

Geologiczne składowanie ditlenku węgla (CCS) jest metodą bezpieczną – dowody geologiczne

Grzegorz Pieńkowski¹



Geological storage of carbon dioxide (CCS) is safe – geological evidence. Prz. Geol., 63: 48–54.

Abstract. CO₂ capture and geological storage (CCS) should be implemented in Poland, if combustion of coal will remain as a main source of energy in Poland, and European Union climate policy requirements are to be met. Despite existing experience and number of existing operational projects worldwide, a common fear concerning safety of the onshore, large scale geological storage of CO₂ still occurs. Because of that fear, some European countries substantially limited even demonstration CCS projects. However, opinions on the method's safety should be based on solid geological evidence, not fears. Herein I provide some evidence from the Lower Jurassic basin in Poland that the method is safe. The key issue is the geological integrity of a seal. High-resolution sequence stratigraphy verified by chemostratigraphical correlation based on $\delta^{13}\text{C}$ isotope correlation, proved that one of key seal formations, the lower Toarcian Cieclocinek formation composed of clayey-muddy rocks with sandstone intercalation, is integral in terms of its lithology and spatial extent over the larger part of the Polish basin and provides an excellent seal. Origin of such favourable properties is attributed to climatic conditions (supergreenhouse conditions on land) during the Toarcian Oceanic Anoxic Event and high sea level at that time. Moreover, similar conditions occurred for four times during the Early–Middle Jurassic times, creating another over-regional seal formations in the large parts of the Polish Mesozoic epicontinental basin. It can allow a tiered sequestration method, using several sequestration systems (reservoir-seal couples) one above another, thus allowing much more voluminous and effective storage of CO₂ and methane (for economic purposes) in selected structures.

Keywords: CO₂ storage, safety, seal properties, chemostratigraphy, palaeoclimatology



Odpowiedź na pytanie o bezpieczeństwo metody geologicznego składowania ditlenku węgla (CO₂) jest o tyle istotna, że wśród wielu problemów (głównie ekonomicznych) stojących przed zastosowaniem metody CCS (*Carbon Capture and Storage*) w Polsce i w Europie pojawia się obawa (i jednocześnie zarzut), że składowanie CO₂ w strukturach geologicznych może być niebezpieczne dla ludzi, środowiska naturalnego, może też spowodować konflikt z innymi geologicznymi interesami/korzyściami, wreszcie może wpłynąć negatywnie na obniżenie wartości ziemi i nieruchomości w rejonie składowania, spowodować odpływ innych inwestycji, czy obniżyć np. dochody z turystyki. Pomijam tutaj naiwne wyobrażenia, znane z ulotek dystrybuowanych przez niektórych aktywistów, o migracji gazu w przestrzeni geologicznej, na których CO₂ „przenika” jak złowrogi front ku powierzchni przez kilometrowy nadkład skalny, czy kompletnie fałszywe porównania składowisk CO₂ do kalder neowulkanicznych i znanej katastrofy w Kamerunie. Dyskusja z tego typu poglądami wykracza poza sferę nauki, stając się debatą o charakterze mityczno-ideologicznym. Nie należy przy tym lekceważyć siły tych przekonań, arogancja bywa często wprost proporcjonalna do ignorancji i tego typu sprzężenie może wpływać na postawy społeczne, a przez nie także na decyzje polityczne (pojawiają się nawet głosy domagające się prawnego zakazu stosowania metody, poza ewentualnie wspomaganie wydobywania węglowodorów). Efekty wpływu tego typu postaw mieliśmy okazję już zaobserwować, kiedy w niektórych gminach zablokowano nawet prace geofizyczne zmierzające do zbadania struktur geologicz-

nych. Tego typu oporów doświadczają również operatorzy poszukujący w Polsce węglowodorów niekonwencjonalnych. W przypadku CCS dochodzi jeszcze inny problem, mianowicie nie przez wszystkich jest podzielany pogląd, że cała kosztowna polityka klimatyczna i ograniczanie emisji CO₂ ma w ogóle sens. To jednak wykracza poza ramy niniejszego artykułu. Debata na temat CCS w Polsce nie jest związana z konkretnie realizowanymi obecnie projektami, ma wyłącznie charakter przyszłościowy. Jak wiadomo, Polska jako członek Unii Europejskiej jest obiektem nacisku w sprawie redukcji emisji, ponieważ głównymi źródłami energii są u nas węgiel kamienny i brunatny, a to właśnie te paliwa kopalne generują największą emisję CO₂. Pojawiło się więc pytanie jak połączyć tę „brudną” i tanią polską energetykę z wymogami emisyjnymi. Uważa się, że Polska to najlepsze miejsce do zastosowania metody CCS. Najlepsze, ponieważ mamy dużych emitentów, elektrownia Bełchatów jest największym pojedynczym emitentem w całej Unii Europejskiej. Łatwiej i taniej wychwycić dużą ilość produkowaną w jednym miejscu, niż łączyć wiele mniejszych źródeł emisji. Po drugie, mamy wysoko pojemne struktury geologiczne z nieużytkowymi wodami solankowymi, które nadają się do składowania CO₂. Jednak przed podjęciem bardziej zaawansowanych prac nad CCS należy wykazać, że metoda ta – konkretnie geologiczne składowanie – jest bezpieczne. Do tego konieczne są nowoczesne badania geologiczne.

