

Teresa PODHALAŃSKA, Magdalena SIKORSKA-JAWOROWSKA

NAJWAŻNIEJSZE WYNIKI BADAŃ

Otwór wiertniczy Polik IG 1 jest zlokalizowany w północnej części niecki płocko-warszawskiej (płockiej) na zachodnim skłonie platformy wschodnioeuropejskiej. Jego głębienie zakończono w 1987 r. na głęb. 4584,0 m, po osiągnięciu stropowych warstw kambru. Zakres rdzeniowania otworu był nierównomierny. W całości rdzeniowano 463,0 metrów bieżących, co dało uzyskanie wielkości 10,1%.

W profilu otworu Polik IG 1 możemy odczytać zapis kolejnych pięter strukturalnych, będących odzwierciedleniem historii geologicznej obszaru. Jej początki sięgają późnego neoproterozoiku. W omawianym otworze, odwierconym w pograżonej, marginalnej części platformy wschodnioeuropejskiej, strop podłoża krystalicznego, którego utwory nie zostały tu nawiercone, występuje na głęb. ok. 5000 m i obniża się ku południowemu zachodowi, podobnie jak w pozostałych rejonach brzeżnej części platformy.

Rozwój pokrywy osadowej paleozoiku zachodniej części platformy wschodnioeuropejskiej był poprzedzony okresem długotrwałej erozji krystalicznego podłoża. W otworze Polik IG 1 najstarszymi nawierconymi utworami są skały ~oddziału 3 (kambr środkowy). Przewaga erozji nad sedymentacją w późnym kambrze spowodowała brak osadów najwyższej części ~oddziału 3 (kambr środkowy) i furongu (kambr górny) w tej części basenu sedymentacyjnego.

Polik IG 1 jest jednym z nielicznych otworów wiertniczych, w których rozpoznano utwory ordowickie w podłożu niecki płocko-warszawskiej. W sylurze przesuwany się front kolizji kaledońskiej był głównym czynnikiem warunkującym depozycję osadów w basenie. Profil utworów niższego paleozoiku w tym otworze jest zredukowany. Na skutek erozji posylurskiej brak jest tu znacznej części ludlowu i utworów przydolu. Nie stwierdza się występowania utworów dewońskich i karbońskich. Perm rozpoczyna się utworami czerwonego spągowca o niewielkiej miąższości.

Powstanie permsko-mezozoicznych formacji osadowych na obszarze Niżu Polskiego było związane z rozwojem epikontynentalnego basenu sedymentacyjnego na tym obszarze. W przeważającej części triasu, we wczesnej i środkowej jurze oraz wczesnej kredzie przeważała terygeniczna sedymentacja klastyczna. Etap rozwoju basenu permsko-mezozoicznego ostatecznie zamknęła sedymentacja danu.

Najstarszymi, ale nieprzewierconymi, utworami otworu Polik IG 1 są mułowce, piaskowce i heterolity kambru środ-

kowego, występujące na głębokości rdzeniowej 4507,0 (4505,0 m wg geofizyki)–4584,0 m.

Utwory ordowiku, według pomiarów geofizyki otworowej, wyróżniono na głębokości 4438,0–4505,0 m, a ich miąższość wynosi 67,0 m. Profil ordowiku był jedynie częściowo rdzeniowany i występują w nim utwory standardowych pięter globalnych: darriwil, sandb, kat i hiranant, które odpowiadają, według klasycznego podziału brytyjskiego, sekwencji od lanwirnu po aszgil górny. W profilu tym wyróżniano utwory trzech jednostek litostratygraficznych (od dołu): formacji wapieni z Polika, formacji iłowców z Sasina, formacji margli i iłowców z Prabut.

Utwory syluru, głównie iłowce, mułowce i pyłowce, leżą poziomo lub pod niewielkim kątem (kilka stopni). Nie zaobserwowano większych zaburzeń tektonicznych, poza nielicznymi powierzchniami ślizgów. Podobnie wykształcone osady syluru stwierdzono w pobliskich otworach: Boddanów IG 1, Kamionki IG 3, Biezuń 1 oraz Szczawno 1. Utwory te kontaktują w stropie z, poprzedzonymi dużą luką stratygraficzną, utworami permu – czerwonego spągowca. Osady syluru, podobnie jak pozostałe skały niższego paleozoiku tego regionu, powstały w dystalnej części basenu bałtycko-podlasko-lubelskiego, rozciągającego się (od późnego proterozoiku) wzdłuż zachodniego skłonu Bałtyki. Przeważają osady drobnoklastyczne: mułowce, iłowce i pyłowce w wielu interwałach głębokościowych wapieniste. Poza tym występują wkładki i soczewki wapieni oraz cienkie wkładki osadów piroklastycznych, tufitów. W utworach ludlowu licznie występuje muskowitz. Dominującym rodzajem osadu jest mułowiec – skała będąca mieszaniną iłu i pyłu w zmiennych proporcjach (w dokumentacji wynikowej otworu nazywane iłowcami). Obecność pyłowców i pyłowców wapienistych („mułowców” wg dokumentacji wynikowej otworu) jest charakterystyczna dla formacji z Kociewia wyższego wenloku i ludlowu.

