

ANALIZA TEMPA DEPOZYCJI ORAZ MODELOWANIE HISTORII TERMICZNEJ I WARUNKÓW POGRZEBANIA

METODY BADAŃ

Dla profilu otworu wiertniczego Kętrzyn IG 1 przeprowadzono analizę tempa depozycji materiału oraz modelowania historii termicznej i warunków pogrzebania. Modelowania w wariantcie jednowymiarowym (1D) wykonano za pomocą programu PetroMod 1-D firmy Schlumberger. Modelowania wykonano na podstawie danych wejściowych, takich jak: stratygrafia, litologia, miąższość jednostek wydzielonych w profilu, a także parametry petrofizyczne skał i dojrzałość termiczna. Każdej jednostce stratygraficznej przypisano wiek liczbowy na podstawie danych w opracowaniu Gradsteina i in. (2012). Modelowania przeprowadzono metodą wprost (ang. *forward modelling*), tj. zakładano stan wyjściowy systemu oraz określony proces, a następnie wyliczano jego skutek dla współczesnego rozkładu stopnia dojrzałości termicznej w profilu otworu. W przypadku niezgodności między dojrzałością obliczoną a pomierzoną w profilu otworu, procedurę powtarzano aż do optymalnej kalibracji modelu. Analizowano również inne modele o podobnej kalibracji. Dojrzałość termiczną materii organicznej obliczono za pomocą algorytmu opracowanego przez Sweeney i Burnhama (1990). W rekonstrukcji historii pograżania zastosowano poprawkę na dekompakcję. W procedurze dekompakcji uwzględniono takie parametry petrofizyczne skał, jak: współczynniki kompaktacji i porowatości pierwotne utworów. Parametry te były przyjmowane dla poszczególnych typów litologicznych

w miarę dostępnych danych publikowanych lub z biblioteki programu. W procedurze odtwarzania historii termicznej i warunków pogrzebania rekonstruowano miąższości zerodowanych fragmentów profili litostratygraficznych. Dotyczyło to zwłaszcza erozji utworów ludlowu i przydolu, środkowego i górnego dewonu oraz dolnego karbonu. Miąższości zerodowanych utworów określono na podstawie ekstrapolacji miąższości z obszarów o pełniej zachowanych profilach oraz poprzez kalibrację profili dojrzałości termicznej pomierzonej i obliczonej. Kalibrację modeli historii termicznej przeprowadzono przede wszystkim na podstawie wyników badań (Grotek, ten tom) średniej wartości refleksyjności witrynu i macerałów witrynitopodobnych, określonych w próbkach głównie z utworów od kambru do syluru. Dodatkowo wykorzystano wyniki analizy historii termicznej pomorskiego odciska TESZ basenu bałtyckiego i obszarów przyległych wykonanej przez Grotek (2006). W modelowaniach uwzględniono dane charakteryzujące współczesny reżim cieplny (Plewa, 1994; Karwasiecka, Bruszevska, 1997; Szewczyk, Gientka, 2009), tj. pomiary temperatury w odwiertach i przewodności cieplne szkieletu ziarnowego. Ponadto, w modelowaniach uwzględniono zmiany średniej temperatury powierzchniowej w historii geologicznej basenu (Wygrala, 1989), której wartości znajdowały się w bibliotece programu.

WYNIKI

ANALIZA TEMPA DEPOZYCJI

Otwór Kętrzyn IG 1 jest zlokalizowany na wschodzie polskiej części obniżenia bałtyckiego, w obrębie platformy wschodnioeuropejskiej. Otwór jest położony na pograniczu obniżenia bałtyckiego oraz wyniesienia mazursko-suwałskiego. Dla tego obszaru prace w zakresie analizy tempa

depozycji materiału osadowego oraz modelowania historii termicznej i warunków pogrzebania były nieliczne. Większość tego typu prac została wykonana dla centralnej i zachodniej polskiej części basenu bałtyckiego, m.in. przez: Karnkowskiego (2003), Poprawę i Grotek (2005), Poprawę

