

WYNIKI BADAŃ MATERII ORGANICZNEJ

Izabella GROTEK

CHARAKTERYSTYKA PETROGRAFICZNA ORAZ DOJRZAŁOŚĆ TERMICZNA MATERII ORGANICZNEJ ROZPROSZONEJ W PROFILU UTWORÓW KREDA GÓRNA–KAMBR ŚRODKOWY

WSTĘP

Charakterystykę petrograficzną materii organicznej rozproszonej w profilu skał z głęb. 1285,0–5832,1 m przeprowadzono na podstawie analizy 23 próbek reprezentujących utwory kredy górnej (1 próbka), jury górnej (1 próbka), triasu górnego (1 próbka), triasu dolnego (3 próbki), permu (cechsztyń) (2 próbki), syluru (landower, ludlow) (3 próbki), ordowiku (karadok) oraz kambru środkowego (1 próbka).

Podstawę analityczną pracy stanowią badania mikroskopowe wykonane w świetle odbitym białym oraz we fluorescencji umożliwiającej identyfikację, nierozróżnialnych często w świetle białym, składników maceralnych grupy liptynitu (Teichmüller, 1982). Analizy przeprowadzone zostały na mikroskopie polaryzacyjnym Axioskop firmy Zeiss wyposażonym w przystawkę mikrofotometryczną umożliwiającą pomiar zdolności refleksyjnej materii organicznej.

Pomiary przeprowadzono w imersji, na polerowanych płytkach skał osadowych zawierających macerały wityrnytu i huminitu (utwory młodszego paleozoiku i permo-mezozo-

iku) oraz materiał wityrnytopodobny reprezentowany przez stałe bituminy i zooklasty (osady starszego paleozoiku). Składniki te charakteryzują się liniowym wzrostem zdolności odbicia światła wraz ze wzrostem stopnia dojrzałości (Stach i in., 1982). Wymagana wielkość ziarn $>5\text{ }\mu\text{m}$ jest minimalną, niezbędną do uzyskania właściwego wyniku.

Badania wykonano przy użyciu: wzorców ze szkła optycznego o określonej, stałej refleksyjności: 0,595; 0,9207 i 1,722%; filtru monochromatycznego o długości fali 546 nm; olejku imersyjnego o $n_D = 1,515$ w temp. 20–25°C.

Analizę ilościową przeprowadzono metodą planimetrowania powierzchni preparatów, przy skoku mikrośruby = 0,2 mm.

Analiza jakościowa macerałów grupy liptynitu wykonana została przy użyciu światła UV. Przy opisie składników petrograficznych stosowano nomenklaturę i klasyfikację przyjętą przez Międzynarodowy Komitet Petrologii Węgla (ICCP) (Stach i in., 1982). Uzyskane wyniki zamieszczone zostały w [tabelach 24 i 25](#).

OMÓWIENIE WYNIKÓW ANALIZ

Kreda

Utwory węglanowe kredy górnej, z głęb. 1285,0 m, zawierają skąpy materiał organiczny (0,10% planimetrowanej powierzchni próbki) reprezentowany głównie przez macerały liptynitu (50%) oraz współwystępujące z nimi macerały huminitu i bezpostaciowego wityrnytu (40%), a także inertynit (20%) ([tab. 24](#)).

Macerały liptynitu reprezentowane są przez liptodetrynit, bituminit, algi i alginity. Wykazują one fluorescencję w kolorze żółtym.

Macerały grupy huminitu (żelinit) i wityrnytu (żelokolinit) występują w formie lamin, soczewek oraz okruców w różnym stopniu rozdrobnionych.

Inertynit składa się prawie wyłącznie z inertodetrynitu bezładnie rozproszonego w masie skalnej, sporadycznie występują soczewki fuzynitu i sfuzynityzowane zooklasty.

Dojrzałość termiczna badanych skał jest niska. Wskaźnik refleksyjności huminitu/wityrnytu zmienia się w granicach 0,33–0,48% R_o , przy średniej wartości 0,38% R_o , wskazując na niedojrzałą fazę generowania węglowodorów i maksymalne paleotemperature diagenety nie przekraczające 500°C (Gaupp, Batten, 1985).

Tabela 24

Analiza mikroskopowa materii organicznej rozproszonej w profilu utworów kreda–karbon
 Microscopic analysis of organic matter dispersed in the Cretaceous–Carboniferous deposits

Głęb. Depth [m]	Wiek Age	Litologia Lithology	Wit. [%]	Iner. [%]	Lip. [%]	Aom [%]	Bit. [%]	R_o [%]	Zakres pom.* Measurement range [%]	R_o red [%]
1285,0	K ₂	wap	40	10	50			0,38	0,33–0,48	
1808,0	J ₃	wap	40	10	50			0,52	0,46–0,62	
2794,3	J ₁	iłc/psc	60	10	30			0,55	0,58–0,65	0,70
3451,0	T ₃	psc	70	20	10			0,82	0,67–0,92	1,03
3580,1	T ₁	wap/iłc	60	30	20			0,80	0,65–0,90	1,12
3630,0	T ₁	młc	70	20	10			0,84	0,67–0,95	1,06
3716,0	T ₁	wap	60	30	10			0,90	0,73–1,02	1,22
4034,0	Pz	wap	50	20			30	1,00	0,85–1,17	
4300,0	Pz	młc/dol	70	10			20	1,02	0,88–1,20	
4514,7	Cw	iłc	80	15			5	1,22	0,97–1,32	1,53
4537,5	Cw	iłc	65	10		20	5	1,24	1,00–1,34	1,59
4584,0	Cw	iłc	50	20		30		1,15	0,96–1,30	1,54
4648,0	Cw	psc	90	10				1,20	0,98–1,31	1,60
4761,0	Cw	psc	85	5		10		1,25	1,02–1,33	1,64
4855,0	Cw	psc	80	20				1,41	1,20–1,48	1,73
4906,8	Cw	młc	60	10		20	10	1,48	1,32–1,63	2,13

Wit. – wityrynit; iner. – inertynit; lip. – liptynit; aom – asocjacja organiczno-mineralna typu sapropelowego; bit. – bitumin; R_o – średnia refleksyjność wityrynit *in situ*; * współczynnika R_o na macerałach wityrynit; R_o red – średnia refleksyjność wityrynit redeponowanego; K₂ – kreda górna; J₃ – jura górna; J₁ – jura dolna; T₃ – trias górny; T₁ – trias dolny; Pz – perm (cechsztyn); Cw – karbon (westfal); wap – wapień; iłc – iłowiec; młc – mułowiec; dol – dolomit; psc – piaskowiec

Wit. – vitrinite; iner. – inertinite; lip. – liptinite; aom – organo-mineral association of sapropelic type; bit. – bitumen; R_o – random value of *in situ* vitrinite reflectivity; * of reflectivity index of “vitrinite macerals”; R_o red – random value of reworked vitrinite; K₂ – Upper Cretaceous; J₃ – Upper Jurassic; J₁ – Lower Jurassic; T₃ – Upper Triassic; T₁ – Lower Triassic; Pz – Permian (Zechstein); Cw – Carboniferous (Westphalian); wap – limestone; iłc – claystone; młc – mudstone; dol – dolomite; psc – sandstone

Jura

Utwory węglanowe jury górnej, z głęb. 1808,0 m, oraz klastyczne jury dolnej, z głęb. 2794,3 m, zawierają dość liczny materiał organiczny (odpowiednio 0,9 i 2,0% planimetrycznej powierzchni próbek). Ich podstawowym składnikiem (40–60%) są macerały grupy wityrynit (głównie kolotelinit), zarówno *in situ* jak i redeponowane (tab. 24).

Materiał *in situ* ma postać lamin i soczewek o zmiennej grubości (50–40 μm), natomiast materiał redeponowany występuje w postaci okruchów często bardzo silnie zdyspergowanych. Skały te są wyraźnie wzbogacone w macerały grupy liptynit (50–30%), wśród których dominują algi, alginity, bituminit oraz liptodetrynit. Fluoryzują one intensywnie w kolorze żółtym i pomarańczowym. Pewien udział w budowie materii organicznej mają również macerały inertynitu (10%) reprezentowane głównie przez inertodetrynit, fuzynit i semifuzynit.

Dojrzałość termiczna skał zarówno jury górnej, jak i dolnej odpowiada wczesnej fazie generowania ropy naftowej (tab. 24, fig. 28). Pomierzone wartości współczynnika refleksyjności wityrynit wahają się w granicach 0,46–0,65% R_o , przy wartościach średnich rzędu 0,52 i 0,55% R_o , co wskazuje na maksymalne paleotemperature diagenety osadu odpowiadające 60–700°C.

Trias

Skały piaszczyste triasu górnego z głęb. 3451,0 m zawierają niezbyt bogaty materiał organiczny (0,40% planimetrycznej powierzchni próbek). Zdominowany on jest przez macerały grupy wityrynit (70%) (tab. 24), zarówno telinit, jak i kolinit, występujące w postaci lamin i soczewek, a także w formie redeponowanych okruchów.

Grupę inertynitu (20%) reprezentują najczęściej okruchy inertodetrynit bezładnie rozproszone w masie skalnej, rza-

Tabela 25

Analiza mikroskopowa materii organicznej rozproszonej w profilu utworów sylur–kambr

Microscopic analysis of organic matter dispersed in the Silurian–Cambrian deposits

Głęb. Depth [m]	Wiek Age	Litologia Lithology	Wtp. (zoo bit) [%]	Iner. [%]	Aom [%]	R_o [%]	Zakres pom. * Measurement range [%]
4956,2	Sld	iłc	90	10		4,22	2,50–5,70
5005,0	Sld	młc	90	10		4,27	2,60–5,60
5689,5	Sla	młc-	90	10		4,20	2,47–5,80
5733,3	Ok	iłc	80		20	4,30	2,70–6,00
5747,3	Ok	iłc	80		20	4,50	2,60–6,50
5760,8	Ok	iłc	90		10	4,35	2,80–6,10
5832,1	Cm ₂	iłc	80		20	4,90	2,20–6,30

Wtp. – materiał wityrinitopodobny; zoo – zooklasty; bit – bitumin; iner. – inertynit; aom – asocjacja organiczno mineralna typu bitumicznego; R_o – średnia refleksyjność materiału wityrinitopodobnego; * współczynnika R_o ; Sld – sylur (ludlow); Sla – sylur (landower); Ok – ordowik (kat?); Cm₂ – kambr środkowy; iłc – iłowiec; młc – mułowiec

Wtp. – vitrinite-like organic matter; zoo – zooclasts; bit – bitumen; iner. – inertinite; aom – organo-mineral association of bituminous type; R_o – random value of vitrinite-like reflectivity; * of reflectivity index of vitrinite-like macerals; Sld – Silurian (Ludlow); Sla – Silurian (Llandovery); Ok – Ordovician; Cm₂ – Middle Cambrian; iłc – claystone; młc – mudstone

dziej są to horyzontalnie ułożone soczewki fuzynitu i semi-fuzynitu.

Maceraty liptynitu (10%) składają się w głównej mierze ze sporynitu, kutynitu oraz liptodetrynitu. Wykazują one intensywną fluorescencję w kolorze pomarańczowym.

Utwory węglanowe i klastyczne triasu dolnego, z głęb. 3580,1–3716,0 m, zawierają ubogi materiał organiczny (0,10–0,20% planimetrowanej powierzchni próbek). Podstawowym mikrokomponentem jest wityrinit, którego zawartość wynosi przeważnie 60–70%. Jest on w dużej mierze materiałem redeponowanym złożonym z okruchów na ogół słaboobtoczonych o wielkości 5–20 μm . Wityrinit syngenetyczny z osadem (kolinitem) tworzy laminy o grubości zmieniającej się od 2 do 30 μm .

