

PODSUMOWANIE

Materiał rdzeniowy uzyskany z badawczego otworu wiertniczego Łopiennik IG 1 dostarczył w ciągu ponad trzydziestu lat od zakończenia głębenia otworu bogatego zbioru danych, uzyskanych w wyniku przeprowadzenia prac badawczych o bardzo szerokim zakresie merytorycznym. Były to badania polegające na bezpośrednich obserwacjach rdzeni i materiału z nich pobranego. Należy wymienić pełne spektrum badań stratygraficznych od biostratygrafii, chronostratygrafii, litostratygrafii po stratygrafię sekwencji, badania sedimentologiczne i facjalne, ichtologiczne, mikro- i makropaleontologiczne oraz mikrotektoniczne. Dane z profilu otworu wiertniczego Łopiennik IG 1 zostały wykorzystane w analizie basenów sedimentacyjnych, rozwijających się w różnych etapach ewolucji geologicznej regionu lubelskiego, od ediakaru poprzez kambry, ordowik, sylur, dewon i karbon po jurę i kredę.

Drugą grupę prac badawczych stanowiły badania analityczne, głównie geochemiczne materii organicznej oraz wylewnych skał wulkanicznych, petrograficzne skał klastycznych, węglanowych i wulkanicznych oraz materii organicznej, a także badania mineralogiczne i petrofizyczne. W omawianym otworze wykonano pełny zestaw opróbowań hydrogeologicznych i pomiary geofizyki otworowej.

Głębienie otworu Łopiennik IG 1 zostało zakończone na głębokości 5632,0 m w utworach ediakaru, w nieprzewierczonej formacji sławatyckiej, reprezentowanej przez bazalty porfirowe i migdałowcowe przy niewielkim udziale skał wulkanoklastycznych, głównie tufów drobnopopiołowych, aglomeratów bazaltowych i bazaltowo-tufowych. Ponad utworami formacji sławatyckiej, na głębokości 5567,3–5306,7 m występują utwory późnego ediakaru, wykształcone w pełnej sekwencji klastycznej, typowej dla południowej części lubelskiego skłonu kratonu wschodnioeuropejskiego. Powyżej kompleksu wulkanicznego utwory ediakaru są reprezentowane przez silikoklastyczne, brakiczne osady formacji białopolskiej, lubelskiej (łopiennickiej) i włodawskiej. Rejon profilu Łopiennik IG 1 był w ediakarze zlokalizowany na obszarze aulakogenu Orsza–Wołyń. Na podstawie krzywych subsyduencji oraz analizy facjalnej utworów późnoediakarskich, udokumentowano w tym rejonie aktywny ryft. Utwory ediakaru profilu Łopiennik IG 1 są związane z kolejno rozwijającymi się depocentrami fazy synryftowej basenu lubelsko-podlaskiego. W górnej części ediakarskiej sekwencji profilu Łopiennik IG 1 w wyniku przeprowadzonych w ciągu ostatnich 15 lat badań biostratygraficznych, wydzielono jeden poziom biostratygraficzny *Sabellidites–Vendotaenia* oraz ustalono nowe położenie granicy między ediakarem i kambrem w stropie wspomnianego wcześniej poziomu. Jest ono

zgodne z przyjętymi przez Międzynarodową Komisję Stratygraficzną standardami wydzielenia tej granicy. Utwory ediakaru reprezentują dolną część sekwencji depozycyjnej II rzędu, ukształtowanej głównie podczas szybkiego wzrostu względnego poziomu morza, stymulowanego wpływem czynników tektonicznych.

