

PODSUMOWANIE

Otwory Narol IG 1 i Narol PIG 2 odwiercono w południowo-wschodniej Polsce (południowo-wschodnie Roztocze), w pobliżu granicy z Ukrainą. Głównym celem wykonania otworu Narol IG 1 było uzyskanie reperu do określenia pozycji litostratygraficznej poziomu refleksyjnego, stwierdzanego w utworach podjurajskich w południowej części podniesienia radomsko-kraśnickiego.

Podstawowym celem geologicznym odwiercenia otworu Narol PIG 2 było rozpoznanie ropo-gazonośności utworów kambru. Ponadto otwór miał posłużyć do:

- rozpoznania zmian litofacjalnych w ordowiku w regionie Narola,
- określenia miąższości i litologii utworów furongu (kambru górnego),
- określenia litologii wyższej części profilu kambru w celu wyjaśnienia możliwości występowania poziomów zbiornikowych,
- wyjaśnienia nasycenia węglowodorami poziomów zbiornikowych w profilu kambru.

Materiał rdzeniowy z otworów wiertniczych Narol IG 1 i PIG 2 dostarczył wielu danych, otrzymanych w wyniku prowadzenia badań o szerokim spektrum merytorycznym. Były to prace polegające na bezpośrednich obserwacjach rdzeni i pobranego z nich materiału. Wśród przeprowadzonych badań należy wymienić: studia stratygraficzne, badania sedimentologiczne, facjalne i mikrofacjalne, ichnologiczne, mikro- i makropaleontologiczne, tektoniczne oraz petrologiczne.

Drugą grupę prac stanowiły badania analityczne, głównie studia nad materią organiczną – zarówno jej petrologią, jak i geochemią. Wykonano również analizę tempa depozycji utworów występujących w profilu otworu Narol IG 1 oraz określono warunki ich pogrzebania oraz historię termiczną. W obu profilach określono cechy petrofizyczne badanych utworów. Wykonano również pełny zakres opróbowań hydrogeologicznych oraz pomiary geofizyki otworowej.

W profilu otworu Narol IG 1 nieprzewiercone utwory kambru występują na głęb. 3269,1–3404,0 m i osiągają nawierconą miąższość 134,9 m. W profilu Narol PIG 2 również nawiercono tylko część sukcesji kambryjskiej, o miąższości 659,0 m, w interwale głębokości 2991,0–3650,0 m. W profilach obu otworów nawiercona część sukcesji kambryjskiej jest reprezentowana przez klastyczne utwory furongu (kambru górnego). Omawiane utwory są

wykształcone głównie jako heterolity piaszczysto-mułowcowo-iłowcowe oraz mułowce i iłowce. Deponowane były na szelfie jako muły z piaskami sztormowymi i pływowymi. Utwory furongu w profilach obu otworów udokumentowano na podstawie obecności charakterystycznych gatunków trylobitów, ramienionogów i mikroflory akritarchowej. W profilu kambru w otworze Narol PIG 2 wyróżniono i opisano zespoły skamieniałości śladowych, wskazujące na różnicowanie się środowiska sedymentacji. Porównanie zespołów mikroflorystycznych rozpoznanych w obu otworach pozwoliło na korelację sekwencji kambryjskich występujących w obu badanych profilach. Na podstawie wspomnianych porównań zespołów akritarch można stwierdzić, że profil utworów furongu nawiercony w otworze Narol IG 1 odpowiada jedynie wyższym częściom profilu z otworu Narol PIG 2. Mikroskopowe badania petrologiczne wskazały, że piaskowce są reprezentowane przez arenity kwarcowe, pyłowce przez pyłowce kwarcowe i ilaste, a iłowce przez iłowce właściwe i pylaste.

