

Hanna MATYJA (zestawienie)

NAJWAŻNIEJSZE WYNIKI BADAŃ

Przedmiotem prezentowanego opracowania były przede wszystkim osady paleozoiku i mezozoiku, w nieznacznym stopniu kenozoiku, w profilu Gościno IG 1. Profil ten jest zlokalizowany w obrębie jednostki strukturalnej zwanej blokiem pomorskim w planie waryscyjskim, równocześnie znajduje się w obrębie pociętej uskokami permomezozoicznej antykliny Kołobrzegu o przebiegu N–S, będącej częścią wału pomorskiego powstałego w fazie laramijskiej orogenezy alpejskiej. Wał pomorski jest obrzeżony od SW niecką szczecińską, wypełnioną osadami kredy dolnej, a od NE niecką pomorską (por. fig. 1). W profilu Gościno IG 1 wyróżniono osady dewonu (nie przebitego ?żywetu oraz dewonu górnego – franu i znacznej części famenu), permu (cechsztynu reprezentowanego przez osady cyklotemów PZ1, PZ2, PZ3 i PZ4), triasu, jury dolnej i środkowej oraz czwartorzędu (por. fig. 3). Charakterystyczne dla tego profilu są więc dużych rozmiarów luki nie tylko między poszczególnymi systemami (brak całego karbonu), ale również wewnątrz systemów (jak np. brak znaczącej części famenu czy permu), przy czym większość tych luk ma wymiar zdecydowanie lokalny i nie jest typowa dla całego obszaru Pomorza Zachodniego.

Najstarszymi nawierconymi utworami są silnie zdiagenezowane łupki ze smugami piaskowców kwarcytowych, reprezentujące prawdopodobnie najwyższą część formacji ?wyszoborskiej dewonu środkowego. Datowania biostratygraficzne dotyczące dewonu w omawianym profilu nie pochodziły z bezpośredniej analizy biostratygraficznej (poza datowaniem formacji kłanińskiej), jak nakazują standardy biostratygraficzne, ale z porównań wewnątrzregionalnych, wynikających z dobrze rozpoznanego dewonu obszaru pomorskiego (Matyja, 1993, 2006, 2009). Pozwalają one na stwierdzenie, że osady formacji człuchowskiej liczące w tym profilu ponad 1100 m miąższości, w obrębie której wyodrębniono ogniwo strzeżewskie, gorzysławskie i gościńskie, reprezentują fran i famen (po konodontowy poziom *marginifera*, por. Matyja, 2009). Osady formacji kłanińskiej należą do wyższego famenu (dolny i środkowy poziom konodontowy *expansa*, co potwierdziły również bezpośrednio badania biostratygraficzne w profilu Gościno IG 1. Dla dewońskiej części profilu przedstawiona została również charakterystyka mikrofacjalna. Wykształcenie litologiczne osadów zidentyfikowanych w profilu Gości-

no IG 1, w połączeniu z analizą mikrofacjalną wskazują, że depozycja osadów dewonu górnego odbywała się w zbiorniku otwartomorskim, wykazującym postępujące z czasem (począwszy od franu po wyższy famen) tendencje regresywne (por. Matyja, 1993, 2009).

W profilu Gościno IG 1 nie stwierdzono osadów najwyższej części famenu, brakuje też całego karbonu i niższej części permu.

