

Obrazowanie przestrzeni porowej skał o zróżnicowanej litologii metodą tomografii rentgenowskiej

Pore space imaging of rocks of various lithology by X-ray tomography

Katarzyna Drabik, Anna Przelaskowska, Rafał Skupio, Benedykt Kubik

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój laboratoryjnych metod nieniszczących przeznaczonych do badań własności skał. Należy do nich metoda rentgenowskiej tomografii komputerowej (CT), dająca możliwość wizualizacji wewnętrznej przestrzeni porowej skał bez naruszenia ich struktury. W pracy pokazano zastosowanie metody CT w skałach charakteryzujących się znacznym zróżnicowaniem przestrzeni porowej. Zmienność ta związana jest z występowaniem dużej ilości nieregularnie rozmieszczonych porów i kawern oraz szczelin o różnym stopniu wypełnienia. W ramach pracy wykonano obrazowanie przestrzeni porowej wraz z podziałem na porowatość szczelinową i kawernistą dla wybranych fragmentów rdzeni obejmujących wapienie, anhydryty i zlepieńce. Badania przeprowadzono z rozdzielczością 0,130 mm. Na ich podstawie uzyskano wartości porowatości dla metrowych odcinków rdzeni wiertniczych oraz dla wybranych fragmentów rdzenia. W przypadku anhydrytu podział na porowatość związaną z porami (0,18%) i porowatość kawernistą (0,26%) świadczy o stosunkowo dużej zawartości większych pustek w skale, co prawdopodobnie jest związane z rozpuszczaniem soli. Analiza dwóch fragmentów rdzenia wapienia uwidoczniła dużą zmienność struktury przestrzeni porowej. Na porowatość górnego fragmentu składa się, w największym stopniu, porowatość związana z drobnymi pustkami (1,79%). Porowatość pochodząca od kawern to 1,09%, natomiast porowatość szczelinowa stanowi najmniejszy procent porowatości całkowitej i wynosi 0,41%. Porowatość dolnego fragmentu rdzenia jest znacznie niższa. Składają się na nią głównie pory (0,42%) oraz w mniejszym stopniu kawerny (0,25%), natomiast porowatość szczelinowa stanowi zaledwie 0,05%. Porowatość zlepieńca jest bardzo niska (0,29%) i obejmuje głównie drobne pory i kawerny. Zastosowana metoda rentgenowskiej tomografii komputerowej pozwoliła na rozszerzenie charakterystyki przestrzeni porowej w badanych skałach i otrzymanie pełniejszej informacji na temat rozkładu porów, kawern i szczelin w rdzeniach.

Słowa kluczowe: rentgenowska tomografia komputerowa, wizualizacja przestrzeni porowej, porowatość, kawerny, szczeliny.

ABSTRACT: In recent years, a dynamic development of non-destructive laboratory methods used in rock measurements has been observed. One of such methods is X-ray computed tomography. It is a very effective method of examining drill cores, enabling the visualization of the internal pore space of rocks without disturbing their structure. This paper shows the application of X-ray computed tomography in rocks characterized by a significant variability of pore space. This variability is related to the presence of a large number of irregularly distributed pores and caverns as well as fractures filled to a various degree with cement or clastic material. In this study, pore space visualization was performed along with the division into fracture and cavernous porosity for selected core sections of limestones, anhydrites and conglomerates. The tests were carried out with a resolution of 0.130 mm. Averaged porosity values were obtained for one meter long sections of drill cores and for selected parts of the cores. In the case of anhydrite, the division into pore-related porosity (0.18%) and cavernous porosity (0.26%) indicates a relatively high content of larger voids in the rock, which is probably related to salt dissolution. Analysis of two limestone core fragments highlighted a large variation in pore space structure. Porosity of the upper fragment is associated mainly with small voids (1.79%). Porosity derived from caverns is 1.09%, while fracture porosity represents the smallest percentage of total porosity at 0.41%. The total porosity of the lower core section is much smaller, consisting mainly of pores (0.42%), to a lesser extent of caverns (0.25%), and fracture porosity accounts for as little as 0.05%. Porosity of the conglomerate is very low (0.29%), consisting mainly of pore-related and cavernous porosity. The method used allowed us to enhance the pore space characterization in the studied rocks and obtain more complete information on the distribution of pores, caverns and fractures in the cores.

