

Potencjał generacyjny i zbiornikowy wybranych formacji karbońskich Pomorza Zachodniego (NW Polska)

Przemysław Karcz¹, Grzegorz J. Nowak¹, Marta Kuberska², Aleksandra Kozłowska², Paweł Brytan¹



P. Karcz



G.J. Nowak



M. Kuberska



A. Kozłowska



P. Brytan

Generation and reservoir potential of selected Carboniferous formations in Western Pomerania (NW Poland). Prz. Geol., 73: 915–919; doi: 10.7306/2025.98

Abstract. The article presents the results of geochemical, organic petrographic, and petrophysical studies of both the Grzybowo Calcareous Shale Fm. and the Gozd Arkose Fm. The rocks of these formations were penetrated by the Grzybowo 1 borehole drilled in Western Pomerania. Thermal maturity of the organic matter is determined by the values of: 1) vitrinite reflectance $VR_o = 0.72\text{--}0.91\%$, 2) $T_{max} = 443\text{--}447^\circ\text{C}$, which indicate oil window maturity. The results of organic petrography studies of the Grzybowo Calcareous Shale Fm. revealed a predominance of vitrinite detritus (79–83%), while the liptinite (represented mainly by alginite and bituminite) content is between 7 and 8%, and the inertinite content varies from 10 to 13%. The results of geochemical pyrolysis and organic petrography data indicate that the organic matter is a mixture of type III and type II kerogen. The results of petrophysical examinations of the Gozd Arkose Fm. revealed the porosity values in the range of 7–10%.

Keywords: Western Pomerania, Carboniferous rocks, organic petrography, Rock-Eval pyrolysis, petrophysics, petroleum potential, source rocks

Na obszarze Pomorza Zachodniego poszukiwano głębokich otworów wiertniczych z dostępnym do badań rdzeniem wiertniczym (Nowak, 2025). Przeszukiwanie geologicznej bazy danych ujawniło, iż w obszarze tym znajduje się aż 369 głębokich, rdzeniowanych otworów wiertniczych. Po selekcji danych dokonano analizy opisów litologicznych 27 otworów z rdzeniem skał wieku karbońskiego i wytypowano do badań rdzenie 7 otworów wiertniczych (Biały Bór 1, Dźwirzyno 3, Grzybowo 1, Jarkowo 2, Moracz IG 1, Nowogardek 1 oraz Trzebusz 3), które uznano za interesujące pod kątem rozpoznania macierzystości ropnej lub gazowej. Informacja geologiczna zaczerpnięta z tych otworów wskazuje na dostępność skał karbonu w regionie, takich jak wapienie organodetrytyczne i iłowce wapniste, które cechują się co najmniej podwyższoną zawartością materii organicznej, co objawia się ich ciemnoszarą lub czarną barwą. Skały takie, reprezentowane przez czarne łupki, wapniste iłowce, margle i wapienie, często o cechach muszłowców, rozpoznano w otworze Grzybowo 1 w formacji iłowców wapnistych z Grzybowa (Matyja i in., 2000; Matyja, 2006) i poddano je zintegrowanym badaniom materii organicznej, takim jak petrografia organiczna oraz analiza pirolityczna typu *Rock-Eval*. Miąższość skał tej formacji w otworze Grzybowo 1 wynosi 282 m. Dodatko-

wo wykonano analizy petrofizyczne skał niżej zalegającej formacji piaskowców arkozowych z Gozdu, aby ocenić, czy przestrzeń porowa tych utworów mogła być pułapką dla migrujących węglowodorów, wygenerowanych w niżej leżącej formacji z Sapolna. Miąższość tych piaskowców w otworze Grzybowo 1 wynosi 131 m.

METODYKA

Ciemnoszare i czarne łupki wapniste, iłowce i margle reprezentujące formację iłowców wapnistych z Grzybowa oraz piaskowce formacji piaskowców arkozowych z Gozdu zostały pobrane z fragmentu rdzenia otworu wiertniczego Grzybowo 1 (interwał głębokościowy 2705–3198 m). Skały formacji iłowców wapnistych z Grzybowa przeznaczono do badań rozproszonej w nich materii organicznej: 1) petrografii organicznej, 2) pirolizy geochemicznej typu *Rock-Eval*. W ramach badań petrografii organicznej tej formacji zbadano dwie próbki ciemnoszarych łupków ilastych pochodzących z głębokości 2838,30 i 2985,70 m, z których wykonano preparaty mikroskopowe do badań w świetle odbitym – jednostronnie polerowane zgłady kawałkowe zgodnie z procedurami rekomendowanymi przez *International Committee for Coal and Organic Petrology* – ICCP

