

WYNIKI BADAŃ TEKTONICZNYCH, HISTORII TERMICZNEJ I WARUNKÓW POGRZEBANIA

Sylwia KIJEWSKA, Katarzyna SOBIEN

INTERPRETACJA DANYCH SEJSMICZNYCH

Profil Gościno IG 1 w planie waryscyjskim znajduje się na obszarze bloku pomorskiego. Równocześnie jest zlokalizowany w obrębie pociętej uskokami permomezozoicznej antykliny Kołobrzegu, o przebiegu północ-południe. Jest ona częścią wału pomorskiego powstałego w fazie laramijskiej orogenezy alpejskiej. Wał jest obrzeżony od południowego zachodu niecką szczecińską, wypełnioną osadami kredy dolnej, a od północnego wschodu niecką pomorską (Dadlez, 1998; Narkiewicz, Dadlez, 2008).

Do analizy budowy strukturalnej w rejonie otworu wiertniczego Gościno IG 1 wybrano profil sejsmiczny T0270577.

Został on pomierzony przez Geofizykę Toruń Sp. z o.o. w 1977 r. W rejonie otworu jest brak głębokich otworów wiertniczych, a najbliższe znajdują się w odległości ok. 8 km na północny wschód. W promieniu tym znajdują się natomiast liczne profile sejsmiczne, wykonane w latach 70.–90. XX w.

Otwór wiertniczy Gościno IG 1 znajdujący się w odległości ok. 920 m na północny zachód od analizowanego profilu sejsmicznego, został rzutowany na ten profil, co przy relatywnie prostej budowie pozwoliło na identyfikację horyzontów litostratygraficznych w obrębie mezozoiku.

