

WYNIKI BADAŃ MATERII ORGANICZNEJ, HISTORII POGRĄŻANIA I EWOLUCJI TERMICZNEJ

Piotr KLECZYŃSKI

CHARAKTERYSTYKA PETROGRAFICZNA ORAZ DOJRZAŁOŚĆ TERMICZNA MATERII ORGANICZNEJ ROZPROSZONEJ

Informacje wymagane do opisu dojrzałości termicznej oraz identyfikacji macerałów węgla zawartych w próbkach z profilu otworu Szwejki IG 3 pochodzą z dwóch źródeł. Opis petrograficzny materii organicznej wraz z pomiarami war-

tości zdolności refleksyjnej wityryny (R_o) pochodzą z pracy I. Grotek, zamieszczonej w dokumentacji wynikowej otworu (Grotek, 1990). Dane geochemiczne pochodzą z opracowania I. Grotek oraz E. Klimuszko (Grotek, Klimuszko, 1995).

IDENTYFIKACJA MACERAŁÓW WĘGLA ORAZ POMIARY REFLEKSYJNOŚCI WITRYNITU

Badaniom mikroskopowym w świetle odbitym poddano materiał organiczny pochodzący z profilu otworu. Analizie mikroskopowej poddano 38 próbek polerowanych pochodzących z interwału 1797,0–5496,0 m. Z analizowanych próbek opisano 20 próbek pod kątem składu maceralnego, charakteru oraz typu materiału wyjściowego. Pomierzono również wartości zdolności refleksyjnej wityryny oraz obliczono jej średnie wartości.

Analizowane utwory charakteryzują się niezbyt liczną zawartością substancji organicznej pochodzenia humusowego. Natomiast w tabeli 8 zaznaczono pogrubioną czcionką głębokości próbek wyraźniej wzbogaconych w materię organiczną.

Pod względem jakościowym materiał organiczny jest mało zróżnicowany. W większości próbek dominuje wityrynit w postaci bezpostaciowej – kolinitu. W pojedynczych próbkach napotymano tellinit z zachowaną strukturą komórkową oraz wityrynit w postaci cienkich lamin lub większych okruszków. Bardzo rzadko wityrynit miał formę większych soczewek. Macerały z grupy inertynytu są zdecydowanie rza-

dziej spotykane, zaobserwowano cienkościankowy fuzynit, masywny semifuzynit, mikrynit oraz inertodetrynit. Egzynit występuje głównie jako rezynit impregnujący komórki tellinitu lub rzadziej tworzący soczewki w osadzie. W próbce z głęb. 3617,9 m większość materiału organicznego to spory (Grotek, 1990).

Materiał organiczny jest w dużym stopniu autogeniczny i wykazuje dużą jednorodność. W próbkach zawierających utwory triasowe widać zwiększony udział materiału organicznego pochodzącego z redepozycji (Grotek, 1990).

Stopień przeobrażenia analizowanej materii organicznej nie jest zbyt wysoki. Stopień przeobrażenia przechodzi z wartości refleksyjności 0,65% stopniowo do 1,20% – odpowiada to przejściu ze stadium węgla płomiennego do gazowego. Daje to informację, że analizowane osady w czasie diagenety znajdowały się w głównej fazie generowania ciekłych węglowodorów.

Zauważalny jest wyraźny wzrost uwęglenia wraz z głębokością zalegania osadów z jedną anomalią na głęb. 4456,0 m (Grotek, 1990).

ANALIZA ROCK-EVAL

Analizie Rock-Eval poddano 68 próbek. Dane pochodzą z analiz wykorzystanych w opracowaniu I. Grotek oraz E. Klimuszko (Grotek, Klimuszko, 1995). Interwał z którego pochodzą próbki to odcinek głęb. 693,0–5425,0 m.

W zaledwie 13 próbkach całkowita zawartość węgla organicznego (TOC) przekracza 0,5% (tab. 8). W 22 próbkach parametr T_{max} wskazuje na osiągnięcie przez próbkę dojrzałości termicznej odpowiedniej dla tak zwanego okna

ropnego (tab. 9, fig. 25). Na podstawie analizy parametru S1, w żadnej próbce nie wykazano większej ilości wygenerowanych węglowodorów. Na podstawie analizy parametru S2 zaobserwowano, że w 2 próbkach (z głęb. 1797 oraz 4973 m) istnieje potencjał na generację węglowodorów na poziomie co najmniej niezłym (Dembicki, 2017). Jednak próbka z głęb. 1797 m charakteryzuje się zbyt niską dojrzałością termiczną lokującą ją poniżej tzw. okna ropnego ($T_{max} = 430^{\circ}\text{C}$). Próbka z głęb. 4973 m jest przejrząta i znajduje się poza oknem ropnym a na granicy okna gazowego, na co wskazuje analiza parametru T_{max} (456°C).

Na podstawie uzyskanych wyników z analiz Rock-Eval (tab. 9) wykonano zmodyfikowany diagram Van Krevelena (fig. 25). Na diagram klasyfikacyjny naniesiono wyłącznie te próbki, których parametr T_{max} mieścił się w zakresie $400\text{--}520^{\circ}\text{C}$. Próbki, których T_{max} był niższy niż 400°C (tab. 9) uznano jako niedojrzałe i nie naniesiono ich na diagram. Próbki na diagramie zostały oznaczone za pomocą wielokolorowych trójkątów, kolor trójkątów jest zgodny ze stratygrafią wybranych próbek (fig. 25).

Tabela 8

Charakterystyka petrograficzna materii organicznej w próbkach (wg Grotek, 1990)

Petrographic characteristics of organic matter in samples (after Grotek, 1990)

Głębokość próbki Sampling depth [m]	Stratygrafia Stratigraphy	Opis mikroskopowy Microscopic description	R_o $R_{o,SR}$ [%]
1797,0	J2	Stosunkowa duża ilość materii organicznej występuje w ilastym spoiwie między ziarnami kwarcu. Materia organiczna występuje w postaci różnej wielkości 10–100 μm okruchów oraz cienkich lamin. W obrębie grupy wityrynytu wyróżniono bezpostaciowy kolinit oraz tellinit z wyraźnie zaznaczoną strukturą komórkową. Światła komórek wypełnione są żelokolinitem, a rzadziej rezynitem. Wyróżniono również macerały grupy interynytu – fuzynit, masywny semifuzynit oraz mikrynit	0,45–1,05 0,68
2326,0	J1	Stosunkowo bogata ilość materii organicznej reprezentowanej przez różnej wielkości, wydłużone, ostrokrawędziste lub lekko obtoczone ziarna lub rzadziej, cienkie laminy. Głównym składnikiem jest wityrynit (kolinit), cienkościankowy i gwiaździsty fuzynit, rzadziej masywny semifuzynit	0,45–1,20 0,72
2501,0	J1	Uboga ilość materii organicznej, która reprezentowana jest przez bezładnie rozproszony detrytus wityrynytu i inertodetrynytu. Wityrynit tworzy drobne, ostrokrawędziste okruchy lub duże soczewkowate ziarna	0,50–1,15 0,75
2594,0	T3	Stosunkowo bogata ilość materii organicznej występującej w postaci drobnych okruchów oraz lamin. Główny składnik to wityrynit (kolinit) a następnie mniej liczny rezynit	0,45–1,05 0,75
2641,0	T3	Wysoka zawartość materii organicznej, która układa się równolegle w skale. Ilościowo dominuje wityrynit, który występuje w postaci ziaren o zróżnicowanych kształtach (ostrokrawędziste, obtoczone), a także w formie cienkich i grubszych lamin włączonych w ilaste tło skały. Wityrynit składa się z kolinitu oraz tellinitu, którego komórki wypełnione są żelokolinitem i iłem. Dodatkowo występuje cienkościankowy fuzynit	0,45–1,15 0,88
3480,0	T2	Stosunkowo bogata ilość materii organicznej, w składzie której dominuje wityrynit (kolinit), tworzący wydłużone ziarna, rzadziej drobne i grubsze laminy. Dodatkowo zaobserwowano stosunkowo liczne ziarna fuzynitu i mikrynytu	0,55–1,25 0,81
3617,0	T1	Stosunkowo duża ilość materii organicznej, w składzie której dominują spory. Ze sporami współwystępuje wityrynit (kolinit), tellinit, ostrokrawędzisty detrytus. Inertynit został zaobserwowany w postaci cienkościankowego fuzynitu oraz masywnego semifuzynitu	0,65–1,20 0,91
4017,9	P2	Uboga ilość materii organicznej, której większość ziaren została spirytyzowana. Nieliczny zachowany detrytus występuje w postaci drobnych ziaren oraz lamin wityrynytu. Zdarzają się pojedyncze ziarna inertodetrynytu	0,60–1,20 0,88
4339,0	D	Zaobserwowano jedynie pojedyncze okruchy mikrynytu i wityrynytu oraz cienkie laminy wityrynytu	0,55–0,85 0,85
4456,0	D	Stosunkowo duża ilość materii organicznej, w której składzie dominuje wityrynit oraz inertodetrynit. Macerały występują w postaci pokruszonych, ostrokrawędzistych okruchów w spoiwie oraz dość licznych lamin. Część okruchów jest silnie spirytyzowana	0,45–0,80 0,61
4537,0	D	Stosunkowo bogata zawartość materii organicznej w postaci licznych cienkich oraz grubych lamin wityrynytu. Dodatkowo zaobserwowano okruchy inertodetrynytu i niezidentyfikowanych szczątków organicznych. Część ziaren jest spirytyzowana	0,65–1,00 0,80
4605,0	D	Stosunkowo uboga zawartość materii organicznej, która występuje w postaci cienkich lamin wityrynytu oraz bezpostaciowego semifuzynitu oraz mikrynytu. Zdarzają się niezidentyfikowane szczątki organiczne. Część ziaren jest spirytyzowana	0,85–1,30 1,05
4620,0	D	Stosunkowo uboga zawartość materii organicznej, która występuje w postaci cienkich lamin wityrynytu oraz bezpostaciowego semifuzynitu oraz mikrynytu. Zdarzają się niezidentyfikowane szczątki organiczne. Część ziaren jest spirytyzowana.	0,85–1,30 1,05
5103,0	D	Uboga ilość materii organicznej, występującej w postaci cienkich, pokruszonych lamin wityrynytu oraz różnej wielkości okruchów. Zaobserwowano stosunkowo liczne ziarna inertodetrynytu. Powierzchnia ziaren jest spirytyzowana	0,70–1,15 0,92

Tabela 8 cd.