Miąższość niższej części syluru, landoweru i wenloku, wynosi łącznie 258,0 m, w ludlowie wzrasta i, obejmując gorst i najniższy ludford, wynosi 414,0 m. Pierwotnie miąższość syluru była znacznie większa, lecz procesy erozyjne spowodowały usunięcie znacznej części ludlowu i całego przydolu.

W otworach wiertniczych Polik IG 1 i Kamionki IG 3 stwierdzono pod utworami ewaporatowymi cyklotemu PZ1 skały klastyczne gruboziarniste (frakcji psamitowej), czer-

wone, które zostały zaliczone do górnego czerwonego spągowca (grupa Warty).

Cytowane otwory wiertnicze zostały zlokalizowane w strefie kontaktu platformy przewendyjskiej i paleozoicznej. Strefa ta wyznacza również ogólny zasięg utworów czerwonego spągowca związanych z akumulacją w basenie polskim. Osady czerwonego spągowca w otworze Polik IG 1 stwierdzono na głęb. 3760,0–3766,0 m. Są to luźne otoczaki żwiru o najczęstszej średnicy 5–7 cm (maks. ponad 10 cm). W większości są to półobtoczone fragmenty szarych piaskowców kwarcytowych. Sporadycznie zanotowano okruchy dolomitu, granitoidu i tufu lapillowego.

Profil litologiczno-stratygraficzny cechsztynu opracowano na podstawie rdzeni wiertniczych i pomiarów geofizyki otworowej. Stwierdzono przesunięcie rdzenia wiertniczego, w stosunku do karotaży. Rdzeń jest obniżony o 9 m w stosunku do pomiarów geofizycznych. Przesunięcie to stwierdzono na granicy anhydrytu podstawowego (A2) i dolomitu głównego (Ca2), ale z dużym prawdopodobieństwem można przyjąć, że występuje ono na całym odcinku profilu cechsztyńskiego. Profil cechsztynu w wierceniu Polik IG 1 paleogeograficznie jest zlokalizowany w szeroko pojętej, wschodniej części basenu cechsztyńskiego, na kratonie wschodnioeuropejskim, charakteryzującym się w cechszynie słabą subsydencją, kompensowaną przez osady. Cechsztyń z otworu Polik IG 1 nie jest zaburzony tektonicznie i jest zbudowany z trzech cyklotemów węglanowo-ewaporatowych: PZ1, PZ2, PZ3 i terygeniczno-ewaporatowego cyklotemu PZ4a oraz stropowej serii terygenicznej PZt, odpowiadającej wyższym ogniwom stratygraficznym cyklotemu PZ4 w centralnej części basenu ewaporatowego.

Utwory triasu występują na głębokości geofizycznej 2401,0–3220,5 m i rdzeniowane były jedynie w niewielkim zakresie: trias dolny w 10%, trias środkowy w 9%, a trias górny w 6%. Pstry piaskowiec osiąga miąższość 486 m, charakteryzuje się wykształceniem piaskowcowo-iłowcowym i występowaniem luki stratygraficznej na pograniczu środkowego i górnego pstrego piaskowca. Profil nie odbiega od wcześniej poznanych profili z tego rejonu, tzn. z okolic Sierpeca–Żuromina, a szczególnie podobny jest do sukcesji w otworze Sierpe 2. Wydzielono wszystkie formacje litostratygraficzne opisane w triasie z północno-wschodniej Polski.