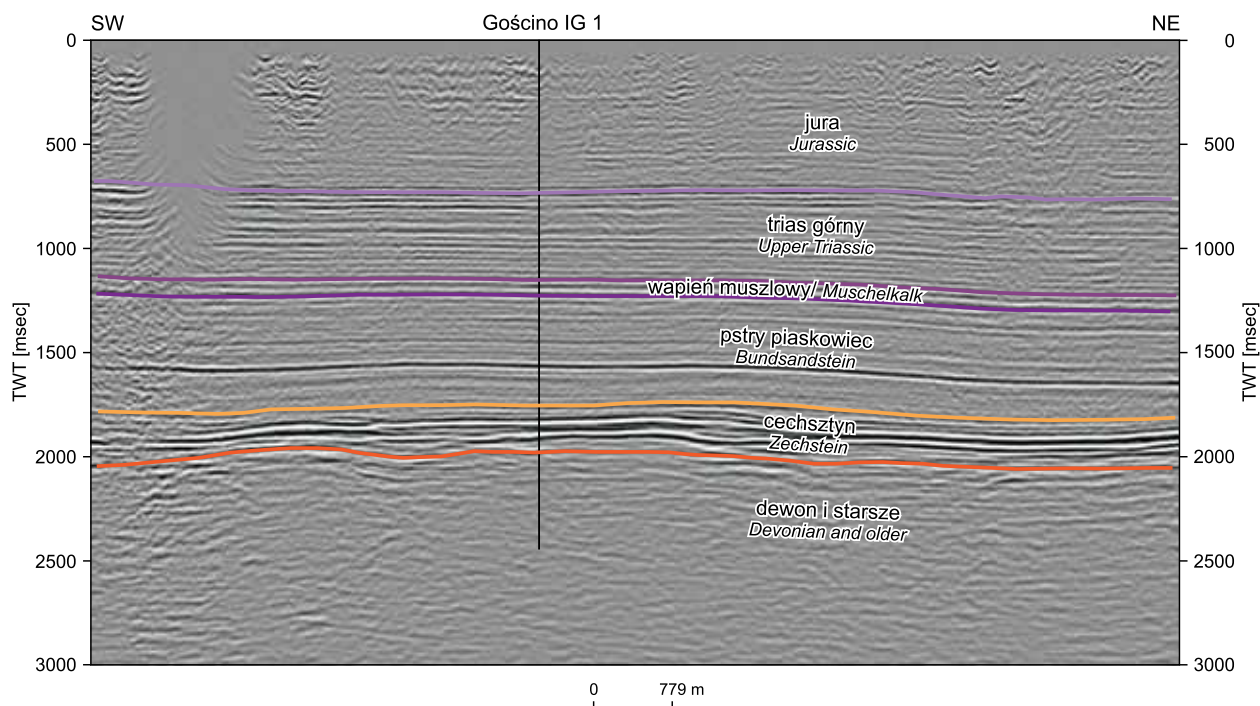


Fig. 24. Interpretacja fragmentu profilu sejsmicznego T0270577

A part of interpreted seismic profile T0270577

Zweryfikowana stratygrafia z 2008 r. oraz dostępne pomiary prędkości średnich dla analizowanego otworu umożliwiły dowiązanie danych czasowych sejsmiki do danych głębokościowych z otworu. Ze względu na braki w zapisie w najwyższej części profilu nie jest możliwe śledzenie refleksów od stropu jury (granica erozyjna). Jakość analizowanego profilu, mimo że nie jest najlepsza, pozwala jednak na prześledzenie w rejonie otworu Gościno IG 1 horyzontów sejsmicznych związanych ze stropem triasu, wapieniem muszlowym, pstrym piaskowcem oraz stropem cechsztynu (fig. 24). Regionalne dane pokazują przyrost miąższości triasu górnego ku południowemu wschodowi. Dane z sąsiadujących profili wskazują na zapadanie podcechsztyńskiego podłoża również w kierunku południowego wschodu. Granice sejsmiczne podłoża cechsztynu począwszy od stropu dewonu, który można wiarygodnie interpretować jedynie fragmentami, nie odzwierciedlają się wyraźnie w zapisie sejsmicznym. W profilu Gościno IG 1 nie wyróżniono

osadów karbonu. Na wschód od otworu występuje jednak szeroki pas osadów dolnego karbonu.

Według Pokorskiego i Modlińskiego (2007) miąższość utworów dewonu środkowego leżącego na sfałdowanych utworach paleozoiku dolnym i dewonu górnego, rośnie ku południowemu zachodowi a obecne granice występowania górnego paleozoiku są związane ze strefami uskokowymi. Rotowane bloki w podłożu na północny wschód od otworu Gościno IG 1 opisywał Antonowicz i in. (1994).

Również na obszarze tzw. bloku Kołobrzegu (L) na Bałtyku wytyczono liczne uskoki rozgraniczające pomniejsze bloki o kierunku północny zachód – południowy wschód. Według Pokorskiego (2010) paleozoiczna platforma węglanowa, została rozdzielona na bloki w karbonie i wczesnym permie jako rezultat synwarwiscyjskiego diastrofizmu. Natomiast główne uskoki o głębokich założeniach, ograniczające blok Kołobrzegu, zostały odnowione w paleogenie, w trakcie deformacji synalpejskich.

Ireneusz DYRKA

ANALIZA TEMPY DEPOZYCJI ORAZ MODELOWANIE HISTORII TERMICZNEJ I WARUNKÓW POGRZEBANIA

METODY BADAŃ

Dla profilu Gościno IG 1 przeprowadzono analizę tempa depozycji materiału oraz modelowania historii termicznej i warunków pogrzebania. Modelowania w wariacie jednowymiarowym (1D) wykonano za pomocą programu PetroMod 1-D firmy Schlumberger. Modelowania wykonano przy użyciu takich danych wejściowych jak: stratygrafia, litologia, miąższość jednostek wydzielonych w profilu oraz parametry petrofizyczne skał. Każdej jednostce stratygraficznej przypisano wiek liczbowy na podstawie danych w opracowaniu Gradsteina i in. (2012). Modelowania przeprowadzono metodą wprost (ang. *forward modelling*), tj. zakładano stan wyjściowy systemu oraz określony proces, a następnie wyliczano jego skutek dla współczesnego rozkładu stopnia dojrzałości termicznej w profilu otworu. W przypadku niezgodności pomiędzy dojrzałością obliczoną, a pomierzoną w profilu otworu, procedura była powtarzana aż do optymalnej kalibracji modelu. Analizowano również inne modele o podobnej kalibracji. Dojrzałość termiczną materii organicznej obliczono za pomocą algorytmu opracowanego przez Sweeneya, Burnhama (1990). W rekonstrukcji historii pograżania zastosowano poprawkę na dekompakcję. W procedurze dekompakcji uwzględniono takie parametry petrofizyczne skał, jak: współczynniki kompaktacji i porowatości pierwotne utworów. Parametry te były przyjmowane dla poszczególnych typów litologicznych w miarę dostępnych danych publikowanych lub z bi-

