

# WYNIKI BADAŃ TEKTONICZNYCH, HISTORII TERMICZNEJ I WARUNKÓW POGRZEBANIA

Paweł POPRAWA

## ANALIZA SUBSYDENCJI ORAZ TEMPA DEPOZYCJI

Otwór wiertniczy Malbork IG 1 jest zlokalizowany w centralnej części lądowego sektora basenu bałtyckiego. W obszarze tym występują nałożone na siebie utwory dwóch basenów sedimentacyjnych, różniących się wzajemnie ramami geometrycznymi, a także mechanizmami subsydemencji. Są to dolnopaleozoiczny basen bałtycki oraz permsko-mezozoiczny basen polski. Ponadto istnieją przesłanki wskazujące na to, że w omawianym obszarze deponowane były osady basenu dewońsko-dolnokarbońskiego, zerodowane następnie przed późnym permem (Matyja, 2006). Analizę subsydemencji tektonicznej dla profilu Malbork IG 1 przeprowadzono w celu odtworzenia jej przebiegu w odniesieniu do każdego z tych basenów oraz w celu określenia jej mechanizmów. Ponadto przeprowadzono analizę tempa depozycji, której celem było odtworzenie aktywności obszarów źródłowych dla materiału detrytycznego.

Prezentowany tu materiał bezpośrednio bazuje na wynikach wcześniej wykonywanych badań o podobnym charakterze. Są to, w odniesieniu do basenu dolnopaleozoicznego, prace Poprawy i in. (1999) oraz Poprawy (2006a, b), zaś dla basenu polskiego Dadleza i in. (1995) oraz Karnkowskiego (1999). Prezentowane tu wyniki stanowią jedynie uzupełnienie powyższych prac.

Metodyka prowadzonych analiz została opisana na przykład w pracy Poprawy (2008a). Miąższości utworów usuniętych w trakcie poszczególnych faz erozji odtworzono na podstawie obocznej ekstrapolacji miąższości ze stref o pełniej zachowanych profilach. W rekonstrukcjach tych uwzględniono także paleomiąższości prezentowane w pracach Modlińskiego i in. (2010), Matyi (2006) oraz Marka i Pajchlowej (1997).

W omawianym obszarze rozwój basenu sedimentacyjnego rozpoczął się na przełomie neoproterozoiku i kambru. W początkowym etapie jego ewolucji we wczesnym i środkowym kambrze miała miejsce szybkiej subsydemencji tektonicznej (fig. 23). Ówczesne tempo depozycji osadów zawiera się w zakresie 15–30 m/mln lat (fig. 24). W ordowiku tempo subsydemencji tektonicznej zdecydowanie zmalało, powodując, że łączny charakter krzywej subsydemencji dla kambru–ordowiku jest zbliżony do krzywych wskaźnikowych dla basenów ekstensyjnych (fig. 23). W ordowiku znacząco zmalało również tempo depozycji osadów, wynoszące wówczas około 2–5 m/mln lat. Ekstensyjny charakter krzywej subsydemencji

wiązано z ediakarskim ryftowaniem wzdłuż zachodniej krawędzi kratonu wschodnioeuropejskiego, zaś etap subsydemencji kambryjsko–środkoordowickiej interpretowano jako związany z rozwojem pasywnego brzegu kontynentalnego Baltiki (Poprawa i in., 1999).

W późnym ordowiku rozpoczął się systematyczny wzrost tempa subsydemencji tektonicznej oraz tempa depozycji osadów, który kontynuował się do końca syluru (fig. 23, 24). Późnoordowicki i sylurski etap rozwoju basenu cechuje charakter krzywej subsydemencji wskaźnikowy dla kompresyjnego reżimu tektonicznego, związanego z mechanizmem fleksuralnego uginania płyty (fig. 23). Stanowiło to podstawę do zaproponowania w tym przypadku modelu basenu przedgórskiego kaledońskiego orogenu (Poprawa i in., 1999). Tempo

