

# TEKTONIKA

Paweł POPRAWA

## ANALIZA SUBSYDENCJI ORAZ HISTORII TERMICZNEJ

### METODYKA

Jednowymiarową analizę subsydencji (*backstripping*) przeprowadzono w celu wyodrębnienia z zapisu osadowego wypełnienia basenu sedymentacyjnego tektonicznej składowej całkowitej subsydencji. W analizie subsydencji użyto takich danych wejściowych, jak: miąższość jednostek, na które podzielono profil, ich stratygrafia (wyrażona wiekiem liczbowym), litologia, parametry petrofizyczne skał, zmiany batymetryczno-topograficzne oraz eustatyczne. Złożonym problemem była rekonstrukcja miąższości utworów usuniętych w trakcie erozji z końca kredy i wczesnego paleogenu. Oznaczono ją na podstawie profilu dojrzałości termicznej.

Poszczególnym jednostkom stratygraficznym wydzielonym w profilu, o randze zależnej od możliwej rozdzielcości stratygraficznej, przyporządkowano wiek liczbowy. Zastosowano w tym celu tabelę stratygraficzną Gradsteina i Ogga (1996) oraz Gradsteina i in. (2004). W backstrippingu uwzględniono poprawkę na dekompakcję, którą obliczano według algorytmu Baldwina i Butlera (1985). Głównymi parametrami petrofizycznymi skał, uwzględnionymi w procedurze dekompakcji, były współczynniki kompakcji oraz porowatości pierwotne, które przyjęto według publikowanych, typowych wartości dla podstawowych typów litologicznych.

Rekonstrukcję historii termicznej i warunków pogrzebania przeprowadzono przy użyciu techniki jednowymiarowych

modelowań komputerowych, kalibrowanych pomiarami refleksyjności witrynu. Do modelowań użyto danych określających historię pogążania, w tym stratygrafię i miąższości poszczególnych jednostek osadowego wypełnienia basenu, parametry petrofizyczne skał, współczesny reżim cieplny oraz obecną dojrzałość termiczną. W procedurze modelowań dojrzałości termicznej dwoma najistotniejszymi czynnikami są historia pogążania oraz historia strumienia cieplnego.

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 unikatowości modelu, tj. analizowano alternatywne modele o analogicznej lub zbliżonej jakości kalibracji. W trakcie przeprowadzonych modelowań dojrzałość termiczną wyliczano z zastosowaniem standardowego dla tej metody algorytmu Sweeneja i Burnhma (1990). W rekonstrukcji historii termicznej uwzględniono również zmiany średnich temperatur powierzchniowych, tj. temperatur do których cały system osadowego wypełnienia basenu był studzony.

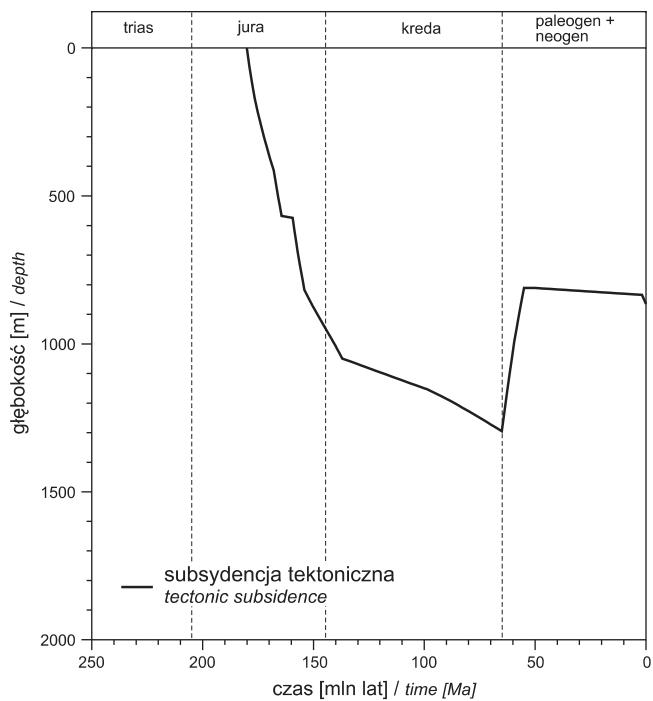
### ANALIZA SUBSYDENCJI ORAZ TEMPA DEPOZYCJI

Istotnym czynnikiem rzutującym na wyniki analizy subsydencji tektonicznej dla profilu otworu wiertniczego Ciechocinek IG 2 jest jego lokalizacja w strefie aktywnej tektoniki solnej. Może to powodować wertykalne ruchy w podłożu basenu jurajsko-kredowego, jednak nie związane z tektonicznymi ruchami pionowymi podłoża kryształcznego. W efekcie istnieje niebezpieczeństwo, że obliczona krzywa subsydencji może ilustrować pozorne zdarzania tektoniczne, a zatem wyniki analiz są w tym przypadku obarczone podwyższonym zakresem możliwego błędu.

