

ANALIZA SUBSYDENCJI TEKTONICZNEJ ORAZ TEMPA DEPOZYCJI

WSTĘP

Otwór wiertniczy Darżlubie IG 1 jest położony w centralnej części basenu bałtyckiego w strefie wyniesienia Łeby. W strefie tej występują osady dwóch basenów sedymentacyjnych, różniących się ramami geometrycznymi oraz mechanizmami subsydencji. Stanowią je ediakarsko-dolnopaleozoiczny basen bałtycki oraz permsko-mezozoiczny basen polski. Przeprowadzona tu analiza subsydencji tektonicznej miała na celu scharakteryzowanie przebiegu subsydencji w tych basenach oraz określenie jej mechanizmów. Analiza tempa depozycji miała posłużyć przede wszystkim do odtworzenia aktywności obszarów źródłowych dla materiału detrytycznego.

Badania o podobnym charakterze były wcześniej wykonywane zarówno w odniesieniu do basenu bałtyckiego (Poprawa i in., 1999; Poprawa, 2006a, b), jak i basenu polskiego (Dadlez i in., 1995; Poprawa, 1997; Karnkowski, 1999). Prezentowane tu wyniki stanowią uzupełnienie w stosunku do wspomnianych prac. Wcześniejsze badania doprowadziły do stwierdzenia, że w późnym ediakarze–najwcześniejszym kambrze wzdłuż zachodniej krawędzi kratonu wschodnioeuropejskiego zachodziły procesy ryftowe, przypuszczalnie

związane z rozpadem superkontynentu Rodinii/Pannotii (Poprawa i in., 1999; Jaworowski, 2000; Poprawa, 2006a). Ryftowanie to doprowadziło do powstania wzdłuż zachodniej krawędzi kratonu wschodnioeuropejskiego pasywnej krawędzi kontynentalnej, istniejącej przez większą część kambru oraz we wczesnym i środkowym ordowiku. W późnym ordowiku i sylurze basen bałtycki stanowił zapadlisko przedgórskie kaledońskiej strefy kolizyjnej (Poprawa i in., 1999; Poprawa, 2006b).

W omawianej części basenu bałtyckiego na utworach dolnopaleozoicznych niezgodnie leżą utwory permsko-mezozoicznego basenu polskiego. Dla tego basenu przyjmowano genezę ryftową kontrowersji (Dadlez i in., 1995; Karnkowski, 1999; Kutek, 2001), z możliwym wpływem tektoniki trans-tensyjnej (Hakenberg, Świdrowska, 1997; Poprawa, 1997). Jako że otwór wiertniczy Darżlubie IG 1 jest zlokalizowany na wschodnim obrzeżeniu głównego depocentrum basenu, to wyniki analizy subsydencji nie są w tym przypadku reprezentatywne dla całego basenu polskiego.

METODYKA I ZAŁOŻENIA MODELU

Jednowymiarowa analiza subsydencji (*backstripping*) została przeprowadzona w celu wyodrębnienia z zapisu osadowego wypełnienia basenu sedymentacyjnego tektonicznej składowej całkowitej subsydencji. Metoda ta potencjalnie umożliwia identyfikację mechanizmów subsydencji, odtworzenie ewolucji reżimów tektonicznych, panujących w basenie oraz określenie tektonicznego modelu basenu. Backstripping wykonano z użyciem programu BasinMod 1-D™ (Platte River Associates, Inc.).

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. Określenie miąższości poszczególnych jednostek w obrębie utworów nawierconych w otworze z dokładnością wymaganą dla backstrippingu nie stanowiło trudności. Złożonym problemem była natomiast rekonstrukcja miąższości utworów usuniętych w trakcie poszczególnych faz erozji,

głównie erozji pokaledońskiej, erozji późno- i powaryscyjskiej oraz erozji z końca kredy i/lub początku paleogenu. Znaczenie odtworzenia rozmiarów pierwotnego, przederozyjnego pograżenia dla backstrippingu wynika z jego wpływu na proces kompaktacji mechanicznej. Ponadto przyjęte miąższości zerodowanych osadów decydują o przebiegu krzywej subsydencji w okresach reprezentowanych w profilu przez luki stratygraficzne. Zastosowanie poprawki batymetryczno-eustatycznej pozwoliło uwzględnić tę część subsydencji basenu, która nie była kompensowana depozycją, a zatem nie odzwierciedla się w miąższości osadów.