Głębokość próbki Sampling depth [m]	Stratygrafia Stratigraphy	Opis mikroskopowy Microscopic description	R_o [%] $R_{o\bar{SR}}$ [%]
5170,0	D	Uboga zawartość materii organicznej występującej w spoiwie ziaren kwarcu w postaci drobnych okruchów wityryny oraz mikryny. Dodatkowo zaobserwowano cienkie laminy wityryny	0,65–1,20 0,88
5214,0	D	Stosunkowo duża ilość materii organicznej, występującej w postaci cienkich, pokruszonych lamin wityryny oraz drobnych, ostrokrawędzistych ziaren wityryny i inertodetrynytu. Dodatkowo zaobserwowane duże ilości niezidentyfikowanych szczątków organicznych, które często są spirytyzowane	0,75–1,45 1,10
5328,0	D	Znaczna ilość materii organicznej występuje w postaci cienkich, wydłużonych ziaren oraz różnej grubości lamin, ostrokrawędzistych i lekko oboczonych okruchów. Dodatkowo zaobserwowano duże ilości niezidentyfikowanego detrytusu. Podstawowym składnikiem jest wityrynit, cienkościankowy fuzynit oraz mikrynit	0,75–1,65 1,13
5376,0	D	Uboga ilość materii organicznej, która występuje w postaci okruchów, częściowo spirytyzowanych ziaren oraz cienkich lamin wityryny, inertodetrynytu oraz niezidentyfikowanych szczątków organicznych	0,90–1,40 1,10
5427,0	D	Bogata zawartość materii organicznej występującej w postaci lamin wityryny ułożonych równolegle do siebie oraz okruchów wityryny oraz inertodetrynytu rozrzuconych w osadzie	0,90–1,55 1,16
5496,0	D	Stosunkowo bogata zawartość materii organicznej w której składzie zidentyfikowano wityrynit, masywny semifuzynit. Wityrynit występuje w postaci lamin oraz dużych okruchów	0,85–1,70 1,18

Tabela 9

Wyniki analiz Rock-Eval (Grotek, Klimuszko, 1995)

The results of Rock-Eval (Grotek, Klimuszko, 1995)

Nr. próby Sample number	Głęb. Depth [m]	Stratygrafia Stratigraphy	Litologia Lithology	T_{max} [°C]	S1	S2	S3	PI S1/S1+S2	S2/S3	PC [%]	TOC [%]	HI [mg HC/g TOC]	OI [mg CO ₂ /g TOC]
					[mgHC /g skały] [mgHC /g of rock]								
1	693	J3	MRL	422	0,09	0,46	0,41	0,17	1,12	0,04	0,49	93	83
2	841	J3	WAP	421	0,09	0,2	0,31	0,32	0,64	0,02	0,22	90	140
3	1002	J3	WAP	423	0,11	0,18	0,26	0,39	0,69	0,02	0,11	163	236
4	1156	J3	WAP	429	0,14	0,48	0,65	0,23	0,73	0,05	0,29	165	224
5	1283	J3	WAP	426	0,13	0,19	0,43	0,41	0,44	0,02	0,13	146	330
6	1375	J3	WAP	402	0,09	0,06	0,19	0,64	0,31	0,01	0,05	120	380
7	1505	J3	DOL	422	0,1	0,11	0,24	0,5	0,45	0,01	0,15	73	160
8	1669	J3	MLC	421	0,07	0,35	0,6	0,17	0,58	0,03	2,13	16	28
9	1797	J2	MLC	430	0,18	4,31	2,68	0,04	1,6	0,37	7,24	59	37
10	2097	J1	MLC	434	0,06	0,07	0,31	0,5	0,22	0,01	0,26	26	119
11	2593,5	T	MLC	434	0,14	1,52	1,08	0,08	1,4	0,13	1,24	122	87
12	2641	T	MLC	433	0,07	0,29	0,39	0,19	0,74	0,03	0,55	52	70
13	2735	T	MLC	421	0,07	0,08	0,12	0,5	0,66	0,01	0,06	133	200
14	2796	T	MLC	–	0,06	0,01	0,1	1	0,1	0,00	0,01	100	1000
15	2857,5	T	MLC	362	0,05	0,02	0,28	0,83	0,07	0,00	0,09	22	311
16	3010	T	MLC	–	0,11	0,05	0,2	0,69	0,25	0,01	0,13	38	153
17	3093	T	ILC	391	0,19	0,16	0,29	0,56	0,55	0,02	0,43	37	67
18	3148	T	ILC	476	0,16	0,1	0,27	0,62	0,37	0,02	0,09	11	300
19	3224	T	ILC	449	0,21	0,17	0,36	0,55	0,47	0,03	0,24	70	150
20	3320	T	MRL	349	0,09	0,07	0,29	0,56	0,24	0,01	0,11	63	253
21	3377	T	DOL	438	0,26	0,64	0,48	0,29	1,33	0,07	0,57	112	84
22	3426	T	ILC	445	0,16	0,09	0,26	0,67	0,32	0,02	0,12	75	233
23	3480	T	ILC	444	0,2	1,01	0,36	0,17	2,8	0,10	0,73	138	49
24	3536	T	WAP	440	0,23	0,18	0,32	0,57	0,56	0,03	0,25	72	128
25	3617	T	ILC	435	0,21	0,45	0,39	0,32	1,15	0,05	0,43	104	90
26	3673	T	ILC	396	0,22	0,23	0,31	0,5	0,74	0,03	0,14	164	221

Tabela 9 cd.

Nr. próby Sample number	Głęb. Depth [m]	Stratygrafia Stratigraphy	Litologia Lithology	T_{max} [°C]	S1	S2	S3	PI S1/S1+S2	S2/S3	PC [%]	TOC [%]	HI [mg HC/g TOC]	OI [mg CO ₂ /g TOC]
					[mgHC /g skały] [mgHC /g of rock]								
27	3760	T	ILC	386	0,21	0,34	0,34	0,39	1	0,04	0,2	170	170
28	3821	T	ILC	380	0,24	0,09	0,15	0,75	0,6	0,02	0,08	112	187
29	3866	T	MLC	393	0,26	0,16	0,31	0,62	0,51	0,03	0,12	133	258
30	3914	T	ILC	389	0,19	0,1	0,18	0,68	0,55	0,02	0,08	125	225
31	3945	T	MLC	393	0,16	0,2	0,18	0,44	1,11	0,03	0,1	200	180
32	3995	P	DOL	444	0,17	0,24	0,3	0,42	0,8	0,03	0,39	61	76
33	4017	P	DOL	445	0,09	0,11	0,14	0,45	0,78	0,01	0,17	64	82
34	4106	P	DOL	445	0,38	0,88	0,13	0,3	4,76	0,10	0,64	137	20
35	4136	P	DL+HL	444	0,34	0,43	0,17	0,45	2,52	0,06	0,56	76	30
36	4166,8	P	DOL	441	0,11	0,15	0,14	0,42	1,07	0,02	0,14	107	100
37	4196	P	MLC	369	0,07	0,01	0,12	0,87	0,08	0,00	0,04	25	300
38	4221,8	P	DOL	408	0,08	0,04	0,05	0,67	0,8	0,01	0,05	80	100
39	4248	D3	WAP	356	0,11	0,04	0,12	0,79	0,33	0,01	0,09	44	133
40	4277	D3	DOL	402	0,13	0,05	0,13	0,72	0,38	0,01	0,15	33	86
41	4301	D3	WAP	461	0,3	0,3	0,42	0,5	0,71	0,05	0,18	166	233
42	4337	D3	ILC	418	0,11	0,09	0,37	0,55	0,24	0,01	0,11	81	336
43	4386,3	D3	WAP	445	0,17	0,71	0,22	0,19	3,22	0,07	0,08	887	275
44	4433	D3	WAP	422	0,1	0,09	0,27	0,56	0,33	0,01	0,12	75	225
45	4461,5	D3	WAP	443	0,15	0,29	0,18	0,34	1,61	0,03	0,21	138	85
46	4486,5	D3	WAP	444	0,25	0,76	0,13	0,25	5,84	0,08	0,34	223	38
47	4537	D2	ILC	436	0,14	0,25	0,26	0,37	0,96	0,03	0,23	108	113
48	4553,5	D2	ILC	380	0,08	0,06	0,19	0,57	0,31	0,01	0,08	75	237
49	4605	D2	ILC	342	0,08	0,02	0,21	0,8	0,09	0,00	0,08	25	262
50	4673,5	D2	DOL	446	0,11	0,2	0,18	0,37	1,11	0,02	0,25	80	72
51	4697	D2	ILC	438	0,15	0,07	0,22	0,68	0,31	0,01	0,1	70	220
52	4795	D2	ILC	448	0,13	0,18	0,13	0,45	1,38	0,02	0,25	72	52
53	4812,5	D2	MLC	453	0,2	0,39	0,2	0,34	1,95	0,04	0,47	82	42
54	4867	D2	WAP	418	0,18	0,08	0,13	0,69	0,06	0,02	0,13	61	100
55	4916	D2	WAP	457	0,25	0,63	0,13	0,28	4,84	0,07	0,53	118	24
56	4973	D2	WAP	456	0,71	3,28	0,18	0,18	18,22	0,33	2,12	154	6
57	5035	D2	DOL	456	0,15	0,44	0,11	0,26	4	0,04	0,37	118	29
58	5055	D2	MRL	439	0,21	0,17	0,33	0,55	0,51	0,03	0,17	100	194
59	5097	D2	MRL	451	0,05	0,1	0,3	0,36	0,33	0,01	0,22	45	136
60	5156	D2	MLC	440	0,09	0,13	0,31	0,41	0,41	0,01	0,23	56	134
61	5173,5	D2	MLC	417	0,07	0,08	0,19	0,5	0,42	0,01	0,17	47	111
62	5214	D2	ILC	470	0,4	0,53	0,39	0,43	1,35	0,07	0,55	96	70
63	5280	D2	WAP	438	0,26	0,39	0,33	0,41	1,18	0,05	0,31	125	106
64	5296	D2	ILC	419	0,35	0,43	0,35	0,45	1,22	0,06	0,34	126	102
65	5328	D2	WAP	469	0,29	0,51	0,27	0,36	1,88	0,06	1,43	35	18
66	5376	D2	MLC	454	0,1	0,14	0,29	0,42	0,48	0,02	0,28	50	103
67	5391,3	D2	WAP	478	0,14	0,38	0,14	0,27	2,71	0,04	1,2	31	11
68	5425	D2	WAP	474	0,11	0,17	0,18	0,39	0,94	0,02	0,48	35	37

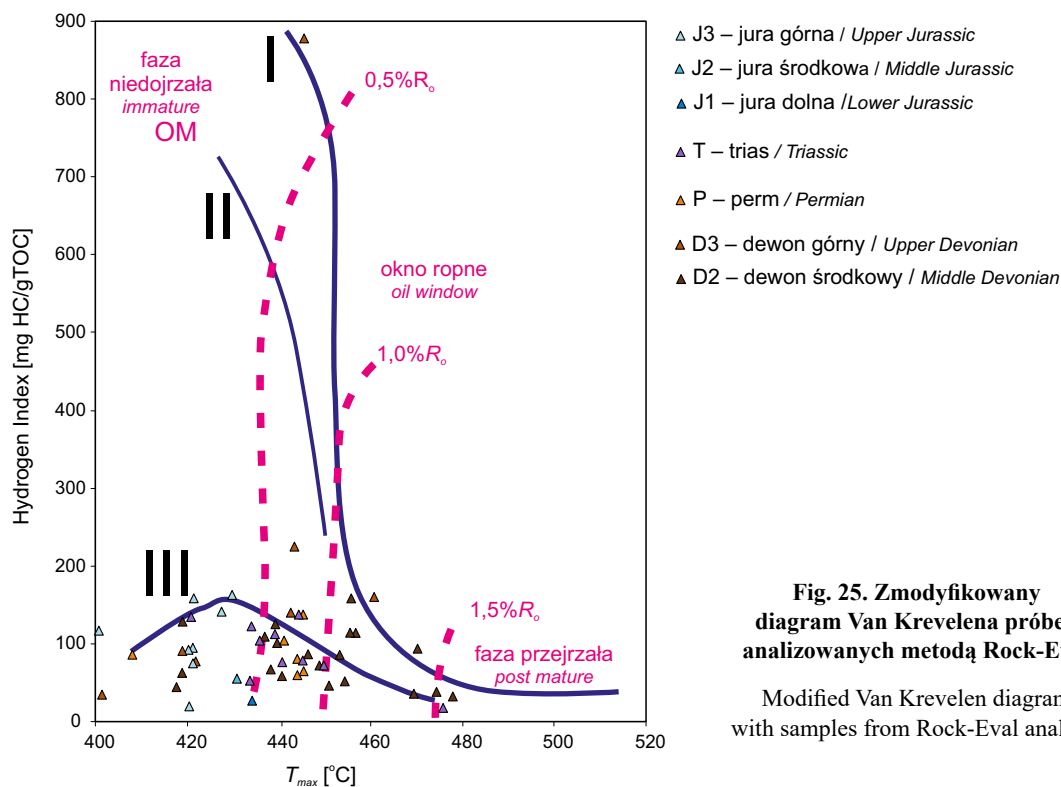


Fig. 25. Zmodyfikowany diagram Van Krevelena próbek analizowanych metodą Rock-Eval

Modified Van Krevelen diagram with samples from Rock-Eval analysis

Anna FELDMAN-OLSZEWSKA

CHARAKTERYSTYKA GEOCHEMICZNA MATERII ORGANICZNEJ

W otworze wiertniczym Szejki IG 3 przebadano pod kątem występowania bituminów i węglowodorów 92 próbki rdzeniowe, pochodzące ze skał dewonu, permu, triasu, jury i kredy dolnej. Zostały one przebadane – tuż po zakończeniu wiercenia – w Laboratorium Chemicznym Instytutu Geologicznego w Warszawie. Wykonane oznaczenia wraz z opracowaniem i interpretacją Z. Rzepkowskiej zamieszczono w dokumentacji wynikowej otworu (Rzepkowska, 1990). Wykonano oznaczenia zawartości węgla organicznego oraz bituminów w skale, oznaczono zawartość węglowodorów w bituminach i skale, określono potencjał oksydacyjno-redukcyjny (tab. 10); oznaczono skład węglowodorów (nasycone, aromatyczne) występujących w bituminach oraz oznaczono skład n-alkanów. Dla utworów jury analiza i interpretacja wyników badań zostały uzupełniona przez E. Klimuszko (Klimuszko, 2023). Dodatkowo na potrzeby obecnej publikacji przeliczono wartości współczynników migracji (CPI) wg wzorów określonych przez Kotarbę i in. (1994).

