

REKONSTRUKCJA HISTORII TERMICZNEJ ORAZ WARUNKÓW POGRZEBANIA

WSTĘP

W niniejszym rozdziale zaprezentowano wyniki rekonstrukcji historii pogrzebania oraz historii termicznej utworów z profilu otworu wiertniczego Darżlubie IG 1, reprezentującego centralną część basenu bałtyckiego (strefa wyniesienia Łeby). Głównym celem prezentowanych analiz było odtworzenie zdarzeń termicznych w basenie oraz określenie ich mechanizmów. Dotychczasowe badania struktury dojrzałości termicznej w tej części basenu bałtyckiego obejmowały przede wszystkim analizę stopnia odbicia światła macerałów wityrynitopodobnych (np. Nehring-Lefeld i in., 1997; Swadowska, Sikorska, 1998). Ponadto uzupełniająco wykonano badania pirolityczne, w szczególności oznaczenia wskaźnika Tmax.

We wcześniejszych pracach jako główny mechanizm tworzenia się obecnie obserwowanej struktury dojrzałości termicznej w basenie bałtyckim sugerowano waryscyjskie przegrzanie (Poprawa i in., 2002; Karnkowski, 2003). Proponowano również alternatywny scenariusz, przyjmujący, że nadrzędny wpływ na dojrzałość osadów w profilu basenu bałtyckiego miało adwekcyjne/konwencyjne zdarzenie termiczne, zachodzące w późnym mezozoiku (późnej kredzie?) (Poprawa, Grotek, 2005; Poprawa i in., 2010). Sugerowano również możliwość występowania podwyższonego strumienia ciepłego w basenie bałtyckim w czasie kambryjskiego ryftowania (Kosakowski i in., 1999). W niniejszym rozdziale podjęto próbę weryfikacji tych koncepcji w odniesieniu do profilu Darżlubie IG 1.

METODYKA

W rekonstrukcji historii pogrzebania oraz historii termicznej dla profilu Darżlubie IG 1 zastosowano jednowymiarowe modelowania komputerowe, kalibrowane pomiarami refleksyjności wityrynit lub macerałów wityrynitopodobnych. Do modelowań użyto danych określających historię pogrzebania, w tym stratygrafię i miąższości poszczególnych jednostek osadowego wypełnienia basenu, parametry petrofizyczne skał, współczesny reżim cieplny oraz obecną dojrzałość termiczną. Główne źródła danych stanowiły materiały publikowane oraz archiwalne, przede wszystkim zawarte w niniejszym tomie.

W procedurze modelowań dojrzałości termicznej najistotniejszymi czynnikami są historia pogrzebania oraz historia strumienia ciepłego. Na historię pogrzebania mają wpływ miąższości i stratygrafia poszczególnych jednostek osadowego wypełnienia basenu. Poszczególnym wydzieleniom stratygraficznym o różnej randze, zależnej od dostępnej rozdzielczości stratygraficznej, przyporządkowano wartości liczbowe wieku, stosując w tym celu tabelę stratygraficzną Gradsteina i in. (2004).

W modelu pogrążania uwzględniono poprawkę na dekomplekcję z zastosowaniem algorytmu Baldwina i Butlera (1985). Miąższości zerodowanych fragmentów profili rekonstruowano w procedurze modelowań dojrzałości termicznej,

tj. wyznaczano ją na podstawie ekstrapolacji trendów miąższości ze stref o lepiej zachowanych profilach.

Modelowania dojrzałości prowadzono metodą *forward*, tj. zakładano stan wyjściowy systemu oraz określony proces geologiczny, a następnie wyliczano jego skutek dla współczesnego rozkładu dojrzałości termicznej w profilu. W przypadku niezgodności między dojrzałością wyliczaną a pomierzoną procedurę powtarzano przy innych parametrach modelu, aż do osiągnięcia optymalnej kalibracji modelu.

Przewodność termiczną i pojemność cieplną dla szkieletu ziarnowego poszczególnych jednostek osadowego wypełnienia basenu wyliczano poprzez przyjęcie odpowiednich proporcji między poszczególnymi, podstawowymi składnikami litologicznymi, dla których typowe wartości obu wymienionych parametrów znajdują się w bibliotekach programu. Następnie wyliczano dla nich wartości parametrów petrofizycznych, określając średnią ważoną z poszczególnych składników. Przeprowadzone modelowania umożliwiały uwzględnienie zmian w czasie wymienionych powyżej parametrów w funkcji zmian porowatości wraz z pogrążaniem. Przyjmowane wartości parametrów przewodności termicznej i pojemności cieplnej miały wpływ na obliczane wartości współczesnego oraz paleostrumienia ciepłego.

