

WYNIKI BADAŃ MATERII ORGANICZNEJ I HISTORIA POGRAŻANIA POZIOMÓW MACIERZYSTYCH

Piotr KLECZYŃSKI

CHARAKTERYSTYKA MATERII ORGANICZNEJ, W TYM WYNIKI BADAŃ GEOCHEMICZNYCH

WSTĘP

Na obszarze, w którym wykonano otwór Września IG 1 można wyróżnić dwa odrębne systemy naftowe. Pierwszy, niekonwencjonalny system naftowy, jest reprezentowany przez dolnopermskie związłe piaskowce czerwonego spągowca oraz karbońskie piaskowce i łupki. Drugi, konwencjonalny system naftowy, obejmuje cechsztyńskie utwory dolomitu głównego (Wójcicki i in., 2021).

Za skały macierzyste dla systemu karbońsko-dolnopermskiego uznaje się łupki mułowcowo-iłowcowe karbonu (Karnkowski, 1999; Botor i in., 2013). Na potrzeby dokumentacji z koncesji Blok 208 nr 5/03/p firma Energia Zachód Sp. z o.o., uzupełniła dane na temat zawartości węgla organicznego TOC, wydzielając w obrębie karbonu trzy kompleksy (tab. 15; Szpetnar-Skierniewska i in., 2015), natomiast warto zaznaczyć, że wartości TOC tych kompleksów są wartościami średnimi i obejmują wartości z utworów bogatszych w TOC jak mułowce, iłowce, ale również z utworów ubogich, takich jak np. piaskowce.

Dla systemu naftowego obejmującego dolomit główny w pobliskim otworze Września IG 1 obszarze przyjęto uznawać za skały macierzyste utwory płytkowodnej plat-

formy węglanowej, a konkretnie jej skłonów. W skałach takich natrafiano regularnie na utwory pochodzenia mikrobialno-glonowego (Kotarba i Wagner, 2007; Kotarba in., 2020). W otworze Września IG 1 stwierdzono zaledwie 3,5 m miąższości profil dolomitu głównego (Ca₂), którego wykształcenie wskazuje na depozycję w strefie równi basenowej. Stwierdzone w nim ciemnoszare dolomity nie wykazują cech skały macierzystej.

Tabela 15
Szacunkowe zawartości węgla organicznego
w otworze Września IG 1 (Szpetnar-Skierniewska i in., 2015)

Estimated organic carbon content distribution
in Września IG 1 well (Szpetnar-Skierniewska *et al.*, 2015)

Kompleks Complex	Przedział głębokości [m] Depth range	TOC [% wag] TOC [% wt.]
A	4889–5033	0,30
B	5033–5124	0,96
C	5124–5904	0,70

POMIARY ZDOLNOŚCI REFLEKSYJNEJ WITRYNITU

Spośród dostępnych w PIG-PIB, wewnętrznych baz danych udało się przygotować zbiorczą tabelę (tab. 16), która zawiera dane dotyczące wartości zdolności refleksyjności

witrynit. Pochodzą one z analiz wykonanych przez G. Nowaka oraz P. Poprawę.

ANALIZA ROCK-EVAL

Na potrzeby niniejszego opracowania dokonano przeglądu danych archiwalnych. Ostatecznie udało się zgromadzić 58 wyników analiz Rock-Eval. Analizy pochodzą

z dwóch opracowań (Grotek, Klimuszko, 1995; Podhalańska i in., 2016a) – część z tych danych jest niepełna. Dodatkowo wykonano pięć nowych analiz.

