

MODELOWANIE HISTORII TERMICZNEJ I WARUNKÓW POGRZEBANIA

METODY BADAŃ

Modelowanie historii termicznej i warunków pogrzebania dla otworu Brojce IG 1 zostało przeprowadzone przy użyciu oprogramowania Petromod na licencji firmy Schlumberger. Jednowymiarowy model otworu został zbudowany w oparciu o zestaw kluczowych podstawowych danych wejściowych, niezbędnych do prawidłowego zbudowania i funkcjonowania modelu. Do grupy tych danych należą dane stratygraficzne, litologiczne, wielkości erozji wraz z ich ramami czasowymi, dane paleogeograficzne, paleobatymetryczne oraz współczesnego przepływu ciepła i paleo-przepływu ciepła. Innymi istotnymi danymi, które są potrzebne do uruchomienia i poprawnej kalibracji modelu są dane dystrybucji współczesnych temperatur w otworze wiertniczym oraz dane dojrzałości materii organicznej zazwyczaj wyrażane jako refleksyjność witrinitu lub refleksyjność materii witrinitopodobnej. Wydzielonym na potrzeby modelu jednostkom stratygraficznym przypisano głębokości stropu i spągu, jak i wynikające z tej relacji miąższości oraz wiek liczbowy, który mapowany jest domyślnie w oprogramowaniu na międzynarodową tabelę stratygraficzną z roku 2008.

Model skalibrowano do dwóch typów danych kalibracyjnych, tj. współczesnych temperatur w otworze wiertniczym oraz refleksyjności witrinitu. Współczesny reżim cieplny, jak i rozkład współczesnych temperatur zostały odczytane z map gęstości strumienia cieplnego i map rozkładu

temperatur na różnych głębokościach (Górecki, 2006), co przyczyniło się do pokrycia całego profilu otworu wynikami temperatur aż do spągu otworu włącznie. Z kolei, dane refleksyjności witrinitu (Grotek w: Żelichowski i in, 1986; Nowak, 2024) przynależały stratygraficznie do interwałów dewonu środkowego i górnego oraz jury dolnej i środkowej, nie pokrywając tym samym równomiernie profilu otworu. Niestety, ze względu na brak danych refleksyjności na odcinku profilu od permu dolnego do retyku włącznie (ok. 2600 m profilu), krzywa kalibracyjna dla wymienionego odcinka profilu nie została dowiązana do pomierzonych laboratoryjnie danych refleksyjności.

Dane dojrzałości termicznej (refleksyjności) dowiązano do profilu otworu algorytmem Sweeney'a i Burnham'a (1990) domyślnie zaimplementowanym w bibliotece programu. Ramy czasowe luk stratygraficznych i zdarzeń erozyjnych zostały odczytane z profilu otworu, natomiast skala zerodowanych utworów została zrekonstruowana na podstawie analizy obszarów o pełniej zachowanych profilach. Proces kalibracji modelu do rzeczywistych danych uzyskanych w trakcie pomiarów również odegrał istotną rolę w procesie rekonstrukcji miąższości zerodowanych osadów. Średnia temperatura powierzchni ziemi została zastosowana automatycznie przez bibliotekę programu na podstawie danych opublikowanych w pracy Wygrali (1989).

WYNIKI

Historia pogrzebania dla otworu Brojce IG 1 została zrekonstruowana na jednowymiarowym modelu, który zobrazował główne wydarzenia natury tektonicznej i termicznej dla przedstawionego profilu otworu (fig. 39). W celu kalibracji modelu użyto dwóch rodzajów danych, tj. zestawu 6 wartości współczesnych temperatur w otworze wiertniczym Brojce IG 1 odczytanych z map rozkładu temperatur na różnych głębokościach (Górecki, 2006) oraz zestawu 24 pomiarów refleksyjności witrinitu (Grotek w: Żelichow-

ski i in, 1986; Nowak, 2024). Dane kalibracyjne współczesnych temperatur pokryły równomiernie cały profil otworu, natomiast dane refleksyjności zostały zmierzone wyłącznie na dewońskim i jurajskim interwale stratygraficznym pokrywając nierównomiernie profil otworu wiertniczego (fig. 40). Gęstość współczesnego strumienia cieplnego odczytano z mapy rozkładu gęstości ziemskiego strumienia cieplnego na niżu polskim (Górecki, 2006), na podstawie którego przyjęto wartości rzędu 45–55 mW/m². Dane prze-