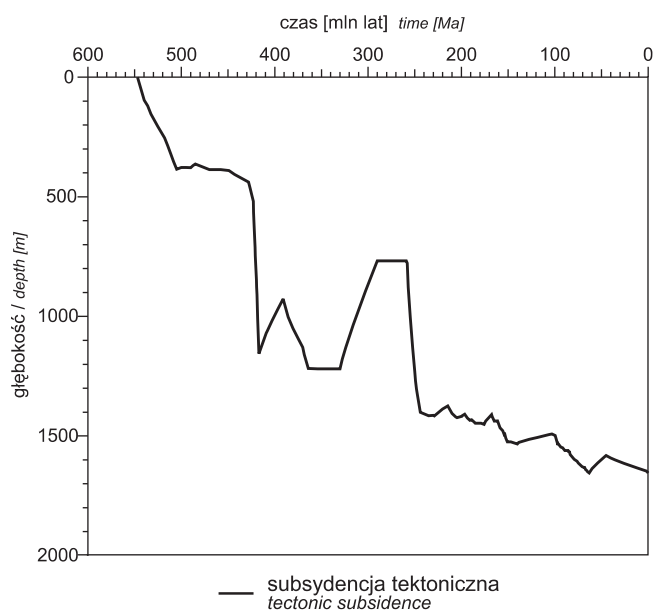
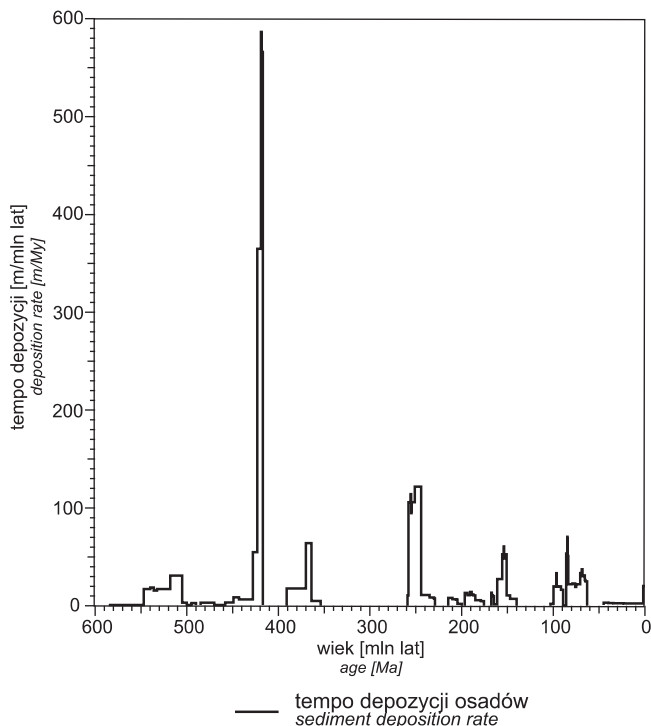


Fig. 23. Historia subsydemencji tektonicznej dla profilu otworu wiertniczego Malbork IG 1

Tectonic subsidence history for the section of Malbork IG 1 borehole



**Fig. 24. Tempo depozycji osadów dla profilu otworu Malbork IG 1**

Sediment deposition rate  
for the section of Malbork IG 1 borehole

depozycji osadów wzrastało w sylurze od kilku do blisko 600 m/mln (fig. 24), co wiązało się z fleksuralnym uginaniem krawędzi płyty, tworzącym w basenie przestrzeń akomodacyjną, a także ze wzrostem dostawy materiału detrytycznego.

W profilu Malbork IG 1 na częściowo zerodowanym górnym sylurze zalegają bezpośrednio utwory permu. W odniesieniu do basenu bałtyckiego sugerowano obecność fazy pogrzebania w dewonie i wczesnym karbonie, po której miało miejsce wypiętrzanie tektoniczne i erozja, prowadzące do całkowitego usunięcia utworów dewońsko-karbońskich. Znajduje to odzwierciedlenie w przyjętym modelu pogrzebania dla profilu Malbork IG 1 (fig. 23). Przesłanką ku temu są wyniki porównawczej analizy między profilami górnego paleozoiku w strefie Koszalin–Chojnice i litewsko-łotewskiej części basenu bałtyckiego (Matyja, 2006). Pierwotną miąższość utworów dewońskich i dolnokarbońskich określono łącznie na około 800 m.

Krzywa subsydencji tektonicznej dla profilu otworu Malbork IG 1 (fig. 23) ilustruje obecność późnopermsko-wczesnotriasowego zdarzenia tektonicznego w basenie polskim, związanego z procesami ryftowania (Dadlez i in., 1995). W tym okresie średnie tempo depozycji wynosiło około 105–120 m/mln lat (fig. 24). W środkowym i późnym triasie oraz w jurze ogólnie nastąpiło spowolnienie subsydencji tektonicznej, będące odzwierciedleniem poryftowego mechanizmu subsydencji. W środkowym i późnym triasie tempo depozycji wynosiło około 2–10 m/mln lat, zaś we wczesnej i środkowej jurze około 5–15 m/mln lat, z wyjątkiem spowolnionej depozycji w keloweju (fig. 25). W późnej jurze tempo depozycji wzrosło do około 25–50 m/mln lat, zaś w późnej kredzie wynosiło około 20–50 m/mln lat.