Tabela 16

Zdolność refleksyjna wityrynytu wybranych próbek skał z otworu Września IG 1

Vitrinite reflectance of selected rock samples of Września IG 1 well

Głębokość [m] Depth	Ro śr. [%] Ro avg	Ro red [%]	Ro/Rm <i>in situ</i> [%]	Głębokość [m] Depth	Ro śr. [%] Ro avg	Ro red [%]	Ro/Rm <i>in situ</i> [%]
948,00	0,45	-	-	5131,00	2,53	-	-
1080,00	0,46	-	-	5140,30	-	3,85	3,30
4556,00	-	1,67	1,27	5183,40	-	4,13	3,30
4771,40	-	2,12	1,31	5185,73	2,64	-	-
4888,50	-	1,34	1,36	5190,80	-	3,98	3,35
4959,30	1,94	-	-	5201,60	-	4,56	3,38
4988,50	1,82	-	-	5260,60	-	4,32	3,43
5009,60	-	-	-	5262,80	-	3,62	3,40
5051,20	-	3,64	2,80	5266,70	-	-	-
5063,20	2,71	-	-	5335,50	-	3,98	3,42
5094,30	2,64	-	-	5408,20	-	-	-
5098,30	-	3,40	3,00	5421,80	-	4,12	3,48
5108,00	-	3,27	3,00	5495,50	2,96	-	-
5114,00	-	3,24	2,77	5650,00	-	4,16	3,63
5121,20	-	3,67	3,27	5720,70	-	4,70	4,13
5124,60	-	3,86	3,26	5774,10	3,40	-	-

Ro śr. – średnia wartość zdolności refleksyjnej wityrynytu; Ro red – wartość zdolności refleksyjnej wityrynytu redeponowanego; Ro/Rm *in situ* – wartość zdolności refleksyjnej wityrynytu autochtonicznego.

Ro avg – average value of the reflectance of vitrinite; Ro red – value of the reflectance of redeposited vitrinite; Ro/Rm *in situ* – value of the reflectance of autochthonous vitrinite.

58 analiz Rock-Eval pochodzi z interwału od 239,5 m do 5791,0 m. Wyniki charakteryzują się wysoką zmiennością. Wyniki pomiaru T_{max} znajdują się między 300 a 608°C. Zawartość całkowitego węgla organicznego (TOC) w analizowanych próbkach jest stosunkowo niska –

w zaledwie 6 próbkach zawartość przekracza 1% wag. (tab. 17). Nie stwierdzono obecności większych nagromadzeń węglowodorów w żadnej próbce. Potencjał generacyjny węglowodorów analizowanych próbek należy określić jako zerowy lub niski.

Tabela 17

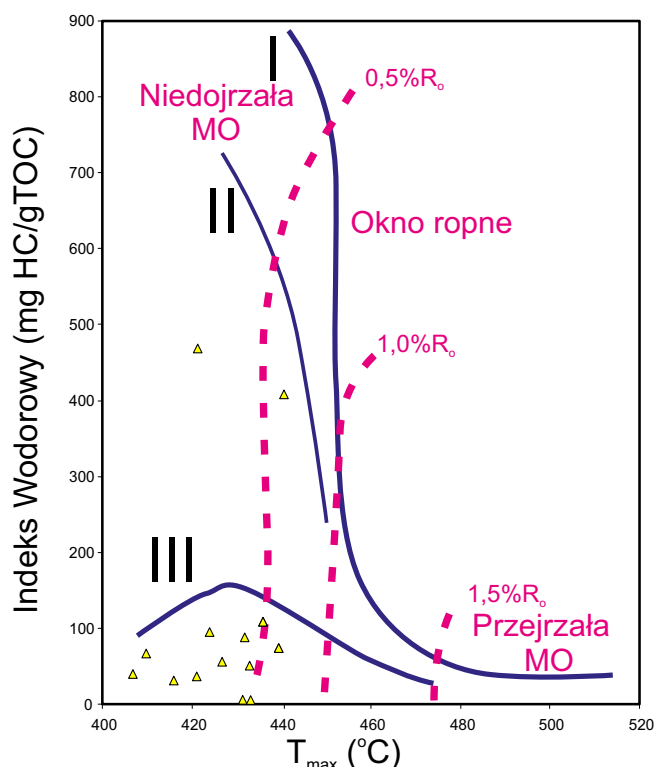
Dane geochemiczne z analiz Rock-Eval wybranych próbek z otworu Września IG 1

Geochemical data obtained from Rock-Eval analyzes of samples of Września IG 1 borehole

