

## CHARAKTERYSTYKA POZIOMÓW ZBIORNIKOWYCH I USZCZELNIAJĄCYCH W OBRĘBIE STRUKTUR ZAOSIA I JEŻOWA POD KĄTEM GEOLOGICZNEGO SKŁADOWANIA CO<sub>2</sub> NA PODSTAWIE DANYCH Z GŁĘBOKICH OTWORÓW WIERTNICZYCH

### GEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE RESERVOIR AND SEAL LEVELS IN THE ZAOSIE AND JEŻÓW STRUCTURES AS A CANDIDATE SITE FOR CO<sub>2</sub> STORAGE ON THE BASIS OF THE DATA FROM DEEP BOREHOLES

ANNA FELDMAN-OLSZEWSKA<sup>1</sup>, TERESA ADAMCZAK<sup>1</sup>, JAN SZEWCZYK<sup>1</sup>

**Abstrakt.** Jedną z trzech struktur wytypowanych jako mające najkorzystniejsze warunki dla potrzeb geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w segmencie Bełchatów jest antyklina Zaosia. Przebadano ją sześcioma głębokimi otworami wiertniczymi: Buków 2, Buków 1, Zaosie 3, Zaosie 1, Zaosie 2 i Budziszewice IG 1. W artykule, materiał dotyczący antykliny Zaosia został poszerzony o informacje pochodzące z otworu Jeżów IG 1, odwierconego w szczycie antykliny Jeżowa. Struktura ta jest zlokalizowana w bliskiej odległości, po północno-wschodniej stronie antykliny Zaosia. Obie struktury charakteryzuje podobna budowa geologiczna oraz zbliżone parametry petrofizyczne skał. Potencjalne poziomy zbiornikowe oraz uszczelniające zostały wytypowane na podstawie analizy materiałów archiwalnych, w tym krzywych profilowań geofizycznych, zachowanych rdzeni wiertniczych oraz wyników nowych analiz petrofizycznych. W ramach przeprowadzonej interpretacji profilowań geofizycznych z głębokich otworów wiertniczych analizowanych struktur opracowano: profile litologiczne dla utworów jury środkowej, dolnej oraz triasu, z wydzieleniem warstw wodonośnych oraz nieprzepuszczalnych, profile zailenia oraz porowatości całkowitej. Określono ponadto głębokościową zmienność mineralizacji wód, z wydzieleniem granicy wód słodkich i słonych.

Jako spełniające kryteria przyjęte dla geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w zakresie miąższości oraz parametrów porowatości i przepuszczalności dla poziomów zbiornikowych, dla antyklin Zaosia i Jeżowa wytypowano dolnojurajskie utwory piaskowcowe formacji drzewickiej (pliensbach górny), a dla antykliny Zaosia – także górnej części formacji ostrowieckiej (synemur). Poziomymi uszczelniającymi dla tych formacji są odpowiednio drobnoziarniste utwory formacji ciechocińskiej (toark dolny) i gielniowskiej (pliensbach dolny), których wymienione parametry również potwierdzają przydatność wytypowanej struktury dla potrzeb zatłaczania i bezpiecznego składowania CO<sub>2</sub>. Kryterium mineralizacji wód (>10 g/dm<sup>3</sup>), którą określono w zaprezentowanych otworach na podstawie interpretacji karotażu, może jednak być czynnikiem eliminującym omówione struktury jako potencjalne zbiorniki CO<sub>2</sub>.

**Słowa kluczowe:** kryteria składowania CO<sub>2</sub>, poziomy zbiornikowe, poziomy uszczelniające, parametry petrofizyczne skał, mineralizacja wód, antyklina Zaosia, antyklina Jeżowa.

**Abstract.** Zaosie anticline is one of the three structures selected as having the best conditions for geological CO<sub>2</sub>-storage in the Bełchatów region. It has been tested by 6 deep wells: Buków 2, Buków 1, Zaosie 3, Zaosie 1, Zaosie 2 and Budziszewice IG 1. Additionally, information from the Jeżów IG 1 borehole, drilled on the top of the nearby Jeżów anticline, is added. That structure is located north-east of the Zaosie anticline. Both the structures are characterized by similar geological feature and petrophysical parameters of rocks. Potential reservoirs and seals were selected based on analysis of archival data (geophysical logs, cores) and new petrophysical tests. Interpretation of the geophysical logs from deep wells of the described structures included lithological sections of Middle and Lower Jurassic and Triassic rocks, identification of aquifers and impermeable levels, and mudlogging and total porosity profiles. Additionally, vertical variability of water mineralization was determined, pointing at the boundary between fresh and salt water. Significant thickness, good reservoir properties and proper depth give sufficient grounds to select the Lower Jurassic sandstone levels of the Drzewica Fm. (Upper Pliensbachian) and the upper part of the Ostrowiec

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: anna.feldman-olszewska@pgi.gov.pl, teresa.adamczak@pgi.gov.pl, jan.szewczyk@pgi.gov.pl

Fm. (Sinemurian) from the Zaosie and Jeżów anticlines as potential reservoirs for CO<sub>2</sub> storage. Seal horizons to those formations are fine-grained rocks of the Ciechocinek Fm. (Lower Toarcian) and the Gielnów Fm. (Lower Pliensbachian) respectively. Mentioned parameters also confirm usefulness of the structures for CO<sub>2</sub> storage. However the criterion of water mineralization (>10 g/dm<sup>3</sup>), which was defined in these wells based on interpretation of geophysical logs, can be the factor which eliminate the Zaosie and Jeżów structures as potential CO<sub>2</sub> storage reservoirs.

**Key words:** CO<sub>2</sub> storage, reservoirs, seals, petrophysical parameters of rocks, water mineralization, Zaosie anticline, Jeżów anticline.

## WSTĘP

Pierwszy etap badań w ramach programu „Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO<sub>2</sub> wraz z ich programem monitorowania”, uruchomionego przez Ministerstwo Środowiska w 2008 roku, objął rejon położony w odległości ok. 80 km od elektrowni Bełchatów. Wytypowany obszar jest rozpoznany 191 głębokimi otworami wiertniczymi, nierównomiernie rozmieszczonymi na całym obszarze. Dla potrzeb geologicznego rozpoznania formacji i struktur odpowiednich do geologicznego składowania CO<sub>2</sub> przeanalizowano krzywe profilowań geofizycznych, zachowane rdzenie oraz archiwalne dane petrofizyczne ze 155 głębokich otworów wiertniczych (fig. 1). Wykorzystano również wyniki badań porowatości i przepuszczalności skał z rdzeni wiertniczych wykonane dla potrzeb tematu przez zespół z Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie pod kierunkiem G. Leśniaka.

W pierwszym etapie prac wykorzystano dane z 50 głębokich otworów wiertniczych rozmieszczonych na całym obszarze. Po wstępnej analizie budowy geologicznej podjęto decyzję o ograniczeniu obszaru poszukiwań i wykluczeniu rejonu niecki miechowskiej oraz północnej części niecki

łódzkiej, ze względu na niekorzystne warunki do zatłaczania CO<sub>2</sub> – brak odpowiedniej miąższości skał zbiornikowych na założonej głębokości. W następnym etapie badań, na ograniczonym już obszarze, wykonano 8 profili korelacyjnych pomiędzy 71 otworami wiertniczymi (fig. 1). Wydzielono na nich odcinki stanowiące potencjalne poziomy zbiornikowe oraz poziomy uszczelniające. Dla 34 otworów przeprowadzono szczegółową interpretację profilowań geofizycznych. Przyjętym kryterium było ich położenie na badanym obszarze a także, zakres i jakość wykonanych w nich badań geofizyki wiertniczej. Dane uzyskane na podstawie wykonanych korelacji w powiązaniu z wynikami analiz sejsmicznych, petrologicznych i petrofizycznych, pozwoliły zespołowi z PIG-PIB na wytypowanie trzech struktur geologicznych najbardziej perspektywicznych dla potrzeb zatłaczania dwutlenku węgla. Jedną z tych struktur jest antyklina Zaosia (Wójcicki, 2009), którą rozpoznano sześcioma głębokimi otworami wiertniczymi.