Znaczny udział w składzie organiki redeponowanej ma inertynit (20–30%) zbudowany z fragmentów fuzynitu, semi-fuzynitu i inertodetrynitu.

Maceraty grupy liptynitu występują maksymalnie w ilości 10–20%. Są to głównie fragmenty sporynitu, liptodetrynitu oraz bitumin, fluoryzujące w kolorze pomarańczowo-brunatnym.

Dojrzałość termiczna skał triasu określona na podstawie wskaźnika refleksyjności wityrinitu *in situ* odpowiada głównej fazie generowania ropy naftowej. Pomierzone wartości refleksyjności wahają się od 0,65 do 1,02% R_o , przy wyliczonych średnich wzrastających wraz z głębokością pogrzeżenia od 0,80 do 0,90% R_o . Dane te wskazują na maksymalne paleotemperatury diagenety rzędu 90–1000°C.

Perm

Analizowane klastyczne i węglanowe utwory cechsztynu, z głęb. 4034,0–4300,0 m, zawierają ubogi materiał organiczny (0,20% planimetrowanej powierzchni próbek), którego głów-

nym składnikiem (50–70%) jest wityrinit typu bezpostaciowego kolotelinitu, stałe bituminy (bitumin) (20–30%) oraz maceraty grupy inertynitu (10–20%) reprezentowane głównie przez fuzynit, semifuzynit i inertodetrynit. Występują one najczęściej w postaci cienkich lamin, drobnych soczewek (5–10 μm) oraz wypełnień szczelin (bitumin) (tab. 24).

Dojrzałość termiczna badanych skał odpowiada późnej fazie generowania ropy naftowej z możliwością generowania gazów mokrych i kondensatów (fig. 28). Wartości refleksyjności pomierzone na autogenicznym wityrinitie i bituminie zmieniają się w granicach 0,85–1,20% R_o , przy średniej wielkości współczynnika R_o wynoszącym 1,0–1,02%. Wartości te wskazują na maksymalne paleotemperatury diagenety około 1000°C.

Karbon

Utwory klastyczne westfalu z głęb. 4514,7–4906,8 m zawierają zmienną ilość materii organicznej (0,50–1,70% planimetrowanej powierzchni próbek), której głównym składnikiem są maceraty wityrinitu stanowiące 50–90% materiału organicznego w analizowanych utworach (50–90%) (tab. 24). Współwystępują z nim maceraty grupy inertynitu (5–20%) oraz asocjacja organiczno-mineralna typu bitumicznego (0–30%), a także nieliczne soczewki i laminy stałych bituminów (0–10%).

Wityrinit składa się z kolotelinitu i telinitu impregnowanego żywicami i pirytem, występującymi najczęściej w soczewkach i laminach *in situ*, rzadziej w postaci redeponowanych ostrokrawędzistych okruchów lub słabo obtoczonych ziarn. Soczewki i laminy mają grubość wahającą się od 5 do 300 μm . Materiał redeponowany jest w różnym stopniu rozdrobniony, rozmiary dłuższych osi ziarn zmieniają się od 2 do około 100 μm .

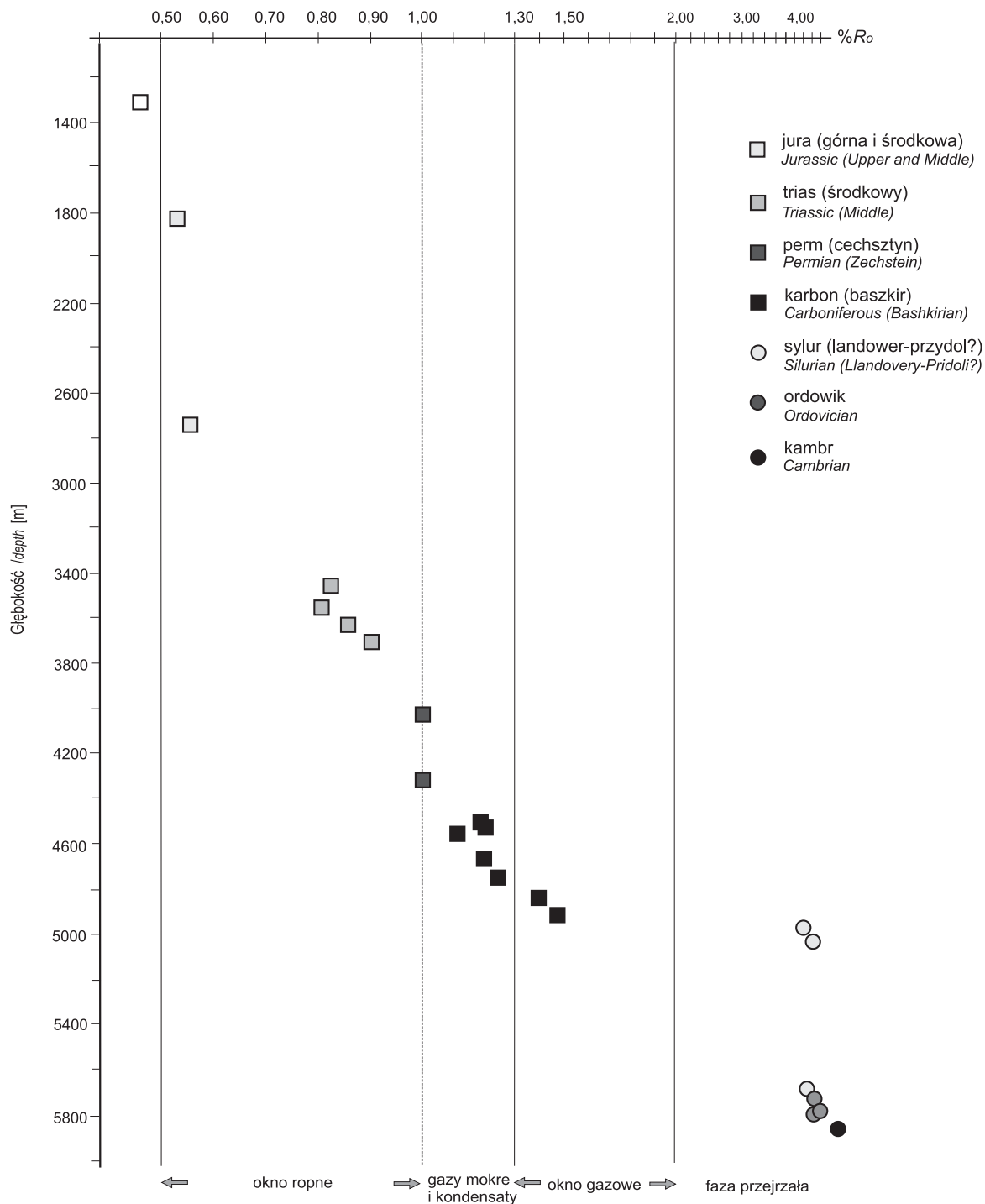


Fig. 28. Zmiany wartości współczynnika refleksyjności wityrynytu w profilu pionowym utworów kreda–kambr

Values of vitrinite reflectance index versus depth in the Cretaceous–Cambrian section

Inertynit reprezentowany jest przeważnie przez redeponowane okruchy inertodetrynytu, nieraz przez fragmenty semifuzynyty i fuzynyty.

Dojrzałość termiczna skał karbonu (westfal) odpowiada głównej fazie generowania gazów. Wielkość współczynnika refleksyjności pomierzona na autogenicznym wityrynycie waha się w granicach 0,96–1,63% R_o , a wyliczone wartości średnie zmieniają się od 1,15 do 1,48% R_o , wykazując generalnie wzrost wraz z głębokością pograżenia. Dane te wskazują

na wysokie maksymalne paleotemperature diagenety rzędu 120–1600°C.

Sylur

Mułowce i iłowce syluru landoweru i ludlowu z głęb. 4956,2–5689,5 m zawierają zmienną ilość materii organicznej, wynoszącą 0,40–0,50% (ludlow) oraz 1,00% (landower) planimetrowanej powierzchni próbek.

Podstawowym mikrokomponentem organicznym utworów syluru jest materiał wityrinitopodobny stanowiący 90% materii organicznej w skale (tab. 25). Reprezentują go stałe bituminy (bitumin), mające najczęściej formę wydłużonych soczewek, lamin i żyłek oraz bardzo liczne fragmenty graptolitów o wielkości dochodzącej do 200 μm . W niewielkiej ilości współwystępują z nimi sfuzynityzowane szczątki organiczne (10%).

Dojrzałość termiczna skał syluru, określona średnią wielkością współczynnika refleksyjności materiału wityrinitopodobnego (4,22–4,27% R_o), odpowiada fazie przejrzalej, a tym samym nieperspektywicznej dla generowania węglowodorów (tab. 25, fig. 28). Zakres pomierzonych wartości współczynnika refleksyjności autogenicznego materiału wityrinitopodobnego zmienia się w szerokim zakresie 2,2–6,3% R_o , co spowodowane jest jego silną anizotropią. Odpowiada to fazie generowania gazów suchych przy maksymalnych paleotemperaturach diagenety powyżej 2000°C (Gaupp, Batten, 1985).

Ordowik

Łowce niższego kat-sandbu i darriwilu z głęb. 5733,3–5760,8 m (tab. 25) są wzbogacone w materię organiczną stanowiącą 1,0–2,1% planimetrowanej powierzchni próbek. Ich podstawowym składnikiem są dość liczne szczątki graptolitów oraz bitumin, których zawartość osiąga 80–90% materiału organicznego w skale. W niewielkiej ilości występują przemazy asocjacji organiczno-mineralnej typu bitumicznego (10–20%).

Ewa KLIMUSZKO

CHARAKTERYSTYKA GEOCHEMICZNA MATERII ORGANICZNEJ

W otworze Bodzanów IG 1 badania geochemiczne materii organicznej przeprowadzone były dla utworów paleozoiku: kambru, ordowiku (kat-sandb), syluru (landower, wenlok, ludlow), permu, a także utworów mezozoiku: triasu dolnego, środkowego i górnego, jury dolnej, środkowej i górnej, a także kredy dolnej i górnej.

Wykonano oznaczenia zawartości węgla organicznego, ilościowe oznaczenie bituminów, podział wydzielonych bituminów na poszczególne frakcje (węglowodory nasycone, aromatyczne, asfalteny i żywice).

Słaboprzebadane utwory kambru w otworze Bodzanów IG 1 zawierają niewielką ilość węgla organicznego średnio 0,10% (0,11–0,09%). Ilość bituminów wydzielonych z tych skał jest bardzo mała (tab. 26). Ilaste utwory mogą być uznane za „słabe” skały macierzyste dla generowania węglowodorów (Peters, 1986).

Utwory ordowiku (kat-sandb) zawierają podwyższoną ilość węgla organicznego pozwalającą określić te skały jako „dobre” a nawet „bardzo dobre” skały macierzyste dla generowania węglowodorów (śr. 2,09%) według ustalonego kry-

terium (Espitalié i in., 1977; Peters i in., 1983), (tab. 26, fig. 29). Ilość składników labilnych w tych utworach jest mała (tab. 26). Udział węglowodorów w bituminach wydzielonych jest niższy niż udział frakcji asfaltenów i żywic. Przeważająca jest procentowa zawartość węglowodorów nasyconych nad ilością węglowodorów aromatycznych (tab. 26).