Nr próbki Sample no.	Głębokość [m] Depth	T_{max} [°C]	S1	S2	S3	PC [%]	TOC [% wag._wt.]	HI [mgHC/g TOC]	OI [mgCO ₂ /g TOC]
			[mgHC/g skały] [mgHC/g of rock]						
1	239,50	423	0,33	8,82	1,24	0,76	1,91	461	64
2	437,00	426	0,05	0,15	0,65	0,02	0,29	51	224
3	747,00	423	0,08	0,18	0,36	0,02	0,19	94	189
4	806,00	410	0,05	0,09	0,33	0,01	0,14	64	235
5	1072,00	439	0,03	0,15	0,66	0,01	0,21	71	314
6	1344,00	422	0,04	0,14	0,41	0,01	0,39	35	105
7	1647,50	306	0,02	0,02	0,20	0,00	0,09	22	222
8	1804,00	300	0,03	0,04	0,14	0,01	0,08	50	175
9	2018,50	-	0,03	0,03	0,34	0,00	0,34	8	100
10	2175,00	407	0,04	0,08	0,50	0,01	0,25	32	200
11	2184,00	432	0,04	0,08	-	0,01	0,09	90	84
12	2387,00	436	0,16	0,59	0,47	0,06	0,54	109	87

Tabela 17 cd.

Nr próbki Sample no.	Głębokość [m] Depth	T _{max} [°C]	S1	S2	S3	PC [%]	TOC [% wag._wt.]	HI [mgHC/g TOC]	OI [mgCO ₂ /g TOC]
			[mgHC/g skały] [mgHC/g of rock]						
13	2527,00	391	0,08	0,09	0,45	0,01	0,13	69	346
14	2679,10	-	0,05	0,01	0,15	0,00	0,25	4	60
15	2734,90	-	0,05	0,01	0,09	0,00	0,12	8	75
16	2902,00	300	0,02	0,01	0,30	0,00	0,05	20	600
17	3004,00	432	0,04	0,04	0,38	0,01	0,08	50	475
18	3128,00	344	0,05	0,05	0,24	0,01	0,06	83	400
19	3775,00	-	0,07	0,05	0,46	0,01	1,13	4	40
20	3995,10	440	0,01	0,05	-	0,00	0,01	409	342
21	4041,70	317	0,11	0,12	-	0,02	0,08	146	155
22	4030,00	374	0,08	0,14	-	0,02	0,07	193	162
23	4932,50	-	0,02	0,00	0,00	0,00	0,28	0	0
24	4960,50	-	0,01	0,00	0,00	0,00	0,07	0	0
25	4984,80	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0	0
26	5012,50	353	0,02	0,01	0,00	0,00	0,03	33	0
27	5040,50	-	0,02	0,01	0,00	0,00	0,23	4	0
28	5063,20	416	0,09	0,27	-	0,03	1,03	26	3
29	5068,50		0,01	0,00	0,00	0,00	0,49	0	0
30	5071,90	604	0,02	0,12	-	0,01	0,86	14	1
31	5094,30	596	0,02	0,11	-	0,01	0,62	18	2
32	5097,00	-	0,02	0,00	0,00	0,00	0,22	0	0
33	5106,38	599	0,02	0,15	-	0,01	0,56	27	2
34	5117,49	590	0,02	0,12	-	0,01	0,73	17	9
35	5121,00	432	0,02	0,01	0,45	0,00	0,28	3	160
36	5131,00	605	0,02	0,15	-	0,01	1,19	12	6
37	5152,93	603	0,03	0,16	-	0,02	0,56	29	3
38	5178,30	391	0,03	0,01	0,30	0,00	0,47	2	63
39	5180,50	590	0,04	0,17	-	0,02	0,69	25	2
40	5185,70	603	0,02	0,09	-	0,01	0,53	18	9
41	5192,00	601	0,03	0,15	-	0,01	0,52	28	9
42	5196,70	603	0,02	0,10	-	0,01	0,81	12	2
43	5203,10	605	0,02	0,13	-	0,01	0,72	18	9
44	5205,80	-	0,02	0,02	0,36	0,00	0,49	4	73
45	5205,90	606	0,02	0,10	-	0,01	0,54	19	4
46	5260,50	-	0,04	0,02	0,26	0,00	0,90	2	18
47	5264,90	606	0,03	0,13	-	0,01	1,24	10	3
48	5273,55	602	0,03	0,07	-	0,01	0,61	12	1
49	5335,50	314	0,04	0,01	0,28	0,00	0,48	2	54
50	5343,30	607	0,03	0,11	-	0,01	0,93	12	2
51	5407,00	-	0,03	0,02	0,22	0,00	0,69	2	31
52	5489,40	431	0,08	0,02	0,29	0,01	0,57	3	50
53	5495,50	603	0,02	0,07	-	0,01	0,53	14	3
54	5561,10	379	0,05	0,04	0,23	0,01	0,73	5	31
55	5652,90	591	0,03	0,14	-	0,01	0,56	24	4
56	5720,70	605	0,01	0,08	-	0,01	0,28	27	36
57	5774,00	323	0,07	0,05	0,12	0,01	0,09	55	133
58	5791,00	608	0,02	0,08	-	0,01	1,07	7	17



