrażenia w różnych częściach basenu podlaskiego. Zaobserwowano wzrost dojrzałości termicznej w kierunku z północnego wschodu na południowy zachód (wartości  $T_{max}$  od typowych dla okna ropnego do charakterystycznych dla późnego okna gazowego, 435–485°C). Ogniwo z Jantaru w basenie podlaskim zawiera kerogen typu II.

### Formacja z Pelplina

Utory formacji z Pelplina charakteryzują się znacznie niższą zawartością materii organicznej od większości przebadanych i stratygraficznie starszych interwałów. Zazwyczaj zawartości TOC na większości obszaru basenu bałtyckiego wynoszą od 0,1 do 2,1% wag., średnio 0,6–1,3% wag. (ryc. 4). Ze względu na niewielką ilość danych w obszarze morskim występowania formacji, przyjęty rozkład wartości TOC jest hipotetyczny. Analiza dojrzałości termicznej wskazuje wartości  $T_{max}$  typowe dla okna ropnego – rzędu 432–463°C, średnio 445–453°C, we wschodniej lądowej części obszaru basenu (otwory: Gdańsk IG 1, Malbork IG 1, Olsztyn IG 2, Prabuty G 1, Kętrzyn IG 1) oraz nieco niższe 436–457°C (średnio 439–447°C) w części północnej (otwory: Darżlubie IG 1, Żarnowiec IG 1 i Hel IG 1). Zachodnie obrzeża basenu cechują się wartościami  $T_{max}$  typowymi dla przejrzalej materii organicznej. W utworach formacji iłowców z Pelplina jest obecny kerogen typu II.

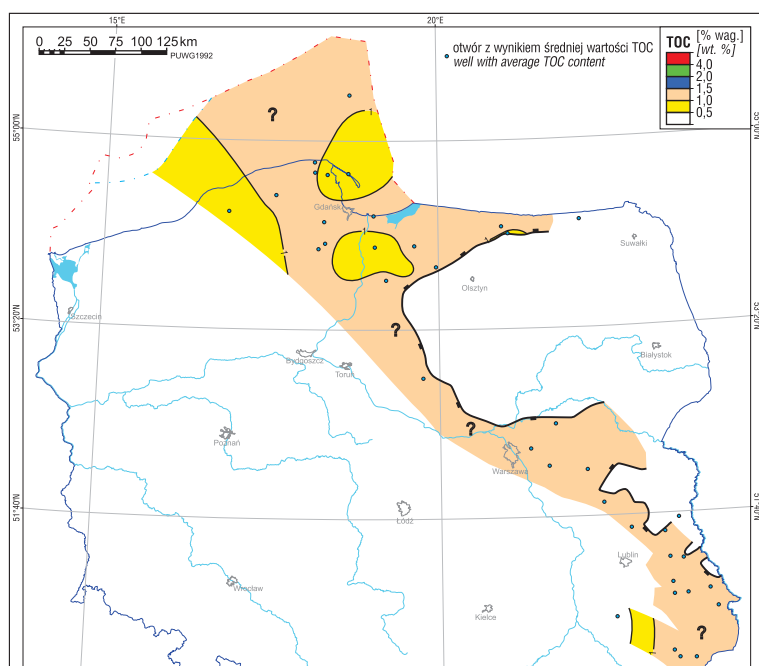
W basenie podlaskim skały formacji z Pelplina zostały zbadane w otworze Tłuszcz IG 1, Okuniew IG 1 i Żebrak IG 1. Wyniki przeprowadzonych analiz pirolitycznych wykazały, że w otworach Tłuszcz IG 1 i Okuniew IG 1 średnia zawartość węgla organicznego wynosi 1,2% wag., a w otworze Żebrak IG 1 – 0,6% wag. Dojrzałość termiczna materii organicznej wskazuje na wczesną fazę okna ropnego w otworze



**Ryc. 3.** Mapa średniej zawartości węgla organicznego w ogniwie z Jantaru (% wag., TOC). Symbol „?” określa obszary, na których przebieg izolinii TOC jest przypuszczalny lub nie udało się wyznaczyć ich przebiegu ze względu na niewielką ilość danych

**Fig. 3.** Map of average total organic carbon content in the Jantar Member (TOC, wt. %). The mark “?” indicates areas where TOC isolines are uncertain or could not be determined due to the small amount of data





**Ryc. 4.** Mapa średniej zawartości węgla organicznego w dolnej części formacji z Pelplina (% wag., TOC). Symbol „?” określa obszary, na których przebieg izolinii TOC jest przypuszczalny lub nie udało się wyznaczyć ich przebiegu ze względu na niewielką ilość danych

**Fig. 4.** Map of average total organic carbon content in the lower section of the Pelplin Formation (TOC, wt. %). The mark “?” indicates areas where TOC isolines are uncertain or could not be determined due to the small amount of data

Tłuszcz IG 1 ( $T_{max}$  średnio 438°C), środkową fazę okna ropnego w otworze Żebrak IG 1 ( $T_{max}$  średnio 442°C) oraz jego końcową fazę w otworze Okuniew IG 1 ( $T_{max}$  – 455°C). Zakres dojrzałości termicznej gazu suchego charakteryzuje prawdopodobnie zachodnią i/lub południowo-zachodnią część basenu. Stopień przeobrażenia termicznego materii organicznej jest zasadniczo zgodny z trendem oznaczeń refleksyjności macerałów wityrinitopodobnych i wykazuje zależność od głębokości pograżenia (Grotek, 2016). Omawiane osady zdominowane są przez kerogen typu II.