W niniejszym artykule poruszono zagadnienia związane z interpretacją danych pochodzących z głębokich otworów wiertniczych.

## METODYKA

Dostępne profilowania geofizyczne, dla większości otworów, to archiwalne pomiary analogowe wykonane aparaturami i sondami pomiarowymi produkcji radzieckiej z lat 60. i 70. ubiegłego wieku. Asortyment tych badań jest ograniczony, a ich jakość niedostateczna. Pierwotne dane pomiarowe scyfrowano, a następnie utworzono w formacie LAS krzywe połączone z poszczególnych odcinków pomiarowych (*composite logs*). W ramach podstawowych prac interpretacyjnych, obejmujących analizę krzywych profilowania gamma, opracowano profile litologiczne dla otworów jury środkowej, dolnej i triasu oraz wydzielono warstwy zbiornikowe i uszczelniające.

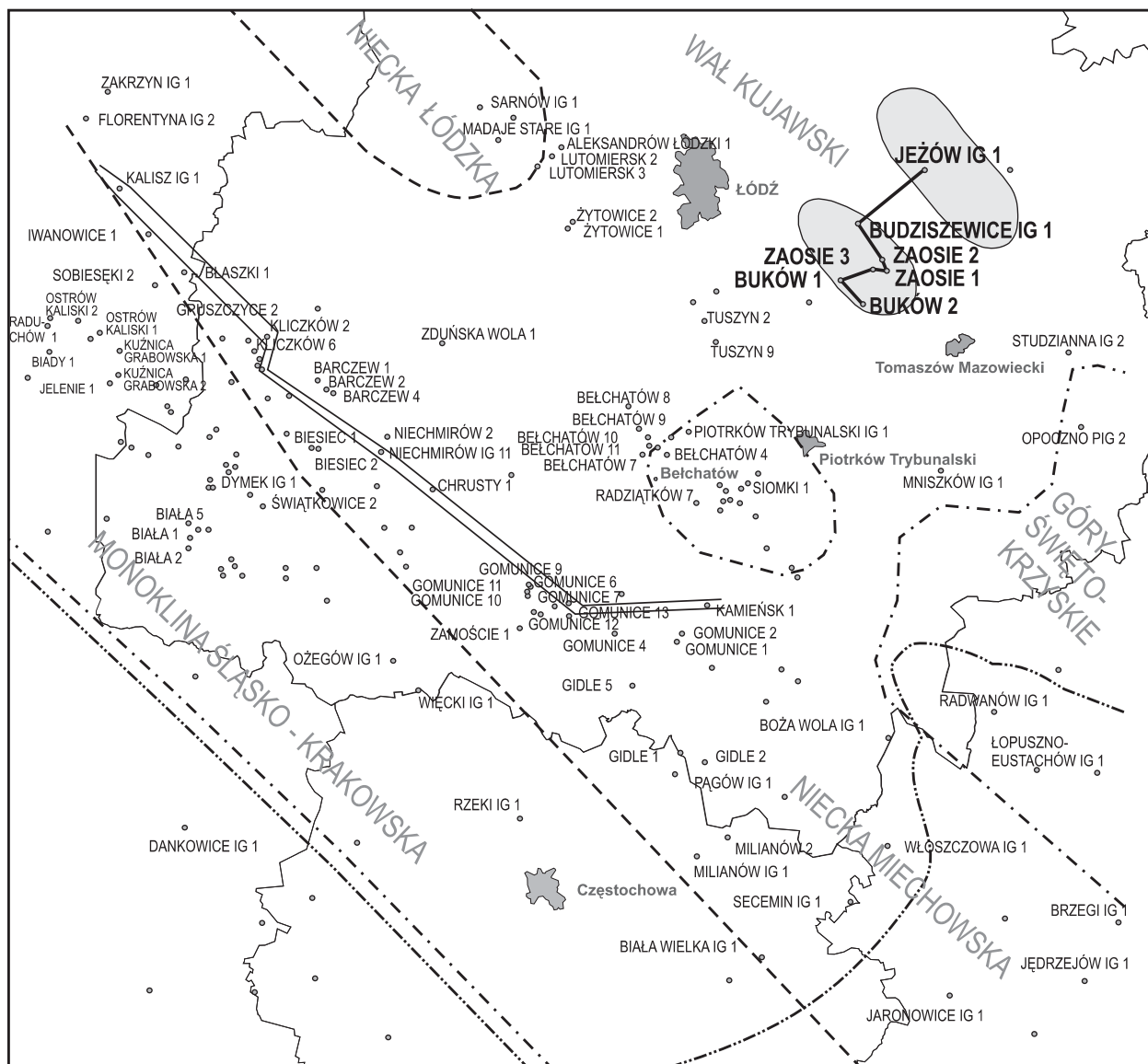
Krzywe geofizyczne stanowiły materiał wyjściowy dla szczegółowych prac interpretacyjnych, które wykonano z zastosowaniem dostępnego w Państwowym Instytucie Geologicznym programu interpretacyjnego GEOFLOG.

Regionalna ocena zdolności formacji wodonośnych jury dolnej i środkowej oraz triasu do zatłaczania CO<sub>2</sub> wymagała

uzyskania informacji na temat właściwości petrofizycznych tych formacji, a także otworów stanowiących ich uszczelnienie. Nikły zakres rdzeniowania większości otworów (szczególnie w odcinkach obejmujących utwory mezozoiczne – fig. 3, 4), uniemożliwił oparcie oceny parametrów zbiornikowych jedynie na analizach laboratoryjnych nielicznych rdzeni wiertniczych. Dane te stanowiły jednak ważną informację wykorzystywaną przy kalibracji danych karotażowych bądź przy ocenie poprawności uzyskiwanych wyników interpretacji profilowań geofizyki wiertniczej.

Na figurach 3–6 zaprezentowano wszelkie dostępne informacje o porowatościach skał, pochodzące z archiwalnych badań próbek rdzeni oraz z badań porozymetrycznych zrealizowanych dla potrzeb programu Ministerstwa Środowiska w 2009 roku.