Dewon

Przebadano ogólnie 39 próbek z utworów dewonu, w tym 10 – z dolnego, 28 – ze środkowego i 1 – z górnego.

W utworach dewonu dolnego zawartość węgla organicznego w skale wynosi od 0,3 do 0,7% (tab.10). Większość

analiz było wykonanych dla wapieni i dolomitów, co pozwala interpretować je jako „dobre”, a miejscami „bardzo dobre” skały macierzyste (fig. 26). W skałach dewonu środkowego substancja organiczna występuje w niewielkiej ilości 0,1–0,9%, przy czym w jej zawartość w dolnej części profilu jest wyższa (0,3–0,9%), lokując skały węglanowe wśród „dobrych” i „bardzo dobrych” skał macierzystych, natomiast w części górnej wynosi ona 0,1–0,3%, co wskazuje, że są to skały „biedne” i „słabe” z punktu widzenia ich macierzystości.

Bituminy występują w utworach dewonu dolnego w bardzo niewielkiej ilości 0,002–0,008%, jedynie w górnej części ich zawartość wzrasta do 0,02–0,074%. W skałach dewonu środkowego ich ilość jest zmienna i wynosi 0,004–0,057%. Bituminy często są bardzo nisko przeobrażone, ale występują też bituminy wysoko przeobrażone, o charakterze mikroropy i ropy naftowej. Ilość węglowodorów w bituminach jest bardzo zmienna i wynosi 1–75%. Największą ich ilość stwierdzono w wapieniach dolnego odcinka żywetu (głęb. 4973,0 i 5035 m). Na głęb. 4545–5501 m zdecydowanie dominują węglowodory nasycone, natomiast wyżej przeważają węglowodory aromatyczne. Zawartość węglowodorów w skale jest zazwyczaj mała i wynosi 0,001–0,008%, znacząco wzrasta do 0,028–0,036%, gdy ich udział w bituminach jest znaczny. Wartości współczynnika migracji dla większości próbek nie przekraczają 0,02, co wskazuje na

Tabela 10

Dane geochemiczne dla otworu
Geochemical data of the borehole

Głębokość Depth [m]	Stratygrafia Stratigraphy	Litologia Lithology	Zawartość bituminów Bitumen content	Zawartość C _{org.} C _{org.} Content	Eh	Zawartość węglowodorów w bituminach Hydrocarbon content in bitumens	Zawartość węglowodorów w skale Hydrocarbon content in rocks	Zawartość węglowodorów nasyconych Saturated hydrocarbons content	Zawartość węglowodorów aromatycznych Aromatic hydrocarbons content	Wskaźnik migracji Migration index
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
534,1	K1	WAP	0,009	0,2	592	27	0,002	6	21	0,01
694,2	J3	MRL	0,009	0,5	624	14	0,001	7	7	0,002
841,2	J3	WAP	0,015	0,2	656	-	-	-	-	-
1002	J3	WAP	0,017	0,4	592	9	0,002	3	6	0,005
1156	J3	WAP	0,02	0,2	616	3	0,001	1,5	1,5	0,005
1283	J3	WAP	0,023	0,1	606	7	0,002	5	2	0,02
1324	J3	WAP	0,01	0,1	654	41	0,004	23	18	0,04
1376	J2	WAP	0,004	0,01	638	53	0,002	24	29	0,2
1504,5	J2	DOL	0,011	0,1	602	35	0,004	14	21	0,04
1670,2	J2	PSC	0,024	1,5	630	12	0,003	6	6	0,02
1797,3	J2	MLC	0,04	7,24	-	19,5	0,004	6	13,5	<0,001
1910	J2	PSC	0,017	0,8	676	23	0,004	22	1	0,005
2042	J1	PSC	0,018	0,2	604	9	0,002	8,5	0,5	0,01
2097,5	J1	MLC	0,001	0,2	632	-	-	-	-	-
2217	J1	PSC	0,026	0,5	614	23	0,006	6	17	0,012
2326	J1	PSC+ILC	0,034	1,7	600	21	0,007	9	12	0,004
2402	J1	PSC+ILC	0,032	1,8	616	23	0,007	12	11	0,004
2500,3	J1	MLC+PSC	0,011	1,24	-	16,3	0,001	6,1	10,2	<0,001
2501	J1	MLC	0,017	0,3	576	4	0,001	0,5	3,5	0,003
2594	T3	MLC	0,03	0,6	598	6	0,002	2	4	0,003
2641	T3	ILC	0,011	0,7	600	9	0,001	3	6	0,001
2735	T3	ILC	0,004	0,1	598	-	-	-	-	-
2796	T3	MLC	0,009	0,2	626	30	0,003	11	19	0,003
2858	T3	MLC	0,016	0,2	612	19	0,003	3	16	0,015

Tabela 10 cd.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2862	T3	MLC	0,008	0,1	610	17	0,001	2	15	0,01
2920	T3	MLC	0,042	0,2	626	2	0,001	0,2	1,8	0,005
3010	T3	MLC	0,011	0,2	618	15	0,002	6	9	0,01
3093	T3	ILC	0,02	0,4	614	21	0,004	2	19	0,01
3148	T3	MLC	0,009	0,1	626	9	0,001	1	8	0,01
3224	T3	MLC	0,012	0,2	620	13	0,002	3	10	0,01
3282	T3	MLC	0,006	0,2	644	6	<0,001	1	5	0,002
3320	T3	MLC	0,012	0,1	640	12	0,001	1	11	0,01
3377	T3	MLC	0,019	0,2	634	8	0,002	0,4	7,6	0,01
3427	T2	MLC	0,028	0,3	632	26	0,007	4	22	0,02
3480	T2	MLC	0,022	2,4	612	4	0,001	1	3	<0,001
3536	T2	MLC	0,007	0,2	616	3	<0,001	1	2	0,001
3617	T1	MLC	0,022	0,3	508	5	0,001	1	4	0,003
3673	T1	MLC	0,01	0,5	628	16	0,002	6	10	0,04
3706	T1	PSC	0,084	0,2	626	54	0,045	32	22	0,225
3725	T1	MLC	0,001	0,2	634	-	-	-	-	-
3760	T1	MLC	0,007	0,2	624	25	0,002	40	15	0,01
3821	T1	MLC	0,019	0,1	644	12	0,002	6	6	0,02
3868	T1	MLC	0,008	0,1	634	11	0,001	3	8	0,01
3916	T1	MLC	0,009	0,1	632	6	0,001	1	5	0,01
3996	P2	WAP	0,019	0,2	638	60	0,011	47	13	0,055
4034	P2	ANH	0,009	0,1	666	13	0,001	7	6	0,01
4100	P2	WAP	0,015	0,3	614	45	0,007	26	19	0,023
4108	P2	DOL	0,004	0,1	632	20	0,001	18	2	0,01
4136,2	P2	WAP	0,013	0,1	626	38	0,005	23	15	0,05
4151,5	P2	WAP	0,013	0,3	624	40	0,005	26	14	0,02
4165,5	P2	WAP	0,013	0,2	606	18	0,002	11	7	0,01
4178	P2	ANH	0,005	0,1	614	-	-	-	-	-
4196	P2	MLC	0,009	0,1	622	37	0,003	4	33	0,03

Tabela 10 cd.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4221	P2	DOL	0,008	0,1	612	3	<0,001	1	2	0,002
4265	D3	ANH	0,004	0,1	606	23	0,001	9	14	0,01
4337	D2	MLC	0,005	0,1	610	16	0,001	4	12	0,01
4386	D2	WAP	0,012	0,1	598	14	0,002	9	5	0,02
4433	D2	WAP	0,015	0,2	592	13	0,002	4	9	0,01
4451	D2	WAP	0,057	0,4	588	35	0,002	10	25	0,01
4469	D2	WAP	0,013	0,1	594	11	0,001	4	7	0,01
4487	D2	WAP	0,032	0,3	600	6	0,002	0,2	5,8	0,01
4537	D2	MLC	0,054	0,3	664	1	0,001	0,1	0,9	0,003
4545	D2	MLC	0,009	0,8	616	22	0,002	15	7	0,003
4605	D2	MLC	śl	0,5	634	-	-	-	-	-
4620	D2	MLC	0,008	0,3	628	4	<0,001	2	2	0,001
4673	D2	DOL	0,018	0,1	596	34	0,006	31	3	0,06
4698	D2	MLC	0,009	0,2	596	13	0,001	8	5	0,005
4706	D2	MLC	0,012	0,3	584	21	0,003	15	6	0,01
4795	D2	MLC	0,014	0,4	612	37	0,005	23	14	0,01
4813	D2	MLC	0,028	0,8	604	29	0,008	9	20	0,01
4867	D2	WAP	0,006	0,2	592	37	0,002	33	14	0,01
4916	D2	WAP	0,04	0,8	574	58	0,002	42	16	0,003
4925	D2	WAP	0,007	0,3	576	21	0,001	13	8	0,003
4973	D2	WAP	0,04	0,4	578	71	0,028	60	11	0,07
4982	D2	WAP	0,032	0,3	574	28	0,009	23	5	0,03
5035	D2	WAP	0,042	0,4	576	75	0,032	63	12	0,08
5046	D2	PSC	0,014	0,3	622	9	0,001	4	5	0,003
5057	D2	MLC	0,009	0,4	582	12	0,001	8	4	0,003
5097	D2	WAP	0,008	0,3	570	14	0,001	10	4	0,003
5112	D2	WAP	0,011	0,4	596	32	0,004	31	1	0,01
5156	D2	WAP	0,014	0,4	612	8	0,001	5	3	0,003
5174	D2	WAP	0,007	0,3	588	40	0,003	35	5	0,01
5214	D2	WAP	0,049	0,9	584	59	0,029	55	4	0,032

Tabela 10 cd.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5279	DI	WAP	0,021	0,3	596	38	0,008	24	14	0,027
5297	DI	MLC	0,074	0,7	600	49	0,036	42	7	0,05
5328	DI	WAP	0,02	0,7	606	22	0,004	16,5	5,5	0,006
5376	DI	MLC	0,002	0,3	596	-	-	-	-	-
5392	DI	DOL	0,005	0,3	600	22	0,001	17	5	0,003
5425	DI	WAP	0,006	0,3	586	33	0,002	25	8	0,007
5443	DI	WAP	0,004	0,5	600	11	<0,001	7	4	0,001
5479	DI	DOL	0,008	0,3	586	36	0,003	20	16	0,01
5491	DI	WAP	0,006	0,4	606	28	0,002	19	9	0,005
5501	DI	WAP	0,005	0,4	606	24	0,001	15	9	0,003

K1 – kreda dolna; J3 – jura górna, J2 – jura środkowa; J1 – jura dolna; T3 – trias górny; T2 – trias środkowy; T1 – trias dolny; P2 – perm górny (cechsztyń); D3 – dewon górny; D2 – dewon środkowy;

DI – dewon dolny; PSC – piaskowiec; MLC – mułowiec; ILC – łożowiec; WAP – wapień; MRL – margiel; DOL – dolomit; ANH – anhydryt;

Zawartość bituminów (%) – zawartość bituminów wydzielonych z próbki skały podana w [% wag.];

Zawartość całkowitego C_{org} [%] – zawartość całkowitego węgla organicznego oznaczonego w próbce skalnej podana w [% wag.];

Eh [mV] – potencjał oksydacyjno-redukcyjny;

Węglowodory w bituminach [%] – udział procentowy węglowodorów w całej masie bituminów wydzielonych z próbki skalnej;

Węglowodory w skale [%] – udział procentowy węglowodorów w przeliczeniu na masę skały (wg. Gondek, 1980);

Węglowodory nasycone w bitumiach [%] – udział procentowy węglowodorów nasyconych w bituminach wydzielonych z próbki skalnej;

