

PODSUMOWANIE

Na bogatym materiale rdzeniowym uzyskanym z otworu wiertniczego Terebin IG 5 przeprowadzono studia stratygraficzne, od biostratygrafii, chronostratygrafii, litostratygrafii po stratygrafię sekwencji, badania sedimentologiczne, ichnologiczne i facjalne, mikro- i makropaleontologiczne oraz tektoniczne.

Drugą grupę prac 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.

Utwory ediakaru występują na głęb. 3650,0–3850,5 m i osiągają miąższość 200,5 m. Wiercenie otworu Terebin IG 5 zostało zatrzymane na głęb. 3850,5 m w utworach ediakaru, w nieprzewierzonej formacji sławatyckiej, reprezentowanej przez utwory wulkanogeniczne z grupy bazaltów o strukturze porfirowej i afrowej. Na utworach formacji sławatyckiej występują silikoklastyki formacji białopolskiej, łopiennickiej i włodawskiej, wykształcone w postaci przewarstwiających się piaskowców, mułowców i iłowców. Profil klastycznych utworów ediakaru odzwierciedla ewolucję estuarium. W początkowym stadium było to estuarium falowo-pływowe, które w fazie maksymalnego rozwoju przekształciło się w hypersynchroniczne estuarium makropływowe. Pod koniec swego trwania estuarium powtórnie zamieniło się w estuarium falowo-pływowe. W początkach kambru zbiornik estuariowy uległ likwidacji w wyniku zasypania osadami.

Sukcesja kambryjska występuje na głęb. 3072,5–3650,0 m i osiąga miąższość 577,5 m. Są to wyłącznie utwory klastyczne, reprezentowane przez piaskowce z kilkumetrowymi przewarstwieniami iłowców i mułowców. Utwory kambru były deponowane w środowiskach otwartego, płytkiego zbiornika morskiego, w strefach przybrzeża i odrbrzeża. W osadach zaznacza się oddziaływanie falowania i silnych sztormów. W profilu kambru wyróżniono utwory kambru dolnego i środkowego. Według globalnego schematu chronostratygraficznego kambru, oddział terenew i oddział 2 odpowiadają w przybliżeniu kambrowi dolnemu i odpowiednio, oddział 3 kambru odpowiada kambrowi środkowemu.

Utwory ordowiku wyróżniono w interwale głęb. 2964,7–3075,0 m, ich miąższość wynosi 110,3 m. W profilu ordowiku wyróżniono utwory standardowych, globalnych pięter od tremadoku po kat, według podziału brytyjskiego odpowiada im sekwencja od tremadoku po aszgil dolny. Występujące w dolnej części profilu ordowickiego utwory mułowcowo-ilaste odpowiadają tremadokowi dolnemu, korelowanemu z bałtyckim piętrem pakerort. W profilu nierozdzielonych pięter flo–daping występują wapienie dolomityczne, organodetrytyczne i margliste. W niższej części profilu piętra darriwil (lanwirn) występują zrekrystalizowane wapienie organodetrytyczne. Ta część profilu może odpowiadać bałtyckiemu piętru uhaku. Piętro sandb (niższy karadok) jest korelowane z bałtyckim piętrem kukruse i jest reprezentowane przez wapienie organodetrytyczne, margle i wapienie margliste oraz iłowce wapniste. Wyższa część profilu sandbu odpowiada bałtyckim piętrom od idavere po keila i jest reprezentowana przez iłowce wapniste z laminami bentonitu. Do katu zaliczono kompleks iłowców wapnistych z fauną trylobitów i graptolitów, pozwalających zaliczyć te utwory do bałtyckich pięter oandu–rakvere. Wyżej leżące w profilu iłowce i margle ilaste, margle oraz wapienie margliste reprezentują bałtyckie piętra nabala–vormsi. Najwyższa część katu jest reprezentowana przez kompleks wapieni marglistych i wapieni organodetrytycznych. Prawdopodobnie kompleks tych utworów odpowiada wyższej części bałtyckiego piętra vormsi i piętra pirgu.