Uzyskana krzywa wskazuje, że w jurze środkowej trwała szybka subsydencja tektoniczna, kontynuująca się w późnej

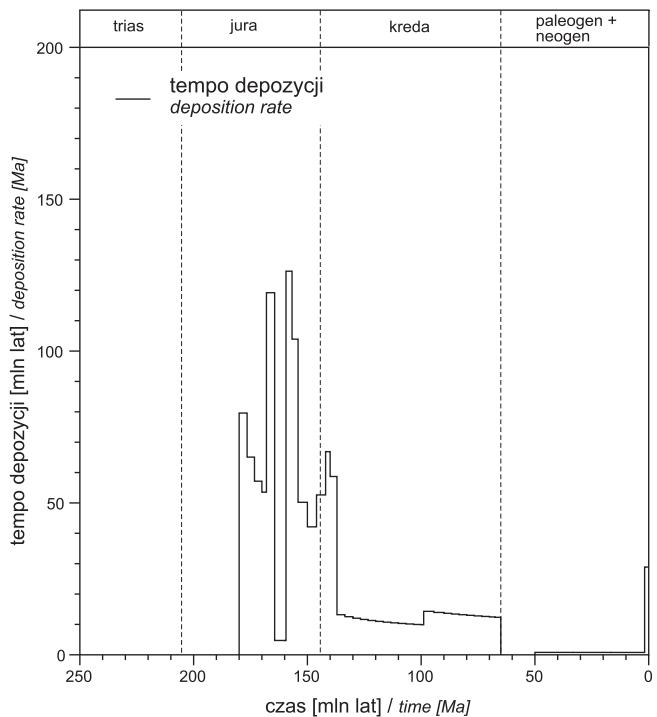
jurze (fig. 22). Krótki epizod spowolnienia subsydencji w kolejnej może wiązać się z niedoszacowaniem głębokości ówczesnego zbiornika, a zatem może stanowić artefakt. Ogólnie ujmując dla okresu od środkowej jury do wczesnej kredy uzyskana krzywa odzwierciedla stopniowe spowalnianie subsydencji, a zatem ma kształt wskaźnikowy dla ekstensyjnego reżimu tektonicznego. Taka interpretacja jest zgodna z konkluzjami R. Dadleza i in. (1995), badających historię subsydencji basenu polskiego.

Tempo depozycji utworów jury środkowej utrzymywało się w zakresie około 50–80 m/mln lat, z wyjątkiem batonu, kiedy akumulacja materiału detrytycznego była szybsza i jej



**Fig. 22. Historia subsydneyj tektonicznej**

Tectonic subsidence history



**Fig. 23. Tempo depozycji osadów**

Sediment deposition rate

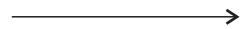
tempo wynosiło do 120 m/mln lat (fig. 23). Po okresie spowolnienia depozycji w kelowej (ok. 4 m/mln lat) w oksfordzie tempo depozycji ponownie znacząco wzrosło, osiągając

ok. 120–130 m/mln lat. W kimerydzie, tytonie i beriasie tempo depozycji utrzymywało się na poziomie ok. 40–65 m/mln lat.