Do wyliczenia współczesnego strumienia ciepłego wykorzystano wartości współczesnych temperatur pomierzonych w górotworze (Karwasiecka, Bruszezwska, 1997) oraz syntetyczny model przewodnictwa ciepłego. W trakcie przeprowadzonych modelowań dojrzałość termiczną wyliczano z zastosowaniem standardowego dla tej metody algorytmu Sweeneya i Burnhama (1990).

W rekonstrukcji historii termicznej uwzględniono również zmiany średniej temperatury powierzchniowej, tj. temperatu-

ry, do której cały system osadowego wypełnienia basenu był studzony. W przypadku osadów kontynentalnych ustalono je na podstawie odtworzonej historii klimatu, natomiast w przypadku osadów morskich stanowiły je temperatury na dnie zbiornika. Długookresowe, średnie temperatury powierzchniowe odtworzono poprzez nałożenie zmian szerokości geograficznej europejskiej płyty litosferycznej w czasie na globalne zmiany klimatyczne (Wygrala, 1989).

HISTORIA TERMICZNA I HISTORIA POGRZEBANIA

Z uwagi na brak termogramu otworowego obliczenia gęstości współczesnego, powierzchniowego strumienia ciepłego wykonano na podstawie wartości temperatur odczytanych dla lokalizacji otworu wiertniczego Darżlubie IG 1 z map współczesnych temperatur powierzchniach ścież poziomych (Karwasiecka, Bruszezwska, 1997). Z uwagi na to, że nie dysponowano laboratoryjnymi pomiarami przewodnictwa ciepłego skał, przyjmowano je w modelu dla poszczególnych typów litologicznych według danych z biblioteki programu. Obliczona wielkość współczesnego strumienia ciepłego wynosi 38 mW/m^2 .

Historia pogrzebania w profilu Darżlubie IG 1 charakteryzuje się obecnością szeregu faz szybkiego pogrzebania, oddzielonych fazami stagnacji bądź okresami wypiętrzania tektonicznego (fig. 49). Kambryjsko-środkowoordowicki etap syn- i poryftowego rozwoju basenu, związany głównie z sub-

sydencją termiczną, doprowadził do powstania pokrywy osadowej o miąższości blisko 800 m. Na etapie rozwoju zapadliśka przedgórskiego kaledonidów, a zwłaszcza w późnym sylurze, miała miejsce faza bardzo gwałtownego pogrzebania. Miąższość pokrywy osadowej wynosiła wówczas ok. 3000 m. We wczesnym dewonie zachodziło tektoniczne wypiętrzanie (fig. 49), przypuszczalnie związane z pokolizyjnym efektem izostatycznym, które doprowadziło do usunięcia stropowej części utworów syluru górnego.

Na podstawie regionalnego modelu paleogeograficznego, bazującego na profilach ze strefy Pomorza Zachodniego oraz ze wschodniej części basenu bałtyckiego (Matyja, 2006) można zakładać, że w środkowym i późnym dewonie oraz we wczesnym karbonie w centralnej części basenu bałtyckiego zachodziło dalsze pogrzebanie (fig. 49). Zakończyło się ono powaryscyjską fazą wypiętrzania i erozji w późnym karbonie i wczesnym permie.

Począwszy od późnego permu (okres depozycji utworów cechsztynu) miał miejsce kolejny etap szybkiego pogrzebania, kontynuującego się do wczesnego triasu (fig. 49). W pozostałej części mezozoiku zachodziło powolne pogrzebanie, przedzielane długimi okresami stagnacji. Strefa w której jest zlokalizowany otwór wiertniczy Darżlubie IG 1 uległa umiarkowanemu wypiętrzaniu tektonicznemu i erozji w na przełomie kredy i paleogenu.

Okres maksymalnego pogrzebania w profilu Darżlubie IG 1 jest trudny do ustalenia. Zależnie od trudnych do zweryfikowania założeń co do miąższości zerodowanych osadów mógł on mieć miejsce we wczesnym karbonie bądź w późnej kredzie (fig. 49).

Bazę analityczną do kalibracji modelowań historii termicznej profilu Darżlubie IG 1 stanowi 15 pomiarów R_o , obejmujących odcinek profilu o długości blisko 2500 m (fig. 50). Ograniczenie dla modelowań stanowi to, że pomiary dojrzałości termicznej dla profilu Darżlubie IG 1 są dostępne jedynie dla utworów dolnego paleozoiku. Brak danych do kalibracji modelowań dla utworów permsko-mezozoicznego nadkładu istotnie utrudnia rozstrzygnięcie alter-

