

Ireneusz DYRKA

## ANALIZA TEMPA DEPOZYCJI ORAZ MODELOWANIE HISTORII TERMICZNEJ I WARUNKÓW POGRZEBANIA METODY BADAŃ

Dla profilu otworu wiertniczego Ruptawa IG 1 przeprowadzono analizę tempa depozycji materiału osadowego oraz modelowania historii termicznej i warunków pogrzebania. Modelowania w wariacie jednowymiarowym (1D) wykonano za pomocą programu PetroMod 1-D firmy Schlumberger. Modelowania wykonano na podstawie takich danych wejściowych jak: stratygrafia, litologia, miąższość jednostek wydzielonych w profilu oraz parametry petrofizyczne skał. Każdej jednostce stratygraficznej przypisano wiek liczbowy na podstawie tabeli stratygraficznej Polski (Wagner, 2008). Modelowania przeprowadzono metodą wprost (ang. *forward modelling*), w której założono stan wyjściowy systemu oraz określony proces, a następnie wyliczono jego skutek dla współczesnego rozkładu stopnia dojrzałości termicznej w profilu otworu. W przypadku niezgodności pomiędzy dojrzałością obliczoną a pomierzoną w profilu otworu, procedura była powtarzana aż do optymalnej kalibracji modelu. Analizowano również alternatywne modele o podobnej kalibracji. Dojrzałość termiczną materii organicznej w przypadku pomiarów  $R_o$  obliczono za pomocą algorytmu opracowanego przez Sweeney i Burnhama (1990), natomiast w przypadku pomiarów  $T_{max}$  na podstawie algorytmu Behar i in. (1997). W rekonstrukcji historii pograżania zastosowano poprawkę na dekompleksję. W procedurze dekompleksji uwzględniono takie parametry

petrofizyczne skał jak współczynniki kompaktacji i porowatości pierwotne utworów. Parametry te przyjmowano dla poszczególnych typów litologicznych w miarę dostępnych danych publikowanych lub z biblioteki programu. W procedurze odtwarzania historii termicznej i warunków pogrzebania rekonstruowano miąższość zerodowanego fragmentu profilu litostratygraficznego w postaci utworów karbonu (westfalu i stefanu). Miąższość zerodowanych utworów określono na podstawie kalibracji profili dojrzałości termicznej, pomierzonej i obliczonej. Kalibrację modeli historii termicznej przeprowadzono zarówno na podstawie średniej wartości refleksyjności wityryny i macerałów wityrynotopodobnych (%  $R_o$ ) (Jurczak-Drabek – ten tom), jak również przy użyciu danych z wartościami  $T_{maks}$  pomierzonymi podczas analizy Rock-Eval (Janas – ten tom). Wszystkie pomiary  $R_o$  i  $T_{maks}$  wykonano dla profilu utworów karbonu. W modelowaniach uwzględniono dane charakteryzujące współczesny reżim cieplny (Plewa, 1994; Karwasiecka, Bruszevska, 1997; Szewczyk, Gientka, 2009), tj. pomiary temperatury w otworach wiertniczych, przewodności cieplnej szkieletu ziarnowego oraz pomiary gęstości powierzchniowego strumienia cieplnego. Ponadto, w modelowaniach uwzględniono zmiany średniej temperatury powierzchniowej w historii geologicznej basenu (Wygrala, 1989), której wartości znajdowały się w bibliotece programu.

## WYNIKI

Otwór wiertniczy Ruptawa IG 1 znajduje się w południowo-zachodniej części GZW na obszarze karbońskiego basenu morawsko-śląskiego. Basen ten rozwinął się na przedpolu waryscyjskiej strefy ruchów orogenicznych, stanowiąc zapadlisko przedgórskie. Dla obszaru GZW zostało wykonanych kilka analiz subsydencji i tempa depozycji materiału osadowego oraz modelowania historii ter-

micznej i warunków pogrzebania przez: Kosakowskiego i in. (1995), Poprawę i Bułę (2006), Poprawę i in. (2006). Ponadto, rekonstrukcji historii termicznej i wielkości pogrzebania dla basenu morawsko-śląskiego w strefie GZW podjęli się w swoich pracach: Belka (1993), Środoń (1995), Karwasiecka (1999), Kotas (2001), Botor i in. (2003), Botor (2014).