W omawianych otworach wiertniczych utwory ordowiku według pomiarów geofizycznych występują na następujących głębokościach: Narol IG 1 – 3048,0–3268,0 m, Narol PIG 2 – 2733,0–2990,0 m i mają miąższość, odpowiednio, 220,0 i 257,0 m. W obu profilach stwierdzono utwory wszystkich standardowych globalnych pięter ordowiku od tremadoku po hirnant. Tremadok jest reprezentowany przez utwory formacji piaskowców i iłowców z Biłgoraja, obejmującej ogniwo piaskowców z Frampola i ogniwo iłowców i mułowców z Goraja. Z regionalnych przesłanek wynika, że w profilu można jedynie oczekiwać obecności niższego tremadoku odpowiadającego bałtyckiemu piętru pakerort, którego obecność udokumentowano w profilach innych otworów wiertniczych z obszaru Lubelszczyzny czy z Przedgórze Karpat. Utwory piętra flo (niższego arenigu) występują prawdopodobnie jedynie w profilu Narol PIG 2, gdzie obejmują niższą część formacji iłowców Tanwi, zalegającą na rozmytej powierzchni utworów formacji piaskowców i iłowców z Biłgoraja. W iłowcach napotkano bardzo liczną i zróżnicowaną faunę graptolitów, która wskazuje na obecność poziomów graptolitowych, dokumentujących obecność piętra flo. W omawianych otworach piętro daping obejmuje wyższą część formacji iłowców Tanwi oraz niższą część formacji wapieni z Suśca – ogniwo wapienia z Paar. Wiek utworów ogniwa wapienia

z Paar określono na podstawie badań konodontów, które pozwoliły potwierdzić obecność ekwiwalentów brytyjskiego wyższego arenigu, odpowiadającego dolnej i środkowej części bałtyckiego piętra volkhov. Utwory piętra darriwil w badanych otworach to wyższa część formacji wapieni z Suśca – ogniwo wapienia z Rebizant oraz najniższa część formacji iłowców i wapieni z Cieszanowa. Na podstawie przewodnich tasonów konodontów stwierdzono, że utwory dolnej części ogniwa można korelować z bałtyckimi piętrami kunda–aseri (= niższy lanwirn) natomiast w części przystropowej z piętrami uhaku (= wyższy lanwirn). Najniższą część formacji iłowców i wapieni z Cieszanowa zidentyfikowano zespół graptolitów jednoznacznie wskazujący na obecność najwyższego lanwirnu według podziału brytyjskiego. Do piętra sandb (niższy karadok) jest zaliczana środkowa część utworów formacji iłowców i wapieni z Cieszanowa. Wiek utworów tego piętra jest dobrze udokumentowany przez liczne graptolity. Utwory zaliczone do piętra kat (wyższy karadok–niższy aszgil) obejmują wyższą część formacji iłowców i wapieni z Cieszanowa oraz niższą część formacji iłowców wapnistych z Narola. Piętro hirnant (wyższy aszgil) obejmuje utwory wyższej części formacji iłowców wapnistych z Narola. Na podstawie trylobitów stwierdzono, że utwory te odpowiadają wyższemu aszgilowi, równowiekowemu z bałtyckim regionalnym piętrami porkuni.

Utwory syluru występują w profilu Narol IG 1 na głęb. 1954,0–3048,0 m i osiągają miąższość 1094,0 m. Sukcesja sylurska w profilu Narol PIG 2 występuje w interwale głęb. 1895,0–2733,0 m, a jej miąższość wynosi 842,0 m.

Rozwój syluru zarówno w profilu otworu Narol IG 1, jak i PIG 2 wykazuje wzajemne podobieństwo pod względem litofacjalnym. Dominującym typem litofacjalnym są mułowce (mułowce ilaste, wapniste) oraz pyłowce głównie w wyższej części profilu ludlowu. W obu otworach występuje dość duża domieszka węglanów. Sylur obu otworów stwierdzono także podobieństwo do syluru z obszarów dystalnej części basenu bałtyckiego i podlasko-lubelskiego; reprezentuje więc on platformowy, głębokonerytyczny typ sedimentacji. Podobnie jak na innych obszarach platformy wschodnioeuropejskiej dopływ materiału detrytycznego następował z zachodu, węglanowego zaś – z niszczenia płytkonerytycznych i litoralnych stref na wschodzie i południowym wschodzie basenu. Dużą rolę w procesie sedimentacyjnym miał rozwój fleksuralny zbiornika w ciągu syluru i wzrost przestrzeni akomodacyjnej oraz zwiększony dopływ materiału detrytycznego do zbiornika związany z niszczeniem przyzmy akrecyjnej powstałej na skutek kolizji Baltiki i Awalonii.

