

ANALIZA HISTORII TERMICZNEJ, WARUNKÓW POGRZEBANIA ORAZ HISTORII GENEROWANIA I EKSPULSJI WĘGLOWODORÓW

Niniejszy rozdział prezentuje wyniki analizy fanerozoicznej historii termicznej dla profilu otworu Słupsk IG 1. Zasadniczym celem przeprowadzonych badań była rekonstrukcja zmian strumienia ciepłego w czasie, określenie mechanizmów zmian reżimu termicznego oraz mechanizmów dojrzewania materii organicznej, określenie warunków pogrzebania, a także określenie relacji procesów termicznych w obrębie osadowej pokrywy do zdarzeń tektonicznych.

Badania struktury dojrzałości termicznej basenu bałtyckiego koncentrowały się na analizach stopnia odbicia światła macerałów wityrynitopodobnych (np. Nehring-Lefeld i in., 1997; Swadowska, Sikorska, 1998). Ponadto uzupełniająco wykonano badania pirolityczne, w szczególności oznaczenia wskaźnika T_{max} .

Nie w pełni reprezentatywna baza analityczna pomiarów dojrzałości termicznej powodowała ograniczenia dla dotychczasowych modelowań historii termicznej (np. Kosakowski i in., 1999; Poprawa i in., 2002; Karnkowski, 2003). W odniesieniu do basenu bałtyckiego sugerowano, że zasadniczym zdarzeniem w jego ewolucji termicznej było waryscyjskie przegrzanie (Poprawa i in., 2002; Karnkowski, 2003). Wskazywano również na możliwość występowania podwyższonego strumienia ciepłego w czasie kambryjskiego ryftowania (Kosakowski i in., 1999). Podjęto więc próbę weryfikacji tych koncepcji, którą uzasadnia powstanie nowej, szerszej bazy danych charakteryzujących dojrzałość termiczną osadowego wypełnienia basenu, tj. danych kalibrujących komputerowe modele.

METODYKA

Rekonstrukcję historii termicznej i warunków pogrzebania przeprowadzono przy użyciu techniki jednowymiarowych modelowań komputerowych, kalibrowanych pomiarami refleksyjności wityrynytu lub macerałów wityrynitopodobnych. Do modelowań użyto danych określających historię pograżania, 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.

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

W modelu pograżania uwzględniono poprawkę na dekompleksję z zastosowaniem algorytmu Baldwina i Butlera (1985). Porównawczo prowadzono analizy z zastosowaniem alternatywnego algorytmu wg Sclatera i Christiego (1980) oraz Falveya i Middletona (1981) wykazując, że różnice wyników modelowań przy użyciu poszczególnych algorytmów są znikome. Miąższości zerodowanych fragmentów profilu rekonstruowano w procedurze modelowań dojrzałości termicznej,

tj. wyznaczano ją na podstawie ekstrapolacji trendu dojrzałości termicznej do wartości powierzchniowych.

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. W procedurze modelowań szczególną uwagę poświęcano problemowi unikalności modelu, tj. analizowano alternatywne modele o analogicznej lub zbliżonej jakości kalibracji.

Jednymi z istotnych parametrów wykonanych modelowań termicznych były przewodność termiczna i pojemność cieplna poszczególnych jednostek osadowego wypełnienia basenu. Dla celów niniejszej pracy przewodność termiczną i pojemność cieplną przyjmowano dla szkieletu ziarnowego, według publikowanych wartości typowych dla poszczególnych typów litologicznych. Dla każdej jednostki osadowego wypełnienia basenu tworzono w bibliotece programu nowe wydzielenie litologiczne, poprzez przyjęcie odpowiednich proporcji między poszczególnymi składnikami. 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 pograżaniem.