Ze względu na niedostatki metodyczno-techniczne archiwalnych badań geofizycznych w analizowanych otworach, podstawowym problemem interpretacyjnym była kalibracja



- BUKÓW 1**     otwory wiertnicze na obszarze antykliny Zaosia i antykliny Jeżowa  
wells on the Zaosie and Jeżów anticlines
- GOMUNICE 2**     otwory wiertnicze wykorzystane do korelacji wykonanych dla obszaru Bełchatowa  
wells used to correlations for the Bełchatów region
- pozostałe otwory wiertnicze    other wells
- linia korelacyjna    correlation line
- —     schematyczny przebieg synsedymacyjnego rowu jurajskiego  
schematic course of the jurassic synsedimentary trough
- - -     schematyczny zasięg utworów jury dolnej    schematic Lower Jurassic extent
- · - ·     schematyczny zasięg utworów jury środkowej    schematic Middle Jurassic extent
- - - -     schematyczny zasięg utworów jury środkowej i dolnej w przedziale głębokości 800–2000 m  
schematic Middle and Lower Jurassic range between 800–2000 m depth
- schematyczny zarys antykliny Zaosia i antykliny Jeżowa  
schematic outline of the Zaosie and Jeżów anticlines

**Fig. 1.** Mapa lokalizacyjna głębokich otworów wiertniczych na obszarze objętym rozpoznaniem struktur geologicznych na potrzeby bezpiecznego składowania CO<sub>2</sub> w rejonie Bełchatowa (skala 1:1 000 000)

Location map of deep wells in the study area for CO<sub>2</sub> storage in the Bełchatów region (scale 1:1 000 000)

stosowanych w tych badaniach sond radiometrycznych. Wykonano ją na podstawie rozwiązań metodycznych przedstawionych przez Szewczyka (1978, 1998) oraz Szewczyka i Gientkę (2005). Kalibrację sond wykonuje się *post factum* dla sond pozbawianych tej procedury. Jest ona prawdziwa jedynie dla konkretnego odcinka badań strefowych w analizowanym otworze wiertniczym. Zazwyczaj sondy radiometryczne, np. firmy Schlumberger, Halliburton, przed pomiarami są standaryzowane, czyli wyrażane w jednakowych jednostkach dla danego typu sond. Stare sondy nie mają standaryzacji. Dlatego też dopiero kalibracja, czyli procedura wiążąca wartości wskazań sond wyrażanych w jednostkach standardowych dla współczesnych sond, np. firmy Halliburton, oraz dla starych sond w imp/min, pozwala na powiązanie ich wskazań z parametrami fizycznymi skał (porowatość, gęstość, prędkość fal akustycznych, itd.).

Parametry petrofizyczne obliczono na podstawie formuł interpretacyjnych wiążących porowatość neutronową skał z ich porowatością całkowitą (Szewczyk, 1998). Poprawkę na zailenie określano empirycznie przy wykorzystaniu poziomu naturalnego promieniowania gamma jako ilościowej miary zailenia (stosowano zależność liniową między tymi parametrami). O skuteczności tej procedury świadczy jej efektywność, tzn. statystyczna zgodność z laboratoryjnymi wynikami badań, w tym przypadku porowatości całkowitej. Opisaną powyżej jednolitą metodykę interpretacyjną zastosowano w odniesieniu do wszystkich otworów wiertniczych objętych pracami interpretacyjnymi.

Dla składowania CO<sub>2</sub> kluczowe znaczenie ma także szczelność struktur geologicznych, która w otworach wiertniczych może być oceniana na podstawie sumarycznej mineralizacji wód (suchej pozostałości – *TDS* – *total dissolved solids*). Jest to najważniejszy i najszerzej dostępny wskaźnik stopnia wymiany wód. Wartość tego parametru może być określona w sposób przybliżony na podstawie interpretacji danych geofizycznych, w tym przede wszystkim pomiarów elektrometrycznych (Szewczyk, Gientka, 2005).

Na podstawie danych z europejskich projektów dotyczących prac nad rozpoznaniem bezpiecznych struktur dla składowania CO<sub>2</sub> przyjęto następujące kryteria, których spełnienie jest niezbędne dla wstępnego wyznaczenia poziomów zapewniających warunki bezpiecznego zatłaczania i przechowywania CO<sub>2</sub> (Chadwick i in., 2006):

- **poziom zbiornikowy** – kompleks piaskowcowy o minimalnej miąższości 30 m, przykryty bezpośrednio przez poziom uszczelniający;
- **poziom uszczelniający** – kompleks iłowcowy lub iłowcowo-mułowcowy o minimalnej miąższości 50 m, przykrywający bezpośrednio poziom kolektorski;
- przedział głębokościowy występowania poziomów zbiornikowych: 800–2500 m;
- porowatość piaskowców poziomów zbiornikowych: >10%;
- przepuszczalność utworów poziomów zbiornikowych: >100 mD;
- mineralizacja wód: >10 g/dm<sup>3</sup>.

## SZCZEGÓŁOWA CHARAKTERYSTYKA LITOLOGICZNO-FACJALNA I PETROFIZYCZNA POZIOMÓW ZBIORNIKOWYCH I USZCZELNIAJĄCYCH NA OBSZARZE ANTYKLIN ZAOSIA I JEŻOWA

Antyklina Zaosia, położona w północno-wschodniej części analizowanego obszaru, została rozpoznana sześcioma głębokimi otworami wiertniczymi: Buków 1 i 2, Zaosie 1, 2 i 3 oraz Budziszewice IG 1. Po jej północno-wschodniej stronie znajduje się antyklina Jeżowa, w której szczycie wykonano otwór Jeżów IG 1. Obie struktury charakteryzuje podobna budowa geologiczna (fig. 2) oraz zbliżone parametry petrofizyczne skał, dlatego w niniejszym artykule materiał dotyczący antykliny Zaosia został poszerzony o informacje pochodzące z otworu Jeżów IG 1.

Analiza krzywych profilowania gamma pozwala na wydzielenie kilku poziomów piaskowcowych o znacznej miąższości, rozpatrywanych jako potencjalne poziomy zbiornikowe dla składowania CO<sub>2</sub>. Reprezentują one utwory jury środkowej, dolnej oraz triasu dolnego. Najbardziej

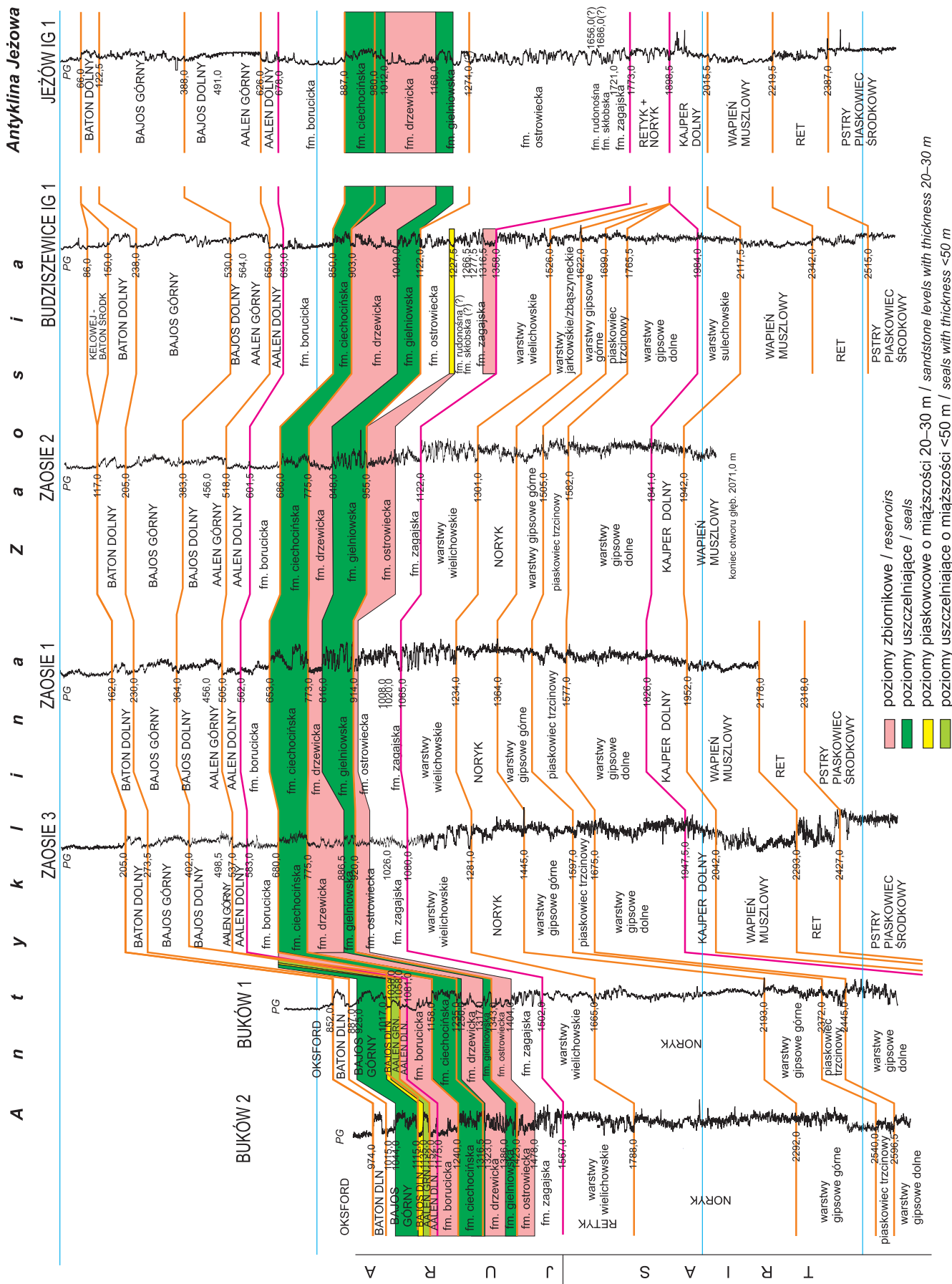
miąwszy jest kompleks piaskowcowy występujący na pograniczu jury środkowej i dolnej, obejmujący utwory aalenu dolnego i górnego toarku (formacji borucickiej). Kompleks ten został jednak odrzucony już w pierwszym etapie badań, ze względu na zbyt płytkie zaleganie. W szczycie struktury (otwory Zaosie 1, 2 i 3) występuje on na głębokości pomiędzy 500 a 700 m; zapadając się w miarę przesuwania się na skrzydła antykliny. Jedynie w otworach Buków 1 i 2 znajduje się on w całości na głębokościach spełniających założone warunki (poniżej 800 m). Na obszarze antykliny Jeżowa poziom ten jest również zbyt płytko usytuowany (głęb. 626,0–887,0 m), został więc pominięty chociaż właściwości petrofizyczne skał (porowatość 9,96–24,76% i przepuszczalność 0,1–912,99 mD) sugerują ich dobre właściwości kolektorskie.