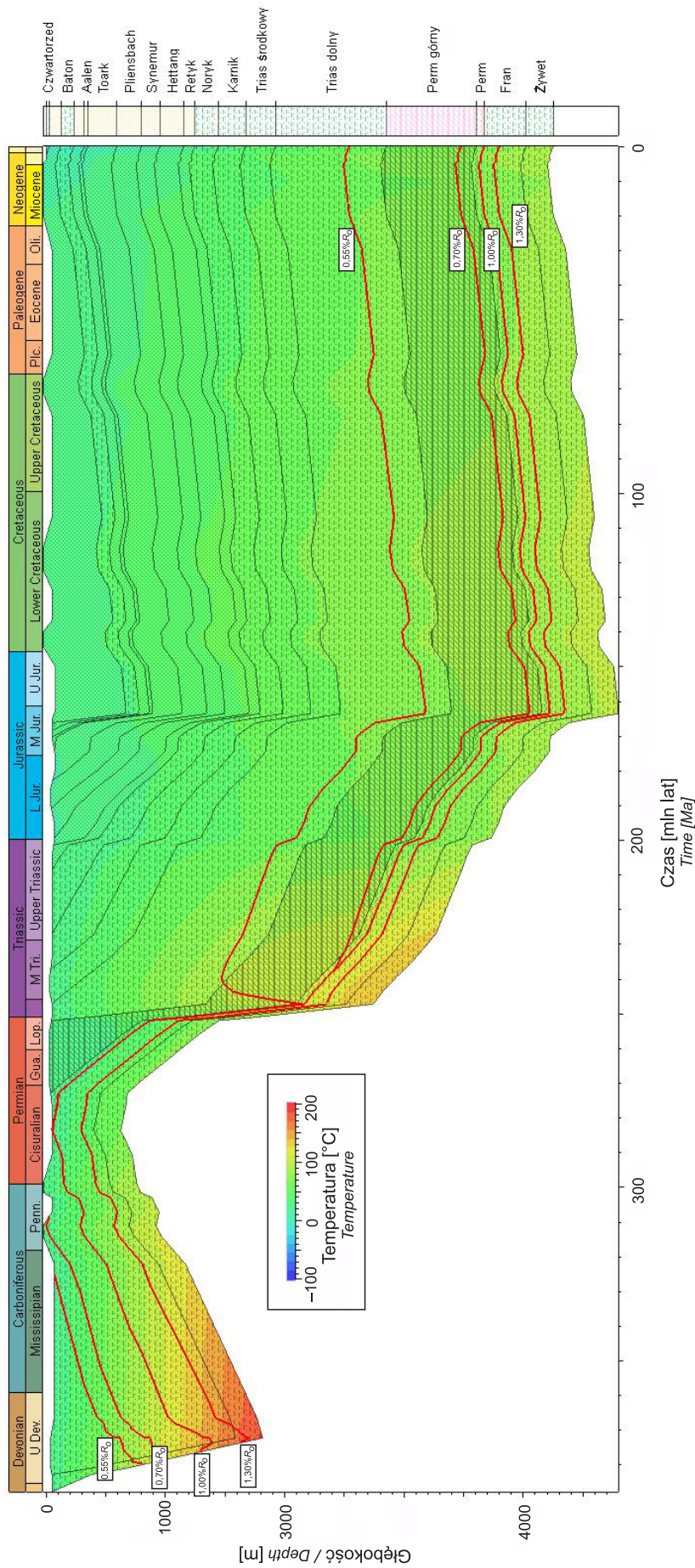


Fig. 39. Historia pogrzebania dla otworu Brojce IG 1

Burial history plot of the Brojce IG 1 borehole

wodnictwa cieplnego skał dowiązano do profilu otworu algorytmem Cermaka i in. (1982) oraz Waplesa i Tiersgaarda (2002) domyślnie implementowanym z biblioteki programu.