Biorąc pod uwagę parametry takie jak T_{\max} oraz indeks wodorowy (HI) wykonano diagram klasyfikacyjny analizowanych próbek (fig. 34). Na diagramie uwzględniono wyłącznie próbki, których T_{\max} mieściło się w zakresie 400–520°C oraz wartości HI mieściły się w zakresie 0–900 mg HC/g TOC. Dojrzałość termiczną pozostałych próbek należy określić jako niedojrzałą ($T_{\max} < 435^\circ\text{C}$) lub przejrzałą.

Fig. 34. Diagram klasyfikacyjny próbek skal z analiz Rock-Eval z otworu wiertniczego Września IG 1

MO – materia organiczna

Classification diagram of Rock-Eval analyzed samples of the Września IG 1 borehole

MO – organic matter

Przemysław KARCZ

MODELOWANIE HISTORII TERMICZNEJ I WARUNKÓW POGRZEBANIA

METODY BADAŃ

Modelowanie historii termicznej i warunków pogrzebania dla otworu Września IG 1 zostało przeprowadzone przy użyciu oprogramowania Petromod na licencji firmy Schlumberger. Jednowymiarowy model otworu został zbudowany na podstawie zestawu kluczowych podstawowych danych wejściowych, niezbędnych do prawidłowego zbudowania i funkcjonowania modelu. Do grupy tych danych należą dane stratygraficzne, litologiczne, wielkości erozji wraz z ich ramami czasowymi, dane paleo-geograficzne, paleo-batymetryczne oraz współczesnego przepływu ciepła i paleo-przepływu ciepła. Innymi istotnymi danymi, które są potrzebne do uruchomienia i poprawnej kalibracji modelu są dane dystrybucji współczesnych temperatur w otworze wiertniczym oraz dane dojrzałości materii organicznej, zazwyczaj wyrażane jako refleksyjność wityritu lub refleksyjność materii wityritopodobnej. Wydzielonym na potrzeby modelu jednostkom stratygraficznym przypisano głębokości stopu i spągu oraz wynikające z tej relacji miąższości oraz wiek liczbowy, który jest domyślnie mapowany w oprogramowaniu na międzynarodową tabelę stratygraficzną z 2008 r. Model skalibrowano do dwóch typów danych kalibracyjnych, tj. współczesnych temperatur w otworze wiertniczym oraz reflek-

syjności wityritu. Współczesny reżim cieplny i rozkład współczesnych temperatur zostały odczytane z map gęstości strumienia cieplnego oraz map rozkładu temperatur na różnych głębokościach (Górecki, 2006), co przyczyniło się do pokrycia całego profilu otworu wynikami temperatur aż do spągu otworu włącznie. Z kolei, dane refleksyjności wityritu (Nowak, 2018) przynależały stratygraficznie do interwałów jury środkowej, jury dolnej oraz karbonu i pokryły dość równomiernie profile wymienionych jednostek stratygraficznych. Niestety, ze względu na brak danych refleksyjności w odcinku profilu od pliensbachu do permu włącznie (~3700 m profilu) i na odcinku od paleogenu do keloweju włącznie (~800 m profilu), krzywa kalibracyjna dla tych wymienionych odcinków profilu nie została dowiązana do pomierzonych laboratoryjnie danych refleksyjności. Dane dojrzałości termicznej (refleksyjności) dowiązано do profilu otworu algorytmem Sweney i Burnham (1990) domyślnie zaimplementowanym w bibliotece programu. Ramy czasowe luk stratygraficznych i zdarzeń erozyjnych zostały odczytane z profilu otworu, natomiast skala zerodowanych utworów została zrekonstruowana na podstawie analizy obszarów o pełniej zachowanych profilach. Proces kalibracji modelu do

rzeczywistych danych uzyskanych w trakcie pomiarów również odegrał istotną rolę w procesie rekonstrukcji miąższości zerodowanych osadów. Średnia temperatura

powierzchni ziemi została zastosowana automatycznie przez bibliotekę programu na podstawie danych opublikowanych w Wygrala, 1989.

