

Hanna MATYJA

NAJWAŻNIEJSZE WYNIKI BADAŃ

Przedmiotem prezentowanego opracowania w profilu Unisław IG, zlokalizowanym w południowo-wschodniej części obszaru Pomorza Zachodniego (w północnej części nieckiej płockiej), były przede wszystkim osady paleozoiku i mezozoiku, w nieznacznym stopniu kenozoiku.

W profilu tym wyróżniono utwory dewonu (nieprzebitego żywetu oraz dewonu górnego – franu i niższej części famenu), permu (czerwonego spągowca i cechsztynu), triasu, jury oraz paleogenu lub neogenu i czwartorzędu (por. fig. 2 – szczegółowy profil litologiczno-stratygraficzny). Charakterystyczne dla tego profilu są dosyć duże luki, nie tylko między poszczególnymi systemami (brak całego karbonu), ale również wewnątrz systemów (np. brak znaczącej części profilu dewonu górnego czy permu dolnego), przy czym większość tych luk ma wymiar zdecydowanie lokalny i nie jest typowa dla całego Pomorza Zachodniego.

Najstarszymi nadwierconymi utworami, liczącymi ok. 26,5 m miąższości, są silikoklastyczne utwory dewonu środkowego reprezentowane przez najwyższą część formacji wyszebońskiej. Wykształcone są one głównie jako szare, słabo wapniste piaskowce i mułowce, pozbawione szczątków organicznych (poza bioturbacjami – śladami działalności organizmów bentonicznych). Leżące wyżej utwory silikoklastyczno-węglanowe i węglanowe o miąższości ok. 340,0 m, dosyć bogate w szczątki organiczne (głównie stromatoporoidy masywne i gałązkowe), należą do formacji koczalskiej. Powyżej utworów formacji koczalskiej zidentyfikowano liczące 382,0 m ilasto-margliste utwory ogniwa strzeżewskiego formacji człuchowskiej. Skały dewonu poddano badaniom biostratygraficznym, a jako narzędzia stratygraficznego użyto konodontów (H. Matyja). W próbkach utworów formacji wyszebońskiej konodontów nie znaleziono, natomiast znacząca część badanych próbek z utworów formacji koczalskiej i człuchowskiej zawierała faunę konodontową. Analiza biostratygraficzna wykazała, że skały dewonu w tym profilu należą do najwyższego żywetu i do górnego dewonu, franu i niższej części famenu. Utwory silikoklastyczne dewonu środkowego i silikoklastyczno-węglanowe niższej części franu tworzyły się w środowisku zbliżonym do marginalnomorskiego. Natomiast osady węglanowe wyższej części franu były związane ze środowiskiem platformy węglanowej i jej najbliższym otoczeniem. Ilasto-margliste osady ogniwa strzeżewskiego formacji człuchowskiej tworzyły się w środowisku niżejpływowego szelfu, okresowo powstawały w basenie szelfowym.

Na utworach niższego famenu leżą wprost utwory permu należące do czerwonego spągowca. Brakuje więc w tym profilu utworów wyższej części famenu, całego karbonu i niższej części permu. Utwory czerwonego spągowca są reprezentowane przez drobnoziarniste piaskowce i mułowce oraz zlepionce piaszczyste należące do grupy Warty, formacji Noteci, których szczegółową analizę przeprowadziła M. Kuberska. Osady te tworzyły się w dwóch różnych środowiskach sedymentacji – playi marginalnej oraz fluwialnych koryt rozprowadzających; te ostatnie stanowią dystalną część systemu fluwialnego rozwiniętego w strefie krawędziowej basenu (H. Kiersnowski). Liczący 325 m miąższości profil cechsztynu jest dość kompletny i zbudowany z trzech cyklotemów węglanowo-ewaporatowych: PZ1, PZ2 i PZ3 oraz cyklotemu terygeniczo-ewaporatowego PZ4, składającego się w tym rejonie z subcyklotemu PZ4a i formacji rewalskiej (R. Wagner). Historia utworzenia się i ewolucji paleostruktury Unisławia w cechsztynie to zdaniem R. Wagnera przykład rozwoju sedymentacji osadów cechsztynu na lokalnym wyniesieniu utworzonym pod koniec czerwonego spągowca, w trakcie procesów erozyjno-tektonicznych. W czasie sedymentacji dolomitu głównego (Ca₂) w środowisku otwartomorskim utworzyła się niewielkich rozmiarów platforma węglanowa o charakterze rafowym. Paleostruktura Unisławia przestała prawdopodobnie istnieć z początkiem nowej transgresji morskiej (w trakcie depozycji osadów cyklotemu PZ3), która spowodowała znaczące zmiany w całym basenie cechsztynskim. Utwory cechsztynu zostały poddane szczegółowej analizie mikrofacjalnej i diagenetycznej (M. Wichrowska).

