

SYLWESTER MAREK*, LIDIA DZIEWIŃSKA**, RADOSŁAW TARKOWSKI***

Charakterystyka geologiczna antykliny Kamionek (niecka płocka) – potencjalne składowisko CO₂

Wprowadzenie

W Polsce istnieją możliwości składowania CO₂ w głębokich poziomach wodonośnych (solankowych) dolnej kredy, dolnej jury i triasu Niżu Polskiego (Tarkowski 2005, 2008; Tarkowski, Uliasz-Misiak 2005, 2006). W ostatnich latach wskazano liczne struktury geologiczne, które mogą być wykorzystane w celu podziemnego składowania dwutlenku węgla. Początkowe prace, mające na celu wytypowanie odpowiednich miejsc do składowania CO₂ pozwoliły wytypować 17 głębokich struktur (Tarkowski, Uliasz-Misiak 2005). Ich liczba wzrosła do 27 w ramach prac realizowanych przez IGSMiE PAN dla Ministerstwa Środowiska. Ich celem było opracowanie Interaktywnego Atlasu prezentującego możliwości geologicznej sekwestracji CO₂ (<http://skladowanie.pgi.gov.pl/co2atlas>). Dalsze badania umożliwiły wskazanie w utworach mezozoiku Niżu Polskiego kolejnych struktur geologicznych do składowania CO₂. Ich liczba na koniec 2008 obejmowała już 46 obiektów (w rozumieniu struktury jako jednego poziomu zbiornikowego do składowania CO₂). Na liście po raz pierwszy znalazła się struktura Kamionek, odpowiednio w dolnokredowym (Kamionki-K) i dolnojurajskim (Kamionki-J) poziomie zbiornikowym (Tarkowski 2008).

W mezozoicznych poziomach wodonośnych niecki płockiej wytypowano dotychczas i wstępnie scharakteryzowano 9 struktur geologicznych (w rozumieniu struktury antyklinnej obejmującej jeden lub więcej poziomów wodonośnych). Są to: antyklina Bielska-

* Prof. dr hab. inż., ** Dr, *** Dr hab. inż., prof. IGSMiE PAN, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; e-mail: tarkowski@min-pan.krakow.pl

-Bodzanowa, antyklina Dzierżanowa, antyklina Gostynina, antyklina Kamionek, antyklina Lipna, antyklina Sierpca, antyklina Sochaczewa, antyklina Wyszogrodu oraz antyklina Żyrowa-Czachówka. Część z nich posiada jeden poziomy zbiornikowy (a. Gostynina, a. Wyszogrodu i a. Żyrowa-Czachówka), pozostałe zaś po dwa poziomy zbiornikowe. Poziomy te zlokalizowane są w utworach dolnej kredy i dolnej jury (Marek, Tarkowski, Dziewińska 2010).

Monograficzne opracowanie pt: *Potencjalne struktury geologiczne do składowania CO₂ w utworach mezozoiku Niżu Polskiego (charakterystyka oraz ranking)* (Tarkowski, red. 2010) po raz pierwszy przedstawiło wstępną charakterystykę geologiczną struktury Kamionki pod kątem podziemnego składowania dwutlenku węgla. Przedstawiono ogólne dane dotyczące charakterystyki geologicznej struktury Kamionek, wskazano poziomy do składowania CO₂, zamieszczono przekrój geologiczny przez strukturę oraz profil geologiczny otworu Kamionki IG 3 (Marek, Tarkowski, Dziewińska 2010).

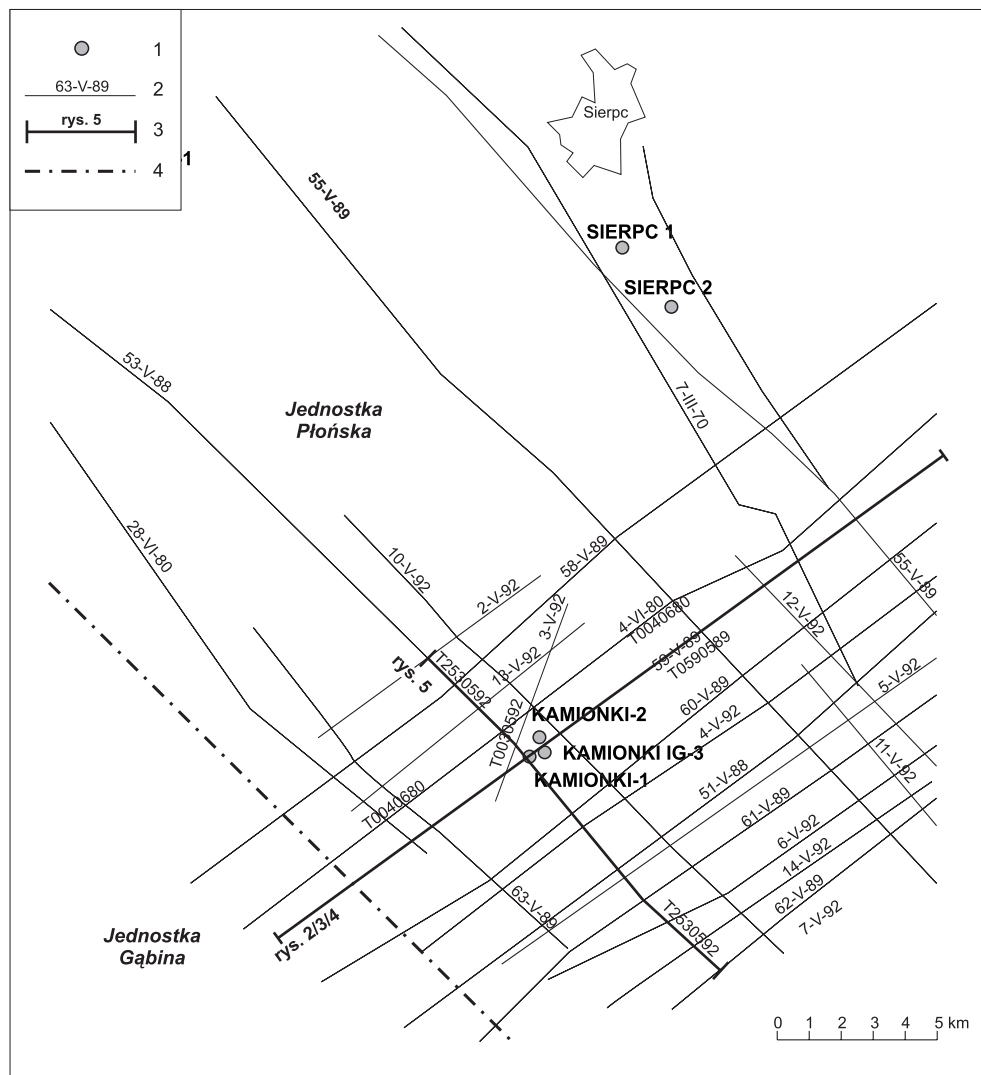
W związku z tym, że struktura Kamionki jest jednym z bardziej interesujących obiektów geologicznych do składowania CO₂ w Polsce (Uliasz-Misiak, Tarkowski 2010), w IGSMiE PAN podjęto się bardziej szczegółowego jej opracowania. Dokonano tego opierając się na istniejących, dostępnych danych geologicznych i geofizycznych. Rezultaty tych prac przedstawia prezentowany artykuł, omawiający charakterystykę struktury Kamionki na tle budowy geologicznej niecki warszawskiej, budowę geologiczną antykliny Kamionek, potencjalne poziomy do składowania CO₂ oraz prezentuje przydatność struktury do podziemnego składowania dwutlenku węgla.