Węglowodory aromatyczne w bituminach [%] – udział procentowy węglowodorów aromatycznych w bituminach wydzielonych z próbki skalnej;

Współczynnik migracji – stosunek zawartości węglowodorów wysycających w skale do zawartości węgla organicznego w badanej skale (Gondek, 1980)

K1 – Upper Cretaceous; J3 – Upper Jurassic; J2 – Middle Jurassic; J1 – Lower Jurassic; T3 – Upper Triassic; T2 – Middle Triassic; T1 – Lower Triassic; P2 – Upper Permian (Zechstein); D3 – Upper Devonian;

D2 – Middle Devonian; DI – Lower Devonian; PSC – sandstone; MLC – mudstone; ILC – claystone; WAP – claystone; MRL – marl; DOL – dolomite; ANH – anhydrite;

Content of bitumens [%] – content of bitumens extracted from rocks;

Total organic carbon [%] – content of total organic carbon in rock (%);

Eh [mV] – redox potential value;

Hydrocarbons in bitumens [%] – composition of hydrocarbons in bitumens extracted from rocks;

Hydrocarbons in rock [wt] – composition of hydrocarbons in whole rock (Gondek, 1980);

Saturated hydrocarbons in bitumens [wt] – composition of saturated hydrocarbons in bitumens extracted from rock;

Aromatic hydrocarbons in bitumens [wt] – composition of aromatic hydrocarbons in bitumens extracted from rock;

Migration coefficient – ratio of the contents of hydrocarbons to the TOC in rock (Gondek, 1980);

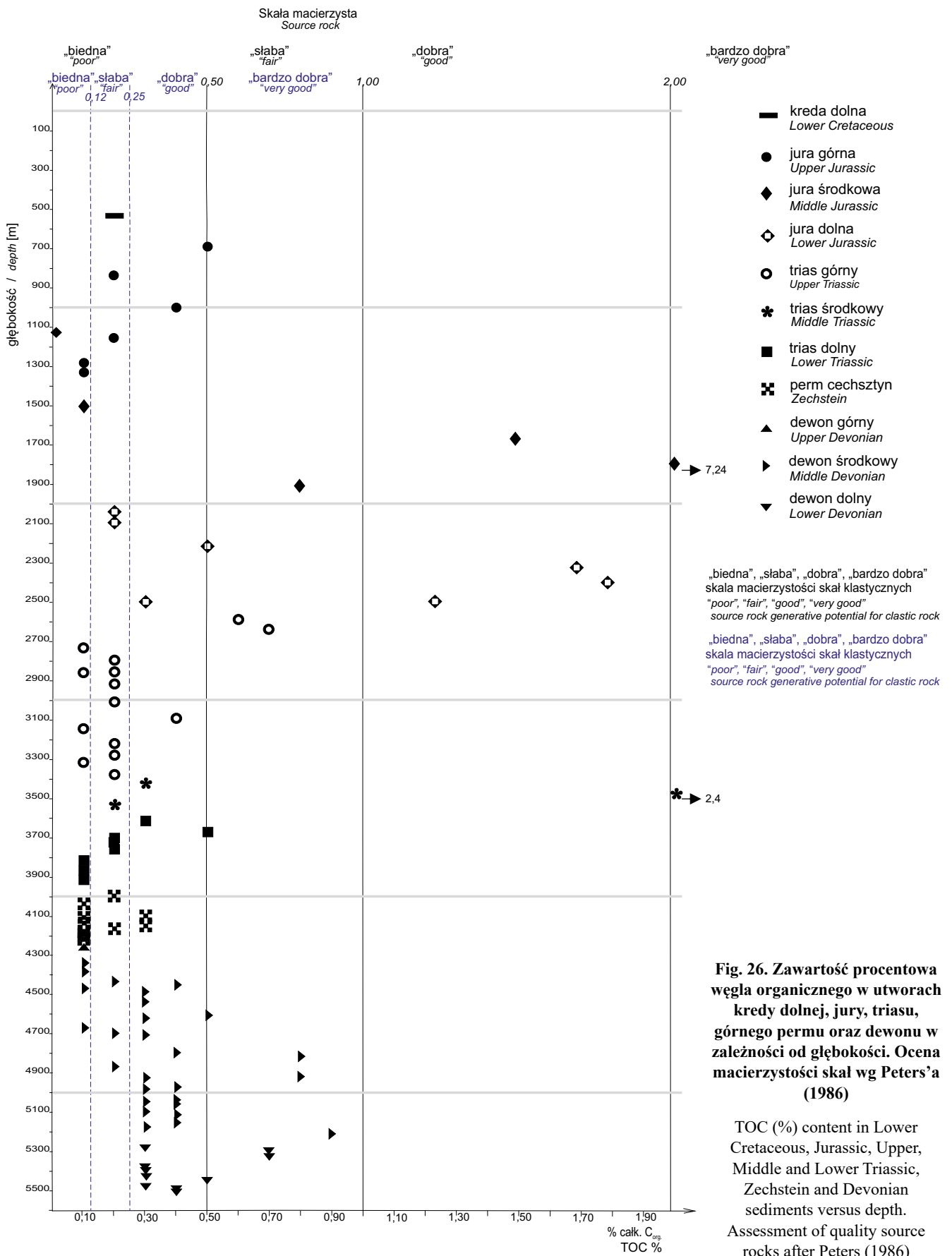


Fig. 26. Zawartość procentowa węgla organicznego w utworach kredy dolnej, jury, triasu, górnego permu oraz dewonu w zależności od głębokości. Ocena macierzystości skał wg Peters'a (1986)

TOC (%) content in Lower Cretaceous, Jurassic, Upper, Middle and Lower Triassic, Zechstein and Devonian sediments versus depth. Assessment of quality source rocks after Peters (1986)

brak procesów migracji. Znajduje to również potwierdzenie w rozkładzie n-alkanów; dominują w nich związki krótkołańcuchowe, a więc bardziej labilne (fig. 27A–N). W utworach dewonu dolnego i środkowego maksymalne wartości osiągają związki o łańcuchach węgla 17–20, co wskazuje na rozkład glonów i bakterii. W próbkach z dewonu górnego dominuje związek C_{20} , ale w 2 próbkach w dużej ilości pojawia się również związek C_{23} , oba te związki również pochodzą z rozpadu glonów i bakterii. Wartości wskaźnika CPI_{Tot} dla dolnego i środkowego odcinka profilu dewonu są często powyżej ale blisko jedności (1,01–1,18) (tab. 11), co wskazuje na wysoki stopień zaawansowania przemian substancji organicznej (Gondek, 1980). W pozostałych przypadkach jest ona <1 , co uniemożliwia określenie stopnia przeobrażenia materii organicznej.

Cechsztyń

W cechszynie przebadano 10 próbek pochodzących z różnych litologii: wapieni, dolomitów, anhydrytów i mułowców.

W skałach cechsztynu zawartość materii organicznej wynosi 0,1–0,3% a bituminów 0,004–0,01%. (tab. 10). W skałach węglanowych stopień przeobrażenia bituminów jest średnio wysoki, natomiast w pozostałych skałach są one nisko przeobrażone. Węglowodory występują w bituminach w bardzo różnych ilościach – od 3 do 60%, przy czym ich ilość nie wykazuje związku ani z litologią ani z głębokością. W dolnym i środkowym odcinku profilu cechsztynu w próbkach dominują węglowodory nasycone, natomiast w dolnym odcinku – węglowodory aromatyczne.

Węglowodory n-parafinowe, przebadane w 4 próbkach, występują w utworach cechsztynu w stosunkowo znacznej ilości 2–4%. W dwóch środkowych próbkach zdecydowanie dominuje związek $n-C_{20}$ a w najniższej związek $n-C_{19}$, wskazujące na rozpad bakterii i alg (fig. 27O–R). W najwyższej próbce z głęb. 3996 m rozkład n-alkanów jest odmienny – zdecydowanie dominują związki $n-C_{16}$ i $n-C_{18}$ (fig. 27S), co świadczy o wysokim stopniu przeobrażenia materii organicznej, a wysoki współczynnik migracji uzyskany dla tej próbki wynoszący 0,055 (tab. 10) może wskazywać na domieszkę węglodorów epigenetycznych. Wartość wskaźnika CPI_{Tot} wynosi poniżej 1, co uniemożliwia określenie stopnia przeobrażenia materii organicznej, natomiast wartości CPI_{25-31} mieszczące się w przedziale 1,33–1,48 (tab. 11) wskazują na niski stopień przemian.

Trias

Przebadano 14 próbek z triasu górnego, 3 z triasu środkowego oraz 8 próbek z triasu dolnego. Poza jedną próbką z piaskowca triasu dolnego, wszystkie pozostałe pochodziły z mułowców (tab. 10).

Zawartość C_{org} w większości próbek jest niewielka i wynosi 0,1–0,5%, wskazując, że są to „biedne” skały macierzyste. Wyjątek stanowi próbka z głęb. 3480 m (trias środkowy) zawierająca 2,4% C_{org} , co kwalifikuje ją jako bardzo dobrą

skałę macierzystą oraz 2 próbki z najwyższego triasu o zawartości materii organicznej 0,6–0,7%, które można określić jako „słabą” skałę macierzystą (fig. 26).

Bituminy występują w skale w ilości $<0,03\%$, wyjątek stanowi próbka piaskowca z głęb. 3706 m zawierająca 0,084% bituminów w skale. W próbce tej obserwuje się również bardzo wysoki współczynnik migracji (0,225) (tab. 10), co przy wartości współczynnika bitumicznosci równym 0,42, wskazuje na ich dopływ z innego ośrodka.

Węglowodory stanowią 2–26% bituminów, przeważają wśród nich związki aromatyczne. Wyjątek stanowi tu wspomniana próbka z piaskowca oraz próbka z głęb. 3760 m, w których obserwuje się wyraźną dominację węglodorów nasyconych.

Analiza n-alkanów została wykonana dla 2 próbek z mułowca (głęb. 2796 i 3821 m) (fig. 27T–U). W próbce z triasu dolnego rozkład n-alkanów wykazuje znaczącą przewagę n-alkanów krótkołańcuchowych ($n-C_{19}$ - $n-C_{23}$), z dominacją izoprenu $n-C_{22}$, co świadczy o ich pochodzeniu z rozkładu alg i bakterii (Maliński, Witkowski, 1988). W próbce z triasu górnego dominuje izopren $n-C_{26}$ pochodzący z rozpadu kwasów tłuszczowych oraz nieco mniej liczne związki $n-C_{21}$ i $n-C_{22}$, wskazujące na rozpad alg i bakterii. Dla obu próbek wartość wskaźnika CPI_{Tot} wynosi poniżej 1, co uniemożliwia określenie stopnia przeobrażenia materii organicznej.

Jura

Z utworów jury przebadano 17 próbek, w tym 6 – z jury górnej, 5 – z jury środkowej i 6 – z jury dolnej.

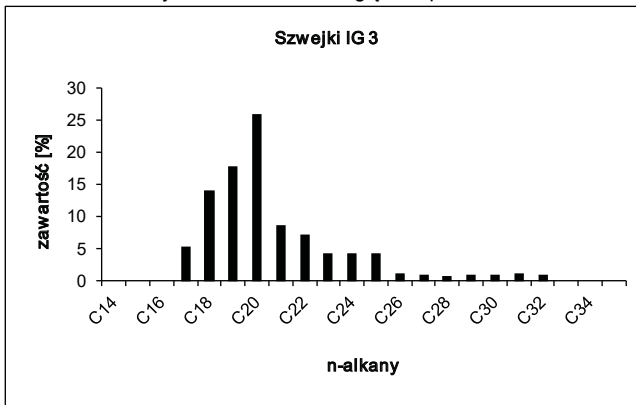
Jura dolna

Ilość C_{org} jest zróżnicowana, w próbce najniższej i najwyższych wynosi 0,2–0,5%, co wskazuje, że są to „biedne” skały macierzyste; w próbkach kolejnych, pochodzących z utworów hetangu i dolnego synemuru (głęb. 2326,0–2503 m) jest podwyższona (1,24–1,8%), co pozwala określić te utwory „dobrymi” skałami macierzystymi (fig. 26, tab. 10). Ilość bituminów w tych utworach jest mała i wynosi w skałach ubogich w materię organiczną 0,001–0,018%, w utworach bogatszych jest nieco wyższa i zawiera 0,32–0,34%. Wszystkie bituminy jury dolnej są nisko i bardzo nisko przeobrażone. Ilość węglodorów w bituminach wzrasta wraz z ich ilością w skale i wynosi 4–23% (tab. 10). Niskie wartości współczynnika migracji węglodorów w zakresie 0,001–0,012 wskazują na brak procesów migracji lub jej zachodzenie w niewielkim stopniu.

