

Rozpoznanie petrologiczne i dojrzałość termiczna materii organicznej w utworach kambru, ordowiku i syluru na obszarach bałtyckim oraz podlasko-lubelskim

Izabella Grotek¹



A petrologic study and thermal maturity of organic matter from the Cambrian, Ordovician and Silurian deposits in the Baltic and Podlasie-Lublin areas. *Prz. Geol.*, 64: 1000–1004.

Abstract. The paper provides issues concerning dispersed organic matter in the lower Palaeozoic deposits of the Baltic and Podlasie-Lublin areas: its composition, genetic types, and thermal maturity degree. Organic matter in these rocks is represented by vitrinite-like material showing optical characteristics of vitrinite (bitumen/solid bitumens), phytoclasts and zooclasts (graptolite fragments). The UV light analysis commonly reveals a significant content of macerals from the liptinite group, represented mainly by well-preserved algae and alginite. The concentrations of organic matter varies from trace to 10% (Baltic area), and from trace to 9.20% (Podlasie Lublin area). The degree of thermal maturity of the Cambrian-Silurian deposits corresponds to the “oil and gas window”, with the average values of vitrinite-like reflectance index ranging from 0.52 to 2.03% Ro (Baltic area) and 0.75–2.09% Ro (Podlasie-Lublin area).

Keywords: dispersed organic matter, vitrinite-like material, reflectance, thermal maturity, lower Palaeozoic

Badania petrologiczne materii organicznej, rozproszonej w skałach osadowych, znajdują szerokie zastosowanie w poszukiwaniach złóż węglowodorów. Obecnie skupiają się one na poszukiwaniu gazu ziemnego w skałach łupkowych, głównie niższego paleozoiku. Mikroskopowa analiza typu genetycznego materii organicznej oraz określenie jej stopnia dojrzałości termicznej przez pomiar zdolności refleksyjnej (% Ro) składników wityrynitopodobnych pozwalają wydzielić poziomy skał macierzystych dla generowania węglowodorów (ropa naftowa, gaz ziemny).

Celem pracy jest przedstawienie nowych wyników analiz mikroskopowych materii organicznej rozproszonej w utworach kambru, ordowiku i syluru, pochodzących z 14 otworów wiertniczych reprezentujących obszar bałtycki (6 otworów, 83 próbki) oraz podlasko-lubelski (8 otworów, 87 próbek) przy uwzględnieniu danych zawartych w pracach archiwalnych (Grotek, 2004a i b, 2009, 2016).

METODYKA

Badania mikroskopowe wykonano w imersji w świetle odbitym białym oraz ultrafioletowym (UV) pozwalającym na identyfikację składników maceralnych grupy liptynitu. Analizy zostały przeprowadzone przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego Axio Imager firmy Zeiss wyposażonym w przystawkę mikrofotometryczną MSP 200, umożliwiającą pomiar zdolności refleksyjnej materii organicznej. Analizę ilościową materii organicznej wykonano metodą planimetriowania powierzchni preparatów, przy skoku mikrośruby = 0,2 mm. Były rejestrowane ciała organiczne o wielkości >5 μm.

OBSZAR BAŁTYCKI

Kompleks osadów niższego paleozoiku na obszarze bałtyckim zawiera bardzo zmienną ilość materiału orga-

nicznego od ilości śladowej po 10%. Występujący w utworach kambru, ordowiku i syluru materiał organiczny jest bardzo słabo zróżnicowany pod względem typu genetycznego, składu petrograficznego oraz formy występowania.

