

## CHARAKTERYSTYKA STRUKTURY ZAOSIA POD KĄTEM JEJ PRZYDATNOŚCI DO GEOLOGICZNEGO SKŁADOWANIA DWUTLENKU WĘGLA – WYNIKI INTERPRETACJI DANYCH SEJSMIKI REFLEKSYJNEJ

### CHARACTERIZATION OF THE ZAOSIE STRUCTURE AS A POTENTIAL CO<sub>2</sub> GEOLOGICAL STORAGE – RESULTS OF SEISMIC DATA INTERPRETATION

GRZEGORZ WRÓBEL<sup>1</sup>, SYLWIA KIJEWSKA<sup>1</sup>

**Abstrakt.** Badania przedstawione w artykule miały na celu opracowanie charakterystyki struktury Zaosia pod kątem jej wykorzystania do składowania CO<sub>2</sub>. Przeanalizowano dziewięć profili sejsmicznych, które skalibrowano danymi z sześciu głębokich otworów wiertniczych. Interpretacja objęła głównie utwory dolnojurajskie, w obrębie których wytypowano poziomy zbiornikowe i uszczelniające, perspektywiczne pod względem podziemnego składowania CO<sub>2</sub>. Analizowana struktura charakteryzuje się dobrymi zamknięciami z dwóch stron. Od strony południowo-wschodniej, a szczególnie północno-zachodniej zamknięcie jest natomiast bardzo położe i trudno jednoznacznie określić poziom bezpieczeństwa rozpatrywanej antykliny. Przeprowadzona interpretacja danych sejsmicznych nie wykazała obecności deformacji nieciągłych w obrębie poziomów dolnojurajskich.

**Słowa kluczowe:** sekwestracja CO<sub>2</sub>, dane sejsmiczne, dolna jura, antyklina Zaosia, bruzda środkowopolska.

**Abstract.** The goal of the research was to characterize potential of the Zaosie structure for safe CO<sub>2</sub> sequestration. Nine seismic profiles calibrated with six deep boreholes were analyzed. Interpretation was focused on the Lower Jurassic deposits, comprising reservoir and seal formations which were selected for CO<sub>2</sub> geological storage. The analyzed structure is properly closed from NE and SW sides. However, to NW and SE the Zaosie anticline has very gently dipping flanks which causes that the safety level is difficult to assess. At the present stage of the study the interpretation of seismic data from the Zaosie area do not reveal any significant faults in the Lower Jurassic formations.

**Key words:** CO<sub>2</sub> sequestration, seismic data, Lower Jurassic, Zaosie anticline, Mid-Polish Trough.

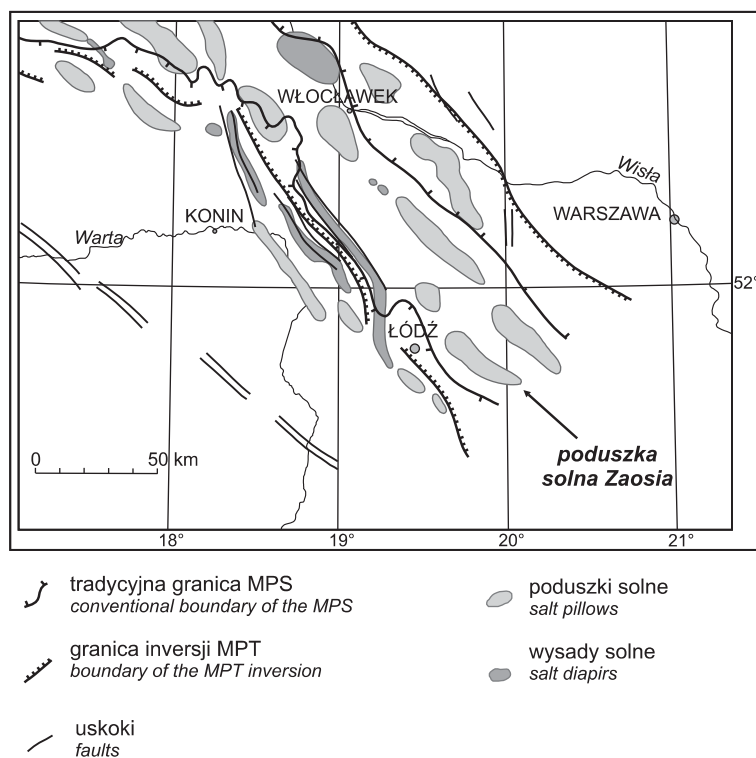
### WSTĘP

Badania, których wyniki opisano w niniejszym artykule, wykonano w ramach pierwszego etapu projektu rozwojowego zamówionego przez Ministerstwo Środowiska – Krajowego Programu „Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO<sub>2</sub> wraz z ich planami monitorowania”. Jest on realizowany przez konsorcjum instytucji naukowych, którego koordynatorem jest

Państwowy Instytut Geologiczny (PIG–PIB). Zasadniczym celem projektu jest przeanalizowanie i wytypowanie formacji i struktur geologicznych odpowiednich do bezpiecznego składowania dwutlenku węgla (Wójcicki, 2009a).