GDZIE SKŁADOWAĆ?

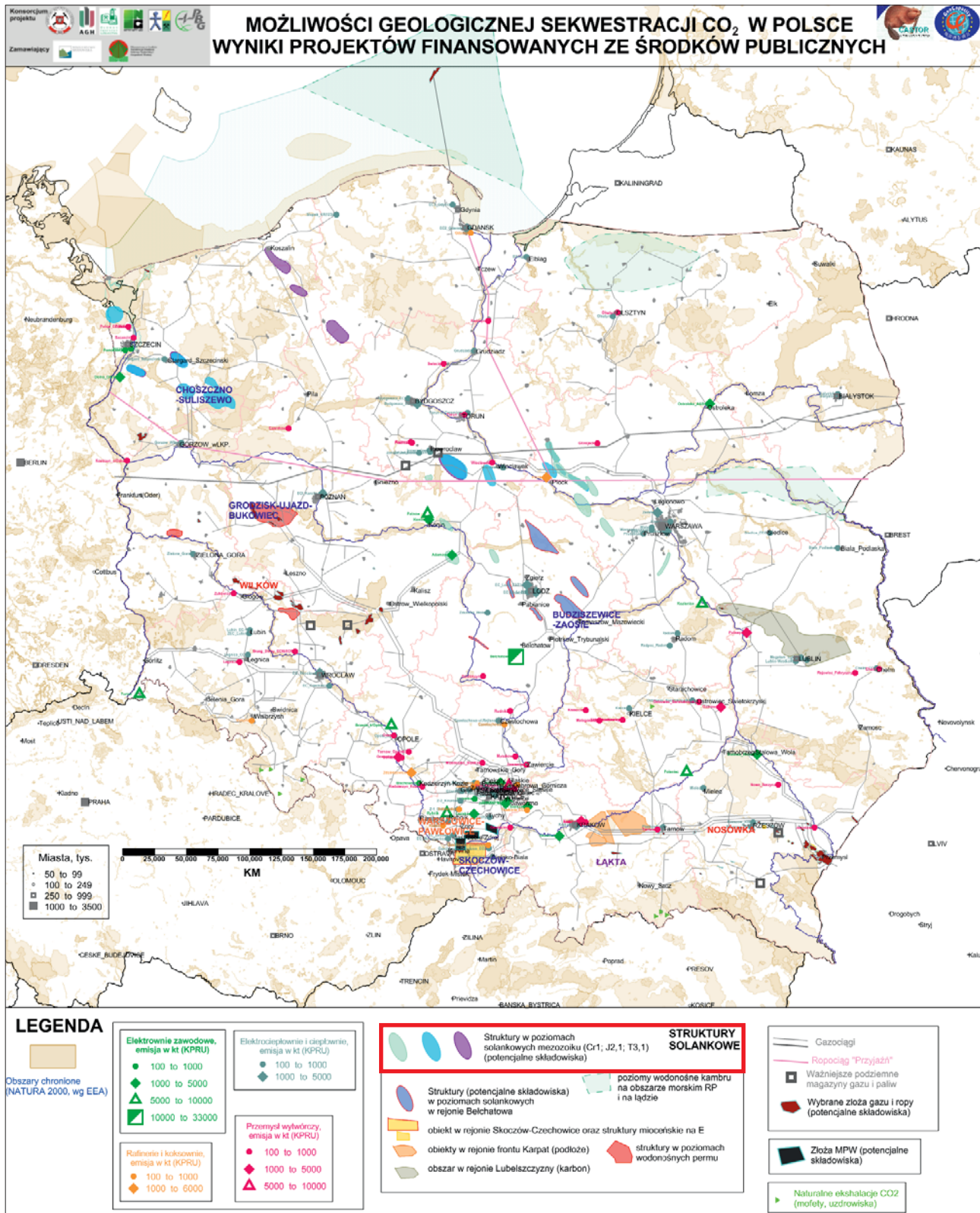
Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB), jako lider konsorcjum, realizował szereg zadań w trwającym 4 lata (2008–2012) krajowym programie „Rozpoznanie formacji i struktur do bezpieczne-

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; grzegorz.pienkowski@pgi.gov.pl.

go geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania”, zamówionym przez Ministerstwo Środowiska i finansowanym przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (Wójcicki, 2013).

Poza PIG-PIB w skład konsorcjum wchodziły: Akademia Górniczo-Hutnicza, Główny Instytut Górnictwa, Instytut

Nafty i Gazu, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN i Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych. Program obejmował też współpracę z partnerami przemysłowymi, m.in. tymi planującymi projekty demonstracyjnych elektrowni o obniżonej emisji, oraz zagranicznymi służbami geologicznymi.



Ryc. 1. Wyniki projektu badań regionalnych możliwości zastosowania CCS w Polsce wraz z zaznaczonymi strukturami w poziomach solankowych mezozoiku (czerwona ramka; niebieski kolor – jura); na podstawie Wójcickiego, 2013; <http://skladowanie.pgi.gov.pl>
Fig. 1. Results of regional studies on possibility of application of the CCS method in Poland. Geological structures in Mesozoic saline aquifers are marked (red frame; blue colour – Jurassic). Based on Wójcicki, 2013; project webpage <http://skladowanie.pgi.gov.pl>

W założeniach programu było wykonanie gruntownego rozpoznania potencjalnych składowisk CO₂ w poziomach wodonośnych solankowych dla ośmiu rejonów kraju, wybranych zarówno ze względu na potrzeby gospodarki narodowej (głównie energetyki), jak i znane w chwili obecnej możliwości geologicznego składowania (w tym m.in. występowanie szcerpanych złóż węglowodorów).