Fig. 2. Korelacja międzyotworowa na obszarze antyklinal Zaosia oraz Jeżowa

Correlation between wells in the Zaosie and Jeżów anticlines





Następny poziom piaskowcowy o znacznej miąższości, na obu wymienionych strukturach, tworzą utwory formacji drzewickiej (plienbach górny – jura dolna). Analiza dwóch rdzeni pobranych z tej formacji w otworach Jeżów IG 1 i Zaosie 2 wskazuje, że są to drobnoziarniste piaskowce barwy jasnoszarej, masywne lub o warstwowaniu zmarszczkowym. Podobne cechy wykazują piaskowce formacji drzewickiej obecne na obszarze północnego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich oraz Kujaw. Pomiedzy nimi pojawiają się kilku-kilkunastometrowe kompleksy iłowców masywnych lub heterolitów z rizoidami, uwęglonymi fragmentami roślin lub siewką roślinną. Osady formacji drzewickiej są interpretowane jako pochodzenia rzecznoego (Pieńkowski, 2004; Feldman-Olszewska, 2008a).

Miąższość tych utworów na obszarze antykliny Zaosia jest zmienna – największą stwierdzono na skrzydłach (67 m – Buków 1 i 146 m – Budziszewice IG 1; Feldman-Olszewska, 2008b), natomiast maleje ona w kierunku szczytowej części struktury (43 m – Zaosie 1). Niekorzystnym aspektem związanym z omawianym kolektorem jest fakt, że jego strop w szczytowych partiach antykliny znajduje się na głębokości 773 m poniżej powierzchni terenu, a więc nieco płycej niż zakładają to kryteria przyjęte dla bezpiecznego składowania CO<sub>2</sub> (min. 800 m).

Miąższość formacji drzewickiej obserwowana w otworze Jeżów IG 1 jest podobna jak w pobliskim otworze Budziszewice IG 1. Poziom zbiornikowy reprezentowany przez znaczną część tej formacji ma tu grubość 156 m (głęb. 1012,0–1158,0 m).

Nowe badania porowatości całkowitej oraz przepuszczalności dały wartości porowatości całkowitej dla piaskowców z otworu Zaosie 2 w zakresie 24,45–26,34% (porowatość z porozymetru – patrz fig. 5), a z otworu Jeżów IG 1 – 10,07–15,74% (porowatość z porozymetru – patrz fig. 6). Uzyskane wartości przepuszczalności mieszczą się odpowiednio w przedziałach 832–1155 i 0,1–335,6 mD.

Skały piaskowcowe reprezentujące formację drzewicką uznano za główny poziom zbiornikowy na obszarze omawianych struktur.

Skałami uszczelniającymi dla tego kolektora są utwory formacji ciechocińskiej, a na skrzydłach antykliny (otwory Buków 1, 2) – dodatkowo najwyższego odcinka formacji drzewickiej. Miąższość formacji ciechocińskiej waha się od 53 m (Budziszewice IG 1) do 120 m (Zaosie 1). Poziom uszczelniający na strukturze Jeżowa tworzy 93-metrowy odcinek formacji ciechocińskiej i 32-metrowy odcinek formacji drzewickiej.

Formację ciechocińską w przeważającej mierze stanowią utwory ılasto-mułowcowe o szarzielonej barwie, z przewarstwieniami piaskowców i heterolitów, powstałe w środowisku brakicznych lagun i zatok (Pieńkowski, 2004). W rdzeniach otworu wiertniczego Jeżów IG 1 stwierdzono: ıłowce masywne z drobnymi zlustrowaniami tektonicznymi; mułowce ılaste o laminacji soczewkowej lub z pojedynczymi soczewkowatymi smużkami pyłowca albo bardzo drob-

noziarnistego piaskowca; mułowce i hererolity o laminacji lub warstwowaniu soczewkowym i falistym, niekiedy z kilkucentymetrowymi wkładkami piaskowców bardzo drobnoziarnistych o warstwowaniu zmarszczkowym.

Utwory formacji ciechocińskiej przebadano pod kątem petrofizycznym. Dla skał ıłowcowych i mułowcowych uzyskano laboratoryjne wartości porowatości w przedziale 5,00–9,61%, a przepuszczalności 0,01–0,001 mD. Dla heterolitów i wkładek piaskowcowych z górnego odcinka formacji wartości porowatości wyniosły 16,57–22,07%, przy bardzo zróżnicowanej przepuszczalności (od 0,1 do 105,7 mD).

Stwierdzony na obszarze antykliny Jeżowa, bezpośrednio nad kolektorem formacji drzewickiej, 10–15 metrowy kompleks skał ılasto-mułowcowych najwyższego odcinka formacji drzewickiej tworzą ciemnoszare mułowce masywne lub o laminacji i warstwowaniu soczewkowym, z wkładkami bardzo drobnoziarnistych piaskowców o warstwowaniu smużystym, laminacji falistej, warstwowaniu falistym lub ze smugami ılastymi wzbogaconymi w muskowitz.

Laboratoryjne analizy petrofizyczne skał mułowcowych tej części formacji wykazały porowatość 17,5% przy przepuszczalności 6,4–7,79 mD. Dla wkładek piaskowcowych uzyskano porowatość w zakresie 16,66–23,99% oraz przepuszczalność w przedziale 7,79–37,74 mD.