Poszczególnym jednostkom stratygraficznym wydzielonym w profilu, o randze zależnej od możliwej rozdzielczości stratygraficznej, przyporządkowano wiek liczbowy. Zastosowano w tym celu tabelę stratygraficzną Gradsteina i in. (2004). Długości trwania poszczególnych pięter w obrębie ordowiku przyjęto na podstawie tabeli Gradsteina i Ogga (1996).

W backstrippingu została uwzględniona poprawka na dekompakcję, która obliczana była według algorytmu Baldwina i Butlera (1985). Możliwy zakres błędu związany ze stosowaniem tej poprawki był dla prezentowanych wyników backstrippingu mało znaczący. Ilustruje to przeprowadzona przez Poprawę i Pacześną (2002) analiza porównawcza krzywych subsydencji obliczonych przy założeniu alternatywnych algorytmów dekompakcji.

Głównymi parametrami petrofizycznymi skał, uwzględnionymi w procedurze dekompakcji, były współczynniki kompaktacji oraz porowatość pierwotna, które przyjęto według publikowanych, typowych wartości dla podstawowych typów litologicznych. Dla poszczególnych jednostek osadowego wypełnienia basenu o składzie mieszanym tworzone w bibliotece programu nowe wydzielenia litologiczne, poprzez przyjęcie odpowiednich proporcji między podstawowymi składnikami. Następnie wyliczano dla nich wartości parametrów petrofizycznych, określając średnią ważoną z poszczególnych składników.

W analizie subsydencji uwzględniono także poprawkę izostatyczną, która pozwala wyróżnić subsydencję spowodowaną obciążeniem litosfery przez kolumnę osadów i wody. W tym przypadku poprawka ta była liczona według modelu

izostazji Airyego, standardowo używanego w modelowaniach jednowymiarowych. Uznano, że przyjęcie takiego uproszczonego modelu poprawki izostatycznej nie wprowadza znaczącego błędu (por. Barton, Wood, 1984; King, 1994).

Do przeprowadzenia modelowań wykorzystano litostratigraficzny profil otworu wiertniczego Darżlubie IG 1, dokumentowany w niniejszym tomie. Stratygrafia utworów w tym profilu została rozpoznana z rozdzielczością wystarczającą dla przeprowadzonych modelowań.

W analizie uwzględniono poprawkę batymetryczno-eustaticzną, reprezentującą tę część subsydencji basenu, która nie była kompensowana depozycją. Najistotniejsze kontrowersje co do rekonstrukcji paleobatymetrycznych dotyczą utworów górnego ordowiku i syluru, górnej jury oraz górnokredowych utworów facji kredy piszącej, które były deponowane w zbiornikach o największej głębokości w historii basenu. W niniejszych analizach przyjęto, że głębokości basenu w czasie depozycji tych utworów nie przekraczały od kilkudziesięciu do kilkuset metrów. Jako że w tych przedziałach czasu zostały zdeponowane utwory o stosunkowo dużej miąższości, wpływ potencjalnego błędu oszacowań paleobatymetrycznych na wyniki analizy subsydencji nie jest znaczący.

HISTORIA SUBSYDENCJI TEKTONICZNEJ

Rozwój basenu bałtyckiego rozpoczął się w późnym ediakarze–wczesnym kambrze fazą szybkiej subsydencji tektonicznej, kontynuującą się do środkowego kambru (fig. 47A). Tempo depozycji osadów we wczesnym kambrze wynosiło ok. 10–15 m/mln, zaś w środkowym kambrze średnio 38 m/mln lat (fig. 48A). W późnym kambrze i wczesnym i środkowym ordowiku tempo subsydencji tektonicznej znacząco się zmniejszyło w stosunku do kambryjskiego, tworząc krzywą subsydencji tektonicznej zbliżoną do wskaźnikowej dla basenów ekstensyjnych. We wczesnym i środkowym ordowiku tempo depozycji osadów było bardzo niskie, nieprzekraczające 5–6 m/mln lat.