W otworach wiertniczych Narol IG 1 i Narol PIG 2 stwierdzono utwory jury środkowej i górnej. Ich miąższość w otworze Narol IG 1 wynosi odpowiednio 68,0 i 476,5 m a w otworze Narol PIG 2 – 55,0 i 467,5 m. W obu otworach spoczywają one bezpośrednio na łupkach syluru. Profil jury środkowej jest typowy dla południowo-wschodniej części obszaru lubelskiego i jest reprezentowany przez utwory jej wyższej części – batonu i keloweju. Natomiast jura górna w obu otworach jest w pełni wykształcona.

Stwierdzono tu utwory oksfordu, kimerydu i tytonu wraz z dolnym beriasem. W rejonie Narola jura środkowa jest zbudowana z dwóch kompleksów skalnych. Dolny odcinek jest wykształcony w postaci piaskowców i piaskowców mułowcowych, wapnistych. Ich genezę należy wiązać ze środowiskiem brzegowym – przypuszczalnie strefą międzyplywową. W wyższym odcinku rdzenia stwierdzono piaskowce drobnoziarniste, silnie wapniste, zwarte, ku dołowi mułowcowe. W skale są obecne otoczaki piaskowców, miejscami tworzące poziomy zlepieńców. W środkowym odcinku stwierdzono domieszkę limonitu w spoiwie, a wyżej – liczne ooidy żelaziste o czarnej barwie. Utwory te powstały w środowisku płytkomorskim – niższa część w strefie przybrzeża, natomiast wyższa część – przypuszczalnie na obszarze delty, na co wskazuje obecność ooidów żelazistych.

Górny kompleks zaliczono do keloweju. Tworzą go mułowce wapniste, mułowce piaszczyste i wapienie mułowcowe. Należy więc przypuszczać, że utwory keloweju w otworach Narol IG 1 i PIG 2 powstały również w obrębie delty lub bardzo płytkiego zbiornika morskiego. W otworach wiertniczych Narol IG 1 i PIG 2 stwierdzono pełną sukcesję jury górnej. W profilu wydzielono formalne jednostki litostratygraficzne. Są to: w oksfordzie – formacja kraśnicka, jasieniecka i Baszni (Narol IG 1) lub bełżycka (Narol PIG 2); w kimerydzie – formacja Rudy Lubyckiej; w tytonie (wraz z dolnym beriasem) – formacja Babczyna. Utwory jury górnej w otworach Narol IG 1 i PIG 2 tworzyły się w warunkach silnej subsydencji, w rozległym, bardzo płytkim morzu, którego głębokość nie przekraczała 10 m. Jurajska sukcesja we wspomnianych otworach stanowi zapis jednego dużego cyklu regresywnego. Rozpoczyna się on sedimentacją osadów w otwartomorskiej strefie przybarierowej (formacja kraśnicka), a następnie kontynuuje się w środowiskach płycizn oolitowych (formacja jasieniecka), laguny otwartomorskiej (formacja Baszni), laguny przybrzeżnomorskiej i równi pływowej (formacja z Rudy Lubyckiej). Maksimum regresji wyznacza pojawienie się ewaporatów w wyższej części formacji Rudy Lubyckiej, a nadległe utwory formacji Babczyna rejestrują już nowy etap sedimentacji – powolne pogłębianie się środowiska i ponowną sedimentacją na płyciznach oolitowych.