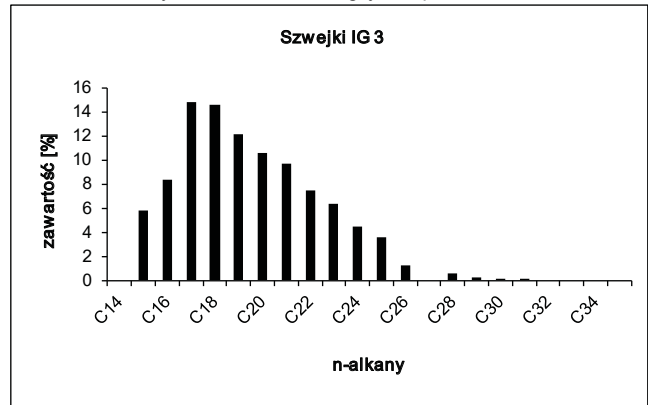
Analiza n-alkanów w utworach jury dolnej z głęb. 2326 m (Klimuszko, 2023) wykazała, że materia organiczna zawiera głównie związek $n-C_{23}$ (fig. 27W) pochodzący z rozpadu alg (Tissot, Welte, 1978). Pozostałe związki występują w mniejszej ilości. W znacznej ilości obecny jest także związek $n-C_{25}$, łączony z rozkładem roślin wyższych, będący na wysokim stopniu przeobrażenia. Świadczy to o obecności materii organicznej dobrze przeobrażonej doniesionej do basenu sedymentacyjnego. Wartość wskaźników CPI_{Tot} , CPI_{17-23} i CPI_{25-31}

Fig. 27. Dystrybucja n-alkanów w skałach paleozoiku i mezozoiku / Distribution n-alkanes in the Paleozoic and Mesozoic rocks

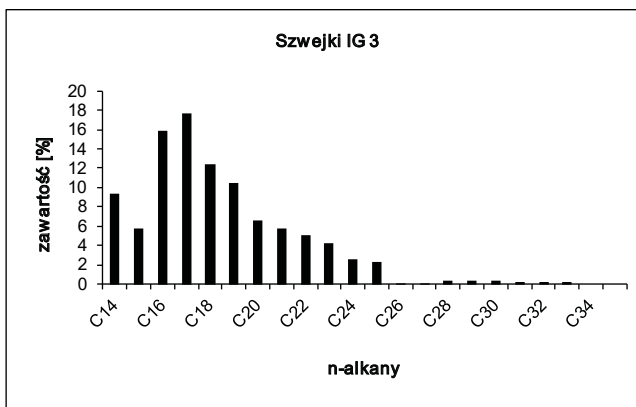
A – dewon dolny / Lower Devonian, głęb./depth 5479,0 m



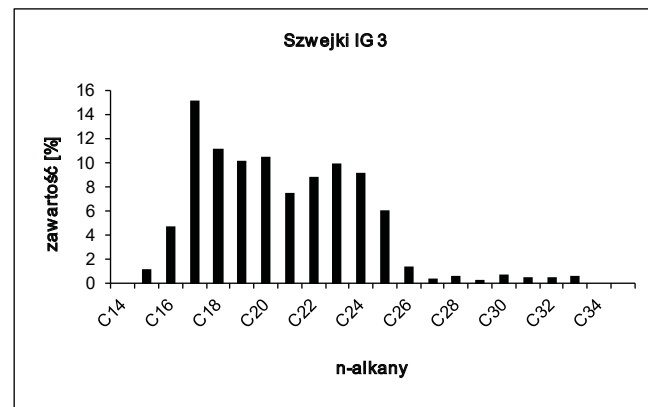
B – dewon dolny / Lower Devonian, głęb./depth 5297,0 m



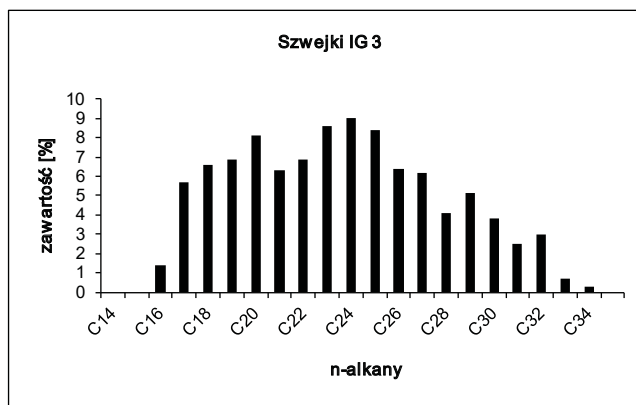
C – dewon środkowy / Middle Devonian, głęb./depth 5214,0 m



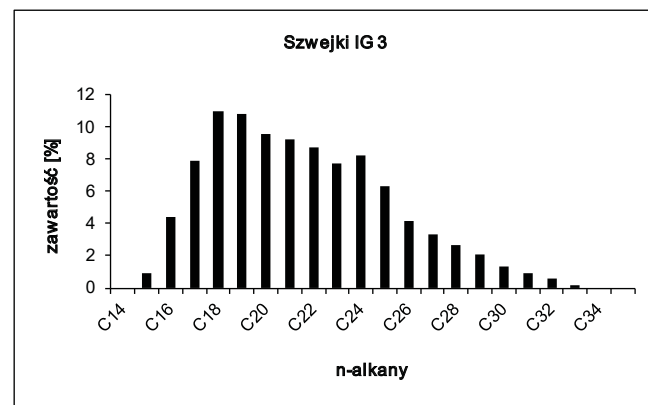
D – dewon środkowy / Middle Devonian, głęb./depth 5035,0 m



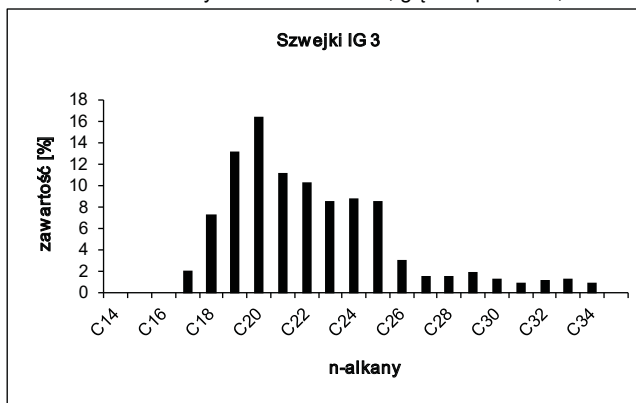
E – dewon środkowy / Middle Devonian, głęb./depth 4973,0 m



F – dewon środkowy / Middle Devonian, głęb./depth 4916,0 m



G – dewon środkowy / Middle Devonian, głęb./depth 4867,0 m



H – dewon środkowy / Middle Devonian, głęb./depth 4813,0 m

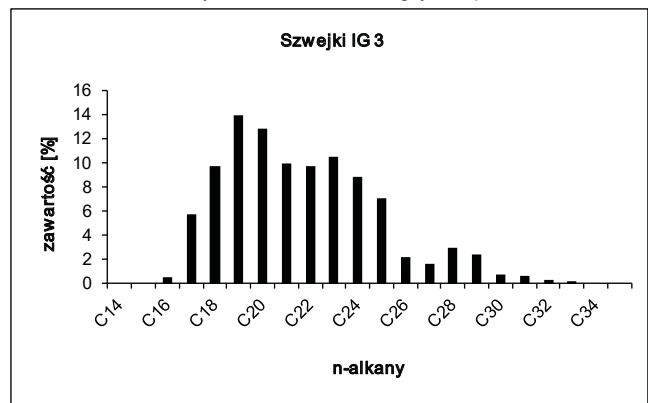
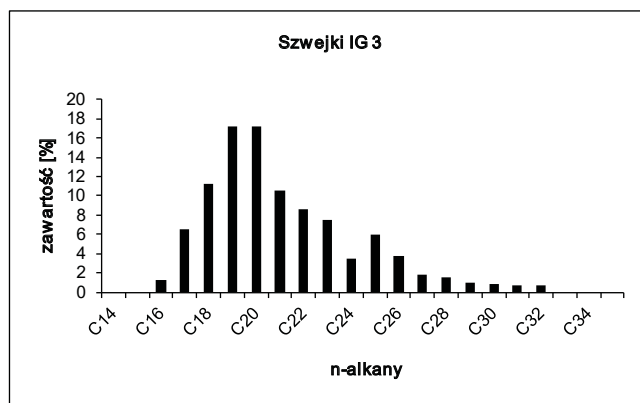
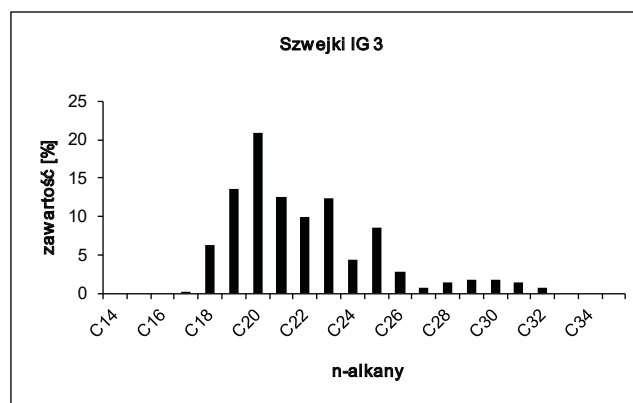


Fig. 27. cd.

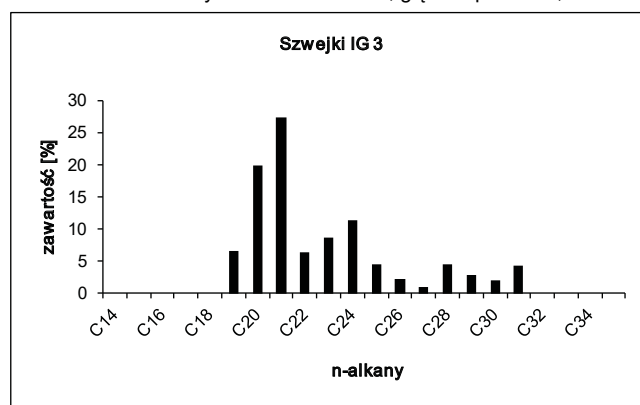
I – dewon środkowy / Middle Devonian, głęb./depth 4706,0 m



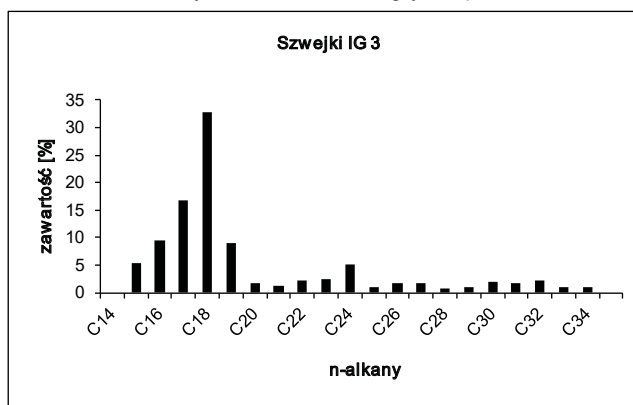
J – dewon środkowy / Middle Devonian, głęb./depth 4698,0 m



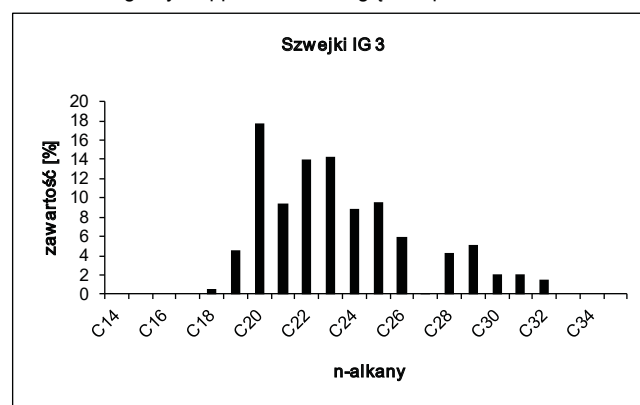
K – dewon środkowy / Middle Devonian, głęb./depth 4673,0 m