## ANALIZA HISTORII TERMICZNEJ

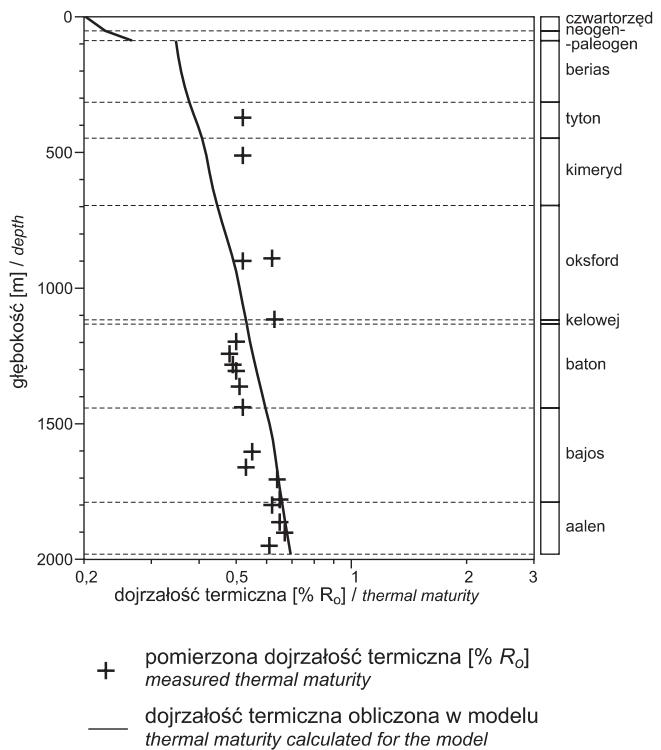
Dla profilu Ciechocinek IG 2 nie dysponowano termogramem otworowym. W związku z tym współczesny reżim termiczny określono na podstawie danych zawartych na mapach temperatur na powierzchniach sześć poziomów Karwasieckiej i Bruszeckiej (1997). Obliczona wartość współczesnego strumienia cieplnego wynosi 55 mW/m<sup>2</sup>.

Do kalibracji modelu historii termicznej użyto 19 pomiarów refleksyjności witrynu, obejmujących odcinek profilu od tytonu po aalen (fig. 24). W analizowanym otworze stwierdzono specyficzny profil dojrzałości termicznej utworów jurajskich, charakteryzujący się bardzo niskim gradientem dojrzałości termicznej. Na odcinku blisko 1700 m dojrzałość osadu wzrasta od 0,52%  $R_o$  do zaledwie 0,67%  $R_o$ , przy czym w obrębie utworów batonu stwierdzono niższą dojrzałość termiczną (0,48–0,52%  $R_o$ ). W efekcie profil dojrzałości termicznej jest nieomal pionowy. Taki charakter profilu dojrzałości termicznej oznacza dominujący wpływ niekonduktynowego transportu ciepła w tej strefie basenu.



**Fig. 24. Kalibracja modelu historii termicznej pomiarami dojrzałości termicznej**

Calibration of the model of thermal history with measurements of thermal maturity



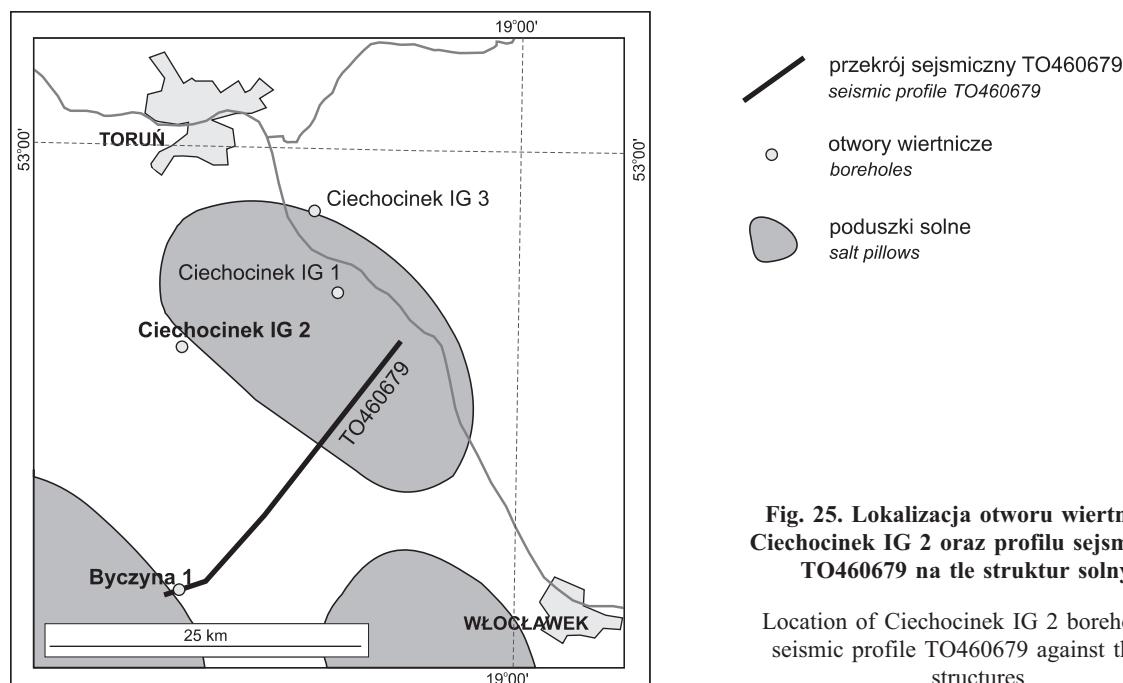
Wyniki modelowania historii termicznej dla profilu Ciechocinek IG 2 pozwalają stwierdzić, że dla wytłumaczenia stwierzonego profilu dojrzałości konieczne jest przyjęcie dodatkowej produkcji ciepła w obrębie kredowego nadkładu utworów, następnie zerodowanego. Dopływ dodatkowego ciepła, w analizowanym modelu przyjęty w ilości  $500 \mu\text{W}/\text{m}^3$ , przypuszczalnie następował w późnej kredzie.