W profilu otworu Unisław IG 1 mezozoik jest reprezentowany przez utwory triasu, jury i kredy.

Utwory triasu, osiągające 1287,5 m miąższości, obejmują znaczący przedział stratygraficzny tego systemu, niestety ich rozpoznanie z powodu niewielkiej ilości dostępnego materiału rdzeniowego (zaledwie 3%) opiera się przede wszystkim na analizie pomiarów geofizyki otworowej i analogiach regionalnych (A. Becker). Ze względu na słabe rozpoznanie chronostratygraficzne profilu triasu zrezygnowano ze wskazywania pięter i ich granic. W skład triasu dolnego reprezentowanego przez grupę pstrego piaskowca wchodzi wszystkie jej podgrupy: pstry piaskowiec dolny, środkowy oraz górny (A. Becker). Do triasu środkowego zaliczono utwory reprezentujące grupę wapienia muszlowego (dolnego, środkowego i górnego – L. Adach). Trias górny jest reprezentowany przez utwory kajpru dolnego,

w którego obrębie wyróżniono warstwy sulechowskie oraz kajpru środkowego, w którego obrębie wyróżniono warstwy gipsowe dolne oraz warstwy kłodawskie dolne (A. Becker). W opracowaniu przyjęto granice prawie wszystkich wydzieleni litostratygraficznych (jedyna zmiana dotyczy spągu formacji bałtyckiej) zgodnie z dokumentacją wynikową otworu. Nazewnictwo jednostek litostratygraficznych w triasie górnym zweryfikowano zgodnie ze standardem *Tabeli stratygraficznej Polski* (Wagner, 2008).

Interpretację chrono- i litostratygraficzną nierdzienowanej serii jury dolnej w profilu otworu Unisław IG 1 jest oparto na porównaniu krzywej geofizycznej tego otworu i oddalonego o ok. 100 km na południowy wschód w pełni rdzeniowanego w części dolnojurajskiej otworu Kaszewy 1 (G. Pieńkowski). Mimo że w otworze Unisław IG 1 miąższość profilu jury dolnej jest już znacznie mniejsza, na podstawie podobieństwa profilowań geofizycznych obydwu otworów wiertniczych G. Pieńkowski wyróżnił podstawowe litoformacje grupy Kamiennej (formację zagajską, skłobską, ostrowiecką, gołeniewską, drzewicką, ciechocińską i borucicką) oraz hipotetycznie sekwencje depozycyjne (w ujęciu cyklo- i chronostratygraficznym). Profil jury środkowej w otworze Unisław IG 1 również przewiercono bezrdzeniowo, stąd jego interpretacja stratygraficzna opiera się na regionalnych korelacjach krzywych profilowań geofizycznych, szczególnie z profilem otworu Ciecchocinek IG 3 (A. Feldman). Na podstawie tych korelacji założono, że profil jury środkowej występuje w ciągłości sedimentacyjnej z utworami podścielającymi i nadległymi: leży on na piaskowcach toarku górnego (jura dolna), a przykrywają go wapienie oksfordu (jura górna). Ze względu na brak jakichkolwiek danych chronostratygraficznych pochodzących z profilu otworu Unisław IG 1 wszystkie wyróżnione przez A. Feldman granice chronostratygraficzne między poszczególnymi piętrami czy podpiętrami (aalen dolny i górny, bajos dolny i górny, baton dolny, środkowy i górny i kelowej) należy traktować jako umowne – postawiono je na najbliższych im granicach litostratygraficznych na podstawie wyników badań biostratygraficznych pochodzących z pobliskich profili i przesłanek regionalnych. Cały profil jury górnej oraz beriasu dolnego również przewiercono bezrdzeniowo. Podział stratygraficzny przeprowadzono (A. Feldman) na podstawie analiz próbek okruchowych i mikrofauny pochodzącej z próbek okruchowych (J. Smoleń) oraz na podstawie krzywych geofizycznych i korelacji regionalnych. W profilu jury górnej wydzielono formację Łyny i grupę wapienną A (reprezentujące oksford), formację wapienno-marglisto-muszlownicową (kimeryd dolny), formację pałucką (kimeryd górny, tyton dolny, niższa część tytonu górnego), formację kcyńską (wyższa część tytonu górnego, berias dolny) z ogniwem wapieni korbulowych z Malic, ogniwem z Wieńca i ogniwem skotnickim.