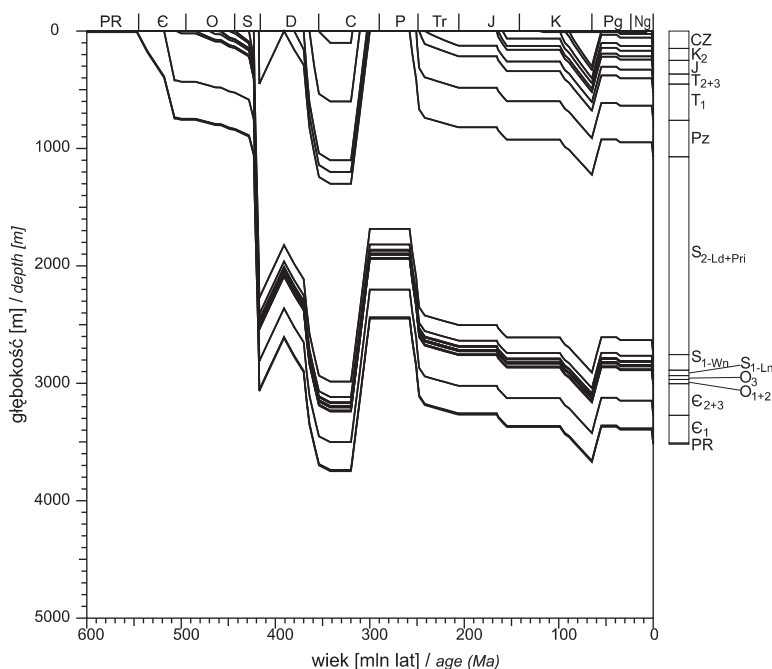


Fig. 49. Historia pogrzebania utworów w profilu Darżlubie IG 1

Burial history for Darżlubie IG 1 well section

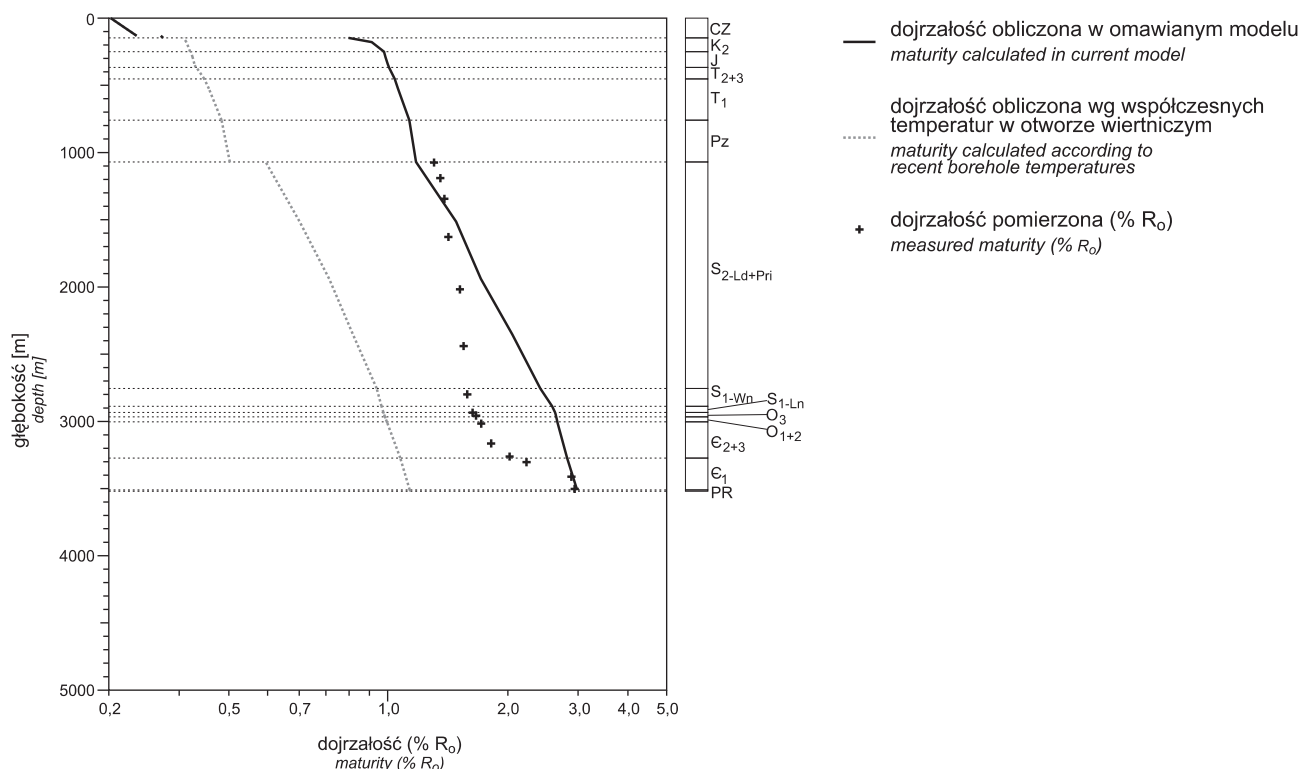


Fig. 50. Kalibracja analizowanego modelu historii termicznej pomiarami dojrzałości termicznej

Calibration of the analyzed model with measurements of thermal maturity

natywy między waryscyjskim a mezozoicznym czasem ukształtowania się dojrzałości termicznej.