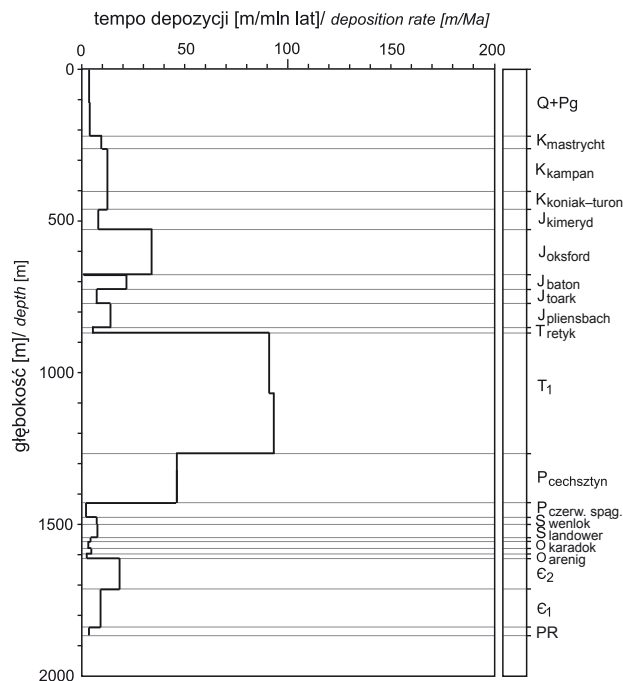


Fig. 36. Tempo depozycji osadów dla profilu otworu wiertniczego Kętrzyn IG 1

Sediment deposition rate for the Kętrzyn IG 1 borehole section

i in. (2010), Poprawę (2012). Wyniki tych prac posłużyły jako baza porównawcza do wykonanych modeli dla otworu Kętrzyn IG 1.

Najstarszymi utworami w profilu otworu Kętrzyn IG 1 są anortozyty mezoproterozoiku. Rozwój basenu sedimentacyjnego rozpoczął się wraz z początkiem kambru. W kambrze miała miejsce zwiększona subsydenca, tempo depozycji klastycznych utworów kambru dolnego i środkowego wynosiło ok. 10–20 m/mln lat (fig. 36). W późnym kambrze tempo depozycji osadu wyraźnie spadło, a następ-

nie we wczesnym ordowiku nastąpiła całkowita erozja utworów kambru górnego. W całym profilu ordowiku obserwujemy bardzo niskie tempo sedimentacji, wynoszące ok. 2–3 m/mln lat. Z początkiem syluru wzrosła subsydenca, a tempo depozycji utworów klastyczno-węglanowych landoweru i wenloku wynosiło ok. 8 m/mln lat.

W profilu otworu Kętrzyn IG 1 brak jest utworów od wyższego syluru – ludlowu i przydolu, do permu dolnego. Przez analogię do innych obszarów, zwłaszcza litewsko-lotewskiej części basenu bałtyckiego, wynika, że w tym okresie występowała sedimentacja utworów wyższego syluru oraz środkowego i górnego dewonu, rozdzielone fazą erozji we wczesnym dewonie. Całkowita erozja utworów ludlowu i przydolu, dewonu i karbonu nastąpiła w późnym karbonie i wczesnym permie.

Na częściowo zerodowanych utworach syluru leżą bezpośrednio utworu permu. Tempo depozycji utworów klastycznych czerwonego spągowca było niewielkie i wynosiło ok. 3 m/mln lat, w czasie sedimentacji cechsztynu natomiast wyraźnie wzrosło do ok. 45 m/mln lat. Wzrastające tempo sedimentacji kontynuowało się we wczesnym triasie, dla którego wynosiło 90–95 m/mln lat. Tak szybkie tempo subsydenki związane było ze zdarzeniem tektonicznym w basenie, związanym z procesami ryftowania (Dądziewicz i in., 1995).