Utwory kredy, liczące ok. 1069 m miąższości, również przewiercono bezrdzeniowo. Litologię opracowano na podstawie informacji z rdzeni wiertniczych sąsiednich otworów, pomiarów geofizycznych oraz pomocniczo – z próbek okruchowych (K. Leszczyński). W związku z tym granice

jednostek chronostratygraficznych w profilu kredy są przybliżone i wyznaczone na podstawie korelacji regionalnej krzywych profilowań geofizycznych otworu Unisław IG 1 z sąsiednimi otworami wiertniczymi zarówno niecki płockiej, jak i pomorskiej, z uwzględnieniem danych paleontologicznych, głównie mikrofauny otwornicowej oznaczonej w próbkach okruchowych (E. Biedowa). Utwory kredy dolnej są zdominowane przez silikoklastyki zaliczone do beriasu–albu, a kompletny profil kredy górnej, zawarty między cenomanem a mastrychem, charakteryzują litofacje węglanowo-krzemionkowe (opoki), węglanowe, silikoklastyczno-margliste (charakterystyczne dla cenomanu) oraz węglanowo-piaszczyste (charakterystyczne dla mastrychtu).

Profil otworu Unisław IG 1 wieńczą przewiercone bezrdzeniowo utwory należące do paleogenu i neogenu (liczące ok. 54 m miąższości) oraz niewielkiej miąższości (44,5 m) osady czwartorzędu. Paleogen rozpoczynają prawdopodobnie utwory formacji czempińskiej (tzw. „iły toruńskie”) reprezentujące oligocen. Nad nimi, z luką, spoczywają aluwialne utwory formacji adamowskiej zaliczanej do neogenu, do miocenu (J. Kasiński).

W analizowanym kompleksie utworów mezozoicznych i paleozoicznych w profilu otworu Unisław IG 1 analizę petrologiczną materii organicznej rozproszonej wykonano w utworach dewonu górnego i permu górnego (I. Grotek). Utwory dewonu charakteryzują się niezbyt bogatą zawartością materii organicznej, mieszczącej się najczęściej w granicach 0,10–0,40% planimetrowanej powierzchni próbek. Podwyższone koncentracje (0,70–1,00%) występują jedynie w pojedynczych poziomach. Dewońska materia organiczna jest bardzo słabo zróżnicowana pod względem typu genetycznego oraz formy występowania. Reprezentowana jest głównie przez materiał wityrynitopodobny, stałe bituminy i zooklasty. W utworach permu górnego, cechsztynu, materiał organiczny występuje tylko w postaci cienkich lamin i drobnych soczewek oraz wypełnień szczelin, w których obrębie rzadko są spotykane macerały grupy wityrynit. Dojrzałość termiczna materii organicznej, określona na podstawie wielkości współczynnika refleksyjności wityrynit i/lub materiału wityrynitopodobnego, w utworach dewonu górnego odpowiada późnej fazie generowania ropy naftowej po fazę generowania gazów mokrych i kondensatów, natomiast w utworach cechsztynu wskazuje na główną fazę generowania ropy naftowej i maksymalne temperatury diagenety rzędu 100°C.