Geologiczna sekwestracja dwutlenku węgla jest rozumiana jako wychwytywanie oraz bezpieczne składowanie pod ziemią w głębokich formacjach i strukturach geologicz-

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: grzegorz.wrobel@pgi.gov.pl, sylwia.kijewska@pgi.gov.pl



**Fig. 1.** Mapa lokalizacyjna ważniejszych struktur solnych w obrębie kujawskiego segmentu bruzdy środkowopolskiej (wg Dadleza, 2003)

Location of the main salt structures in the Kuiavian segment of the Mid-Polish Trough (after Dadlez, 2003)



nych emisji CO<sub>2</sub>, pochodzącego ze spalania paliw kopalnych w instalacjach przemysłowych. Podziemne składowanie CO<sub>2</sub> może być zrealizowane poprzez zatłaczanie tego gazu do głębokich solankowych poziomów wodonośnych, eksploatowanych i szcerpanych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego oraz głębokich pokładów węgla (Tarkowski, Uliasz-Misiak, 2003; Tarkowski, 2005; Wójcicki, 2009b).

W pierwszym etapie projektu przeanalizowano struktury geologiczne w głębokich solankowych poziomach mez-

zoicznych, zlokalizowane w promieniu 80 km od emitenta – PGE Elektrowni Bełchatów, największego w Europie zakładu opalanego węglem brunatnym. Jednym z obiektów geologicznych analizowanych na tym etapie projektu była struktura Zaosia, znajdująca się ok. 60 km na północny wschód od PGE Elektrowni Bełchatów. Spośród wszystkich struktur badanych w rejonie Bełchatowa jest ona najlepiej rozpoznana, kilkoma głębokimi otworami wiertniczymi przewiercającymi kompleks cechsztyńsko-mezozoiczny i jego podłoże (sześć głębokich wierceń), jak również sejsmika (trzy profile z roku 1999 oraz sześć profili z lat 70. XX wieku). Struktura Zaosia jest zlokalizowana w południowo-zachodniej części kujawskiego segmentu bruzdy środkowopolskiej. Jest to antyklina o rozciągłości NW–SE, która rozwinęła się ponad poduszką solną Zaosia (fig. 1).

## TŁO GEOLOGICZNE

Bruzda środkowopolska jest podłużną strukturą o rozciągłości NW–SE, powstała w późnym permie ponad strefą Teisseyre'a-Tornquista, która jest jedną z najważniejszych granic geologicznych w Europie i wyznacza południowo-zachodnią krawędź kratonu wschodnioeuropejskiego (Guterch i in., 1986; Dadlez, 1997, 2006; Pożaryski, Nawrocki, 2000). W trakcie permu i mezozoiku bruzda środkowopolska stanowiła osiową część basenu polskiego i została wypełniona osadami, które w centralnej części osiągnęły miąższość do 6–7 km (Marek, Pajchłowa, 1997; Dadlez i in., 1998; Dadlez, 2003; Krzywiec, 2006a, b). W trakcie sedimentacji utworów cechsztynu analizowany obszar znajdował się w centralnym segmencie bruzdy środkowopolskiej, który był poddany maksymalnej subsydemcji (Wagner, 1994). Miąższe serie ewaporatów cechsztyńskich, zalegające na

klastycznych osadach czerwonego spągowca, wywarły duży wpływ na budowę strukturalną oraz architekturę sedimentacyjną bruzdy środkowopolskiej zarówno w trakcie mezozoicznego etapu subsydemcji i rozwoju basenu, jak i podczas jego późnokredowo-paleoceńskie inwersji (Dadlez, 2003; Krzywiec, 2006a, b). Basen dolnojurański Niżu Polskiego uległ na przełomie retyku i dolnego synemuru dużej przebudowie w wyniku ruchów tektonicznych, które doprowadziły do znacznego rozszerzenia jego zasięgu. Obszar bruzdy środkowopolskiej cechował się jednak nadal największą subsydemcją, kompensowaną przez sedimentację. Profil utworów jury dolnej obejmuje hettang, synemur, pliensbach i toark, tworzące naprzemianległe kompleksy szarych piaskowców kwarcowych oraz ciemnoszarych mułowców i ilowców (Marek, Pajchłowa, 1997).

Tabela 1

**Profil stratygraficzny jury dolnej wraz z wytypowanymi poziomami zbiornikowymi i uszczelniającymi**

Stratigraphic section of the Lower Jurassic with the reservoir and seal sequences

Stratygrafia			Poziomy zbiornikowe i uszczelniające dla geologicznej sekwestracji CO <sub>2</sub>
Chronostratygrafia		litostratygrafia	
Oddział	piętro		
Jura dolna	toark	fm. borucicka	
		fm. ciechocińska	uszczelnienie
	pliensbach	fm. drzewicka	kolektor
		fm. gielniowska	uszczelnienie
	synemur	fm. ostrowiecka	kolektor
	hettang	fm. skłobska	
fm. zagajska			

W trakcie późnej kredy–paleocenu bruzda środkowopolska uległa inwersji, w wyniku której osiowa część basenu została wyniesiona i poddana głębokiej erozji. W centralnym, kujawskim segmencie bruzdy środkowopolskiej erozja objęła osady kredy i jury górnej (Krzywiec, 2002; Krzywiec i in., 2006).