## ANALIZA TEMPA DEPOZYCJI

Profil Ruptawa IG 1 jest reprezentowany przez utwory karbonu (namur A i namur B), miocenu oraz czwartorzędu. Utwory karbonu podzielono (idąc od dołu) na warstwy: malinowickie, pietrkowickie, gruszowskie, jaklowieckie, porębskie i siodłowe. Wszystkie te jednostki stanowią utwory klastyczne z mniejszym lub większym udziałem węgla kamiennego (oprócz warstw malinowickich).

Najstarszymi w profilu są warstwy malinowickie. Jako, że utworów tych w całości nie przewiercono, niemożliwe jest ustalenie w miarę wiarygodnego ich tempa depozycji, jednakże prawdopodobnie wynosiło ono ok. 265 m/mln lat (fig. 29). Dla kolejnych w profilu karbonu warstw pietrkowickich tempo depozycji wyraźnie wzrosło i wynosiło ok. 605 m/mln lat. Warstwy gruszowskie charakteryzują się najwyższym tempem depozycji osadów w całym profilu otworu wynoszącym 865–880 m/mln lat. W stosunku do pozostałych warstw karbonu, warstwy jaklowieckie odznaczają się niskim tempem depozycji, które wynosiło ok. 165 m/mln lat. Po wolniejszym okresie sedymentacji warstw jaklowieckich, dla warstw porębskich wyraźnie wzrosło tempo depozycji osadów do ok. 755 m/mln lat. Profil karbonu kończą warstwy siodłowe, jako że prawdopodobnie zostały częściowo zerodowane to niemożliwym jest ustalenie dokładnego ich tempa depozycji, niemniej jednak było ono niskie i mogło wynosić ok. 135 m/mln lat.

Po okresie wypiętrzania i znaczącej erozji w późnym karbonie i wczesnym permie, nie było sedymentacji osadów mezozoicznych. Bezpośrednio nad utworami karbonu zale-

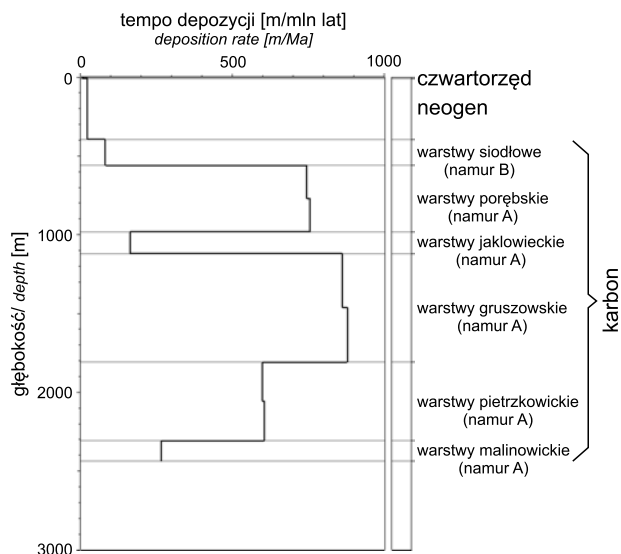


Fig. 29. Tempo depozycji osadów dla profilu Ruptawa IG 1

Sediment deposition rate for the Ruptawa IG 1 borehole section

gają zatem niezgodnie utwory miocenu. Tempo depozycji dla tych utworów było niewielkie i wynosiło ok. 22 m/mln lat.

Profil Ruptawa IG 1 kończą niewielkiej miąższości utwory czwartorzędu, dla których tempo depozycji oszacowano na ok. 6 m/mln lat.

## MODELOWANIE HISTORII TERMICZNEJ I WARUNKÓW POGRZEBANIA

Dla profilu Ruptawa IG 1 wykonano jednowymiarowe modelowanie i rekonstrukcję historii termicznej oraz warunków pogrzebania (fig. 30). Podstawowym celem analizy było odtworzenie warunków paleotermicznych oraz stopnia pogrzebania skał w basenie. Do kalibracji modelu wykorzystano wyniki 43 pomiarów refleksyjności wityryny ( $R_o$ ) (Jurczak-Drabek – ten tom) oraz 46 pomiarów  $T_{maks.}$ , wykonanych w aparaturze Rock-Eval (Janas – ten tom). Oba te parametry określają dojrzałość termiczną utworów (fig. 31), a ich pomiary wykonano dla utworów karbonu. Wyniki stanowią względnie równomierny i dość dobrze zagęszczony rozkład w profilu otworu, również jest widoczna dobra korelacja w skali głębokości pomiędzy pomiarami  $R_o$  oraz  $T_{maks.}$ . Założone różne warianty erozji i strumienia ciepła, mogące prowadzić do dobrej kalibracji modelu, powodują, że przedstawiony w opracowaniu model historii termicznej nie jest jednoznaczny i są możliwe jego alternatywne rekonstrukcje.