Na osadach famenu leżą osady permu górnego, cechsztynu, charakteryzujące się dużą miąższością (591,0 m) i w miarę kompletnym profilem stratygraficznym, do subcyklotemu PZ4b włącznie. Profil cechsztynu nie jest zaburzony tektonicznie i jest zbudowany z trzech cyklotemów węglanowo-ewaporatowych: PZ1, PZ2, PZ3 oraz cyklotemu terygeniczo-ewaporatowego PZ4, podzielonego w tym rejonie na dwa subcyklotemy PZ4a i Pz4b. W ustaleniu wieku skał cechsztyńskich bardzo ważnym narzędziem była analiza palinologiczna – bardzo dobry materiał do badań uzyskano z młodszych soli kamiennych (Na3) i z dolnej części najmłodszych soli kamiennych (Na4a₁). Badania palinologiczne dostarczyły także istotnych informacji dotyczących klimatu późnego cechsztynu. Zdecydowana większość ziaren pyłków roślin zbliżonych do szpilkowych, wywodzących się od karbońskich kordaitów (roślinność sucholubna) oraz brak przedstawicieli flory wilgotnolubnej (skrzyppy, widlaki), wskazują na przewagę klimatu gorącego i suchego w tym czasie. Dla węglanowej części profilu cechsztynu (dolomit główny – Ca2 i dolomit płytowy – Ca3) przedstawiono charakterystykę mikrofacjalną, środowisko sedimentacji oraz rodzaje procesów diagenetycznych. Utwory solne cechsztynu, obejmują fragmenty profili 3 cyklotemów: PZ2, PZ3 i PZ4. Badania rdzeni solnych objęły określenie odmian litologicznych i strukturalnych skały (frakcja, selekcja kryształów, obecność i rodzaj domieszek mineralnych, cechy optyczne oraz charakterystykę teksturalną (tekstury kierunkowe wtórne). Ponadto wykonano badania geochemiczne – oznaczenie zawartości bromu, boru i składu mineralnego. Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają sugerować, że sole powstawały w szerokim spektrum przybrzeżnych środowisk sedimentacyjnych, m.in. w warunkach nadmorskiej panwi solnej, w środowisku nadmorskiej równi mułowej lub okresowo wysychającego zbiornika jeziornego, w obrębie płyt-

kiej laguny solnej, czy w środowisku pływiczny w obrębie płytkiej laguny siarczanowej.

Utworki mezozoiku są reprezentowane w profilu Gościno IG 1 przez osady triasu, liczące tu ponad 1 800 m miąższości i niekompletne osady jury (tylko dolnej i fragmentu środkowej) o miąższości ok. 770 m.

Na podstawie opisu profilu oraz wykresów profilowań geofizycznych pierwotnych i zreinterpretowanych (połączonych) dokonano weryfikacji wydzieleni litostratygraficznych triasu. Za Bachmannem i in. (2010) uznano wydzielenia pstry piaskowiec, wapień muszlowy i kajper za wydzielenia litostratygraficzne w randze grup, zaś ich dolne, środkowe i górne części za podgrupy. Ze względu na brak pracy formalizującej podział litostratygraficzny osadów triasu basenu środkowoeuropejskiego (inaczej południowego basenu permskiego, basenu germańskiego) na grupy i podgrupy, traktuje się ten podział jako nieformalny. W skład triasu dolnego reprezentowanego przez grupę pstrego piaskowca wchodzi wszystkie jej podgrupy: pstry piaskowiec dolny, środkowy oraz górny. Ze względu na brak danych chronostratygraficznych pochodzących bezpośrednio z tego otworu wszystkie granice chronostratygraficzne są umowne, postawione na najbliższych im granicach litostratygraficznych, opierając się na wynikach badań regionalnych. Wyróżniono (od dołu) formację bałtycką, pomorską, polczyńską i barwicką. Do triasu środkowego zaliczono osady reprezentujące grupę wapienia muszlowego (dolnego, środkowego i górnego) oraz podgrupę kajpru dolnego. Trias górny jest reprezentowany przez osady kajpru środkowego – w obrębie którego wyróżniono warstwy gipsowe dolne, piaskowiec trzciniowy, warstwy gipsowe górne oraz warstwy zbąszynieckie i jarkowskie – oraz górnego kajpru, reprezentowane przez warstwy wielichowskie.

W otworze wiertniczym Gościno IG 1 stwierdzono prawdopodobnie pełny profil jury dolnej, reprezentowany przez osady formacji zagajskiej, ostrowieckiej, łobeskiej, komorowskiej, ciechocińskiej i borucickiej, zgodnie z podziałem litostratygraficznym jury dolnej według Pieńkowskiego (2004) oraz fragment jury środkowej reprezentowany prawdopodobnie przez osady bajosu górnego i batonu dolnego. Ze względu na brak danych chronostratygraficznych pochodzących bezpośrednio z tego otworu wszystkie granice chronostratygraficzne są umowne – postawiono je na najbliższych im granicach litostratygraficznych, opierając się na wynikach badań biostratygraficznych pochodzących z pobliskich profilów i na przesłankach regionalnych.