**Paweł POPRAWA**

## JEDNOWYMIAROWE MODELOWANIE HISTORII TERMICZNEJ ORAZ WARUNKÓW POGRZEBANIA

Jednowymiarowe modelowanie i rekonstrukcja historii pogrzebania oraz historii termicznej przeprowadzono dla profilu otworu Malbork IG 1, w celu odtworzenia historii zdarzeń termicznych w basenie oraz określenia ich mechanizmów. Danymi kluczowymi dla odtworzenia warunków paleotermicznych w basenie oraz stopnia pogrzebania skał pod nadkładem są pomiary dojrzałości termicznej. W tym przypadku były to wyniki analiz refleksyjności wityryny i macerałów wityrynitopodobnych (np. Swadowska, Sikorska, 1998; Grotek, 2005), a dodatkowo także wyniki analiz zmian kolorystyki konodontów CAI (np. Nehring-Lefeld i in., 1997). Modelownia historii termicznej i historii pogrzebania w omawianym obszarze prowadzili m.in. Kosakowski i in. (1999), Karnkowski (2003), Poprawa i Grotek (2005) oraz Poprawa i in. (2010). Część z wcześniejszych badań prowadziła do konkluzji, że najistotniejszy wpływ na obserwowaną strukturę dojrzałości termicznej basenu miało

waryscyjskie zdarzenie termiczne (Majorowicz i in., 1984; Kosakowski i in., 1999; Karnkowski, 2003; Poprawa, Grotek, 2005). Ilościowe konkluzje z poszczególnych wymienionych prac są jednak wzajemnie mało spójne. Model mezozoicznego (późnokredowego?) zdarzenia termicznego, stanowiącego istotny czynnik wpływający na ukształtowanie się obecnie obserwowanej dojrzałości, proponowali Poprawa i Grotek (2005) oraz Poprawa i in. (2010).

Metodyka prowadzonych analiz została opisana m.in. w pracy Poprawy (2008b). Pierwotne miąższości utworów erozyjnie usuniętych, bądź częściowo zredukowanych odtworzono dla omawianego profilu na podstawie obocznej ekstrapolacji miąższości ze stref o pełniej zachowanych profilach, wykorzystując m.in. paleomiąższości prezentowane w pracach Modlińskiego i in. (2010), Matyi (2006) oraz Marka i Pajchlowej (1997). Dla historii pogrzebania analizowanego

profilu najistotniejsze znaczenie mają założenia dotyczące miąższości erozyjnie usuniętych utworów syluru (tu przyjęto 550 m), a także utworów środkowego i górnego dewonu oraz dolnego karbonu górnego (tu przyjęto 600 m). Pozostałe epizody wypiętrzania i erozji prowadziły do erozji osadów o miąższości na tyle niewielkiej, że mają one znikome znaczenie dla odtwarzanej historii pogrzebania.

Dla lokalizacji otworu Malbork IG 1 gęstość współczesnego powierzchniowego strumienia ciepłego, obliczona na podstawie termogramu otworowego, wynosi  $38 \text{ mW/m}^2$ . W obliczeniach tych przewodnictwo cieplne skał w profilu otworu zostało przyjęte dla poszczególnych, podstawowych typów litologicznych, według danych z biblioteki programu, gdyż nie dysponowano jego laboratoryjnymi pomiarami.

Obszar reprezentowany przez analizowany tu profil cechuje się obecnością kilku faz szybkiego pogrzebania, rozdzielonych fazami stagnacji, bądź okresami wypiętrzania tektonicznego (fig. 25). W pierwszym etapie rozwoju basenu, w okresie od kambru do środkowego ordowiku, syn- i poryftowa subsydencja doprowadziła do powstania pokrywy osadowej o miąższości około 700 m. W następnym etapie, tj. w czasie rozwoju zapadliska przedgórnego kaledonidów w późnym ordowiku i sylurze, miało miejsce bardzo gwałtowne pogrzebanie. Najbardziej intensywnie proces ten zachodził w późnym sylurze, gdy łączna miąższość pokrywy osadowej w omawianym obszarze osiągnęła około 2400 m.