W osadach kambryjskich dominuje syngenetyczna materia organiczna. Najliczniej są reprezentowane fytoklasty, stałe bituminy oraz zwitrynityzowane i sfuzynityzowane szczątki trylobitów. Badane dolno- i środkowokambryjskie mułowce są ubogie w materię organiczną, jej ilość nie przekracza 0,30% planimetrowanej powierzchni próbek (ryc. 1A)

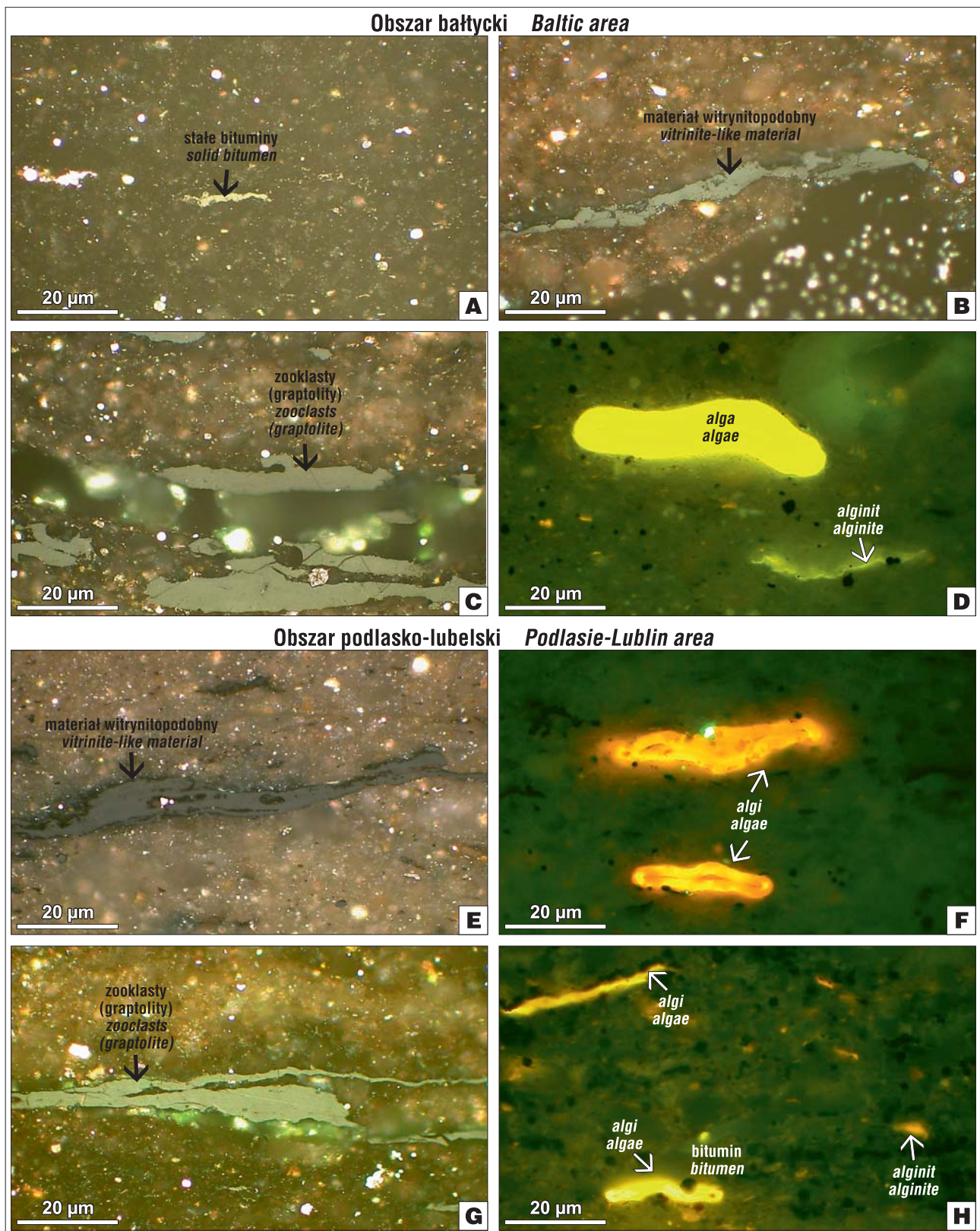
W utworach ordowiku i syluru najliczniej są reprezentowane zooklasty (głównie szczątki graptolitów) oraz nieidentyfikowalny materiał wityrynitopodobny, który często jest przemieszany z materiałem ilastym, tworząc asocjację organiczno-mineralną. Jej głównym składnikiem są najprawdopodobniej stałe bituminy oraz drobne zbiodegradowane organoklasty (ryc. 1B, C).