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Dolnośląski, al. Jaworowa 19, 53–122 Wrocław; przemyslaw.karcz@pgi.gov.pl; grzegorz.nowak@pgi.gov.pl; ORCID ID: P. Karcz – 0000-0002-2932-6851, G.J. Nowak – 0000-0003-2228-5361

² Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00–975 Warszawa; marta.kuberska@pgi.gov.pl; aleksandra.kozłowska@pgi.gov.pl; ORCID ID: M. Kuberska – 0000-0002-3077-5718, A. Kozłowska – 0000-0002-6360-4974

(Stach i in., 1982; Taylor i in., 1998) oraz PN-ISO 7404-3: 2001 i PN-ISO 7404-2003. Badania materii organicznej wykonano w świetle odbitym pod mikroskopem *Zeiss Axio Imager 1A*m, umożliwiającym prowadzenie obserwacji w świetle białym i ultrafioletowym, zgodnie z procedurami opisanymi przez Taylora i in. (1998) oraz Hackley i Cardott (2016). Badania materii organicznej przeprowadzono z zastosowaniem optyki immersyjnej. Stosując ten sam mikroskop wraz z przystawką fotometryczną (MSP 200 firmy J&M GmbH), zmierzono refleksyjność wityritu (R_v). Pomiary refleksyjności wykonano w świetle monochromatycznym o długości fali 546 nm, zgodnie z procedurami Międzynarodowego Komitetu Petrologii Węgla i Rozproszonej Materii Organicznej (ICCP; Stach i in., 1982; Taylor i in., 1998; Hackley i in., 2015).

W celu oznaczenia zawartości węgla organicznego oraz jego pochodzenia i dojrzałości wykonano analizę pirolityczną *Rock Eval 90* próbek, polegającą na termicznym rozkładzie skały w dwóch cyklach – pierwszym pirolitycznym i drugim oksydacyjnym (Espitalie i in., 1985). Podczas cyklu pirolitycznego są uwalniane kolejno: wolne węglowodory (do 350°C), przedstawiane jako parametr S1; węglowodory (do 650°C) rejestrowane jako parametr S2 oraz dwutlenek i tlenek węgla, określane jako parametr S3. Z kolei w cyklu oksydacyjnym wzrost temperatury do 850°C skutkuje uwolnieniem dwutlenku i tlenku węgla z rezydualnej materii organicznej oraz materii mineralnej. Wyniki tego procesu są rejestrowane kolejno jako parametry S4 i S5. Całościowe wyniki analizy wszystkich parametrów zostają następnie przeliczone na zawartość całkowitego węgla organicznego (TOC), indeksu wodorowego (H_I), indeksu tlenowego (O_I) oraz temperaturę maksymalną (T_{max}).

Mikroskopowe badania petrograficzne skał w świetle przechodzącym objęły 15 płytek cienkich. Analizy wykonano pod mikroskopem polaryzacyjnym *Optiphot 2 Pol* firmy Nikon (PL). Ponadto przeprowadzono obserwacje w katodoluminescencji (CL) przy użyciu zimnej katody (model CITL MK5-2 wyposażony w EDX) oraz przystawki do katodoluminescencji (model CCL 8200 mk 3 firmy Cambridge Image Technology Ltd), które pozwoliły odczytać pierwotne cechy struktury skał.

Analiza petrofizyczna piaskowców formacji z Gozdu miała na celu określenie parametrów porowatości i przepuszczalności 4 próbek skalnych z głębokości 2998,90, 3000,90, 3140,50 i 3172,50 m. Badania te wykonano w ramach kooperacji w Instytucie Nafty i Gazu, stosując kryteria API (1998). Podstawowe analizy petrofizyczne, mające na celu ocenę porowatości i przepuszczalności wybranych próbek skalnych, składają się na wieloetapowy proces złożony z kilku analiz badawczych oraz specjalnego przygotowania próbki skalnej. Analizy te obejmują pomiar gęstości szkieletowej, pomiar gęstości pozornej, wyznaczenie porowatości całkowitej (helowej) i wyznaczenie współczynnika przepuszczalności efektywnej.