Informacje te posłużą Ministerstwu Środowiska w podejmowaniu w przyszłości decyzji o przyznawaniu koncesji na rozpoznawanie potencjalnych składowisk i ich zagospodarowywanie, zgodnie z wymogami Dyrektywy unijnej dotyczącej geologicznego składowania CO₂. Są one również przydatne dla podmiotów ubiegających się o pozwolenie na budowę nowych bloków „CCS ready”, gdzie jest wymagane wskazanie miejsc składowania (dla których dany podmiot w przyszłości ubiegałby się o koncesję na rozpoznanie potencjalnych składowisk) i wstępne studia wykonalności. Stanowią one podstawę do sporządzenia projektów robót geologicznych na wykonanie prac na potrzeby szczegółowego rozpoznania potencjalnego składowiska i ewentualnie monitoringu stanu początkowego, w tym nowych otworów badawczych (albo otworów do testowego zatłaczania CO₂), nowych prac sejsmicznych i innych prac geofizycznych. Należy podkreślić, że możliwość wykorzystania przestrzeni geologicznej w tym przypadku nie sprowadza się tylko do składowania CO₂, ale wyniki niniejszego programu mogą być wykorzystane np. do magazynowania substancji użytecznych (gazu ziemnego). Prowadzone w latach 2011–2012 badania o charakterze regionalnym, prowadzone pod kątem rozpoznania możliwości składowania CO₂ w poziomach wodonośnych-solankowych oraz w złożach węglowodorów i w pokładach węgla zawierających metan, dotyczyły całego obszaru Polski wraz z ekonomiczną strefą Bałtyku (w sumie 10 podprojektów) – rycina 1. Prowadzone były także badania o charakterze szczegółowym dla 8 wybranych potencjalnych składowisk (4 dla struktur w poziomach wodonośnych-solankowych, 1 dla złóż ropy i 2 dla złóż gazu oraz dla 1 obiektu w pokładach węgla zawierających metan).

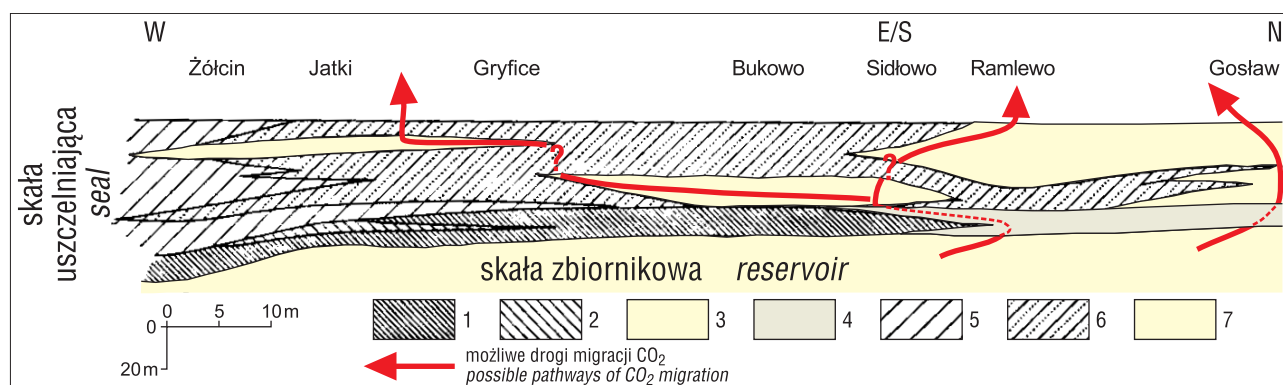
Szczegółowa charakterystyka potencjalnych składowisk (w latach 2011–2012 były opracowywane 2 struktury w poziomach solankowych, 1 złożę gazu oraz 1 obiekt w pokładach węgla zawierających metan) została dokonana na podstawie dostępnych materiałów archiwalnych, zgodnie z zaleceniami Dyrektywy w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla. Końcowym efektem prac w ramach projektu było dla prac regionalnych opracowanie mapy proponowanych obszarów koncesyjnych na rozpoznawanie potencjalnych składowisk, a dla prac szczegółowych – planów monitoringu stanu początkowego dla wytypowanych potencjalnych składowisk, a także założeń do monitoringu w trakcie eksploatacji i po zamknięciu składowiska (Wójcicki, 2013).