W słabiej przeobrażonych osadach występuje dość liczny tzw. „ropotwórczy” materiał lipidowy, głównie algi i alginit, którego zawartość przewyższa często ilość materiału wityrynitopodobnego. Odnosi się to głównie do osadów syluru (ryc. 1D).

Utwory ordowiku są lokalnie wzbogacone w materię organiczną, której ilość waha się w szerokich granicach od ilości śladowych do 10,0%, najczęściej oscyluje między 0,30–0,50%. Najwyższą jej kilkuprocentową koncentracją charakteryzują się osady arenigu (otw. Żarnowiec IG 1), karadoku (otw. Olsztyn IG 2, Gdańsk IG 1) oraz karadoku i aszgilu (otw. Darżlubie IG 1).

Kompleks osadów ilasto-mułowcowych syluru zawiera zmienną ilość materii organicznej od ilości śladowej do 2,00% planimetrowanej powierzchni próbek. Najwyższe jej koncentracje zaobserwowano w osadach landoweru i wenloku oraz w spągowych partiach ludlowu większości profili otworów wiertniczych.

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; izabella.grotek@pgi.gov.pl.



Ryc. 1. Materia organiczna w osadach niższego paleozoiku na obszarze bałtyckim i podlasko-lubelskim. **A** – Kościerzyna IG 1, gł. 4896,0 m, Cm₁, światło białe, imersja; **B** – Prabuty IG 1, gł. 3356,0 m, O_{kat.}, światło białe, imersja; **C** – Lębork IG 1, gł. 3080,7 m, S_w, światło białe, imersja; **D** – Olsztyn IG 2, gł. 2227,8 m, S_w, światło UV, imersja; **E** – Tarkawica 3, gł. 2102,2 m, Cm₂, światło białe, imersja; **F** – Tarkawica 3, gł. 2102,2 m, Cm₂, światło UV, imersja; **G** – Busówno IG 1, gł. 2830 m, S_w, światło białe, imersja; **H** – Żebrak IG 1, gł. 2177,3 m, S_{ld}, światło UV, imersja

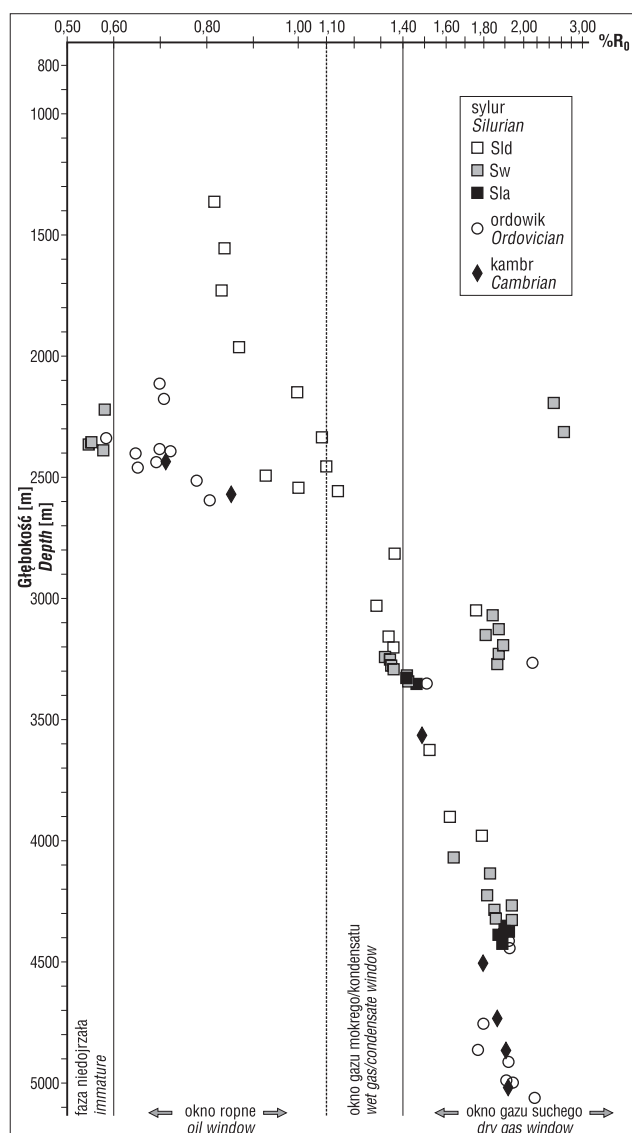
Fig. 1. Organic matter in the lower Palaeozoic sediments of the Baltic and Podlasie-Lublin areas. **A** – Kościerzyna IG 1 borehole, depth 4896.0 m, Cm₁, white light, immersion; **B** – Prabuty IG 1 borehole, depth 3356.0 m, O_{kat.}, white light, immersion; **C** – Lębork IG 1 borehole, depth 3080.7 m, S_w, white light, immersion; **D** – Olsztyn IG 2 borehole, depth 2227.8 m, S_w, UV light, immersion; **E** – Tarkawica 3 borehole, depth 2102.2 m, Cm₂, white light, immersion; **F** – Tarkawica 3 borehole, depth 2102.2 m, Cm₂, UV light, immersion; **G** – Busówno IG 1 borehole, depth 2830 m, S_w, white light, immersion; **H** – Żebrak IG 1 borehole, depth 2177.3 m, S_{ld}, UV light, immersion