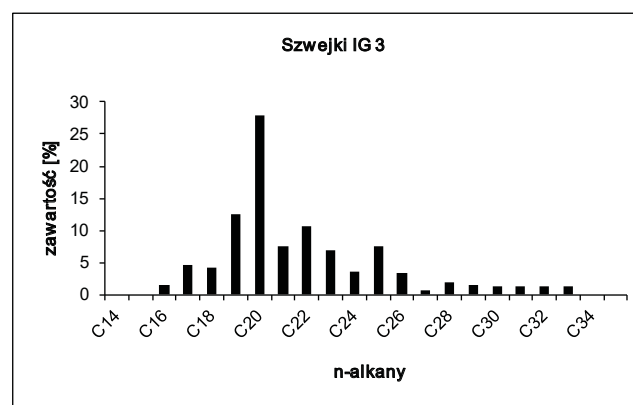
L – dewon środkowy / Middle Devonian, głęb./depth 4545,0 m



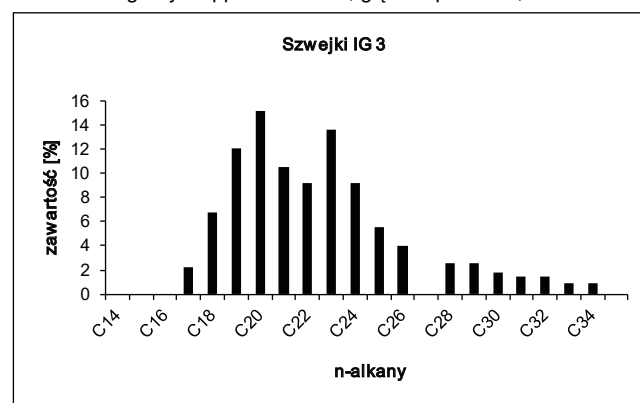
Ł – dewon górny / Upper Devonian, głęb./depth 4469,0 m



M – dewon górny / Upper Devonian, głęb./depth 4433,0 m



N – dewon górny / Upper Devonian, głęb./depth 4386,0 m



O – cechsztyń / Zechstein, głęb./depth 4151,5 m

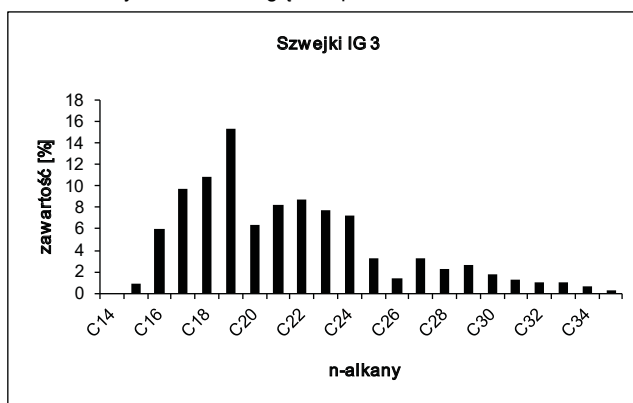
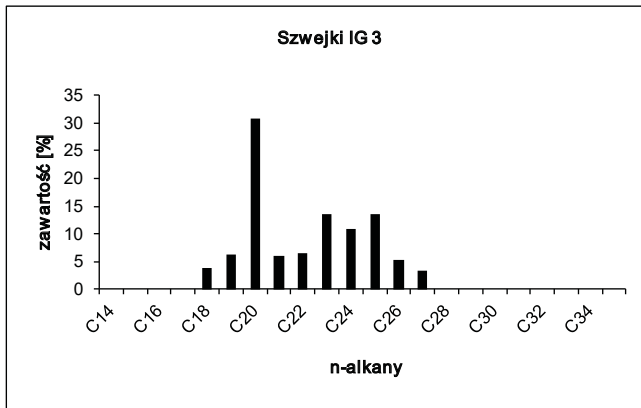
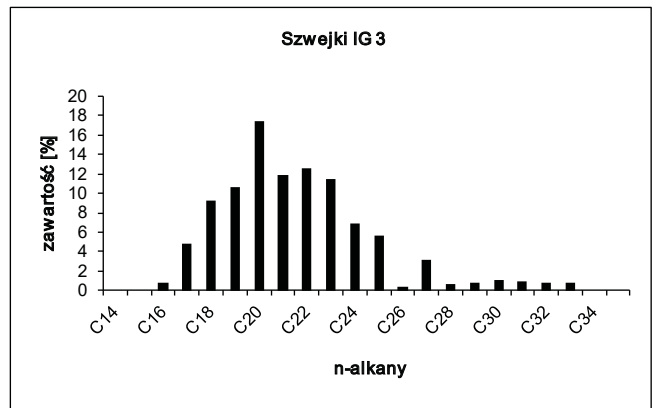


Fig. 27. cd.

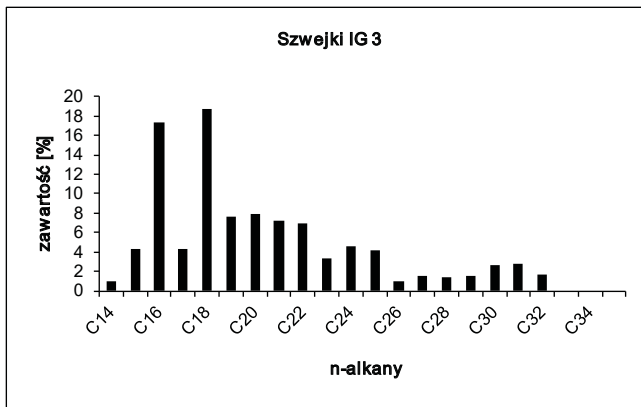
P – cechsztyń / Zechstein, głęb./depth 4108,0 m



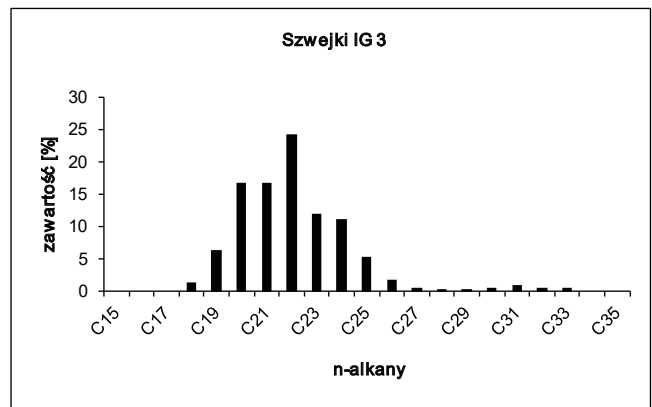
R – cechsztyń / Zechstein, głęb./depth 4100,0 m



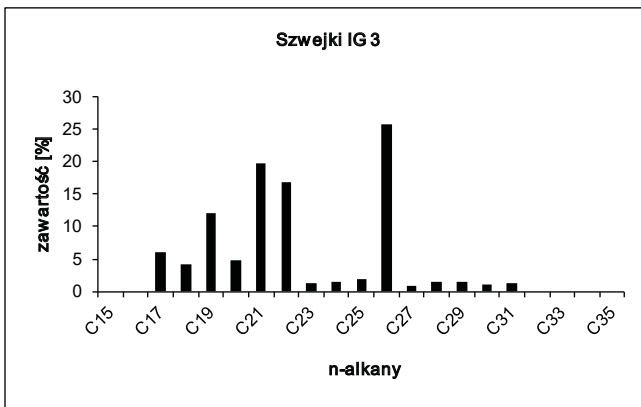
S – cechsztyń / Zechstein, głęb./depth 3996,0 m



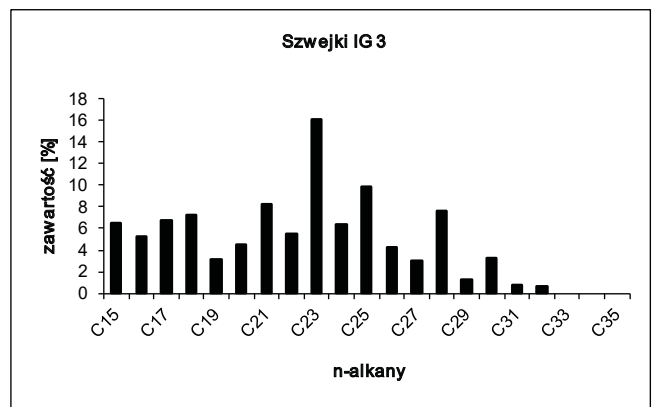
T – trias dolny / Lower Triassic, głęb./depth 3821,0 m



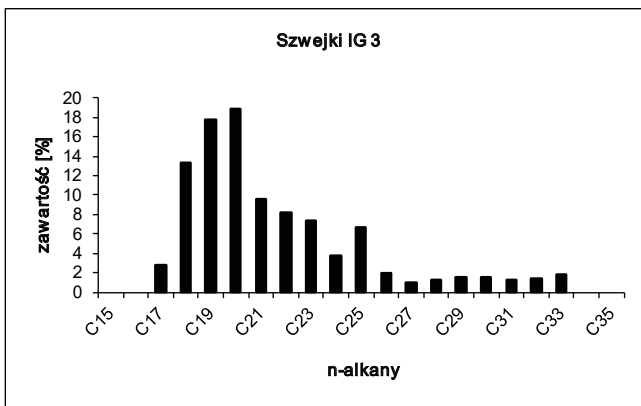
U – trias górny / Upper Triassic, głęb./depth 2796,0 m



W – jura dolna / Lower Jurassic, głęb./depth 2326,0 m



X – jura środkowa / Middle Jurassic, głęb./depth 1910,0 m



Y – jura środkowa / Middle Jurassic, głęb./depth 1797,2 m

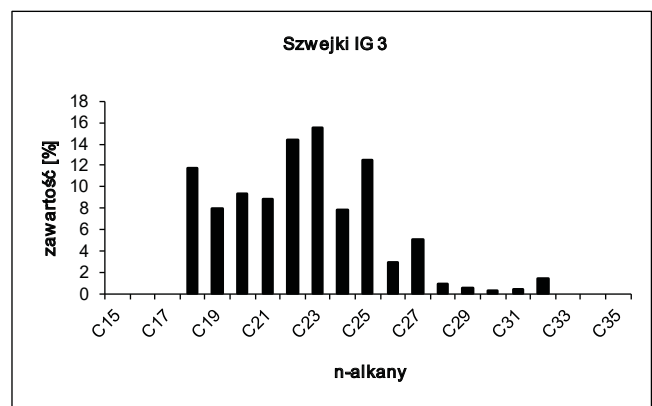
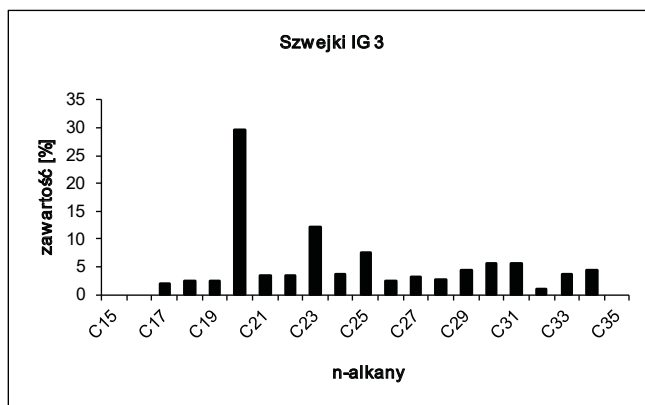


Fig. 27. cd.