Skały formacji z Pelplina w lubelskiej części basenu zostały zbadane w otworach Krowie Bagno IG 1, Busówno IG 1, Łopiennik IG 1 i Terebin IG 5. W otworze Krowie Bagno IG 1 średnia zawartość węgla organicznego wynosi 1,0% wag., w Busówno IG 1 i Łopiennik IG 1 po 1,5% wag., natomiast w otworze Terebin IG 5 wynosi 1,1% wag. Dojrzałość termiczna materii organicznej rozproszonej w skałach tej formacji wskazuje na okno ropne w otworze Krowie Bagno IG 1 ( $T_{max}$  średnio 443°C), późne okno gazu suchego w Busówno IG 1 ( $T_{max}$  średnio 487°C) oraz wczesne okno gazu mokrego/kondensatu w otworze Terebin IG 5 ( $T_{max}$  – 466°C). Powyższe oznaczenia  $T_{max}$  są zazwyczaj zbliżone z trendem oznaczeń refleksyjności macerałów wityrinitopodobnych w analizowanych otworach (Grotek, 2016) i również wykazują zależność względem głębokości pograżenia. Kerogen występujący w utworach tej formacji jest typu II.

## WNIOSKI

Wykonane badania geochemiczne wykazały dużą zmienność zawartości materii organicznej zarówno w

skałach kambru, ordowiku, jak i syluru. Wydzieleniami litostratygicznymi wyróżniającymi się podwyższoną lub wysoką zawartością materii organicznej są: formacja z Piaśnicy i Sasina oraz ogniwo z Jantar. Najwyższe wartości TOC, przekraczające 4,0% wag., zaobserwowano w formacji z Piaśnicy oraz ogniwie z Jantaru. Z kolei generalnie niskie wartości TOC zaobserwowano w utworach formacji z Pelplina.

Wskaźniki dojrzałości termicznej sugerują, że wszystkie formacje i ogniwo wyznaczone jako perspektywiczne mogą znajdować się w zasięgu kompletnego spektrum przeobrażenia od niedojrzałej do przejrzanej materii organicznej. Najbardziej wysunięte na wschód obszary występowania badanych wydzieleni litostratygicznych są termicznie niedojrzałe do generowania węglowodorów. Niemniej jednak w kierunku południowo-zachodnim wraz ze wzrostem głębokości pograżenia wchodzi one w zasięg strefy generowania ropy naftowej. Następujący również w tym kierunku dalszy wzrost głębokości pograżenia jest prawdopodobnie główną przyczyną ich wejścia do strefy generowania gazów mokrych, następnie suchych, aż osiagając w najbardziej pograżonych obszarach strefę przejrzalą.

Trend wzrostu dojrzałości termicznej materii organicznej w kierunku południowo-zachodnim odpowiada generalnie trendowi wzrostu głębokości pograżenia utworów i utrzymuje się zarówno w części bałtyckiej, jak i podlasko-lubelskiej basenu sedimentacyjnego.

Autorzy artykułu dziękują anonimowemu Recenzentowi za wnikliwą recenzję, cenne oraz konstruktywne uwagi merytoryczne i formalne, a także dr. Andrzejowi Głuszyńskiemu (PIG-PIB) za wykreślenie map zamieszczonych w artykule. W artykule wykorzystano wyniki badań uzyskane w trakcie realizacji projektu „Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w Polsce, etap I”, finansowanego 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