Przedstawione wyniki badań geochemicznych (E. Klimuszko) wskazują, że utwory klastyczne dewonu środkowego i górnego i utwory permu dolnego ogólnie są „biednymi” skałami macierzystymi, a tylko niektóre interwały węglanowych utworów dewonu górnego można uznać za „dobre” skały macierzyste do generowania węglowodorów. Ilość bituminów występujących w skałach dewonu środkowego jest wprawdzie relatywnie duża, ale po uwzględnieniu małej zawartości węgla organicznego w tych utworach należy stwierdzić, że mają one charakter epigenetyczny w stosunku do osadu. Ilość bituminów w utworach dewonu górnego jest bardzo zróżnicowana – ogólnie jest nieduża,

ale punktowo lub w niewielkich interwałach głębokości większa. Analiza pirolityczna Rock-Eval (M. Janas) potwierdziła, że w utworach formacji koczańskiej (dewon, fran) występują skały macierzyste w postaci wkładek i warstw o miąższościach od kilku do kilkunastu metrów. Utwory formacji wyszeborskiej (żywet) i człuchowskiej (famen) są natomiast pozbawione efektywnych poziomów macierzystych. Za hipotezą istnienia dewońskiego systemu naftowego przemawiają jednak dojrzałość termiczna materii organicznej w utworach dewonu, odpowiadająca głównej fazie generowania ropy naftowej (lub początkowa faza generowania kondensatów i gazów mokrych) oraz obecność ropotwórczego kerogenu typu II.

W poszukiwaniu skał o dobrych właściwościach zbiornikowych wykonano szereg badań umożliwiających określenie podstawowych parametrów fizycznych i chemicznych skał – próbki rdzeniowe poddano badaniom określającym: ciężar właściwy i objętościowy, porowatość efektywną i całkowitą, węglanowość oraz przepuszczalność. Na ich podstawie wytypowano występowanie pewnych interwałów litologicznych o odpowiednich właściwościach petrofizycznych sugerujących dobre właściwości zbiornikowe. Są to utwory permu górnego (czerwonego spągowca) na głębokości 4584,50 m oraz triasu dolnego w przedziale głębokości 2835,50–2839,40 m (P. Karcz).

W rejonie otworu wiertniczego Unisław IG 1 wykonano badania sejsmiczne 2D (profil sejsmiczny FX228211x1). Zapis sejsmiczny widoczny na analizowanym profilu sejsmicznym wskazuje na skomplikowaną budowę tektoniczną tego obszaru (A. Głuszyński). Można tu wyróżnić dwa główne piętra strukturalne: paleozoiczno-dolnopermskie oraz górnopermsko-mezozoiczne, dla których powierzchnią graniczną jest spąg cechsztynu. Utwory paleozoiczno-dolnopermskiego piętra strukturalnego są pocięte gęstą siecią stref uskokowych o dominującym kierunku NW–SE, zgodnym z przebiegiem strefy T-T. Dyslokacje te są przecinane poprzecznymi do nich uskokiemi o przebiegu NE–SW (niewidocznymi na analizowanym profilu sejsmicznym), dzielącymi obszar na szereg pochyłonych i zrotowanych bloków tektonicznych. Zapis sejsmiczny wskazuje, że dyslokacje rozcinające podłoże podcechsztyńskie wygasają w spągu cechsztynu bez rozcinań młodszych utworów. W górnopermsko-mezozoicznym piętrze strukturalnym rozpoznano szereg uskoku normalnych o listrycznych powierzchniach uskokowych, ze skrzydłami obniżonymi po stronie południowo-zachodniej. Uskoki te są zakorzenione w solach cechsztyńskich. Uskoki obserwowane w tym piętrze strukturalnym, podobnie jak dyslokacje w podłożu podcechsztyńskim, również mają orientację zgodną z przebiegiem strefy T-T (czyli NW–SE). Wraz z głównymi dyslokacjami występują sprzężone z nimi anty- i syntetyczne uskoki niższego rzędu. Powstanie uskoku listrycznych i związanych z nimi uskoku niższego rzędu jest związane z ekstensyjnym rozwojem basenu polskiego i pochylaniem się podłoża tej części basenu ku południowemu zachodowi oraz zachodzącą równocześnie halotektoniką.