blioteki programu. W procedurze odtwarzania historii termicznej i warunków pogrzebania rekonstruowano miąższości zerodowanych fragmentów profili litostratygraficznych. Dotyczyło to zwłaszcza utworów górnej części dewonu górnego i karbonu dolnego oraz utworów jury górnej i kredy. Miąższości zerodowanych utworów określono na podstawie ekstrapolacji miąższości z obszarów o pełniej zachowanych profilach oraz poprzez kalibrację profili dojrzałości termicznej pomierzonej i obliczonej. Kalibrację modeli historii termicznej przeprowadzono przede wszystkim na podstawie wyników badań (Grotek, 2014 – ten tom) średniej wartości refleksyjności wityryny i macerałów wityrynitopodobnych, określonych w próbkach z prawie całego profilu otworu, od dewonu (?żywetu) do jury (synemur). Dodatkowo wykorzystano wyniki analizy historii termicznej pomorskiego odcinka TESZ basenu bałtyckiego i obszarów przyległych, wykonanej przez Grotek (2006). W modelowaniach uwzględniono dane charakteryzujące współczesny reżim cieplny (Plewa, 1994; Karwasiecka, Bruszevska, 1997; Szewczyk, Gientka, 2009), tj. pomiary temperatury w odwiertach i przewodności cieplne szkieletu ziarnowego. Ponadto w modelowaniach uwzględniono zmiany średniej temperatury powierzchniowej w historii geologicznej basenu (Wygrala, 1989), której wartości znajdowały się w bibliotece programu.

ANALIZA TEMPA DEPOZYCJI

Otwór wiertniczy Gościno IG 1 jest zlokalizowany w północnej części pomorskiego segmentu wału śród-polskiego. W strefie tej występują nałożone na siebie osady trzech basenów sedymentacyjnych, różniących się ramami geometrycznymi oraz mechanizmami subsydencji (Poprawa, 2011): basen dolnopaleozoiczny, pomorski basen dewońsko-karboński oraz permsko-mezozoiczny basen polski. W obszarze tym prace w zakresie analizy tempa depozycji materiału osadowego oraz modelowania historii termicznej i warunków pogrzebania zostały wykonane przez m.in.: Burzewskiego i in. (1998), Narkiewicza i in. (1998), Karnkowskiego (1999), Poprawę i Grotkę (2004), Poprawę (2007),

Poprawę i in. (2010). Wyniki tych prac posłużyły jako baza porównawcza do wykonanych modelowań dla otworu Gościno IG 1 (fig. 25).

Najstarszymi utworami nawierconymi w otworze Gościno IG 1 są łupki fyllitowe dewonu środkowego (prawdopodobnie żywetu). Nawiercono tylko 1,6 m miąższości tych utworów, dlatego analiza historii ich tempa depozycji jest niemożliwa. Można jednak stwierdzić, że od dewonu środkowego strefę otworu Gościno IG 1 objął swym rozwojem pomorski basen sedymentacyjny. W późnym dewonie a zwłaszcza we franie tempo depozycji było bardzo wysokie i wynosiło 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 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 w wielkości ok. 63 m/mln lat. Następnie tempo depozycji osadów klastycznych triasu dolnego drastycznie wzrosło do wartości 275–290 m/mln lat. Tak szybkie tempo sedymentacji osadów jest 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 jest 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 tempo depozycji osadów jury górnej oraz kredy było stosunkowo niewielkie. W dalszej części paleogenu i neogenu nastąpił zanik sedymentacji, która ostatecznie została wznowiona w czwartorzędzie, z tempem depozycji 55 m/mln lat.