W profilu Malbork IG 1 na częściowo zerodowanych utworach przydołu zalegają bezpośrednio utwory górnego

permu. Opierając się na przesłankach regionalnych, głównie na porównawczej analizie między profilami górnego paleozoiku w strefie Koszalin–Chojnice i litewsko-łotewskiej części basenu bałtyckiego (Matyja, 2006), sugerowano w odniesieniu do basenu bałtyckiego obecność fazy wypiętrzania tektonicznego i erozji we wczesnym dewonie, a następnie fazy pogrzebania w środkowym i późnym dewonie oraz we wczesnym karbonie (fig. 25) (Poprawa i in., 2010). Skumulowana miąższość pokrywy osadowej w czasie późnodewońsko-wczesnokarbońskiego pogrzebania sięgała około 2700 m. Kolejna faza wypiętrzania tektonicznego i erozji miała miejsce w późnym karbonie i wczesnym permie. W trakcie rozwoju permsko-mezozoicznego basenu polskiego (w lokalizacji otworu Malbork IG 1) najważniejsze fazy pogrzebania przypadają na późny perm–wczesny trias, późną jurą oraz późną kredę (fig. 25). Maksymalne pogrzebanie w historii tego profilu miało miejsce najprawdopodobniej w paleocenie.

Modelowania dojrzałości termicznej i historii termicznej dla profilu Malbork IG 1 kalibrowano, dysponując 20 pomiarami  $R_o$ , wykonanymi dla odcinka profilu o miąższości około 3000 m (fig. 26). Genezę ukształtowania się profilu dojrzałości termicznej, określonego pomiarami  $R_o$ , można wytłumaczyć, przyjmując późnokredowe i/lub paleocenijskie zdarzenie termiczne. W modelowaniach odtworzono je, zakładając strumień cieplny podwyższony ówczesnie do  $60 \text{ mW/m}^2$  oraz dodatkową dostawę energii cieplnej do kompleksu utworów górnokredowych w okresie ich depozycji i/lub paleocenie, wynoszącą około  $250 \text{ mW/m}^3$ . Uzyskaną przy takich założeniach