Przyjmowane wartości parametrów przewodności termicznej i pojemności cieplnej miały istotny wpływ na wyliczanych wartości współczesnego oraz paleostrumienia cieplnego. Do wyliczenia współczesnego strumienia cieplnego wykorzystano termogramy otworowe. W trakcie przeprowadzonych modeli 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. temperatury,

do których cały system osadowego wypełnienia basenu był studzony (por. Szewczyk, 2002). 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

Obliczenia gęstości współczesnego, powierzchniowego strumienia cieplnego wykonano na podstawie termogramu otworowego. Ponieważ nie dysponowano laboratoryjnymi pomiarami przewodnictwa cieplnego skał, przyjmowano je w modelu, dla poszczególnych typów litologicznych, według danych z biblioteki programu. Obliczona wielkość współczesnego strumienia cieplnego wynosi 54 mW/m^2 .

Kalibracja modelu historii termicznej oparta jest w tym przypadku na obszernej bazie analitycznej, na którą składa się 25 pomiarów R_0 oraz 4 oznaczenia pizolitycznego wskaźnika T_{max} . Pomiary te obejmują wyjątkowo długi odcinek prawie 4500 m profilu, w tym zarówno utwory permsko-mezozoicznego nadkładu, jak i utwory dolnego paleozoiku. Profil dojrzałości termicznej dla otworu Słupsk IG 1 jest wyjątkowo złożony i trudny w interpretacji, gdyż cechuje go występowanie aż pięciu odcinków profilu wyraźnie różniących się gradientami przyrostu dojrzałości z głębokością.

Pomiary R_0 w obrębie kompleksu permsko-mezozoicznego układają się w subwertykalny trend, trudny do odtworzenia w modelu komputerowym. Jednakże część z danych, do których kalibrowano model cechuje się obniżoną wiarygodnością z uwagi na niekorzystne wykształcenie facjalne. Dotyczy to danych R_0 dla kredy piszącej i dla kontynentalnych osadów triasu. Kalibrując model jedynie danymi R_0 dla cechsztynu otrzymuje się mezozoiczny strumień cieplny silnie podwyższony do około 100 mW/m^2 (fig. 35).

Profil dojrzałości termicznej w obrębie utworów dolnopaleozoicznych jest bardzo złożony. Odnosząc go do typów profili dojrzałości, obserwowanych w pozostałych otworach w analizowanym obszarze, sugerować można jednak, że zasadniczy trend dojrzałości tych utworów reprezentuje ekstrapolacja pomiarów między odcinkiem obejmującym najwyższy ludlow oraz kambr i ordowik (fig. 36 A). Odcinek profilu dojrzałości obejmujący niższą część utworów ludlowu oraz wenlok posiada charakterystykę dojrzałości rozwijającej się w reżimie nacisków (Poprawa, Grotek, 2005). Naciski należy wiązać z bardzo gwałtownym deponowaniem ilasto-mułowcowego kompleksu utworów sylurskich oraz ich mechaniczną kompaktacją.

Przyjmując powyższe rozumowanie do kalibracji modelu historii termicznej wykorzystano pomiary R_0 dla utworów ludlowu oraz kambru i ordowiku. W takim przypadku wyliczony strumień cieplny z okresu maksymalnego warycyjskiego pograżenia wynosi około 70 mW/m^2 (fig. 35). Miąższość ero-

zyjnie usuniętych utworów paleozoicznych określić można w takim modelu na około 2000–2500 m.

Pomiary refleksyjności wityryny dla otworu Słupsk IG 1 pozwala jednak na sformułowanie alternatywnej hipotezy co do wieku i mechanizmów zdarzeń termicznych, odzwierciedlających się w profilu dojrzałości termicznej. Jeśli nie uwzględniać wspomnianej powyżej anomalii obniżonej dojrzałości termicznej w obrębie niższej części utworów ludlowu oraz utworach wenloku, to można uznać, że pomiary refleksyjności wityryny w obrębie osadów mezozoicznych i paleozoicznych tworzą wspólnie spójny profil o stosunkowo wysokim gradiencie dojrzałości. Wskazuje na to również brak wyraźnej niezgodności w obrębie profilu dojrzałości termicznej przy przejściu od utworów sylurskich do permsko-mezozoicznych.