Key words: X-ray computed tomography, pore space visualization, porosity, caverns, fractures.

Wstęp

W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój laboratoryjnych nieniszczących metod badawczych. Do ważnych zalet takich analiz należą przede wszystkim: możliwość stosowania na rdzeniach archiwalnych, uzyskanie ciągłej informacji petrofizycznej i geologicznej wzdłuż całego rdzenia oraz stosunkowo krótki czas pomiaru.

Technika obrazowania, opracowana w latach 70. ubiegłego wieku do celów medycznych (Tanaka et al., 2011), po raz pierwszy została wykorzystana w geologii w 1974 r. (Fourie, 1974). Początkowo rentgenowska tomografia komputerowa służyła jedynie do wizualizacji struktur geologicznych, ale z czasem zaczęto także przeprowadzać obliczenia na otrzymanych obrazach. Obecnie jest to bardzo skuteczna metoda analizowania rdzeni wiertniczych, dająca możliwość obrazowania wewnętrznej przestrzeni porowej skał bez naruszenia ich struktury. Rentgenowską tomografię komputerową stosuje się między innymi do badania układu geometrycznego przestrzeni porowej i szczelin, analizy cech skał węglanowych (Johns et al., 1993; Wolański et al., 2016; Drabik et al., 2018; Urbaniec et al., 2019; Christe et al., 2011) oraz do typowania miejsc poboru próbek na rdzeniach nieprzeciętych (Skupio i Dohnalik, 2017; Hajto et al., 2020).

W pracy pokazano zastosowanie metody CT do wizualizacji struktury wewnętrznej skał chemicznych, węglanowych i sili-koklastycznych. Wykonano obrazowanie przestrzeni porowej wraz z podziałem na porowatość szczelinową i kawernistą dla wybranych fragmentów rdzeni obejmujących wapienie, anhydryty i zlepieńce.

Analizowane skały wyróżniają się znacznym zróżnicowaniem przestrzeni porowej. Zmienność ta związana jest z występowaniem dużej ilości nieregularnie rozmieszczonych porów i kawern oraz szczelin o różnym stopniu wypełnienia. W przypadku tego typu skał badania CT umożliwiają wizualizację przestrzeni porowej wraz z podziałem na porowatość kawernistą i szczelinową, dostarczając znacznie szerszej informacji niż standardowe pomiary porowatości (np. piknometria helowa).

Zaletą metody, w odróżnieniu od punktowych badań laboratoryjnych, jest również możliwość śledzenia zmian rozkładu pustek w całym rdzeniu.

Materiały i metody

Materiał badawczy

Przebadany materiał rdzeniowy pochodził z zakresu trzech interwałów rdzeniowania i obejmował utwory permu (anhydryt podstawowy, dolomit główny i wapień cechsztyński). Badane skały odznaczają się bardzo dużym zróżnicowaniem litologicznym i są reprezentowane przez: anhydryty, wapienie, dolomity, margle, piaskowce, mułowce i zlepieńce/brekcje (tabela 1).

Charakterystykę materiału oparto na badaniach makroskopowych, a także na wynikach pomiarów laboratoryjnych (piknometria helowa Kp_{Hel} oraz rentgenowska analiza składu mineralnego XRD) (tabela 2) wykonanych w ramach pracy statutowej pt. *Interpretacja litologiczna wyników profilowania rdzeni wiertniczych na tle pomiarów geofizyki otworowej* (Skupio et al., 2021).






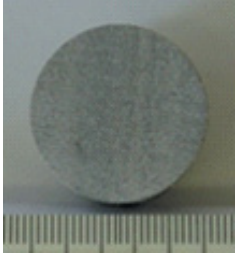
Tabela 1. Charakterystyka litologiczna przebadanych rdzeni

Table 1. Lithology of the investigated cores

Anhydryt podstawowy	białoszare, miejscami kawerniste, często zasolone anhydryty
Dolomit główny	ciemnoszare, drobnoziarniste, zbite dolomity, często laminowane ciemną substancją ilastą, miejscami zeszczelinowane, szczeliny zablżnione solą
Wapień cechsztyński	wapienie szarobeżowe, organodetrytyczne, kawerniste, miejscami anhydrytyczne; w obrębie wapienia anhydrytycznego mniej porowate
	wapienie jasnobeżowe, kremowe, organodetrytyczne, kawerniste, miejscami anhydrytyczne
	brekcja złożona z dużych klastów szarozielonych mułowców i drobnoziarnistych piaskowców oraz szarobeżowej węglanowej masy wiążącej
	zlepieńce złożone z drobnych klastów szarozielonych mułowców i drobnoziarnistych piaskowców oraz ciemnobezowej, brązowej węglanowej masy wiążącej