WYNIKI MODELOWANIA

Historia pogrzebania dla otworu Września IG 1 została zrekonstruowana na jednowymiarowym modelu, który zobrazował główne wydarzenia natury tektonicznej i termicznej dla przedstawionego profilu otworu (fig. 35). W celu kalibracji modelu użyto dwóch rodzajów danych, tj. zestawu sześciu wartości współczesnych temperatur w otworze Września IG 1 odczytanych z map rozkładu temperatur na różnych głębokościach (Górecki, 2006) oraz zestawu dziesięciu pomiarów refleksyjności wityryny (Nowak, 2018). Dane kalibracyjne współczesnych temperatur pokryły równomiernie cały profil otworu, natomiast dane refleksyjności zostały zmierzone wyłącznie na jurajskim i karbońskim interwale stratygraficznym, pokrywając nierównomiernie profil otworu wiertniczego (fig. 36). Gęstość współczesnego strumienia ciepłego odczytano z mapy rozkładu gęstości ziemskiego strumienia ciepłego na Niżu Polskim (Górecki, 2006), na podstawie którego przyjęto wartości rzędu 60–65 mW/m². Dane przewodnictwa ciepłego skał dowiązano do profilu otworu algorytmem Cermak i in. (1982) oraz Waples i Tiersga-

ard (2002) domyślnie implementowanym z biblioteki programu.

W profilu otworu rozpoznano trzy luki stratygraficzne przynależne stratygraficznie kolejno do aalenu, beriasu-walanżynu oraz koniaku-mastrychtu. Na podstawie zastosowania ekstrapolacji modelowanego profilu do najbliższych otworów wiertniczych, gdzie nie odnotowano erozji wśród określonych jednostek stratygraficznych, uznano, że wydarzenia erozyjne przynależne do wymienionych luk stratygraficznych były niewielkiej skali i pominięto je w kontekście dalszego rozpatrywania.

Najstarszymi utworami stwierdzonymi w otworze Września IG 1 są klastyczne skały karbonu, których profil nie został przewiercony. W konsekwencji, historia pogrzebania w otworze Września IG 1 zamyka się w ramach czasowych od karbonu włącznie do czwartorzędu, z pięcioma niewielkiej skali lukami erozyjnymi, z których w profilu otworu i w badaniach numerycznych uwzględniono trzy (luki aalenu, beriasu-walanżynu, koniaku-mastrychtu). Z kolei, luki stratygraficzne namur-westfal D oraz między

