

NAJWAŻNIEJSZE WYNIKI BADAŃ

Otwór wiertniczy Malbork IG 1 jest usytuowany na obszarze środkowej części obniżenia bałtyckiego w zachodniej części kratonu wschodnioeuropejskiego. Celem wiercenia było przede wszystkim „zbadanie perspektywiczności osadów mezo- i paleozoicznych oraz warunków facjalnych i zbiornikowych”, a także poznanie budowy geologicznej obszaru obniżenia bałtyckiego, wyjaśnienie budowy strukturalnej, charakterystyki stratygraficzno-litofacjalnej osadów. Głębienie otworu rozpoczęto w 1987 r. Oprócz zadań związanych z geologią regionalną i naftową na otwór ten nałożono dodatkowe zadanie zbadania utworów triasu dolnego, w celu określenia jego uranoności w nawiązaniu do poszukiwań tego strategicznego i zarazem energetycznego surowca, prowadzonych w latach 80. XX w. przez Instytut Geologiczny w rejonie Krynicy Morskiej.

Otwór badawczy Malbork IG 1 zakończono w 1988 r. na głębokości 3680,0 m w utworach krystalicznych podłoża platformy wschodnioeuropejskiej po spełnieniu w pełnym zakresie postawionych przed nim zadań geologicznych i złożowych. Z całego otworu wiertniczego otrzymano 640 m b. rdzenia, wykonując 127 marszów rdzeniowych, co stanowi 17,4% miąższości całego przewierconego profilu.

Materiał rdzeniowy uzyskany z badawczego otworu wiertniczego Malbork IG 1 dostarczył wielu danych geologicznych, które stały się podstawą licznych opracowań merytorycznych. W niniejszym opracowaniu zawarte są informacje i wyniki badań pochodzące z Dokumentacji wynikowej otworu badawczego Malbork IG 1 (Areń i in., 1990) oraz przede wszystkim nowe wyniki badań litologicznych i litofacjalnych, stratygraficznych, petrograficznych, sedymentologicznych, strukturalnych oraz geochemicznych. W omawianym otworze wykonano pełny zestaw opróbowań hydrogeologicznych i pomiary geofizyki otworowej, będące podstawą obszernego opracowania merytorycznego, a także przeprowadzono analizę subsydencji oraz tempa depozycji osadów w paleozoiku i mezozoiku.

Granice jednostek chronostratygraficznych w odcinkach nierdzienionych są przybliżone i wyznaczone m.in. na podstawie korelacji krzywych geofizycznych tego otworu z odpowiednimi krzywymi profilów datowanych biostratygraficznie, takich jak np. Gdańsk IG 1, Pasłek IG 1, Prabuty IG 1.

Skały krystaliczne z otworu wiertniczego Malbork IG 1 należą do południowo-zachodniej części kratonu wschodnioeuropejskiego, a w podziale regionalnym – do różnych jednostek tektonicznych (strefy warmińskiej, terranu bałtyckiego, strefy – terranu zachodnioliteńskiego i terranu polsko-litew-

skiego). W omawianym otworze na głębokości 3661,0 m występują grubokrystaliczne i porfiroblastyczne granitoidy, które nie mogą być zaliczone do typowych granitów rapakiwi. Należy uznać je za granitognejsy hornblendowo-biotytowe i zaliczyć do tzw. granitoidów Warmii. Nie jest uzasadnione włączenie granitoidów Warmii do tzw. kompleksu mazurskiego o cechach kompleksu magmowego typu AMCG [anortozyt–mangeryt–czarnokit–granit (rapakiwi)], które różnią się od nich cechami geochemicznymi, choć intrudowały w tym samym czasie, czyli około 1,50–1,54 mld lat temu, podczas orogenezy duńsko-polskiej. Dane geochemiczne wskazują, że granitoidy Warmii powstały w środowisku łuku wulkanicznego. Charakteryzują się one dobrze wykształconą złożoną foliacją (S_0 – magmową + S_M – mylonityczną), zapadającą pod kątem 40–45° ze wskaźnikami kinematycznymi dokumentującymi nasuwczy reżim odkształcenia w czasie orogenezy duńsko-polskiej.