Dla profilu otworu Unisław IG 1 przeprowadzono analizę tempa depozycji materiału oraz modelowanie historii termicznej i warunków pogrzebienia (I. Dyrka). Modelowanie wykonano przy użyciu takich danych wejściowych, jak: stratygrafia, litologia, miąższość jednostek wydzielonych w profilu oraz parametry petrofizyczne skał. Wyniki zawarte w pracach poprzedników posłużyły jako baza porównawcza do wykonanych modeli w tym profilu wiertniczym. Od dewonu środkowego rejon otworu Unisław IG 1 swym rozwojem objął pomorski basen sedymentacyjny. W późnym dewonie, zwłaszcza we franie, tempo depozycji było bardzo wysokie. W późnym karbonie i we wczesnym permie, w związku z ruchami waryscyjskimi, obszar ulegał wypiętrzaniu i erozji, dlatego w profilu nie występują utwory karbonu i permu dolnego, również utwory dewonu górnego (famenu) zostały w znacznej części zerodowane. Z początkiem późnego permu w okresie sedymentacji klastycznych utworów czerwonego spągowca tempo sedymentacji było niewielkie i wynosiło zaledwie ok. 6 m/mln lat. W cechsztynie natomiast zaznaczył się wyraźny wzrost tempa depozycji utworów węglanowo-ewaporatowych, które wynosiło ok. 186–190 m/mln lat. We wczesnym triasie tempo depozycji utworów klastycznych nadal utrzymywało się na wysokim poziomie, a nawet wzrosło do ok. 252–262 m/mln lat. Tak wyraźny wzrost sedymentacji osadu był związany ze zdarzeniem tektonicznym charakteryzującym się fazą gwałtownej subsydencji w późnym permie i we wczesnym triasie, po której nastąpił okres spowolnienia w mezozoiku. Wraz z początkiem jury następował kolejny, konsekwentny wzrost tempa depozycji osadu. We wczesnej jurze wynosiło ono 18 m/mln lat, w środkowej jurze – 42 m/mln lat, a w późnej – 44 m/mln lat. Dla wczesnej kredy znowu można zaobserwować spadek tempa depozycji do ok. 12 m/mln lat, a następnie wzrost w późnej kredzie do ok. 25 m/mln lat. Wzrost tempa sedymentacji w późnej kredzie, jak również jego zmienne tempo w poszczególnych piętrach tego okresu, wiąże się ze wzmoczoną subsydencją basenu i sugeruje reaktywację tektoniczną w basenie polskim. Utwory kenozoiku (paleogenu, neogenu i czwartorzędu) kończą profil otworu Unisław IG 1. Średnie tempo akumulacji tych osadów nie przekraczało 8 m/mln lat.

Model pograżania osadów dla profilu otworu Unisław IG 1 rozpoczyna się od środkowego dewonu. Od środkowego dewonu do wczesnego karbonu miała miejsce faza intensywnego pogrzebienia związana z ekstensją basenu. Faza ta doprowadziła do powstania pokrywy osadowej o miąższości ok. 1900 m. W późnym karbonie i we wczesnym permie nastąpiła faza wypiętrzania tektonicznego, prowadząca do erozji osadów karbonu dolnego (missisipu) oraz części osadów dewonu górnego (famenu). Erozę tą szacuje się na ok. 1000 m. Okres od wczesnego do późnego permu był okresem stagnacji i niewielkiej depozycji osadów. W trakcie rozwoju permsko-mezozoicznego basenu permskiego, począwszy od późnego permu, czyli depozycji osadów cechsztynu, miał miejsce kolejny etap gwałtownego pogrzebienia, kontynuującego się aż do końca kredy.