Utwory kambry występują na głębokości 5306,7–4461,2 m i tworzą kompleks skalny o miąższości 845,5 m. Są to osady reprezentowane głównie przez przewarstwiewające się piaskowce, mułowce i ilowce, tworzące charakterystyczne heterolity piaskowcowo-mułowcowo-ilowcowe, deponowane w płytkim zbiorniku morskim, w strefie przybrzeża i odrzeża. Było to otwarte wybrzeże z silnymi wpływami falowania i minimalnym udziałem pływów lub ich brakiem. Piaskowcowe osady kambry w profilu Łopiennik IG 1 w związku z dużą głębokością pogrzebania określić można jako bardzo silnie zdiagenezowane, dojrzałe teksturalnie i mineralogicznie piaskowce z grupy arenitów i wak kwarcowych. Głównym procesem diagenetycznym była sylikfikacja piaskowców i pyłowców. W profilu kambry dolnego do rozpozniomowania stratygraficznego sukcesji, obok fauny trylobitowej, zastosowano poziomy akritarchowe. Pozwoliło to wobec niskiej frekwencji fauny trylobitowej, na uszczegółowienie biostratygraficznych wydzieleni dolnokambryjskiego odcinka profilu. W stropie kambryjskiego profilu otworu Łopiennik IG 1, na głębokości 4460,7–4460,9 m, znaleziono dwie, dość dobrze zachowane, skorupki brzuszne ramienionogów z widokiem strony wewnętrznej, dwa okazy źle zachowane i jeden fragment muszli bardzo podobnej do *Ungula ingraca* (Eichwald). Mogą one wskazywać na obecność w profilu Łopiennik IG 1 osadów najwyższego kambry górnego – poziomu *Acerocare*, podścielającego osady tremadoku i obecność tzw. piaskowców obolusowych. Wyjaśnienie tego problemu wymaga dalszych badań a problem granicy kambry–ordowik prowadzonej na podstawie obolidów na kratonie wschodnioeuropejskim nadal czeka na pełne rozwiązanie.

Sukcesja utworów kambryjskich ewoluowała podczas kształtowania się sekwencji depozycyjnej II rzędu w fazie poryfrowej basenu lubelsko-podlaskiego w wyniku wahań względnego poziomu morza przy znacznym udziale wahań eustatycznych. W sukcesji kambryjskiej profilu Łopiennik IG 1 wyróżniono od dołu ku górze profilu ciąg systemowy wysokiego stanu i transgresywny ciąg systemowy w kambrze dolnym oraz ciąg systemowy wysokiego stanu w kambrze środkowym.

Osady ordowiku występują na głębokości 4461,2–4327,5 m. Ich miąższość wynosi 79,0 m. Sukcesja ordowiku reprezentu-

je mieszany, klastyczno-węglanowy typ sedymentacji. Na zapis litologiczny ordowiku składają się głównie wapienie organodetrytyczne i margliste, oraz osady klastyczne, reprezentowane przez piaskowce kwarcowe, mułowce i iłowce oraz zlepieńce. Większość osadów wykazuje objawy zaawansowanych procesów epigenetycznych, które były związane ze znacznym ich pograżeniem. W sukcesji ordowickiej występują dwa cykle transgresywno-regresywne. Profil Łopiennik IG 1 w planie paleotektonicznym znajdował się w obrębie obniżenia chełmskiego. W kontekście facjalnym odpowiada on konfacji centralno-bałtycko-skandynawskiej. Wyróżnione w opisywanym piętra tremadok, arenig, lanwirn, karadok i aszgil zostały skorelowane z piętrami wyróżnionymi w sukcesji ordowickiej obniżenia bałtyckiego.

Osady syluru w otworze wiertniczym Łopiennik IG 1 zostały nawiercone na głębokości 4327,5–3005,0 m, osiągając 1322,5 m miąższości. Powstały one w południowej części basenu lubelsko-podlaskiego rozciągającego się od późnego proterozoiku wzdłuż zachodniego skłonu Baltiki. Profil syluru otworu wiertniczego Łopiennik IG 1 jest typowy dla tego obszaru. Przeważają osady drobnoklastyczne: iłowce i w mniejszym stopniu mułowce.

Zespoły skamieniałości w sekwencji sylurskiej profilu Łopiennik IG 1 są mało zróżnicowane, jednak często są dość liczne i dobrze zachowane. Dominującą grupą skamieniałości są graptolity, oznaczone przez Tomczyka; sporadycznie spotyka się skorupki brachiopodów bezzawiasowych i nieco liczniejsze w przydolu małże i głowonogi.

W opracowaniu zastosowano międzynarodowy standardowy schemat podziału stratygraficznego syluru na oddziały i piętra. Odbiega on od podziału przedstawionego przez Tomczyka w dokumentacji wynikowej otworu, zawierającego szereg niezgodności ze standardami międzynarodowymi. Zakres zmian obejmuje przede wszystkim rezygnację z proponowanych przez Tomczyka lokalnych jednostek o nieokreślonym charakterze stratygraficznym, takich jak warstwy podlaskie, siedleckie, mielnickie i pasłęckie oraz zmianę granic niektórych pięter.