1. Położenie i ogólna charakterystyka

Struktura Kamionek położona jest na terenie niecki płockiej (warszawskiej), w okolicy 20 km na S od miejscowości Sierpc. Obszar niecki jest podzielony na trzy jednostki strukturalne (bloki): Płońska, Gąbina i Grodziska Mazowieckiego, a rozważana struktura występuje w SW części bloku Płońska (Marek, red. 1983; rys. 1).

W obrębie niecki warszawskiej występują zarówno struktury solne, jak i struktury niesolne. Najstarsze poduszki solne formowały się w późnym triasie, potem w jurze dolnej i środkowej, a następnie w późnej kredzie, w wyniku przemieszczania się soli cechsztyńskich od osi bruzdy kujawskiej w kierunku NE (Dadlez, Marek 1969). Nieco później diachronicznie tworzyły się półrowy i rowy (na pograniczu bloku Gąbina i Płońska) i bardziej oddalone od centrum basenu (strefa Żuromin-Płońsk-Dębe) (Pożaryski 1970). W wyniku regionalnej inwersji bruzdy dochodziło do diapiryzacji i częściowych przebieg mas solnych (np. Golub-Dobrzyń, Karnkowo, Bielsk-Bodzanów, Kamionki i Korabiewice). Poduszki solne występują w jądrach większości antyklin położonych w zachodniej części niecki, natomiast na północnym wschodzie dominują antykliny nałożone i rowy synsedymantacyjno-tektoniczne, np. plakantyklina Dębe, rów Nasielska. Struktura Kamionek jest przykładem rowu synsedymantacyjnego o założeniach wczesno- i środkowojurajskich

(Marek, Pożaryski 1970; Dadlez 1998). Większość dyslokacji wglębnych ma przebieg NW-SE, równoległy do osi niecki, liczne są również uskoki równoleżnikowe. Na ich przecięciu znajdują się niektóre struktury solne np. Kamionek (Stupnicka 1997; Dziewińska, Marek, Józwiak 2001).



Rys. 1. Lokalizacja głębokich otworów wiertniczych, przekrojów sejsmiki refleksyjnej i geologicznych w rejonie Kamionek

- 1 – otwory wiertnicze, 2 – profile sejsmiczne, 3 – przekroje geologiczne,
 4 – granica jednostek strukturalnych

Fig. 1. Location of deep boreholes, reflection seismic profiles and geological cross-sections in the Kamionki region

- 1 – boreholes, 2 – seismic profiles, 3 – boreholes, 4 – boundaries of structural units

Spośród warstw o dobrych właściwościach zbiornikowych, najbardziej odpowiednie do składowania CO₂ w niecce warszawskiej są utwory dolnej kredy i dolnej jury (Tarkowski i Uliasz-Misiak 2005). W obrębie utworów dolnej kredy, do składowania CO₂ zaproponowano utwory formacji mogileńskiej (barrem – alb środkowy). W przeważającej części jest ona rozwinięta w facji piaszczystej i piaszczysto-mułowcowej. Spośród utworów jury dolnej do składowania CO₂ wybrano warstwy formacji borucickiej (toars górny), wykształcone jako piaskowce drobnoziarniste szare, miejscami średnioziarniste, z przewarstwieniami ilowców (Tarkowski, red. 2010).

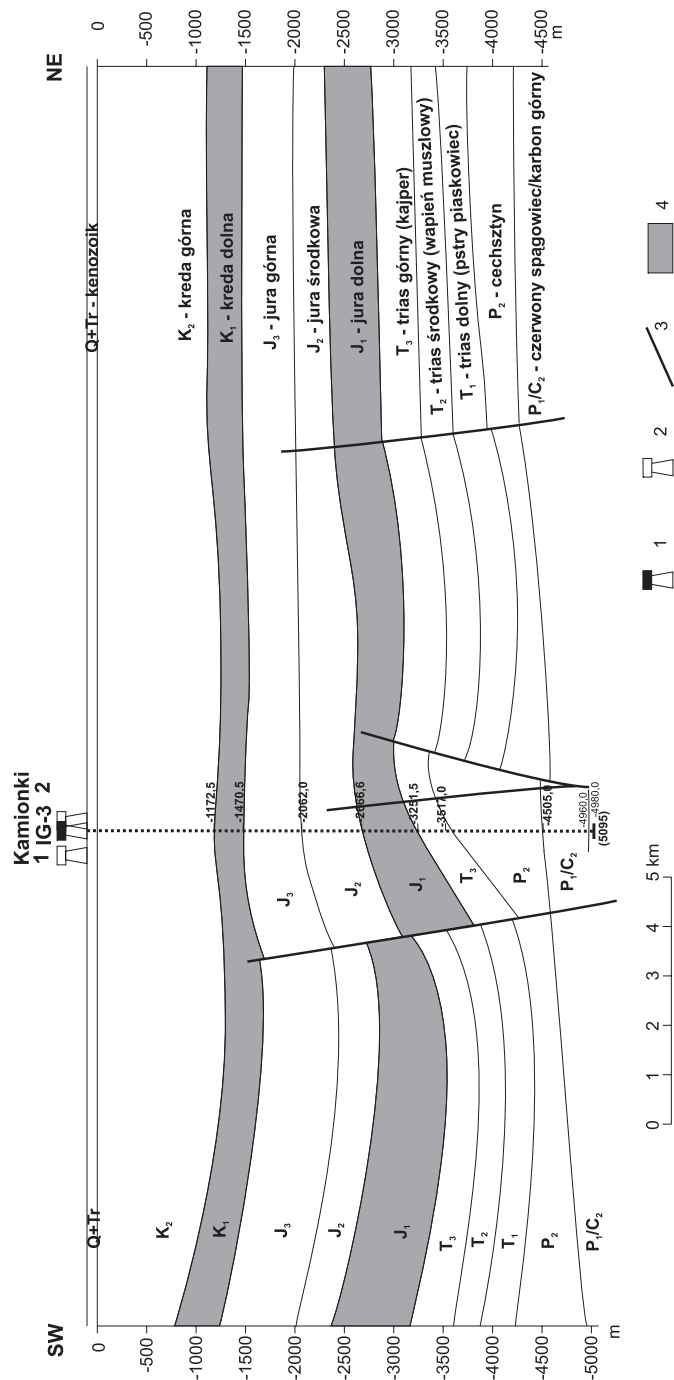
2. Budowa geologiczna antykliny Kamionek

Antyklina Kamionek jest rozpoznana półszczegółowym zdjęciem sejsmiki refleksyjnej (Jurek, Krauze 1981; Tomaszewska, Morosz 1993) oraz trzema otworami wiertniczymi: Kamionki 2 (głęb. 2002,0 m – baton), Kamionki 1 (głęb. 2881,0 m – aalen dolny) i Kamionki IG-3 (głęb. 5505,0 m – sylur) (rys. 1).