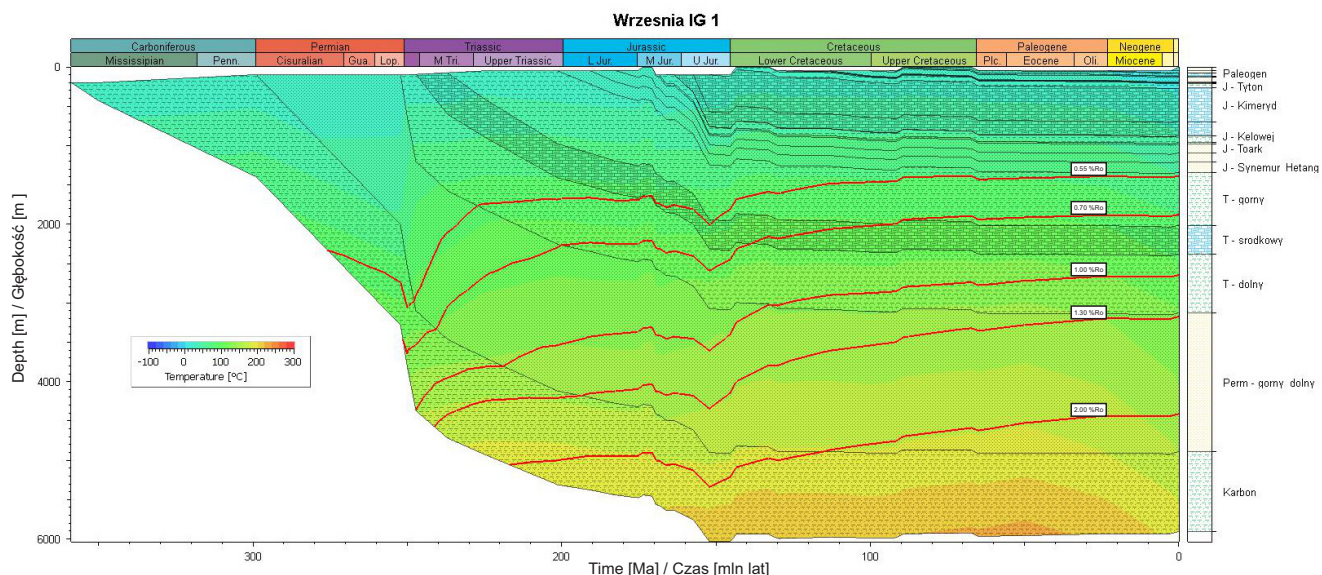


Fig. 35. Historia pogrzebania pokrywy osadowej w otworze Września IG 1

Zakresy dojrzałości termicznej wyrażonej w skali refleksyjności wityryny Ro (%) domyślnie implementowanej z biblioteki programu Petromod: 0,00–0,55 – strefa niedojrzała, 0,55–0,70 – górne (wczesne) okno ropne, 0,70–1,00 – główne okno ropne, 1,00–1,30 – dolne (późne) okno ropne, 1,30–2,00 – strefa gazu mokrego (kondensatu), 2,00–4,00 – strefa gazu suchego

Burial history for the Września IG 1 borehole

Thermal maturity ranges expressed in vitrinite reflectivity scale Ro (%) implemented by default from the Petromod program library: 0,00–0,55 – immature zone, 0,55–0,70 – upper (early) oil window, 0,70–1,00 – main oil window, 1,00–1,30 – lower (late) oil window, 1,30–2,00 – wet gas (condensate) zone, 2,00–4,00 – dry gas zone

czzerwonym spągowcem dolnym i górnym uznano jako zbyt mało skalowe i jednocześnie za mało wnoszące do odtworzenia historii pogrzebania pokrywy osadowej. Z tego powodu, zrezygnowano z ich uwzględnienia w modelu numerycznym. W skali czasu karbon–czwartorzęd, w opisywanym otworze wyróżniono kilka faz pogrzebania zarówno wolnych, jak i szybkich oraz kilka faz mało skalowego wypiętrzania oraz fazę stagnacji.

Profil otworu rozpoczął się okresem relatywnie szybkiego pogrzebania, które czasowo zamknęło się w przedziale od missisipu do pensylwanu włącznie. W tym okresie, były deponowane utwory o wybitnie klastycznym charakterze oraz o dużej miąższości, co potwierdza sumaryczna miąższość karbonu wynosząca ok. 1000 m.

W kolejnej fazie, tj. w okresie wczesnego i późnego permu, miał miejsce okres jeszcze szybszego tempa subsydencji i pogrzebania, w którym utwory karbonu zostały pogrzebane maksymalnie na głębokość ok. 3000–3200 m (fig. 35), gdzie dominowały temperatury rzędu 100–110°C. Pogrzebanie do wymienionych głębokości i warunków temperaturowych przyczyniło się do wejścia utworów karbonu do górnego okna ropnego. Łączną miąższość utworów permu oszacowano na ok. 1700 m.