Profil Gościno IG 1 wieńczą przewiercone niemal bezrzedniowo osady czwartorzędu, reprezentowane przez piaski kwarcowe, iły i gliny zwałowe.

Analizowany kompleks osadów od dewonu środkowego po jurę środkową zawiera zmienną (od 0,1 do 1,2% planimetrycznej powierzchni próbki) ilość materiału organicznego. Nieco podwyższone jego koncentracje (0,9–1,2%) występują w utworach jurajskich, pojedynczych poziomach permu (0,8%) oraz dewonu (0,7–0,8%). Skład petrograficzny materii organicznej jest związany z wiekiem i dojrzałością badanych osadów. W utworach dewonu jest reprezentowany przez materiał witynitopodobny (stałe bituminy

i zooklasty) oraz dość liczne, drobne impregnacje bitumiczne (dewon górny).

W osadach młodszych (perm–jura) występuje humusowy oraz humusowo-sapropelowy materiał organiczny, którego głównym mikrokomponentem są macerały witynit (perm–jura), stałe bituminy (perm) oraz liptynit (perm i jura), przy wyraźnym udziale grupy macerałów inertynitu. Dojrzałość termiczna materii organicznej, określona na podstawie wielkości współczynnika refleksyjności witynit i/lub materiału witynitopodobnego wyraźnie wzrasta w profilu pionowym badanego kompleksu osadów od 0,42% R_o na głębokości 130,20 m (jura środkowa) do 1,70% R_o na głębokości 4304,0 m (dewon górny). Odpowiada to przejściu od stadium niedojrzałego do generowania ciekłych węglowodorów (jura górna i środkowa), przez wczesną (trias górny i środkowy) i główną fazę generowania ropy naftowej (trias dolny, perm górny) po fazę generowania gazów (dewon górny).

Podsumowując wyniki badań geochemicznych należy stwierdzić, że w otworze Gościno IG 1 w całym pionowym profilu jedynie niewielki interwał węglanowych utworów permu górnego i górna partia kompleksu utworów mułowcowo-piaszczystych jury dolnej może być uznana za „dobre” skały macierzyste do generowania węglowodorów. Utworki dewonu i generalnie utworki permu, a także utworki całego kompleksu triasu są „biednymi” skałami macierzystymi. Ilość bituminów występujących w badanych utworach nie jest duża. Materia organiczna w utworach cechsztynu jest typu sapropelowego z niewielką domieszką materiału humusowego. Źródłem wyjściowej materii organicznej obecnej w tych utworach są bakterie i algi morskie. Można sądzić, że w utworach cechsztynu współwystępują bituminy syngenetyczne i epigenetyczne z osadem.

Analizie pirolitycznej, mającej na celu oznaczenie zawartości węgla organicznego oraz jego pochodzenia i dojrzałości, poddano próbki skał drobnoklastycznych (iłowców i mułowców) i węglanowych, reprezentujących jurę (synemur), trias (karnik, trias środkowy), perm oraz dewon (?żywet, fran–famen). Przebadane próbki dewonu cechują się niezmiernie niską zawartością węgla organicznego TOC, mieszczącą się w przedziale od 0,03 do 0,14% wag. Potencjał generacyjny S2 również oscyluje w przedziale bardzo niskich wartości i wynosi 0,07–0,26 mgHC/gSkały. Zawartość wolnych węglowodorów w próbkach oscylowała w przedziale bardzo niskich wartości, rzędu 0,02–0,08 mgHC/gSkały. Ze względu na fakt, iż przebadane próbki cechują się tak bardzo niskimi wartościami wspomnianych parametrów pirolitycznych, należy je zaklasyfikować jako skały pozbawione możliwości generowania węglowodorów. Potencjał węglowodorowy próbek cechsztynu, wyrażony jako parametr HI, mieści się w granicach 115–336 mgHC/gTOC, a stopień dojrzałości termicznej materii organicznej, wyrażony za pomocą parametru Tmax, wynosi 433–439°C. Zawartości TOC, będące miarą zasobności w materię organiczną, wynoszą 0,05–2,74% wag, a wielkości potencjału generacyjnego, wyrażonego za pomocą parametru S2, mieszczą się w przedziale 0,13–5,06 mgHC/gSkały. Na podstawie wartości parametru