Bardzo ważnym elementem w profilu litologicznym permomezozoiku Niżu Polskiego są cechsztyńskie twory ewaporatowe, głównie sole górnopermskie, które utworzyły podatną warstwę odpowiedzialną za mechaniczne odkłucie osadów mezozoicznych od podłoża przedcechsztyńskiego. Wpłynęło to na brak wielkoskalowych nieciągłych deformacji ekstensyjnych w obrębie mezozoicznej pokrywy osadowej, a uskoki normalne i mini rowy synsedymencyjne, które rozwinęły się w obrębie utworów triasowych, odgrywają podrzędną rolę w profilu mezozoiku charakteryzującym się głównie stopniowymi, lateralnymi zmianami miąższości (Dadlez, 2003; Krzywiec, 2006a, b).

Szczegółowe badania geologiczne kompleksu mezozoicznego struktury Zaosia i jej otoczenia pozwoliło na wydzielenie poziomów zbiornikowych oraz uszczelniających perspektywicznych dla składowania dwutlenku węgla (tab. 1) (Feldman-Olszewska i in., 2010). Niższy kolektor wieku synemurskiego należy do formacji ostrowieckiej. Budują go przede wszystkim osady piaskowcowe oraz podrzędnie mułowcowe i iłowcowe. W obrębie pliensbachu wydzieliła się dwie formacje: formację gielniowską zbudowaną głównie ze skał iłowcowo-mułowcowych oraz nadległą formację drzewicką, której kompleksy piaskowcowe mogą stanowić dobry poziom kolektorski. Główny poziom uszczelniający wydzielono w dolnym toarku, czyli w formacji ciechocińskiej. W niższej części są to skały iłowcowe przechodzące wyżej w mułowce z wkładkami piaskowców.

## WYKORZYSTANE DANE

Do charakterystyki struktury Zaosia wykorzystano dostępne cyfrowe dane sejsmiczne, dane profilowań geofizyki wiertniczej oraz opracowane na potrzeby projektu wydzielenia litologiczno-stratygraficzne obejmujące poziomy zbiornikowe i uszczelniające dla sekwestracji CO<sub>2</sub> (Feldman-Olszewska i in., 2010). Przeanalizowano również archiwalne profile sejsmiczne niedostępne obecnie w wersji cyfrowej.

Szczegółowej interpretacji poddano dziewięć czasowych sekcji sejsmicznych (fig. 4), z czego trzy linie z roku 1999 wykorzystano za zgodą firmy RWE Dea. Pozostałe dane sejsmiczne pochodzą z lat 70., w tym trzy profile pomierzone w 1974 r. oraz trzy w 1975 r. Wszystkie zaprojektowane do rozpoznania geometrii zalegania utworów permskich, występujących znacznie głębiej od potencjalnych, mezozoicznych poziomów zbiornikowych dla CO<sub>2</sub>.

Stosowane w latach 70. XX w. parametry akwizycji, podane według projektu sejsmicznego Łódź–Tomaszów Mazowiecki 1975–1976, w ramach którego pomierzono trzy opracowane linie sejsmiczne, charakteryzują się małą liczbą kanałów (48 kanałów), dużą odległością pomiędzy nimi (co

50 m) oraz znacznym interwałem strzałowym (100 m), co było spowodowane ówczesnymi ograniczeniami technicznymi. W celu osiągnięcia rejestracji sejsmicznej z požądanej głębokości przy tak małej ilości kanałów, stosowano dodatkowo rozstaw skrajny z odsunięciem 500 m, co również pogarszało jakość obrazu falowego na małych głębokościach – zmniejszona krotność pokrycia (Łobaziewicz i in., 1978). Jakość danych jest zróżnicowana, pomimo późniejszego reprocessingu, jednak prawie wszystkie profile charakteryzują się brakiem sygnału w pierwszych 200–500 ms. Utrudnia to jednoznaczny interpretację geologiczną analizowanej struktury oraz ocenę bezpieczeństwa obiektu pod kątem sekwestracji CO<sub>2</sub>. Jedynie na danych należących do firmy RWE Dea w płytszych partiach zarejestrowano sygnał sejsmiczny, choć jest on słabej jakości i miejscami trudny do interpretacji.

Do kalibracji danych sejsmicznych wykorzystano zarówno pomiary pionowego profilowania prędkości i obliczone na tej podstawie tabele czas–głębokość, jak również dane pomiarów akustycznych z sześciu otworów wiertniczych zlokalizowanych w obrębie struktury (fig. 4).