Utwory syluru występują na głęb. 2463,0–2964,5 m, a ich miąższość wynosi 501,5 m. Sukcesję sylurską w przeważającej części budują mułowce i iłowce, w niektórych interwałach z wkładkami i soczewkami wapieni. Udokumentowano osady wenloku, ludlowu i przydolu. Najniższy sylur, landower, nie jest tu reprezentowany. Utwory te poddane zostały najprawdopodobniej erozji. Utwory wenloku są wykształcone jako laminowane i łupkowate mułowce i iłowce, zawierające wkładki wapieni. Występujące w tych utworach graptolity wskazują na obecność piętra homer. Ludlow, w nielicznych odcinkach rdzeniowanych, jest wykształcony jako mułowce, często laminowane, miejscami z soczewkami wapieni. Skład taksonomiczny zespołu graptolitów w odcinkach rdzeniowanych może dokumentować obecność piętra ludford. Przydol w odcinkach rdzeniowanych jest wykształcony jako słabowapniste iłowce,

z ubogą fauną łodzików, małży, fragmentami graptolitów oraz członami liliowców.

Sukcesja dewońska występuje na głęb. 1259,85–2463,0 m i osiąga miąższość 1203,15 m. W profilu występują utwory pięter od lochkowu po fran. Znaczna część profilu dewonu górnego została zerodowana w czasie pofameńsko-przedpóźnowizeńskiej przerwy sedymentacyjnej. Erozji uległy wszystkie utwory famenu oraz górna część utworów franu. W profilu utworów dolnodewońskich wyróżniają się trzy kompleksy litologiczne. W kolejności stratygraficznej występują: formacja sycyńska, czarnolesska i zwolenńska. Formację sycyńską stanowią głównie iłowce, niekiedy margliste lub dolomityczne, zawierające cienkie przewarstwienia wapieni organodetrytycznych i wapieni ilastych. Formację czarnolesską reprezentują iłowce pylaste i mułowce, przewarstwiane się z piaskowcami kwarcowymi. Formację zwolenńską budują iłowce pylaste, rzadziej mułowce i mułowce piaszczyste. Na środkowodewońską formację telatyńską składają się w kolejności stratygraficznej ogniwa: przewodowskie, machnowskie, żniatyńskie, pelczańskie, rachańskie i mirczańskie. W urozmaiconym spektrum litologicznym formacji telatyńskiej występują naprzemianległe pakiety utworów klastycznych, głównie iłowców, iłowców dolomitycznych, mułowców, mułowców wapiennych, rzadziej piaskowców drobnoziarnistych i mułowcowych oraz skał wapiennych: dolomitów, dolomikrytów ilastych, rzadziej wapieni. Sporadycznie występują margle, margle dolomityczne i anhydryty. Wyżej leżąca w profilu górnodewońskim formacja modryńska składa się w kolejności stratygraficznej z ogni: krzewickiego, lipowieckiego, kompleksu dolomitów kawernistych, ogniwa łosieńskiego i zubowickiego. Formację budują margle, iłowce dolomityczne, wapienie organodetrytyczne i dolomity krystaliczne, dolomity margliste oraz anhydryty.

Utwory karbonu o miąższości 726,8 m występują na głęb. 533,1–1259,9 m. Granice chronostratygraficzne wyznaczono na podstawie korelacji granic sekwencji depozycyjnych z profilem reperowym oraz podziałami karbonu globalnym i zachodnioeuropejskim. Pozwoliło to na uszczegółowienie stratygrafii i wpłynęło na przesunięcie dotychczasowych granic. Utwory karbonu są wykształcone jako wapienie, margle, iłowce, mułowce, piaskowce, gleby stigmarowe, węgle i iłowce węgliste. W czasie niskiego stanu względnego poziomu morza (WPM) depozycja zachodziła na równiach deltowych, korytach rozprowadzających delty, w korytach rzecznych i na równiach zalewowych. W czasie podnoszenia i wysokiego stanu WPM rozwinęły się środowiska delt płytkowodnych oraz płytkiego szelfu węglanowego i ilastego.