Drugim, nieco mniej miąższym, potencjalnym poziomem kolektorskim struktury Zaosia jest górny odcinek formacji ostrowieckiej (synemur – jura dolna). Podobnie jak wyższy poziom zbiornikowy, wykazuje on tendencję cieniienia w kierunku szczytowych partii antykliny. Jego miąższość w strefach bocznych waha się w granicach 55–63 m, jednak w szczycie struktury – otwór Zaosie 1 – maleje do 15 m (fig. 2). Na obszarze antykliny Jeżowa w obrębie formacji ostrowieckiej nie wydzielono poziomu zbiornikowego ze względu na zbyt małą miąższość występujących tam poziomów piaskowcowych.

Bezpośrednim uszczelnieniem dla tego poziomu zbiornikowego są drobnoziarniste utwory formacji gielniowskiej. W rdzeniu pochodzącym z najniższego odcinka tej formacji w otworze Zaosie 2 są one wykształcone w postaci heterolitów o laminacji falistej lub poziomej ze śladami *Chondrites* ichnosp. Wyższą część formacji dobrze charakteryzuje natomiast materiał rdzeniowy pobrany z otworu wiertniczego Jeżów IG 1. Stwierdzono tam ciemnoszare mułowce masywne lub o laminacji soczewkowej. Skamieniałości śladowe oraz analiza regionalna (Pieńkowski, 2004) wskazują, że są to utwory o morskiej genezie. Omawiany kompleks skał drobnoziarnistych charakteryzuje się znaczną miąższością w szczytowych i północno-wschodnich partiach antykliny (do 98 m). Poziom ten ulega wyraźnemu cieniieniu na południowo-zachodnim skłonie struktury do około 35 m, co stanowi wartość wyraźnie mniejszą od zakładanej dla poziomów uszczelniających. Poziom ten może być jednak uznany za uszczelniający w powiązaniu z faktem, że powyżej występuje kompleks ıłowcowy formacji ciechocińskiej o znacznej grubości, stanowiący dobre uszczelnienie dla po-

łożonego bezpośrednio pod nim poziomu kolektorskiego formacji drzewickiej i obecnego nieco niżej omawianego poziomu zbiornikowego formacji ostrowieckiej. Badania porowatości i przepuszczalności utworów formacji gielniowskiej w otworze Jeżów IG 1 dały odpowiednio wyniki w przedziałach 2,84–606,00% i 0,01–1,80 mD.

## CHARAKTERYSTYKA GEOFIZYCZNA WYDZIELONYCH POZIOMÓW ZBIORNIKOWYCH I USZCZELNIAJĄCYCH

W obrębie antykliny Zaosia są zlokalizowane 3 z 34 otworów wiertniczych opracowanego rejonu, dla których wykonano szczegółową interpretację pomiarów geofizycznych. Należą do nich: Budziszewice IG 1 (fig. 3), Buków 1 (fig. 4) oraz Zaosie 2 (fig. 5). Antyklinę Jeżowa pozwalają scharakteryzować wyniki interpretacji karotażu w otworze Jeżów IG 1 (fig. 6).

W ramach prac interpretacyjnych dla tych otworów opracowano: profile litologiczne z wydzieleniem warstw wodonośnych oraz nieprzepuszczalnych, profile zailenia, porowatości całkowitej i efektywnej. W odniesieniu do piaskowców określono również przepuszczalność. Obliczono ją na podstawie znalezionych przez autorów artykułu statystycznych zależności między porowatością całkowitą oraz efektywną a przepuszczalnością dla piaskowców jury środkowej oraz dolnej. Określono ponadto głębokościową zmienność mineralizacji wód, z wydzieleniem granicy wód wystłdzonych i zmineralizowanych. Na figurze 7 przedstawiono mapę głębokości strefy wymiany wód dla rejonu Bełchatowa wykonaną na podstawie interpretacji danych geofizycznych.

Interpretacja badań geofizycznych głębokich otworów wiertniczych i uzyskane w jej rezultacie parametry petrofizyczne potwierdzają dobre właściwości kolektorskie i izolacyjne wyżej opisanych formacji. W otworze Budziszewice IG 1 (fig. 3) w zakresie głębokości związanym z formacją drzewicką (903–1049 m) lokalizuje się piaskowce o średnich porowatościach warstwowych w granicach 12,0–27,5% i przepuszczalności od kilkunastu do kilkuset a nawet 1700 mD. Piaskowce tej formacji spełniają przyjęte kryteria dla geologicznego składowania CO<sub>2</sub> także w otworach: Buków 1 – średnia porowatość warstwowa od 5,5 do 13,8%, przepuszczalność od kilku do 133 mD, Zaosie 2 – porowatość rzędu kilkunastu do 21% oraz przepuszczalność od kilkadziesiątu do kilkuset mD i Jeżów IG 1, w którym formacja ta charakteryzuje się porowatością od kilkunastu do 27,5% i przepuszczalnością od kilku do ponad 2000 mD (fig. 4–6).

W analizowanych otworach przejście od formacji drzewickiej do utworów wyżej zalegającej formacji ciechocińskiej znajduje wyraźne odzwierciedlenie na wyinterpretowanych krzywych rozkładu średnich porowatości warstwowych. W zakresach głębokości związanych ze skałami formacji ciechocińskiej obserwuje się porowatość bliską 0%, przy praktycznie braku przepuszczalności. Jedynie cienkie

Na obszarze antykliny Zaosia stwierdzono jeszcze jeden, najniższy, poziom piaskowcowy, reprezentowany przez utwory pstrygo piaskowca. Jego miąższość jest rzędu 200–300 m. Poziom ten został odrzucony ze względu na zbyt głębokie zaleganie (poniżej 2850 m). Z tego powodu nie był badany pod kątem właściwości petrofizycznych.