trów T_{max} i HI można sugerować, że próbki dolomitów cechsztyńskich reprezentują trzy typy skał względem generowania węglowodorów: średnie/dobre skały macierzyste (2940,5–2940,6; 2956,9 m), bardzo słabe skały macierzyste (2951,1 m) oraz skały pozbawione macierzystości (2955,4; 3057,3–3068,6 m). Materia organiczna zawarta w przebadanych próbkach skalnych wieku permiego to kerogen typu III i II, znajdujący się w zakresie niskotemperaturowych przemian termokatalitycznych górnej części okna ropnego. Potencjał węglowodorowy próbek z triasu i jury, wyrażony jako parametr HI, mieści się w granicach 20–114 mgHC/gTOC, a stopień dojrzałości termicznej materii organicznej, wyrażony za pomocą parametru T_{max} , wynosi 338–447°C. Zawartości TOC, będące miarą zasobności w materię organiczną, wynoszą 0,10–1,73% wag, a wielkości potencjału generacyjnego, wyrażonego za pomocą parametru S2, mieszczą się w przedziale 0,11–0,42 mgHC/gSkały. Na podstawie wartości wymienionych parametrów można sugerować, że przebadane próbki skał triasu i jury reprezentują skały pozbawione możliwości generowania węglowodorów. Materia organiczna zawarta w próbkach wieku triasowego i jurajskiego to przerobiony i zdegradowany kerogen typu III. Próbki zawierają od 0,04 do 5,02% węgla mineralnego związanego w minerałach węglanowych, których przeważający udział stanowi dolomit. Taka zawartość węgla mineralnego wskazuje na udział 5–40% dolomitu w ogólnej masie skały.

Do analizy budowy strukturalnej w rejonie otworu Gościno IG 1 wybrano profil sejsmiczny T0270577. Jakość analizowanego profilu sejsmicznego, mimo że nie jest najlepsza, pozwala na prześledzenie horyzontów sejsmicznych związanych ze stropem triasu, wapieniem muszlowym, pstrym piaskowcem oraz stropem cechsztynu. Ze względu na braki w zapisie w najwyższej części profilu (granica erozyjna) nie jest możliwe śledzenie refleksów od stropu jury. Granice sejsmiczne podłoża cechsztynu począwszy od stropu dewonu, który można wiarygodnie interpretować jedynie fragmentami, nie odzwierciedlają się wyraźnie w zapisie sejsmicznym.

Dla profilu otworu wiertniczego Gościno IG 1 przeprowadzono analizę tempa depozycji materiału oraz modelowania historii termicznej i warunków pogrzebania. Modelowania 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 modelowań dla otworu Gościno IG 1. Od dewonu środkowego strefę otworu Gościno IG 1 swym rozwojem objął pomorski basen sedymentacyjny. W późnym dewonie, a zwłaszcza we franie, tempo depozycji było bardzo wysokie i wynosiło od 205–215 m/mln lat. W famenie tempo sedymentacji osadów wyraźnie spadło do prawie 30 m/mln lat. W późnym karbonie i wczesnym permie, w związku z orogenezą waryscyjską, obszar ulegał wypiętrzaniu i erozji, dlatego w profilu otworu nie występują utwory karbonu i permu dolnego. Również utwory dewonu górnego (famenu) zostały w części zerodowane. Ponowna sedymentacja osadów rozpoczęła się w późnym