Dane sejsmiczno-geologiczne stanowiły podstawę opracowania czterech przekrojów geologicznych (rys. 2–5) i dwóch szkiców strukturalnych odpowiednio spągu kredy górnej (rys. 6) oraz stropu jury dolnej (rys. 7).

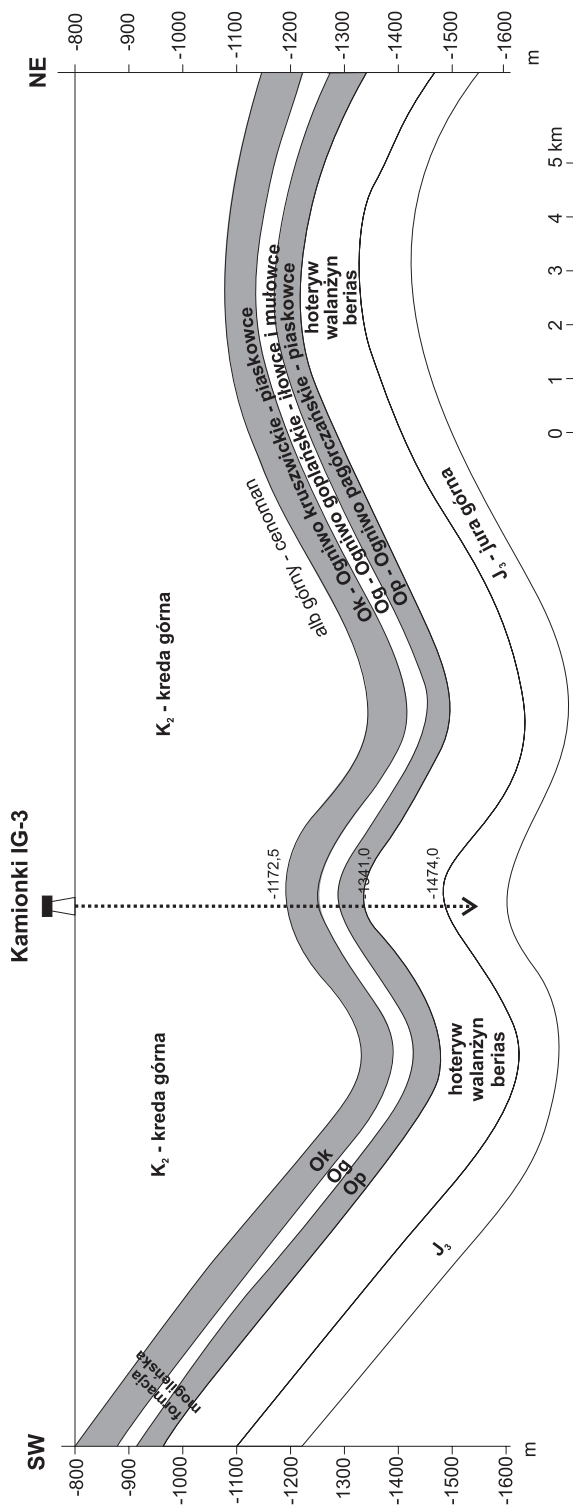
Interpretacja wewnętrznej budowy struktury Kamionek nie jest całkiem pewna z uwagi na duże zmiany miąższości spowodowane synsedymencyjną ruchliwością tektoniczną i postsedymencyjną aktywnością pokredową. W głębszych partiach kompleksu cechsztyńsko-mezozoicznego antyklina pocięta jest głęboko zakorzenionymi uskokami utykającymi w różnych piętrach triasu i jury (rys. 2, 4, 7). Jądro antykliny tworzą sole cechsztyńskie, które przebiły się przez utwory triasowe aż do jury dolnej. Znamienne jest, że układ poziomów sejsmicznych sugeruje występowanie, po zachodniej stronie struktury, synsedymencyjnego rowu tektonicznego, aktywnego we wczesnej i środkowej jurze (rys. 2, 4, 7). Plany strukturalne w obrębie kompleksu cechsztyńsko-mezozoicznego są bardzo zróżnicowane. Wraz z głębokością wzrasta stopień odkształceń tektonicznych i komplikacji wewnętrznej budowy kompleksu. W pociętej uskokami powierzchni strukturalnej stropu jury dolnej (rys. 7) kulminacja antykliny określona izohipsą –2500 m zaznacza się w bliskim sąsiedztwie usytuowanych na południowo-zachodnim skrzydle antykliny otworach wiertniczych Kamionki IG-3 i Kamionki 1. Przyjmując umownie zarys antykliny wyznaczony izohipsą stropu jury dolnej o wartości –2750 m, jej długość wynosi około 15 km, szerokość około 5 km i powierzchnia około 75 km². Amplituda antykliny określona głębokością skrzydła północno-wschodniego wynosi około 100 m.

W powierzchni strukturalnej spągu kredy górnej (albu górnego) (rys. 6) kulminacja antykliny zaznaczona izohipsą –1100 m jest usytuowana około 4 km na południowy wschód od najbliższego otworu wiertniczego Kamionki IG-3. W zasięgu izohipsy spągu kredy górnej o wartości –1300 m powierzchnia struktury jest zbliżona. Amplituda antykliny, także w odniesieniu do skrzydła północno-wschodniego, wzrosła do 250 m (rys. 3, 6).