Pomiar gęstości szkieletowej polega na umieszczeniu wyciętego walca skalnego w kalibrowalnej komorze piknometru helowego *AccuPyc 1340*, do której wprowadza się określoną ilość helu. W dalszej kolejności z równania gazowego oblicza się objętość szkieletu badanej próbki oraz gęstość szkieletową próbki. Pomiar gęstości pozornej polega na umieszczeniu uprzednio wyciętego walca w apa-

racie *GeoPyc 1360*, w którym zachodzi proces piknometrii quasi-cieczowej. Do wyznaczania gęstości pozornej aparatem *GeoPyc 1360*, wykorzystującym zjawisko wypierania quasi-cieczy, używa się tzw. suchej cieczy, czyli proszku *DryFlo®*. W procesie wyznaczania porowatości całkowitej są wykorzystywane wyniki gęstości szkieletowej i gęstości pozornej, które podstawia się do odpowiedniego równania matematycznego i otrzymuje się wynik wyrażony w procentach. Wyznaczenie współczynnika przepuszczalności efektywnej odbywa się poprzez przepuszczenie azotu przez próbkę walcową rdzenia wiertniczego. W trakcie analizy mierzy się objętość gazu migrującą przez próbkę w jednostce czasu oraz ciśnienie gazu na wejściu i wyjściu. W dalszej kolejności przepuszczalność efektywną wylicza się z matematycznego równania Darcy'ego. Należy nadmienić, że dobre skały zbiornikowe cechują się porowatością >15% i przepuszczalnością >5 mD.

WYNIKI

Formacja iłowców wapnistych z Grzybowa, nawiercona w otworze wiertniczym Grzybowa 1, w dominującej mierze składa się z utworów węglanowych, takich jak ciemnoszare, organodetrytyczne wapienie bitumiczne oraz ciemnoszare i niemal czarne iłowce mułowcowe lub mułowce ilaste, z których wiele zawiera bituminy (Kuberska, Kozłowska, 2025). Wapienie organodetrytyczne to przede wszystkim wakstony, pakstony i mudstony, w tym niekiedy odmiany ilaste. Tekstura wapieni często jest kierunkowa i podkreślona liniowym ułożeniem spłaszczonych fragmentów bioklastów i peloidów oraz lamin i soczewek materii organicznej, której miejscami towarzyszy pirynt. Mniej liczną odmianą są wapienie ooidowe. Masę podstawową tych skał tworzy mikryt lub też mikrospar oraz spar kalcytowy, a także minerały ilaste, najczęściej w postaci illitu. Składniki ziarniste reprezentują fragmenty bioklastów, m.in. małży, ramienionogów, ślimaków, krynoidów i koralów, oraz peloidy (ryc. 1). Ponadto są widoczne nieobtoczone ziarna kwarcu frakcji aleurytowej i psamitowej. Pirynt w wapieniach organodetrytycznych tworzy skupienia lub impregnuje bioklasty.

Iłowce wapniste tworzą również odmiany przejściowe, jak iłowce mułowcowe i mułowce ilaste, natomiast ze względu na spory udział minerałów węglanowych mogą tworzyć odmiany wapniste. Barwa tych skał jest przeważnie ciemnoszara, tak jak wapieni organodetrytycznych. Skały te mają strukturę pelitową, aleurytową i pelitowo-aleurytową. Tekstura jest najczęściej kierunkowa, podkreślona ułożeniem minerałów ilastych. Widoczne drobne skupienia piryntu, miejscami koncentrujące się laminarnie, podkreślają również kierunkowość tekstury, podobnie jak nagromadzenia materii organicznej. Charakterystyczna jest także obecność bioklastów, między innymi fragmentów muszli małży i ślimaków oraz ułamków szkieletów szkarłupni. Wśród ziaren detrytycznych frakcji mułkowej występują kwarc oraz skalenie potasowe i plagioklasy. W masie ilastej są rozsiane bardzo drobne, detrytyczne i sporadycznie autigeniczne, ziarna węglanów (głównie kalcytu), a miejscami romboedry dolomitu.

Piaskowce arkozowe z formacji z Gozdu tworzą odmiany grubo- i drobnoziarniste, barwy różowofioletowej, zielonkawej lub szarzielonej. Składają się one z nieobto-

czonych ziaren skaleni i kwarcu, niekiedy są wapniste. Odmiany gruboziarniste są przeważnie arkozowe, zawierają ziarna różowych skaleni (80%). Warstwy piaskowców tworzą litosomy pozbawione wewnętrznej laminacji, przeławicane łupkami ilastymi.