Dojrzałość termiczna

Kambr. Dojrzałość termiczna osadów kambryjskich we wschodniej części obszaru bałtyckiego odpowiada wczesnej i głównej fazie generowania ropy naftowej (0,50–0,86% R_o). W zalegających na większej głębokości utworach części centralnej i zachodniej stopień przeobrażenia materii organicznej wzrasta do 1,50–1,92% R_o (Prabuty IG 1– Kościerzyna IG 1), wchodząc w fazę generowania gazów (ryc. 2).

Ordowik. Dojrzałość termiczna osadów ordowiku zwiększa się wraz z głębokością pograżenia oraz w kierunku południowo-zachodnim, od 0,56% R_o na głębokości 2398,4 m (Olsztyn IG 2) do 2,03% R_o na 4412,4 m (Kościerzyna IG 1). Odpowiada to przejściu od głównej fazy generowania ropy naftowej, w części wschodniej, po główną fazę generowania gazów w centralnej i zachodniej części obszaru bałtyckiego (ryc. 2).

Sylur. Dojrzałość termiczna materii organicznej syluru ulega znacznym wahaniom związanym głównie z głębokością zalegania osadów, od 0,53% R_o na głębokości 2272,8 m we wschodniej części obniżenia bałtyckiego w profilu syluru



Ryc. 2. Zmienność stopnia dojrzałości materii organicznej w profilu osadów niższego paleozoiku na obszarze bałtyckim

Fig. 2. Values of vitrinite reflectance index versus depth in the lower Palaeozoic of the Baltic area

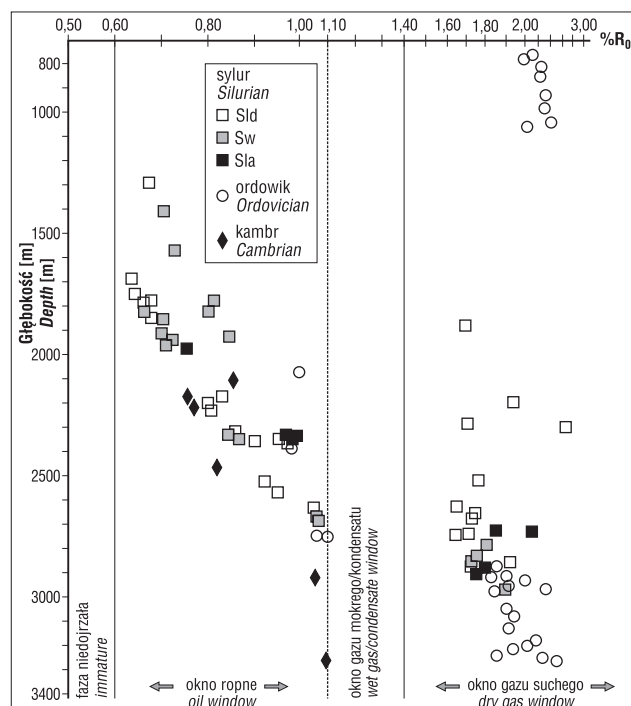
(landower–wenlok) z otworu Olsztyn IG 2 do 1,93% R_o na głębokości 4301,0 m w zachodniej części obniżenia bałtyckiego, w otworze Kościerzyna IG 1. Wskazuje to na przejście, podobnie jak w przypadku utworów ordowiku, od głównej fazy generowania ropy naftowej po główną fazę generowania gazów (ryc. 2).