ROZPOZNANIE INTEGRALNOŚCI STRATYGRAFICZNO-FACJALNEJ FORMACJI USZCZELNIAJĄCYCH KLUCZEM DO WYKAZANIA BEZPIECZEŃSTWA METODY CCS

Realizacja projektu zamówionego przez Ministerstwo Środowiska przyczyniła się także do rozwoju prac badawczych w dziedzinie nauk o Ziemi, zwłaszcza do rozwoju

wiedzy w zakresie zmian klimatycznych i środowiskowych w głębokiej przeszłości geologicznej, mających również istotny „zwrotny” wpływ na projektowanie bezpiecznych składowisk przez możliwość znacznie lepszego ich rozpoznania. Wyniki tych badań naukowych (finansowanych ze środków statutowych PIG-PIB oraz środków na badania w dyspozycji partnera zagranicznego – Oxford University) zostały opublikowane (Hesselbo & Pieńkowski, 2011). Przy wyróżnianiu układów sekwestracyjnych/magazynowych istotne jest rozpoznanie dokładnej charakterystyki skalnych formacji uszczelniających pod kątem ich zasięgu przestrzennego oraz właściwości mineralogiczno-litologicznych. Zastosowanie tu mają szczegółowa analiza sedimentologiczna i korelacja stratygraficzno-sekwencyjna. To że parametry uszczelnienia są znakomite w jednym miejscu, nie oznacza, że będą one również dobre w innym. Wpływają na to oboczne zmiany facjalne, istotne szczególnie w przypadku utworów kontynentalnych i marginalno-morskich, które stanowią większą część najbardziej perspektywicznej pod kątem chłonności (porowatości i przepuszczalności) piaskowców serii jury dolnej w epikontynentalnym basenie polskim (Pieńkowski, 2004). Kluczowym zadaniem jest wykazanie, czy mułowce i ilowce (formacje uszczelniające), przeławicające wspomniane dolnojurańskie piaskowce, mają wystarczające parametry, w tym zasięg lateralny, żeby mogły zapewnić utrzymanie CO₂ zatłoczonego w niższej ległej piaskowce. Chodzi więc o to, czy uszczelniające formacje ilasto-mułowcowe (tworzące wspólnie z piaskowcami zbiornikowymi system sekwestracyjny) nie mają, w sensie swojej architektury depozycyjnej, kształtu wyklinowujących się na niewielkiej przestrzeni soczewek. To eliminowałoby takie systemy sekwestracyjne (ryc. 2).

Wykształcenie utworów ilastych odzwierciedla generalnie charakter wietrzenia i warunki klimatyczne na obszarach źródłowych, skąd pochodził materiał skalny. W pewnym szczególnym czasie w okresie jurajskim (wczesny toark, wczesna jura) warunki te pozwoliły na powstanie w basenie polskim rozległej formacji ilastej (formacja ciechocińska) o charakterystycznym, wyjątkowo jednolitym wykształceniu. W jej obrębie wyróżniono też 7 parasekwencji depozycyjnych odzwierciedlających fluktuacje poziomu morza, które skorelowano w skali basenu (Pieńkowski, 2004). Celem weryfikacji korelacji stratygraficzno-sekwencyjnej, tę formację, jako wyjątkowo istotną także pod kątem badań paleoklimatycznych oraz uwzględniając aspekty praktyczne związane z sekwestracją CO₂ i magazynowaniem gazu ziemnego, wytypowano do szczegółowych badań. Wykonano precyzyjną korelację chemostratygraficzną opartą na stosunku izotopów stabilnych węgla $\delta^{13}\text{C}$ (Hesselbo & Pieńkowski, 2013). Zmiana stosunku izotopów ^{12}C i ^{13}C na rzecz zwiększonej ilości izotopu lekkiego dowodzi zaburzenia cyklu węglowego. Zaburzenia te, kompilowane w postaci krzywych węglowych (ryc. 3), mogą być mierzone i korelowane w czasie geologicznym i przestrzeni w skali europejskiej i globalnej. Krzywe węglowe są kalibrowane biostratygraficznie oraz na podstawie wieku radiometrycznego skał i metod astrochronologicznych (cykle Milankovicia). Z wielu miejsc na świecie wiemy, że szczególnie wyraźne zaburzenia cyklu węglowego miały miejsce ok. 183 mln lat temu, we wczesnym toarku (wczesna jura). Skład izotopowy węgla w badanej kopalnej tkance roślinnej (drewnie)