Sukcesja dolnokredowa (górny walańżyn– alb górny) występuje na głęb. 1371,5–1409,5 m w otworze Narol IG 1 i na głęb. 1341,0–1372,5 m w otworze Narol PIG 2, gdzie odpowiednio osiągają miąższość 38,0 i 31,5 m. W obu profilach prawdopodobnie występuje przerwa w sedimentacji, która obejmuje berias górny– walańżyn dolny w profilu otworu Narol IG 1. We wspomnianym profilu nie występują również utwory najniższej kredy dolnej (barrem– alb środkowy). W profilu Narol PIG 2 brak jest utworów hoterywu– albu środkowego, które podobnie jak wyżej wspomniane utwory z profilu Narol IG 1 zostały usunięte przez erozję.

Dolna część profilu dolnej kredy jest reprezentowana przez formację cieszanowską (walańżyn górny–hoteryw). Profil walańżynu górnego budują skały węglanowo-margliste z wapieniami oolitowymi. Profil hoterywu (występujący tylko w otworze Narol IG 1) jest reprezentowany przez margliste mułowce.

Na początku albu górnego rozpoczyna się nowy megacykl sedimentacyjny, który kończy się pod sedymentacją utworów mastrychtu. Profil albu górnego jest reprezentowany przez kwarcowo-glaukonitowe piaskowce, często zawierające конкреcje fosforytowe.

Sukcesję górnokredowa w otworze Narol IG 1 nawiercono na głęb. 0,0–1371,5 m, a w otworze Narol PIG 2 – na głęb. 0,0–1341,0 m. W obu otworach stwierdzono wszystkie piętra kredy górnej, od cenomanu po mastrycht. Interesującym faktem jest obecność w sukcesji utworów mastrychtu górnego. Dolną część sukcesji budują utwory cenomanu, turonu i koniak, reprezentowane przez zwięzłe wapienie mikrytowe i wapienie margliste. Górną część sukcesji górnokredowej (santon, kampan i mastrycht) stanowią skały klastyczne i węglanowe, głównie opoki, przekraczające miąższość 1040 m. W kampanie górnym i mastrychcie znaczącą rolę odgrywają gezy.

W utworach kambryjskich najbogatsze (1,0–1,20%) w materię organiczną są stropowe partie mułowców furongu. W kompleksie utworów ordowiku najwyższe koncentracje materii organicznej występują w pojedynczych poziomach łupków ilastych (tremadok z profilu otworu Narol PIG 2 oraz tremadok, darriwil i hirnant z profilu otworu Narol IG 1), zawierające od 1,0 do 2,8% materii organicznej. W utworach syluru najbogatsze w substancję organiczną są utwory ilaste landoweru (Narol PIG 2 – 3,50%) oraz wenloku i ludlowu (Narol IG 1 – 2,80 i 1,20%). Dojrzałość termiczna analizowanego kompleksu utworów kambru górnego, ordowiku i syluru odpowiada fazie generowania gazów oraz fazie tzw. przejrzalej, w której mogą być generowane jedynie gazy suche wysokometanowe. Dojrzałość materii organicznej w profilu utworów dolnego paleozoiku z otworu Narol IG 1 wynosi 1,60–2,50% R_o . W podobnym wiekowo kompleksie utworów z otworu Narol PIG 2 zakres średnich wartości refleksyjności materiału wityrynitopodobnego zmienia się od 1,73 do 2,36% R_o . Współczynnik refleksyjności autogenicznej materii wityrynitopodobnej zmieniający się w granicach 1,60–2,50% R_o świadczy o wysokich maksymalnych paleotemperaturach diagenety, rzędu od 180 do ponad 200°C.