permie i charakteryzowała się okresem szybkiego tempa depozycji utworów ewaporatowo-węglanowych rzędu ok. 63 m/mln lat. Następnie tempo depozycji osadów klastycznych triasu dolnego zdecydowanie wzrosło do wartości od 275 do 290 m/mln lat. Tak szybkie tempo sedymentacji osadów było związane ze zdarzeniem tektonicznym kształtującym rozwój basenu polskiego (Dadlez i in., 1995). Po tym okresie w pozostałej części mezozoiku obserwujemy wyraźne spowolnienie tempa depozycji osadów. Według Poprawy (2011) szybkie tempo sedymentacji osadów w późnym permie i wczesnym triasie było związane z subsydencją w fazie ekstensji synryftowej, natomiast następne spowolnienie z fazą poryftowej subsydencji termicznej. Tempo sedymentacji osadów od triasu środkowego do jury środkowej (bajos) wynosi od 12 do 65 m/mln lat. Osady jury górnej i kredy nie występują w profilu otworu, ponieważ zostały zerodowane podczas fazy laramijskiej na przełomie kredy i paleogenu. Na podstawie pracy Marka i Pajchlowej (1997) ustalono, że osady jury górnej oraz kredy osadziły się w swoim okresie, a ich tempo depozycji było stosunkowo niewielkie. W dalszej części paleogenu i neogenu obserwujemy zanik sedymentacji, która ostatecznie została wznowiona w czwartorzędzie, z tempem depozycji 55 m/mln lat.

Dla profilu Gościno IG 1 wykonano również jednowymiarowe modelowania i rekonstrukcję historii termicznej oraz warunków pogrzebania. Stwierdzono, że pierwszym okresem wzmoczonej depozycji i pogrzebania osadów był środkowy i późny dewon oraz wczesny karbon. W tym okresie powstała pokrywa osadowa o miąższości ok. 2050 m. W późnym karbonie oraz wczesnym permie obszar ulegał wypiętrzaniu i erozji, co doprowadziło do usunięcia utworów karbonu dolnego oraz wyższej części utworów dewonu górnego o łącznej miąższości ok. 900 m. Następnie w dalszej części permu nastąpił zanik sedymentacji osadów. Z początkiem późnego permu i we wczesnym triasie miało miejsce bardzo szybkie pogrzebanie, związane z rozwojem basenu polskiego. Intensywna sedymentacja osadów i dalsze ich pogrzebanie kontynuowało się do końca kredy. U schyłku mezozoiku pokrywa osadowa osiągnęła miąższość ok. 5000 m i jest to tym samym maksymalna głębokość pogrzebania w historii rozwoju obszaru, na którym jest usytuowany otwór Gościno IG 1. Faza laramijska na przełomie kredy i paleogenu spowodowała wypiętrzenie, a następnie całkowitą erozję osadów jury górnej oraz kredy. Po okresie erozji nastąpił okres stagnacji i braku sedymentacji osadów paleogenu i neogenu. W czwartorzędzie zostało zdeponowanych 97 m osadów, kształtując tym samym współczesny rozkład utworów w profilu otworu Gościno IG 1.

W trakcie prowadzenia prac wiertniczych w otworze Gościno IG 1 realizowano sukcesywnie, zgodnie z projektem otworu, badania geofizyczne. Wykonano następujące pomiary: profilowanie średnicy otworu PŚr (CALI), profilowanie naturalnego promieniowania gamma PG(GR), profilowanie neutron-gamma (PNG), profilowanie potencjałów samoistnych (PS), sterowane profilowanie oporności (laterolog) (POst, LL3), profilowanie temperatury przy nieustalanej równowadze temperatury (PTn), profilowanie tempe-

ratury przy ustalonej równowadze (PTu) i profilowaniu oporności (PO).