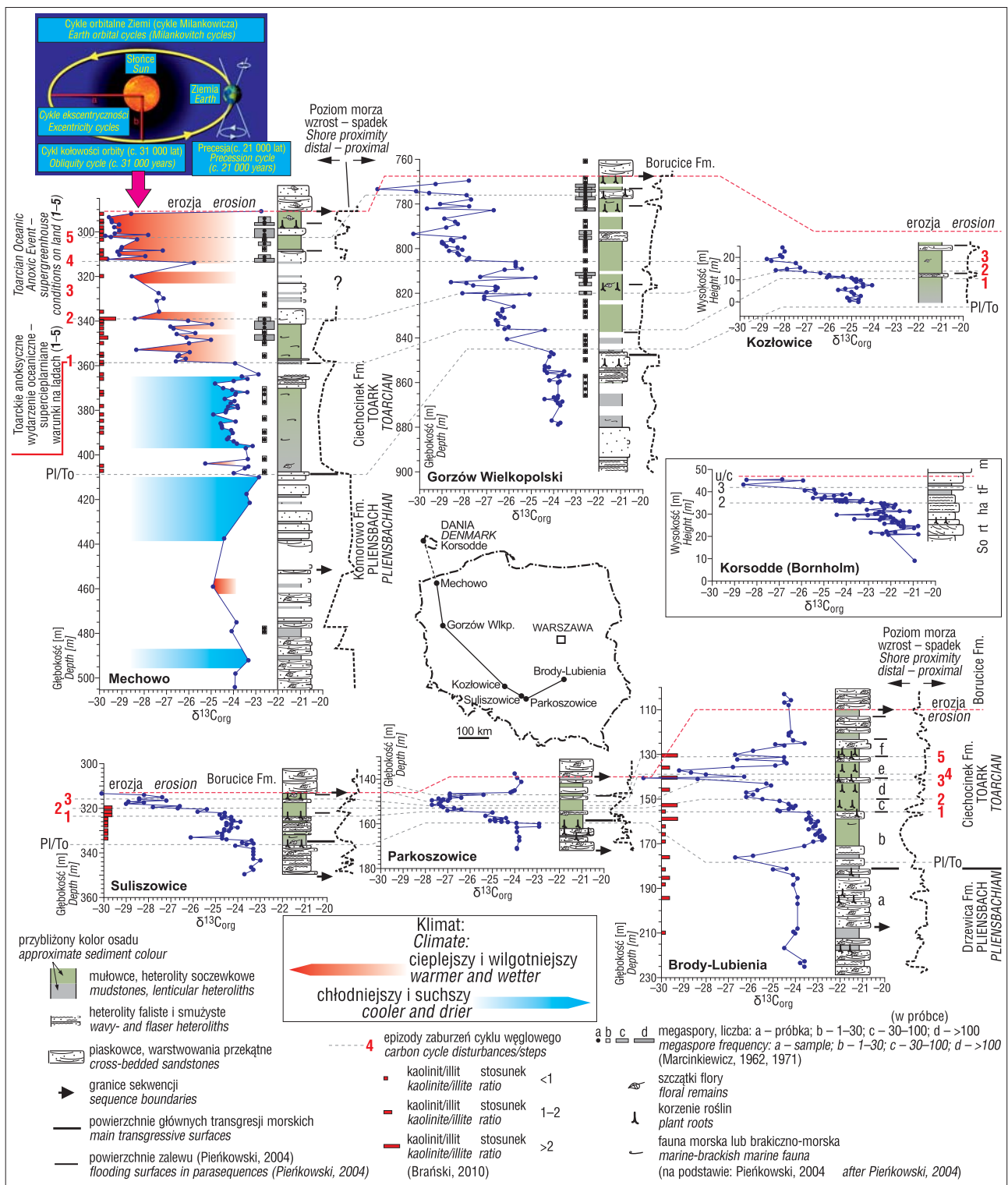
Ryc. 2. Szkic zmian facjalnych serii gryfickiej (formacji ciechocińskiej) w rejonie Kamienia Pomorskiego i Kołobrzegu wg Dadleza (1969). Zgodnie z taką „soczewkową” interpretacją formacji skały ilasto-mułwcowe (facje 1, 2, 5, 6) mogłyby być niewystarczającym uszczelnieniem – odległości między ciałami piaszczystymi (facje 3 i 7) są niewielkie, możliwe byłoby też przenikanie gazu przez mułowcowo-piaszczystą fację 4. Dla właściwego zinterpretowania facji konieczne byłoby precyzyjne datowania w obrębie samej formacji ciechocińskiej, co było nieosiągalne przy ówczesnej rozdzielczości stratygraficznej. W istocie w tym regionie piaszczyste przeławiczenia tworzą regularne warstwy oddzielone ciągłymi pakietami ilasto-mułwcowymi, co wykazała wysokorozdzielcza korelacja chemostratygraficzna (ryc. 3)

Fig. 2. Sketch of the facies changes of the Gryfice beds (Ciechocinek Formation) in the Kamień Pomorski – Gryfice region (after Dadlez, 1969). According to such a “lens-shaped” lithological interpretation, the clayey-muddy rocks (facies 1, 2, 5, 6) could not form sufficient seal – distances between sandy facies (3 and 7) are small, and gas escape through the muddy-sandy facies 4 could be possible. A proper facies interpretation at that time was impossible due to lack of high-resolution stratigraphical methods. In fact, much more regular sandy intercalations are separated by continuous clayey-muddy intervals in this region, which was shown by a high-resolution chemostratigraphy (Fig. 3)