Charakter krzywej subsydencji tektonicznej pozwala stwierdzić, że rozwój basenu bałtyckiego został zapoczątkowany w ediakarze fazą ekstensji. Brak struktur ekstensyjnych w omawianej części basenu jest związany z tym, że znajdowała się ona na wschodnim obrzeżu rekonstruowanej strefy ryftowej. Wzrost rozmiarów neoproterozoiczno-kambryjskiej subsydencji ku zachodowi wskazuje, że procesy ryftowania zachodziły w obszarze na zachód i południowy zachód od obecnej krawędzi kratonu wschodnioeuropejskiego. Obecność neoproterozoicznych rowów ekstensyjnych na południowo-zachodnim Bałtyku jest dokumentowana danymi sejsmicznymi (Lassen i in., 2001). Osady kambru centralnej części basenu bałtyckiego reprezentują depozycję już w postryftowej fazie rozwoju basenu, natomiast utwory najwyższego ediakaru–najniższego kambru (tj. utwory formacji smółdzińskiej), stanowią zapis przejścia od fazy syn- do postryftowej.

Ryft rozwijający się na przełomie neoproterozoiku i kambru wzdłuż zachodniej krawędzi Baltiki można wiązać

z późną fazą rozpadu prekambryjskiego superkontynentu Rodinii/Pannotii (por. Torsvik i in., 1996; Poprawa i in., 1999; Poprawa, Pacześna, 2002). Baseny sedymentacyjne rozwijające się na zachodnim skłonie kratonu wschodnioeuropejskiego stanowiły pokrywę osadową pasywnego brzegu kontynentalnego Baltiki.

Począwszy od późnego ordowiku rozpoczął się proces systematycznego wzrostu tempa subsydencji tektonicznej oraz tempa depozycji osadów, których maksimum nastąpiło w późnym sylurze. Równocześnie obserwowany jest także oboczny przyrost tempa subsydencji tektonicznej z NE ku SW, tj. ku krawędzi kratonu. Krzywa subsydencji tektonicznej dla późnego ordowiku i syluru ma charakterystyczny kształt „kolanowy” (fig. 47A), wskaźnikowy dla kompresyjnego reżimu tektonicznego, związanego z mechanizmem fleksuralnego uginania płyty. W efekcie dla późnoordowicko-sylurskiego basenu bałtyckiego potwierdzono model przedgórskiego basenu kaledońskiego orogenu (Poprawa i in., 1999; Poprawa, 2006a).

W późnym ordowiku tempo depozycji osadów również systematycznie wzrastało. W późnym ordowiku i landowerze wynosiło ok. 5 m/mln, w wenloku około 45 m/mln, zaś w późnym sylurze – średnio ponad 500 m/mln lat (fig. 48A). Jest to związane z jednej strony z powstawaniem przestrzeni akomodacyjnej w basenie w wyniku fleksuralnego uginania krawędzi płyty, z drugiej zaś strony ze wzmagającą się dostawą materiału detrytycznego, erodowanego z wypiętrzanej kaledońskiej przyzmy akrecyjnej, rozwijającej się wzdłuż zachodniej krawędzi kratonu.