Z – jura środkowa/ Middle Jurassic, głęb./depth 1670,2 m



Ż – jura górna/ Upper Jurassic, głęb./depth 1283,0

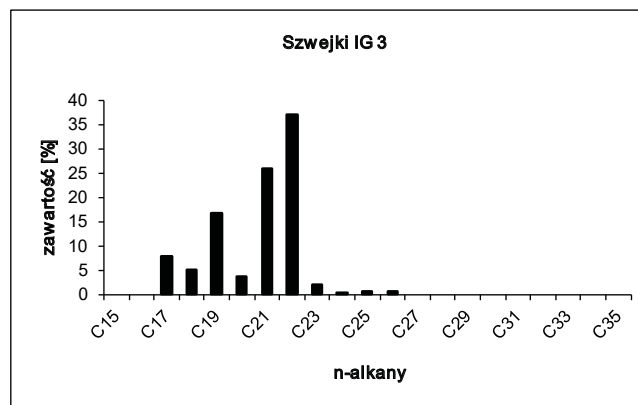


Tabela 11

Wskaźniki geochemiczne dla bituminów z utworów paleozoiku i mezozoiku

Geochemical data for the bitumens in the Paleozoic and the Mesozoic deposits

Stratygrafia Stratigraphy	Głębokość Depth [m]	zawartość n-alkanów w bituminach n-alkanes content in bitumens [%]	CPI _{Tot}	CPI ₁₇₋₂₃	CPI ₂₅₋₃₁	n-C max
J3	1283	0,247	1,05	1,03	0,43	C ₂₂
J3	1670,2	0,2	0,74	0,36	1,32	C ₂₀
J3	1797,2	0,299	1,07	0,69	2,89	C ₂₃ , C ₂₂
J2	1910	0,559	0,94	0,8	1,34	C ₂₀ , C ₁₉
J1	2326	0,279	1,17	1,32	0,63	C ₂₃
T3	2796	0,015	0,73	1,37	0,13	C ₂₆ , C ₂₁
T1	3821	0,287	0,74	0,68	1,52	C ₂₂
P2	3996	2,47	0,67	0,55	1,33	C ₁₈ , C ₁₆
P2	4100	4,73	0,97	0,78	3,48	C ₂₀
P2	4108	2,34	0,75	0,46	1,94	C ₂₀
P2	4151,5		1,89	1,24	1,47	C ₁₉
D2	4386	0,361	0,95	0,98	0,73	C ₂₀ , C ₂₃
D2	4433	0,262	0,75	0,6	1	C ₂₀
D2	4469	0,29	0,82	0,65	0,89	C ₂₀ , C ₂₃
D2	4545	0,396	0,56	0,54	0,94	C ₁₈
D2	4673	0,853	1,15	1,45	0,94	C ₂₁
D2	4698	0,32	1,06	0,88	1,25	C ₂₀
D2	4706	1,13	1,02	0,94	0,99	C ₁₉ , C ₂₀
D2	4813	2,12	1,04	1	1,31	C ₁₉ , C ₂₀
D2	4867	1,42	0,95	0,87	1,39	C ₂₀
D2	4916	28,14	0,96	0,95	1,1	C ₁₈ , C ₁₉
D2	4973	23,49	1,02	0,94	1,17	C ₂₄ , C ₂₃ , C ₂₅ , C ₂₀
D2	5035	6,7	0,99	0,99	1,38	C ₁₇
D2	5214	12,85	1,18	1,14	2,19	C ₁₇
D1	5297	11,16	1,01	0,99	1,08	C ₁₇ , C ₁₈
D1	5479	0,706	0,74	0,66	1,54	C ₂₀

CPI_(Tot) – wartość współczynnika CPI (Carbon Preference Index) dla n-alkanów od 17 do 31 węgla wg. Kotarby i in. (1994)
the value of coefficient CPI for the n-alkanes C₁₇–C₃₁ after Kotarba *et al.* (1994)

CPI₍₁₇₋₂₃₎ – wartość współczynnika CPI wyliczonego dla n-alkanów zawierających od 17 do 23 węgla wg. Kotarby i in. (1994)
the value of coefficient CPI for the n-alkanes C₁₇–C₂₃ after Kotarba *et al.* (1994)

$$CPI_{(17-23)} = \frac{(C_{17}+C_{19}+C_{21}) + (C_{19}+C_{21}+C_{23})}{2(C_{18}+C_{20}+C_{22})}$$

CPI₍₂₅₋₃₁₎ – wartość współczynnika CPI wyliczonego dla n-alkanów zawierających od 25 do 31 węgla wg. Kotarby i in. (1994)
the value of coefficient CPI for the n-alkanes C₁₇–C₂₃ after Kotarba *et al.* (1994)

$$CPI_{(25-31)} = \frac{(C_{17}+C_{19}+...+C_{27}+C_{29}) + (C_{19}+C_{21}+...+C_{29}+C_{31})}{2(C_{18}+C_{20}+...+C_{28}+C_{30})}$$

n-C max – n-alkan z maksymalną zawartością
n-alkane maximum contents

wskazuje, że materia organiczna jest słabo przeobrażona. Wartość CPI_{Tot} wynosi powyżej jedności (tab. 11).

Jura środkowa

Ilość materii organicznej w utworach jury środkowej jest zmienna – w wapieniach i dolomitach z batonu i kelowaju nie przekracza ona 0,1%, w piaskowcach aalenu i bajosu wynosi 0,8–1,5%, natomiast w próbce z mułowców bajosu osiąga wartość 5,1% (fig. 26, tab. 10). Ilość bituminów jest również zmienna i rośnie wraz z zawartością C_{org} w skale i wynosi od 0,004% wag. w – wapieniu, przez 0,24% wag. – w piaskowcu do 0,04% wag – w mułowcu. Bituminy są nisko i bardzo nisko przeobrażone i zawierają 12–53% węglowodorów. W 3 badanych próbkach przeważają węglowodory aromatyczne nad nasyconymi, w 1 próbce występują w tej samej ilości, natomiast w próbce z piaskowca aalenu dolnego (głęb. 1910,0 m) prawie wyłącznie występują węglowodory nasycone (tab. 10).

Analiza n-alkanów w utworach jury środkowej wykazała (Klimuszko, 2023), że występuje zróżnicowanie materii organicznej w profilu otworu Szwejski IG 3 (głęb. 1919,0, 1797,2 i 1670,2 m). W dolnych partiach utworów w materii organicznej stwierdzono głównie obecność związków zawierających 20, 19 i 18 węgla w łańcuchu, które są łączone z rozpadem alg i bakterii. Pozostałe związki są w mniejszej ilości. Stosunek ilości węglowodorów izoprenoidowych Pr/Ph wynoszący 0,57 dla próbki z głęb. 1910 m, wskazuje, że środowisko, panujące w basenie sedymentacyjnym, było redukcyjne. W wyższych partiach utworów wśród n-alkanów dominuje związek $n-C_{23}$ pochodzący z rozpadu alg (Tissot, Welte, 1978). W tej materii pojawia się również n-alkan C_{25} pochodzący z rozkładu roślin wyższych, który reprezentuje dobrze przeobrażoną materię humusową, można więc stwierdzić, że jest to materia redeponowana do basenu sedymentacyjnego. W górnej części utworów ponownie pojawiają się związki zawierające 20 i 19 węgla w łańcuchu (fig. 27X, Y, Z).

Wartości wskaźników CPI_{Tot} , CPI_{17-23} i CPI_{25-31} wynoszą poniżej jedności, co wynika ze znacznej ilości n-alkanów o parzystej liczbie węgla w łańcuchu i uniemożliwia ocenę stopnia przeobrażenia materii organicznej (tab. 11).

Jura górna

Zawartość substancji organicznej w węglanowych utworach jury górnej wynosi 0,1–0,5% C_{org} .

Zawartość bituminów w skale wynosi od 0,009 do 0,023% i są one bardzo nisko przeobrażone. Są one ubogie w węglowodory (3–14%), jedynie w próbce z głęb. 1324,0 m występują one w ilości 41%. W bituminach węglowodory nasycone przeważają nad aromatycznymi lub występują w równej ilości z nimi (tab. 10). Badania węglowodorów n-parafinowych (n-alkany) wykonano dla próbki z głęb. 1283,0 m (fig. 27Ż). Dominują tu trzy związki $n-C_{19}$ (16,7), $n-C_{21}$ (25,8) oraz $n-C_{22}$ (37,1), łączone z rozpadem szczątków alg (Klimuszko, 2023). Szereg n-alkanów w tych utworach jest bardzo ograniczony, co może świadczyć o zjawisku biodegradacji w basenie sedymentacyjnym. Wartość wskaźnika CPI_{Tot} wynosi 1,13, wskazując, że są to związki nisko przeobrażone.

Kreda

Z kredy przebadano tylko 1 próbkę z wapienia piaszczystego z głęb. 534,1 m (kreda dolna). Zawartość C_{org} jest bardzo niewielka i wynosi 0,02% (tab. 10). Bituminy stwierdzone w skale w ilości 0,009% są bardzo nisko przeobrażone, a węglowodory obecne w bituminach są zdominowane przez węglowodory aromatyczne. Niski jest również współczynnik migracji równy 0,01. N-alkany dla tej próbki nie były badane.

Podsumowanie

W profilu otworu Szwejski IG 3 węgiel organiczny występuje zazwyczaj w niewielkiej ilości <0,5%. Wzbogacenie zaobserwowano jedynie w pojedynczych poziomach dewonu, stropie triasu, dolnym odcinku jury dolnej i w jurze środkowej. Bituminy występują w niewielkich ilościach i są na ogół nisko przeobrażone. Tylko w wapieniach dolnego i środkowego odcinka profilu dewonu wykazują wysoki stopień zaawansowania przemian substancji organicznej i mają charakter ropy naftowej. W tych przypadkach notuje się też wzrost zawartości węglowodorów w skale. Wyznaczone wartości współczynnika migracji wykazują, że zachodziła ona w nieznanym stopniu.

Przemysław KARCZ

MODELOWANIE HISTORII TERMICZNEJ I WARUNKÓW POGRZEBANIA

METODY BADAŃ

Modelowanie historii termicznej i warunków pogrzebania dla otworu Szwejski IG 3 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 paleogeograficzne, paleobatymetryczne oraz współczesnego przepływu ciepła i paleoprzepływu 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 wityrytu lub refleksyjność materii wityrytopodobnej. Wydzielonym na potrzeby modelu jednostkom stratygraficznym przypisano głębokości stropu i spągu, jak i wynikające z tej relacji miąższości oraz wiek liczbowy, który mapowany jest domyślnie w oprogramowaniu na międzynarodową tabelę stratygraficzną z 2008 r. Model skalibrowano do dwóch typów danych kalibracyjnych tj. współczesnych temperatur w otworze wiertniczym oraz refleksyjności wityrytu. Współczesny reżim cieplny jak i rozkład współczesnych temperatur zostały odczytane z map gęstości strumienia ciepłego i map rozkładu temperatur na różnych głębokościach z pracy zbiorowej Góreckiego (2006), co przyczyniło się do pokrycia całego profilu otworu wynikami temperatur aż do spągu otworu włącznie. Z kolei dane refleksyjności wityrytu (Grotek, 1990) przynależały stratygraficznie do interwałów dewonu środkowego i górnego, permu górnego, triasu dolnego, środkowego i górnego oraz jury

MODELOWANIE HISTORII TERMICZNEJ I WARUNKÓW POGRZEBANIA

Historia pogrzebania dla otworu Szwajki IG 3 została zrekonstruowana na jednowymiarowym modelu, który zobrazował główne wydarzenia natury tektonicznej i termicznej (fig. 28). W celu kalibracji modelu użyto dwóch rodzajów danych tj. zestawu 6 wartości współczesnych temperatur w otworze Szwajki IG 3 odczytanych z map rozkładu temperatur na różnych głębokościach (Górecki, 2006) oraz zestawu 25 pomiarów refleksyjności wityrytu (Grotek, 1990). Dane kalibracyjne współczesnych temperatur pokryły równomiernie cały profil otworu w jednakowych interwałach, natomiast dane refleksyjności zostały zmierzone na interwałach stratygraficznych dewońskim, permskim, triasowym oraz jurajskim, pokrywając równomiernie profil otworu jedynie w zakresie wskazanej stratygrafii (fig. 29). Gęstość współczesnego strumienia ciepłego odczytano z mapy rozkładu gęstości ziemskiego strumienia ciepłego na Niżu Polskim (Górecki, 2006), na podstawie którego przyjęto wartości rzędu 45–55 mW/m². Dane przewodnictwa ciepłego skał dowiązано do profilu otworu algorytmem Cermak i in., (1982) oraz Waples i Tiersgaard (2002) domyślnie implementowanym z biblioteki programu.