Tabela 2. Charakterystyka próbek rdzeni; w tabeli podano tylko minerały dominujące w składzie mineralnym próbki (>5%)

Table 2. Characterization of the core samples; only minerals dominating (>5%) in the investigated samples are listed in the table

Lp.	Fotografia badanej próbki	Charakterystyka
1		Głębokość: 2017,40 m Anhydryt Porowatość (Kp_{Hel}): 1,51% Skład mineralny (XRD): A, Ha
2		Głębokość: 2153,80 m Wapień Porowatość (Kp_{Hel}): 11,07% Skład mineralny (XRD): C, D, A
3		Głębokość: 2162,20 m Piaskowiec Porowatość (Kp_{Hel}): 9,88% Skład mineralny (XRD): Q, Σ il, D, C
4		Głębokość: 2162,50 m Piaskowiec Porowatość (Kp_{Hel}): 5,97% Skład mineralny (XRD): Q, Σ il
5		Głębokość: 2162,70 m Margiel Porowatość (Kp_{Hel}): 4,15% Skład mineralny (XRD): Σ il, Q, D + An
6		Głębokość: 2162,90 m Piaskowiec Porowatość (Kp_{Hel}): 9,68% Skład mineralny (XRD): Q, Σ il

Objaśnienia: A – anhydryt, Ha – halit, C – kalcyt, D – dolomit, Q – kwarc, Σ il – suma minerałów ilastych, An – ankeryt

Badania tomograficzne

Pomiary metodą rentgenowskiej tomografii komputerowej wykonano, wykorzystując tomograf RXCT (ang. *rotating X-ray and computed tomography*) firmy Geotek (Skupio et al., 2022). Zarejestrowane projekcje poddano rekonstrukcji, otrzymując obrazy 3D w odcieniach szarości odzwierciedlające zmiany gęstości i składu mineralnego skał (Kyle i Ketcham, 2015). Rozmiar woksela dla otrzymanych obrazów wynosił $0,130 \text{ mm} \times 0,130 \text{ mm} \times 0,130 \text{ mm}$, co umożliwiło uchwycenie pustek o minimalnej objętości $0,002197 \text{ mm}^3$. Następnie zastosowano segmentację obrazu. Ustalono wartość progową oddzielającą woksele o niskiej wartości absorpcji od wokseli o wysokiej wartości absorpcji. Pierwsze zaliczono do pustek w skale, a drugie do szkieletu skalnego. Wyznaczono objętość matrycy oraz pustek. Kolejnym krokiem było ustalenie progowych objętości obiektów, powyżej których zostaną one zaliczone do kawern i szczelin. Za wartość progową rozdzielającą pory od kawern przyjęto 8 mm^3 (Archie, 1952). Wartość progową dla szczelin ustalono na podstawie wewnętrznej struktury skały i wynosiła ona $65,9 \text{ mm}^3$. Analizę obrazów CT oraz trójwymiarową wizualizację przestrzeni porowej wykonano za pomocą programu Avizo (ThermoFisher Scientific) (rysunki 1–3).

Wyniki

W efekcie przeprowadzonych badań tomograficznych otrzymano wartości porowatości dla metrowych odcinków rdzeni wiertniczych oraz dla wybranych fragmentów rdzenia.