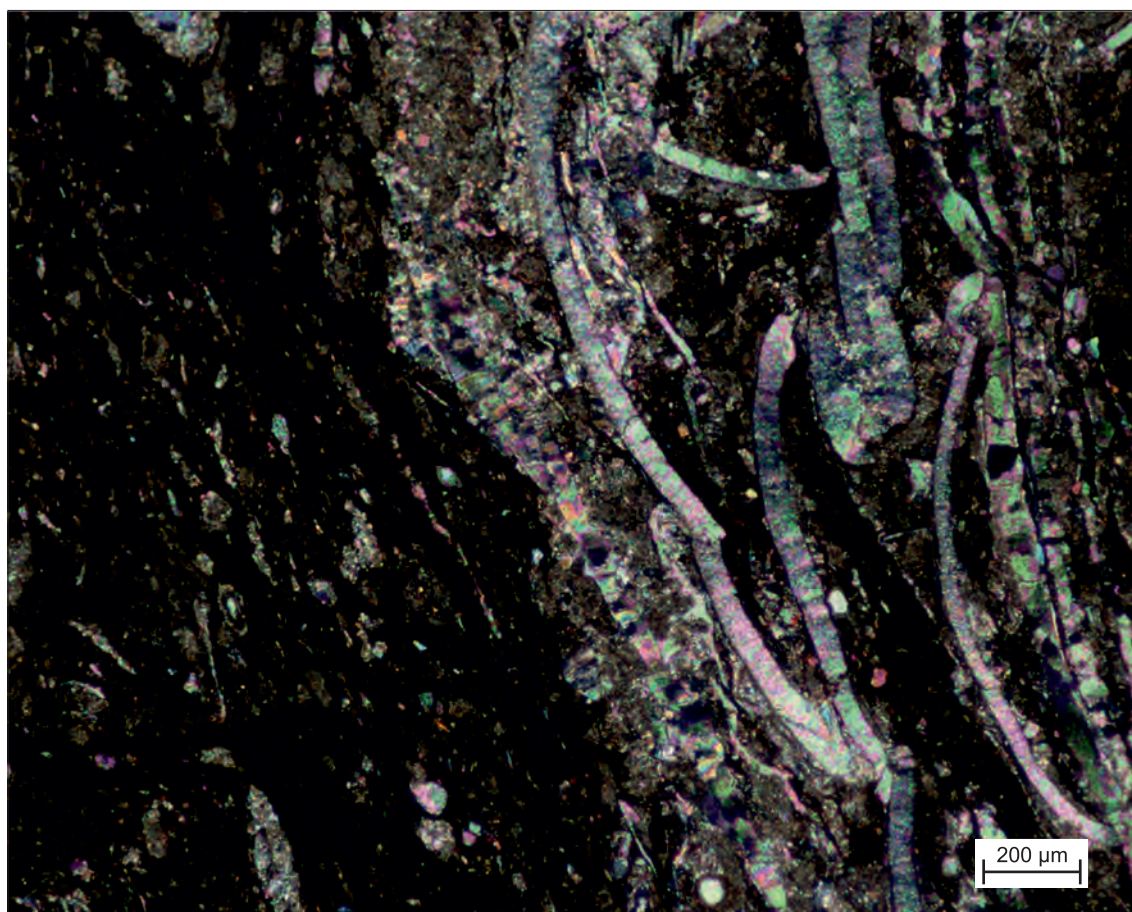
Analiza macerałów próbek skał formacji iłowców wapnistych z Grzybowa (pochodzących z otworu wiertniczego Grzybowa 1) wykazała koncentrację materii organicznej głównie w cienkich laminach ilastych. W macerałach stwierdzono obecność witrynit, liptynitu i inertynitu. Spośród których najliczniej występuje bezstrukturalny witrynit, osiągający zawartość od 79 do 83%. Witrynit występuje jako drobne ziarna (witrodetrynit) i rozerwane pasemka (ryc. 2). Liptynit występuje powszechnie, a reprezentują go głównie dwa macerały – alginity i bituminy, których łączna zawartość wynosi 7–8%. Sporadycznie stwierdzono także obecność liptodetrynit, ale w ilościach śladowych. Z kolei zawartość inertynitu osiąga 10–13%. Oprócz powszechnego w tych macerałach inertodetrynit, oznaczono także fuzynit, semifuzynit, sekretynit i funginit (ryc. 2).