## ANALIZA DANYCH SEJSMICZNYCH

Selekcję oraz typowanie formacji i struktur geologicznych odpowiednich do bezpiecznego składowania CO<sub>2</sub> przeprowadza się na podstawie kryteriów geologiczno-żyłowych, uwzględniając szczególne właściwości dwutlenku węgla. Podstawowymi kryteriami brany pod uwagę są (wg Chadwick i in., 2006): głębokość zalegania utworów przeznaczonych do składowania CO<sub>2</sub>, ich miąższość, porowatość i przepuszczalność, mineralizacja wód, grubość poziomu uszczelniającego oraz obecność stref uskokowych. Interpretacja danych sejsmicznych dostarcza informacji na temat kształtu i wielkości struktury oraz ciągłości lateralnej wybranych formacji geologicznych. Zasadniczym wynikiem analizy danych sejsmicznych jest interpretacja strukturalna, która pozwala wskazać miejsca występowania stref uskokowych oraz oszacować zamknięcia będące kluczowymi elementami w trakcie oceny obiektu badań pod kątem bezpieczeństwa składowania CO<sub>2</sub>.

Dzięki znacznym kontrastom impedancji akustycznej, związanej z dużą różnicą parametrów sprężystych pomiędzy utworami klastycznymi kajpru dolnego a węglanami wapienia muszlowego oraz na granicy triasu z cechsztynem, zarejestrowano silne refleksy od stropu tych wydzieleni i przyjęto je za horyzonty reperowe. Dodatkowo wyraźnie widoczna jest granica wiązana ze stropem karniku, którego odmienne właściwości fizyczne są wywołane obecnością górnych warstw gipsowych. Głównym przedmiotem interpretacji danych sejsmicznych były trzy horyzonty dolnojurajskie: strop synemuru (formacja ostrowiecka), który wyznacza niższy poziom zbiornikowy dla potencjalnego magazynu CO<sub>2</sub>, strop górnego pliensbachu (formacja drzewicka) – określający górny poziom zbiornikowy oraz strop dolnego toarku (formacja ciechocińska) – definiujący główne uszczelnienie. Zła jakość dostępnych danych sejsmicznych i wynikająca z tego niska rozdzielczość pionowa nie pozwalają na bardziej szczegółową interpretację i wydzielenie poziomu uszczelniającego dolnego pliensbachu (formacja gielniowska), który oddziela wymienione poziomy kolektorskie (tab. 1). Ponadto, z powodu stosunkowo małej miąższości wydzieleni litologiczno-stratygraficznych, a także niewielkich różnic prędkości i gęstości pomiędzy tymi formacjami, współczynniki odbicia od poszczególnych granic nie charakteryzują się tak wysokimi wartościami, jak to ma miejsce w przypadku np. wapienia muszlowego, co utrudnia wydzielenie i interpretację tych granic.

Obliczone na podstawie krzywych profilowania akustycznego sejsmogramy syntetyczne dały dobre dopasowanie tras teoretycznych do rzeczywistego obrazu falowego, jednak dokładne dowiązanie danych sejsmicznych powyżej utworów toarku było utrudnione z powodu braku ciągłości refleksów, na które może wpływać niska krotność pokrycia. Już horyzont wiązany ze stropem dolnotoarskiego uszczelnienia, z powodu silnych zakłóceń, na niektórych odcinkach może mieć obniżoną wiarygodność interpretacji. Analiza sejsmogramu syntetycznego sporządzonego dla otworu Bu-

dziszewice IG 1 wykazała, że dodatni współczynnik odbicia pochodzący od stropu dolnego toarku jest efektem wzrostu prędkości i gęstości w tej warstwie. Dodatkowa analiza sygnału wspomaganą opcją *Contribution Plot* pokazała, że na stosunkowo dużą amplitudę odbicia składa się szereg dodatnich sygnałów elementarnych. Inaczej wygląda sytuacja w przypadku stropów kolektorów pliensbachu oraz synemuru, gdzie prędkości i gęstości ulegają raczej zmniejszeniu w porównaniu z warstwami leżącymi ponad każdą z nich. W przypadku pliensbachu ujemna amplituda jest jednak nieco niwelowana przez sąsiednie dodatnie sygnały. Interpretowane horyzonty sejsmiczne związane z poziomami sekwestracyjnymi są dobrze widoczne na trasach syntetycznych, jednak w strefie kulminacji badanej antykliny często nie mają odzwierciedlenia na pomierzonych profilach sejsmicznych.