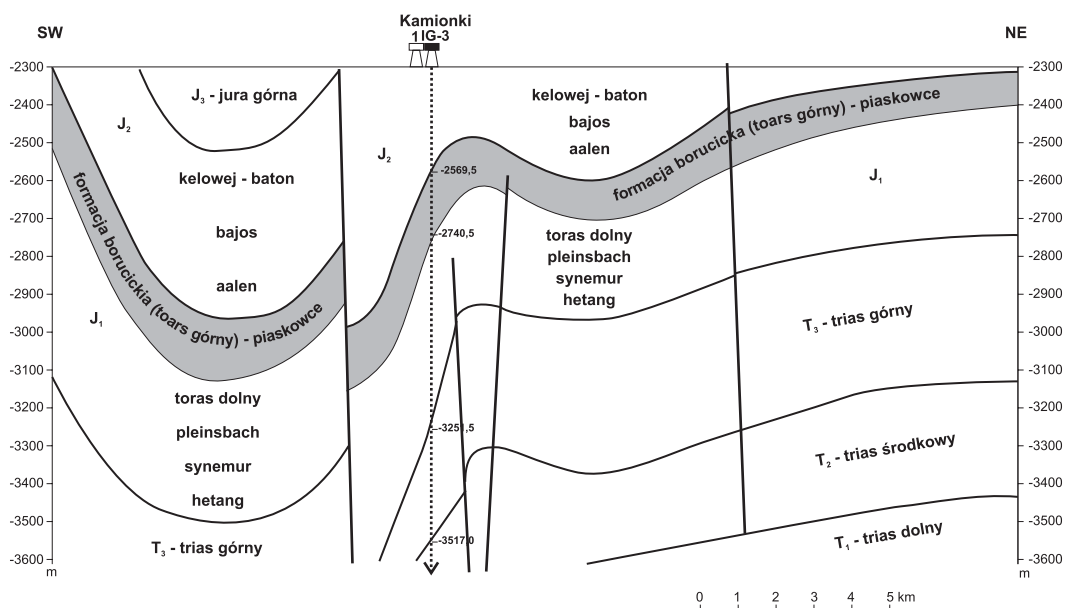
Rys. 2. Przekr6j geologiczny kompleksu cechsztyńsko-mezozoicznego w poprzek antykliny Kamionek, wzdułż profilu sejsmicznego 59-V-89 (T0590589) 1 – otw6r wiertniczy na przekroju, 2 – otw6r wiertniczy rzutowany na przekr6j, 3 – uskoki, 4 – seria zawieraj6ca poziom zbiornikowy

Fig. 2. Geological cross-section of the Zechstein-Mesozoic complex across the Kamionki Anticline, along seismic profile 59-V-89 (T0590589) 1 – borehole on profile, 2 – borehole projected into profile, 3 – faults, 4 – formation with the reservoir horizon



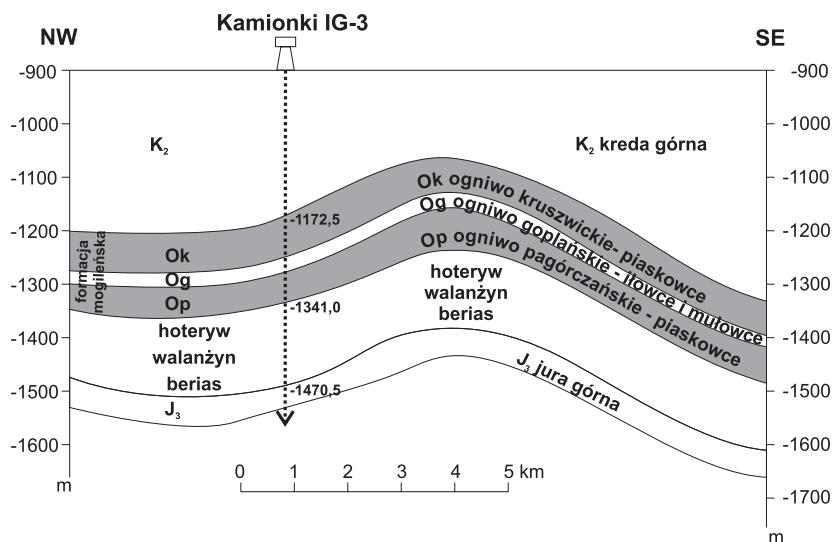
Rys. 3. Przekrój geologiczny formacji mogileńskiej (barremu-albu środkowego) w poprzek antykliny Kamionek, wzdłuż profilu sejsmicznego 59-V-89 (T0590589).
Objaśnienia jak na rys. 2.

Fig. 3. Geological cross-section of the Mogilno Formation (Barremian-Middle Albian) across the Kamionki Anticline, along seismic profile 59-V-89 (T0590589).
For explanations see Fig. 2.



Rys. 4. Przekrój geologiczny formacji borucickiej toarsu górnego w poprzek antykliny Kamionek, wzdłuż profilu sejsmicznego 59-V-89 (T0590589). Objasnienia jak na rys. 2.

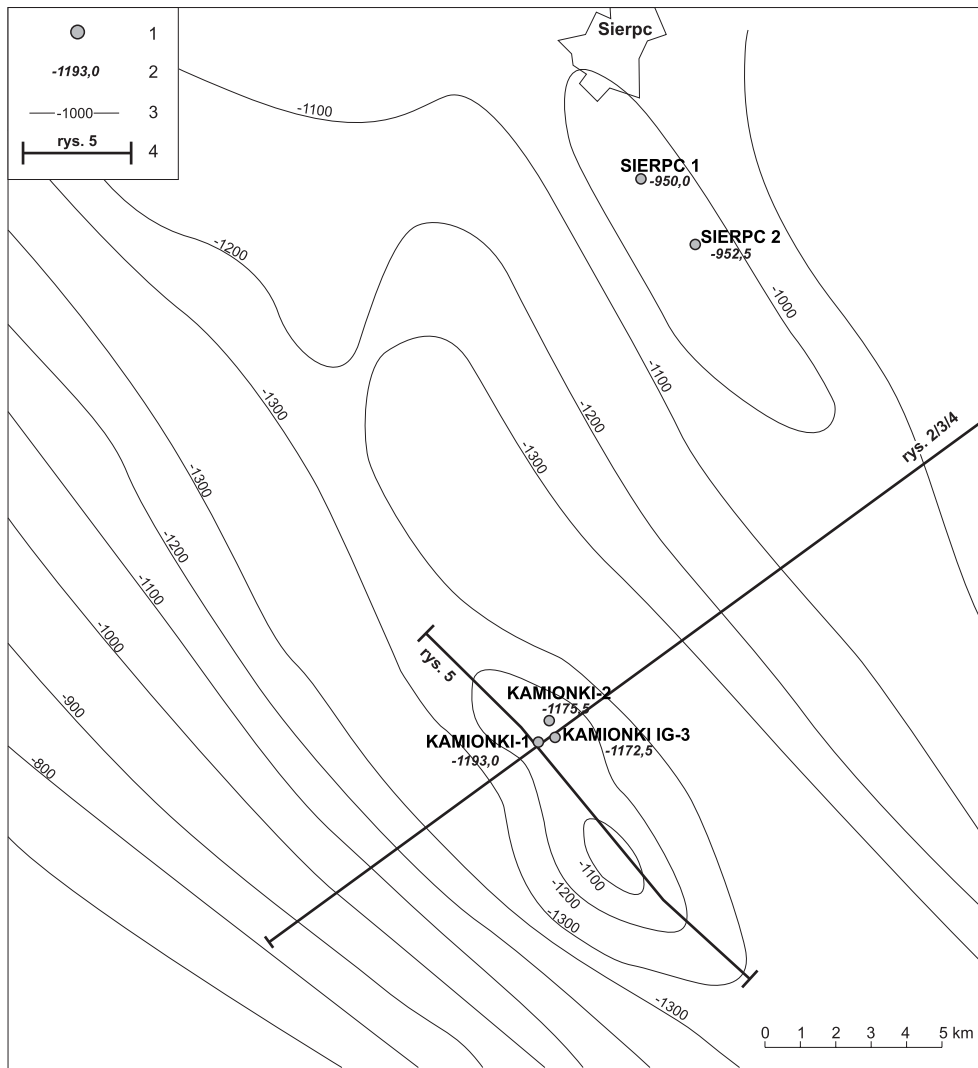
Fig. 4. Geological cross-section of the Upper Toarcian Borucice Formation across the Kamionki Anticline, along seismic profile 59-V-89 (T0590589). For explanations see Fig. 2.