W otworze Polik IG 1 miąższość wapienia muszlowego wynosi 77 m, a kajpru dolnego i środkowego (bez warstw nidzickich) 137 m, co świadczy, że nie odbiegają one od ogólnego rozkładu miąższości tych utworów w północnej części niecki płocko-warszawskiej. Sedymentacja wapienia muszlowego zachodziła w dość wyrównanych warunkach batymetrycznych, przy stabilnym podłożu. Pozwoliło to na powstanie osadów o wyrównanej miąższości w regionie. Wapień muszlowy dolny i środkowy jest wykształcony w jednorodnej facji wapienno-dolomitycznej. W środkowym wapieniu muszlowym występują wtrącenia siarczków. Dla górnego wapienia muszlowego charakterystyczny jest znaczny udział skał ilasto-marglistych. Pod koniec depozycji wapienia muszlowego zbiornik przekształcił się w śród-

kontynentalny zbiornik kajpru, w którym rozwinęła się sedymentacja brakiczna. W osadach najwyższego triasu wydzielono dwa kompleksy litologiczne: warstwy nidzickie oraz tzw. warstwy z *Trileites* (= warstwy bartoszyckie), charakterystyczne dla całego obszaru niecki płocko-warszawskiej.

Jura dolna w otworze Polik IG 1 ma miąższość 387,0 m. Jej granicę spągową wyznaczono na podstawie krzywych geofizycznych na głęb. 2401,0 m, a stropową – 2014,0 m. Leży ona bezpośrednio na utworach iłowcowo-mułowcowych retyku, a przykrywają ją utwory młodszej jury środkowej (najwyższego bajosu górnego lub batonu dolnego). Luka stratygraficzna w stropie obejmuje aalen i cały lub prawie cały bajos. W profilu wydzielono formację zagajską (hetang–?synemur dolny), ostrowiecką (synemur), gielniońską (pliersbach dolny), drzewicką (pliersbach górny), ciechocińską (toark dolny) i borucicką (toark górny).

Utwory jury górnej mają miąższość 493,0 m i występują na głęb. 1397,5–1890,5 m. Leżą one w ciągłości stratygraficznej na utworach keloweju (jura środkowa). Ku górze w sposób ciągły przechodzą w niewielkiej miąższości (8,0 m) utwory beriasu dolnego (kreda dolna), które z kolei są przykryte przez iłowce górnego walanżynu. Ostra granica pomiędzy tymi utworami znaczy lukę stratygraficzną obejmującą wyższą część beriasu.

W otworze Polik IG 1 stwierdzono pełny profil jury górnej, obejmujący oksford, kimeryd i tyton. W obrębie poszczególnych pięter wydzielono szereg nieformalnych jednostek litostratygraficznych: formację wapieni gąbkowych, formację oolitową, formację wapienno-marglisto-muszlowcową, formację pałucką oraz formację kcyńską z ogniwem wapieni korbulowych.

Dla utworów jury środkowej i górnej przedstawiono analizę zespołów mikropaleontologicznych, głównie otwornic i udokumentowano zróżnicowane zespoły tej grupy mikrofauny

Utwory kredy o miąższości 1141,0 m występują na głęb. 256,5–1397,5 m. W profilu udokumentowano kredę górną o miąższości 951,0 m oraz kredę dolną o miąższości 190,0 m. Brak tu jest utworów najniższej kredy. W rejonie otworu Polik transgresja morska miała miejsce w późnym walanżynie, rozszerzając się w hoterywie. Początkowo w płytkim zbiorniku epikontynentalnym osadzały się utwory silikoklastyczne drobnej frakcji, następnie, od późnego albu, margle i wapień oraz opoki (głównie w santonie). Na przełomie kredy i paleogenu nastąpiła przebudowa całego basenu mezozoicznego. W basenie wczesnego paleocenu (danu) zachodziła sedymentacja gez i margli w płytkim zbiorniku morskim.

Dla utworów kredy przedstawiono wyniki badań mikropaleontologiczno-biostratygraficznych na podstawie otwornic. Dość zróżnicowana i liczna mikrofauna pozwoliła udokumentować cenoman, mastrycht górny oraz dan. Scharakteryzowano także zróżnicowany i bardzo dobrze zachowany zespół mszywiolów kredy górnej i paleocenu.

Powyżej występują iły i mułki oligocenu; obecność eocenu jest niepewna. Nie można wykluczyć, że w otworze Polik IG 1 do eocenu należy najniższa część osadów oligo-

cenu z głęb. 181,0–212,5 m. Utwory czwartorzędu wykształcone są typowo jako piaski, żwiry i gliny zwałowe.

W opracowaniu profilu Polik IG 1 przedstawiono także wyniki badań petrograficznych utworów kambru, permu (czerwonego spągowca i cechsztynu), triasu, jury i kredy.