W profilu wyróżniono, zgodnie ze standardowym podziałem międzynarodowym, wszystkie oddziały syluru: landower, wenlok (z piętrami sheinwood i homer), ludlow (z piętrami gorst i ludford) oraz przydol.

Nad utworami syluru, na głębokości 3005,0–1510,0 m występują kompleks utworów klastyczno-węglanowych o miąższości 1495,0 m, reprezentujących dewon dolny z piętrami lochkow dolny i nierozdzielonymi piętrami lochkow górny + prag + ?ems. Trójdzielne klastyczne spektrum utworów dewonu dolnego składa się w dolnej części, odpowiadającej formacji sycyńskiej z czarnych iłowców przewarstwiających się z wapieniami organodetrytycznymi. W zajmującej środkową pozycję w spektrum formacji czarnoleskiej występują iłowce pylaste i mułowce przewarstwiające się z piaskowcami kwarcowymi, w części stropowej, w formacji zwoleńskie dominują piaskowce głównie kwarcowe, mułowce i iłowce. Ku górze sukcesji dolnodewońskiej następowało stopniowe spłykanie się zbiornika, od relatywnie głębokiego, poniżej podstawy falowania, poprzez płytszy zbiornik ze

zwiększonymi dostawami materiału piaszczystego aż do wystąpienia depozycji lądowej w rzekach i zastoiskach. W dewonie dolnym profil Łopiennik IG 1 znajdował się w labilnej strefie południowo-zachodnich krańców rowu lubelskiego Stratygrafia profilu dolnodewońskiego jest oparta na badaniach palinologicznych (miospory), mikrofaunistycznych (małżoraczki) i makrofaunistycznych (trylobity i tentakulity).

Utwory karbonu są wykształcone jako wapienie i margle, iłowce, mułowce, piaskowce, gleby stigmariowe, iłowce węgliste i węgle. Sukcesja karbońska osiąga miąższość 704,0 m i została stwierdzona na głębokości 806,0–1510,0 m. Granice chronostratygraficzne wyznaczono na podstawie korelacji granic sekwencji depozycyjnych z profilami reperowymi oraz podziałami karbonu globalnym i zachodnioeuropejskim. Pozwoliło to na uszczegółowienie stratygrafii i wpłynęło na przesunięcie dotychczasowych granic. W czasie niskiego stanu WPM (względny poziom morza) depozycja zachodziła w korytach rzecznych i na równiach zalewowych. W czasie podnoszenia się i wysokiego stanu WPM sedymentacja zachodziła w deltach płytkowodnych i płytkiego szelfu węglanowego i ilastego.

Jurajska część profilu Łopiennik IG 1 o miąższości 59,0 m została stwierdzona w interwale głębokości 747,0–806,0 m. Jest ona w dolnej części zaliczanej do formacji zakrzewskiej, reprezentowana przez utwory klastyczne, głównie piaskowce oraz węglany, przede wszystkim wapienie piaszczyste, wapienie margliste i margle. Środkową część sukcesji jurajskiej, odpowiadającą formacji bełzyckiej, budują wapienie mikrytowe, wapienie margliste i wapienie oolitowe. Strop sukcesji reprezentowany przez formację Rudy Lubyckiej zamykają wapienie margliste, wapienie dolomityczne i dolomity. Ze względu na fakt, że cała sekwencja jurajska została przewiercona bezrzedzeniowo, jej rozpozycjonowanie stratygraficzne bazuje na korelacjach pomiarów geofizycznych z pobliskimi otworami Kumów IG 1 i Krasnystaw IG 2, IG 3 oraz IG 4.

Utwory kredy występują na głębokości 5,0–747,0 m, osiągają miąższość 742,0 m. W kredzie dolnej reprezentowany jest tylko alb górny. Są to piaskowce i margle z konkreccjami fosforytowymi.

Sukcesja kredy górnej jest reprezentowana przez wszystkie piętra od cenomanu po mastrycht. Budują ją głównie wapienie, wapienie organodetrytyczne z małżami *Inoceramus*, wapienie margliste, margle, wapienie kredopodobne, opoki margliste. Częste są czerty i konkreccje fosforytowe. Kredowa sekwencja osadowa odzwierciedla przejście od znikomej miąższości osadów silikoklastycznych i marglisto-piaszczystych osadów płytkiego szelfu albu górnego do strefy otwartego basenu sedymentacyjnego o spokojnej depozycji osadów węglanowych, z niewielkim i stałym tempem subsydencji. Natomiast, prawdopodobnie w profilu kredowym otworu Łopiennik IG 1 nie występuje facja kredy piszącej, znana z kampanu i mastrychtu sąsiednich otworów wiertniczych.