Rys. 5. Przekrój geologiczny formacji mogileńskiej (barremu-albu środkowego) podłużny przez antyklinę Kamionek, wzdłuż profilu sejsmicznego T25030592. Objasnienia jak na rys. 2.

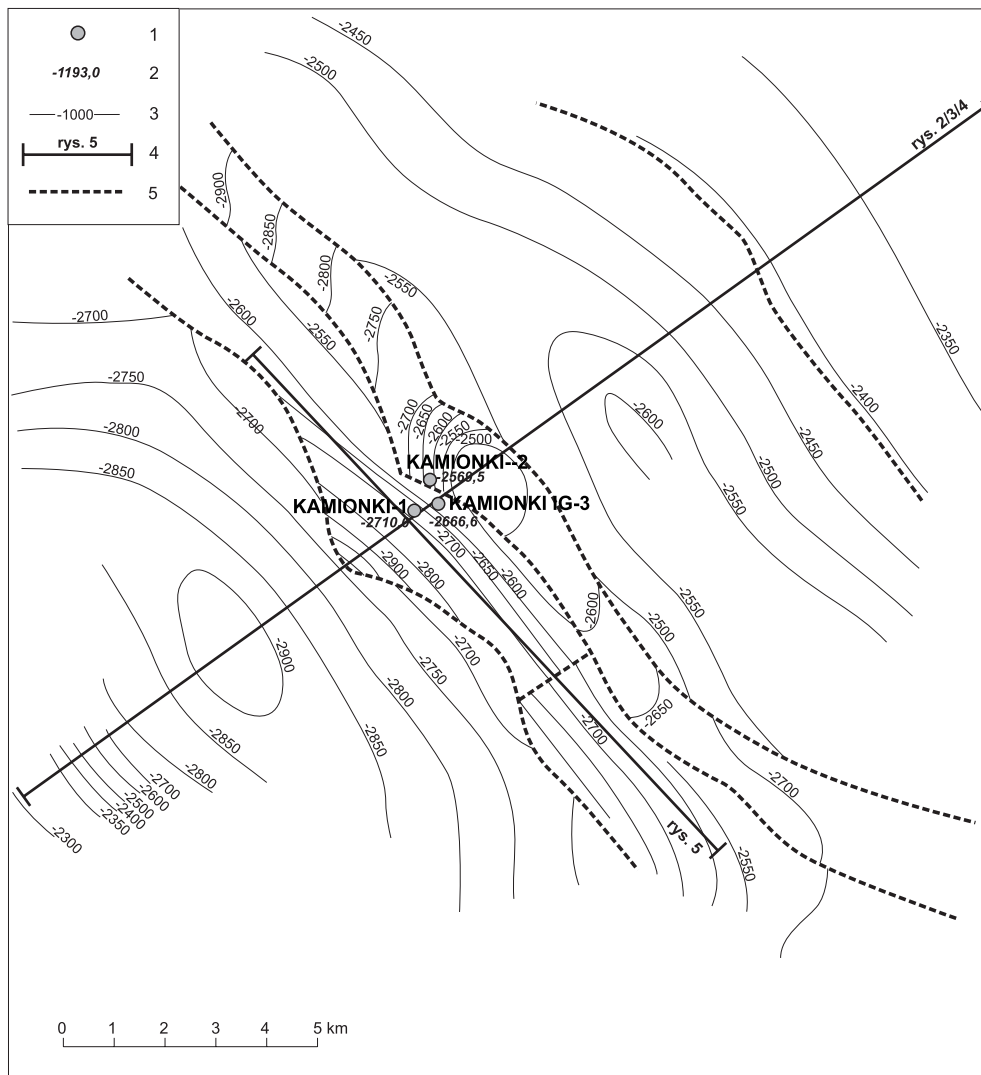
Fig. 5. Longitudinal geological cross-section of the Mogilno Formation (Barremian-Middle Albanian) across the Kamionki Anticline, along seismic profile T25030592. For explanations see Fig. 2.

W rejonie Kamionek gradient geotermiczny G_t wynosi $2,0-2,2^\circ\text{C}/100\text{ m}$, a gradient ciśnienia złożowego kształtuje się w granicach $0,95-1,03 \times 10^3\text{hPa}/10\text{ m}$ (Bojarski, red. 1996; Górecki, red. 2006).



Rys. 6. Szkic strukturalny spągu kredy górnej w rejonie antykliny Kamionek
 1 – otwory wiertnicze, 2 – rzędna spągu kredy górnej [m], 3 – izohipsy spągu kredy górnej [m],
 4 – przekroje geologiczne

Fig. 6. Structural sketch map of the base of the Upper Cretaceous in the Kamionki Anticline area
 1 – boreholes, 2 – elevation of the base of the Upper Cretaceous [m],
 3 – contour lines base of the Upper Cretaceous [m], 4 – geological cross-sections



Rys. 7. Szkic strukturalny stropu jury dolnej: toarsu górnego formacji borucickiej w rejonie antykliny Kamionek; 1 – otwory wiertnicze, 2 – rzędna stropu jury dolnej: toarsu górnego (formacja borucicka) [m], 3 – izohipsy stropu jury dolnej: toarsu górnego (formacja borucicka) [m], 4 – przekroje geologiczne, 5 – uskoki

Fig. 7. Structural sketch map of the top of the Lower Jurassic: Upper Toarcian Borucice Formation in the Kamionki Anticline area

1 – boreholes, 2 – elevation top of the Lower Jurassic: Upper Toarcian (Borucice Formation) [m], 3 – contour lines base top of the Lower Jurassic: Upper Toarcian (Borucice Formation) [m], 4 – geological cross-sections, 5 – faults

3. Potencjalne poziomy zbiornikowe do składowania CO₂

W antyklinie Kamionek pierwszoplanowym potencjalnym poziomem zbiornikowym dla składowania CO₂ są piaskowce formacji mogileńskiej barremu-albu środkowego. Miąższość osadów tej formacji kształtuje się następująco: 169,0 m (Kamionki IG-3, głęb. 1285,0–1454,0 m); 170,0 m (Kamionki 2, głęb. 1285,5–1455,5 m) i 177,0 m (Kamionki 1), głęb. 1303,0–1480,0 m) (tab. 1). Można założyć, że miąższość warstw formacji mogileńskiej wynosi średnio 170,0 m.