Przeprowadzono szczegółowe badania materii organicznej w osadach, w celu określenia ich potencjału węglowodorowego.

Badania mikroskopowe wykazały, że osady niższego paleozoiku nie są perspektywiczne z punktu widzenia możliwości generowania węglowodorów, pomimo dużej zawartości materii organicznej w utworach karadoku czy spągowych warstwach wenloku. Dojrzałość termiczna skał kambru, ordowiku i syluru odpowiada fazie przejrzalej, w której następuje destrukcja cząstek węglowodorowych. Jedynie w stropowych partiach ludlowu mogłyby być generowane gazy suche. Osady węglanowe cechsztynu oraz triasu środkowego znajdują się w głównej fazie generowania ropy naftowej, jednak są zbyt ubogie w materię organiczną, żeby uznać je chociaż za słabe skały macierzyste do jej generowania. Klastyczne utwory jury dolnej i środkowej można określić jako dobre skały macierzyste do generowania ciekłych węglowodorów.

Na podstawie geochemicznych badań materii organicznej za dobre skały macierzyste do generowania węglowodorów ogólnie uznano utwory ordowiku (kat–sandb, hirnant–wyższy kat), które jednak mają małą miąższość. Podwyższona ilość węgla organicznego występuje także w piaskowcowo-iłwcowych utworach kredy dolnej, co pozwala określić te utwory jako „dobre” skały macierzyste. Badane utwory w całym profilu charakteryzują się bardzo małą albo śladową ilością składników labilnych. Bituminy cechuje duży udział frakcji żywicy i asfaltenów. Tylko niewielki procent bituminów odznacza się dużym udziałem węglowodorów.

Analizy geochemiczne materii organicznej niższego paleozoiku, przeprowadzone metodami Rock-Eval, SRA i LECO, potwierdziły znaczne zróżnicowanie pod względem macierzystości poszczególnych interwałów stratygraficznych. Skały kambru środkowego nie ujawniają macierzystości. Iłowce formacji z Sasina (niższy kat–sandb, karadok) to skały macierzyste o wyczerpanym potencjale węglowodorowym. Profilowanie gamma oraz profilowanie metodą CARBOLOG sugerują występowanie w spągowej części profilu landoweru kilkumetrowej wkładki (odpowiednik ?formacji (mułowca) z Jantaru) o średnich wartościach TOC. Wyniki badań geochemicznych skał wenloku pozwalają na rozróżnienie części spągowej, bogatej w materię organiczną, i stropowej – ubogiej. Część spągowa wenloku to skały macierzyste cechujące się wyczerpanym potencjałem węglowodorowym, podczas gdy części stropowej nie można uznać za skały macierzyste. Skały ludlowu, będące kontynuacją sukcesji sedymentacyjnej górnej części wenloku, także nie są skałami macierzystymi. Duża zmienność i rozrzut wartości parametru T_{max} w całym profilu niższego paleozoiku nie pozwala na wiarygodne określenie stopnia przeobrażenia termicznego materii organicznej. Wartości parametrów HI oraz OI również nie pozwalają na

poprawne określenie typu kerogenu. Oba ograniczenia są wynikiem bardzo wysokiej dojrzałości termicznej materii organicznej.

W celu określenia podstawowych parametrów fizycznych i chemicznych skał, próbki rdzeniowe poddano badaniom określającym ciężar właściwy i objętościowy, porowatość efektywną i całkowitą, węglanowość oraz przepuszczalność. Badaniom poddano 146 próbek rdzeniowych uzyskanych ze skał osadowych różnych systemów stratygraficznych, w tym: kambru, ordowiku, syluru, permu, triasu, jury i kredy.

Wykonano jednowymiarowe modelowanie historii termicznej oraz warunków pogrzebania, które scharakteryzowało etapy subsydencji basenu, zdarzenia termiczne oraz fazy pograżania. Dwudzielność profilu dojrzałości termicznej pomiędzy utworami permsko-mezozoicznymi oraz niższego paleozoiku, jak również brak utworów dewonu i karbonu w wyniku erozji, spowodowało trudności w określeniu historii termicznej w profilu otworu. Etap erozji miał kluczowe znaczenie do ukształtowania się obecnie obserwowanej dojrzałości utworów niższego paleozoiku. Za najbardziej wiarygodny wariant należy przyjąć erozję utworów ludlowu (częściowo), przydolu oraz dewonu i karbonu na poziomie 2120 m oraz podwyższony strumień ciepły w karbonie do 130 Mw/m². Model ten nie jest jednoznaczny i istnieją alternatywne warianty.