Kambr

Łowce kambru środkowego z głęb. 5832,1 m zawierają śladową ilość wityrinitopodobnej materii organicznej reprezentowanej przez nieliczne ciała stałych bituminów ze śladami odgazowania oraz zwityrinityzowane szczątki organiczne (głównie trylobity) osiągające 80% materii organicznej w skale (tab. 25). Obserwuje się również drobne (5–8 μm), silnie zdyspergowane ziarna bituminu tworzące z materiałem ilastym asocjację organiczno-mineralną typu bitumicznego (20%), występującą w postaci smug i gniazdowych skupień.

Dojrzałość termiczna skał środkowego kambru, określona średnią wartością współczynnika refleksyjności składników wityrinitopodobnych i wynoszącą 4,90% R_o (przy rozrzucie wyników 2,2–6,3% R_o), wskazuje na tzw. przejrzalą fazę, nieperspektywiczną z punktu widzenia generowania węglowodorów.

Szczegółowe badania frakcji węglowodorów nasyconych metodą chromatografii gazowej, pozwalające na oznaczenie zawartości poszczególnych n-alkanów i węglowodorów izoprenoidowych, przeprowadzone były dla wytypowanych próbek z badanych utworów. Badania biomarkerów określające typ genetyczny, stopień przeobrażenia i środowisko depozycji materii organicznej w rozszerzonym zakresie były przeprowadzone jedynie dla nielicznych próbek z utworów ordowiku i syluru.

Analizy geochemiczne do tego opracowania wykonywane były w Centralnym Laboratorium Chemicznym PIG.

ILOŚĆ OZNACZONEJ MATERII ORGANICZNEJ

W utworach dolnego syluru (landower) ilość węgla organicznego i bituminów jest mała (tab. 26, fig. 29). W utworach syluru (wenlok) ilość węgla organicznego średnio wynosi 0,24% (0,70–0,09%). Można stwierdzić, że

Tabela 26

Dane geochemiczne
Geochemical data

Głęb. Depth [m]	Stratygrafia Stratigraphy	Litologia Lithology	Zawartość bituminów Bitumen content [%]	Zawartość C _{org.} C _{org.} content [%]	Zawartość węglowodorów w bituminach Hydrocarbons in bitumens [%]	Zawartość węglowodorów w skale Hydrocarbons content in rock [%]	Zawartość węglowodorów nasyconych Saturated hydrocarbons [%]	Zawartość węglowodorów aromatycznych Aromatic hydrocarbons [%]	Zawartość żywic i asfaltenu Resins and asphaltenes [%]	Współczynnik migracji Migration coefficient
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1285,0	K ₂	WAP	0,010	0,01	8	0,001	2	6	92	0,100
1473,0	K ₁	PSC	0,006	0,01	25	0,002	20	5	75	0,200
1602,0	K ₁	PSC	0,004	0,10	23	0,001	14	9	77	0,010
1808,0	J ₃	WAP	0,017	0,60	24	0,004	17	7	76	0,007
1974,0	J ₃	MRL	0,014	0,10	30	0,004	20	10	70	0,040
2106,0	J ₃	WAP	0,013	0,01	24	0,003	17	7	76	0,300
2381,5	J ₂	PSC	0,036	0,10	37	0,013	13	24	63	0,130
2470,0	J ₂	AND	0,033	0,10	47	0,015	18	29	53	0,150
2632,0	J ₁	PSC	0,066	0,40	34	0,022	16	18	66	0,055
2638,0	J ₁	PSC	0,020	0,10	18	0,004	12	6	82	0,040
2794,3	J ₁	ILC+PS	0,067	1,90	15	0,010	7	8	85	0,005
2891,0	J ₁	PSC	0,041	0,10						
3042,0	T ₃	MLC	0,051	0,01	33	0,017	14	19	67	1,700
3238,0	T ₃	PSC	0,008	0,01	41	0,003	27	14	59	0,300
3348,0	T ₃	ILC	0,011	0,21	17	0,002	11	6	83	0,010
3445,0	T ₂	PSC	0,043	0,30	17	0,007	3	14	83	0,023
3451,0	T ₂	PSC	0,023	0,30	19	0,004	6	13	81	0,013
3525,0	T ₂	WAP	0,017	0,01	15	0,003	11	4	85	0,300
3580,0	T ₁	WAP+IL	0,050	0,20	18	0,009	3	15	82	0,045
3630,0	T ₁	MLC	0,511	0,10	29	0,148	19	10	71	1,480
3716,0	T ₁	WAP	0,060	0,20	44	0,026	13	31	56	0,130
3804,0	T ₁	MLC	0,033	0,01	25	0,008	8	17	75	0,800
3880,0	T ₁	MLC	0,018	0,10	33	0,006	5	28	67	0,060
4025,0	T ₁	WAP	0,034	0,10	54	0,018	46	8	46	0,180
4034,0	Cechsztyń	WAP	0,011	0,26	33	0,003	24	9	67	0,012
4073,2	Cechsztyń	MLC	0,016	0,10	44	0,007	33	11	56	0,070
4074,0	Cechsztyń	SOL	0,011		15	0,002	4	11	85	
4188,4	Cechsztyń	AND	0,002	0,01						
4297,7	Cechsztyń	DOL	0,012	0,10	20	0,002	15	5	80	0,020
4300,0	Cechsztyń	MLC+DL	0,009	3,06	55	0,005	16	39	45	0,002
4312,0	Cechsztyń	AND	0,004	0,01	30	0,001	20	10	70	0,100
4471,5	Cechsztyń	AND+IL	0,007	0,19	23	0,002	20	3	77	0,010
4484,2	Cechsztyń	DOL	0,009	1,45						
4489,95	Cechsztyń	ZLP	0,061	0,60	68	0,040	42	26	32	0,067
4490,0	Cechsztyń	ZLP	0,010	1,16	44	0,004	22	22	56	0,003
4492,8	Cz. spąg.	ZLP	0,007		50	0,004	31	19	50	

Tabela 26 cd.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4500,3	Cz. spąg.	ZLP	0,009	0,10	56	0,005	38	18	44	0,050
4507,0	Cz. spąg.	ZLP	0,008		43	0,003	29	14	57	
4508,6	C	PSC	0,029	0,10	74	0,021	19	55	26	0,210
4509,0	C	MLC	0,034							
4510,4	C	ILC	0,003		31	0,001	21	10	69	
4514,7	C	ILC	0,115							
4518,0	C	MLC	0,047	0,10	36	0,017	4	32	64	0,170
4518,4	C	ILC	0,006	0,10	48	0,003	25	23	52	0,030
4524,8	C	MLC	0,005	0,10	11	0,001	8	3	89	0,010
4525,2	C	ILC	0,002	0,10						
4537,5	C	ILC	0,010	0,20	45	0,005	31	14	55	0,025
4552,8	C	ILC	0,019	0,76	55	0,007	16	39	45	0,009
4584,0	C	ILC	0,257		25	0,064	8	17	75	
4615,2	C	MLC	0,012	0,36	55	0,007	26	29	45	0,019
4646,5	C	MLC		0,13						
4707,5	C	PSC		1,47						
4761,0	C	PSC	0,010		24	0,002	13	9	78	
4824,5	C	ILC	0,011	0,09						
4857,3	C	ILC	0,021	1,17	54	0,012	24	30	46	0,010
4968,2	Sld	ILC	0,006	0,29	63	0,004	39	24	37	0,001
5077,2	Sld	ILC	0,006	0,26						
5141,2	Sld	ILC	0,006	0,14						
5400,5	Sw	ILC	0,008	0,09						
5464,0	Sw	MLC	0,008	0,09						
5572,2	Sw	ILC	0,010	0,09						
5627,3	Sw	ILC	0,027	0,70	82	0,022	60	22	18	0,015
5686,2	Sla	ILC	0,009	0,27	68	0,010	40	28	32	0,037
5713,2	Okat-sandb	ILC	0,011	3,53	44	0,005	33	11	56	0,001
5720,2	Okat-sandb	ILC	0,011	1,26	45	0,005	33	12	55	0,004
5747,2	Okat-sandb	ILC	0,007	1,47						
5752,9	Cm	ILC	0,010	0,09						
5834,8	Cm	ILC	0,005	0,11						

Litologia: PSC – piaskowiec; MLC – mułowiec; ILC – iłowiec; ZLP – zlepieniec; PSC+ML – piaskowiec+mułowiec; PSC+IL – piaskowiec+iłowiec; MLC+IL – mułowiec+iłowiec; WAP – wapień; DOL – dolomit; AND – anhydryt; SOL – sól; Cz. spąg – czerwony spągowiec; C – karbon; Sld – sylur (ludlow); Sw – sylur (wenlok); Sla – sylur (landower)

Zawartość bituminów [%] – zawartość bituminów wydzielonych z próbki skały [% wag.];

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

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

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

Żywiec i asfalteny w bituminach [%] – udział procentowy żywicy i asfaltenów w bituminach wydzielonych z próbki skalnej;

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

Lithology: PSC – sandstone; MLC – mudstone; ILC – claystone; ZLP – conglomerate; PSC+ML – sandstone+mudstone; PSC+IL – sandstone+claystone; MLC+IL – mudstone+claystone; WAP – limestone; Dol – dolomite; AND – anhydrite; SOL – salt; Cz. spąg – Rotliegend; C – Carboniferous; Sld – Silurian (Ludlow); Sw – Silurian (Wenlock); Sla – Silurian (Llandovery)

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

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

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;

Resins and asphaltens [wt] – composition of resins and asphaltens in bitumens extracted from rock;