Refleksyjność witrynit (R_o) zawiera się w przedziale 0,72–0,91%, wskazując dojrzałość termiczną głównego okna ropnego.

W formacji iłowców wapnistych z Grzybowa wyróżniono 12 poziomów skał macierzystych nawierconych otworem Grzybowa 1. Miąższość tych poziomów skał macierzystych zawiera się w przedziale od ok. 0,5 do 2 m. Zawartość węgla organicznego w skałach macierzystych wynosi od 1,01 do 3,50% wag., a średnia zawartość TOC – 1,77% wag. Zmienność potencjału naftowego skał macierzystych oscyluje od 2,11 do 8,09 mg HC/g skały, natomiast średnia wartość potencjału skał macierzystych w badanym otworze wynosi 4,90 mg HC/g skały.

Stopień przeobrażeń termicznych T_{max} (428–447°C) wskazuje, że skały turneju formacji iłowców wapnistych z Grzybowa znajdują się w głównej fazie generowania węglowodorów ciekłych, czyli górnej oraz środkowej części okna ropnego, i nie osiągnęły maksimum możliwości generacyjnych. Materia organiczna występująca w przebadanych skałach jest w dużej mierze mieszaniną kerogenu typu III i w mniejszym stopniu kerogenu typu II.

Wyniki badań wykazały, że skałami macierzystymi są iłowce wapniste formacji z Grzybowa, poniżej których występują piaskowce arkozowe formacji z Gozdu. Poniżej piaskowców tej formacji zalegają turnejskie iłowce formacji z Sapólna, znane z otworów Nowagardek 1 i Gorzysław 1. Również w tej formacji rozpoznano skały



Ryc. 1. Wapień organodetrytyczny, wakston/pakston marglisty z formacji z Grzybowa z TOC 2,69% wag. Jest to ropna skała macierzysta o potencjale naftowym 7,84 mg HC/g skały. Otwór wiertniczy Grzybowa 1, głębokość 2875 m, nikole skrzyżowane

Fig. 1. Organodetrital limestone, marly wackestone/packstone from the Grzybowa Formation, 2.69 wt% TOC, representing an oil-prone source rock with a petroleum potential of 7.84 mg HC/g rock. Grzybowa 1 borehole, depth 2875 m, crossed nicols

macierzyste, które powinny wygenerować węglowodory (Nowak, 2025). Formacja piaskowców z Gozdu leży pomiędzy dwiema formacjami ilastych skał macierzystych. Zatem ślady migracji węglowodorów w piaskowcach z Gozdu mogą pochodzić z formacji iłowców z Sapolna (Nowak, 2025). Próbkę skał formacji piaskowców arkozyowych z Gozdu poddano z tych względów analizie petrofizycznej. Gęstość szkieletu ziarnowego masywnych piaskowców średnio- i gruboziarnistych, z głębokości 2998 i 3000 m, mieści się w przedziale od 2,6335 do 2,6563 g/cm³. Natomiast gęstość pozorna przebadanych próbek wynosi od 2,3577 do 2,4590 g/cm³. Porowatość całkowita formacji piaskowców arkozyowych z Gozdu jest niewielka, mieści się w przedziale od 7,43 do 10,47%. Wyniki przepuszczalności efektywnej oscylują w zakresie od 0,049 do 0,122 mD, jednoznacznie wskazując na małą przepuszczalność przebadanych litosomów piaskowcowych.