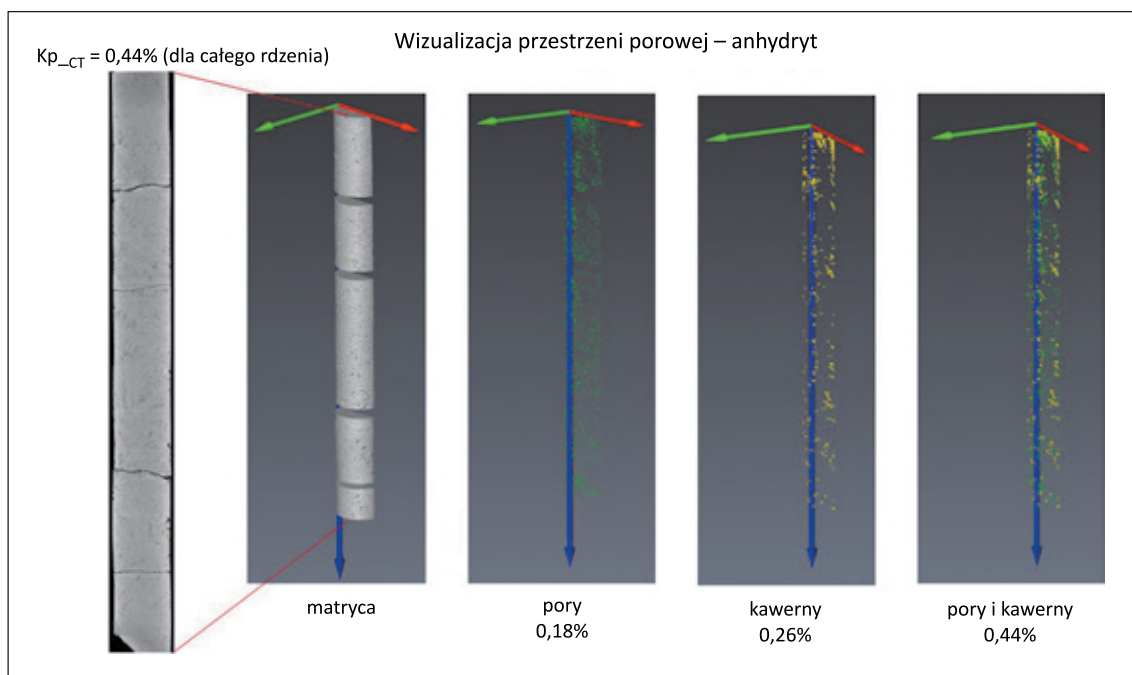
Porowatość uzyskana metodą tomografii komputerowej (Kp_{CT}) jest z reguły niższa od wartości porowatości otrzymanych metodą piknometrii helowej (Kp_{Hel}), co jest związane z rozdzielczością badań. Jak wspomniano wyżej, rozdzielczość obrazów tomograficznych wynosiła $0,130 \text{ mm}$, natomiast rozdzielczość dla piknometrii helowej to około $0,186 \text{ mm}$ (Krakowska et al., 2016).

Anhydryt

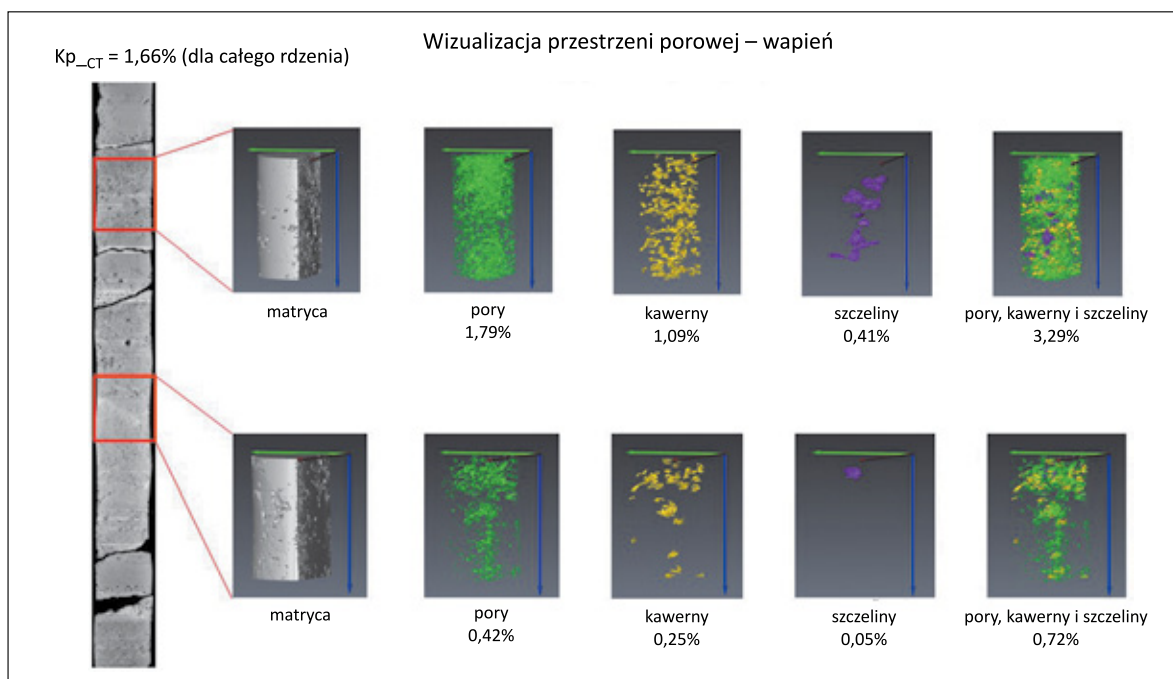
Stosunkowo niewielka różnica pomiędzy Kp_{CT} (0,44%) a Kp_{Hel} (1,51%; próbka 1, tabela 2) wskazuje na znaczący udział pustek o średnicy większej niż $0,130 \text{ mm}$. Podział na porowatość związaną z porami (0,18%) i kawernami (0,26%) również świadczy o stosunkowo dużej zawartości większych pustek w skale (rysunek 1), co prawdopodobnie jest związane z rozpuszczaniem soli.