odzwierciedla ówczesną zawartość dwutlenku węgla w atmosferze, co pozwala też odtworzyć warunki paleoklimatyczne – efekty cieplarniane, a także związane z nimi wzrosty poziomu morza. Uzyskane wyniki naniesione na profile konkretnych wierceń w postaci krzywych zmienności izotopów węgla (ryc. 3) wykazują bardzo dobrą zgodność tych krzywych z referencyjnymi, wykalibrowanymi biostratygraficznie, radiometrycznie i astrochronologicznie krzywymi izotopów węgla z Yorkshire (Anglia) i Korsodde (Bornholm, Dania). Zwraca uwagę wyraźnie „stopniowany” charakter krzywych węglowych. Stopnie te korelują się z cyklami orbitalnymi Ziemi (cyklami Milankowicza) o częstotliwości około 31 000 lat (tzw. cykl kołowości orbity Ziemi) (Boullila i in., 2014). Mechanizm powtarzalnych zmian klimatu polegał na pulsacyjnej (taktowanej astronomicznie) dysocjacji hydratów metanu z den oceanicznych, które z kolei zostały pierwotnie zainicjowane aktywnością wulkaniczną w wielkiej prowincji Karoo-Ferrar rozciągającej się we wczesnym toarku na obszarze południowej Afryki, Ameryki Południowej, Australii i Antarktydy. Wykazano także związek cykli węglowych (klimatycznych) z wysoką frekwencją wilgocio- i ciepłolubnej jurajskiej roślinności oraz zawartości kaolinitu – wskazującego na wietrzenie w warunkach ciepłych i wilgotnych. Identyfikacja cykli geochemicznych pozwoliła więc uzyskać bardzo wysoką rozdzielczość czasową (= chronostratygraficzną) badanej formacji, na poziomie ok. 31 000 lat – dotychczas nieosiągalną. Korelacje te mają fundamentalne znaczenie dla odtworzenia architektury depozycyjnej formacji uszczelniającej składowania CO₂ lub magazynowania substancji użytecznych (gazu ziemnego), gdyż pozwalają uzyskać bardzo precyzyjną kontrolę wiekową pakietów ilastych i ocenić ich geometryczną rozciągłość oraz jednolitość wykształcenia w przestrzeni. Jak przy tym wykazano, wydatowane za pomocą chemostratygrafii pakiety ilaste były związane także z fluktuacjami poziomu morza, budując kluczowe transgresywne elementy parasekwencji depozycyjnych, które mogą być policzone i wza-

jemnie skorelowane w porządku stratygraficznym w całym basenie Polski epikontynentalnej (ryc. 3). Dowodzi to przestrzennej integralności najważniejszej mułowcowej formacji uszczelniającej głównego dolnojurajskiego systemu sekwestracyjnego/magazynowego w Polsce. Paradoksalnie, jeden z kilku najbardziej gwałtownych efektów cieplarnianych w historii naszej planety przyczynił się do powstania formacji skalnej kluczowej dla dzisiejszych możliwości bezpiecznego składowania dwutlenku węgla pod ziemią, na głębokości ponad 1000 m. W konkluzji wykazano, że metoda CCS jest bezpieczna od strony geologicznej, przynajmniej w odniesieniu do układu sekwestracyjnego, uszczelnionego przez formację ciechocińską. Formacja ta posiada korzystne z punktu szczelności cechy litologiczne.

Wstępne dane dotyczące profilu Kaszewy-1, odwierconego przez PGE Bełchatów właśnie w celu rozpoznania jednej ze struktur (struktura Wojszyce koło Kutna, na północ od Łodzi – ryc. 1) pod kątem składowania CO₂, wskazują, że oprócz systemu sekwestracyjnego górny pliensbach–dolny toark (ryc. 4, system nr 4) są jeszcze przynajmniej cztery inne systemy sekwestracyjne ułożone jeden nad drugim. Właściwości uszczelniające i przewidywana rozciągłość regionalna niektórych formacji (np. formacji gielniowskiej dolnego pliensbachu, związanej z równie rozległą transgresją jak ta we wczesnym toarku) pozwalają sądzić, że system sekwestracyjny górny syne-mur–dolny pliensbach będzie równie obiecujący. Co więcej, we wczesnym pliensbachu też wystąpiło zaburzenie cyklu węglowego (Korte & Hesselbo, 2011), co pozwoli na jego korelację także w Polsce. Należy też zaznaczyć, że wyjątkowo gruby kompleks iłowców i mułowców górnego aalenu najwyższego systemu sekwestracyjnego (górnego toark–aalenu) stanowi tzw. ostateczne uszczelnienie – *ultimate seal* całej struktury, kładąc swoistą dodatkową „pieczęć bezpieczeństwa” nad całą strukturą z kilkoma systemami sekwestracyjnymi (*ultimate seal* jest zalecane w rekomendacjach dotyczących CCS). Szczególnie istotna