Pokrywą osadową w profilu otworu wiertniczego Malbork IG 1 rozpoczynają osady ediakaru i kambru dolnego. Utwory kambru dolnego odpowiadają w przybliżeniu terenowi i oddziałowi 2. Utwory kambru leżą w ciągłości sedymentacyjnej z podścielającymi je utworami formacji żarnowieckiej, którą reprezentują bardzo gruboziarniste piaskowce oraz zlepieńce o zabarwieniu brunatnym i pstrym. Utwory kambru nawiercono według miary wiertniczej na głębokości 3633,1–3234,0 m. W sukcesji kambryjskiej średni uzysk rdzenia wyniósł 88%. Pomimo tak wysokiego uzysku rdzenia, z profilu kambryjskiego pozyskano bardzo ubogi i nieoznaczalny materiał paleontologiczny. Granica między kambrem dolnym a środkowym została poprowadzona umownie na podstawie korelacji z pobliskimi otworami wiertniczymi (profile Gdańsk IG 1 i Prabuty IG 1).

Zespół cech litologicznych i sedymentologicznych wskazuje, że początkowo rejon profilu otworu wiertniczego Malbork IG 1 w środkowym kambrze znajdował się w płytkiej części strefy sublitoralnej, powyżej podstawy falowania. W miarę wycofywania się morza z obszarów wschodniej części obniżenia bałtyckiego nastąpiło spłylenie zbiornika i sedymentacja odbywała się w warunkach płytkowodnych, ale jeszcze nie przybrzeżnych. Dalsze jego wycofywanie w okresie późniejszym, poza okresami krótkich ingresji, doprowadziło do wynurzenia znacznych obszarów lądowych, na których rozpoczął się długotrwały okres denudacji.

Osady ordowiku w otworze wiertniczym Malbork IG 1 występują na głębokości 3187,5–3234,0 m, tj. stwierdzona ich sumaryczna miąższość wynosi 46,5 m. Jest to jednak profil stra-

tygraficznie niepełny i niereprezentatywny dla regionu, ponieważ wiercenie usytuowano w obrębie strefy dyslokacyjnej i rozpoznane utwory ordowiku są silnie zaburzone tektonicznie. Ich sukcesja zawiera liczne redukcje tektoniczne, zlustrowania i nafałdowania.

Dokumentacja paleontologiczna osadów ordowiku w profilu otworu wiertniczego Malbork IG 1 jest bardzo skąpa. Rozpoziomowanie stratygraficzne osadów systemu wykonane zostało na podstawie korelacji litostratygraficznej i geofizycznej z dwoma reperowymi profilami ordowiku tego regionu, tj. Prabuty IG 1 i Gdańsk IG 1. Na podstawie korelacji z sąsiednimi profilami wyróżniono tu nierozdzielone utwory hirnantu–katu, darrywili–sandbu oraz flo–doping (aszgil–arenig w podziale brytyjskim).

Utwory syluru występują na głębokości 3187,5–2004,5 m, osiagając 1183,0 m miąższości. Profil syluru został odwiercony z niewielkim poborem prób rdzeniowych. Jest on typowy dla obszaru centralnej części platformy prekambryjskiej. Przeważają osady drobnoklastyczne: iłowce i w mniejszym stopniu mułowce, z nielicznymi wkładkami osadów węglanowych, zalegające poziomo. Dominującą grupą skamieniałości, stanowiącą podstawę ortostratygrafii systemu są graptolity. W opracowaniu zastosowano globalny standardowy podział stratygraficzny syluru na oddziały i piętra. W porównaniu z podziałem chronostratygraficznym przedstawionym przez H. Tomczyka w Dokumentacji wynikowej otworu badawczego Malbork IG 1 (Areń i in., 1990) zrezygnowano z wydzielonych przez tego autora nieformalnych i lokalnych jednostek chronostratygraficznych, tzw. „pięter”: siedlce, mielnik oraz bielsk. W profilu wyróżniono landower, wenlok, ludlow oraz prawdopodobny przydol. Granice z ordowikiem i permem (czerwonym spagowcem) są granicami erozyjnymi.