Wapień

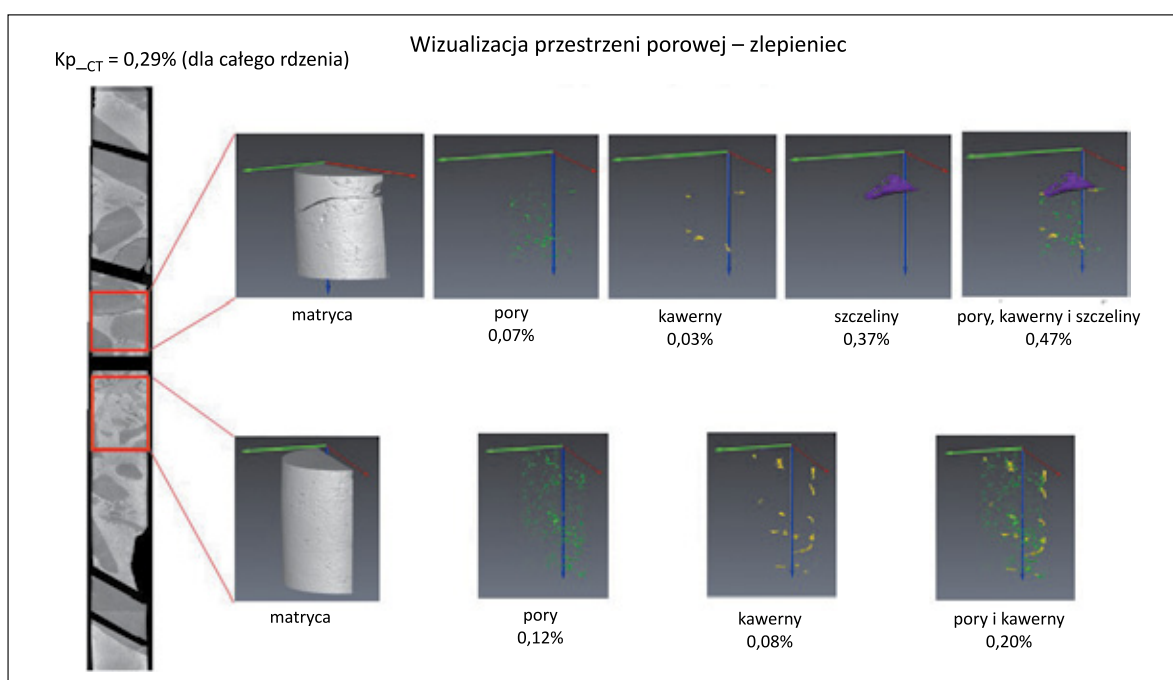
Porowatość Kp_{CT} analizowanego wapienia wyznaczona dla całego rdzenia wynosi 1,66%. Dla dwóch wybranych interwałów przeprowadzono szczegółową analizę tego parametru na podstawie obrazu CT (rysunek 2). Wyniki potwierdzają dużą zmienność rozkładu pustek w skale. Porowatość (Kp_{CT}) górnego fragmentu wynosi 3,29%. W największym stopniu składa się na nią porowatość związana z drobnymi porami (1,79%), stanowiąca ponad połowę Kp_{CT} . Porowatość kawernista wynosi 1,09%, natomiast porowatość szczelinowa stanowi najmniejszy procent porowatości całkowitej i osiąga wartość 0,41%.