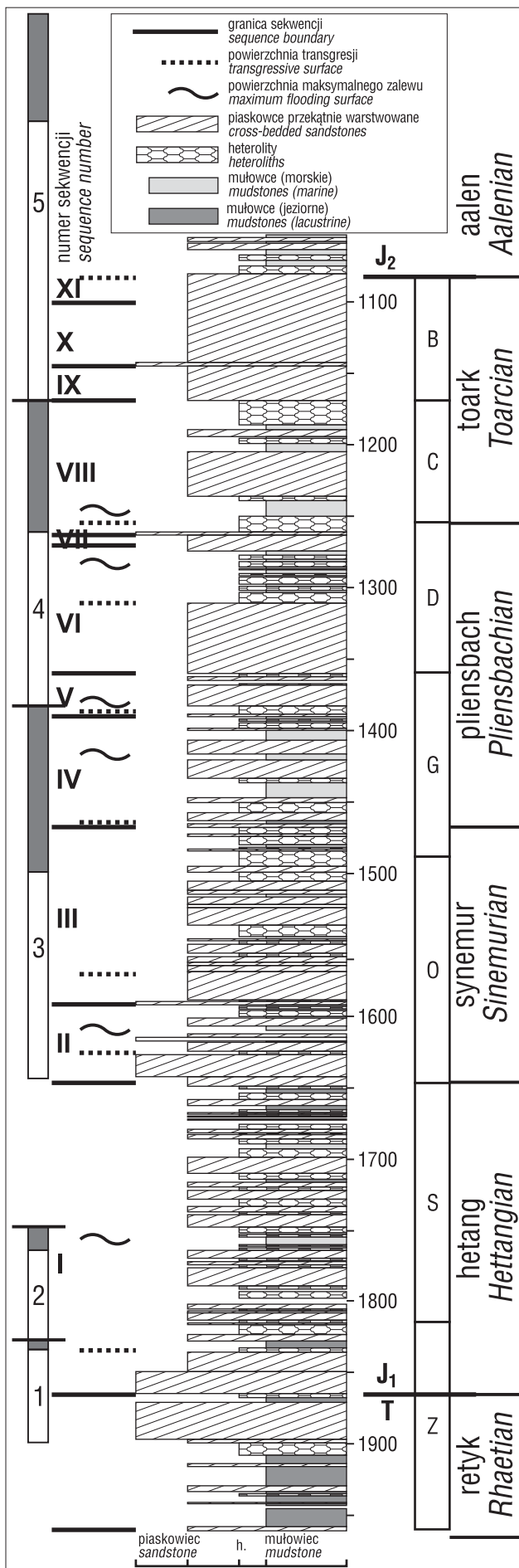


Ryc. 3. Litologiczna, stratygraficzno-sekwencyjna i chemostratygraficzna ($\delta^{13}\text{C}$) korelacja najwyższego pliensbachu i toarku w basenie polskim. Wkładki piaskowcowe w obrębie mułowcowej formacji ciechocińskiej (uszczelniającej system sekwestracyjny górnego pliensbachu i dolnego toarku) są zawsze izolowane wśród mułowców, a interwały mułowcowe mogą być precyzyjnie korelowane na obszarze basenu polskiego. Kolory kolumny litologicznej odzwierciedlają w przybliżeniu kolor mułowców (na podstawie Hesselbo & Pienkowski, 2011)

Fig. 3. Lithological, sequence stratigraphical and chemostratigraphical ($\delta^{13}\text{C}$) correlation of the uppermost Pliensbachian–Toarcian strata in the Polish basin. Note that the sandstone intercalations within the muddy Ciechocinek Formation (seal of the upper Pliensbachian–lower Toarcian sequestration system) are always isolated within mudstones and that mudstone intervals can be precisely correlated all over the Polish basin. Colours of the lithological columns reflect approximate colour of mudstones (based on Hesselbo & Pienkowski, 2011)

byłyby pojawiająca się możliwość wykorzystania kilku systemów sekwestracyjnych występujących piętrowo w jednej strukturze, co zwielfokrotniłoby jej objętość.

Napełnianie takiej struktury należałoby rozpocząć kolejno od najniższego systemu sekwestracyjnego (górną retyk-dolny hetang), monitorując jednocześnie ciśnienia, rozcho-



Ryc. 4. Profil wiercenia Kaszewy 1 (rejon Kutna, centralna Polska) z wyróżnionymi formacjami litostratygicznymi, sekwencjami depozycyjnymi (I–XI) oraz piętrowymi systemami sekwestracyjnymi (1–4). Formacje (od najniższej do najwyższej): Z – zagajska, S – skłobska, O – ostrowiecka, G – gielniowska, D – drzewicka, C – ciechocińska, B – borucicka. T – trias, J₁ – jura dolna, J₂ – jura środkowa

Fig. 4. Kaszewy 1 borehole profile (Kutno region, central Poland) with lithostratigraphical formations, depositional sequences (I–XI) and tiered sequestration systems (1–4). Formations (from the lowest to the uppermost): Z – Zagaje, S – Skłoby, O – Ostrowiec, G – Gielniów, D – Drzewica, C – Ciechocinek, B – Borucice. T – Triassic, J₁ – Lower Jurassic, J₂ – Middle Jurassic

dzenie się CO₂ w skałach zbiornikowych i stan nadległych skał. Po wypełnieniu niższego systemu zatłaczanie można by przenosić kolejno do systemów wyższych. Oczywiście, przedstawione w niniejszym artykule argumenty litologiczno-stratygiczne muszą być każdorazowo uzupełnione dokładną charakterystyką tektoniczną wybranych struktur.