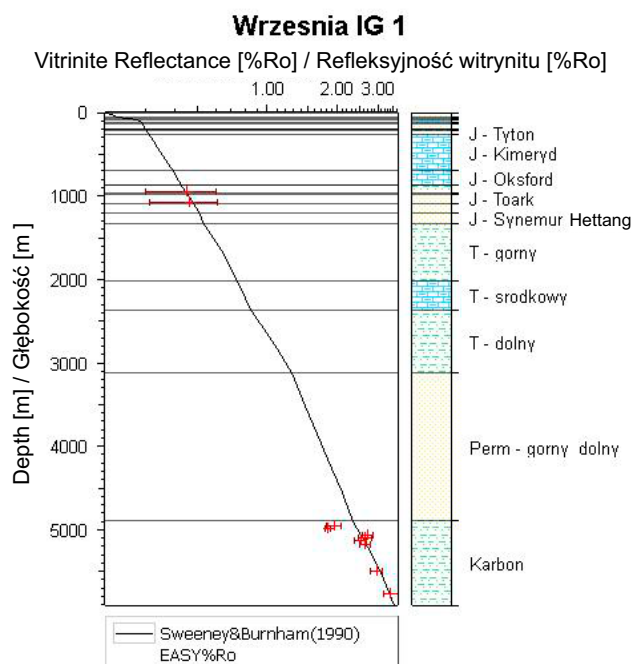


Fig. 36. Kalibracja modelu pomiarami refleksyjności witrinitu dla otworu Wrzesnia IG 1

Calibration of the model with vitrinite reflectivity for the Wrzesnia IG 1 borehole

We wczesnym triasie nastąpiła faza wybitnie szybkiej subsydencji podłoża i pogrzebania, która przyczyniła się do pogrzebania stropu i spągu utworów permu do głębokości odpowiednio ok. 1300 oraz 3000 m. Wymienionym głębokościom towarzyszyły temperatury odpowiednio ok. 70 i 110°C, co zaskutkowało wejściem utworów permu dolnego do strefy górnego okna ropnego. Z kolei, spąg utworów karbonu we wczesnym triasie osiągnął głębokość ok. 4200 m, gdzie dominowały temperatury 140–150°C odpowiadające głównemu oknu ropnemu. Wraz z początkiem triasu środkowego nastąpił okres stopniowego zmniejszania się tempa subsydencji podłoża, który trwał do wczesnej późnej jury włącznie, co przyczyniło się do dalszego pogrzebania utworów karbonu do głębokości ok. 4600 m w stropie oraz ok. 5600 m w spągu. Wymienionym głębokościom towarzyszyły temperatury rzędu odpowiednio ok. 160 i ok. 200°C. W tej fazie utwory karbonu weszły kolejno do stref późnego okna ropnego, kondensatu i gazu suchego. Z kolei, utwory permu do wczesnej późnej jury włącznie zostały pogrzebane maksymalnie do głębokości 2700 m w stropie oraz 4500 w spągu. Wymienionym głębokościom towarzyszyły temperatury odpowiednio ok. 120 oraz ok. 160°C. Z końcem jury środkowej górna część profilu permu znalazła się w głównej strefie okna ropnego, natomiast część środkowa w dolnym oknie ropnym. Dolna część profilu permu w późnej jurze środkowej znalazła się w zasięgu strefy kondensatu. Utwory triasu wraz z końcem jury środkowej osiągnęły głębokości pogrzebania wynoszące ok. 800 m w stropie oraz ok. 2600 m w spągu i znalazły się w zasięgu stref górnego i głównego okna ropnego (fig. 35).

W późnej jurze miała miejsce ostatnia faza szybkiego pogrzebania charakteryzująca się małą skalą oraz rozpoczęła się dominująca faza stagnacji, której towarzyszyły krótkie okresy mało skalowego wypiętrzania i erozji lub braku depozycji. Najbardziej miąższe w profilu otworu Wrzesnia IG 1 interwały stratygraficzne triasu, permu i karbonu w zasadzie tylko nieznacznie uległy większemu pogrzebaniu, zwiększając głębokości położenia stropów i spągów o kilkadziesiąt lub co najwyżej 100–200 m. Odmianna sytuacja dotyczyła stref dojrzałości termicznej, które w fazie stagnacji subsydencji podłoża i pogrzebania, wyraźnie przesunęły się w kierunku warstw stratygraficznie młodszych o wartości od 500 do nawet 1000 m. W konsekwencji, strefa górnego okna ropnego pokrywa prawie całkowicie cały trias górny. Z kolei, główne okno ropne obejmuje swoim zasięgiem dolną część triasu górnego, trias środkowy i górną część triasu dolnego. Natomiast, dolna strefa okna ropnego pokrywa środkową i dolną część triasu dolnego. Strefa kondensatu obejmuje swoim zasięgiem cały interwał permu górnego oraz znaczną część permu dolnego. Strefa gazu suchego pokrywa z kolei, dolny fragment interwału permu dolnego oraz cały karboński interwał litologiczny.