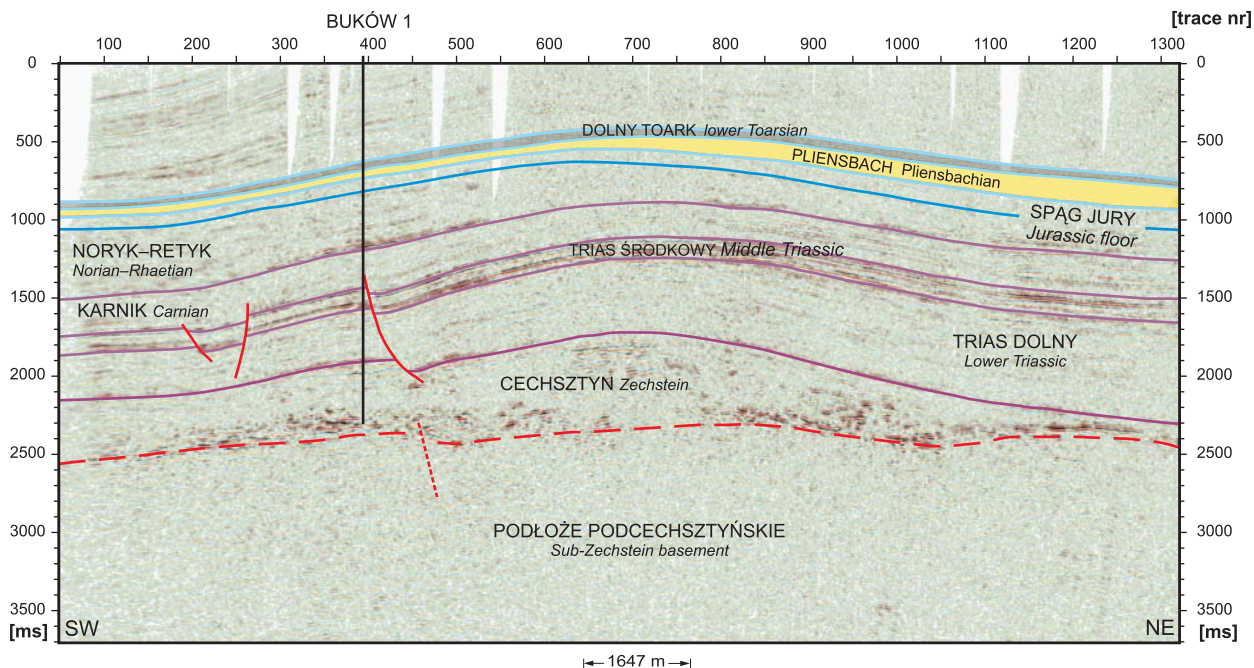
Największe trudności interpretacyjne napotkano na profilach poprzecznych do rozciągłości struktury w strefie kulminacji antykliny (fig. 2). Refleksy sejsmiczne pochodzące od utworów leżących powyżej utworów karniku na wielu odcinkach cechują się mocno ograniczoną ciągłością i wysokim poziomem zakłóceń. Określenie genezy takiej jakości obrazu jest trudne. Powodem mogła być metodyka badań wynikająca często z ówczesnych ograniczeń technicznych (opisanych powyżej) oraz inny, głębiej zlokalizowany cel geologiczny. Nie wyklucza się również, że geneza zakłóceń pola falowego jest związana z obecnością spękań przegubowych powstających nad strukturami antyklinalnymi (Dadlez, Jaroszewski, 1994).

Interpretacja stosunkowo gęstej siatki profili sejsmicznych 2D potwierdziła antyklinalną formę struktury Zaosia o rozciągłości NW–SE. Poprawność korelacji horyzontów sejsmicznych zweryfikowano za pomocą krzyżówek z profilami poprzecznymi. Struktura powstała najprawdopodobniej w wyniku ruchów soli cechsztyńskich, której nagromadzenie jest obecne w podłożu antykliny. Redukcja miąższości utworów noryku–retyku w kierunku osi omawianej struktury może wskazywać na wzrost poduszki solnej w tym okresie (fig. 2, 3).

Zwiększenie miąższości utworów triasu dolnego w kierunku północno-wschodnim widoczne na profilu K0041274 (fig. 2) może być związane z przesunięciem ku północnemu-wschodowi strefy osiowej bruzdy środkowopolskiej i spowodowane tym ukształtowanie się depresji kutnowskiej (Szyperko-Teller, Moryc, 1988).

Obserwowane na analizowanych danych sejsmicznych uskoki normalne i mini-rowy tektoniczne aktywne w górnym triasie (fig. 2, 3) są powszechnie spotykanymi w obrębie bruzdy środkowopolskiej deformacjami nieciągłymi (Dadlez, 2003; Krzywiec, 2006a). Wyinterpretowane na profilach K0041274 i K0081274 uskoki wygasają w niższej części karniku, a zatem nie deformują osadów dolnojurajskich, w obrębie których występują poziomy kolektorskie i uszczelniające. Stwierdzone uskoki rozwinięte są wyłącznie w południowo-zachodnim skrzydle antykliny Zaosia