W permie stwierdzono zarówno osady czerwonego spagowca, jak i cechsztynu.

W otworach wiertniczych zlokalizowanych w zachodniej części obniżenia bałtyckiego grubość permskich utworów klastycznych, występujących poniżej poziomu łupka miedziowego jest mała i wynosi w otworze wiertniczym Malbork IG 1 – 4,0 m. W tym, jak i w innych otworach na obszarze całej zachodniej części obniżenia bałtyckiego dominują litofacje drobnookruchowe: piaskowce drobnodziarniste i mułowce. W niższym permie obszar badań położony był w północno-wschodniej części basenu czerwonego spagowca określanego jako basen podlaski. Utwory czerwonego spagowca, wykształcone w postaci cykli zlepieńcowo-piaskowcowych, typowych dla rzecznych osadów korytowych, leżą z dużą luką sedymentacyjną i stratygraficzną na skałach ordowiku, syluru lub kambru.

W permie wyższym, obszar, na którym znajduje się obecnie otwór wiertniczy Malbork IG 1, był usytuowany w osiowej, centralnej części cechsztyńskiej zatoki perybałtyckiej w pobliżu jej połączenia z otwartym basenem rozciągającym się w bruzdzie środkowopolskiej. Profil stratygraficzny jest charakterystyczny dla tej strefy i wykazuje bardzo duże podobieństwo do profilu otworu wiertniczego Prabuty IG 1. Ewaporaty cechsztynu zostały osadzone w trzech cyklach PZ1, PZ2 i PZ3. Brak jest cyklotemu PZ4, a jego odpowiednikiem fa-

cyjnym są osady terygeniczne stropowej serii terygenicznej (PZt).

Dolomit główny jest poziomem skał węglanowych występujących u podstawy cechsztyńskiego cyklotemu PZ2. W poziomie tym na obszarze centralnej Polski występują jednocześnie skały macierzyste i zbiornikowe dla węglowodorów. Liczne złoża ropy naftowej, gazu ziemnego lub mieszane odkryte w dolomicie głównym, czynią z tego poziomu jeden z głównych obiektów poszukiwań złóż węglowodorów na Niżu Polskim. Tworzy on zamknięty system hydrodynamiczny, izolowany od góry i dołu seriami ewaporatów, i stanowi znakomity przykład rozwoju ewaporatowej formacji ropogazonośnej. Zwrócono uwagę na powszechnie występujące w dolomicie głównym skały pochodzenia mikrobialnego i algowego, organizmy te mogły być źródłem substancji organicznej.

Badania występowania skał macierzystych w cechsztynie w profilu otworu wiertniczego Malbork IG 1 wykazały jednak, że w dolomicie głównym występują niskiej jakości niewielkie ilości skał macierzystych nie mające żadnego znaczenia w ocenie potencjału macierzystości.

W pracy podano charakterystykę mikrofacjalną osadów cechsztynu, rodzaje procesów diagenetycznych, środowiska sedymentacji.

Zaproponowana w pierwotnej dokumentacji wynikowej stratygrafia triasu w otworze wiertniczym Malbork IG 1 nie uległa jak do tej pory rewizji. W niniejszym zeszycie przedstawiono zatem zaproponowane w dokumentacji wydzielenia litostratygraficzne wraz z ich chronostratygraficzną interpretacją, umożliwiającą dzięki wynikom analiz palinologicznych rdzeni oraz specyficznej budowie basenu sedymentacyjnego triasu Niżu Polskiego. Granice jednostek chronostratygraficznych należy uznać za umowne.

Otwór wiertniczy Malbork IG 1 (wraz z dwoma innymi otworami) dostarczył nowych danych o wykształceniu uranonośnych utworów triasu, a szczególnie formacji elbląskiej, datowanej na najwyższe ogniwo dolnego triasu. Poczynione obserwacje i wyniki analiz szczegółowych pozwoliły określić środowiska sedymentacji utworów formacji elbląskiej w badanym profilu, jego ewolucji oraz powiązania wyróżnionych w jej obrębie facji i cykli z podobnymi wydzieleniami w równoległych utworach w rejonie Malborka. Analiza wykształcenia omawianych osadów pozwoliła wyróżnić w omawianym profilu formacji elbląskiej sześć litofacji, związanych głównie z kontynentalnym środowiskiem sedymentacji. Większa część utworów formacji elbląskiej powstała na obrzeżeniu zbiornika słonowodnego i reprezentuje asocjację facjalną równi brzegowej.