Utwory jury występują na głęb. 521,0–535,0 m (wg pomiarów geofizycznych). Stwierdzono tu liczący 14,0 m miąższości kompleks reprezentujący jedynie oksford górny oraz prawdopodobnie najniższy kimeryd. Profil jurajski jest bardzo zredukowany ze względu na zlokalizowanie otworu w skrajnie brzeżnej części basenu jurajskiego. Dolną część profilu reprezentuje formacja jarczowska, zbudowana z piaskowców średnioziarnistych i różnoziarnistych, piaskowców ilastych i mułowców. Kompleks piaskowcowy stwier-

dzony w dolnym odcinku formacji powstał najprawdopodobniej w środowisku delty, podczas gdy występujące wyżej utwory mułowcowo-iłowcowe reprezentują środowisko bagien, rozwijających się prawdopodobnie na obszarze równi deltowej. W stropie utworów jurajskich występuje formacja tyszwiecka, zbudowana z mułowców o genezie lądowej.

Utwory kredy mają miąższość 486,0 m, z czego 0,5 m przypada na utwory kredy dolnej (alb górny), a 485,5 m na utwory kredy górnej. W profilu są reprezentowane piętra od cenomanu po mastrycht górny. Profil kredy cechuje zdecydowana dominacja utworów węglanowych otwartego zbiornika morskiego (głównie wapienie pelityczne, wapienie organodetrytyczne (tzw. wapienie inoceramowe) i wapienie margliste), które występują tuż ponad rozpoczynającą sukcesję kredową warstwą zlepioną deponowaną w stadium transgresji morskiej. W turonie pojawiają się wapienie kredopodobne, natomiast w mastrychcie – margle. W profilu kredy nie stwierdzono występowania ani skał krzemionkowo-węglanowych (opok), ani typowej kredy piaszczącej.

Analizowany kompleks utworów paleozoicznych reprezentujących karbon górny–kambr dolny zawiera zmienną ilość materiału organicznego (od 0,1 do 7,5% planimetrycznej powierzchni próbki). Najliczniej (2,0–7,5%) występuje on w utworach karbonu (baszki, serpuchow), a jego głównym składnikiem jest materiał humusowy, zbudowany z trzech podstawowych grup maceralnych: witytritu, liptytritu i inertytritu. Najuboższe w składniki organiczne, reprezentowane przez macerały witytritopodobne (stałe bituminy i zoklasty) oraz impregnacje bitumiczne, są utwory dewonu (dolny i środkowy) zawierające 0,1–0,3% materii organicznej. Utwory starszego paleozoiku (sylur–ediakar) charakteryzują się zmienną zawartością komponentów organicznych (0,1–2,0%), przy czym najwyższe koncentracje (1,1–2,0%) występują w utworach najstarszych (ediakar) oraz pojedynczych poziomach ordowiku (karadok) i syluru (wenlok, ludlow). Ich głównym składnikiem są graptolity i stałe bituminy (ordowik, sylur) oraz fytozoklasty (kambr, ediakar). Dojrzałość termiczna materii organicznej w profilu pionowym badanego kompleksu osadów wyraźnie wzrasta wraz z głębokością pograżenia od 0,57% R_o na głęb. 553,0 m (baszki) do 2,46% R_o na głęb. 3825,0 m (ediakar). Odpowiada to przejściu od głównej fazy generowania ropy naftowej (dewon górny–karbon) przez fazę generowania gazów mokrych i kondensatów (dewon dolny–sylur), główną fazę generowania gazów (kambr–ordowik), po fazę przejrzalą (ediakar).

Utwory paleozoiku są „dobrymi” skałami macierzystymi do generowania węglowodorów. Należą do nich utwory syluru (wenloku) oraz karbonu górnego (serpuchow i baszki). Pozostałe utwory są „słabymi” lub „biednymi” skałami macierzystymi, a wyższe zawartości węgla organicznego występują w nich jedynie punktowo. Źródłem wyjściowej materii organicznej obecnej w utworach dolnego paleozoiku w tym otworze są bakterie i algi morskie, natomiast w utworach karbonu górnego występuje materiał humusowy. W utworach dolnego paleozoiku materia orga-

niczna jest przeobrażona w stadium zaawansowanym „okna ropnego”. W utworach karbonu materia organiczna jest słabo przeobrażona.