Rysunek 1. Anhydryt – wizualizacja przestrzeni porowej z podziałem na pory i kawerny; rozdzielczość obrazów: $0,13 \text{ mm}$
Figure 1. Anhydrite – visualization of the pore space with division into fractures and caverns; resolution of the images 0.13 mm



Rysunek 2. Wapień – wizualizacja przestrzeni porowej z podziałem na: pory, kawerny oraz szczeliny; rozdzielczość obrazów: 0,13 mm
Figure 2. Limestone – visualization of the pore space with division into pores, caverns and fractures; resolution of the images 0.13 mm



Rysunek 3. Zlepianie – wizualizacja przestrzeni porowej z podziałem na: pory, kawerny oraz szczeliny; rozdzielczość obrazów: 0,13 mm

Figure 3. Conglomerate – visualization of the pore space with division into pores, caverns and fractures; resolution of the images 0.13 mm

Drugi fragment rdzenia charakteryzuje się znacznie niższą porowatością ($Kp_{CT} = 0,72\%$). Zobrazowanie stosunkowo nielicznych w tej części rdzenia pustek, w porównaniu z górnym fragmentem, pozwoliło uchwycić zmiany w rozkładzie porowatości, tak charakterystyczne dla skał węglanowych (rysunek 2). Na porowatość dolnego fragmentu składają się

głównie pory (0,42%) i w mniejszym stopniu kawerny (0,25%). Porowatość szczelinowa stanowi zaledwie 0,05%.

Porowatość helowa określona w spągowej części rdzenia (próbka 2, tabela 2) jest znacznie wyższa (11,07%) niż Kp_{CT} (1,66%), co wynika z różnicy rozdzielczości metod, o czym wspomniano wcześniej. Tak duża rozbieżność wskazuje na obecność

w skale głównie drobnych porów, o średnicy mniejszej niż 0,130 mm.

Zlepienie

Porowatość Kp_{CT} wyznaczona dla całego rdzenia wynosi 0,29%. Dwa wybrane fragmenty skał, dla których przeprowadzono szczegółową analizę przestrzeni porowej, wykazują podobnie niskie wartości porowatości. Dla górnego fragmentu Kp_{CT} osiąga wartość 0,47%, przy czym jej główna składowa pochodzi od porowatości związanej ze szczeliną, umiejscowioną na granicy klastu i spoiwa (0,37%) (rysunek 3). Prawdopodobnie tego typu szczeliny związane są z rozszczelnieniem rdzenia po wyciągnięciu na powierzchnię. Porowatość pochodząca od porów (0,07%) i kawern (0,03%) stanowi zaledwie niewielką część Kp_{CT} . Drugi fragment charakteryzuje się jeszcze niższą wartością Kp_{CT} (0,20%), na którą składają się tylko pory (0,12%) i kawerny (0,08%); szczelin nie stwierdzono (rysunek 3).

Kp_{Hel} wyznaczona w czterech punktach rdzenia (próbki 3–6, tabela 2) zmienia się od 4,15% do 9,88%, a więc znacznie przewyższa Kp_{CT} , co pozwala sądzić, że w skale znajdują się głównie niewielkie pory, niewidoczne dla tomografii komputerowej.

Podsumowanie

Rentgenowska tomografia komputerowa pozwoliła na rozszerzenie charakterystyki przestrzeni porowej w badanych skałach i otrzymanie pełniejszej informacji na temat rozkładu porów, kawern i szczelin w rdzeniach. Zastosowana metoda dała najlepsze wyniki dla próbki wapienia o znacznie zróżnicowanej przestrzeni porowej, co jest związane z występowaniem dużej ilości nieregularnie rozmieszczonych porów, kawern i szczelin. Badania tomograficzne umożliwiły uchwycenie zmian stopnia kawernistości oraz szczelinowatości w metrowym odcinku rdzenia.