Dotychczasowe badania mineralizacji uranowej w dolnym triasie wschodniej części obrzeżenia perybałtyckiego, wykazały występowanie szeregu zmineralizowanych poziomów, głównie w przewarstwieniach piaszczystych, przede wszystkim w dolnej części formacji elbląskiej.

Wykonana aktualnie analiza sedymentologiczna utworów wyższej części dolnego triasu w rejonie Malborka dowodzi, że na podstawie kryteriów sedymentologicznych wątpliwe jest skorelowanie poszczególnych litosomów piaszczysto-zlepieńcowych. Możliwe i celowe jest natomiast korelowanie ze

sobą asocjacji facjalnych. Pozwala to zawęzić spektrum analizowanych osadów do ogniw najbardziej perspektywicznych.

Badania petrograficzne i mineralogiczne pod kątem obecności mineralizacji kruszcowej przeprowadzono w utworach cechsztyńskiej serii miedzionośnej obejmującej wapień cechsztyński Ca1, łupek miedzionośny T1 oraz biały spągowiec Bs. Wykazano obecność dość bogatej mineralizacji pirytowej, której towarzyszą podrzędne wtrącenia chalkopirytu, sfalerytu, galeny i markasytu, o charakterze rozproszonym.

Na obszarze środkowej części obniżenia bałtyckiego jura dolna i środkowa mają bardzo zredukowany profil, jedynie jurę górną charakteryzuje obecność prawie pełnego profilu stratygraficznego. Łączna miąższość utworów jurajskich w otworze wiertniczym Malbork IG 1 wynosi 370,5 m. Leżą one na utworach ilasto-mułowcowych górnego triasu. Pomiędzy tymi osadami występuje luka stratygraficzna, obejmująca najniższy odcinek dolnej jury. W stropie utwory jurajskie przykryte są przez piaski kwarcowo-glaukonitowe albu górnego – cenomanu. Stwierdzona tu luka sedimentacyjna obejmuje całą dolną kredę.

Skały kredy przewiercono całkowicie bezrdzeniowo. Granice stratygraficzne oraz litologię określono na podstawie dokładnej analizy próbek okruchowych oraz interpretacji pomiarów geofizyki wiertniczej w porównaniu z najbliższymi, częściowo rdzeniowanymi otworami wiertniczymi Prabuty IG 1, Pasłek IG 1, i Gdańsk IG 1, oraz innymi usytuowanymi na obniżeniu bałtyckim. Profil kredy w omawianym otworze wiertniczym zajmuje położenie przejściowe pomiędzy zachodnią częścią obniżenia bałtyckiego, o pełniejszym rozwoju sukcesji, a jego częścią wschodnią, gdzie notuje się znaczne luki stratygraficzne obejmujące wyższy turon, koniak, santon, kampan i dolny mastrycht.

Kreda górna łącznie z albem górnym w otworze wiertniczym Malbork IG 1 ma miąższość 498,0 m i jest reprezentowana prawdopodobnie przez następujące jednostki chronostratygraficzne: alb górny, cenoman, turon, santon, kampan i mastrycht. Brak jest tu kompleksów przypisywanych wiekowi koniakowi i, prawdopodobnie, wyższemu turonowi. Powyżej kredy górnej na głębokości 0–105 m występują utwory kenozoiku. Paleogen i neogen występują na głębokości 35,0–105, 0 m i wykształcone są w postaci ilów, piasków i mułków piaszczystych. Czwartorzęd ma miąższość 35,0 m. Reprezentowany jest przez piaski różnoziarniste, torfy, ily zaostiskowe oraz gliny morenowe.