Podsumowując wyniki badań geochemicznych materii organicznej, należy stwierdzić, że w profilu otworu Narol IG 1 jedynie utwory syluru – wenloku – zawierają ilość węgla organicznego pozwalającą uznać te skały za „dobre” skały macierzyste do generowania węglowodorów. Pozostałe przebadane utwory w pionowym profilu tego otworu są „biednymi” lub „słabymi” skałami macierzystymi. Ogólnie w przebadanych utworach zawartość składników labilnych jest mała, mają one charakter związków syngenetycznych z osadem. Jedynie w dolnych partiach utworów jury górnej składniki labilne mają charakter epigenetycznych z osadem. Materia organiczna w utworach dolnego paleozoiku jest typu sapropelowego, jest dobrze przeobrażona, ale uległa silnej degradacji. W utworach kredy górnej materia organiczna jest typu sapropelowego i jest słabo przeobrażona.

Pod względem oceny macierzystości utwory kambru i ordowiku w otworze Narol PIG 2 należy uznać za „biedne”

skały macierzyste do generowania węglowodorów. Wartość współczynnika migracji wskazuje, że składniki labilne w utworach kambru w tym otworze są syngenetyczne z osadem. W utworach syluru zawartość węgla organicznego jest bardzo zróżnicowana. Waha się od 0,20 do 2,68%. Występują tu odcinki profilu z dobrymi skałami macierzystymi oraz skały pozbawione takiej cechy. Wartość współczynnika migracji pozwala przypuszczać, że bituminy są syngenetyczne z osadem. Jedynie w przydołu bituminy są epigenetyczne z osadem. Utwory jury górnej występujące w badanym profilu zawierają średnio 0,30% węgla organicznego. Ilość węgla organicznego w tych utworach jest nierównomiernie rozłożona. Zawartość węgla organicznego w utworach kredy dolnej wynosi 0,80%, co pozwala te węglanowe osady uznać za „dobre” skały macierzyste do generowania węglowodorów.

Model pograżania osadów dla profilu otworu Narol IG 1 rozpoczyna się w późnym kambrze i charakteryzuje się wyraźnym pogrzebaniem. Od początku ordowiku trwał okres stagnacji i niewielkich rozmiarów pograżania, które kontynuowało się do późnego ordowiku. W tym okresie pokrywa osadowa osiągnęła miąższość ok. 370 m. Wraz z początkiem syluru systematycznie następowała faza gwałtownego pogrzebienia, której maksimum rozpoczęło się w wenloku i trwało do wczesnego dewonu, w którym to okresie miąższość pokrywy osadowej wyniosła ok. 2000 m.

W profilu otworu Narol IG 1 nie występują utwory dewonu ani karbonu. Brak tych utworów jest związany z etapem wypiętrzania i erozji fazy bretońskiej. Następnie, w wizenie, nastąpiła kolejna faza gwałtownego pogrzebienia, która trwała niemal do końca karbonu (westfalu), zwiększając tym samym miąższość pokrywy osadowej do ok. 2420 m. Z końcem karbonu (stefan) i początkiem permu nastąpiła faza wypiętrzania i erozji o znaczących rozmiarach. Zerodowane zostały wówczas wszystkie osady karbonu o miąższości ok. 800 m.

W mezozoiku dwie fazy pogrzebienia objęły późną jurę, po której we wczesnej kredzie nastąpił okres powolnego pograżania, kiedy to pokrywa osadowa osiągnęła miąższość zbliżoną do tej z końca karbonu. Z początkiem późnej kredy obserwuje się kolejną bardzo intensywną fazę pogrzebienia, kontynuującą się do wczesnego paleogenu. Z początkiem kenozoiku nastąpił okres stagnacji i zaniku sedymentacji osadów wraz z prawdopodobnie niewielką fazą erozji na początku miocenu.