W profilu otworu rozpoznano dwie luki stratygraficzne przynależne kolejno do famenu–czerwonego spągowca oraz santonu–mastrychtu. Na podstawie zastosowania ekstrapolacji modelowanego profilu do najbliższych otworów wiertniczych, gdzie nie odnotowano erozji wśród określonych jednostek stratygraficznych, uznano, iż wydarzenia erozyjne przynależne do wymienionych luk stratygraficznych były wydarzeniami dużej skali. W przypadku wydarzenia erozyjnego famen–czerwony spągowiec rozpoznano, że prawdopodobne wartości erozji mieszczą się w przedziale wartości od 1900 do maksymalnie 3200 m. Z kolei rozmiar wydarzenia erozyjnego santon–mastrycht oszacowano w zakresie wartości 300–700 m. W niniejszym rozdziale opisano scena-

ry przy założeniu 1900 m erozji dla starszego wydarzenia erozyjnego oraz 700 m erozji dla wydarzenia młodszego. Najstarszymi skałami osadowymi w profilu otworu Szwajki IG 3 są skały dewonu środkowego tj. eiflu, których litosom nie został w pełni przewiercony. W konsekwencji historia pogrzebania w otworze zamyka się w ramach czasowych od eiflu do pliocenu, włącznie z dwiema lukami stratygraficznymi. W tej skali czasu, w otworze wyróżniono cztery fazy szybkiego pogrzebania, trzy fazy nieco wolniejszego pogrzebania, dwie fazy szybkiego wypiętrzania w tym jedna z nich dużej skali oraz jedną fazę stagnacji. Profil otworu rozpoczął się okresem bardzo szybkiego pogrzebania, które czasowo zamknęło się w przedziale dewonu środkowego i późnego, tj. od eiflu do późnego franu włącznie. W tym okresie były deponowane utwory o wybitnie węglanowym (eifel), węglanowo-klastycznym (żywet) oraz ponownie węglanowym (fran) charakterze. Miąższość tych utworów w profilu otworu wynosi prawie 1300 m i wartość ta nie oddaje w pełni prawdziwej miąższości tych jednostek stratygraficznych. Powodem takiego stanu rzeczy jest niepełne przewiercenie eiflu oraz odgórna erozja franu. W tej szybkiej fazie subsydencji podłoża i pogrzebania spągi utworów eiflu, żywetu i franu zostały pogrzebane do głębokości, odpowiednio ok. 3100, 2800 i 2200 m, którym towarzyszyły temperatury, odpowiednio ok. 57, 53 i 47°C (fig. 28).

We wczesnym famenie miała miejsce wyraźna inwersja tektoniczna dużej skali, która przyczyniła się do silnego wypiętrzania podłoża i zdeponowanych utworów osadowych franu oraz ich silnej erozji. Faza wypiętrzania zakończyła się w późnym permie wczesnym i wraz z początkiem późnego permu miała miejsce kolejna bardzo długa faza subsydencji podłoża trwająca aż do późnej kredy (późnego koniak włącznie). Fazę tę charakteryzują trzy stratygraficznie krótsze fazy, z których każda jest złożona z początkowo wolniejszego,

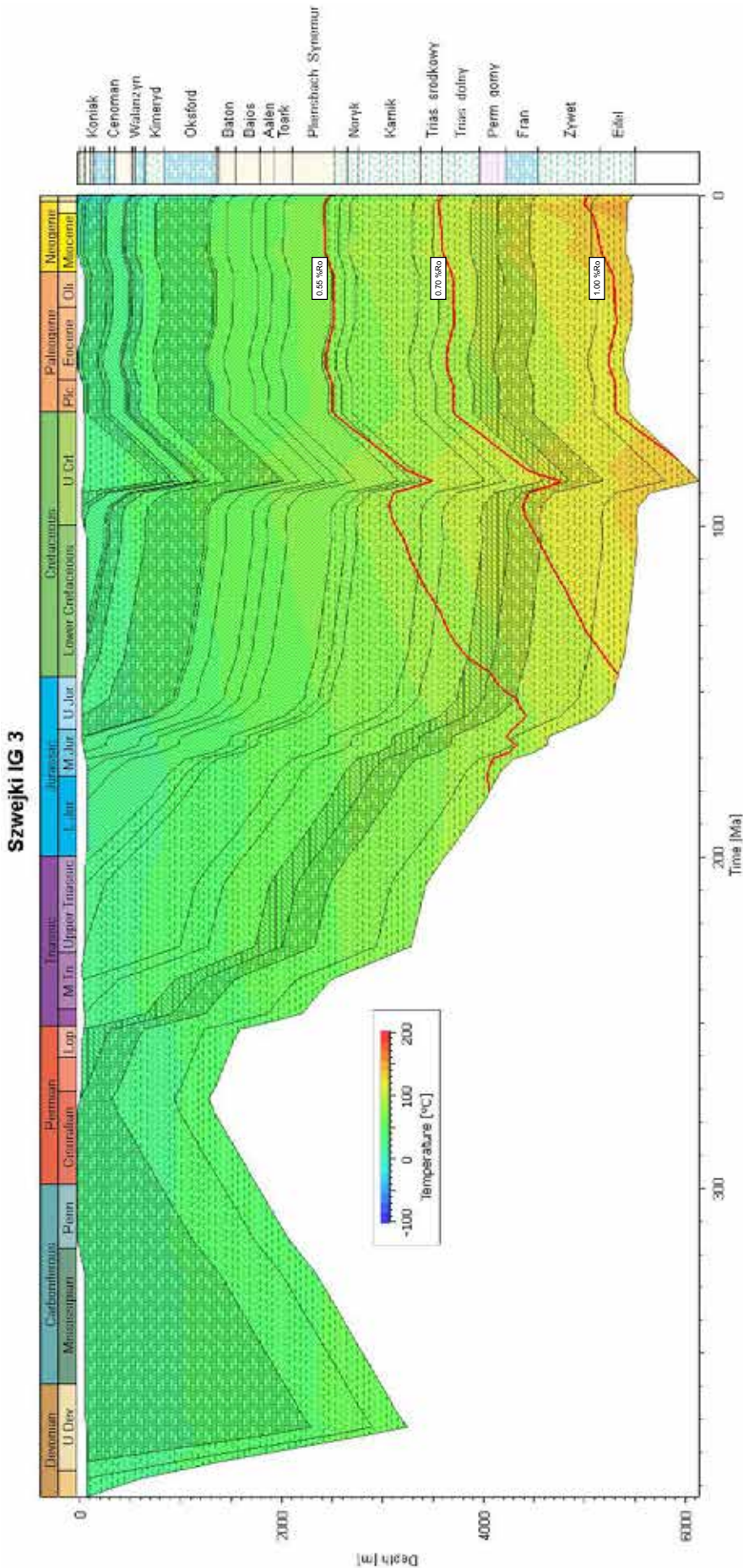


Fig. 28. Historia pogrzebania pokrywy osadowej

Zakresy dojrzałości termicznej wyrażonej w saski refleksyjności wityrynytu R_o (%) 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.

Burial history

Thermal maturity ranges expressed in vitrinite reflectivity scale R_o (%) 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,

a następnie z bardzo szybkiego etapu subsydencji i pogrzebania. Pierwszą z tych krótszych faz odnotowano w profilu otworu Szwejki IG 3 w zakresie stratygraficznym od wczesnego permu późnego do późnego triasu środkowego włącznie. Z kolei druga z krótszych stratygraficznie faz mieści się w przedziale stratygraficznym od wczesnego triasu późnego do późnej jury tj. późnego oksfordu włącznie. Trzecia i ostatnia z tych faz rozpoczęła się we wczesnym kimerydzie a zakończyła w kredzie późnej tj. w późnym koniaku.

We wczesnym permie późnym rozpoczęła się pierwsza z krótszych stratygraficznie faz, której pierwszy wolniejszy etap trwał do późnego permu włącznie. W najniższym triasie tempo pogrzebania wzrosło gwałtownie na przestrzeni krótkiego okresu czasu i w takiej charakterystyce wytrzymało w przybliżeniu do końca triasu środkowego, w którym spągi utworów eiflu, żywetu, franu i permu górnego zostały pogrzebane do głębokości, odpowiednio ok. 3100, 2700, 2200 i 1900 m. Głębokościom tym odpowiadały temperatury, odpowiednio ok. 73, 67, 60 oraz 54°C.

Druga z krótszych stratygraficznie faz, która zakończyła się w jurze późnej tj. w późnym oksfordzie przyczyniła się do pogrzebania spągu eiflu do głębokości ok. 5000 m, gdzie dominowały temperatury ok 100°C. Natomiast spąg utworów żywetu osiągnął głębokość pogrzebania ok. 4600 m, z temperaturą ok. 97°C. Zarówno utwory eiflu jak i żywetu weszły w tej fazie do górnego okna ropnego.

W trzeciej z krótszych stratygraficznie faz wszystkie litosomy osiągnęły swoje maksymalne pogrzebanie w profilu otworu Szwejki IG 3. Spągi utworów eiflu, żywetu, franu i permu górnego zostały pogrzebane do głębokości, odpowiednio ok. 6000, 5700, 5100 i 4700 m, którym towarzyszyły temperatury ok. 138, 130, 120 i 114°C. Wszystkie te cztery wymienione jednostki stratygraficzne weszły w tej fazie do głównego okna ropnego. Z kolei spągi utworów triasu dolnego i środkowego oraz karniku w okresie maksymalnego pogrzebania osiągnęły głębokości, odpowiednio ok. 4400, 4100 i 3800 m, gdzie dominowały temperatury w zakresie 95–112°C będące charakterystyczne dla górnego okna ropnego (fig. 28).

Następnie, we wczesnym santonie nastąpiły tektoniczne ruchy wznoszące małej skali, które wyniosły spągi większości litosomów o ok. 600 m. W tym czasie przyspągowy interwał utworów eiflu znalazł się w zasięgu strefy dojrzałości

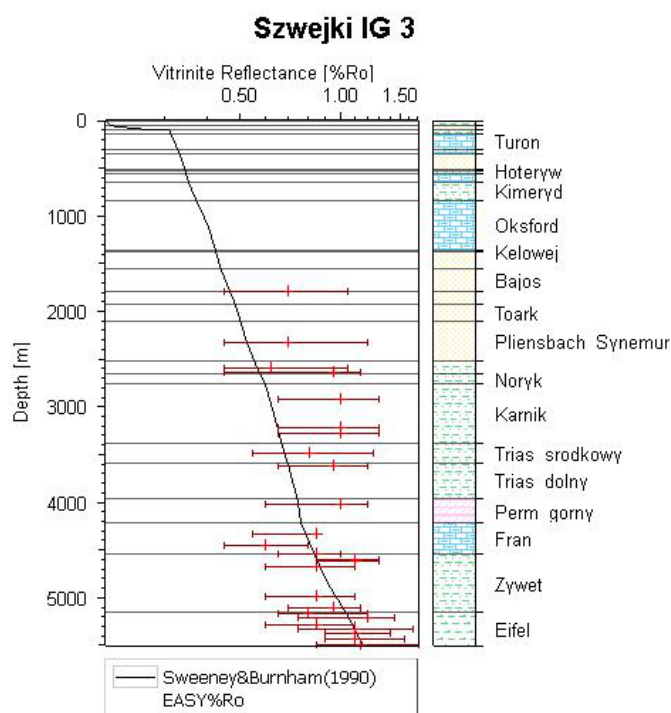


Fig. 29. Kalibracja modelu pomiarami refleksyjności wityrynit

Calibration of the model with vitrinite reflectivity

termicznej dolnego okna ropnego. Górna granica głównego okna ropnego również w tej fazie przesunęła się w kierunku wartsw stratygraficznie młodszych, pokrywając swoim zasięgiem dodatkowo utwory triasu dolnego.

W związku z tym, że wszystkie granice stref dojrzałości termicznej przesunęły się w kierunku wartsw stratygraficznie młodszych, to litosomy noryku i retyku również zostały objęte strefą generowania węglowodorów ciekłych tj. górnym oknem ropnym.

We wczesnym paleogenie nastąpiła faza stagnacji, przerywana pomniejszych fazami krótkich naprzemiennych okresów depozycji i erozji, których efektem jest nierozdzielony interwał paleogenu–neogenu z miąższością wynoszącą jedynie czterdzieści kilku metrów.