TABELA 1

Głębokość występowania i miąższość warstw formacji mogileńskiej w antyklinie Kamionek

TABLE 1

The occurrence depth and thickness of the Mogilno Formation beds in the Kamionki Anticline

Nazwa otworu	Rzędna otworu [m n.p.m.]	Głębokość stropu formacji mogileńskiej [m p.p.t.]	Głębokość spągu fm. mogileńskiej [m p.p.t.]	Miąższość [m]			
				formacja mogileńska	ogniwo kruszwickie	ogniwo goplańskie	ogniwo pagórczańskie
Kamionki 1	110,0	1303,0	1480,0	177,0	84,0	20,5	72,5
Kamionki 2	110,0	1285,5	1455,5	170,0	82,5	18,0	59,5
Kamionki IG-3	112,5	1285,0	1454,0	169,0	80,0	20,0	69,0

W dolnej i górnej części poziomu, odpowiednio w ogniwie pagórczańskim i kruszwickim, dominują piaskowce z podrzędnymi przewarstwieniami ilasto-mułowcowymi, natomiast środkową część profilu – ogniwo goplańskie – reprezentują głównie iłowce i mułowce, podrzędnie skały piaszczyste (Raczyńska 1997) (por. rys. 3 i 5). Średni udział piaskowców w formacji mogileńskiej wynosi około 85%, co stanowi około 145,0 m. Porowatość piaskowców kształtuje się w granicach 10–30% (średnio 20%), a przepuszczalność skał powyżej 100 mD sięga do 2000 mD.

W poziomie zbiornikowym formacji mogileńskiej występują solanki chlorkowo-wapniowe I klasy ($\text{Na}^+ : \text{Cl}^- = 0,93\text{--}1,13$) o mineralizacji 20–40 g/dcm³. Średnia wartość ciśnienia złożowego Gc wynosi 0,95–1,02 × 10³ hPa/10 m (tab. 3).

Serię uszczelniającą formacji mogileńskiej stanowią margle i wapienie, opoki i kreda piszcząca kredy górnej o łącznej miąższości około 1000–1100 m.

Drugoplanowym poziomem zbiornikowym są osady formacji borucickiej toarsu górnego (rys. 4 i 7). Poziom ten reprezentują piaskowce z podrzędnymi przerostami ilasto-mułowcowymi, głównie w górnej części profilu (Deczkowski, Franczyk 1988). Poziom ten został w pełni przewiercony tylko w otworze Kamionki IG-3 na głębokości 2682,0–2853,0 m (171,0 m) (tab. 2). Z obrazu sejsmiczno-geologicznego (rys. 4, 7) można wnioskować, że miąższość warstw formacji borucickiej w strefie rowu tektonicznego na zachodnim zboczu antykliny osiąga około 200 m (tab. 2).

TABELA 2

Miąższość jury środkowej i toarsu górnego w otworach wiertniczych Kamionki IG-3 i Kamionki 1 (strefa rowu tektonicznego)

TABLE 2

Thickness of Middle Jurassic and Upper Toarcian deposits in the Kamionki IG-3 and Kamionki 1 boreholes (tectonic graben zone)

Stratygrafia	Kamionki IG-3		Kamionki 1	
	głębokość stropu spagu [m]	miąższość [m]	głębokość stropu spagu [m]	miąższość [m]
Kelowej	2174,0	14,0	2226,0	14,0
	2188,0		2240,0	
Baton	2188,0	45,0	2240,0	79,5
	2233,0		2319,5	
Bajos górny	2233,0	364,0	2319,5	313,0
	2600,0		2732,5	
Bajos dolny	2600,0	27,0	2732,5	30,5
	2627,0		2763,0	
Aalen	2627,0	55,0	2763,0	59,5
	2682,0		2822,5	
Toars górny – formacja borucicka	2682,0	171,0	2822,5	>28,5
	2853,0		>2851,0	

Ze względu na duże lokalne zmiany miąższości osadów jury dolnej trudno jest ocenić średnią miąższość poziomu; przyjęto, że wynosi ona około 180 m. Przy założeniu, że udział piaskowców w warstwach formacji borucickiej wynosi około 85%, w omawianym poziomie występuje około 150 m piaskowców. Porowatość piaskowców wynosi 10–20% (średnio 15%), a przepuszczalność skał osiąga 1500 mD. W formacji borucickiej występują solanki chlorkowo-wapniowe klasy I o metamorfizmie $\text{Na}^+ : \text{Cl}^- = 0,85\text{--}0,95$ i mineralizacji 100–113 g/dcm³. Gradient ciśnienia złożowego G_c wynosi $0,96\text{--}1,03 \times 10^3$ hPa/10 m (Bojarski, red. 1996; Górecki, red. 2006) (tab. 3).

Poziom zbiornikowy formacji borucickiej uszczelniają bezpośrednio skały ilasto-mułowcowe aalenu o miąższości od 55,0 m (Kamionki IG 3) do 59,5 m (Kamionki 1). Rolę serii uszczelniającej mogą również spełniać nadległe warstwy bajosu i batonu reprezentowane przez naprzemianległe pakiety iłowców, mułowców i piaskowców o średniej miąższości około 400 m (tab. 2).

Antyklina Kamionek jest jedną z dziewięciu struktur wytypowanych w utworach mezozoiku niecki płockiej do podziemnego składowania dwutlenku węgla, o dość pełnej charakterystyce geologiczno-złożowej. Struktura ta rozpoznana jest kilkoma profilami sejsmicznymi i trzema głębokimi otworami. Posiada dwa poziomy zbiornikowe: wyższy – dolnokredowy i niższy – dolnojurański. Oba poziomy charakteryzują się znaczną objętością

TABELA 3

Dane dotyczące poziomów zbiornikowych do składowania CO₂ w antyklinie Kamionek

TABLE 3

Data on the aquifers selected for CO₂ storage in the Kamionki Anticline

Poziom zbiornikowy: 1 – formacja mogileńska (barrem-alb środkowy)
 2 – formacja borucicka (toars górny)