OBSZAR PODLASKO-LUBELSKI

Kompleks osadów niższego paleozoiku na obszarze podlasko-lubelskim zawiera zmienną ilość materiału organicznego, od ilości śladowej po 9,20% planimetrowanej powierzchni próbek. Charakteryzuje się on analogicznym typem genetycznym, składem petrograficznym oraz formą występowania.

Osady kambru dolnego i środkowego zawierają dość liczną materię organiczną 0,50–1,90%. Jest to głównie materiał witynitopodobny reprezentowany przez nieidentyfikowalne organoklasty oraz bitumin (ryc. 1E). Współwystępują z nimi nieliczne zwitrynitizowane szczątki trylobitów. Oprócz składników witynitopodobnych, w niezbyt silnie przeobrażonych osadach kambru zarówno dolnego, jak i środkowego, występuje materiał lipidowy (głównie algi) (ryc. 1F).

Zawartość materii organicznej w utworach ordowiku (tremadok–aszgil) waha się od 0,10 do 2,50%. Najwyższe jej koncentracje (powyżej 1,0%) stwierdzono w pojedynczych poziomach tremadoku, lanwiru i aszgilu profili otworów wiertniczych Narol IG 1, Narol PIG 2 oraz karadoku z otworów Busówno IG 1, Kozaki 1 i Krowie Bagno IG 1. Utwory ordowiku zawierają głównie materiał witynitopodobny reprezentowany najczęściej przez szczątki organizmów, głównie graptolitów, których wielkość przekracza często 200 μm . Współwystępują z nimi stałe bituminy. Lokalnie zaznacza się obecność materiału lipidowego fluorującego w kolorze żółto-brunatnym.



Ryc. 3. Zmienność stopnia dojrzałości materii organicznej w profilu osadów niższego paleozoiku na obszarze podlasko-lubelskim

Fig. 3. Values of vitrinite reflectance index versus depth in the lower Palaeozoic of the Podlasie-Lublin area