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

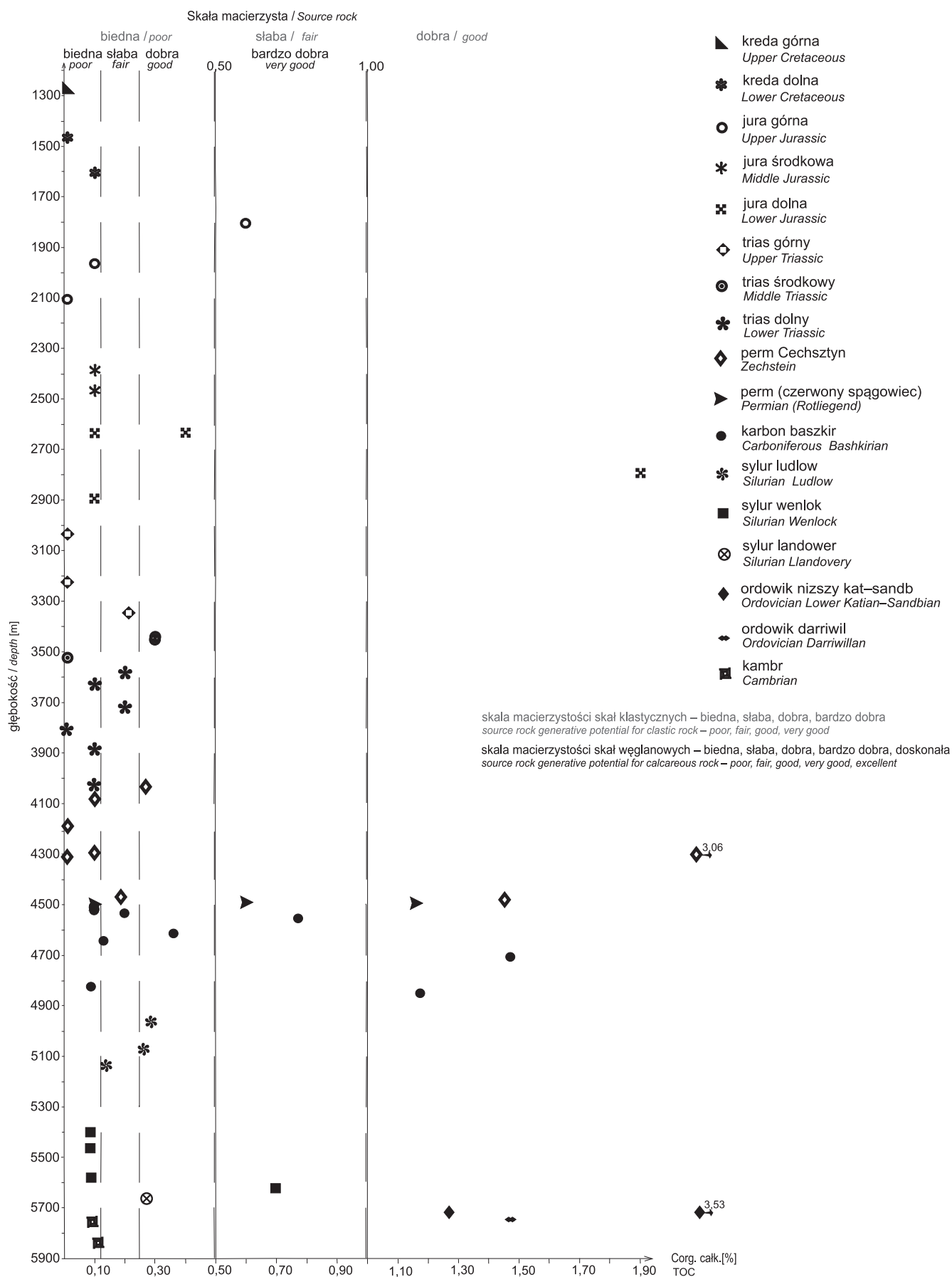


Fig. 29. Zawartość procentowa węgla organicznego w utworach paleozoiku i mezozoiku w zależności od głębokości. Ocena macierzystości skał wg Peters'a (1986)

TOC (%) content in Paleozoic and Mesozoic sediments versus depth. Assessment of source rock quality after Peters (1986)

utwory te są „biednymi” i „słabymi” skałami macierzystymi do generowania węglowodorów (tab. 26, fig. 29). Zawartość składników labilnych w tych utworach jest nieznacznie zróżnicowana od 0,027 w spągu do 0,008% w stropie. W bituminach jest wysoki udział węglowodorów, w których jest wyraźna przewaga węglowodorów nasyconych nad aromatycznymi (fig. 30). Wartość współczynnika migracji dla bituminów występujących w utworach wenloku wskazuje, że są one syngenetyczne z osadem (tab. 26); (Gondek, 1980).

W utworach syluru (ludlow) ilość węgla organicznego średnio wynosi 0,23% (tab. 26, fig. 29). Można sądzić, że utwory te są „biednymi” skałami macierzystymi do generowania węglowodorów (tab. 26). Zawartość składników labilnych w tych utworach jest mała 0,006%. W bituminach jest wysoki udział węglowodorów, w których jest przewaga węglowodorów nasyconych nad aromatycznymi (fig. 30).

Utwory górnego karbonu (baszkir) nie zawierają dużej ilości węgla organicznego średnio 0,37% (tab. 26, fig. 29). Występują jednak w tych utworach punktowe wzbogacenia w węgiel organiczny (1,17–1,47%). Te klastyczne utwory można w zasadzie określić jako „biedne” skały macierzyste do generowania węglowodorów.

W utworach tych ilość bituminów jest także zróżnicowana waha się od 0,257 do 0,002% (tab. 26). Udział węglowodorów w bituminach wynosi od 74 do 11%, a rozmieszczony jest w całym pionowym profilu tych utworów (tab. 26). Skład węglowodorów także jest zróżnicowany, w części bituminów dominuje frakcja węglowodorów nasyconych nad frakcją węglowodorów aromatycznych natomiast w niektórych bituminach występuje przewaga węglowodorów aromatycznych nad węglowodorami nasyconymi. W górnych partiach utworów bituminy charakteryzują się wysokim współczynnikiem migracji (tzn. stosunkiem ilości węglowodorów w skale do ilości węgla organicznego w skale, Gondek, 1980). Można więc sądzić, że te bituminy są epigenetyczne z osadem. Uwzględniając wartość współczynnika migracji dla tych bituminów, a także przewagę frakcji węglowodorów aromatycznych nad węglowodorami nasyconymi można uważać, że jest to pozostałość po migracji składników labilnych.

W zlepieńcach czerwonego spągowca ilość węgla organicznego również jest zróżnicowana, mała w spągu i podwyższona w stropie utworów (śr. 0,62%); (tab. 26). Ilość bituminów w tych utworach jest mała, wyjątkiem jest ilości bituminów w stropie pionowego profilu, wyraźnie podwyższona. Składniki labilne ze stropu utworów permu dolnego mają duży udział węglowodorów z przewagą frakcji węglowodorów nasyconych. Bituminy te mają wysoki współczynnik migracji co sugeruje, że są one epigenetyczne z osadem.

W utworach cechsztynu zawartość węgla organicznego jest mała (0,1%) lub śladowa, jednocześnie punktowo wy-

stępuje podwyższona ilość C_{org} (3,06% i 1,45%); (tab. 26, fig. 29). Utwory permu górnego można uznać jako „biedne” i „słabe” skały macierzyste do generowania węglowodorów. W utworach tych ilość bituminów jest niewielka (0,016–0,004%); (tab. 26). Zawierają one 55–15% węglowodorów, ilość żywici i asfaltenów jest także zróżnicowana. W składzie węglowodorów przeważają węglowodory aromatyczne nad nasyconymi lub węglowodory nasycone nad aromatyczne (fig. 30).

Utwory triasu dolnego zawierają małą ilość węgla organicznego (śr. 0,12%). Uwzględniając typ sedimentacji osadów i ilość w nich węgla organicznego, można określić te utwory jako „biedne” i „słabe” skały macierzyste do generowania węglowodorów (fig. 29). Ilość bituminów jest pod-

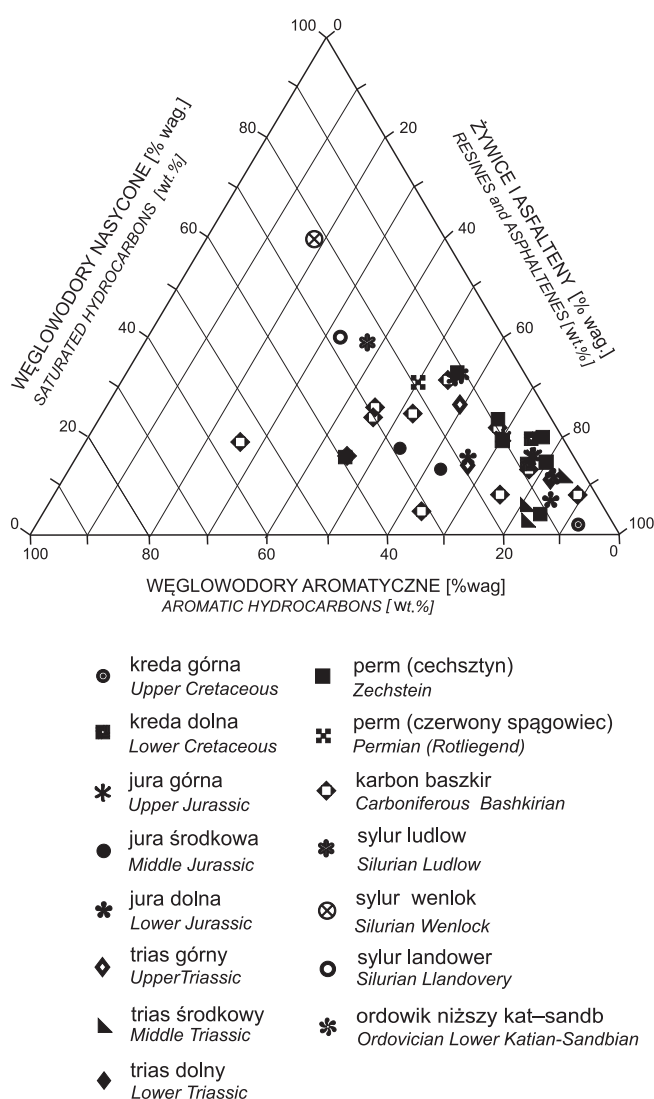


Fig. 30. Diagram trójkątny składu grupowego bituminów z utworów paleozoiku i mezozoiku

Triangular diagram showing proportions of the fractions of saturated hydrocarbons, aromatic hydrocarbons and asphaltenes or resins in the bitumens extracted from the Paleozoic and Mesozoic sediments

wyższona, a w górnych partiach wysoka (tab. 26). Udział węglowodorów jest zróżnicowany od 14 do 43%. W składzie węglowodorów przeważają węglowodory aromatyczne nad nasyconymi (tab. 26, fig. 30). Wartość współczynnika migracji składników labilnych w górnych partiach utworów wskazuje, że są one epigenetyczne z osadem.

W utworach triasu środkowego ilość węgla organicznego jest mała w spągu utworu śladowa (tab. 26, fig. 29). Ilość bituminów jest podwyższona śr. 0,028%, zwiększa się ku stropowi. Udział węglowodorów w bituminach jest mały (15–19%). W składzie węglowodorów występujących w spągu węglanowych utworów w przewodzie występują węglowodory nasycone nad aromatycznymi (tab. 26). Uwzględniając wartość współczynnika migracji tych bituminów, można sądzić, że są to związki epigenetyczne z osadem.

W składzie węglowodorów w wyższych partiach klastycznych utworów dominują węglowodory aromatyczne nad węglowodorami nasyconymi (fig. 30).

Utwory triasu górnego są ubogie w węgiel organiczny. W górnych partiach utworów ilość C_{org} jest śladowa (tab. 26, fig. 29). Ilość bituminów jest zróżnicowana, mała w dolnych partiach utworów, podwyższona w stropie utworów (tab. 26). Zróżnicowany jest także udział węglowodorów w tych bituminach, mały w spągu utworów wyższy w górnych partiach profilu. W niższych partiach utworów w składzie węglowodorów jest przewaga węglowodorów nasyconych nad aromatycznymi. W węglowodorach w stropie utworów większy jest udział węglowodorów aromatycznych niż węglowodorów nasyconych (fig. 30).

Wartość współczynnika migracji dla bituminów z wyższych partii utworów jest wysoka, co sugeruje, że są one epigenetyczne z osadem (tab. 26).

W utworach jury dolnej ilość węgla organicznego jest bardzo zróżnicowana od 0,1 do 1,90%. Maksymalna ilość C_{org} występuje punktowo w centralnej części utworów w pionowym profilu (tab. 26, fig. 29). Zawartość bi-

tuminów wynosi średnio 0,048%. Udział węglowodorów w bituminach jest także zróżnicowany, ale jest on niewysoki (34–15%); (tab. 26). W składzie węglowodorów frakcja węglowodorów aromatycznych jest w nieznacznej przewadze nad węglowodorami nasyconymi lub węglowodory nasycone są w większej ilości niż aromatyczne (fig. 30). Wartość współczynnika migracji składników labilnych z piaskowców z górnych części profilu pozwala uznać te związki za epigenetyczne z osadem.

Utwory jury środkowej zawierają małą ilość węgla organicznego (0,10%); (fig. 29). Ilość bituminów jest podwyższona śr. 0,034% (tab. 26). Udział węglowodorów w tych bituminach waha się od 37 do 47%, a w składzie węglowodorów dominują węglowodory aromatyczne nad nasyconymi (fig. 30).

Wartość współczynnika migracji bituminów pozwala sądzić, że są one epigenetyczne z osadem.