Piotr KRZYWIEC

## INTERPRETACJA DANYCH SEJSMICZNYCH

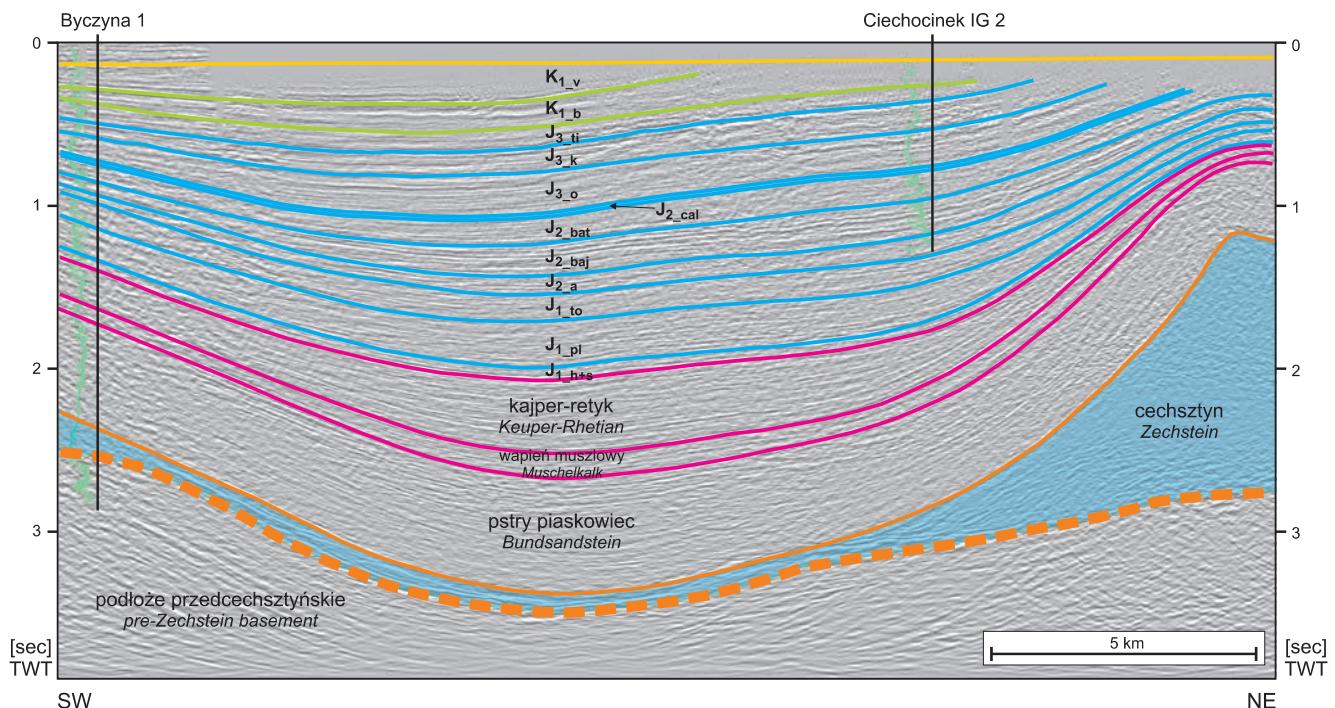
Otwór wiertniczy Ciechocinek IG 2 jest ulokowany na południowo-zachodnim skrzydle synkliny rozwiniętej między dwiema strukturami solnymi: poduszką solną Ciechocinka na północnym wschodzie oraz poduszką solną Konar na południowym zachodzie. W rejonie tym pomierzono w latach 70. i 80. XX w. kilka profili sejsmicznych, w tym kilka zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie otworu wiertniczego Ciechocinek IG 2. W zdecydowanej większości były one jednak bardzo zlej jakości, na ogół nie pozwalające na wiarygodną interpretację nawet stropowych części pokrywy mezozoicznej. W celu zilustrowania geometrii mezozoicznej pokrywy osadowej w otoczeniu otworu wiertniczego Ciechocinek IG 2 wykorzystano profil TO460679 (fig. 25). Profil ten jest położony w stosunkowo znacznej odległości od omawianego otworu, jednak w tej części basenu utwory mezozoiczne na kierunku NW–SE zalegają poziomo bądź z niewielkimi upadami, w związku z czym zrzutowanie tego otworu na profil sejsmiczny TO460679 pozwoliło na uzyskanie precyzyjnej kalibracji stratygraficznej obrazu sejsmicznego (fig. 26).