W profilu otworu rozpoznano dwie duże luki stratygraficzne przynależne kolejno do famenu–gżelu oraz oksfordu–pliocenu. Na podstawie zastosowania ekstrapolacji modelowanego profilu do najbliższych otworów wiertniczych, gdzie nie odnotowano erozji wśród określonych jednostek stratygraficznych, uznano, iż wydarzenia erozyjne przynależne do wymienionych luk były wydarzeniami dużej skali. W przypadku wydarzenia erozyjnego famen–gżel rozpoznano, iż prawdopodobne wartości erozji mieszczą się w przedziale wartości od 1200 do 2500 m. Z kolei, rozmiar wydarzenia erozyjnego oksford–pliocen oszacowano w zakresie wartości od 1300 do 1800 m. W niniejszym rozdziale opisano scenariusz najmniejszych wartości zdarzeń erozyjnych, tj. 1200 m dla starszego oraz 1300 m dla młodszego stratygraficznie zdarzenia erozyjnego.

Najstarszymi przewierconymi skałami osadowymi w profilu otworu Brojce IG 1 są skały dewonu środkowego, tj. żywetu, których litosom nie został w pełni przewiercony. W konsekwencji, historia pogrzebienia w otworze Brojce IG 1 zamyka się w ramach czasowych od żywetu włącznie do czwartorzędu z dwiema wielkiej skali lukami erozyjnymi. W tej skali czasu w otworze wyróżniono trzy fazy szybkiego pogrzebienia, dwie fazy nieco wolniejszego pogrzebienia oraz po jednej fazie szybkiego i wolnego wypiętrzania.

Profil otworu rozpoczął się okresem bardzo szybkiego pogrzebienia, które czasowo zamknęło się w przedziale dewonu środkowego i późnego, tj. od żywetu do późnego franu włącznie. W tym okresie deponowane były utwory o wybitnie drobnoklastycznym charakterze wyraźnie wzbogaczone w węglany. Miąższość tych utworów w profilu otworu wynosi niecałe 600 m i wartość ta nie oddaje w pełni prawdziwej miąższości tych jednostek stratygraficznych. Powodem takiego stanu rzeczy jest niepełne przewiercenie żywetu oraz odgórna erozja franu. W tej szybkiej fazie subsydenacji podłoża i pogrzebienia spągi utworów żywetu i franu zostały pogrzebane do głębokości, odpowiednio ok. 1700 i 1500 m, którym towarzyszyły temperatury, odpowiednio ok. 180°C i 160°C. Na przestrzeni ok. 14 mln lat od momentu początku subsydenacji w profilu otworu Brojce IG 1 utwory żywetu i franu zdążyły wejść kolejno do stref górnego, głównego i dolnego okna ropnego oraz kondensatu (tylko żywet; fig. 39).

Na przelomie franu i famenu miała miejsce wyraźna inwersja tektoniczna dużej skali, która przyczyniła się do silnego wypiętrzania podłoża i zdeponowanych utworów osadowych franu oraz ich silnej późniejszej erozji. Faza wypiętrzania zakończyła się mniej więcej w połowie wczesnego permu i wraz z początkiem późnej części wczesnego permu miała miejsce kolejna bardzo długa faza subsydenacji podłoża trwająca aż do późnej jury środkowej (późnego keloweju włącznie). Fazę tę charakteryzują dwie fazy relatywnie wolniejszej i dwie bardzo szybkiej subsydenacji. Fazy wolniejsze odnotowano na przestrzeni od późnego wczesnego permu do późnego permu oraz od wczesnego środkowego triasu do wczesnej jury środkowej (do późnego aalenu