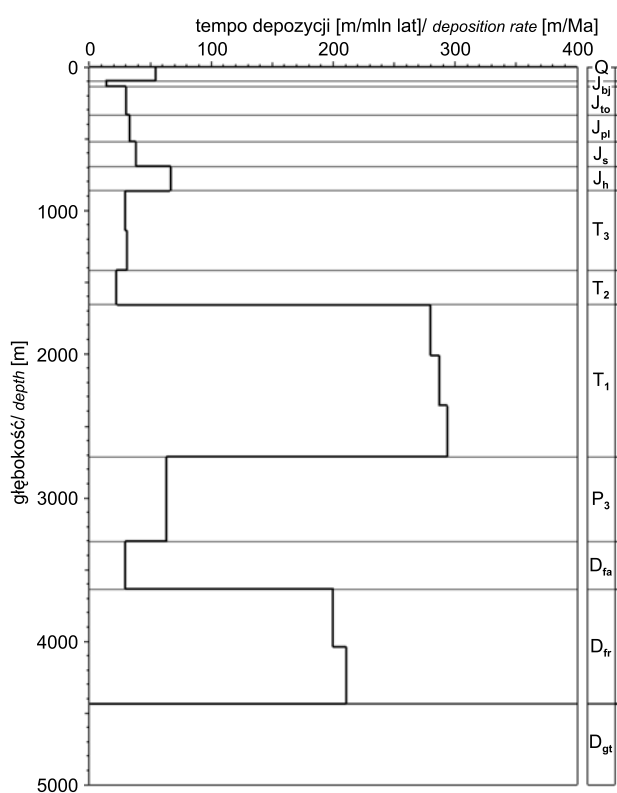


Fig. 25. Tempo depozycji osadów dla profilu otworu Gościno IG 1

Sediment deposition rate for the Gościno IG 1 borehole section

MODELOWANIE HISTORII TERMICZNEJ I WARUNKÓW POGRZEBANIA

Dla profilu otworu Gościno IG 1 wykonano jednowymiarowe modelowania i rekonstrukcję historii termicznej oraz warunków pogrzebania (fig. 26). Podstawowym celem analizy było odtworzenie warunków paleotermicznych oraz stopnia pogrzebania skał w basenie. Do kalibracji modelu wykorzystano wyniki 10 pomiarów dojrzałości termicznej (fig. 27), wykonanych na próbkach skał pochodzących z profilu otworu (Grotek, 2014 – ten tom). Pomiarów obejmują prawie cały profil otworu i są rozłożone w nim

równomiernie. Niestety ilość pomiarów jest niewielka, co uniemożliwia weryfikację anomalnych wartości pomiarów, jak w przypadku utworów famenu. Ogranicza to wiarygodność przeprowadzonych modelowań dojrzałości termicznej.

Gęstość współczesnego strumienia ciepłego dla otworu Gościno IG 1 obliczono na podstawie wartości temperatur odczytanych z map współczesnych temperatur na powierzchniach ściąg poziomych (Plewa, 1994; Karwasiecka, Bruszevska; 1997; Szewczyk, Gientka, 2009) i/lub termo-