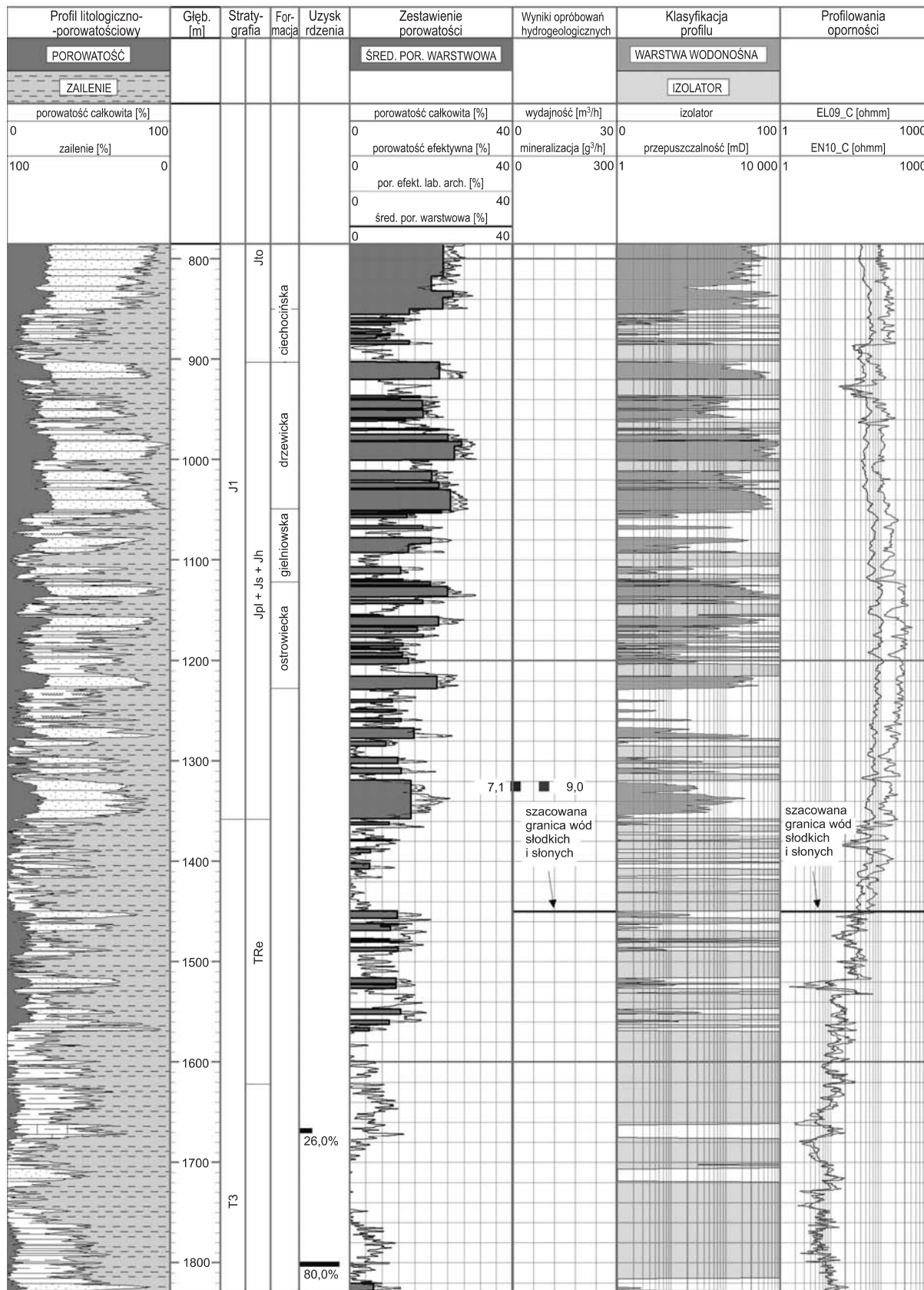
wkładki piaskowców obecne w obrębie formacji ciechocińskiej zaznaczają się wyższymi wartościami parametrów petrofizycznych. Rezultaty interpretacji pomiarów geofizycznych potwierdzają więc uszczelniające właściwości utworów tej formacji.

Formacja ostrowiecka charakteryzuje się podobnymi wartościami parametrów petrofizycznych jak wyżej zaprezentowane dla formacji drzewickiej. W otworze Budziszewice IG 1 dla wydzielonych w jej obrębie piaskowców (od głęb. 1122,0 do 1227,5 m) obserwuje się średnią porowatość warstwową od kilku do 24% i przepuszczalność rzędu kilkuset mD, dochodzącą miejscami do ok. 2000 mD. W otworze Zaosie 2 (porowatości z przedziału 7–20%, przepuszczalności od kilku do kilkuset a nawet 2000 mD) wyinterpretowane wartości parametrów petrofizycznych mieszczą się w zakresach przyjętych jako kryterium bezpiecznego składowania CO<sub>2</sub>. Jedynie w otworze Buków 1 wartości przepuszczalności tych utworów są niższe, od kilku do 56 mD. Średnie porowatości warstwowe zawierają się natomiast w przedziale od 5,5 do 13,8%.

Parametry petrofizyczne uzyskane w wyniku interpretacji profilowań geofizycznych w omawianych otworach potwierdzają, że utwory formacji gielniowskiej, przykrywające formację ostrowiecką, mogą stanowić jej uszczelnienie. Średnie procentowe wartości porowatości warstwowej dla formacji gielniowskiej są bliskie zera. Wartości przepuszczalności, poza zakresami głębokości związanymi z cienkimi wkładkami piaskowców są bliskie zera.

Nikły zakres rozpoznania hydrogeologicznego badanych formacji (fig. 3, 4 i 6), bardzo ogranicza możliwość dokonania dla nich prognostycznych, wiarygodnych ocen hydrogeologicznych. Źródłem informacji na temat mineralizacji wód obejmującej pełne profile otworów były wyniki badań geofizycznych. Na podstawie analizy danych geofizycznych oszacowano m.in. przybliżoną głębokość występowania wód o mineralizacji mniejszej niż około 10 g/dm<sup>3</sup> (jedno z kryteriów bezpiecznego składowania CO<sub>2</sub>). Z wykonanych analiz wynika, że poniżej tak wyznaczonej granicy z reguły następuje bardzo szybki wzrost mineralizacji wraz z głębokością. Mapa głębokości strefy wymiany (fig. 7) pokazuje, że struktura Zaosia wyróżnia się konsekwentnie wyraźnym, relatywnie płytszym w stosunku do obszaru otaczającego, występowaniem wód zmineralizowanych.





skala głębokości 1:5000

Opracowali: J. Szewczyk, T. Adamczak

**Fig. 3. Wyniki interpretacji litologii oraz parametrów petrofizycznych dla profilu otworu wiertniczego Budziszewice IG 1**

The results of log interpretation of lithology and petrophysical parameters in the Budziszewice IG 1 well