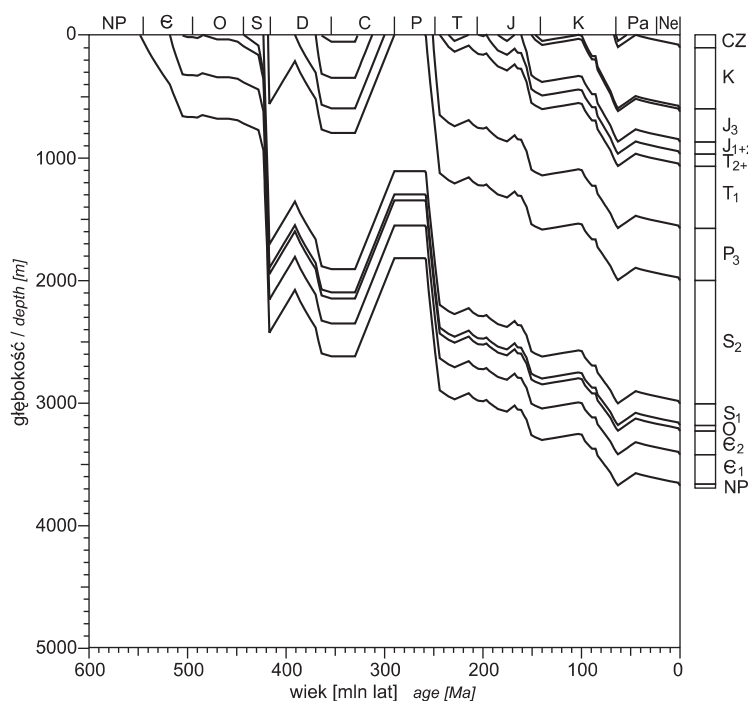


Fig. 25. Historia pogrzebania utworów w profilu otworu Malbork IG 1

Burial history for Malbork IG 1 well section

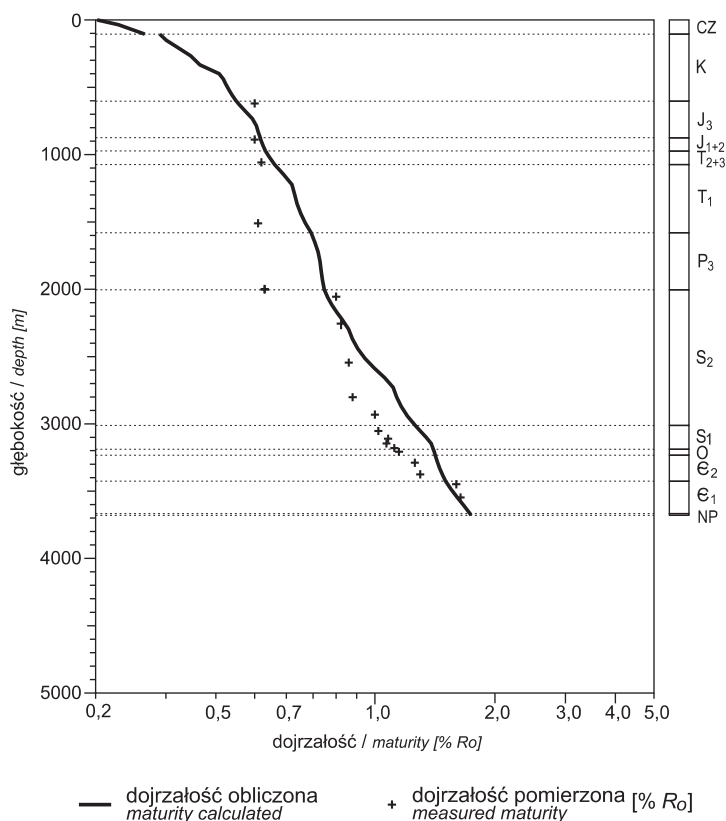


Fig. 26. Kalibracja analizowanego modelu historii termicznej pomiarami dojrzałości termicznej

Calibration of the analyzed model with measurements of thermal maturity

niach kalibrację modelu zaprezentowano na [figurze 26](#). Jako potencjalny mechanizm dostarczania dodatkowej energii cieplnej do kompleksu utworów górnokredowych, przyjęto migrację w obrębie tych utworów gorących roztworów. Zaletą takiego modelu jest to, że pozwala on przyjąć umiarkowaną i realistyczną miąższość erozyjnie usuniętych utworów paleozoicznych, wynoszącą około 800 m.

W alternatywnym wariantcie, przyjmującym późnokarboński wiek ukształtowania się dojrzałości termicznej, dla prawidłowej kalibracji modelu konieczne jest przyjęcie erozyjnie usuniętych utworów górnokarbońskich, o miąższość około 2000 m, oraz późnokarbońskiego strumienia ciepłego podwyższonego do około  $60 \text{ mW/m}^2$ . Ten wariant uznano za mniej prawdopodobny.

Piotr KRZYWIEC

## INTERPRETACJA TEKTONICZNA PROFILU SEJSMICZNEGO WO060189

Lokalizacja otworów wiertniczych Malbork IG 1 i Malbork 3 pokazana jest na [figurze 27](#), na której przedstawiona jest również lokalizacja profilu sejsmicznego WO060189, wykorzystanego do zilustrowania budowy geologicznej tego rejonu.

Interpretowany profil sejsmiczny WO060189 charakteryzuje się stosunkowo niską jakością pola falowego ([fig. 28](#)). Do powiązania czasowego pola falowego i głębokościowych danych otworowych (stratygrafia, karotaże) wykorzystano prędkości średnie.

Otwór Malbork IG 1 przewiercił utwory kredy, jury, triasu i permu zdeponowane w dystalnej, północno-wschodniej części pomorskiego segmentu bruzdy śródpolskiej. W obrębie kompleksu permsko-mezozoicznego nie zidentyfikowano żadnych deformacji tektonicznych ([fig. 28](#)).

Poniżej cechsztynu otwór Malbork IG 1 przewiercił utwory syluru, ordowiku, kambru, a następnie nawiercił podłoże prekambryjskie. Również i w obrębie tego kompleksu nie stwierdzono żadnych deformacji tektonicznych ani zmian miąższości.