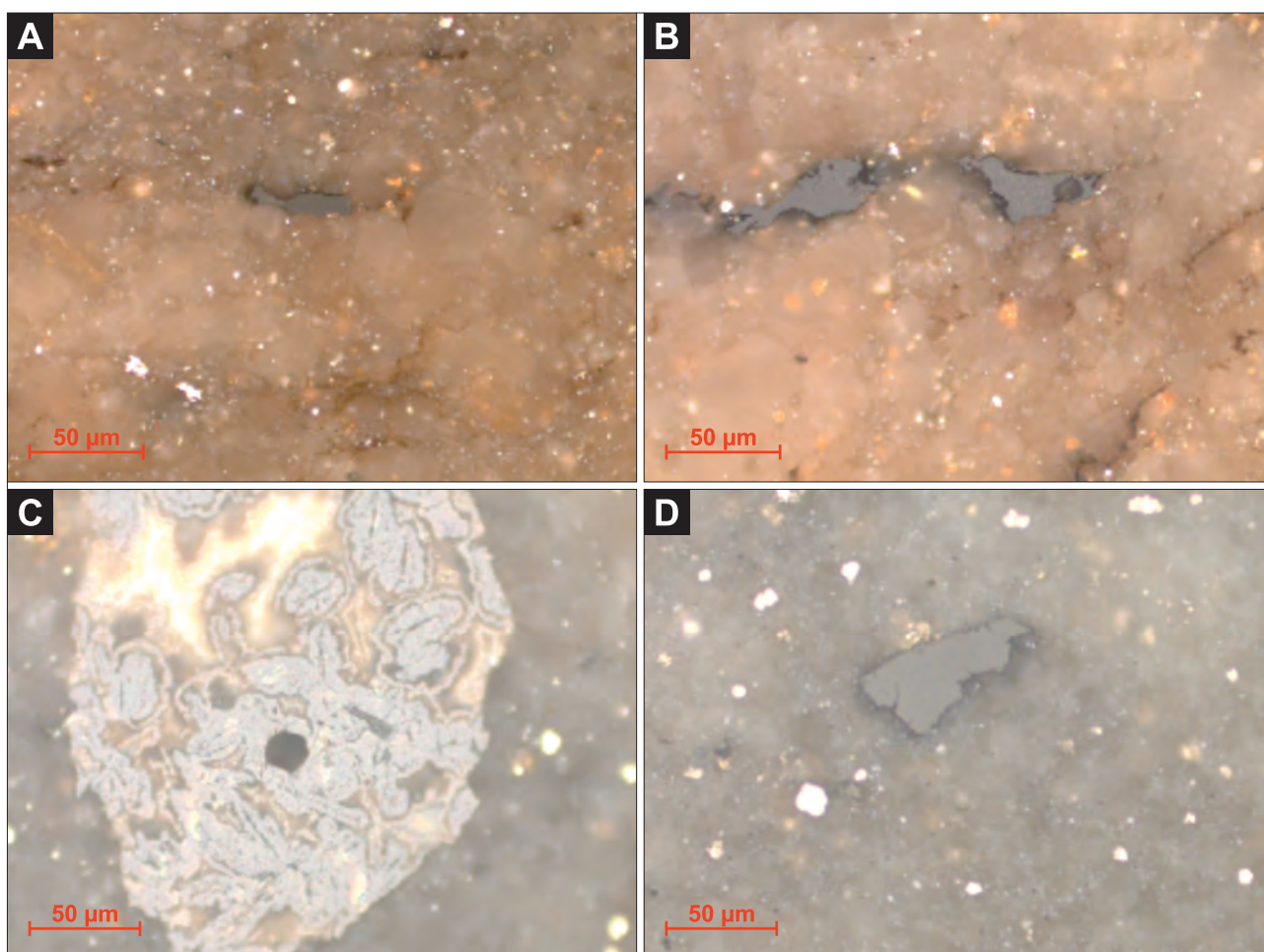
PODSUMOWANIE

Wyniki badań petrograficznych iłowców wapnistych formacji z Grzybowa wskazują, że dominującymi skałami formacji są przede wszystkim naprzemiennie występujące

wapienie organodetrytyczne oraz iłowce wapniste. Rozpoznano, że niektóre odmiany wapieni organodetrytycznych, występujących w tej formacji, ciemnych, miejscami czarnych, typu bitumicznego, są skałami macierzystymi węglowodorów.