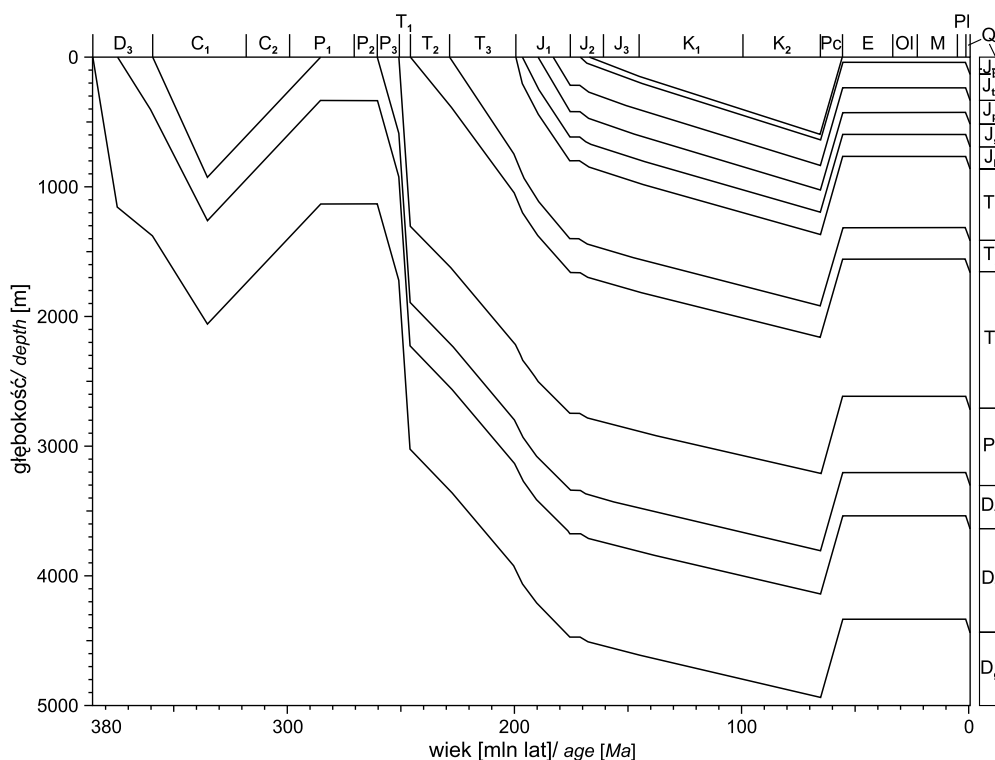


Fig. 26. Historia pogrzebania utworów w profilu otworu Gościno IG 1

Burial history for the Gościno IG 1 borehole section

gramu otworowego. Występuje jednak duża rozbieżność pomiędzy temperaturą pomierzoną, a obliczoną w trakcie modelowań, co tłumaczy się wpływem czynnika paleoklimatycznego, związanego z czwartorzędowym zlodowaceniem północnopolskim. Ponieważ nie dysponowano pomiarami laboratoryjnymi przewodnictwa cieplnego skał z profilu otworu, to wartości te dla wydzielonych typów litologicznych przyjęto z biblioteki programu. Obliczony współczesny strumień ciepły wynosi 65 mW/m^2 .

Miąższości erozyjnie usuniętych utworów karbonu i permu dolnego oraz jury górnej i kredy, dla których przyjęto odpowiednio 700 i 900 m, odtworzono na podstawie ekstrapolacji miąższości z obszarów o pełniej zachowanych profilach oraz poprzez kalibrację profili dojrzałości termicznej pomierzonej i obliczonej. Do odtworzenia paleomiąższości wykorzystano prace m.in. Marka i Pajchłowej (1997), Narkiewicza (1998) oraz Matyi i Poprawy (2006). Poza wspomnianymi okresami wypiętrzania i erozji, obszar otworu Gościno IG 1 charakteryzował się w czasie geologicznym stałymi warunkami pogrzebania poszczególnych warstw.

Profil Gościno IG 1 charakteryzuje się obecnością kilku faz zwiększonego pogrzebania i szybkiego tempa depozycji materiału. Po okresach szybszego pogrzebania bezpośrednio miały miejsce okresy erozji lub stagnacji. Pierwszym okresem wzmożonej 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 profil Gościno IG 1.

Faza laramijska na przełomie kredy i paleogenu spowodowała wypiętrzanie, 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 Gościno IG 1.