Rozkład dojrzałości termicznej w obrębie osadów mezozoicznych i paleozoicznych tworzy spójny profil o wysokim stopniu dojrzałości. Można uznać, że brak jest niezgodności pomiędzy dojrzałością utworów paleozoicznych i mezozoicznych. Anomalia związana z obniżeniem się dojrzałości termicznej w obrębie niższej części utworów ludlowu jest związana z rozwijaniem się dojrzałości w reżimie nadcisnień. Szybkie tempo depozycji utworów klastycznych, które miało miejsce w ludlowie, oraz ich mechaniczna kompaktacja wpłynęły na tworzenie się nadcisnień w profilu tych utworów. Na podstawie wyników modelowań można określić strefy faz generacyjnych węglowodorów oraz śledzić to zjawisko w czasie. Na podstawie wyni-

ków modelowania jednowymiarowego dla otworu Narol IG 1 w strefie generowania węglowodorów znajdują się utwory od dolnej części profilu otworu (kambr górny) do utworów kampanu (kredy górna) włącznie. Utwory od kambru górnego do górnej części jury górnej znajdują się w oknie generowania gazu ziemnego. Generowanie gazu ziemnego z tych utworów rozpoczęło się najprawdopodobniej z początkiem paleogenu. Utwory od górnej części jury górnej przez utwory kredy dolnej do utworów kampanu znajdują się odpowiednio w późnym, środkowym i wczesnym oknie generowania ropy naftowej. Początek generowania ropy naftowej dla tych utworów to schyłek późnej kredy i wczesnego paleogenu.

Analiza danych petrofizycznych sugeruje, że przebadane interwały litologiczne wyłącznie w trzech przypadkach spełniają normy dobrych skał zbiornikowych, za które przyjęło się uważać wartości porowatości większe od 15,0% i przepuszczalności większe od 5,0 mD. Interwały te przypadają stratygraficznie na jurę środkową i górną. W jurze środkowej interwały o dobrych właściwościach zbiornikowych przypadają na głęb. 1924,5 oraz 1917,5–1916,3 m, natomiast w jurze górnej – na głębokość rzędu 1439,0 m.

Analiza danych petrofizycznych całego przebadanego profilu sugeruje, że przebadane interwały litologiczne w żadnym przypadku nie spełniają norm dobrych skał zbiornikowych, za które przyjęło się uważać wartości porowatości większe od 15,0% i przepuszczalności większe od 5,0 mD. Spełnienie jednej z norm, w tym przypadku

normy przepuszczalności, zauważono jedynie w jednym interwale jury górnej z głęb. 1373,2 m, gdzie wartość przepuszczalności efektywnej wynosi 25,5 mD.

Opróbowano cztery poziomy zbiornikowe furongu (kambru górnego). Z trzech badanych poziomów uzyskano przypiływy solanek zgazowanych gazem palnym, a jeden poziom charakteryzował się całkowitym brakiem przypiływu. Właściwości zbiornikowe trzech poziomów określa się jako średnie, są one uzależnione od przepuszczalności szczelinowej. Średnie wydajności zawierały się w granicach od ok. 1 do ok. 5 m³/h. Poziomy zbiornikowe kambru leżą w strefie niskich ciśnień złożowych wyrażonych gradientami 0,1–0,102 MPa/10 m. Badane utwory są kolektorami solanek chlorkowo-sodowych, jodkowych o suchej pozostałości wynoszącej od ok. 222 do ok. 225 g/dm³. Solanki uległy wyraźnie zaznaczającemu się zmetamorfizowaniu, wyrażonemu wartościami wskaźników hydrochemicznych $r_{Na}/r_{Cl} = 0,70–0,76$ oraz zwiększoną zawartością jonu wapniowego występującego w ilości ok. 17–18% mval. Bardzo korzystnym wskaźnikiem bitumiczności jest skład wolnego gazu. Jest to gaz wysokometanowy z zawartością 80,0–86,5% obj. metanu i z bardzo dużą zawartością helu, wynoszącą ok. 1,9–2,2% obj. Skład gazu oraz zauważalne zmetamorfizowanie solanek wskazują na korzystne warunki do zachowania się złóż węglowodorów w utworach furongu.

Otwór badawczy Narol PIG 2 spełnił większość stawianych przed nim zadań związanych z rozpoznaniem budowy geologicznej rejonu Narola i zadań złożowych.