Omawiany profil dojrzałości termicznej jest złożony i trudny do interpretacji. Pomiary R_o w obrębie górnej części kompleksu dolnopaleozoicznego (sylur górny) tworzą subwertykalny trend, trudny do odtworzenia w modelu komputerowym (fig. 50). Pomiary R_o w obrębie dolnej części tego kompleksu cechują się z kolei bardzo wysokim gradientem dojrzałości. Odnosząc to do typów profili dojrzałości, obserwowanych w innych otworach na analizowanym obszarze, można jednak sugerować, że reprezentatywny trend dojrzałości tych utworów wyznacza ekstrapolacja pomiarów między stropem utworów syluru a utworami kambru. W efekcie można stwierdzić występowanie odcinka profilu o wyraźnie obniżonych wartościach dojrzałości termicznej w stosunku do głównego trendu (fig. 50). Zjawisko to opisywano także dla innych profili w basenie bałtyckim (Poprawa, Grotek, 2005; Poprawa, 2007; Poprawa i in., 2010).

Obecność odcinka profilu o obniżonych wartościach dojrzałości termicznej w stosunku do głównego trendu zinterpretowano jako efekt rozwijania się dojrzałości termicznej w reżimie nadciśnień (Poprawa, Grotek, 2005). Nadciśnienia należy wiązać z bardzo gwałtownym deponowaniem ilasto-mułowcowego kompleksu utworów sylurskich oraz ich mechaniczną kompaktacją i/lub generowaniem węglowodorów z potencjalnie macierzystych utworów ordowiku górnego i syluru.

Stwierdzono, że współczesne temperatury w otworze wiertniczym są odpowiednikami znacznie niższych wartości dojrzałości termicznej, niż wartości pomierzone (fig. 50), co wskazuje na obecność w omawianym profilu zdarzenia termicznego i/lub fazy gwałtownego wypiętrzania i erozji. Jeśli założyć, że podwyższone wartości dojrzałości termicznej w profilu są wynikiem wypiętrzania, to dla prawidłowej kalibracji modelu konieczne jest przyjęcie, że w dewonie i karbonie zostało zdeponowane w warunkach strumienia ciepłego równego współczesnemu ok. 4500 m osadów, które następnie zostały erozyjnie usunięte przed późnym permem. W świetle regionalnej wiedzy takie założenie wydaje się być nierealistyczne.

Alternatywnie zaproponować można model przyjmujący, że dojrzałość utworów dolnopaleozoicznych nastąpiła w późnym mezozoiku (późnej kredzie?). Aby odtworzyć w modelu zakres pomierzonych wartości dojrzałości konieczne jest przyjęcie dostawy do profilu dodatkowej energii cieplnej w obrębie mezozoicznego nadkładu. Przyjmując, że dodatkowe źródło ciepła znajdowało się w obrębie kompleksu utworów górnokredowych, w modelu należy przyjąć generowanie w jego obrębie ok. 5200 mJ/m^3 . Dostawa dodatkowej energii cieplnej zachodziła by wtedy w warunkach strumienia ciepłego równego współczesnemu, co wynika z tego, że pomimo różnic między pomierzonymi wartościami dojrzałości termicznej oraz jej syntetycznymi wartościami wynikającymi ze współczesnych temperatur w otworze, gradienty dojrzałości termicznej w obu przypadkach są zbliżone.

WNIOSKI

1. Profil dojrzałości termicznej w otworze wiertniczym Darżlubie IG 1 odzwierciedla wpływ mezozoicznego (prawdopodobnie późnokredowego) zdarzenia termicznego. Charakteryzowało się ono dodatkową produkcją energii cieplnej w obrębie kompleksu górnokredowego w wysokości ok. 5200 mW/m^3 w warunkach strumienia cieplnego. W takim modelu profil dojrzałości termicznej nie zapisuje starszych zdarzeń termicznych.

2. Alternatywny model, osiągnięcie pomierzonej dojrzałości termicznej w czasie karbońskiego pogrzebania, uznano

za nierealistyczny z uwagi na konieczność przyjęcia miąższości zerodowanych utworów dewonu i karbonu wynoszącej 4500 m.

3. Odcinek profilu dojrzałości termicznej, obejmujący utwory od kambru środkowego do ludlowu dolnego, cechuje występowanie wartości R_o obniżonych w stosunku do ogólnego profilu, które nadają mu charakterystykę typową dla dojrzałości rozwijającej się w reżimie nadciśnień.