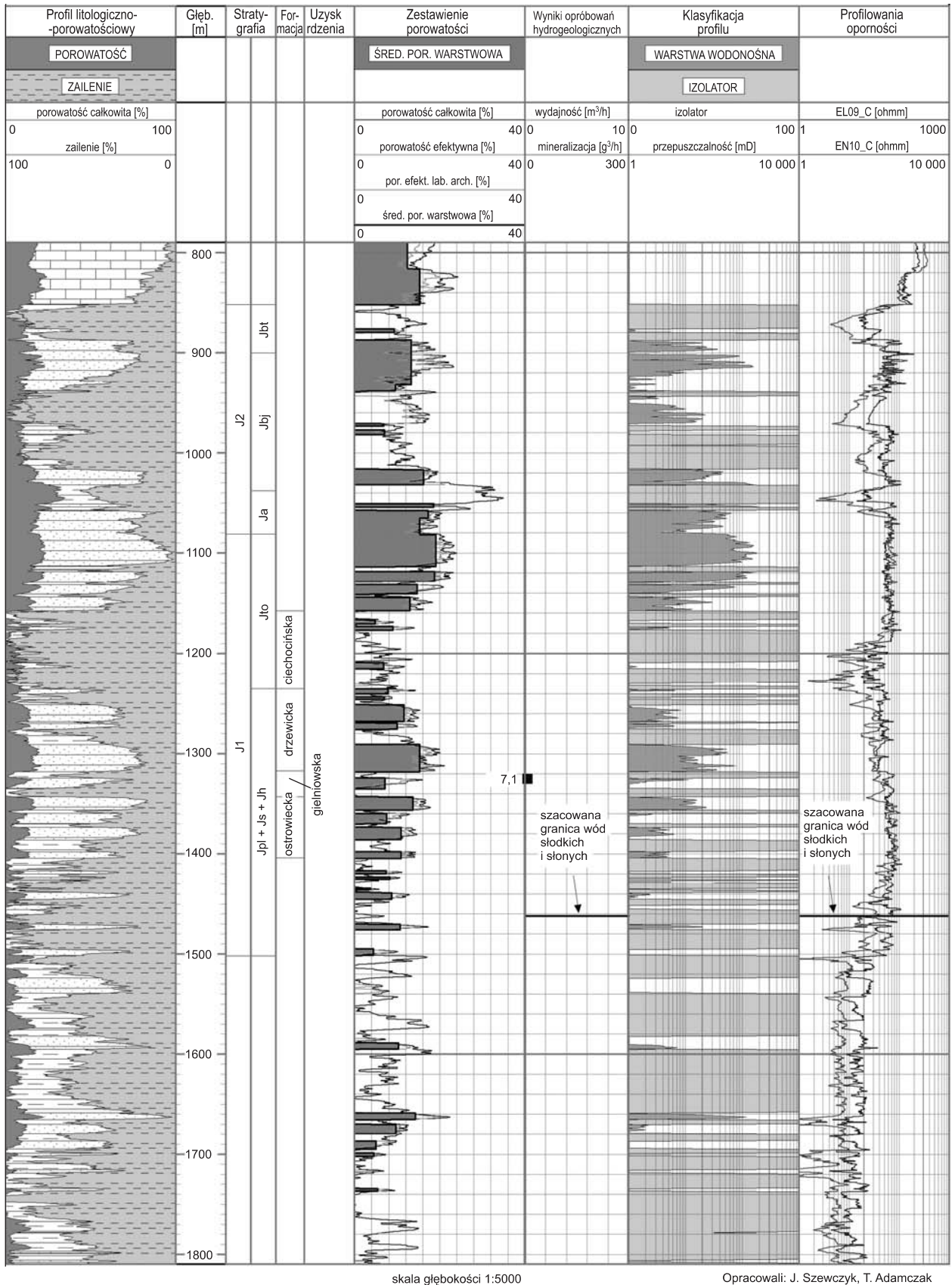


Fig. 4. Wyniki interpretacji litologii oraz parametrów petrofizycznych dla profilu otworu wiertniczego Buków 1

The results of log interpretation of lithology and petrophysical parameters in the Buków 1 well

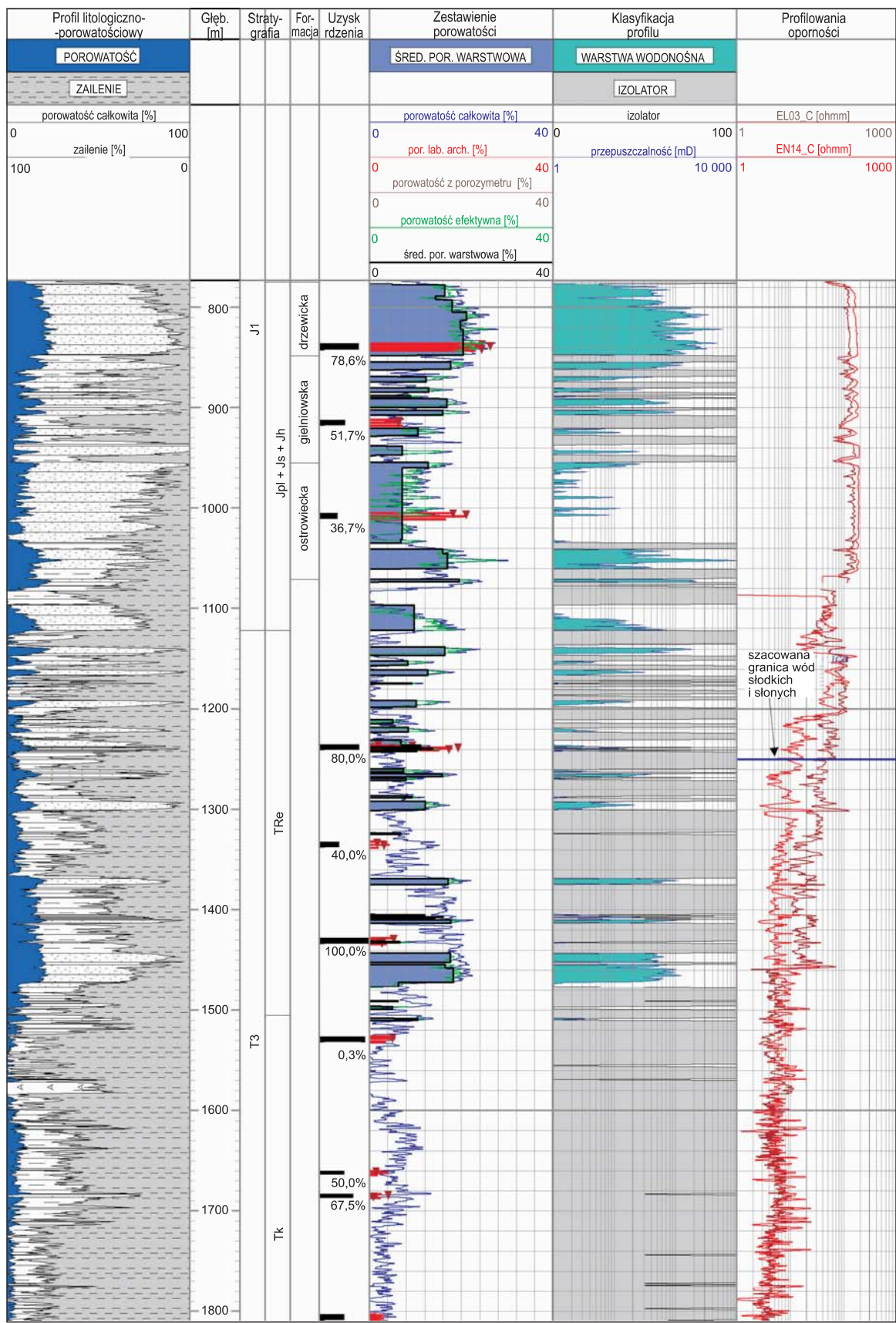


Fig. 5. Wyniki interpretacji litologii oraz parametrów petrofizycznych dla profilu otworu wiertniczego Zaosie 2

The results of log interpretation of lithology and petrophysical parameters in the Zaosie 2 well