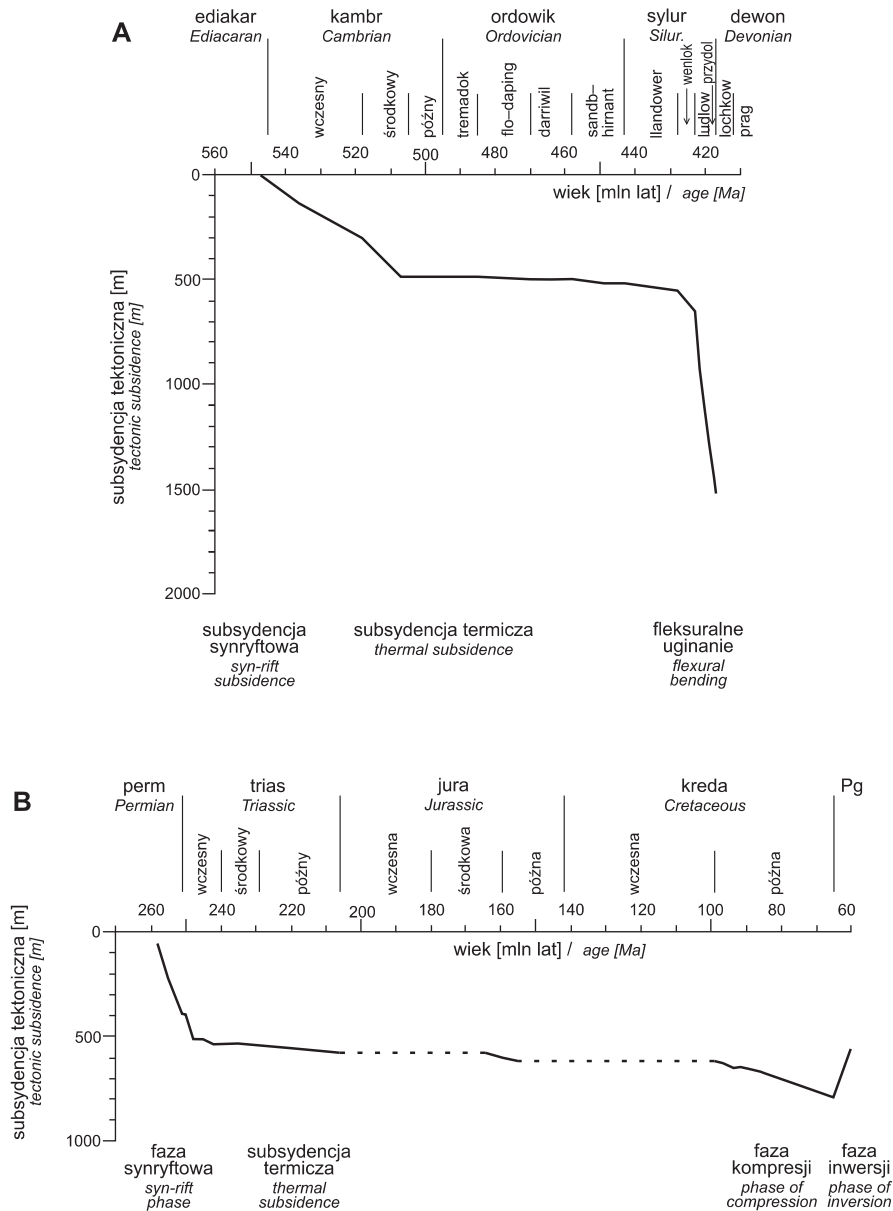


Fig. 47. Wczesnopaleozoiczna (A) i późnopermsko-mezozoiczno-kenozoiczna (B) historia subsydencji tektonicznej dla profilu Darżlubie IG 1

Early Palaeozoic (A) and Late Permian-Mesozoic-Cenozoic tectonic subsidence history for Darżlubie IG 1 borehole

W profilu Darżlubie IG 1 występuje luka stratygraficzna obejmująca najwyższy sylur–niższą część górnego permu. Z uwagi na brak zapisu skalnego dla tego przedziału czasu geologicznego analizy subsydencji nie prowadzono.

W omawianym profilu na częściowo zerodowanych utworach przydołu spoczywają osady czerwonego spągowca, które rozpoczynają profil permsko-mezozoicznego basenu polskiego. Ich depozycja przypada na okres wzmożonej subsydencji (fig. 47B) oraz wzmożonego tempa depozycji (fig. 48B), kontynuujących się do wczesnego triasu. Proces ten koreluje się z fazą tektoniczną powszechnie obserwowaną w basenie polskim, zwłaszcza w strefie bruzdy śródpolskiej, interpretowaną

jako faza synryftowa (Dadlez i in., 1995). Przez pozostałą część triasu, jury i wczesnej kredy utrzymywała się bardzo spowolniona subsydencja tektoniczna, przerywana okresami stagnacji subsydencji bądź niewielkiego wypiętrzania. Okres ten odpowiada przede wszystkim fazie poryftowej subsydencji termicznej basenu polskiego.

W późnej kredzie zachodziła w basenie reaktywacja tektoniczna, wyrażająca się wzmożoną subsydencją tektoniczną (fig. 47A). Poprzez odniesienie do ówczesnej ewolucji basenu polskiego przyjęto, że proces ten zachodził w kompresyjnym reżimie tektonicznym (Dadlez i in., 1995; Krzywiec, 2002).