Nazwa	Antyklina Kamionek
1	2
Powierzchnia (antykliny)	1, 2. Długość: 15 km; szerokość 5 km; powierzchnia: 75 km ²
Mięszkość (poziomu zbiornikowego)	1. 169,0–177,0 m (średnia 170 m) 2. 170–~200 m (średnia 180 m)
Pojemność składowania CO ₂ w poziomie zbiornikowym (wolumetryczna)	1. ok. 340 Mt 2. ok. 245 Mt
Głębokość zalegania stropu (poziomu zbiornikowego)	1. Kamionki 1: 1303,0 m (–1193,0 m) Kamionki 2: 1285,5 m (–1175,5 m) Kamionki IG-3: 1285,0 m (–1172,5 m) 2. Kamionki 1: 2822,5 m (–2712,5 m) Kamionki IG-3: 2682,0 m (–2569,5 m)
Głębokość zalegania spągu (poziomu zbiornikowego)	1. Kamionki 1: 1480,0 m (–1370,0 m) Kamionki 2: 1455,5 m (–1345,5 m) Kamionki IG-3: 1454,0 m (–1341,5 m) 2. Kamionki 1: >2851,0 m (<–2741,0 m) Kamionki IG-3: 2853,0 m (–2740,5 m)
Przepuszczalność (skał poziomu zbiornikowego)	1. 100–2000 mD 2. 100–1500 mD
Porowatość (skał poziomu zbiornikowego)	1. 10–30% (średnio ~20%) 2. 10–20% (średnio ~15%)
Ciśnienie złożowe (gradient ciśnienia)	1. Gc = 0,95–1,02 × 10 ³ hPa/10 m 2. Gc = 0,96–1,03 × 10 ³ hPa/10 m
Temperatura złożowa w poziomie zbiornikowym	Gradient geotermiczny Gt = 2,0–2,2°C/100 m
Udział piaskowców w poziomie zbiornikowym	1. Udział piaskowców 85% (≈~145 m) 2. Udział piaskowców 85% (≈~150 m)
Mineralizacja	1. 20–40 g/dcm ³ 2. 100–113 g/dcm ³
Jednostka stratygraficzna	1. Formacja mogileńska (barrem-alb środkowy) 2. Formacja borucicka (toars górny)
Litologia (poziomu zbiornikowego)	1. Piaskowce (85%) z przewarstwieniami ilowców i mułowców 2. Piaskowce (85%) z przewarstwieniami ilowców i mułowców

TABELA 3. cd.

TABLE 3. cont.

1	2
Badania litologiczne	Badania mikroskopowe, fizykochemiczne
Nadkład	1. Kreda górna: (alb górny/cenoman – mastrycht) 2. Aalen + bajos
Litologia nadkładu	1. Wapienie, margle, opoki, kreda pisząca (1000–1100 m) 2. Iłowce, mułowce, podrzędnie piaskowce (~400 m)
Uskoki	Uskoki (inwersyjne) występują w głębszej partii kompleksu cechsztyńsko-mezozoicznego (cechsztyń-jura)
Liczba otworów	3 otwory
Głębokość otworów	Kamionki 1: 2851,0 m Kamionki 2: 2202,0 m Kamionki IG-3: 5005,0 m
Otwory wiertnicze usytuowane w pobliżu kulminacji antykliny	Kamionki IG-3 i Kamionki 2

porową i pojemnością pozwalającą na zmagazynowanie dużo powyżej 100 Mt CO₂, w każdym z tych poziomów. Uszczelnienie warstw zbiornikowych w obu przypadkach jest dobre. Formacja mogileńska ma korzystniejsze następujące parametry: mniejszą głębokość zalegania, większą porowatość i przepuszczalność, brak uskoków. Przydatność w tym względzie niżej zalegającego poziomu formacji borucickiej toarsu górnego jest niejednoznaczna i mniej pewna, głównie ze względu na silne zdyslokowanie, skomplikowaną i nie w pełni rozpoznaną budowę wewnętrzną. Uszczegółowienie parametrów geologiczno-złożowych istotnych dla składowania CO₂ wymaga odwiercenia co najmniej jednego nowego otworu i opróbowania obu poziomów zbiornikowych.

Struktura Kamionek może stanowić przedmiot zainteresowania kilku dużych emitentów CO₂ tego regionu: PKN ORLEN SA (Płock) w odległości do 50 km oraz Vattenfall Heat Poland SA – Żerań, Soda Polska Ciech Sp. z o.o. – Janikowo i Inowrocław oraz Dalkia Łódź ZEC SA znajdujących się w odległości do 100 kilometrów.

LITERATURA

- Bojarski L., red. 1996 – Atlas geochemiczny i hydrochemiczny paleozoiku i mezozoiku oraz ascensyjnego zasolenia wód podziemnych na Niżu Polskim, 1:100 000. Państwowy Instytut Geologiczny Warszawa.
- Dadlez R., Marek S., 1969 – Styl strukturalny kompleksu cechsztyńsko-mezozoicznego na niektórych obszarach Niżu Polskiego. Kwartalnik Geologiczny, 13/3.
- Dadlez R., red., 1998 – Mapa tektoniczna kompleksu cechsztyńsko-mezozoicznego na Niżu Polskim, 1:500 000. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