Wykonano różne warianty modelowań historii termicznej. W pierwszym wariantcie przyjęto stały w czasie strumień ciepły, jednak wartości strumienia okazały się zbyt wysokie aby otrzymać dobrą kalibrację pomierzonych wartości refleksyjności wityryny oraz obliczonych przez program dla utworów wyższego paleozoiku i mezozoiku. Prawdopodobnie na przełomie kredy i paleogenu podczas fazy laramijskiej miało miejsce znaczne ochłodzenie i zmniejszenie strumienia cieplnego o ok. 30–40% względem obecnego (por. Poprawa, Grotek, 2004). Wprowadze-

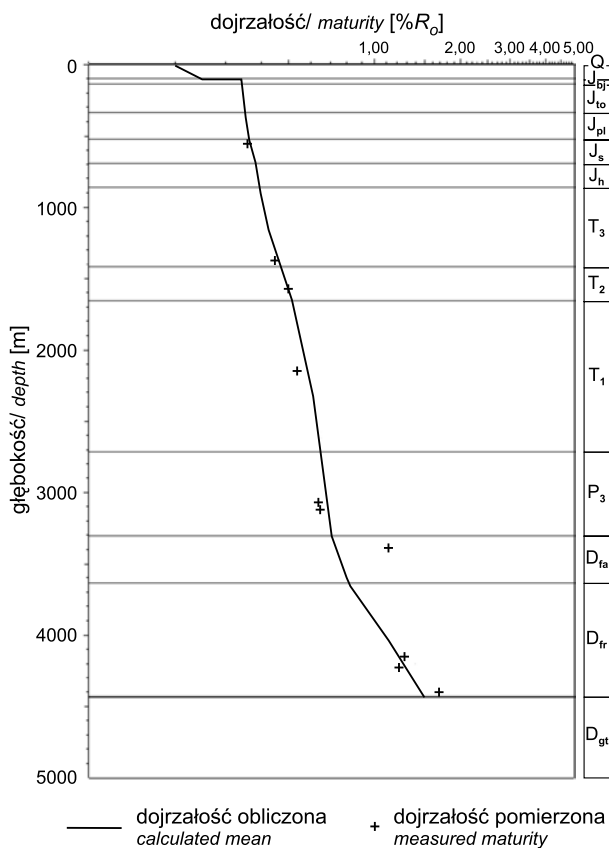


Fig. 27. Kalibracja modelu historii termicznej pomiarami dojrzałości termicznej dla profilu otworu Gościno IG 1

Calibration of thermal history model with thermal maturity measurements for the Gościno IG 1 borehole

nie do modelu takich wartości strumienia ciepłego na przełomie kredy i paleogenu oraz zmniejszenie strumienia ciepłego do 40 mW/m^2 w pozostałej części okresu perm-sko-mezozoicznego, doprowadziło do odpowiedniej kalibracji modelu, przy założeniu realistycznych wielkości erozji utworów wyższej części górnego dewonu i dolnego karbonu (700 m) oraz utworów górnej jury i kredy (900 m). Odtworzona miąższość utworów górnej jury i kredy nie jest jednak jednoznaczna, poprzez występowanie anomalnej wartości pomiaru refleksyjności wityrytu dla utworów famenu. Aby lepiej zobrazować miąższość usuniętych utworów poprzez kalibrację pomiarami refleksyjności wityrytu modelu jednowymiarowego, niezbędne byłoby w przyszłości zagęszczenie pomiarów w części dewońskiej profilu lub weryfikacja pomierzonej dojrzałości dla utworów famenu. Na obecnym etapie badań założono, że anomalny wynik pomiaru jest przypadkowy.

Na podstawie wyników modelowań można określić strefy faz generacyjnych węglowodorów oraz śledzić to zjawisko w czasie. Na podstawie wyników modelowania jednowymiarowego dla otworu Gościno IG 1 stwierdzono, że w strefie generowania węglowodorów znajdują się utwory od dolnej części profilu otworu (od żywetu) do utworów trasy dolnego włącznie. Osady żywetu i dolnej części franu znajdują się w oknie generowania gazu ziemnego, natomiast pozostałe utwory występują w zakresie okna generowania ropy naftowej. Proces generowania węglowodorów dla utworów dewonu rozpoczął się z końcem karbonu, dla utworów permu między schyłkiem wczesnej i środkowej jury, natomiast dla utworów trasy dolnego z końcem jury.