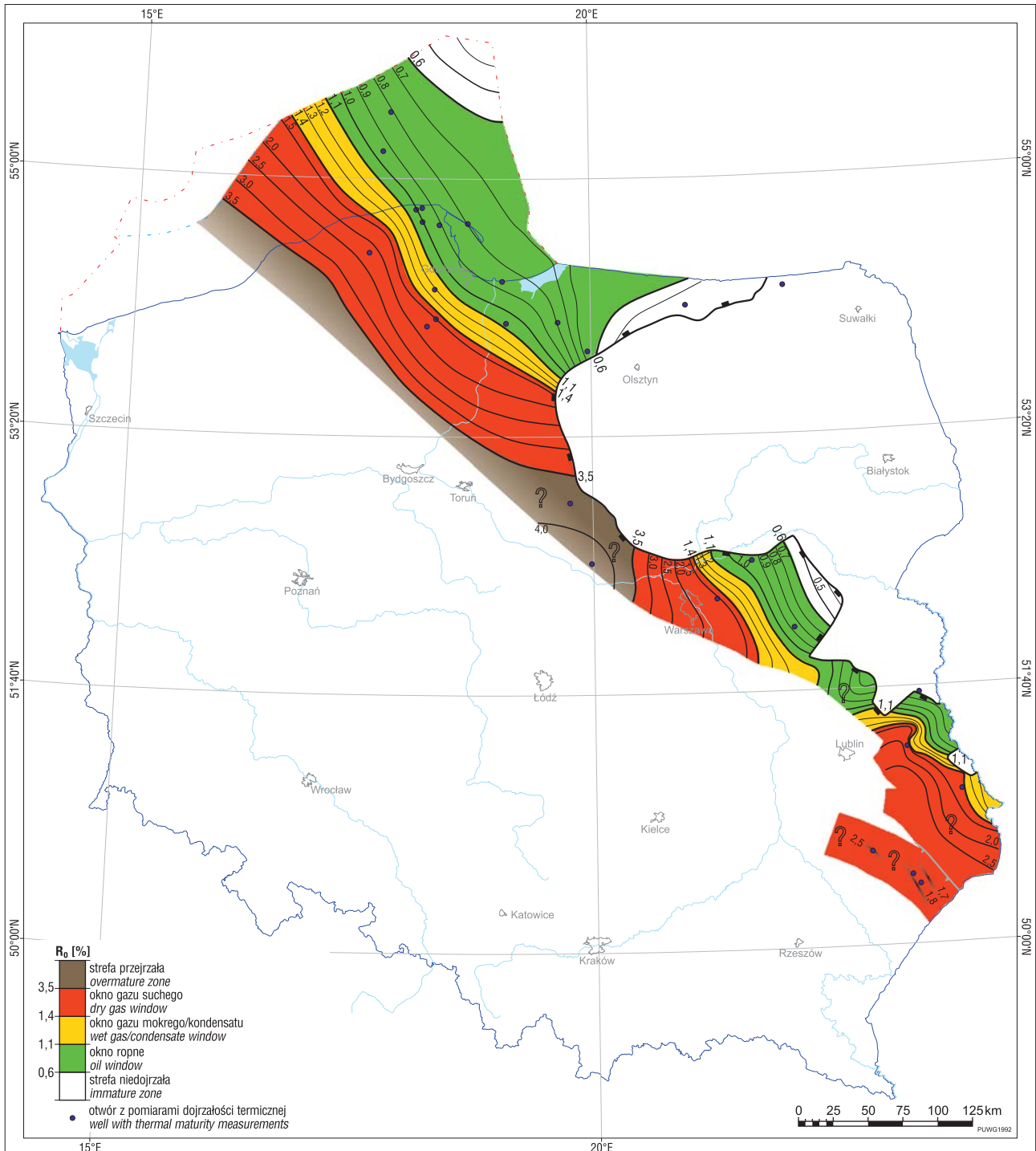
Kompleks osadów ilasto-mułowcowych syluru zawiera różną ilość materii organicznej od ilości śladowej do 9,20% planimetrowanej powierzchni próbek. Najwyższe jej koncentracje zaobserwowano w osadach landoweru i wenloku oraz spągowych partiach ludlowu większości profili otworów wiertniczych. Skład petrograficzny sylurskiego materiału organicznego jest zdominowany przez asocjację organiczno-mineralną typu bitumicznego. Stanowi ona często masę podstawową, w której są rozproszone różnego typu organoklasty. Głównym ich składnikiem są macerały wityrynitopodobne charakteryzujące się różnorodnością form występowania. Są to zazwyczaj zwityrynityzowane szczątki organiczne syngenetyczne z osadem,

najczęściej graptolity o wielkości osiągającej 500 μm (ryc. 1G). Mniej licznie występuje homogeniczny bitumin mający postać drobnych ziaren oraz cienkich żyłek.

Znaczący udział w budowie sylurskiej materii organicznej mają macerały grupy liptynitu zbudowane z alg (tasmanit), alginitu oraz liptodetrynitu. Fluoryzują one intensywnie w barwach żółtych i pomarańczowych (ryc. 1H)

Dojrzałość termiczna

Kambr. Dojrzałość termiczna osadów kambrskich, z interwału głębokości 2102,0–3281,4 m, odpowiada głównej i późnej fazie generowania ropy naftowej (ryc. 3).



Ryc. 4. Mapa dojrzałości termicznej materii organicznej (% R_o) w osadach formacji z Sasina (wyk. A. Głuszyński)
Fig. 4. Map of thermal maturity of organic matter (% R_o) in the Sasino Formation deposits (made by A. Głuszyński)

Słabiej przeobrażony materiał organiczny (0,75–0,85% *Ro*) występuje w zapadlisku podlaskim (Tuszcz IG 1) oraz w obszarze lubelskim (Tarkawica 3). Wyższy stopień dojrzałości (1,08–1,10% *Ro*) osiągnęły silnie pogrążone osady z otworu Krowie Bagno IG1.