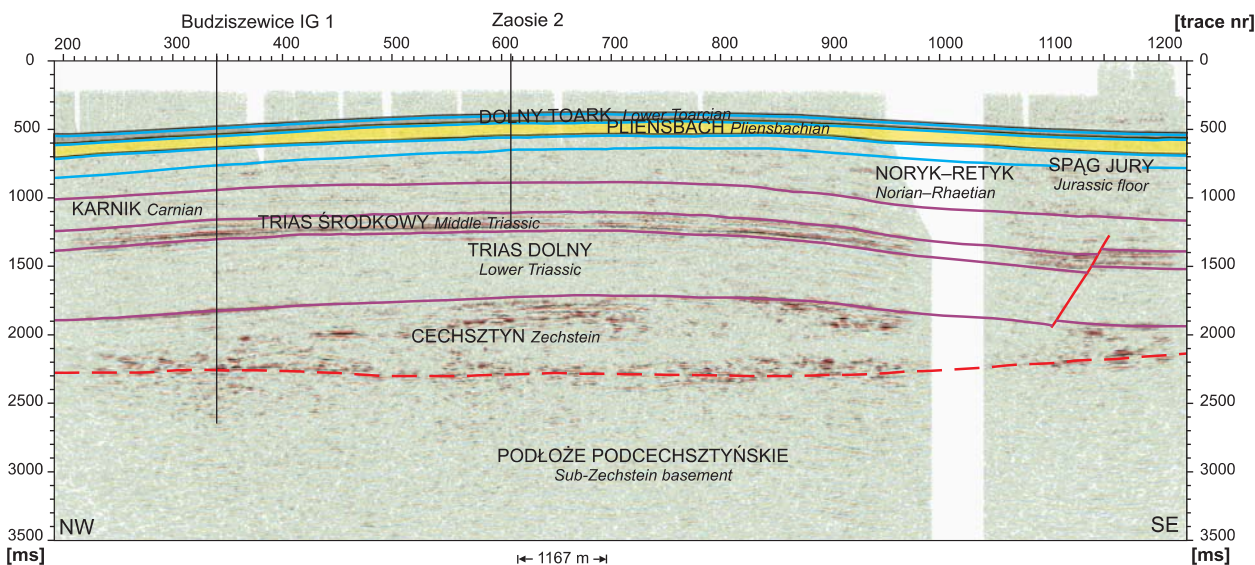


**Fig. 2. Zinterpretowany czasowy profil sejsmiczny K0041274 dowiązany do profilu geologicznego otworu wiertniczego Buków 1**

Kolor żółty – utwory pliensbachu, w których obrębie znajduje się górny poziom kolektorski oraz dolny poziom uszczelniający; kolor szary – osady dolnego toarku, stanowiącego główne uszczelnienie

Interpreted time seismic section K0041274 calibrated by Buków 1 borehole

Yellow colour – Pliensbachian deposits containing upper reservoir and lower seal; gray colour – lower Toarsian deposits which are the main sealing sequence

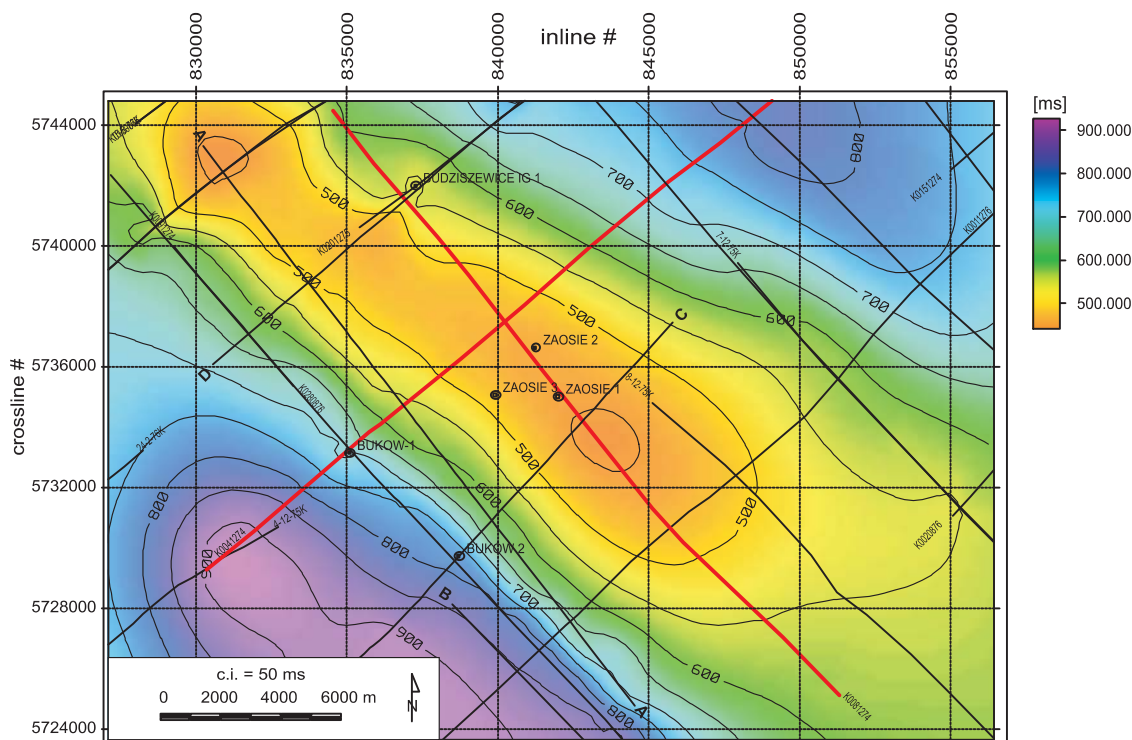


**Fig. 3. Zinterpretowany czasowy profil sejsmiczny K0081274 skalibrowany przez otwory wiertnicze Budziszewice IG 1 i Zaosie 2**

Objaśnienia przy [figurze 2](#)