Od środkowego triasu w mezozoiku i kenozoiku obserwujemy spadek tempa depozycji. Poszczególne okresy sedimentacji osadów poroździelane są okresami niewielkiej erozji lub hiatusu. Po okresie erozji w późnym triasie, nastąpiła sedimentacja osadów jury w przewadze węglanowych i/lub rzadziej klastycznych. Tempo depozycji osadów jury wynosiło ok. 8–35 m/mln lat. Z początkiem kredy nastąpiła erozja utworów tytonu. W późnej kredzie nastąpiła sedimentacja osadów węglanowych z tempem depozycji ok. 10–12 m/mln lat. W kenozoiku obserwuje się stagnację i wyraźny spadek depozycji materiału, który wynosił ok. 5 m/mln lat.

MODELOWANIE HISTORII TERMICZNEJ I WARUNKÓW POGRZEBANIA

Dla profilu otworu Kętrzyn IG 1 wykonano jednowymiarowe modelowanie i rekonstrukcję historii termicznej oraz warunków pogrzebania (fig. 37). Podstawowym celem analizy było odtworzenie warunków paleotermicznych oraz stopnia pogrzebania skał w basenie. Do kalibracji modelu wykorzystano wyniki 13 pomiarów dojrzałości termicznej (fig. 38) wykonanych na próbkach skał pochodzących z profilu otworu (Grotek, ten tom). Pomiarów obejmują zwłaszcza interwał od dolnego kambru po wenlok (11 pomiarów) i stanowią względnie równomierny rozkład w tym przedziale. Dla utworów kimerydu oraz permu (cechsztynu) zostały wykonane pojedyncze analizy. Niestety brak większej ilości pomiarów refleksyjności witryny dla utworów permu i mezozoiku jest pewnym ograniczeniem wiarygodności modeli dojrzałości termicznej. Jako uzupełnienie brakujących pomiarów wykorzystano pośrednio dane literaturowe (Grotek, 2006).

Gęstość współczesnego strumienia ciepłego dla otworu Kętrzyn IG 1 obliczono na podstawie wartości temperatur odczytanych z map współczesnych temperatur na powierzchniach ściąg poziomych (Plewa, 1994; Karwasiecka, Bruszeńska, 1997; Szewczyk, Gientka, 2009). Występuje jednak duża rozbieżność między temperaturą pomierzoną a obliczoną w trakcie modelowań, co tłumaczy się wpływem czynnika paleoklimatycznego, związanego z czwartorzędowym zlodowaceniem wisły. Jako że nie dysponowano pomiarami laboratoryjnymi przewodnictwa ciepłego skał z profilu otworu, to wartości te dla wydzielonych typów litologicznych zostały przyjęte z biblioteki programu. Obliczony współczesny strumień ciepły wynosi 38 mW/m².

Mięszości erozyjnie usuniętych utworów, zwłaszcza ludlowu i przydolu oraz środkowego i górnego dewonu, dla których przyjęto łącznie 1200 m, odtworzono na podstawie ekstrapolacji mięszości z obszarów o pełniej za-