Wyniki badań geofizycznych wykonanych w otworze Polik IG 1 stanowią istotny element rozpoznania utworów piętra osadowego na badanym obszarze. W wyniku wykonanych prac interpretacyjnych uzyskano rozpoznanie całego profilu pod względem jego podstawowych właściwości petrofizycznych, tj. porowatości, gęstości, przewodności cieplnej, a także prędkości fal akustycznych. Uzyskano pełne rozpoznanie pola termicznego, określając nie tylko wartość wgłębnego strumienia ciepłego i ustabilizowanej temperatury, lecz także obliczono wielkość efektu paleoklimatycznego, który jest w sposób bardzo jednoznaczny obserwowany w omawianym otworze. Stopień szczegółowości wykonanych prac interpretacyjnych, a także postawiony cel badawczy, tj. uzyskanie podstawowej wiedzy na temat uproszczonego modelu litologiczno-petrofizycznego skał występujących w profilu, pozwalają na traktowanie uzyskanych wyników jako ich wstępnego, autorskiego wariantu.

Pomiary sejsmometryczne wykonane w 1987 r. w otworze obejmują średnie prędkości sejsmiczne i profilowanie akustyczne. Opracowane na ich podstawie wykresy prędkości wygładzonych, interwałowych i kompleksowych odwzorowują złożony profil geologiczny wiercenia. Utwory kredy górnej charakteryzują się kilkoma wzrastającymi stopniowo wartościami prędkości kompleksowej od 2150 do 3550 m/s. Pierwsze obniżenie wartości zaznacza się na granicy kredy górnej i dolnej. Najwyższy zanotowany w całym profilu kontrast prędkości cechuje wydzielony w osadach jury górnej oddział oksfordu o prędkości 4250 m/s. Poniżej jury górnej obserwuje się prawie jednolity pakiet prędkościowy 3550–3675 m/s, odpowiadający utworom jury środkowej i dolnej oraz triasu górnego. Poniżej kolejna zmiana gradientu prędkości wyodrębnia utwory triasu środkowego

i pstrego piaskowca środkowego o średniej wartości 4150 m/s. Mniejsza średnia prędkość kompleksowa 3900 m/s wyznacza warstwy pstrego piaskowca dolnego. Zakres zmian stopniowego wzrostu parametru prędkości od 3900 do 5300 m/s charakteryzuje utwory permu (cechsztynu). Ostatni kompleks, związany z przedziałem utworów syluru, ordowiku i ~oddziału 3 (kambr środkowy), cechuje się wskazaniem utrzymanym na poziomie 4800–5050 m/s.

Otrzymane wyniki, sięgające głęb. 4530 m, podkreślają różnice w wykształceniu litologicznym poszczególnych warstw. Uwzględnione w rozkładach prędkości, ułatwią korelację i przyporządkowanie sejsmicznych poziomów refleksyjnych na przekrojach do poszczególnych pięter permu-mezozoiku i górnego paleozoiku.

Przeprowadzono interpretację badań sejsmicznych prowadzonych w pobliżu otworu Polik IG 1. W najbliższym otoczeniu otworu znajdują się jedynie dwie linie sejsmiczne

2D, pomierzone w latach 80. XX w., reinterpretowane w 2013 r. Profil otworu Polik IG 1 pozwolił na identyfikację stratygraficzną następujących horyzontów sejsmicznych: stropu kambru, ordowiku, spągu i stropu cechsztynu, triasu, jury środkowej, jury górnej i kredy dolnej.

Opróbowanie hydrogeologiczne utworów niższego paleozoiku wykazało brak wyraźnego przypływu, a jedynie niewielkie sączenie solanki. W utworach czerwonego spągowca stwierdzono całkowity brak przypływu oraz brak śladów węglowodorów. Utwory triasu wykazują średnie właściwości zbiornikowe, natomiast kredy dolnej – dobre. Opróbowaniami nie stwierdzono obecności gazów ziemnych. Wskaźniki hydrochemiczne i hydrodynamiczne świadczą, że utwory mezozoiczne leżą w strefie o niezbyt korzystnych warunkach do zachowania się złóż węglowodorów. Osady paleozoiku charakteryzują się bardzo słabymi właściwościami zbiornikowymi.