Utwory jury górnej mają bardzo zróżnicowaną zawartość węgla organicznego od śladowej ilości w spągu utworów (0,01%) do 0,60 % w stropie utworów. Ilość bituminów jest mała (śr. 0,015%), a udział w nich węglowodorów jest nieduży od 24 do 30%. W składzie węglowodorów dominuje frakcja węglowodorów nasyconych nad frakcją węglowodorów aromatycznych. W dolnych partiach utworów wartość współczynnika migracji bituminów sugeruje, że są one epigenetyczne z osadem (tab. 26).

W piaskowcach kredy dolnej ilość węgla organicznego jest mała, waha się od 0,10% do ilości śladowej (fig. 29), również mała jest ilość bituminów (śr. 0,005%); (tab. 26). Udział węglowodorów w bituminach jest mały ok. 25%. W składzie węglowodorów w przewodzie są węglowodory nasycone nad aromatycznymi (fig. 30).

Słabo przebadane utwory kredy górnej zawierają małą ilość węgla organicznego i małą ilość bituminów (tab. 26, fig. 29). W bituminach jest bardzo mały udział węglowodorów, w których w większej ilości występuje frakcja węglowodorów aromatycznych nad węglowodorami nasyconymi (fig. 30).

ŚRODOWISKO DEPOZYCJI MATERII ORGANICZNEJ, JEJ TYP GENETYCZNY I STOPIEŃ DOJRZAŁOŚCI

Analiza n-alkanów wykazała, że w otworze Bodzanów IG 1 w utworach ordowiku (kat-sandb) obecne są w dużej ilości związki o parzystej liczbie węgli w cząsteczce od 22 do 26 pochodzące od kwasów tłuszczowych, jak również n-alkan C_{23} , co świadczy o dużej ilości alg (fig. 31A); (Tissot, Welte, 1978).

W wyższych partiach utworów w materii organicznej występują głównie n-alkany C_{21} i C_{19} , jak również C_{18} i C_{20} jednocześnie w dużej ilości występuje węglowodór izoprenoidowy i- C_{20} (fitan), co sugeruje, że w basenie sedymentacyjnym panowały redukcyjne warunki środowiska (Didyk i in., 1978) i że w tej materii organicznej następowała biodegradacja (Maliński, Witkowski, 1988); (fig. 31B).

Dominująca ilość węglowodorów izoprenoidowych w stosunku do ilości n-alkanów współwystępujących w materii organicznej jest wynikiem zjawiska biodegradacji w tych utworach, gdyż n-alkany są związkami najwrażli-

szymi na biodegradację wśród grupy biomarkerów (Connan, 1984). Stosunek ilościowy węglowodorów izoprenoidowych (Pr/Ph) potwierdza, że materia organiczna osadzała się w warunkach redukcyjnych (tab. 27).

Współczynnik CPI (*Carbon Preference Index*) czyli wskaźnik preferencji współwystępujących n-alkanów wykorzystywany jest do wstępnego określenia typu genetycznego, jak również stopnia przeobrażenia materii organicznej. W pracy wykorzystano system przeliczania wartości CPI_{Tot} , CPI_{17-23} i CPI_{25-31} wg Kotarby i in. (1994).

Dystrybucja n-alkanów wykazała, że materia organiczna występująca w utworach dolnego syluru (landower) zawiera związki o 21, 22 i 24 węglach w łańcuchu. Obecność związków o parzystej liczbie wyższej niż 20 węgli w cząsteczek sugeruje, że w materii organicznej zachodziło zjawisko biodegradacji (Seifert, Moldovan, 1979) (fig. 32A). Występowanie związków zawierających dłuższe łańcuchy węglowe

w utworach dolnego syluru świadczy o nietypowych zjawiskach jakie miały wpływ na skład związków obecnych w tej materii organicznej. Stosunek ilościowy węglowodorów izoprenoidowych (Pr/Ph) pozwala sądzić, że materia organiczna osadzała się w warunkach redukcyjnych (tab. 27).

Wartość współczynników CPI wyliczona z dystrybucji n-alkanów wydzielonych z materii organicznej z utworów dolnego syluru wskazuje, że jest ona dobrze przeobrażona. Wartość CPI zbliżona jest do jedności (tab. 27).

Zjawisko biodegradacji przedstawia rozkład n-alkanów z materii organicznej z utworów syluru – ludlowu (fig. 32B).

Dystrybucja n-alkanów z materii organicznej z utworów górnego karbonu (baszkir) wykazała obecność dużej ilości związków o długich łańcuchach węglowych co świadczy o występowaniu w materii głównie materiału terygenicznego. Materiał typu humusowego jest na różnym stopniu przeobrażenia. Stwierdzono dużą ilość n-alkanu C_{25} charakterystycznego dla materiału, który był dostarczony do basenu sedimentacyjnego już dobrze przeobrażony jak również n-alkany C_{27} i C_{29} pochodzące z rozkładu roślin wyższych, a świadczących o słabym przeobrażeniu materii (Maliński, Witkowski 1988); (fig. 33A,B). W tych utworach w materii organicznej występuje także materiał pochodzący z rozpadu bakterii i alg, o czym świadczy obecność n-alkanów C_{20} , C_{18} , C_{21} i C_{23} . Duża ilość węglowodorów izoprenoidowych w stosunku do ilości n-alkanów współwystępujących w materii organicznej sugeruje, że zachodziło zjawiska biodegradacji w tych utworach. Stosunek ilościowy węglowodorów izoprenoidowych (Pr/Ph) potwierdza, że materia organiczna osadzała się w warunkach redukcyjnych (tab. 27).

Wartość współczynników CPI wyliczona z dystrybucji n-alkanów wydzielonych z materii organicznej z utworów karbonu wskazuje, że jest na średnim stopniu dojrzałości (tab. 27).

W wyższych partiach utworów karbonu materia organiczna pochodzi głównie z rozpadu alg i bakterii z dużą ilością dobrze przeobrażonego materiału terygenicznego o czym świadczy obecność n-alkanów C_{20} , C_{23} i C_{25} (fig. 34A).

Dystrybucja n-alkanów z utworów niższego permu wykazuje obecność głównie związków o krótkich łańcuchach węglowych C_{17} , C_{18} , C_{19} i C_{20} co świadczy o pochodzeniu materii organicznej z rozpadu alg i bakterii na dość wysokim stopniu przeobrażenia, co potwierdza wartość wskaźnika CPI (tab. 27). Związki o długich łańcuchach węglowych występują w mniejszej ilości (fig. 34B). Stosunek ilości węglowodorów izoprenoidowych (Pr/Ph) sugeruje, że materia organiczna osadzała się w warunkach redukcyjnych (tab. 27).

W utworach z głęb. 4297,0 m stwierdzono występowanie w dużej ilości materiału terygenicznego dobrze przeobrażonego, o czym świadczy obecność n-alkanu C_{25} (fig. 36A). Dystrybucja n-alkanów z materii organicznej w utworach cechsztynu wykazała obecność w dużej ilości związków o krótkich łańcuchach węglowych (maksimum związków C_{20} , C_{18}), współwystępują również związki mające 17 i 19 węgla w cząsteczce, czyli materia jest typu sapropelowego (fig. 35A,B; 36B).

Stosunek ilościowy węglowodorów izoprenoidowych (Pr/Ph) w przebadanych próbkach pozwala sądzić, że materia

organiczna osadzała się w warunkach redukcyjnych (tab. 27). Wartość wskaźników CPI_{Tot} , CPI_{17-23} , CPI_{25-31} ze względu na dużą ilość n-alkanów o parzystej liczbie węgla w cząsteczce jest poniżej jedności, co nie pozwala określić stopnia przeobrażenia materii (tab. 27).

Przebieg krzywej dystrybucji n-alkanów z materii organicznej z utworów triasu dolnego jest regularny co sugeruje współwystępowanie materiału typu sapropelowego i humusowego w podobnej ilości (fig. 37A). Wartości wskaźników CPI podobnie jak w przypadku danych z cechsztynu są poniżej jedności, co utrudnia określenie dojrzałości badanej materii (tab. 27).

W przypadku utworów triasu środkowego materia organiczna jest typu humusowego, o czym świadczy głównie obecność związków o długich łańcuchach węglowych (max. C_{29}); (fig. 37B). Stopień przeobrażenia tej materii organicznej jest niski (tab. 27).

Dystrybucja n-alkanów z utworów triasu górnego wykazuje, że w maksymalnej ilości obecny jest n-alkan C_{23} pochodzący z rozpadu alg. W materii organicznej występuje także n-alkan C_{31} pochodzący z rozkładu roślin wyższych. Obecność obu tych związków świadczy o słabym przeobrażeniu materii. W badanej materii organicznej występuje też w dużej ilości n-alkan C_{25} reprezentujący materiał terygeniczny dobrze przeobrażony, który jest materiałem allochtonicznym w osadzie (fig. 38A).

Wartość wskaźników CPI_{Tot} , CPI_{17-23} , CPI_{25-31} wskazuje na niski stopień dojrzałości materii organicznej (tab. 27).

W materii organicznej z utworów jury dolnej dystrybucja n-alkanów przedstawia obraz, że głównie występują związki zawierające 25, 27 i 29 węgla w łańcuchu. Taki rozkład n-alkanów sugeruje, że badana materia pochodzi z rozpadu roślin wyższych na różnym stopniu przeobrażenia (fig. 38B).

Wartość wskaźników CPI_{Tot} , CPI_{17-23} , CPI_{25-31} wskazuje, że podobnie jak w przypadku materii z utworów górnego triasu, w niższych partiach utworów jury dolnej materia jest na niskim stopniu przeobrażenia (tab. 27).

Materia organiczna z wyższych partii utworów jury dolnej i z utworów jury górnej pochodzi głównie z rozkładu bakterii, o czym świadczy obecność n-alkanów C_{18} i C_{20} w ilości maksymalnej, ale także w dużej ilości jest obecny n-alkan C_{19} pochodzący z rozkładu alg (fig. 39A,B).

Wartości wskaźników CPI są poniżej jedności co utrudnia określenie dojrzałości badanej materii (tab. 27).

Dystrybucja n-alkanów z utworów dolnej kredy wykazuje, że główny składnikiem jest n-alkan C_{23} pochodzący z rozpadu alg słabo przeobrażony. W masie związków duża jest ilość n-alkanu C_{25} pochodząca z rozpadu materiału terygenicznego dobrze przeobrażonego. Występują także związki C_{22} , C_{24} i C_{26} łączone z rozpadem kwasów tłuszczowych (fig. 40).