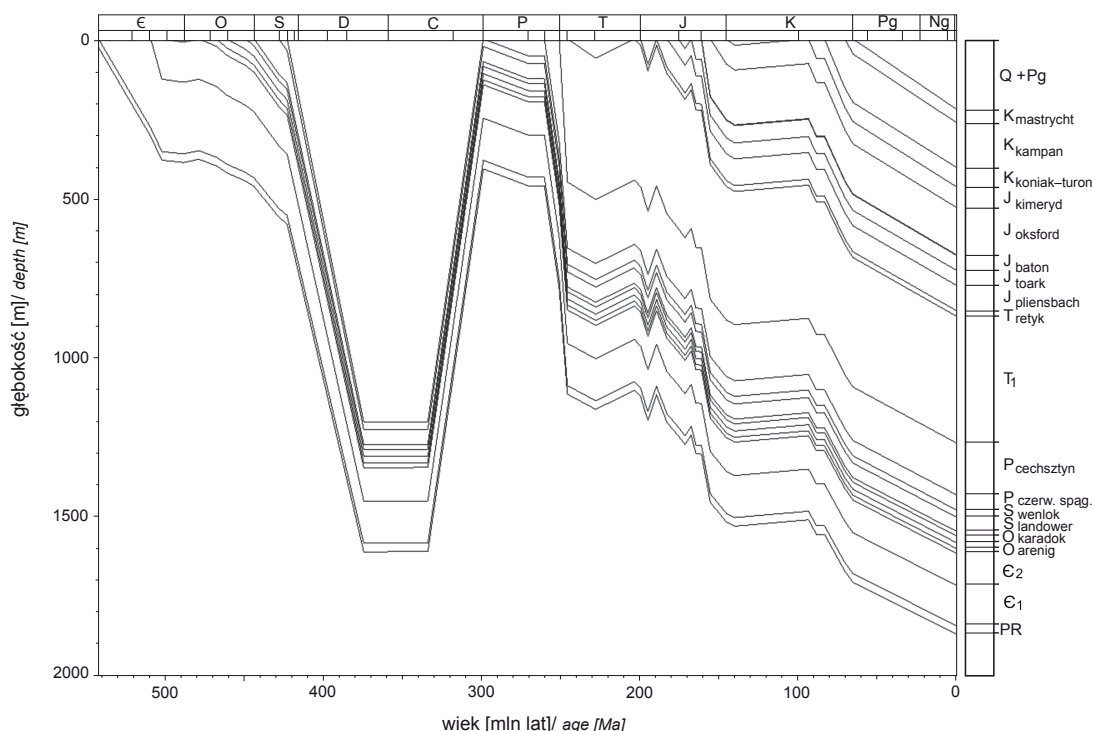


Fig. 37. Historia pogrzebania utworów w profilu otworu wiertniczego Kętrzyn IG 1

Burial history for the Kętrzyn IG 1 borehole section

chowanych profilach oraz poprzez kalibrację profili dojrzałości termicznej pomierzonej i obliczonej. Pozostałe okresy wypiętrzania i erozji były nieznaczne i nie miały znaczącego wpływu na wynik modelowań. Do odtworzenia paleomiąższości wykorzystano prace m.in. Marka i Pajchlowej (1997), Matyi i Poprawy (2006) oraz Modlińskiego i in. (2010).

Profil otworu Kętrzyn IG 1 charakteryzuje obecność kilku faz zwiększonego pogrzebania i szybkiego tempa depozycji materiału. Po okresach wzrostu sedimentacji bezpośrednio miały miejsce okresy erozji lub stagnacji.

Pierwszym okresem rozwoju basenu jak również wzmożonej depozycji osadu był okres od kambru do późnego syluru. W tym czasie powstała pokrywa osadowa o miąższości ok. 600 m związana z syn- i poryftową subsydencją. Bezpośrednio na utworach wenloku zalegają warstwy permu dolnego. Tak duża luka stratygraficzna obejmująca dewon i karbon jest trudna do odtworzenia ale bardzo istotna przy modelowaniu historii termicznej, ponieważ znacząco wpłynęła na ukształtowanie się dojrzałości termicznej utworów paleozoicznych w tym obszarze. Z analogii do innych obszarów, zwłaszcza litewsko-łotewskiej części basenu bałtyckiego oraz według Poprawy i in. (2010) wynika, że miała miejsce szybka sedimentacja utworów wyższego syluru oraz środkowego i górnego dewonu, rozdzielone fazą erozji we wczesnym dewonie. Zmianę paleogeografii i paleotektoniki wyznacza pojawienie się m.in. wyniesienia mazurskiego (Karnkowski, 2003), które było wynoszone i erodowane. W wyniku modelowań obliczono, że erozja objęła ok. 1200 m miąższości wspomnianych utworów. Od-