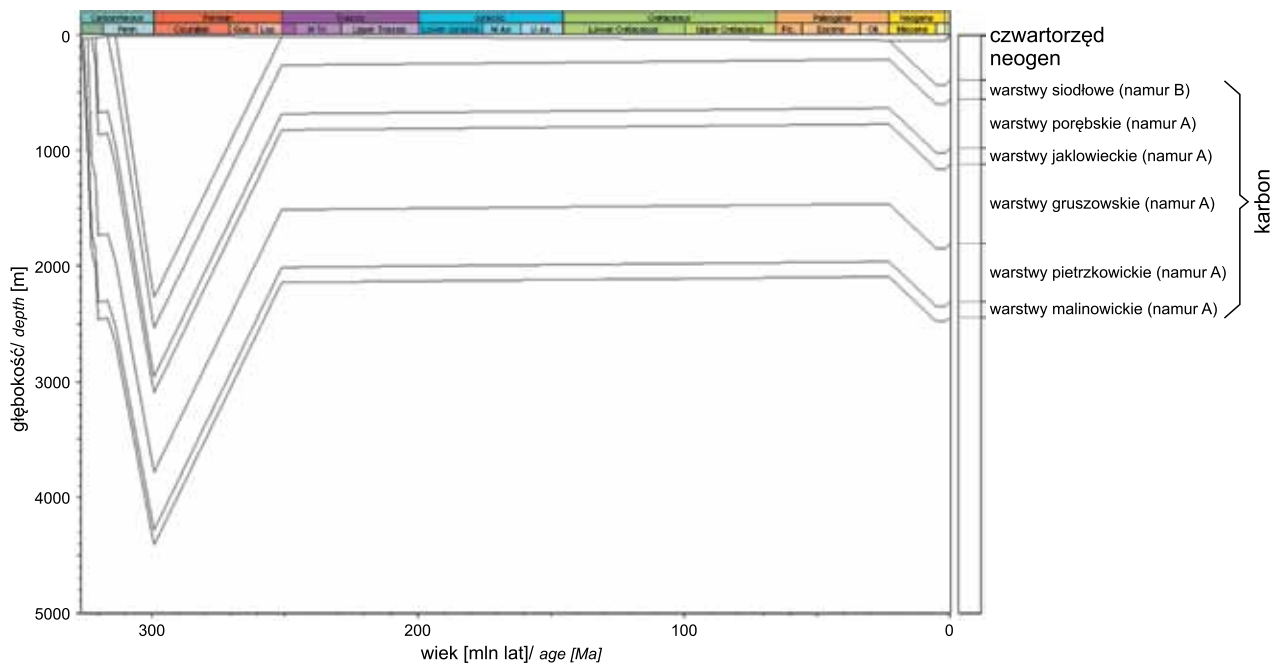
Gęstość współczesnego strumienia cieplnego dla otworu wiertniczego Ruptawa IG 1 obliczono na podstawie współczesnych wartości temperatur pomierzonych w góro-

tworze (Karwasiecka, Bruszevska, 1997; Szewczyk, Gientka, 2009). Ponieważ nie dysponowano pomiarami laboratoryjnymi przewodnictwa cieplnego skał z profilu otworu, to wartości te dla wydzielonych typów litologicznych przyjęto z biblioteki programu. Obliczony współczesny strumień cieplny wynosi 87,7 mW/m<sup>2</sup> i stanowi lokalną anomalię termiczną.

Miąższości erozyjnie usuniętych utworów karbonu (westfal, stefan), dla których przyjęto 2400 m, odtworzono poprzez kalibrację profili dojrzałości termicznej pomierzonej i obliczonej.