Badania związków z grupy terpanów w utworach ordo-wiku (kat-sandb) wykazały, że materia organiczna w nich jest silnie przeobrażona. Wartość wskaźnika wyliczanego ze stosunku trisnorhopanów $T_s/(T_s+T_m)$ dla materii organicznej występującej w tych utworach pozwala sądzić, że materia organiczna w nich występująca jest przeobrażona. Wartość stosunku C_{30} H-hopanu ($17\alpha 21\beta$ -hopan) do hopanu $17\beta 21\alpha$ (H) (moretan) świadczy o wysokim stopniu dojrza-

Tabela 27

Wskaźniki geochemiczne dla bituminów z utworów paleozoiku i mezozoiku

Geochemical data for bitumens in Paleozoic and Mesozoic sediments

Głęb. Depth [m]	Stratygrafia Stratigraphy	Litologia Lithology	Pr/Ph	Pr/n-C ₁₇	Ph/n-C ₁₈	CPI _{Tot}	CPI ₁₇₋₂₃	CPI ₂₅₋₃₁	n-Cmax
5720,2	Okat–sandb.	ILC	0,43	0,58	0,85	1,05	0,97	1,23	C ₂₄
5713,2		ILC	0,44	0,77	1,39	1,10	0,99	1,56	C ₂₁ , C ₁₉
5627,3	Sla	ILC	0,42	0,34	0,63	1,05	0,99	1,25	C ₂₁
4968,2	Sld	ILC	1,41	n.oz.	n.oz.	bd	bd	bd	C ₃₁
4857,5	Cbaszkir	ILC	0,39	0,56	1,07	1,09	0,98	1,32	C ₂₄ , C ₂₃
4761,0		PSC	n.oz.	n.oz.	n.oz.	bd	bd	bd	C ₂₅ , C ₂₆ , C ₂₈ , C ₂₉
4584,0		ILC	n.oz.	n.oz.	n.oz.	bd	bd	bd	C ₂₃
4552,8		ILC	0,27	0,32	1,13	1,04	0,94	1,52	C ₂₄ , C ₂₅
4490,0	P _z	ZLP	0,51	0,50	0,83	0,98	0,88	1,36	C ₁₈
4489,9		ZLP	0,75	0,64	1,04	1,03	0,96	1,20	C ₂₀
4300,0		ML+DOL	0,75	0,64	1,04	1,03	0,96	1,20	C ₁₇
4297,0		DOL	bd	bd	bd	0,86	0,72	1,08	C ₁₈ , C ₂₂
4034,0		WAP	0,77	0,54	0,77	1,23	0,90	1,23	C ₁₈ , C ₁₇
3716,0	T ₁	WAP	2,43	bd	bd	0,94	0,83	1,06	C ₂₅
3525,0	T ₂	WAP	n.oz.	n.oz.	n.oz.	1,06	1,37	0,97	C ₂₉
3238,0	T ₃	PSC	n.oz.	n.oz.	n.oz.	1,21	0,96	1,20	C ₂₃
2794,3	J ₁	ILC	0,28	bd	bd	1,29	0,96	1,60	C ₂₅
2632,0		PSC	0,72	bd	bd	0,62	0,43	1,01	C ₁₈
1808,0	J ₃	WAP	n.oz.	n.oz.	n.oz.	0,71	0,49	1,24	C ₁₈
1473,0	K ₁	PSC	n.oz.	n.oz.	n.oz.	bd	bd	bd	C ₂₄

Pr/Ph – stosunek pristanu (Pr) do fitanu (Ph);

CPI_(Tot) – wartość współczynnika CPI (Carbon Preference Index) dla n-alkanów od 17 do 31 węgli wg. Kotarby i in. (1994);

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

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

CPI₍₁₇₋₂₃₎ – wartość współczynnika CPI wyliczonego dla n-alkanów zawierających od 17 do 23 węgli wg. Kotarby i in. (1994)

$$CPI_{(25-31)} = \frac{(C_{25}+C_{27}+C_{29}) + (C_{27}+C_{29}+C_{31})}{2(C_{26}+C_{28}+C_{30})}$$

CPI₍₂₅₋₃₁₎ – wartość współczynnika CPI wyliczonego dla n-alkanów zawierających od 25 do 31 węgli wg. Kotarby i in. (1994)

n-Cmax – n-alkan z maksymalną zawartością

Stratygrafia: O kat–sandb – ordowik (kat–sandb); Sla – sylur (landower); Sld – sylur (ludlow); Cbaszkir – karbon (baszkir); Pcs – perm (czerwony spągowiec); P_z – perm (cechsztyń); T₁ – trias dolny; T₂ – trias środkowy; T₃ – trias górny; J₃ – jura górna; K₁ – kreda dolna;

Pr/Ph – pristane (Pr) to phytane (Ph) ratio;

CPI_(Tot) – CPI coefficient value (Carbon Preference Index) for n-alkanes C₁₇–C₃₁ after Kotarba *et al.* (1994);

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

CPI₍₁₇₋₂₃₎ – CPI coefficient value (Carbon Preference Index) for 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₎ – CPI coefficient value (Carbon Preference Index) for n-alkanes C₁₇–C₂₃ after Kotarba *et al.* (1994)

$$CPI_{(25-31)} = \frac{(C_{25}+C_{27}+C_{29}) + (C_{27}+C_{29}+C_{31})}{2(C_{26}+C_{28}+C_{30})}$$

n-Cmax. – n-alkane maximum content;

Stratigraphy: O kat–sandb – Ordovician (Katian–Sandbian); Sla – Silurian (Llandovery); Sld – Silurian (Ludlow); Cbaszkir – Carboniferous (Bashkiran); Pcs – Permian (Rotliegend); P_z – Permian (Zechstein); T₁ – Lower Triassic; T₂ – Middle Triassic; T₃ – Upper Triassic; J₃ – Upper Jurassic; K₁ – Lower Cretaceous