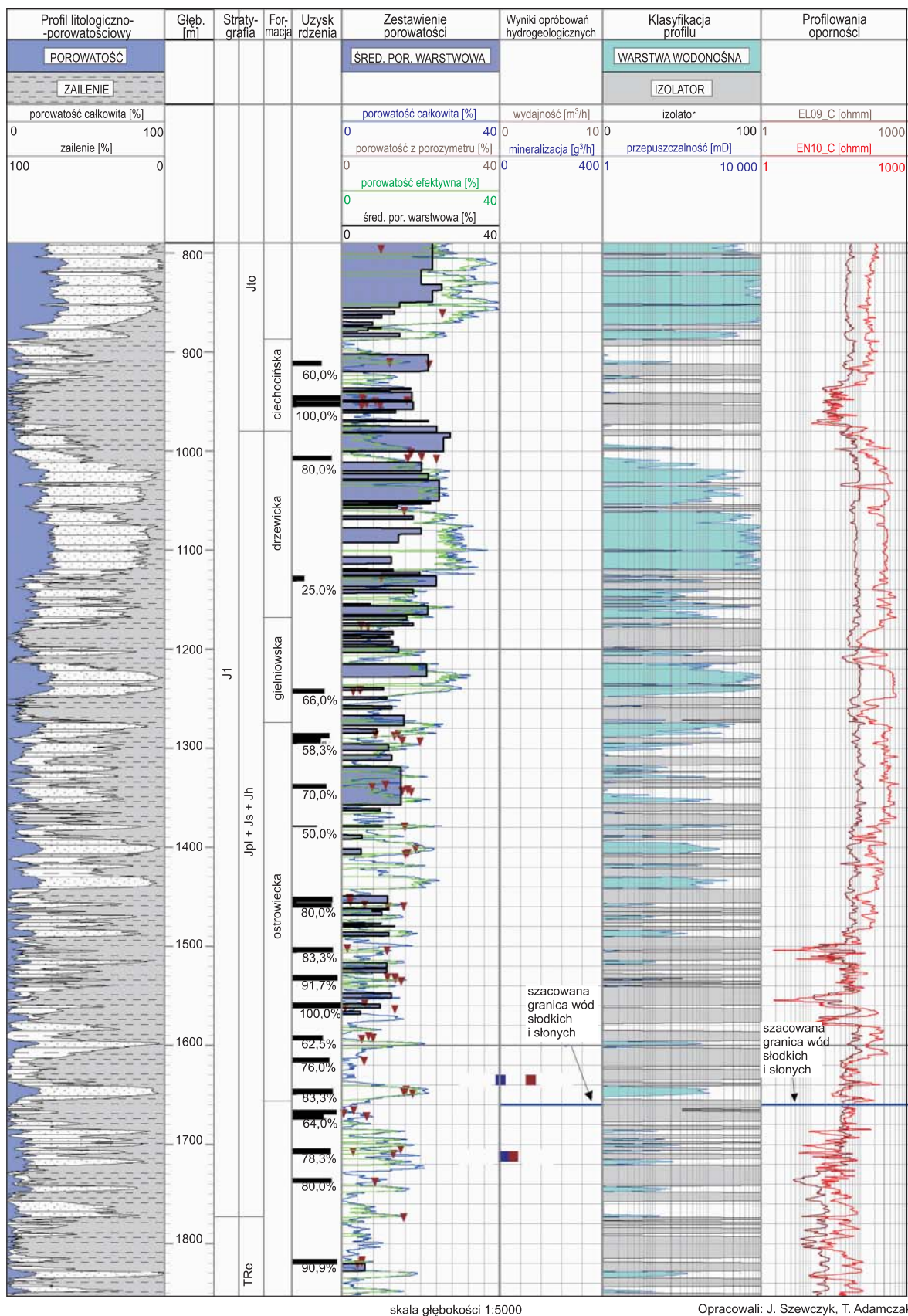
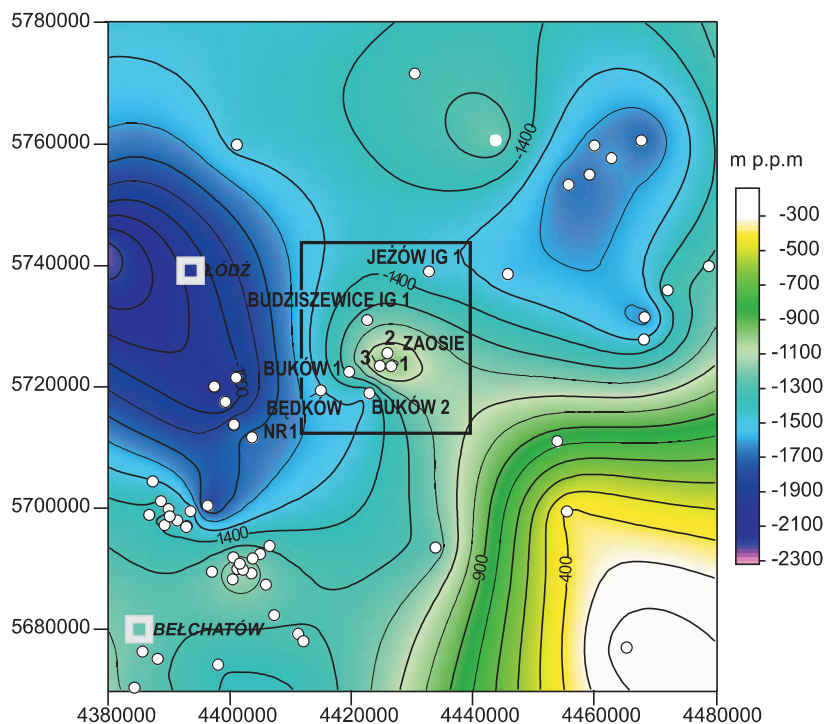


Fig. 6. Wyniki interpretacji litologii oraz parametrów petrofizycznych dla profilu otworu wiertniczego Jeżów IG 1

The results of log interpretation of lithology and petrophysical parameters in the Jeżów IG 1 well



**Fig. 7. Mapa głębokości strefy wymiany wód dla rejonu Bełchatowa**

Water exchange zone depth  
in the Bełchatów area



Naniesiona na [figurach 3–6](#) i określona na podstawie danych uzyskanych w wyniku interpretacji karotażu szacunkowa granica wód słodkich i słonych pozwala zauważyć, że wytypowane formacje drzewicka i ostrowiecka w otworach Budziszewice IG 1, Buków 1, Zaosie 2 oraz Jeżów IG 1, pozostają w zasięgu wód słodkich, o mineralizacji poniżej  $10 \text{ g/dm}^3$ .

## WNIOSKI

Wytypowane jako poziomy zbiornikowe formacje drzewicka i ostrowiecka na strukturach Zaosia i Jeżowa spełniają przyjęte dla geologicznego składowania  $\text{CO}_2$  kryteria dotyczące miąższości oraz parametrów porowatości i przepuszczalności. Charakterystyka utworów formacji ciechockińskiej i gielniowskiej pokazuje, że spełniają one wymogi określone dla poziomów uszczelniających. Na podstawie wymienionych parametrów można uznać wytypowane

struktury za przydatne dla potrzeb zatłaczania i bezpiecznego składowania  $\text{CO}_2$ . Wyniki interpretacji karotażu określające przybliżoną mineralizację wód w zaprezentowanych otworach sugerują jednak, że może być ona czynnikiem eliminującym omówione struktury jako potencjalne zbiorniki  $\text{CO}_2$ . Wyjaśnienie tego ważnego zagadnienia wymaga jednak podjęcia dalszych badań.

## LITERATURA

- CHADWICK A., ARTS R., BERNSTONE C., MAY F., THIBEAU S., ZWEIGEL P. (red.), 2006 — Best practice for the storage of  $\text{CO}_2$  in saline aquifers, observations and guidelines from the SACS and  $\text{CO}_2$ STORE projects. Raport projektu  $\text{CO}_2$ STORE. <http://www.co2store.org>.
- FELDMAN-OLSZEWSKA A., 2008a — Wyniki badań litologicznych i stratygraficznych utworów jury dolnej. W: Brześć Kujawski IG 1, IG 2, IG 3. *Profile Głęb. Otw. Wiert. Państw. Inst. Geol.*, **125**: 139–140.
- FELDMAN-OLSZEWSKA A., 2008b — Stratygrafia i litologia utworów jury dolnej. W: Budziszewice IG 1. *Profile Głęb. Otw. Wiert. Państw. Inst. Geol.*, **127**: 74.
- PIEŃKOWSKI G., 2004 — The epicontinental Lower Jurassic of Poland. *Polish Geol. Inst. Sp. Papers*, **12**.
- SZEWCZYK J., 1978 — Niektóre aspekty wykorzystania profilowań neutronowych w badaniach geofizyki wiertniczej w Polsce. *Mat. I Konf. Nauk.-Tech. Wisła-Malinka*: 98–112.
- SZEWCZYK J., 1998 — Kalibracja „starych” pomiarów neutronowych. *Mat. VII Konf. Nauk.-Tech. Koninki*: 322–333.
- SZEWCZYK J., GIENKA D., 2005 — Badania geofizyki wiertniczej w analizach hydrogeologicznych utworów mezozoicznych i paleozoicznych na Niżu Polskim. *Materiały XII Sympozjum Hydrogeologicznego*, Toruń: 701–706.
- WÓCICKI A. (red.), 2009 — Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania  $\text{CO}_2$  wraz z ich programem monitorowania. Raport merytoryczny nr 1: Segment I, rejon Bełchatów. <http://skladowanie.pgi.gov.pl>.