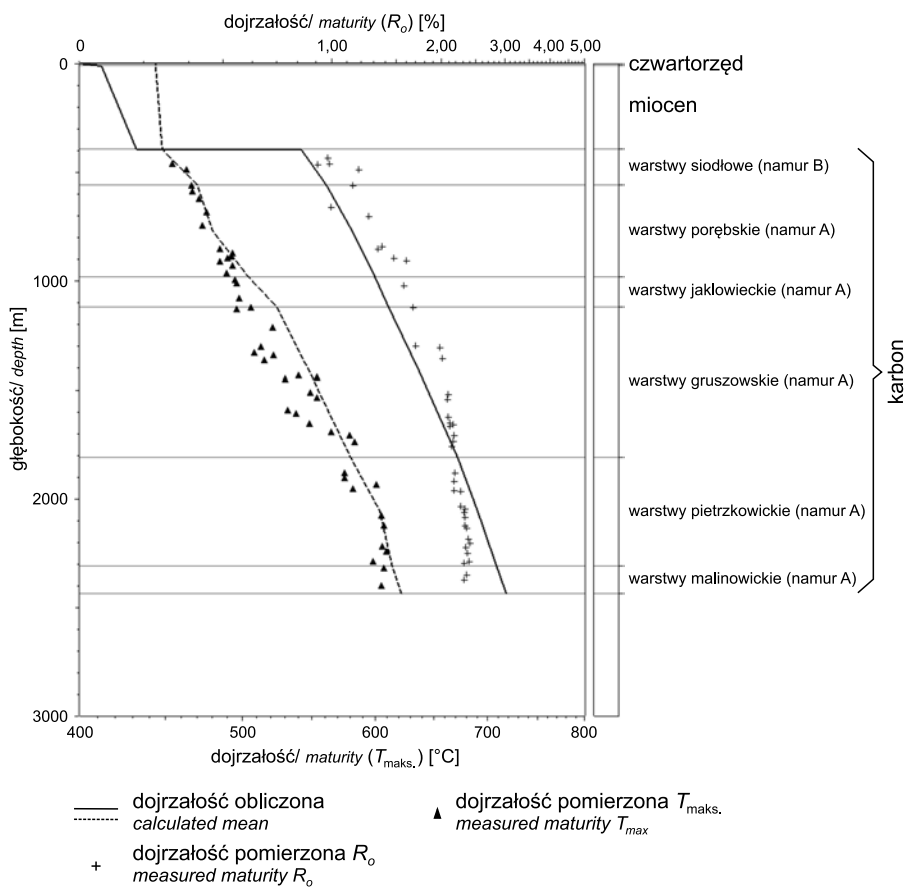
Profil Ruptawa IG 1 charakteryzuje obecność dwóch faz zwiększonego pogrzebania i szybkiego tempa depozycji osadów, które miały miejsce w karbonie oraz miocenie. Po okresach wzrostu pogrzebania, bezpośrednio miały miejsce okresy erozji i stagnacji.

Model pograżania osadów (fig. 30) rozpoczyna się w późnym karbonie (namur), sedymentacją warstw malinowickich. Warstwy te oraz kolejne w profilu warstwy karbonu (pietrkowickie, gruszowskie, jaklowieckie, porębskie i siodłowe) odznaczały się wysokim stopniem pograżania.



**Fig. 30. Historia pogrzebania utworów w profilu otworu Ruptawa IG 1**

Burial history for the Ruptawa IG 1 borehole section



**Fig. 31. Kalibracja modelu historii termicznej pomiarami dojrzałości termicznej profilu otworu Ruptawa IG 1**

Calibration of thermal history model with thermal maturity measurements for the Ruptawa IG 1 borehole

Pograżanie w karbonie systematycznie się zwiększało wraz z upływem czasu, związane to było z powstawaniem pokrywy osadowej w wyniku fleksuralnego uginania płyty przedpola orogenu waryscyjskiego. Stworzyło to odpowiednią przestrzeń akomodacyjną w basenie, który miał charakter przedgórski i umożliwiło jego wysoki stopień wypełnienia materiałem detrytycznym. Ponadto, ogólna geometria basenu w karbonie, której nadrzędną cechą jest przyrastanie miąższości poszczególnych jednostek osadowego wypełnienia ku zachodowi i południowemu zachodowi (strefa lokalizacji otworu Ruptawa IG 1), tj. orogenu waryscyjskiemu, stanowi argument na rzecz modelu fleksuralnego uginania (Poprawa i Buła, 2006). Według opracowanego modelu z końcem karbonu pokrywa osadowa w basenie osiągnęła najwyższą miąższość w jego historii, wynosząc ok. 4415 m.