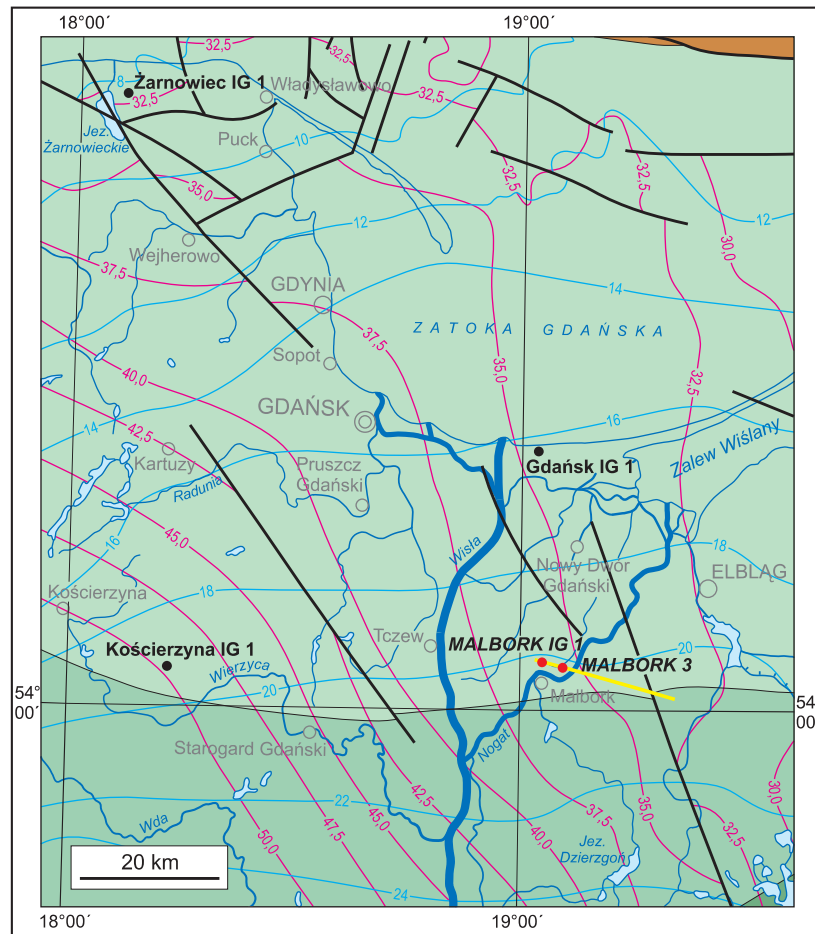


Fig. 27. Mapa lokalizacyjna otworu Malbork IG 1 oraz profilu sejsmicznego WO060189

Location map of the Malbork IG 1 well and the seismic section WO060189

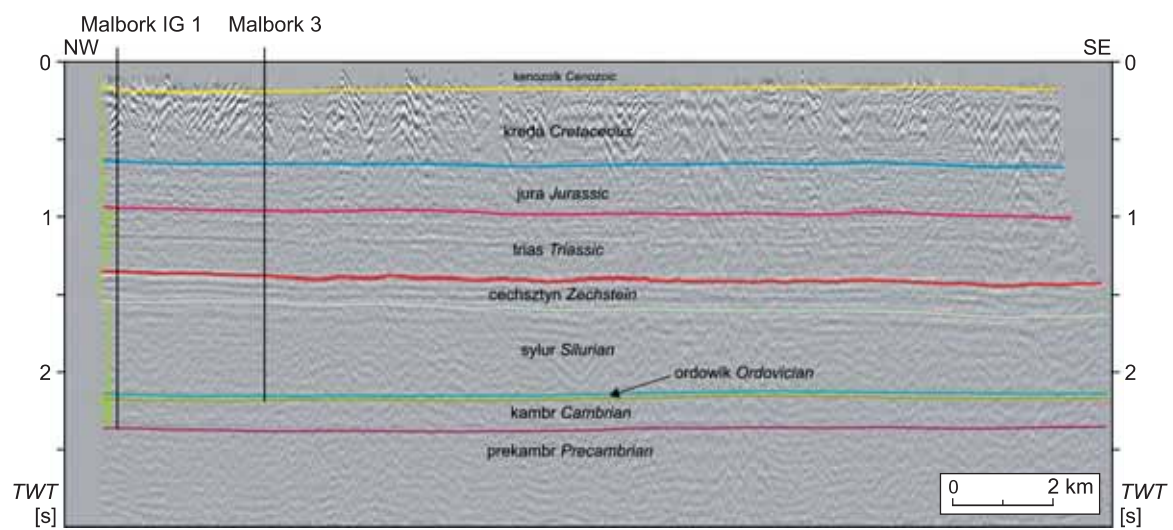


Fig. 28. Zinterpretowany profil sejsmiczny WO060189. Dla otworu Malbork IG 1 pokazano krzywą naturalnego promieniowania gamma

Interpreted seismic section WO060189. For Malbork IG 1 borehole natural gamma ray log is shown