Biorąc powyższe pod uwagę zaproponować można model przyjmujący, że dojrzałość utworów dolnopaleozoicznych

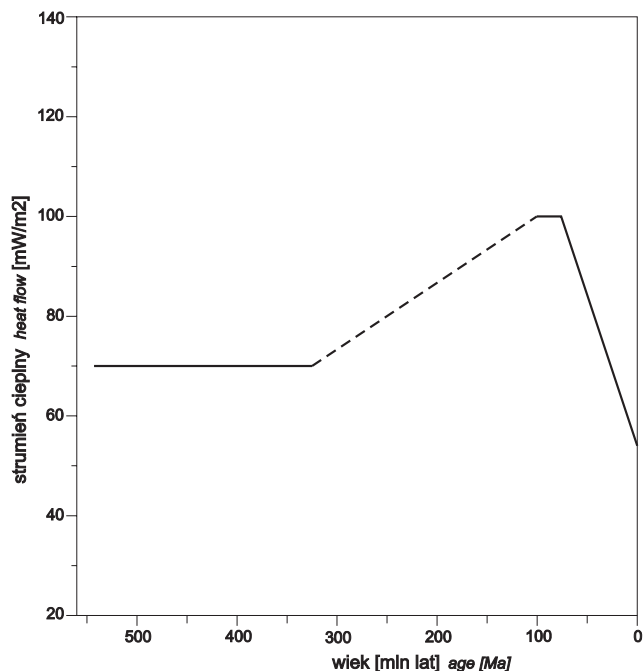


Fig. 35. Wykres zmian powierzchniowego strumienia cieplnego w czasie, założonych w analizowanym modelu