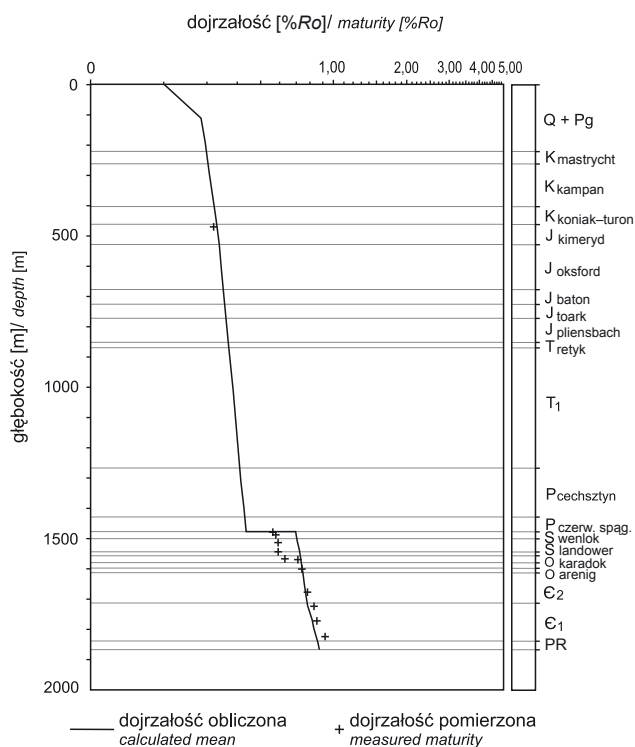


Fig. 38. Kalibracja modelu historii termicznej pomiarami dojrzałości termicznej dla profilu otworu Kętrzyn IG 1

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

tworzenie miąższości osadów dewońsko-karbońskich oraz warunków sedymentacji i erozji spotkało się również z ograniczeniem używanego programu, gdyż nie można było założyć domniemanej fazy erozji we wczesnym dewonie jak miało to miejsce np. w pracy Poprawy i in. (2010), tylko skumulowaną erozję w późnym karbonie. Skumulowana pokrywa osadowa podczas późnodewońskiego pogrzebania wynosiła ok. 1600 m.

Okres permsko-mezozoiczny rozwoju basenu rozpoczął się sedymentacją utworów permu dolnego (czerwonego spągowca) o niewielkiej miąższości, po którym miała miejsce faza znacznego pogrzebania w późnym permie i wczesnym triasie. Była to najważniejsza faza pogrzebania w okresie permsko-mezozoicznym. Po tym okresie następane fazy pogrzebania poroździelane fazami erozji, przypadły na okres od wczesnej jury do wczesnej kredy oraz późną kredę. Maksymalne pogrzebania w historii tego profilu miało miejsce najprawdopodobniej w plejstocenie.

Wykonano różne warianty modelowań historii termicznej. W pierwszym wariantcie przyjęto stały w czasie strumień ciepły, jednakże wartości strumienia okazały się zbyt niskie, aby otrzymać dobrą kalibrację pomierzonych wartości refleksyjności witrinitu oraz obliczonych przez

program dla utworów paleozoiku. Prawdopodobnie na przełomie karbonu i permu miała miejsce drastyczna zmiana warunków paleotermicznych (Karnkowski, 2003), dlatego w drugim wariantcie przyjęto podwyższony strumień ciepły do 80 mW/m² dla utworów paleozoiku. Takie założenia pozwoliły na przyjęcie erozji utworów wyższego syluru i dewońsko-karbońskich w wysokości ok. 1200 m, co jest wartością umiarkowaną i prawdopodobną w stosunku do analogicznych obszarów, w których profil tych utworów występuje.

Ze względu na brak w profilu otworu osadów górnej części syluru oraz dewońskich i karbońskich oraz ze względu na znikomą ilość pomiarów refleksyjności witrinitu dla utworów permsko-mezozoicznych, opisany powyżej model choć najbardziej realistyczny, nie jest jednoznaczny, a kalibrację modelu można dokonać w innych wariantach.

Na podstawie wyników modelowań można określić strefy faz generacyjnych węglowodorów oraz śledzić to zjawisko w czasie. Na podstawie wyników modelowania jednowymiarowego dla otworu Kętrzyn IG 1 główna faza generacyjna węglowodorów dla utworów paleozoiku nastąpiła nie później niż w środkowym dewonie. Faza ta obejmuje wyłącznie okno ropne.