Pracami pomiarowymi prędkości średnich objęto odcinek otworu od 0 m do 3100 m. Wykonana interpretacja pomiarów średnich prędkości fal sejsmicznych w otworze Gościno IG 1 umożliwiła określenie prędkości rozchodzenia się fal sejsmicznych w ośrodku skalnym, a w konsekwencji właściwe wyznaczenie głębokości granic litologicznych na przekrojach sejsmicznych w tym rejonie. Z uzyskanych danych wynika, że granice kontrastu prędkości do głębokości ok. 1300 m wykazują stopniowy, „schodkowy” wzrost wartości wraz z głębokością i występują kolejno w utworach jury na pograniczu bajosu, toarku, plienschachu, synemuru i hetangu, dotyczy również górnych warstw retyku. Następny wzrost prędkości interwałowych i kompleksowych ma miejsce w dolnej części osadów retyku i obejmuje także górne ogniwa noryku, do głębokości ok. 1000 m. Niższym utworom noryku odpowiadają dwie wartości prędkości interwałowych i kompleksowych. Kontrast prędkości interwałowych podkreśla granicę noryk-karnik. Pierwsze zmniejszenie prędkości notują obydwie krzywe: interwałowa i kompleksowa na granicy karniku. Od tej granicy notuje się ponowny powrót do tendencji zwiększającej wartość prędkości, zarówno interwałowych jak i kompleksowych. Są to wartości: 3250, 3400 i 3750 m/s odpowiadające poszczególnym wydzieleniom triasu środkowego. Ostatnia z nich 3750 m/s dotyczy także górnych warstw triasu dolnego. Niższe ogniwa triasu dolnego do głębokości 2300 m charakteryzują się stosunkowo małymi zmianami prędkości kompleksowych i interwałowych oscylującymi w granicach 3950–4150 m/s z większym kontrastem występującym w okolicach kontaktu utworów pstrego piaskowca środkowego i dolnego. Znaczny wzrost obydwóch prędkości do wartości 4450 m/s zaobserwowano dopiero w niższej części pstrego piaskowca dolnego, wydziela on pakiet osadów o miąższości ok. 260 m. Poniżej występuje bardzo duży, wynoszący ok. 700 m/s kontrast prędkości obniżający prędkość kompleksową do wartości 3750 m, którą w profilu otworu wiertniczego reprezentują najniższe osady triasu dolnego oraz najwyższe ogniwo utworów permu górnego. Od tego momentu następuje po-

nowny wzrost średnich prędkości kompleksowych charakteryzujący poszczególne cyklotemy cechsztynu od najmłodszego PZ4 do najstarszego objętego pomiarem PZ2. Wykres prędkości interwałowych wydziela odcinek o wartości 4050 m/s, korelujący się z głębokością występowania cyklotemu PZ4, który w profilu otworu reprezentują sole kamienne z przewarstwieniami skał ilasto-mułowcowych Dalszy systematyczny wzrost prędkości aż do wartości 5250 m/s należy wiązać ze zwiększeniem w wykształceniu litologicznym utworów cechsztynu udziału anhydrytów i zmniejszeniem zawartości soli.

Przebadano 6 poziomów zbiornikowych pod kątem zachowania się złóż bituminów. Poziomy do badań wytypowano na podstawie interpretacji wykresów geofizyki wiertniczej, litologii przewierconych utworów oraz obserwacji płuczki i objawów węglowodorów podczas wiercenia. W trakcie wiercenia w następujących interwałach stwierdzono objawy węglowodorów: (1) w dolomicie głównym na głębokości 3048,4–3075,5 m obserwowano dodatnią reakcję z acetonem i chloroformem, a w interwale 3062,2–3075,5 m występowało silne pocenie się rdzenia oraz wykraplanie się ropy naftowej w szczelinach; (2) w dolomicie płytowym na głębokości 2942,8–2956,7 m obserwowano pocenie się rdzenia oraz silny zapach bitumiczny, a w podłużnych szczelinach na głębokości 2943,7–2947,5 m obserwowano wycieki ropy naftowej oraz bezpośrednio po wydobyciu rdzenia wydzielanie się pęcherzyków gazu; (3) w wapieniach dewonu na głębokościach 4052,0; 4143,0 i 4196,0 m obserwowano słabą reakcję z acetonem. Przeprowadzone po zakończeniu wiercenia opróbowanie hydrogeologiczne nie wykazało ani obecności, ani objawów bitumiczności. Wartości wskaźników hydrochemicznych wskazują jednak na korzystne warunki do zachowania się złóż węglowodorów w rejonie opróbowanego otworu w poziomach zbiornikowych permu górnego (dolomit płytowy) i triasu dolnego. Opróbowanie poziomów dewonu i dolomitu głównego wykazało brak przypiływu. Stwierdzono, że solanki występujące w utworach triasu dolnego i permu górnego nie nadają się do wykorzystania w lecznictwie balneologicznym z uwagi na zbyt wysoką mineralizację.