Changes of surface heat flow with time, assumed in the analyzed model

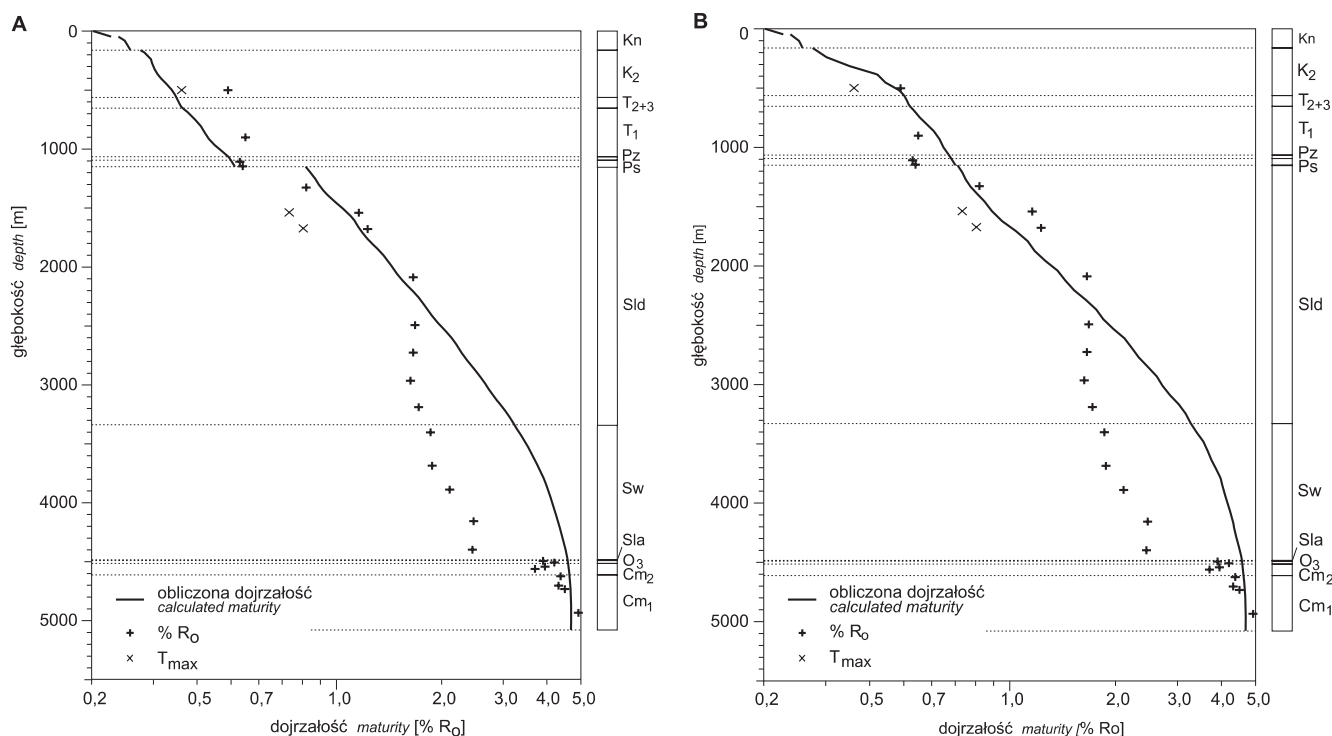


Fig. 36. Kalibracja analizowanych modeli historii termicznej pomiarami dojrzałości termicznej: **A** – model przyjmujący warwyscyjskie pogrzebanie pod nakładem 2000–2500 metrów osadów, w warunkach strumienia ciepłego w wysokości około 70 mW/m²; **B** – model przyjmujący mezozoiczne przegrzanie w warunkach strumienia ciepłego wynoszącego około 90 mW/m² oraz dodatkowej produkcji energii cieplnej w obrębie kompleksu mezozoicznego w wysokości około 500 µW/m³

Calibration of the analyzed models with measurements of thermal maturity: **A** – model assuming Variscan burial beneath 2000–2500 meters of sediments, accompanied by heat flow equal to 70 mW/m²; **B** – model assuming Mesozoic heating by heat flow elevated to 90 mW/m², as well as by additional heat production within Mesozoic complex equal roughly to 500 µW/m³

utworzyła się w mezozoiku (fig. 36 B). Wysoki gradient dojrzałości powoduje, że odtworzony paleostrumień ciepły jest w takim modelu stosunkowo wysoki i wynosi około 90 mW/m². Aby odtworzyć w modelu zakres pomierzonych dojrzałości konieczne jest przyjęcie dodatkowego źródła energii cieplnej w obrębie mezozoicznego nakładu. Przyjmując, że to źródło ciepła znajdowało się w obrębie kompleksu utworów górnokredowych, w modelu należy przyjąć generowanie w jego obrębie około 500 µW/m³.

Z powyższych badań wynikają następujące wnioski:

1. Profil dojrzałości termicznej w obrębie utworów mezozoicznych stanowi zapis mezozoicznego, prawdopodobnie późnokredowego zdarzenia termicznego. Charakteryzowało się ono paleogradientem termicznym w obrębie basenu, który

był ekwiwalentem strumienia ciepłego rzędu 90 mW/m² oraz dodatkową produkcją energii cieplnej w obrębie kompleksu mezozoicznego w wysokości około 500 µW/m³. W takim modelu profil dojrzałości termicznej nie zapisuje starszych zdarzeń termicznych.

2. Alternatywny model, przyjmujący obniżoną wiarygodność wysokich wartości pomierzonej refleksyjności wityryny w obrębie utworów mezozoicznych, pozwala sugerować, że dojrzałość utworów dolnopaleozoicznych ukształtowała się w czasie warwyscyjskiego pogrzebania pod nakładem 2000–2500 metrów osadów, następnie usuniętych erozyjnie w warunkach strumienia ciepłego w wysokości około 70 mW/m².

3. Odcinek profilu dojrzałości obejmujący niższą część utworów ludlowu oraz wenlok cechuje występowanie wartości R_o obniżonych w stosunku do ogólnego profilu, które nadają mu charakterystykę typową dla dojrzałości rozwijającej się w reżimie naciśnięć.