W analizie subsydenacji uwzględniono dane użyte dla rekonstrukcji subsydenacji tektonicznej oraz źródłowe dane literaturowe dotyczące zmian batymetryczno-topograficznych oraz eustatycznych. W obszarze badań występują nałożone na siebie utwory dwóch basenów sedimentacyjnych, różniących się wzajemnie ramami geometrycznymi, a także mechanizmami subsydenacji. 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. Analizę subsydenacji tektonicznej dla profilu otworu wiertniczego Malbork IG 1 przeprowadzono w celu odtworzenia jej przebiegu w odnie-

sieniu 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.

Badania geochemiczne materii organicznej były przeprowadzone dla utworów dolnego i środkowego kambru, ordowiku i syluru i górnego permu (cechsztyń) oraz utworów mezozoiku w tym dolnego triasu, dolnego/środkowego triasu, środkowego triasu, a także środkowej i górnej jury. Stwierdzono, że w profilu otworu wiertniczego Malbork IG 1 jedynie utwory syluru dolnego i górne partie jury górnej zawierają punktowo ilość węgla organicznego pozwalającą uznać te skały za „dobre” skały macierzyste dla generowania węglowodorów. Można więc stwierdzić, że utwory nawiercone w otworze wiertniczym Malbork IG 1 są bardzo słabe pod względem zawartości węgla organicznego. Jednocześnie w utworach dolnego paleozoiku stwierdzono występowanie dużej ilości składników labilnych, które ogólnie mają charakter epigenetycznych z osadem. Stwierdzono, że występuje znaczne podobieństwo w składzie bituminów wydzielonych z utworów kambru środkowego i objawów ropy w tych utworach.

Badania materii organicznej wykazały, że w utworach wczesnego paleozoiku jest ona typu sapropelowego i jest dobrze przeobrażona. Źródłem wyjściowej materii organicznej obecnej w tych utworach były bakterie i algi morskie. Dojrzałość badanej materii zmienia się wraz z głębokością, najsilniej przeobrażona jest materia organiczna w utworach kambru, najsłabiej natomiast w utworach syluru: w ludlowie i przydolu. Generalnie stopień przeobrażenia materii organicznej w tych utworach odpowiada stadium „okna ropnego”. Materia organiczna w permie i mezozoiku jest typu sapropelowego, ale zaznacza się udział materiału humusowego. Materia organiczna w utworach permu, triasu i jury jest słabo przeobrażona.

Charakterystykę petrograficzną materii organicznej rozproszonej w profilu osadów permu i mezozoiku oraz starszego paleozoiku z otworu wiertniczego Malbork IG 1 przeprowadzono na podstawie analizy próbek reprezentujących utwory jury górnej i środkowej, triasu środkowego, permu górnego oraz syluru, ordowiku i kambru. Analizowany kompleks osadów wieku kambr–jura charakteryzuje się zmienną, najczęściej ubogą i bardzo ubogą zawartością materiału organicznego. Podwyższone jego koncentracje występują lokalnie w utworach jurajskich, permskich, stropowych partiach syluru, osadach wenloku i landoweru.

Skład maceralny materii organicznej w osadach permu-mezozoiku reprezentowany jest głównie przez humus: witytrinit typu kolotelinitu oraz inertynit przy niezbyt licznych udziałach macerałów grupy liptynit. W osadach starszego paleozoiku materia organiczna jest również słabo zróżnicowana pod względem typu genetycznego, składu petrograficznego oraz formy występowania. Jej głównym składnikiem jest materiał witytrinitopodobny: stałe bituminy i zooklasty (głównie szczątki graptolitów). Lokalnie obserwuje się niewielkie impregnacje bitumiczne. Dojrzałość termiczna badanego kompleksu osadów zmienia się wraz z głębokością pograżenia, w szerokim zakresie od fazy niedojrzałej i wczesnej fazy generowania

ropy naftowej, w osadach permu i mezozoiku, przez główną i późną fazę generowania ropy naftowej w osadach syluru i ordowiku po główną fazę generowania gazów w osadach kambru. Powyższe dane pozwalają uznać za potencjalnie macierzyste dla generowania węglowodorów (ropa naftowa, kondensaty, mokre gazy) pojedyncze poziomy osadów ilastych landoweru i wenloku.