Na utworach kredy górnej zalega kompleks holocenijskich piasków różnoziarnistych ze żwirkami o miąższości 5,0 m.

Przeprowadzone badania petrologiczne materii organicznej zawartej w osadach ediakaru wskazały, że jej podstawowo-

wym składnikiem organicznym jest asocjacja organiczno-mineralna typu bitumicznego oraz materiał wityrynitopodobny reprezentowany najczęściej przez fytoklasty i stałe bituminy. Najliczniej reprezentowanym materiałem organicznym kambru dolnego i środkowego, ordowiku i syluru jest asocjacja organiczno-mineralna typu bitumicznego oraz materiał wityrynitopodobny. Współwystępują z nią zwityrynitizowane i sfuzynityzowane zooklasty oraz ciała bitumiczne (stałe bituminy). Utwory dewonu dolnego są bardzo ubogie w materię organiczną. Podstawowym jej składnikiem jest materiał wityrynitopodobny (stałe bituminy i zooklasty). Utwory karbonu (wizen) zawierają materiał organiczny głównie typu humusowego.

Wyliczony wskaźnik średniej refleksyjności (% R_o) odzwierciedlający stopień dojrzałości termicznej materii organicznej zawartej w osadach ediakaru, kambru, ordowiku i dolnej części syluru zmienia się w dość szerokim zakresie od 2,25 do 3,94% R_o wskazując na tzw. „przejrzałą fazę generacji węglowodorów”. W stropie syluru zdolność refleksyjna wynosi średnio 1,60–1,87%. Jest to główna faza generowania gazów. Materia organiczna rozproszona w utworach dewonu dolnego i karbonu wykazuje średnie wartości zdolności refleksyjnej syngenetycznego z osadem materiału wityrynitopodobnego w granicach 0,83–1,63% R_o . Ten zakres współczynnika refleksyjności odpowiada późnej fazie generowania ropy naftowej po główną fazę generowania gazów.

Podstawowe badania geochemiczne materii organicznej przeprowadzone były dla utworów kambru, ordowiku, syluru, dolnego dewonu i karbonu. Utwory kambru, ordowiku i dewonu dolnego należą do „biednych” skał macierzystych dla

generowania węglowodorów ze względu na bardzo niską zawartość Corg. W profilu utworów dolnej części syluru (wendolo) oznaczona ilość węgla wynosi powyżej 1%, co pozwala stwierdzić, że są to „dobre” skały macierzyste. Utwory karbonu dolnego (wizen) zawierają średnio około 1% węgla organicznego, co pozwala określić je jako „dobre” skały macierzyste dla generowania węglowodorów. Materia organiczna w utworach syluru jak również w utworach dewonu dolnego jest typu sapropelowego i jest dobrze przeobrażona. Badania biomarkerów wykazały, że materia organiczna syluru była deponowana w środowisku morskim. Jej dolnodewońska odpowiedniczka w warunkach przejściowych, między otwartym morzem a zbiornikiem zamkniętym, najprawdopodobniej w środowiskach brakicznych.

W trakcie wiercenia nie zanotowano zwiększonych objawów węglowodorów.

Wyniki przeprowadzonych opróbowań wykazały, że badane poziomy kambru, ordowiku i karbonu charakteryzują się brakiem właściwości zbiornikowych. Niewielki przypływ solanki (około 0,4 m³/h) uzyskany z utworów dewonu dolnego również świadczy o słabych właściwościach zbiornikowych skał.

Głównym zadaniem otworu badawczego Łopiennik IG 1 było zbadanie utworów dolnopaleozoicznych i ediakarskich w strefie śledzenia głębokich poziomów sejsmicznych „E”. Miał on dostarczyć nowych danych o litologii, stratygrafii, facjach, tektonice i właściwościach fizycznych wymienionych wyżej utworów w celu określenia regionalnych i geologicznych warunkowań ich perspektywiczności dla poszukiwań węglowodorów w południowo-zachodniej części regionu lubelskiego.