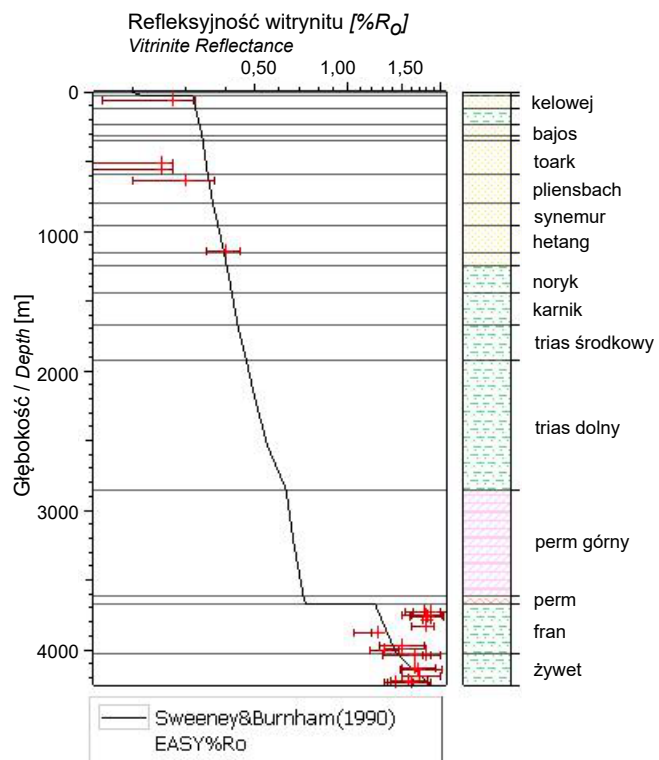


Fig. 40. Dojrzałość termiczna (refleksyjność) wityritu w otworze Brojce IG 1 wyliczona algorytmem Sweeney i Burnham (1990)

Thermal maturity (reflectivity) of vitrinite in the Brojce IG 1 borehole calculated using the Sweeney and Burnham (1990) algorithm

włącznie). Z kolei fazy szybkiego pogrzebienia zostały przypisane stratygraficznie do całego wczesnego triasu oraz do jury środkowej (bajos–kelowej).

Wraz z początkiem późnego wczesnego permu nastąpiła początkowo wolna, następnie znacznie szybsza (cały późny perm), a następnie bardzo szybka (trias wczesny) faza subsydenacji podłoża i pogrzebienia, która pogrzebała spągi utworów żywetu i franu do głębokości, odpowiednio ok. 2700 i 2500 m. Wymienionym głębokościom towarzyszyły temperatury w zakresie 125–140°C. Z kolei, spągi utworów permu górnego oraz triasu dolnego zostały w tym okresie pogrzebane do głębokości, odpowiednio ok. 2100 i 1300 m, którym towarzyszyły temperatury, odpowiednio ok. 105 i 90°C. Wczesny trias był okresem, w którym utwory permu dolnego i górnego weszły do strefy górnego okna ropnego. Na szczególną uwagę zasługują wyróżniające się w profilu otworu miąższości utworów permu górnego oraz triasu dolnego wynoszące kolejno ok. 750 oraz 920 m.

Z początkiem triasu środkowego tempo subsydenacji zmniejszyło się i w przybliżeniu w takiej skali utrzymywało się do środkowej jury, tj. późnego aalenu włącznie, po czym we wczesnym bajosie ponownie gwałtownie przyspieszyło trwając do późnego keloweju włącznie. W tym okresie spągi utworów żywetu i franu zostały pogrzebane do głębokości, odpowiednio ok. 4700 i 4500 m. Z kolei, spągi utworów permu i triasu dolnego zostały pogrzebane do

głębokości, odpowiednio ok. 4100 oraz 3300 m (fig. 39). W tej fazie subsydencji, do strefy dojrzałości termicznej górnego okna ropnego weszły przyspągowe partie utworów triasu dolnego oraz większość utworów permu. Z kolei, strefa głównego okna ropnego objęła przyspągowe partie permu górnego oraz cały perm dolny. Trias środkowy i późny oraz jura wczesna również były okresami, w których wymienione jednostki stratygraficzne uzyskały sumarycznie wyróżniające się znaczne miąższości wynoszące, odpowiednio ok. 760 m dla triasu środkowego i górnego oraz ok. 800 m dla jury wczesnej.

W najwyższym keloweju w profilu otworu Brojce IG 1 odnotowano zapoczątkowanie ruchów wypiętrzających o małej skali i łagodnym przebiegu, które konsekwentnie trwały do pliocenu włącznie. Efektem tych ruchów wznoszących było zapoczątkowanie wydarzeń erozyjnych i powstanie wielkoskalowej luki stratygraficznej późna jura–neogen (oksford–pliocen). Granice większości jednostek stratygraficznych w profilu otworu przemieściły się w tym okresie w pionie maksymalnie o ok. 500 m.