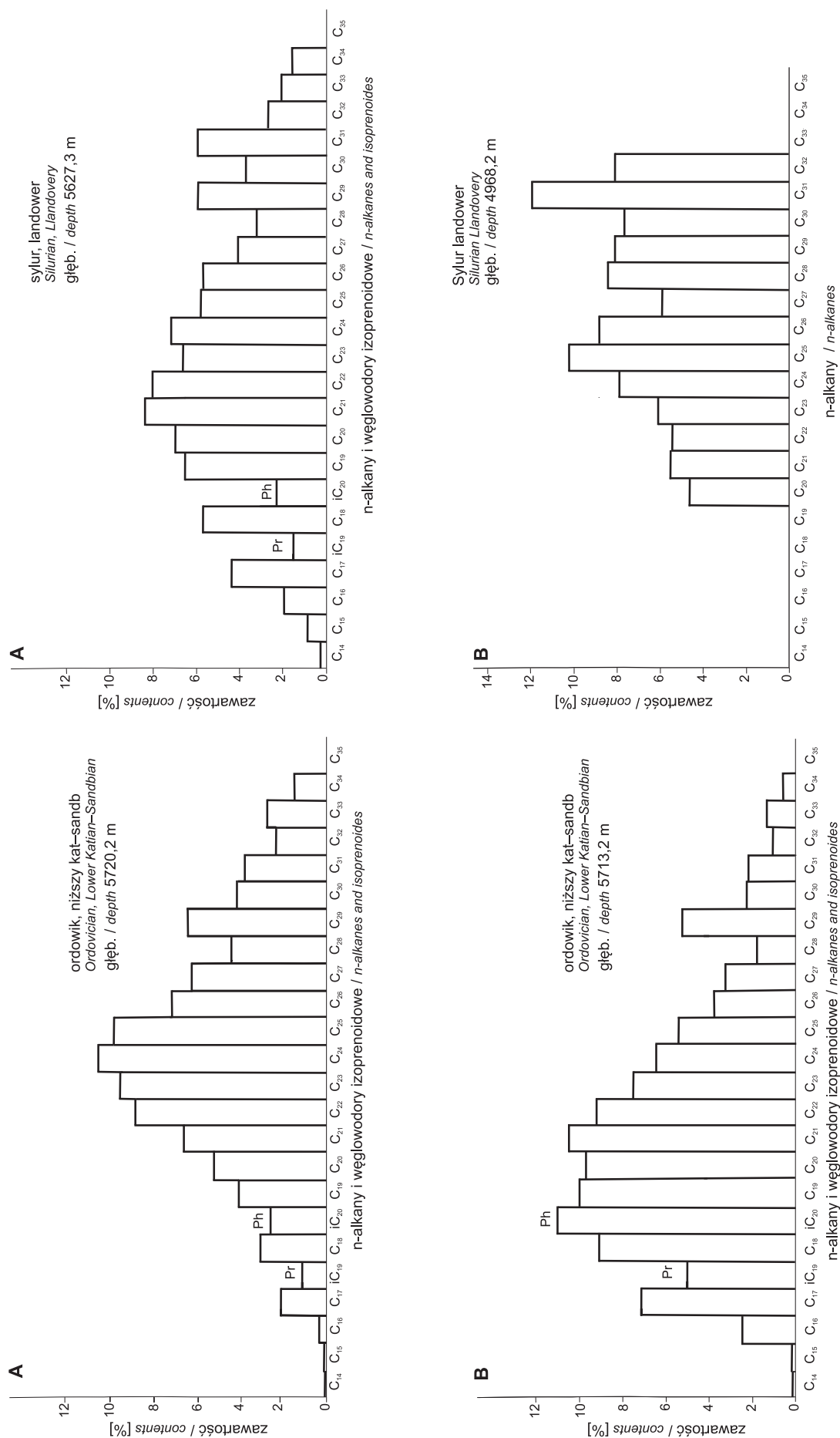


Fig. 32

Fig. 31–40. Dystrybucja n-alkanów i węglowodorów izoprenoidowych

Distribution of n-alkanes and isoprenoids

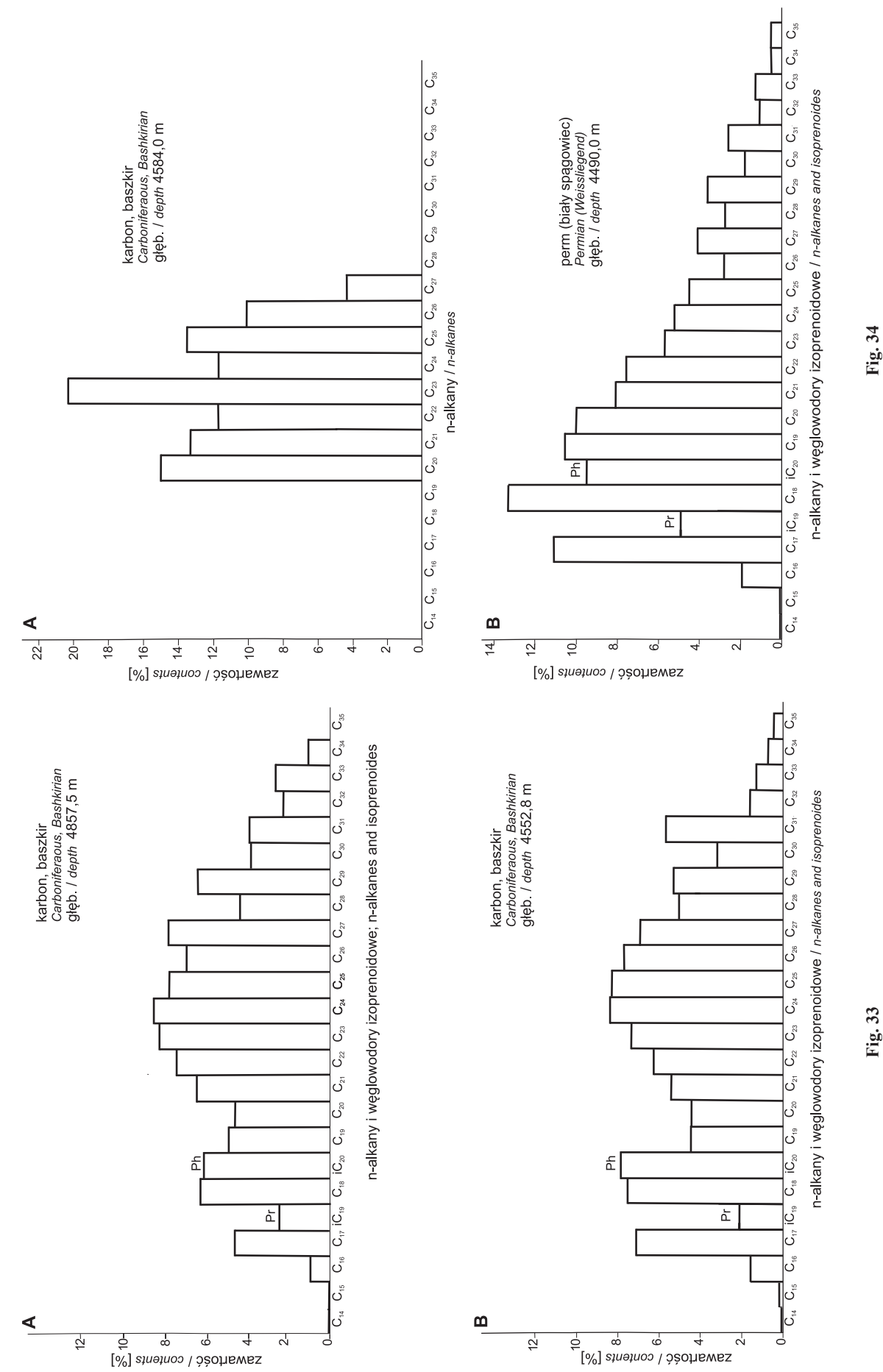


Fig. 34

Fig. 33

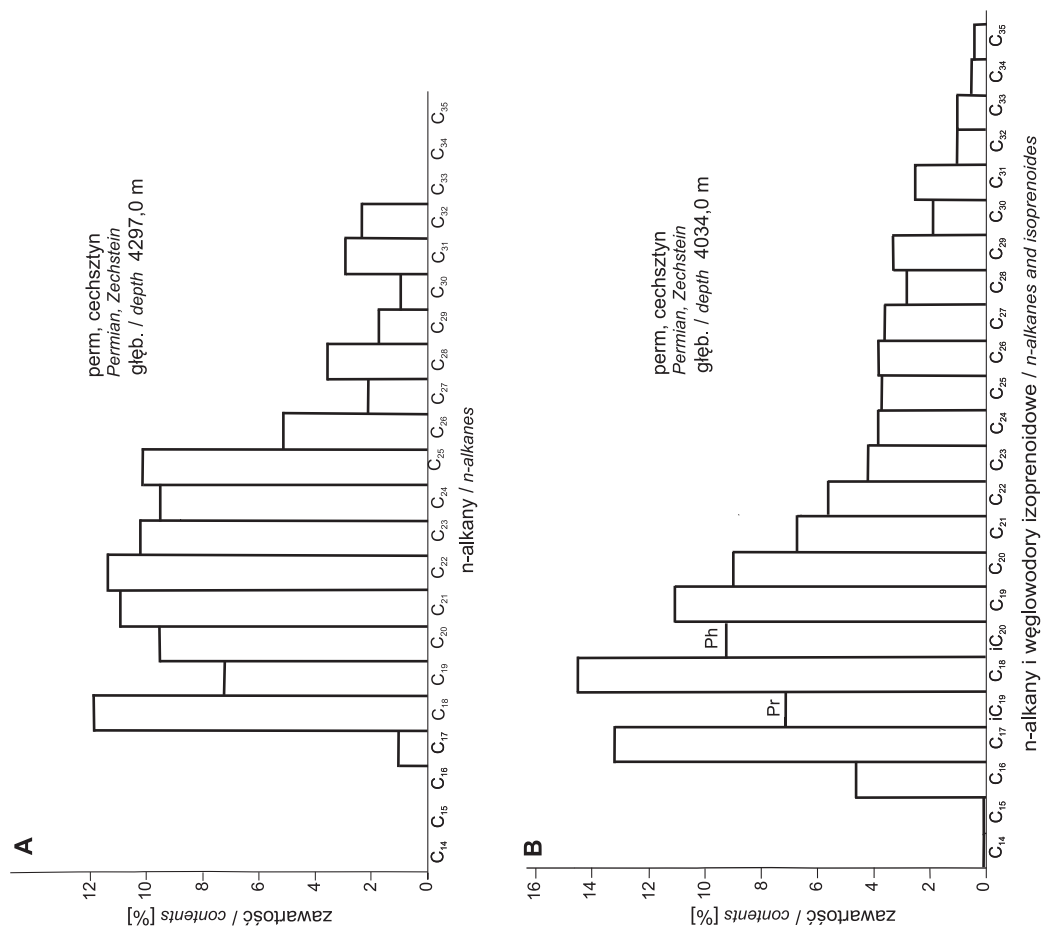


Fig. 36

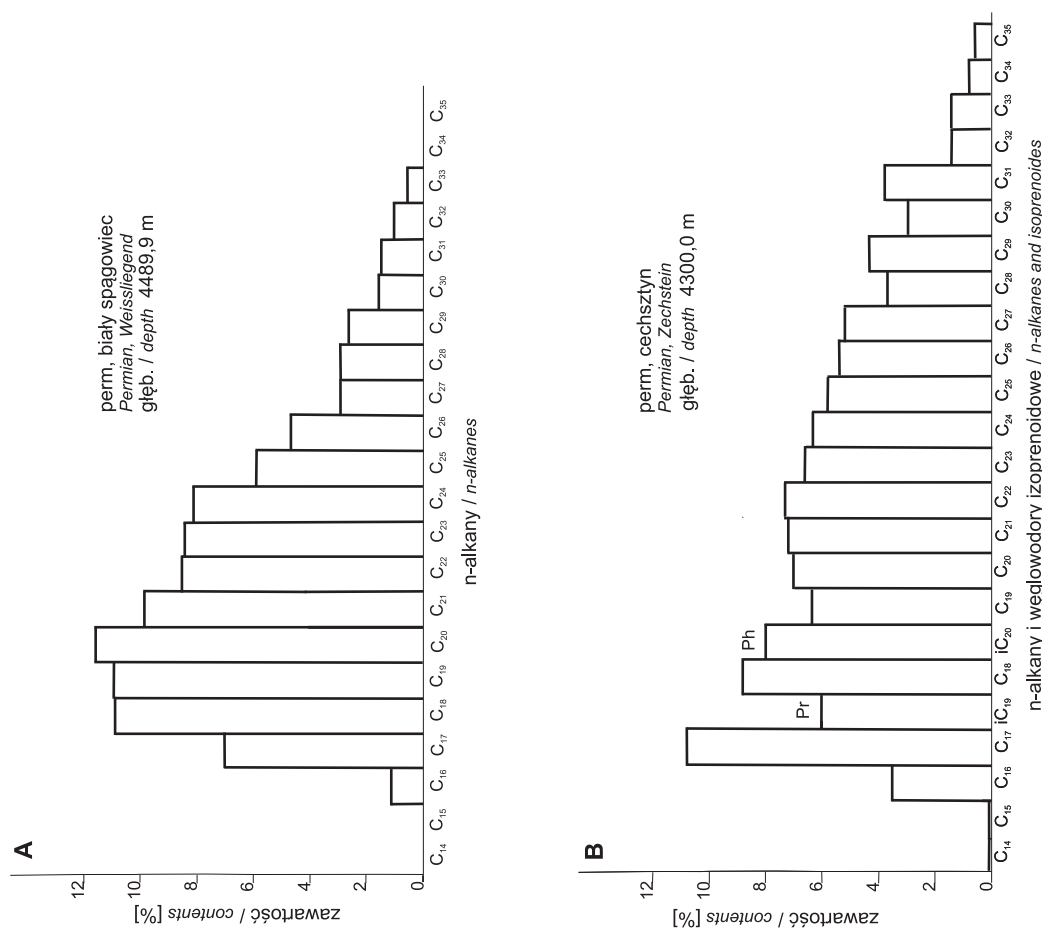
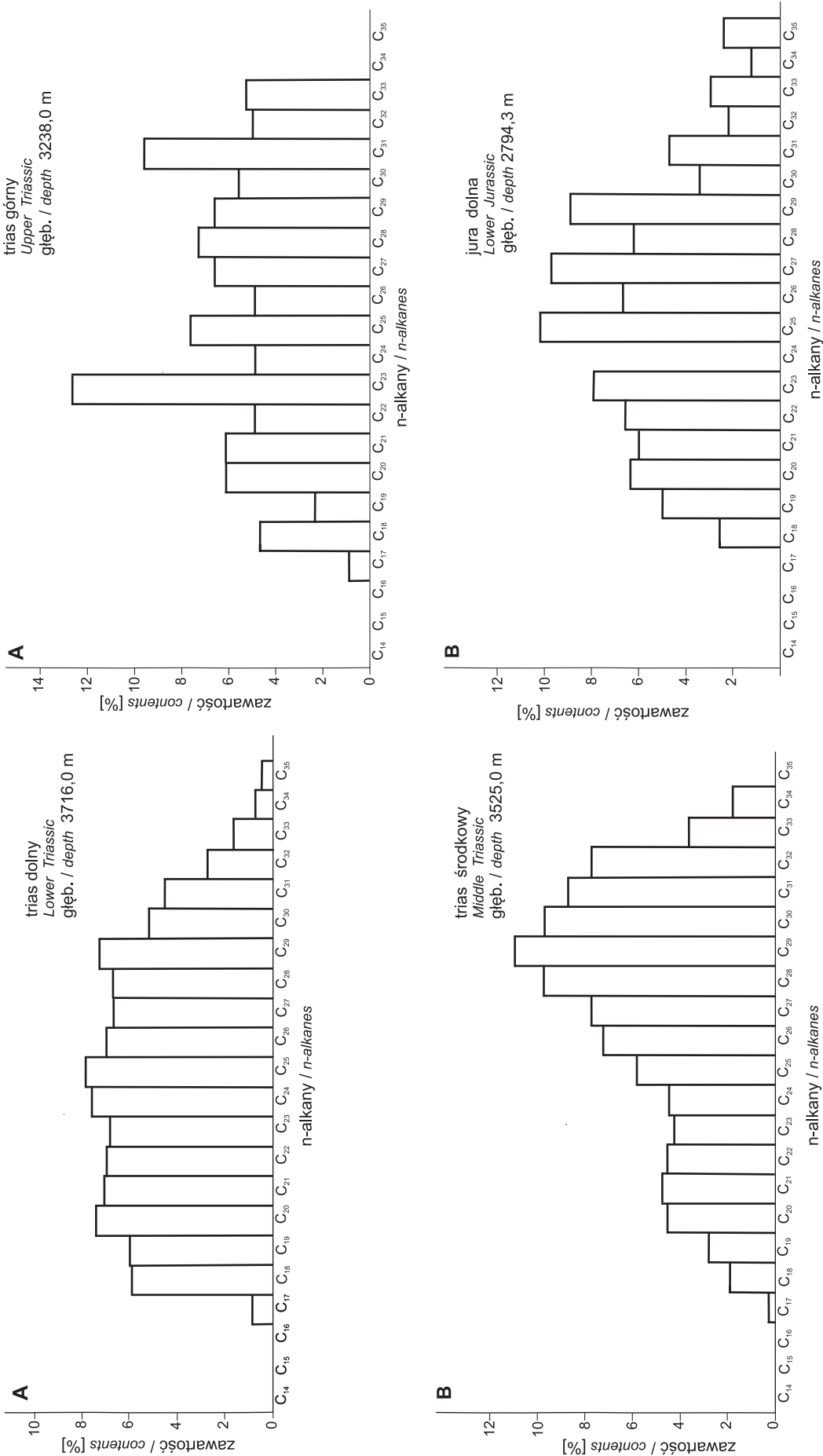