Interpreted time seismic section K0081274 calibrated by Budziszewice IG 1 and Zaosie 2 boreholes

For explanations see [Figure 2](#)



**Fig. 4. Mapa czasowa stropu utworów pliensbachu**

Czerwone linie wskazują lokalizację profili sejsmicznych przedstawionych na [figurach 2 i 3](#)

Time map of the Pliensbachian top

Red lines indicate the location of seismic profiles illustrated in [Figures 2 and 3](#)

([fig. 2, 3](#)). Rozpatrywane pod kątem sekwestracji CO<sub>2</sub> osady dolnojurańskie w analizowanym obszarze charakteryzują się stosunkowo stałą miąższością. Jedynie twory pliensbachu zwiększają miąższość w kierunku północno-wschodnim. Obserwowane różnice w ilości zdeponowanych osadów po obu stronach struktury potwierdzają dane z otworów wiertniczych. Po stronie północno-wschodniej w otworze wiertniczym Budziszewice IG 1 osady pliensbachu osiągają miąższość 219,0 m, natomiast w południowo-zachodnim skrzydle w wierceniach Buków 1 i Buków 2 – odpowiednio 108,0 i 106,5 m. Powodem takich różnic mógł być kolejny etap wydzwignięcia garbu wielkopolskiego (Marek, 1977).

Na podstawie zinterpretowanych linii sejsmicznych 2D obliczono mapy czasowe. Przedstawiona na figurze 4 mapa

stropu kolektora pliensbachu w pełni obrazuje kształt i wielkość struktury. Skrzydła antykliny zapadają symetrycznie na NE oraz SW, a oś struktury Zaosia, pokrywa się z głównym kierunkiem rozciągłości sąsiednich struktur Tuszyna i Jeżowa. Obrzeża mapy, a szczególnie naroża północno-zachodnie oraz południowo-zachodnie, mogą być obciążone błędami wynikającymi z ekstrapolacji interpretacji. Przebieg izoliny wyraźnie pokazuje jednak owalny kształt antykliny Zaosia. W kierunkach zarówno NE, jak i SW zamknięcie struktury jest ewidentne i cechuje się dużą amplitudą – min. 200 ms. Z kolei w kierunkach NW i SE zamknięcie struktury jest bardzo połogie – w części NW jego amplituda wynosi około 30–40 ms, a w SE jest rzędu 100 ms.

## WNIOSKI

Rozpatrywana pod kątem przydatności do składowania CO<sub>2</sub> struktura Zaosia jest antykliną o przebiegu NW–SE, rozwiniętą ponad poduszką solną o tej samej nazwie. Interpretacja danych sejsmicznych pochodzących z lat 90. oraz ponownie przetworzonych profili sejsmicznych z połowy lat 70. XX wieku, pozwoliła na dobrą charakterystykę antykliny

Zaosia. Ze względu na ograniczenie metody sejsmicznej i wynikającej z tego niskiej rozdzielczości pionowej, nie była możliwa identyfikacja wszystkich interesujących horyzontów (np. stropu dolnej części utworów pliensbachu, stanowiącego niższy poziom uszczelniający). Słaba jakość danych sejsmicznych w obrębie osiowej części struktury ob-



niża poziom wiarygodności korelacji granic sejsmicznych w tych strefach. Analizowane profile sejsmiczne skalibrowano jednak danymi otworowymi z sześciu wierceń, dzięki czemu interpretacja horyzontów, w szczególności w interwałach dolnojurajskich ma wyższy poziom wiarygodności. Na podstawie uzyskanych wyników interpretacji danych sejsmicznych oraz wygenerowanych map czasowych można stwierdzić, że omawiana struktura ma dobre zamknięcie z dwóch stron. Trudno natomiast jednoznacznie określić poziom bezpieczeństwa zamknięcia struktury od SE, a przede wszystkim od NW, gdyż uniemożliwiają to zła jakość sejsmiki oraz brak zarówno danych sejsmicznych, jak i otworowych na przedłużeniu antykliny na NW i SE.

Na obecnym etapie prac interpretacyjnych opartych na istniejących cyfrowych danych sejsmicznych w rejonie struktury Zaosia nie stwierdzono obecności deformacji nieciągłych w obrębie utworów jury dolnej. Jedynie w utworach triasu zaobserwowano uskoki normalne, które były aktywne w dolnym karniku. Należy jednak podkreślić, że jakość dostępnych danych uniemożliwiła wiarygodną interpretację horyzontów dolnojurajskich, szczególnie w strefie kulminacji antykliny. W przypadku ostatecznej decyzji o wyborze struktury Zaosie do celów sekwestracyjnych planowane jest wykonanie nowych pomiarów sejsmicznych zaprojektowanych dla rozpoznania horyzontów perspektywicznych pod kątem składowania CO<sub>2</sub>.