Ordowik. Dojrzałość termiczna osadów ordowiku (tremadok–aszgil) z interwału głębokości 761,4–3269,1 m odpowiada późnej fazie generowania ropy naftowej po fazę generowania gazów. Późna faza generowania ropy naftowej (0,98–1,00% *Ro*) występuje w osadach karadoku i aszgilu z profili otworów Tarkawica 3 oraz Żebrak IG 1. Silnie przeobrażone osady (1,08–1,10% *Ro*) arenigu i karadoku (Krowie Bagno IG 1) wskazują na możliwości generowania ropy naftowej oraz kondensatów, natomiast faza generowania gazów (1,90–2,50% *Ro*) występuje w profilu osadów tremadok–aszgil w otworach Narol IG 1 i Narol PIG 2 oraz w najpłycej zalegających osadach tremadoku i karadoku z otworu Kozaki 1 (ryc. 3).

Sylur. Dojrzałość termiczna materii organicznej w osadach landoweru, wenloku i ludlowu wzrasta wyraźnie wraz z głębokością ich pogrążenia (1295,5–2986,0 m), od głównej fazy generowania ropy naftowej po fazę generowania gazów (0,63–2,09% *Ro*) (ryc. 3).

Najsłabiej przeobrażony materiał organiczny (0,63–0,85% *Ro*) występuje w profilu osadów syluru (podobnie jak w utworach starszych) na obszarze obniżenia podlaskiego (Tuszcz IG1) oraz na Lubelszczyźnie, w otworach Tarkawica 3 oraz Żebrak IG1.

Nieco silniej przeobrażone osady wenloku i ludlowu (późna faza generowania ropy naftowej – 0,90–1,09% *Ro*) występują w utworach z Krowiego Bagna IG 1. W silnie pogrążonych osadach landoweru–ludlowu w profilach otworów Busówno IG 1, Narol IG 1 oraz Narol PIG 2 dojrzałość termiczna materii organicznej osiąga fazę generowania gazów przy refleksyjności 1,64–2,09% *Ro*.

WNIOSKI

Na podstawie danych wykonanych w ramach projektu Rozpoznanie... (2016), uwzględniając jednocześnie wyniki zawarte w pracach archiwalnych (Grotek, 2004a i b, 2009), w osadach niższego paleozoiku dwóch omawianych obszarów można wydzielić horyzonty perspektywiczne dla generowania węglowodorów ciekłych i gazowych.

Na obszarze bałtyckim są to czarne osady ilaste:

- arenigu oraz karadoku (formacja ze Słuchowa i formacja z Sasina), w których stwierdzono zawartość materii organicznej 5,0–10,0% planimetrycznej powierzchni próbek. Materia organiczna znajduje się w głównej fazie generowania ropy naftowej (0,58–0,70% *Ro*) oraz w fazie generowania gazów (1,48–2,04% *Ro*) w centralnej i brzeżnej części kratonu wschodnioeuropejskiego na obszarze bałtyckim (ryc. 4);

- landoweru (ogniwo z Jantaru) zawierające, w pojedynczych poziomach osadów 1,5–2,0% materii organicznej na stopniu dojrzałości odpowiadającym, w części wschodniej wczesnej fazie generowania ropy naftowej (0,54–0,56% *Ro*) po fazę generowania gazów (1,86–1,93% *Ro*) w części centralnej i zachodniej;

- wenloku (formacja z Pelplina) zawierające w pojedynczych poziomach 1,00–1,10% materii organicznej o dojrzałości termicznej odpowiadającej fazie niedojrzałej do generowania węglowodorów (0,53% *Ro*), która w kierunku południowo-zachodnim przechodzi (w silnie pogrążonych osadach) w fazę generowania mokrych gazów i kondensatów oraz fazę generowania gazów (1,93% *Ro*).