W skałach węglanowych zobrazowanie zmienności rozkładu szczelin jest szczególnie istotne ze względu na związaną z nimi przepuszczalność. W przypadku anhydrytu badania CT pozwoliły na wyodrębnienie porowatości kawernistej, stanowiącej ponad 50% przestrzeni porowej. Analiza porowatości na podstawie obrazów CT daje z reguły słabsze rezultaty dla skał silikoklastycznych ze względu na brak większych pustek. W przypadku próbki zlepieńca zastosowana metoda pozwoliła na uchwycenie szczeliny na granicy większego klastu i spoiwa. Podsumowując, obraz tomograficzny umożliwił zajrzenie do wnętrza badanej skały i uchwycenie różnic w rozkładzie porów, kawern i szczelin. Dzięki temu pomiary CT nie tylko uzupełniają informacje uzyskane dzięki

punktowym badaniom petrofizycznym, ale także mogą być pomocne w podjęciu prawidłowej decyzji o miejscu poboru materiału z rdzenia wiertniczego do badań laboratoryjnych. Tym samym przedstawione wyniki stanowią odpowiedź na pytanie, czy warto jest ponieść dodatkowy koszt związany z wykonaniem badań tomograficznych przed poborem prób do badań laboratoryjnych.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Kompleksowe badania rdzeni wiertniczych z zastosowaniem metod nieniszczących*, praca INiG – PIB; nr zlecenia: 0040/SW/2021, nr archiwalny: DK-4100-28/2021.

Literatura

- Archie G.E., 1952. Classification of carbonate reservoir rocks and petrophysical considerations. *Bulletin American Association Petroleum Geologists*, 36(2): 278–298.
- Christe P., Turberg P., Labiouse V., Meuli R., Parriaux A., 2011. An X-ray computed tomography-based index to characterize the quality of cataclastic carbonate rock samples. *Engineering Geology*, 117(3–4): 180–188. DOI: 10.1016/j.enggeo.2010.10.016.
- Drabik K., Urbaniec A., Mikołajewski Z., Dohnalik M., 2018. Przykłady zastosowania metody rentgenowskiej tomografii komputerowej (CT) rdzeni wiertniczych w analizie skał węglanowych. *Wiadomości Naftowe i Gazownicze*, 5(235): 4–10.
- Fourie S., 1974. The cranial morphology of *Thrinaxodon liorhinus* Seeley. *Annals of the South African Museum*, 65: 337–400.
- Hajto M., Przelaskowska A., Machowski G., Drabik K., Ząbek G., 2020. Indirect Methods for Validating Shallow Geothermal Potential Using Advanced Laboratory Measurements from a Regional to Local Scale – A Case Study from Poland. *Energies*, 13: 5515. DOI: 10.3390/en13205515.
- Johns R.A., Steude J.S., Castanier L.M., Roberts P.V., 1993. Nondestructive measurements of fracture aperture in crystalline rock cores using X ray computed tomography. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 98(B2): 889–1900. DOI: 10.1029/92JB02298.
- Krakowska P., Dohnalik M., Jarzyna J., Wawrzyniak-Guz K., 2016. Computed X-ray microtomography as the useful tool in petrophysics: A case study of tight carbonates Modryn formation from Poland. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 31: 67–75. DOI: 10.1016/j.jngse.2016.03.011.
- Kyle R.J., Ketcham R.A., 2015. Application of high resolution X-ray computed tomography to mineral deposit origin, evaluation, and processing. *Ore Geology Reviews*, 65(4): 821–839. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2014.09.034.
- Skupio R., Dohnalik M., 2017. Pomiar gamma-gamma oraz komputerowa tomografia rentgenowska na rdzeniach wiertniczych skał osadowych. *Nafta-Gaz*, 73(8): 571–582. DOI: 10.18668/NG.2017.08.04.
- Skupio R., Kubik B., Drabik K., Przelaskowska A., 2021. Interpretacja litologiczna wyników profilowania rdzeni wiertniczych na tle pomiarów geofizyki otworowej. Praca Statutowa INiG – PIB, nr zlec. 0039/SW/2021, *Archiwum Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego, Kraków*.
- Skupio R., Kubik B., Drabik K., Przelaskowska A., 2022. Kompleksowa interpretacja profilu otworu obejmującego skały anhydrytowe, węglanowe i mułowcowe, wykonana na podstawie badań rdzeni wiertniczych z zastosowaniem metod nieniszczących. *Nafta-Gaz*, 78(9): 641–653. DOI: 10.18668/NG.2022.09.01.