Profilowania geofizyki wiertniczej wykonano do głębokości 3680,0 m. Poza standardowym zestawem metod badawczych, w odcinku głębokościowym 1000,0–1300,0 m, wykonane zostały dodatkowe badania stref mineralizacji uranowej występującej w utworach triasu dolnego. Wyniki badań geofizycznych wykonanych w otworze wiertniczym Malbork IG 1 stanowią istotny element rozpoznania utworów piętra osadowego na badanym obszarze. Szczególnie cenne są wyniki m.in. rozpoznania wystąpień mineralizacji uranowej w obrębie utworów triasu dolnego. Należy podkreślić, że stopień szczegółowości wykonanych prac interpretacyjnych, a także postawiony cel badawczy, tj. uzyskania podstawowej wiedzy na temat uproszczonego modelu litologiczno-petrofizycznego skał występujących w profilu, pozwalają na traktowanie uzyskanych wyników jako wstępnego wariantu wyników interpretacyjnych. Niezbędny dalszy rozwój metodyki prac interpretacyjnych ukierunkowanych na kompleksową interpretację archiwalnych danych geofizycznych umożliwi uzyskanie pełniejszego rozpoznania profilu wiercenia Malbork IG 1.

Dla zilustrowania budowy geologicznej regionu wykorzystano profil sejsmiczny WO060189. Charakteryzuje się on stosunkowo niską jakością pola falowego. Do powiązania czasowego pola falowego i głębokościowych danych otworowych (stratygrafia, karotaże) wykorzystano prędkości średnie. W obrębie kompleksu permsko-mezozoicznego nie zidentyfikowano żadnych deformacji tektonicznych. Poniżej cechsztynu w otworze wiertniczym Malbork IG 1 przewiercono utwory syluru, ordowiku, kambru, a następnie nawiercono podłoże prekambryjskie. Również w obrębie tego kompleksu nie stwierdzono żadnych deformacji tektonicznych ani zmian miąższości.

Pracami pomiarowymi prędkości średnich objęto odcinek otworu od 50 do 3660 m. Z uzyskanych danych wynika, że granice prędkościowe występują na kontakcie utworów kredy i jury, w triasie dolnym, na kontakcie triasu i permu oraz permu i syluru. Otrzymane informacje wskazują, że szczególnie dobre warunki fizyczne rejestracji granic sejsmicznych mają miejsce w stropie i w spągu cechsztynu. Znajduje to potwierdzenie w pracach sejsmicznych, w których rejestruje się odbicia związane z warstwami przystropowymi i przyspągowymi w cechsztynie. Odnośnie odbić od granic podcechsztyńskich, z analizy krzywych widać, że zmiany prędkościowe można wydzielić też w osadach syluru oraz na granicy syluru i ordowiku oraz w utworach kambru. Można zatem stwierdzić, że istnieją warunki do uzyskania w rejonie otworu horyzontów refleksyjnych z całego przedziału głębokościowego serii osadowej.

Celem opróbowania poziomów zbiornikowych była ich charakterystyka pod kątem możliwości zachowania się węglowodorów. Przeprowadzono kilka cykli badawczych poziomów kambru oraz opróbowano 2 poziomy zbiornikowe w utworach mezozoicznych.

Piaskowce kambru środkowego wykazują minimalne właściwości zbiornikowe. Leżą one w strefie anomalnie niskich ciśnień złożowych. Zanikanie przyływu ropy w końcowym okresie opróbowania świadczy o istnieniu tu niewielkiej soczewki, odizolowanej od basenu roponośnego kambru. Uzyskane wyniki pozwalają jednak znacznie poszerzyć strefę roponośną w utworach kambru. Solanki występujące w badanych poziomach utworów mezozoicznych zalegają w strefie utrudnionej wymiany z wodami mniej zmineralizowanymi, występującymi w wyższych poziomach stratygraficznych. Infiltracja jest powolna. Badane solanki należą do wód zmetamorfizowanych i w późniejszych okresach częściowo wysłodzonych. Przewiercone i badane w otworze poziomy mezoizoiczne nie są perspektywiczne pod kątem występowania złóż węglowodorów. Skład chemiczny solanki występującej w badanym poziomie jurajskim umożliwia jej zastosowanie w balneoterapii.