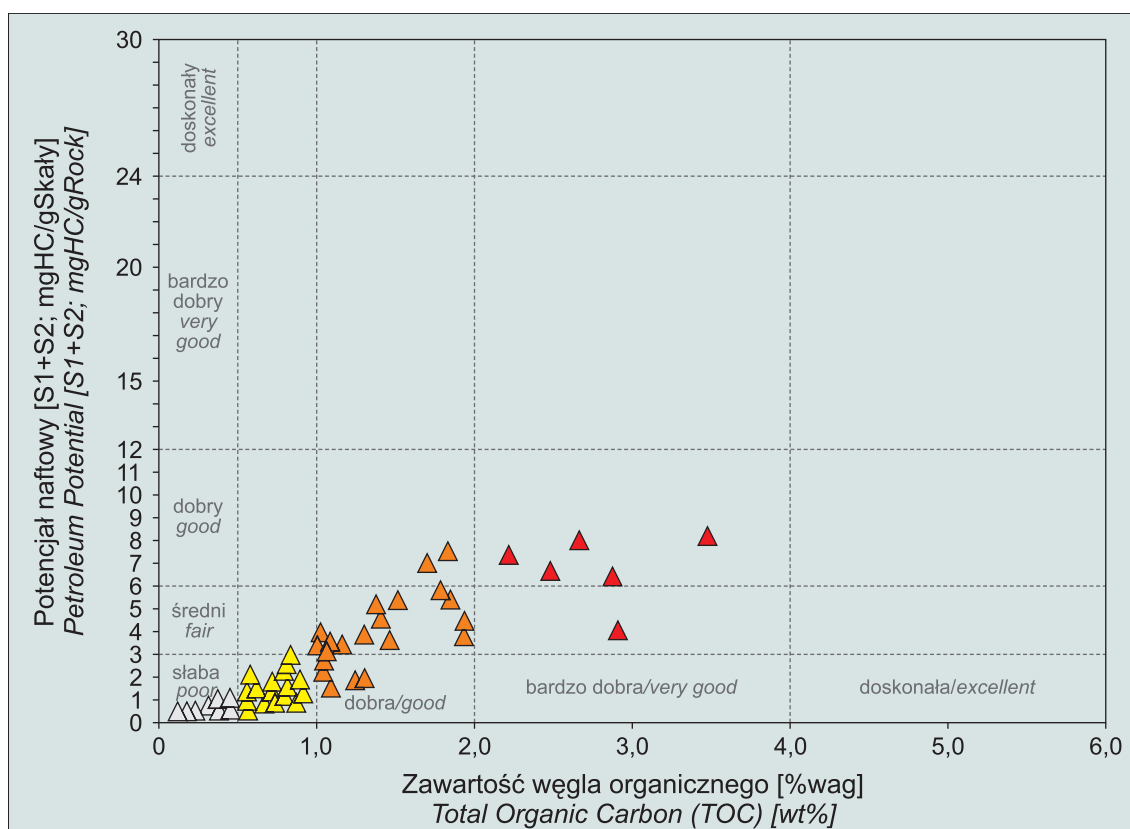
Materia organiczna rozproszona w skałach macierzystych iłowców wapnistych formacji z Grzybowa reprezentuje stadium dojrzałości termicznej głównego okna ropnego. W składzie macerałów jest obecna zarówno materia humusowa, reprezentowana przez wityrynit i inertynit, jak i komponenty bitumiczne, wśród których przeważa bituminit. Głównemu zestawowi macerałów towarzyszą alginity, liptodetrynity i sporynity.

Wyniki analizy *Rock-Eval* wskazują na dominację kerogenu typu III i w mniejszym stopniu typu II. Całkowita zawartość materii organicznej (TOC) w skałach formacji iłowców wapnistych z Grzybowa obejmuje szeroki zakres, od wartości niskich po wysokie, sięgające 3,50% wag. Zróżnicowanie zawartości TOC znajduje bezpośrednie odzwierciedlenie w potencjale naftowym, którego wartości mieszczą się w szerokim przedziale, od niskich aż do 8,09 mg HC/g skały.



Ryc. 2. Mikrofotografie formacji iłowców z Grzybowa: **A** – po środku występuje wityrodetrynit o szarej barwie (głębokość 2838,30 m); **B** – fragment rozerwanego pasemka bezstrukturalnego wityrynit (głębokość 2838,30 m); **C** – znaczne nagromadzenie sekretynitu (głębokość 2985,70 m); **D** – na środku widoczny bezstrukturalny, szary wityrynit (głębokość 2985,70 m). Otwór wiertniczy Grzybowa 1, światło białe

Fig. 2. Microphotographs of claystones from the Grzybowa Mudstone Formation: **A** – grey vitrodetrinite in the centre (depth 2838.30 m); **B** – fragment of a torn structureless vitrinite strand (depth 2838.30 m); **C** – significant accumulation of secretinite (depth 2985.70 m); **D** – structureless grey vitrinite in the centre (depth 2985.70 m). Grzybowa 1 borehole, white light



Ryc. 3. Wykres zależności potencjału naftowego od całkowitej zawartości węgla organicznego wybranych próbek z otworu Grzybowo 1 na Pomorzu Zachodnim

Fig. 3. Plot of petroleum potential versus total organic carbon content for selected samples from the Grzybowo 1 borehole in Western Pomerania

Badania petrofizyczne ujawniły, iż piaskowce formacji z Gozdu (PzG) nie mogą być rozpatrywane jako litosom zbiornikowy.