## LITERATURA

- CHADWICK A., ARTS R., BERNSTONE C., MAY F., THIBEAU S., ZWEIGEL P. (red.), 2006 — Best practice for the storage of CO<sub>2</sub> in saline aquifers. Observations and guidelines from the SACS and CO2STORE projects. EU Report, Sept. 2006: 273. [http://www.ngu.no/FileArchive/91/CO2Store\\_BPM\\_final\\_small.pdf](http://www.ngu.no/FileArchive/91/CO2Store_BPM_final_small.pdf).
- DADLEZ R., 1997 — Epicontinental basins in Poland: Devonian to Cretaceous – relationships between the crystalline basement and sedimentary infill. *Geol. Quart.*, **41**, 4: 419–432.
- DADLEZ R., 2003 — Mesozoic thickness pattern in the Mid-Polish Trough. *Geol. Quart.*, **47**, 3: 223–240.
- DADLEZ R., 2006 — The Polish Basin – relationship between the crystalline, consolidated and sedimentary crust. *Geol. Quart.*, **50**, 1: 43–58.
- DADLEZ R., JAROSZEWSKI W., 1994 — Tektonika. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- DADLEZ R., MAREK S., POKORSKI J. (red.), 1998 — Atlas paleogeograficzny epikontynentalnego permu i mezozoiku w Polsce (1:2 500 000). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- FELDMAN-OLSZEWSKA A., ADAMCZAK T., SZEWCZYK J., 2010 — 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. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **439**: 17–28 (ten tom).
- GUTERCH A., GRAD M., MATERZOK R., PERCHUĆ E., 1986 — Deep structure of the Earth's crust in the contact zone of the Paleozoic and Precambrian platforms in Poland (Tornquist-Teisseyre zone). *Tectonophysics*, **128**: 251–279.
- KRZYWIEC P., 2002 — Mid-Polish Trough inversion – seismic examples, main mechanisms and its relationship to the Alpine-Carpathian collision. *W: Continental collision and the tectono-sedimentary evolution of forelands* (red. G. Bertotti i in.). *European Geosciences Union Stephan Mueller Sp. Publ. Ser.*, **1**: 151–165.
- KRZYWIEC P., 2006a — Triassic–Jurassic evolution of the Pomeranian segment of the Mid-Polish Trough – basement tectonics and sedimentary patterns. *Geol. Quart.*, **50**, 1: 139–150.
- KRZYWIEC P., 2006b — Structural inversion of the Pomeranian and Kuiavian segments of the Mid-Polish Trough – lateral variations in timing and structural style. *Geol. Quart.*, **50**, 1: 151–168.
- KRZYWIEC, 2008 — Dane sejsmiczne. *W: Budziszewice IG 1* (red. K. Leszczyński). *Profile Głęb. Otw. Wiert. Państw. Inst. Geol.*, **127**: 111.
- KRZYWIEC P., WYBRANIEC S., PETECKI Z., 2006 — Tektonika podłoża bruzdy śródpolskiej w centralnej i północnej Polsce – wyniki analizy danych sejsmiki refleksyjnej oraz grawimetrii i magnetyki. *W: Budowa litosfery centralnej i północnej Polski – obszar projektu sejsmicznego POLONAISE'97* (red. P. Krzywicz, M. Jarosiński). *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **188**: 107–130.
- ŁOBAZIEWICZ Z., MISIEWICZ M., MAJEWSKA B., 1978 — Opracowanie badań sejsmicznych wykonanych w rejonie Łódź–Tomaszów Mazowiecki w roku 1975/1976. *Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.
- MAREK S. (red.), 1977 — Budowa geologiczna wschodniej części niecki mogileńsko-łódzkiej (strefa Gopło–Ponętów–Pabianice). *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **80**.
- MAREK S., PAJCHŁOWA M. (red.), 1997 — Epikontynentalny perm i mezozoik w Polsce. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **153**.
- POŻARYSKI W., NAWROCKI J., 2000 — Struktura i lokalizacja brzegu platformy wschodnioeuropejskiej w Europie Środkowej. *Prz. Geol.*, **48**, 8: 703–706.
- SZYPERKO-TELLER A., MORYC W., 1988 — Rozwój basenu sedymentacyjnego pstrego piaskowca na obszarze Polski. *Geol. Quart.*, **32**, 1: 53–72.
- TARKOWSKI R., 2005 — Geologiczna sekwestracja CO<sub>2</sub>. *Stud. Rozpr. Monogr.*, **132**: 106.
- TARKOWSKI R., ULIASZ-MISIAK B., 2003 — Podziemne magazynowanie dwutlenku węgla. *Prz. Geol.*, **51**, 5: 402–409.
- WAGNER R., 1994 — Stratygrafia osadów i rozwój basenu cechsztyńskiego na Niziu Polskim. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **146**.
- WÓJCICKI A., 2009a — Krajowy Program „Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO<sub>2</sub> wraz z ich planami monitorowania”. *Mater. II Konf. Nauk.-Techn. „Geologia, hydrogeologia i geofizyka w rozwiązywaniu problemów współczesnego górnictwa i energetyki”*, Kroczyce-Podlesice 4–7.10.2009 r.. *Pr. Nauk. Gł. Inst. Górn.*, **4**: 249–257.
- WÓJCICKI A., 2009b — Potencjał geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w głębokich, nieeksploatowanych pokładach węgla Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Prz. Geol.*, **57**, 2: 138–143.