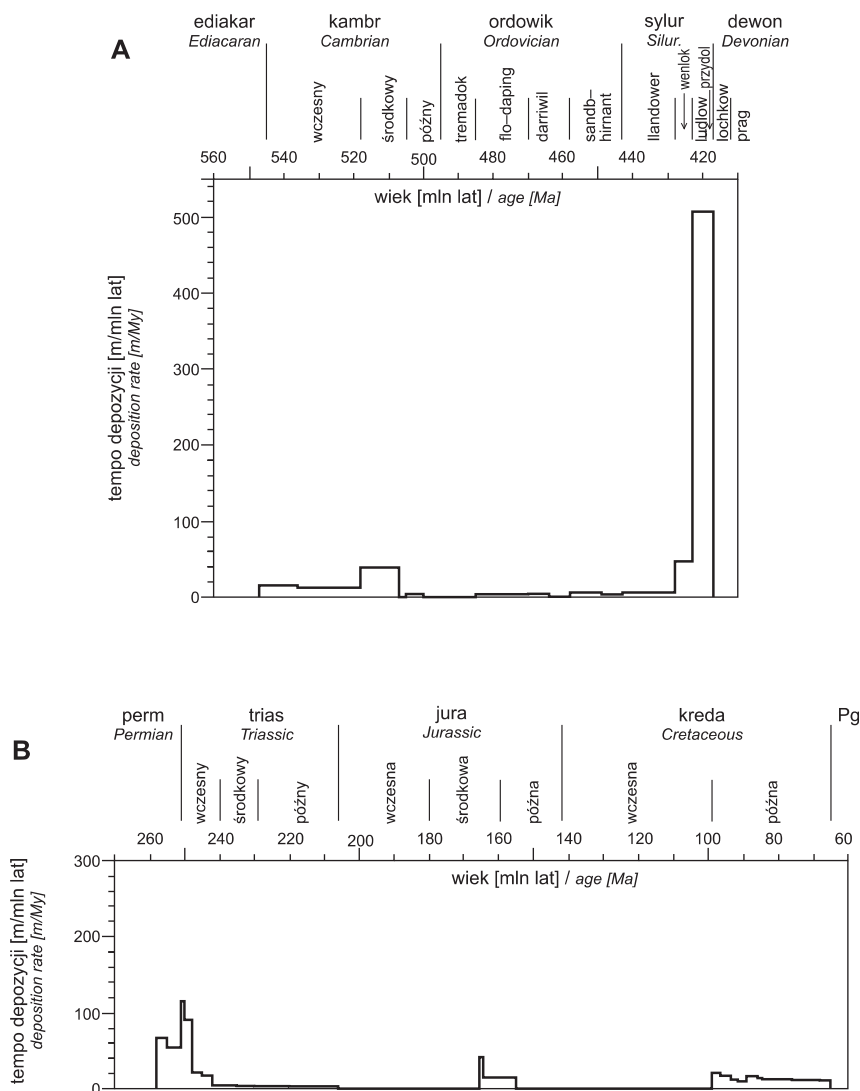


Fig. 48. Wczesnopaleozoiczne (A) i późnopermsko-mezozoiczno-kenozoiczne (B) tempo depozycji osadów dla profilu Darżlubie IG 1

Early Paleozoic (A) and Late Permian-Mesozoic-Cenozoic sediment deposition rate for Darżlubie IG 1 borehole

WNIOSKI

1. W późnym neoproterozoiku (ediacarze) wzdłuż zachodniej krawędzi kratonu wschodnioeuropejskiego rozwijał się ryft, związany z rozpadem prekambryjskiego superkontynentu.

2. Rozwój basenu bałtyckiego, w tym strefy w której jest zlokalizowany otwór wiertniczy Darżlubie IG 1, był w kambrze oraz wczesnym i środkowym ordowiku kontrolowany przez poryftową subsydencję termiczną. Omawiany obszar znajdował się wówczas na pasywnej krawędzi kontynentalnej.

3. W późnym ordowiku i w sylurze basen bałtycki stanowił fleksuralne zapadlisko przedgórskie kaledońskiego orogenu, który ponadto zasiliał basen materiałem detrytycz-

nym. Wiązało się z tym gwałtownie narastające w czasie tempo subsydencji tektonicznej oraz tempo depozycji osadów.

4. W późnym permie-wczesnym triasie w basenie polskim zachodziła przyspieszona subsydencja, związana z ryftowaniem w strefie bruzdy śródopolskiej, obejmująca swym zasięgiem również basen bałtycki. Po fazie synryftowej subsydencji nastąpił okres poryftowej subsydencji termicznej. W późnej kredzie doszło do reaktywacji tektonicznej basenu, przypuszczalnie związanej z reżimem kompresyjnym.