WNIOSKI

Geologiczne składowanie CO₂ jest bezpieczne, na co wskazują niniejsze badania i doświadczenia światowe. W raporcie Global CCS Institute (www.globalccsinstitute.com) znajduje się lista 22 dużych projektów (w sumie o zdolności zatłaczania 40 milionów ton CO₂ rocznie), z czego 13 to projekty operacyjne. W planach na najbliższą przyszłość są 33 dalsze instalacje o ogólnej pojemności 68 mln ton rocznie. Są wśród nich składowiska w nieużytkowych poziomach solankowych (np. projekt Sleipner). Instalacja zatłaczająca CO₂ nie różni się istotnie od istniejących w Polsce instalacji magazynowych gazu ziemnego w szcerpanych złożach (planuje się także podobne magazyny w dobrze uszczelnionych strukturach z nieużytkowymi wodami solankowymi). Cała instalacja zatłaczająca oznacza zajęcie obszaru ok. 1 ha, co nie ma żadnego wpływu na normalne użytkowanie pozostałej powierzchni ziemi nad głęboko zlokalizowanym składowiskiem – warto o tym wspomnieć, gdyż często podnoszona jest obawa, że taki negatywny wpływ czy wręcz zagrożenie istnieje. Możliwy konflikt interesów to wykorzystanie wód geotermalnych, ale jak już wiadomo z istniejących w Polsce doświadczeń wody solankowe nie są opłacalnym ekonomicznie medium dla pozyskiwania tej energii, nawet przy dużych wydajnościach – głównie ze względu na zasolenie (konieczność powrotnego zatłaczania solanek w otwory chłonne) i stosunkowo niewielkie temperatury w mezozoicznym epikontynentalnym basenie Polski niżowej (Górecki, 2006 a,b). Nieliczne pozytywne przykłady (Mszczonów, Uniejów) bazowały na gotowych otworach i wodach praktycznie słodkich (choć o temperaturach tylko rzędu ok. 40°C), co umożliwia ich wykorzystanie w ciepłownictwie (po podgrzaniu) i rekreacji, po czym możliwym jest ich zrzut do środowiska. Tak więc ogromna większość głębokich solankowych wód podziemnych nie będzie stanowić konfliktu interesu z CCS, przede wszystkim ze względu na ich ekonomiczną nieopłacalność pod kątem geotermii. Co więcej, zatłaczanie CO₂ w nieużytkowe poziomy solankowe może być sprzężone z pozyskiwaniem energii (Wójcicki, 2012).

Technologia CCS pozostaje wciąż droga ze względu na obecny koszt wychwytu. Natomiast patrząc od strony geologicznej samego składowania, istnieje realna możliwość zastosowania tej metody. Dodatkowo, nabytą wiedzę można wykorzystać do magazynowania substancji użytecznych (gazu ziemnego) w odpowiednich strukturach geologicznych, także solankowych wodach nieużytkowych, a nie tylko szcerpanych złożach węglowodorów. Zastosowanie metody CCS może być nieodwrotne w przyszłości, jeśli Polska miałaby nadal produkować znaczną większość swojej energii z paliw kopalnych, w tym zwłaszcza węgla kamiennego i brunatnego. Magazynować gaz ziemny w wybranych strukturach geologicznych można natomiast już dziś.

Przedstawione powyżej prace zostały wysoko ocenione przez Kapitułę konkursu „Innowacja roku 2013”. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy otrzymał tytuł laureata tego konkursu za projekt „Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania”.

Pragnę podziękować PGE Bełchatów S.A. za pozwolenie na prowadzenie badań naukowych w profilu otworu Kaszewy-1. Niniejsza praca została zrealizowana w ramach projektu NCN Harmonia „Zmiany paleośrodowiskowe i paleoklimatyczne w retyku i we wczesnej jurze (ok. 175–204 mln lat temu) w oparciu o nowe dane z Polski, Wielkiej Brytanii i Niemiec”. Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-012/06/M/ST10/00478.

Dziękuję również Recenzentowi za cenne uwagi dotyczące niniejszego tekstu.

LITERATURA

- BOULILA S., GALBRUN B., HURET E., HINNOV L.A., ROUGET I., GARDIN S. & BARTOLINI A., 2014 – Astronomical calibration of the Toarcian Stage: Implications for sequence stratigraphy and duration of the early Toarcian OAE. *Earth Planet. Sci. Letters*, 386: 98–111.
- BRAŃSKI P. 2010 – Kaolinite in the Early Toarcian profiles of the southern part of the Polish Basin. *Geol.Quart.*, 54: 15–24.
- DADLEZ R., 1969 – Stratygrafia liasu w Polsce zachodniej. *Pr. Inst. Geol.*, 57.
- GÓRECKI W. (red.) 2006a – Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niżu Polskim. Akad. Gór.-Hut., Kraków.
- GÓRECKI W. (red.) 2006b – Atlas zasobów geotermalnych formacji paleozoicznej na Niżu Polskim. Akad. Gór.-Hut., Kraków.
- HESELBO S.P. & PIENKOWSKI G. 2011 – Stepwise atmospheric carbon-isotope excursion during the Toarcian Oceanic Anoxic Event (Early Jurassic, Polish Basin). *Earth Planet. Sci. Letters*, 301: 365–372.
- KORTE C. & HESSELBO S.P. 2011 – Shallow-marine carbon- and oxygen-isotope and elemental records indicate icehouse-greenhouse cycles during the Early Jurassic. *Paleoceanography* 26, PA4219. <http://dx.doi.org/10.1029/2011PA002160>.
- MARCINKIEWICZ T. 1962 – Rhaetian and Lias megaspores from borehole Mechow near Kamień Pomorski and their stratigraphical value. *Pr. Inst. Geol.*, 30: 469–493.
- MARCINKIEWICZ T. 1971 – The stratigraphy of the Rhaetian and Lias in Poland based on megaspore investigations. *Pr. Inst. Geol.*, 65: 1–58.
- PIENKOWSKI G. 2004 – The epicontinental Lower Jurassic of Poland. *Pol. Geol. Inst. Spec. Papers*, 12: 1–154.
- WÓJCICKI A. 2012 – Geotermia a CCS i CCU. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 448: 239–246.
- WÓJCICKI A. (red.) 2013 – Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania. Raport końcowy oraz raport podsumowujący. Dostępne na stronie projektu: <http://skladowanie.pgi.gov.pl>.