- Deczkowski Z., Franczyk M., 1988 – Paleomiąższość, litofacje i paleotektonika epikontynentalnej jury dolnej w Polsce. *Kwart. Geol.* 32, 1, s. 105–116.
- Dziewińska L., Marek S., Jóźwiak W., 2001 – Przekroje sejsmiczno-geologiczne przez wał kujawski i gielniowski (skala 1:100 000) Biuletyn Państw. Inst. Geol. 398, s. 5–21.
- Górecki W., red., 2006 – Atlas zasobów geotermalnych na Niżu Polskim. Formacje mezozoiku. Kraków.
- Jurek J., Krauze H., 1981 – Dokumentacja sejsmiczna Rypin-Wyszogród, rejon Płońsk-Zakroczyn 1980/1981. PGNiG. Archiwum Państwowego Instytutu Geologicznego. Warszawa.
- Marek S., Pożaryski W., red. 1970 – Ropo- i gazonośność synklinorium warszawskiego na tle budowy geologicznej. Część I – Budowa geologiczna synklinorium warszawskiego. *Prace Geostrukturalne Instytutu Geologicznego*, Warszawa.
- Marek S., red. 1983 – Budowa geologiczna niecki warszawskiej (płockiej) i jej podłoża. *Pr. Inst. Geol.* 103, s. 278.
- Marek S., Tarkowski R., Dziewińska L., – Potencjalne struktury geologiczne do składowania CO₂. [W:] Potencjalne struktury geologiczne do składowania CO₂ w utworach mezozoiku Niżu Polskiego (charakterystyka oraz ranking). Tarkowski R. (red.). 2010 IGSMiE PAN. *Studia. Rozprawy. Monografie* nr 164, s. 6–111.
- Pożaryski W., 1970 – Rowy tektoniczne kimeryjskie na tle ewolucji strukturalnej Niżu Polskiego. *Kwart. Geol.* 14, 2, s. 271–282.
- Raczyńska A., 1979 – Stratygrafia i rozwój facjalny młodszej kredy dolnej na Niżu Polskim. *Pr. Inst. Geol.* 89, s. 79.
- Stupnicka E. – Geologia regionalna. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 1997, 348 s.
- Tarkowski R., (red.), Nodzeński A., Solecki T., Stopa J., Uliasz-Misiak B., 2005 – Podziemne składowanie CO₂ w Polsce w głębokich strukturach geologicznych (ropo-, gazo- i wodonośnych). Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, s. 172.
- Tarkowski R., (red.), 2010 – Potencjalne struktury geologiczne do składowania CO₂ w utworach mezozoiku Niżu Polskiego (charakterystyka oraz ranking). IGSMiE PAN. *Studia. Rozprawy. Monografie* nr 164, 138 s.
- Tarkowski R., 2005 – Geologiczna sekwestracja CO₂. *Studia, Rozprawy, Monografie*, 132, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, s. 60.
- Tarkowski R., 2008 – CO₂ storage capacity of geological structures located within Polish Lowlands' Mesozoic formations. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, t. 24, no 4/1, p. 101–112.
- Tarkowski R., Uliasz-Misiak B., 2005 – Struktury geologiczne (poziomy wodonośne i złoża węglowodorów) do podziemnego składowania CO₂ w Polsce. [W:] Podziemne składowanie CO₂ w Polsce w głębokich strukturach geologicznych (ropo-, gazo- i wodonośnych). Wydawnictwo IGSMiE PAN Kraków, s. 69–111.
- Tarkowski R., Uliasz-Misiak B., 2006 – Possibilities of CO₂ sequestration by storage in geological media of major deep aquifers in Poland. *Chemical Engineering Research and Design*, Volume: 84, Issue: A9 Carbon Capture and Storage, s.776–780.
- Tomaszewska J., Marosz Z., 1993 – Dokumentacja sejsmiczna Rypin-Wyszogród, rejon Kamionki-Bielsk. Archiwum Państwowego Instytutu Geologicznego. Warszawa.
- Uliasz-Misiak B., Tarkowski R., – Ranking struktur do podziemnego składowania CO₂ zlokalizowanych na Niżu Polskim. [W:] Potencjalne struktury geologiczne do składowania CO₂ w utworach mezozoiku Niżu Polskiego (charakterystyka oraz ranking). Tarkowski R. (red.), 2010 IGSMiE PAN. *Studia. Rozprawy. Monografie* nr 164, s. 112–123.

**CHARAKTERYSTYKA GEOLOGICZNA ANTYKLINY KAMIONEK (NIECKA PŁOCKA) –
POTENCJALNE SKŁADOWISKO CO₂****Słowa kluczowe**

Geologiczne składowanie CO₂, struktura Kamionki, poziomy wodonośne

Streszczenie

Przedstawiono położenie, budowę geologiczną i charakterystykę struktury Kamionek pod kątem podziemnego składowania dwutlenku węgla. Leży ona na terenie niecki płockiej, w SW części bloku Płońska i jest ona przykładem rowu synsedymencyjnego o założeniach wczesno- i środkowojurajskich. Została rozpoznana półszczegółowym zdjęciem sejsmiki refleksyjnej oraz trzema głębokimi otworami wiertniczymi (Kamionki 1, Kamionki 2 i Kamionki IG-3). Przyjmując umownie zarys antykliny wyznaczony izohipsą stropu jury dolnej, jej długość wynosi około 15 km, szerokość około 5 km i powierzchnia około 75 km².

Dane geologiczne, sejsmiczne i złożowe pozwalają stwierdzić, że struktura ta dobrze spełnia warunki stawiane miejscom podziemnego składowania dwutlenku węgla. Pierwszoplanowym poziomem zbiornikowym dla podziemnego składowania CO₂ są utwory formacji mogileńskiej barremu-albu środkowego, o miąższości średnio 170 metrów, średnim udziale piaskowców 85%, porowatości około 20%, przepuszczalności powyżej 100 mD sięgającej do 2000 mD. Serię uszczelniającą stanowią margle, wapienie, opoki i kreda piszcząca kredy górnej o miąższości około 1000 metrów. Drugoplanowym poziomem zbiornikowym są osady formacji borucickiej toarsu górnego.

Struktura Kamionek jest jedną z dziewięciu struktur wytypowanych w utworach mezozoiku niecki płockiej do podziemnego składowania dwutlenku węgla. Znajduje się w niewielkiej odległości od dużego emitenta CO₂ – PKN ORLEN SA (Płock), natomiast w odległości od 50–100 km znajdują się kolejni duzi emitenci (Vettenfall Heat Poland SA – Żerań, Soda Polska Ciech Sp. z o.o. – Janikowo i Inowrocław oraz Dalkia Łódź ZEC SA) mogący być zainteresowani geologicznym unieszkodliwianiem dwutlenku węgla.

**THE GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE KAMIONKI ANTICLINE (PŁOCK TROUGH) –
A POTENTIAL CO₂ STORAGE SITE****Key words**

CO₂ storage, geological structure, Kamionki structure, aquifers

Abstract

The location, geological structure and characteristics of the Kamionki Anticline is presented in terms of possibility of underground CO₂ storage. It is situated in the Płock Trough, in the SW part of the Płońsk Block, and represents a synsedimentary graben originated in the Early and Middle Jurassic. It has been explored by a semi-detailed reflection seismic survey and three deep boreholes (Kamionki 1, Kamionki 2 and Kamionki IG-3). Assuming that the anticline is conventionally outlined by a contour line of the top of the Lower Jurassic, its length is about 15 km, width is about 5 km and the area reaches approximately 75 km².

Geological, seismic and reservoir property data allow concluding that this structure is suitable for underground carbon dioxide storage. The primary reservoir level for underground CO₂ storage is represented by Barremian-middle Albian deposits of the Mogilno Formation with an average thickness of 170 metres, containing on the average 85% of sandstones, and showing porosity of about 20% and permeability above 100 mD up to 2000 mD. The sealing series is composed of Upper Cretaceous marls, limestones and chalk reaching the thickness of about 1000 metres. The secondary reservoir level is represented by upper Toarcian deposits of the Borucice Formation.

The Kamionki structure is one of nine geological structures selected for underground carbon dioxide storage in Mesozoic deposits of the Płock Trough. It is located a short distance from a large CO₂ emitter – PKN Orlen SA (Płock), whereas at a distance of 50–100 km there are other large emitters (Vettenfall Heat Poland SA – Żerań, Soda Polska Ciech Sp. z o.o. – Janikowo and Inowrocław, and Dalkia Łódź ZEC SA) that may be interested in geological disposal of carbon dioxide.