Główna faza intensywnego pogrzebienia przypadła na późny perm i wczesny trias. W środkowym triasie pokrywa osadowa osiągnęła już miąższość ok. 3160 m. Maksymalne pogrzebienie w historii tego profilu przypadło najprawdopodobniej na koniec kredy, kiedy pokrywa osadowa osiągnęła miąższość ok. 5490 m. W kenozoiku nastąpiło dalsze, ale bardzo niewielkie pograżanie, które ostatecznie ukształtowało miąższość i głębokość pokrywy osadowej w profilu otworu Unisław IG 1.

Na podstawie wyników modelowania jednowymiarowego dla profilu otworu Unisław IG 1 stwierdzono, że w strefie generowania węglowodorów znajdują się utwory od dolnej części profilu otworu (żywetu) do środkowej części utworów jury dolnej włącznie. Utwory żywetu, franu i dolnej części famenu znajdują się obecnie w oknie generowania gazu mokrego/ kondensatu ($1,1-1,4\% R_0$). Pozostała część wymienionych utworów znajduje się w zakresie okna dojrzałości odpowiadającej generowaniu ropy naftowej ($0,55-1,1\% R_0$). Proces generowania ropy naftowej dla utworów żywetu i franu rozpoczął się w środkowym triasie, natomiast kolejna faza generowania gazu ziemnego/ kondensatu miała miejsce na przełomie wczesnej i późnej kredy. Proces generowania ropy naftowej dla utworów famenu rozpoczął się w późnym triasie, dla utworów cechsztynu – w jurze środkowej i późnej. Utwory triasu i jury dolnej osiągnęły okno dojrzałości do generowania ropy naftowej we wczesnej kredzie.

W otworze Unisław IG 1 pomiary geofizyki wiertniczej wykonano w ponad 700 odcinkach pomiarowych. Przeprowadzono między innymi pomiary radiometryczne, stanowiące wówczas podstawowy typ badań geofizycznych służących do oceny litologii oraz właściwości zbiornikowych skał, pomiary akustyczne oraz elektrometryczne (por.

M.G. Roman). Na podstawie tych pomiarów przeprowadzono interpretację granic litologicznych, wydzielono poziomy zbiornikowe i oceniono ich nasycenie metodą normalizacji krzywych. Za najbardziej perspektywiczne dla wystąpień węglowodorów uznano utwory czerwonego spągowca i dewonu. Dostępne wyniki interpretacji wskazują na obecność gazu ziemnego ekranowanego przez nadległe utwory cechsztynu oraz ropy naftowej w utworach dewonu.

Pracami pomiarowymi prędkości średnich oraz pionowego profilowania sejsmicznego (PPS) objęto odcinek otworu od 195 do 3495 m, co 15 m, przy całkowitej głębokości wiercenia zakończonej na 5355 m. Z uzyskanych danych (L. Dziwińska i W. Józwiak) wynika, że najwyższe wartości prędkości zarejestrowano w utworach wapiennych jury górnej (oksford – 4500 m/sek) oraz utworów triasu środkowego (wapień muszlowy – 4500 m/sek), a najniższe prędkości cechuje kompleks kredy górnej (2150 m/sek). Obserwowane kontrasty prędkości są efektem zmian w ukształceniu litologicznym poszczególnych ogniw litostratigraficznych i umożliwiają określenie granic między nimi.

Wyniki opróbowania hydrogeologicznego otworu Unisław IG 1 (L. Bojarski, A. Sokołowski, J. Sokołowski) (wykonano łącznie siedem badań rurowym próbnikiem złoża, jedną hydroperforację, dwa zabiegi kasowania oraz jedną próbę chłonności złoża) zasygnalizowały istnienie anomalnie wysokich ciśnień złożowych w utworach dewonu, połączonych z niewielkim przepływem ropy naftowej, a w utworach czerwonego spągowca – również bardzo wysokie ciśnienie złożowe oraz objawy gazu ziemnego. Nie uzyskano jednak przemysłowych wartości przyływów ani ropy naftowej (w dewonie przepływ ok. 250 l/d), ani gazu ziemnego (w utworach czerwonego spągowca przepływ gazu ziemnego jest niemierzalny).