Pierwszym okresem wzmożonej depozycji i szybkiego pograżania był okres od ediakaru do późnego kambru. W tym okresie pokrywa osadowa osiągnęła miąższość ok. 1000 m. Największe tempo depozycji osadów wystąpiło w sylurze i osiągnęło w ludlowie ok. 177 m/mln lat, w przydolu – ok. 203 m/mln lat. Wraz z początkiem wenloku nastąpiła faza bardzo gwałtownego pogrzebienia, która kontynuowała się do końca dewonu. Okres ten zwiększył miąższość pokrywy osadowej do ok. 3000–3100 m. Wzrost tempa depozycji osadów wiązał się z jednej strony z fleksuralnym uginaniem krawędzi płyty, tworzącym w basenie przestrzeń akomodacyjną, z drugiej zaś strony ze wzrostem dostawy materiału detrytycznego. Z początkiem dewonu tempo sedymentacji osadów klastycznych wynosiło ok. 105–110 m/mln lat. Druga faza wzrostu tempa depozycji nastąpiła na początku baszkiru i wynosiła ok. 90 m/mln lat. W późnym wizenie nastąpiła faza szybkiego pogrzebienia, która trwała do końca karbonu (westfalu). W tym czasie została osiągnięta maksymalna głębokość pogrzebienia na tym obszarze, wynosząca ok. 3900 m. Kolejny epizod wzrostu tempa depozycji do 87 m/mln lat wystąpił w mastrychcie i był związany z laramijską reaktywacją tektoniczną w basenie polskim. W mezozoiku dwie fazy pogrzebienia objęły późną jurę, po której we wczesnej kredzie nastąpił okres erozji, oraz późną kredę, kiedy to pokrywa osadowa osiągnęła wielkość pogrzebienia zbliżoną do tej z końca karbonu. W strefie generowania węglowodorów znajdują się utwory od dolnej części profilu otworu (ediakar) do utworów kredy dolnej włącznie. Utwory od ediakaru do dolnej części wenloku znajdują się w oknie generowania gazu ziemnego. Generowanie gazu ziemnego z tych utworów rozpoczęło

się najprawdopodobniej z początkiem eocenu. Utwory od górnej części albu, przez utwory karbonu i dewonu, do utworów górnej części wenloku znajdują się odpowiednio we wczesnym, środkowym i późnym oknie generowania ropy naftowej. Generowanie ropy naftowej dla utworów wenloku rozpoczęło się najprawdopodobniej w wizenie i dla poszczególnych, coraz młodszych utworów następowało w młodszych okresach. Ostatnimi utworami, które osiągnęły dojrzałość do generowania ropy naftowej w eocenie, były utwory albu górnego.

Analiza danych sejsmicznych wykazała wyraźne zapadanie utworów ediakarskich oraz dolnopaleozoicznych, jak również wzrost miąższości utworów dolnodewońskich ku SE. W obrębie kompleksu dewońskiego i karbońskiego wyróżniono liczne uskoki odwrócone, zapadające na SW, z których większość jest zakorzeniona w górnych partiach utworów dewonu dolnego. Ich powstanie jest związane z inwersją basenu lubelskiego. Od końca westfalu panował reżim transpresyjny, co ma swoje odzwierciedlenie w inwersyjnym charakterze występujących tu struktur.

Szczegółowa analiza danych sugeruje, że przebadane interwały litologiczne w żadnym wypadku nie spełniają norm typowych dla skał o dobrych właściwościach zbiornikowych. Jedynie niektóre interwały charakteryzują się spełnieniem wyłącznie jednego z wymienionych warunków klasyfikacji. Do interwałów tych należą fragmenty profilu z głęb. 3560,7 m (kambr), 1390,0 m (dewon), 645,9 i 541,0 (karbon), 530,0 m (jura) oraz 503,5 m (kreda).

Na postawione w projekcie otworu wiertniczego Terebin IG 5 cele surowcowe, związane z nagromadzeniami gazu ziemnego w kambrze i dewonie, węglonością karbonu, a także występowaniem fosforytów w utworach kredy, uzyskano odpowiedzi negatywne.