- GONDEK B. 1976 – Charakterystyka geochemiczna węglowodorów. [W:] Witkowski A. (red.), Żarnowiec IG 1. Profile Głęb. Otw. Wiert. Inst. Geol., 32: 122–126.
- GROTEK I. 1989 – Charakterystyka substancji organicznej. [W:] Modliński Z. (red.), Gdańsk IG 1. Profile Głęb. Otw. Wiert. Inst. Geol., 67: 189–190.
- GROTEK I. 2006 – Dojrzałość termiczna materii organicznej z utworów pokrywających pomorskiego odcinka TESZ, basenu bałtyckiego oraz obszarów przyległych. [W:] Matyja H. & Poprawa P. (red.), Ewolucja facjalna, tektoniczna i termiczna pomorskiego segmentu szwu transeuropejskiego oraz obszarów przyległych. Pr. Państw. Inst. Geol., 186: 253–269.
- GROTEK I. 2016 – Rozpoznanie petrologiczne i dojrzałość termiczna materii organicznej w utworach kambru, ordowiku i syluru na obszarze bałtyckim i podlasko-lubelskim. Pr. Geol., 64 (12): 1000–1004.
- GÓRECKI W., LAPINSKAS P., LASHKOVA L., LASHKOV E., REICHER B., SAKALAUSKAS K. & STRZELECKI W. 1992 – Petroleum perspectives of the Baltic Syncline. Polish J. Miner. Res. 1: 65–88.
- KARNKOWSKI P., PIKULSKI L. & WOLNOWSKI T. 2010 – Petroleum geology of the Polish part of the Baltic region – an overview. Geol. Quart., 4: 143–158.
- KLIMUSZKO E. & GROTEK I. 2008 – Korelacja geochemiczna i petrograficzna materii organicznej w utworach syluru z lądowej części strefy brzeżnej platformy wschodnioeuropejskiej na obszarze Polski. Opr. arch., inw. 5324/2008. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.

KOSAKOWSKI P., KOTARBA M., PIETRZYŃSKI A., SHOGENOVA A. & WIĘCŁAW D. 2016 – Petroleum source rock evaluation of the Alum and Dictyonema Shales (upper Cambrian-Lower Ordovician) in the Baltic Basin and Podlasie Depression (eastern Poland). *Inter. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.)*, 5: 1–19.

KOTARBA M. 1996 – Badania z zakresu geochemii organicznej i komputerowe modelowania procesów generowania węglowodorów profilu utworów starszego paleozoiku syneklizy perybałtyckiej (ze szczególnym uwzględnieniem bloków tektonicznych C i D). Raport z projektu 2.31.0015.00.0. Inw. 3094/98 Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.

KOTARBA M., MATYSZKIEWICZ J., KOWALSKI A., KOWALSKI T., KOSAKOWSKI P., KRÓL K., KRAJEWSKI M., WIĘCŁAW D., WRÓBEL M. i inni. 2008 – Systemy naftowe i perspektywy poszukiwawcze utworów staropaleozoicznych polskiego sektora Morza Bałtyckiego między Łebą a Kamieniem Pomorskim. Projekt zrealizowany we współpracy z Państwowym Instytutem Geologicznym w Warszawie i Geofizyką Kraków Sp. z o.o. Inw. 37/2009, Nar. Arch. Geol. PIG-PIB Warszawa.

NIELSEN A.T. 2004 – Ordovician sea level changes: a Baltoscandian perspective. [W:] Webby B.D., Paris F., Droser M.L. & Percival I.G. (red.), *The Great Ordovician Biodiversification Event*. Columbia Univ. Press, 84–93.

POPRAWA P. 2010 – Potencjał występowania złóż gazu ziemnego w

łupkach dolnego paleozoiku w basenie bałtyckim i lubelsko-podlaskim. *Prz. Geol.*, 58 (3): 226–248.

POPRAWA P., SZCZEPANIK Z., MATYJA H., GROTEK I., NAWROCKI J., ŚRODOŃ J., KRZEMIŃSKI L. i in. 2011 – Historia oraz geneza zdarzeń termicznych w basenie polskim i jego osadowym podłożu – ich znaczenie dla rekonstrukcji procesów generowania węglowodorów. Raport z projektu 21.5105.0801.00.0. Inw. 5568/2011 Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.

ROZPOZNANIE stref perspektywicznych dla występowania złóż węglowodorów niekonwencjonalnych w Polsce, etap I, 2016. Podhalańska T. (red.). Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.

RZEPKOWSKA Z. 1989 – Charakterystyka geochemiczna bituminów i węglowodorów. [W:] Modliński Z. (red.), *Gdańsk IG 1. Profile Głęb. Otw. Wiert. Inst. Geol.*, 67: 191–203.

WIĘCŁAW D., KOTARBA M.J., KOSAKOWSKI P., KOWALSKI A. & GROTEK I. 2010a – Habitat and hydrocarbon potential of the Lower Paleozoic source rocks in the Polish part of the Baltic region. *Geol. Quart.*, 54 (2): 159–182.

WIĘCŁAW D., LEWAN D. & KOTARBA M. 2010b – Estimation of hydrous-pyrolysis kinetic parameters for oil generation from Baltic Cambrian and Tremadocian source rocks with Type-II kerogen. *Geol. Quart.*, 54 (2): 217–226.

ZDANAŪIČIŪTĖ O. & LAZAUSKENĖ J. 2007 – The petroleum potential of the Silurian succession in Lithuania. *J. Petrol. Geol.*, 30: 325–337.



Aparat pirolityczny Rock Eval 6 w wersji Turbo firmy Vinci Technologies, który znajduje się na wyposażeniu PIG-PIB. Fot. P. Karcz