Można tak sądzić z uwagi na istniejący wówczas nadkład utworów jurajskich o odpowiednio dużej miąższości. Mechanizm dostarczający dodatkowej energii cieplnej w obrębie nadkładu utworów jurajskich jest trudny do ustalenia. Można przypuszczać, że taką rolę spełniały gorące roztwory, migrujące przez spękany kompleks utworów górnokredowych.



**Fig. 25. Lokalizacja otworu wiertniczego Ciechocinek IG 2 oraz profilu sejsmicznego TO460679 na tle struktur solnych**

Location of Ciechocinek IG 2 borehole and seismic profile TO460679 against the salt structures



**Fig. 26. Zinterpretowany profil sejsmiczny TO460679**

Otwory wiertnicze Ciechocinek IG 2 i Byczyna 1 pokazano wraz z krzywymi naturalnego promieniowania gamma; **stratigrafia**: K<sub>1</sub>\_v – walanżyn, K<sub>1</sub>\_b – berias, J<sub>3</sub>\_ti – tyton, J<sub>3</sub>\_k – kimeryd, J<sub>3</sub>\_o – oksford, J<sub>2</sub>\_cal – kelowej, J<sub>2</sub>\_bar – baton, J<sub>2</sub>\_baj – bajos, J<sub>2</sub>\_a – alen, J<sub>1</sub>\_to – toars, J<sub>1</sub>\_p – pliensbach, J<sub>1</sub>\_h+s – hetang+synemur

#### Interpreted seismic profile TO460679

Ciechocinek IG 2 and Byczyna 1 boreholes are shown with natural gamma ray curves; **stratigraphy**: K<sub>1</sub>\_v – Valanginian, K<sub>1</sub>\_b – Berriasiian, J<sub>3</sub>\_ti – Tithonian, J<sub>3</sub>\_k – Kimmeridgian, J<sub>3</sub>\_o – Oxfordian, J<sub>2</sub>\_cal – Callovian, J<sub>2</sub>\_bar – Bathonian, J<sub>2</sub>\_baj – Bajocian, J<sub>2</sub>\_a – Aalenian, J<sub>1</sub>\_to – Toarcian, J<sub>1</sub>\_p – Pliensbachian, J<sub>1</sub>\_h+s – Hettangian + Sinemurian

Profil TO460679 charakteryzuje się stosunkowo wysoką jakością pola falowego. Zaprezentowana tu wersja powstała w efekcie reprocessingu danych polowych, wykonanego przez Geofizykę Toruń na zlecenie PGNiG S.A. w 1997 r., w trakcie przygotowywania regionalnych profili sejsmicznych przecinających bruzdę śródziemno-północną (por. R. Dadlez, 2001; Krzywiec i in., 2006). Analizując ten profil (fig. 26) można zauważać, że podłożo cechsztynu charakteryzuje się wyraźnymi elewacjami, które najprawdopodobniej powstały w późnej kredzie–paleogenie, w trakcie inwersji bruzdy śródziemno-północnej (por. Krzywiec, 2006). W triasie i jurze rozwijały się obie wspomniane powyżej struktury solne, co jest uwidocznione

w lokalnych redukcjach miąższości w kierunku obu tych struktur. Największe zmiany miąższości oraz lokalne niezgodności kątowe obserwujemy w obrębie utworów triasu górnego, co jest zgodne z późnotriasmowym maksimum aktywności tektonicznej innych struktur solnych z rejonu kujawskiego, m.in. struktury solnej Kłodawy (por. Krzywiec, 2004). Również utwory jury dolnej i środkowej charakteryzują się wyraźną redukcją miąższości ponad strukturą solną Ciechocinka, co wskazuje na jej ciągły wzrost w jurze. Utwory jury górnej i kredy są ponad tą strukturą zerodowane, i tym samym nie można nic powiedzieć o jej ewentualnym późnorajsko-kredowym ruchu wznoszącym.