Przedstawione wyniki badań zostały uzyskane w ramach projektu *Charakter generacyjny i własności zbiornikowe skał systemu naftowego Pomorza Zachodniego* (nr tematu 22.5103.2001.00.0) zrealizowanego w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym, sfinansowanego z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na zlecenie Ministerstwa Klimatu i Środowiska (umowa nr 1453/2020, FG-SM-DN/D z dnia 01.07.2020 r. pn. *Zadania państwa wykonywane przez państwową służbę geologiczną w zakresie rozpoznania budowy geologicznej kraju dla ustalania zasobów złóż kopalin i odnowienia bazy surowcowej, realizowane od 2020 r.* (pr.g.g. art. 162, ust. 1, pkt. 1, zadanie 4).

LITERATURA

- API, 1998 – Recommended Practices for Core Analysis. American Petroleum Institute, Second Edition, Washington.
- ESPITALIE J., DEROO G., MARQUIS F. 1985 – Rock-Eval Pyrolysis and its Applications (Part One). *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, 40 (5): 563–579.
- HACKLEY P.C., CARDOTT B.J. 2016 – Application of organic petrography in North American shale petroleum systems: a review. *International Journal of Coal Geology*, 163: 8–51.
- HACKLEY P.C., ARAUJO C.V., BORREGO A.G., BOUZINOS A., CARDOTT B.J., COOK A.C., EBLE C., FLORES D., GENTZIS T., GONÇALVES P.A., MENDONÇA FILHO J.G., HAMOR-VIDO M., JELONEK I., KOMMEREN K., KNOWLES W., KUS J., MASTALERZ M., MENEZES T.R., NEWMAN J., OIKONOMOPOULOS I.K., PAWLEWICZ M., PICKEL W., POTTER J., RANASINGHE P., READ H., REYES J., ROSA RODRIGUEZ G.D.L., ALVES FERNANDES DE SOUZA I.V., SUÁREZ-RUIZ I., SÝKOROVÁ I.,

- VALENTINE B.J. 2015 – Standardization of reflectance measurements in dispersed organic matter: results of an exercise to improve interlaboratory agreement. *Marine and Petroleum Geology*, 59: 22–34.
- INTERNATIONAL Committee for Coal and Organic Petrology, 1998 – The new vitrinite classification (ICCP system 1994). *Fuel*, 77: 349–358.
- INTERNATIONAL Committee for Coal and Organic Petrology, 2001 – The new inertinite classification (ICCP System 1994). *Fuel*, 80: 459–471.
- KUBERSKA M., KOZŁOWSKA A. 2025 – Charakterystyka petrograficzna skał dewonu i karbonu z wybranych otworów wiertniczych. [W:] Nowak G. (red.), *Charakter generacyjny i własności zbiornikowe skał systemu naftowego Pomorza Zachodniego*. Centr. Arch. Geol., Warszawa.
- MATYJA H. 2006 – Ewolucja facjalna, tektoniczna i termiczna pomorskiego segmentu szwu transeuropejskiego oraz obszarów przyległych. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 186: 79–122.
- MATYJA H., TURNAU E., ŻBIKOWSKA B. 2000 – Lower Carboniferous (Mississippian) stratigraphy of northwestern Poland: conodont, microspore and ostracod zones compared. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 70 (3–4): 193–217.
- NOWAK G. (red.) 2025 – Charakter generacyjny i własności zbiornikowe skał systemu naftowego Pomorza Zachodniego. Centr. Arch. Geol., Warszawa.
- PICKEL W., KUS J., FLORES D., KALAITZIDIS S., CHRISTANIS C., CARDOTTE B.J., MISZ-KENNAN M., RODRIGUES S., HENTSCHEL A., HAMOR-VIDO M., CROSDALE P., WAGNER N., ICCP 2017 – Classification of liptinite – ICCP System 1994. *International Journal of Coal Geology*, 169: 40–61.
- STACHE E., MACKOWSKY M.-TH., TEICHMÜLLER M., TAYLOR G.H., CHANDRA D., TEICHMÜLLER R. 1982 – *Textbook of Coal Petrology*, 3rd ed., Gebrüder Borntraeger.
- TAYLOR G.H., TEICHMÜLLER M., DAVIS A., DIESSEL C.F.K., LITTKER R., ROBERT R. 1998 – *Organic Petrology*. Gebrüder Borntraeger, Berlin–Stuttgart.

Praca wpłynęła do redakcji 12.08.2025 r.
Akceptowano do druku 22.10.2025 r.