Na obszarze podlasko-lubelskim oraz w strefie Biłgoraj–Narol są to również czarne łupki:

- górnego kambru i najniższego tremadoku (odpowiednik regionalny formacji z Piaśnicy) z otworów Narol IG 1 i Narol PIG 2 zawierające lokalnie 1,80–2,50% materii organicznej, silnie przeobrażonej, w głównej fazie generowania gazów (1,87–2,30% *Ro*);

- karadoku (formacja z Sasina) zawierające w pojedynczych poziomach, 1,0–1,8% materii organicznej o dojrzałości termicznej odpowiadającej głównej fazie generowania gazów (1,80–2,18% *Ro*) przechodzącej, w kierunku południowo-zachodnim w fazę przejrzalą (ryc. 4);

- landoweru (ogniwo z Jantaru), w którym najwyższe koncentracje materii organicznej (9,20%) występują na obszarze podlaskim (otwór Tuszcz IG 1). Stopień dojrzałości termicznej tych osadów odpowiada głównej fazie generowania ropy naftowej (0,75% *Ro*); ponadto, podwyższoną zawartość materiału organicznego (1,00–3,80%), w głównej fazie generowania gazów (1,78–2,09% *Ro*), zawierają pojedyncze poziomy osadów ilastych w profilach otworów Narol IG 1 i PIG 2);

- wenloku (formacja z Pelplina) zawierające w pojedynczych poziomach na obszarze obniżenia podlaskiego, kilka procent materii organicznej w głównej fazie generowania ropy naftowej (ok. 0,80% *Ro*). W otworze Tuszcz IG 1 zawartość materiału organicznego osiąga 4,30% przy wskaźniku dojrzałości wynoszącym 0,70% *Ro*. Osady formacji z Pelplina (niższa część odpowiadająca wenlokowi) na obszarze lubelskim i w strefie Biłgoraj–Narol charakteryzują się niższą zawartością materii organicznej. Lokalne jej koncentracje (otwory Narol IG 1 i Narol PIG 2) osiągają 2,80–3,80%, a stopień przeobrażenia odpowiada głównej fazie generowania gazów (1,78–2,09% *Ro*). W słabiej przeobrażonej strefie (okno ropne, 0,71–0,85% *Ro*) obszaru lubelskiego (otwór Tarkawica 3) zaznacza się wzbogacenie w składniki organiczne, których ilość osiąga 1,50–3,20%;

- ludlow (formacja z Pelplina) na obszarze podlaskim (otwór Tuszcz IG 1 oraz Żebrak IG 1) zawiera podwyższone koncentracje materii organicznej (1,30–4,50%) na stopniu dojrzałości termicznej odpowiadającemu głównej fazie generowania ropy naftowej, o wskaźniku refleksyjności zmieniającym się w granicach 0,63–0,86% *Ro*.

Autorka dziękuje recenzentce prof. A. Maliszewskiej za cenne uwagi, pozwalające udoskonalić ostateczną wersję publikacji. Badania, których wyniki przedstawił w artykule, zostały wykonane w ramach projektu „Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów 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 dnia 5.11.2013 r.)

LITERATURA

- GROTEK I. 2004a – Tektoniczno-termiczna ewolucja basenu bałtyckiego jako zapis dynamiki kaledońskiej akrecji. Nar. Arch.Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- GROTEK I. 2004b – Ocena potencjalnej macierzystości skał starszego paleozoiku na obszarze Podlasia przy zastosowaniu badań petrograficznych i geochemicznych. Nar. Arch.Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- GROTEK I. 2009 – Korelacja geochemiczna i petrograficzna materii organicznej w utworach syluru z lądowej części strefy brzeżnej platformy wschodnioeuropejskiej na obszarze Polski. Nar. Arch.Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- GROTEK I. 2016 – Rozpoznanie petrologiczne i dojrzałość termiczna materii organicznej w utworach kambru, ordowiku i syluru na obszarze bałtyckim oraz podlasko-lubelskim. [W:] Podhalańska T. (red.) Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w Polsce, etap I. Opracowanie końcowe z realizacji projektu. Nar. Arch.Geol. PIG-PIB, Warszawa.