Bezpośrednio po okresie intensywnego pogrzebania w karbonie we wczesnym permie miała miejsce faza wypiętrzania i erozji, która ciągnęła się do końca permu. Usuniętych zostało w ten sposób ok. 2400 m utworów westfalu i stefanu oraz część utworów namuru. Miąższość erozyjnie usuniętych utworów karbonu, tak jak wspomniane pograżanie, wzrasta w kierunku zachodu i południowego zachodu, czyli w kierunku zwiększającego się fleksuralnego ugięcia płyty. Pozwala to rozważać udział w genezie wypiętrzania basenu takich czynników jak pokolizyjna reakcja izostaticzna oraz sprężysto-elastyczna reakcja płyty uprzednio ugiętej (Poprawa i Buła, 2006).

Okres od mezozoiku do miocenu charakteryzuje się fazą stagnacji i brakiem sedymentacji osadów oraz znikomą erozją. Następnie miała miejsce kolejna faza pograżania w miocenie, po której nastąpiła znikoma erozja, ostatecznie ukształtując miąższość pokrywy osadowej w profilu Ruptawa IG 1.

Podczas analizy, dla otworu wiertniczego Ruptawa IG 1 wykonano różne warianty modelowań historii termicznej. Ostatecznie przyjęty model, uznany jednocześnie za najbardziej wiarygodny, pozwolił stwierdzić, że na ukształtowanie się obecnie obserwowanej dojrzałości termicznej w profilu otworu miała wpływ dużych rozmiarów erozja

utworów karbonu (2400 m) we wczesnym permie, przy założeniu stałego w czasie strumienia ciepłego, równego współczesnemu ( $87,7 \text{ mW/m}^2$ ). Taki wariant potwierdza najnowsza praca Batora (2014), który wykazał na podstawie datowań apatytów za pomocą metody trakowej i helowej, że uwęglenie skał w GZW jako parametr świadczący o dojrzałości termicznej utworów, było głównie kontrolowane przez warunki podczas głębokiego waryscyjskiego pograżania. Nie wyklucza się jednak udziału zaproponowanych przez Poprawę i in. (2006) impulsów termicznych o charakterze hydrotermalnym, związanym z transportem energii cieplnej w wyniku migracji wód termalnych powstających w reżimie nadcisnień.

Należy podkreślić, że opisany model nie jest jednoznaczny. Jednakże, wykluczono inne zakładane warianty sugerujące m.in. wpływ miocenijskiego pograżania oraz wzrostu strumienia ciepłego w tym okresie (Bator i in., 2003), czy też wzrostu strumienia ciepłego w mezozoiku związanego z procesem ryftowania oraz bardzo wysokiej erozji, usuwającej osady o miąższości do 5000 m (Kotas, 2001).

Na podstawie wyników modelowań można określić strefy faz generacyjnych węglowodorów w profilu Ruptawa IG 1 oraz śledzić to zjawisko w czasie. W strefie generowania ropy naftowej znajdują się utwory warstw siódłowych oraz warstw porębskich do głęb. ok. 730 m (z uwagi na występowanie kerogenu III typu w tym przypadku generowanie ropy naftowej nie nastąpiło a wynik modelowania pokazuje jedynie dojrzałość termiczną skał). W strefie generowania gazu mokrego znajdują się warstwy porębskie od głęb. 730 m jak również warstwy jakłowieckie do głęb. ok. 1080 m. Strefa generowania gazu suchego występuje w dalszej części profilu od głęb. 1080 m do spągu otworu, zatem w jej skład wchodzi spągowa część warstw jakłowieckich, warstwy gruszowskie, pietrkowickie, i malinowickie. Generowanie gazu ziemnego ze wspomnianych utworów rozpoczęło się najprawdopodobniej między późnym namurem a wczesnym permem. Podsumowując, uwęglenie materii organicznej z której powstały zarówno złoża metanu, jak również węgla kamiennego, są efektem głównie procesów waryscyjskich.