Tanaka A., Nakano T., Ikehara K., 2011. X-ray computerized tomography analysis and density estimation using a sediment core from the Challenger Mound area in the Porcupine Seabight, off Western Ireland. *Earth Planets and Space*, 63: 103–110. DOI: 10.5047/eps.2010.12.006.

Urbaniec A., Drabik K., Dohnalik M., Zagórska U., Kowalska S., 2019. Możliwości odtworzenia wybranych cech skał węglanowych na podstawie obrazu tomografii komputerowej (CT) oraz skanera mikroopornościowego (XRMI). *Prace Naukowe Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego*, 225: 1–230. DOI: 10.18668/PN2019.225.

Wolański K., Zarudzki W., Kiersnowski H., Dohnalik M., Drabik K., 2016. Wykorzystanie tomografii komputerowej w badaniu rdzeni skał. *Nafta-Gaz*, 72(12): 1035–1042. DOI: 10.18668/NG.2016.12.04.



Mgr Anna PRZELASKOWSKA
Starszy specjalista badawczo-techniczny
w Zakładzie Geofizyki Wiertniczej
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: anna.przelaskowska@inig.pl



Dr inż. Rafał SKUPIO
Adiunkt; kierownik Zakładu Geofizyki Wiertniczej
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: rafal.skupio@inig.pl



Mgr inż. Katarzyna DRABIK
Główny specjalista inżynierijno-techniczny
w Zakładzie Geofizyki Wiertniczej
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: katarzyna.drabik@inig.pl



Mgr inż. Benedykt KUBIK
Główny specjalista inżynierijno-techniczny
w Zakładzie Geofizyki Wiertniczej
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: benedykt.kubik@inig.pl

OFERTA BADAWCZA ZAKŁADU GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

- badania tomograficzne skał:
 - » trójwymiarowa wizualizacja i analiza wewnętrznej struktury przestrzeni porowej skał metodą mikrotomografii rentgenowskiej (micro-CT);
 - » tomografia metrowych odcinków skał, profilowanie zmian parametrów petrofizycznych rdzenia (porowatość, gęstość objętościowa);
- badania metodą jądrowego rezonansu magnetycznego:
 - » określanie rozkładu nasycenia wodą przestrzeni porowej próbek,
 - » generacja map T1-T2, szacowanie nasycenia wodą/węglowodorami,
 - » identyfikacja obecności substancji organicznej TOC;
 - » oznaczanie jakościowego i ilościowego składu mineralnego skał oraz wydzielonej frakcji ilastej na podstawie analizy rentgenowskiej;
- wyznaczanie zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych: uranu, toru i potasu w skałach, płuczkach wiertniczych i materiałach budowlanych;
- ocena elektrycznych parametrów skał (wskaźnika struktury porowej i zwilżalności);
- określanie zależności elektrycznej oporności właściwej płuczek wiertniczych od temperatury;
- ocena prędkości propagacji fal ultradźwiękowych w skałach, kamieniach cementowych i płuczkach wiertniczych;
- badanie przewodności cieplnej skał;
- wyznaczanie współczynnika przepuszczalności;
- badanie gęstości, gęstości właściwej i porowatości;
- interpretacja profilowań geofizyki wiertniczej w zakresie określenia litologii i parametrów zbiornikowych skał oraz ocena stanu zacemowania rur okładzinowych w otworach;
- badania serwisowe:
 - » pomiary składu chemicznego skał metodą fluorescencji rentgenowskiej XRF wykonywane w celu oceny składu mineralnego oraz analiz chemostratygraficznych,
 - » spektrometryczne pomiary gamma na rdzeniu wiertniczym: ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th , total gamma przy wykorzystaniu mobilnego urządzenia „Gamma Logger”.



Kierownik: mgr inż. Rafał Skupio Adres: ul. Bagrowa 1, 30-733 Kraków
Telefon: 12 650 64 84 Faks: 12 653 16 65 E-mail: skupio@inig.pl



INSTYTUT NAFTY I GAZU
– Państwowy Instytut Badawczy