Fig. 35



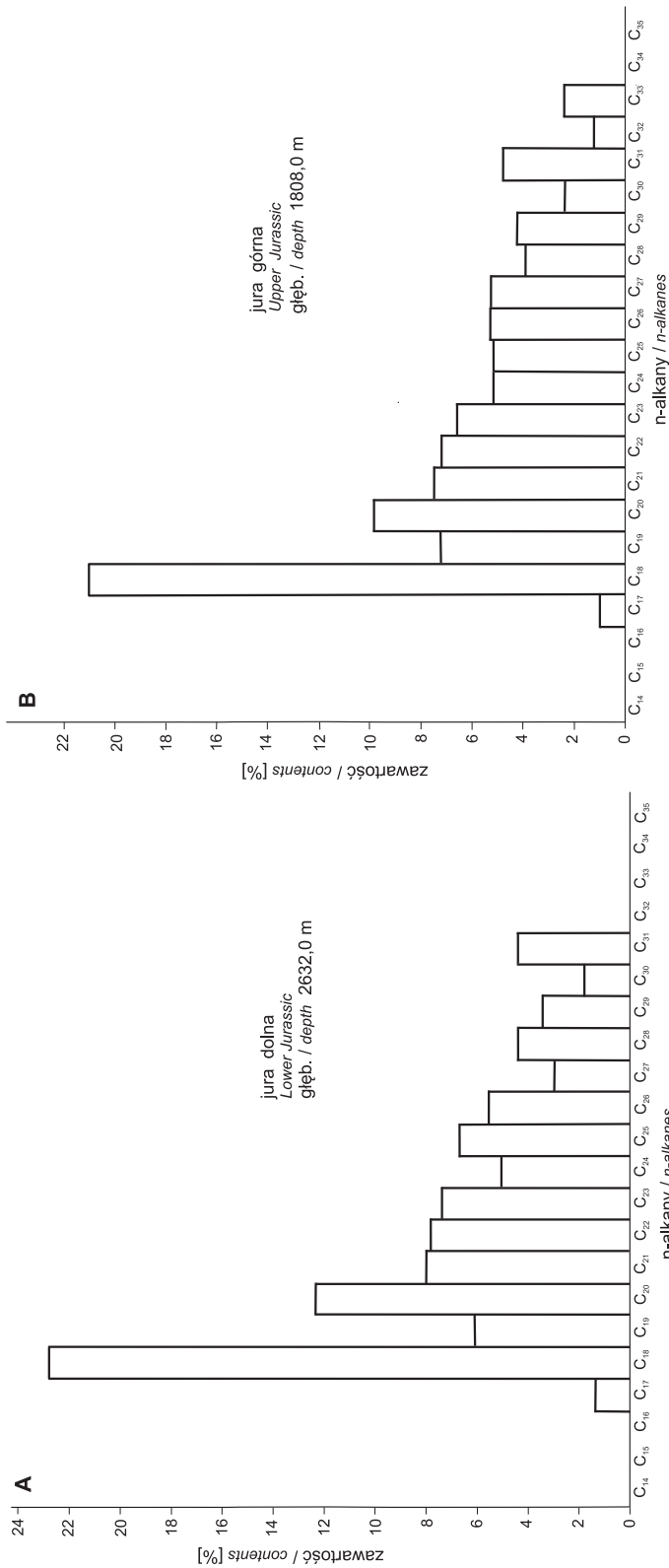


Fig. 39

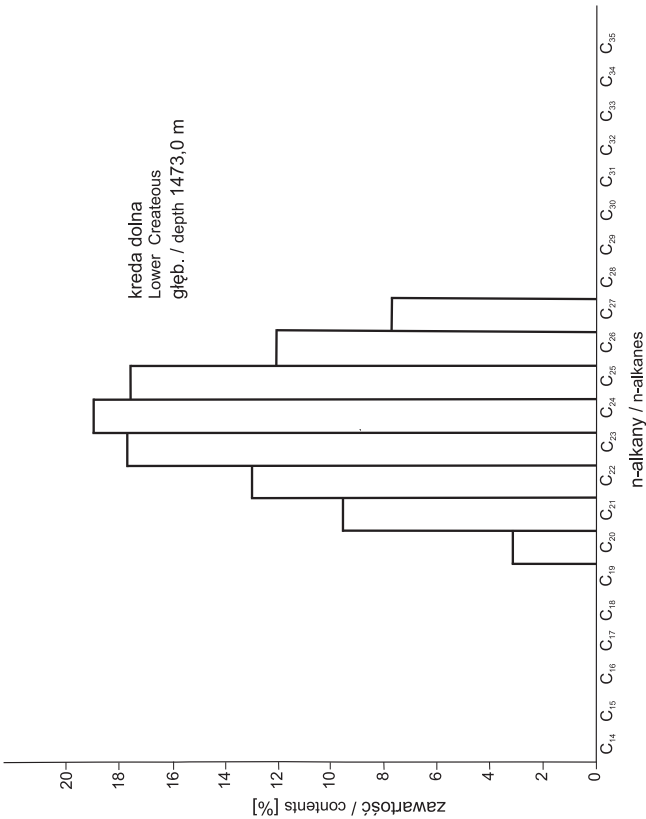


Fig. 40

łości materii organicznej (tab. 28). Stosunek $17\beta(\text{H})21\alpha(\text{H})$ -moretanu do $17\alpha(\text{H})21\beta(\text{H})$ -hopanu maleje ze wzrostem dojrzałości termicznej materii organicznej (Mackenzie i in., 1980) jest to parametr określający stopień przeobrażenia materii organicznej.

We frakcji terpanów wydzielonych z tych utworów oznaczono przeważającą ilość związków pentacyklicznych w stosunku do ilości związków tricyklicznych, co potwierdza dużą ilość bakterii w składzie pierwotnej materii (tab. 28); (Peters, Moldowan, 1993).

W grupie hopenów $17\alpha(\text{H})\text{C}_{30}$ i $17\alpha(\text{H})\text{C}_{29}$, dominujący jest związek C_{30}H , co oznacza, że materia organiczna pochodzi z utworów ordowiku osadzała się wśród skał klastycznych (Connan i in., 1986).

Stosunek zawartości epimerów C_{31} - $17\alpha(\text{H})$ hopanu osiągający wartość 0,57 w tym otworze potwierdza wysoki stopień prze-

obrażenia materii organicznej w tych utworach (tab. 28). Badacze wykazali, że stosunek formy biologicznej do trwalszej formy geologicznej hopanu C_{31} rośnie wraz ze stopniem przeobrażenia tej materii od 0,0 do ~0,6, osiągając równowagę przy wartościach 0,57–0,62, przy czym stadium okna ropnego odpowiada wartościom 0,50–0,54, a wartości wyższe określają dojrzałość powyżej fazy generowania węglowodorów ciekłych (Seifert, Moldowan, 1986). Forma geologiczna epimeru jest trwalszą na działania termiczne formą czyli wzrasta ilościowo w miarę dojrzenia w stosunku do ilości słabszej formy biologicznej związku (Seifert, Moldowan, 1981; Waples, Machihara, 1991).

Stopień dojrzałości materii organicznej określa także stosunek związków z grupy steranów. Sterany regularne są mniej odporną na zmiany termiczne grupą związków natomiast diasterany są grupą odporniejszą na te zmiany. W związku z tą zależnością w miarę następowania przemian

Tabela 28

Biomarkery grupy triterpanów (m/z 191) oraz steranów (m/z 217) z materii organicznej w utworach paleozoiku i mezozoiku
Biomarkers of the triterpane (m/z 191) and sterane (m/z 217) groups from organic matter in Paleozoic and Mesozoic sediments

Głęb. Depth [m]	Stratygrafia Stratigraphy	Litologia Lithology	$T_s / (T_s + T_m)$	$T / (T+P)$	$C_{30}H / (C_{30}H + C_{29}H)$	$C_{30}M / (C_{30}H + C_{30}M)$	$C_{31}H22S / (22S + 22R)$	$C_{24}TET / C_{23}T$	$C_{31}H / (C_{31}H + C_{35}H)$	Sterany/Hopany	Diasterany/Sterany reg $C_{27}D / C_{27}St + C_{27}D$	$C_{27}/C_{28}/C_{29}$ Sterany [%]
5720,2	Okat-sandb	ILC	0,37	0,07	0,54	0,08	0,57	0,48	0,36	0,24	0,28	29,4/26,6/44,0
5713,2		ILC	0,37	0,14	0,53	0,07	0,57	0,20	0,37	0,25	0,29	32,3/25,0/42,7
5627,3	Sla	ILC	0,34	0,09	0,53	0,07	0,58	0,34	0,36	0,25	0,28	27,9/28,1/42,7

$T_s / (T_s + T_m)$ – stosunek zawartości związku 22,29,30-trisnorhopanu-II (T_s) do sumy zawartości 22,29,30-trisnorhopanu-II (T_s) i 22,29,30-trisnorhopanu (T_m);
 $T / (T+P)$ – stosunek zawartości związków tricyklicznych do sumy zawartości związków tricyklicznych i związków pentacyklicznych;

$C_{30}H / (C_{30}H + C_{29}H)$ – stosunek zawartości związku $17\alpha21\beta(\text{H})$ -hopanu do sumy zawartości hopanu i zawartości związku $17\alpha21\beta(\text{H})30$ -norhopanu;
 $C_{30}M / (C_{30}H + C_{30}M)$ – stosunek zawartości związku $17\beta21\alpha(\text{H})$ -moretanu do sumy zawartości związku $17\alpha21\beta(\text{H})$ -hopanu i zawartości związku $17\beta21\alpha(\text{H})$ -moretanu;

$C_{31}H22S / (22S + 22R)$ – stosunek zawartości związku $17\alpha21\beta(\text{H})$ homohopanu – epimeru 22S do do sumy zawartości $17\alpha21\beta(\text{H})$ -homohopanu – epimeru 22S i 22R;

$C_{24}TET / C_{23}T$ – stosunek zawartości związku C_{24} tetracyklicznego do zawartości związku C_{23} tricyklicznego;

$C_{31} / (C_{31} + C_{35})$ – stosunek zawartości związku $17\alpha21\beta(\text{H})$ homohopanu (epimer 22S+22R) do sumy zawartości homohopanów C_{31} i C_{35} ;

Sterany/Hopany – stosunek zawartości związków z grupy hopenów do zawartości związków z grupy steranów regularnych;

Diasterany/Sterany reg. – stosunek zawartości diasteranów związków C_{27} do zawartości związków z grupy steranów regularnych C_{27} ;

$C_{27}/C_{28}/C_{29}$ S % – procentowy udział poszczególnych związków z grupy steranów;

Stratygrafia: Okat-sandb – ordowik (kat-sandb); Sla – sylur (landover)

$T_s / (T_s + T_m)$ – ratio of 22,29,30-Trisnorhopane-II(T_s) to sum of 22,29,30-Trisnorhopane-II(T_s) and 22,29,30-Trisnorhopane (T_m);

$T / (T+P)$ – ratio of Tricyclic terpanes to sum of Tricyclic terpanes and Pentacyclic terpanes;

$C_{30}H / (C_{30}H + C_{29}H)$ – ratio of $17\alpha21\beta(\text{H})$ -hopane to sum of $17\alpha21\beta(\text{H})$ -hopane and $17\alpha21\beta(\text{H})30$ -norhopane;

$C_{30}M / (C_{30}H + C_{30}M)$ – ratio of $17\beta21\alpha(\text{H})$ -moretane to sum of $17\beta21\alpha(\text{H})$ -hopane and $17\beta21\alpha(\text{H})$ -moretane;

$C_{31}H22S / (22S + 22R)$ – ratio of $17\alpha21\beta(\text{H})$ -homohopane (epimer22S) to sum of $17\alpha21\beta(\text{H})$ -homohopane (epimer 22S+22R);

$C_{24}TET / C_{23}T$ – ratio of Tetracyclic (C_{24}) to Tricyclic (C_{23});

$C_{31} / (C_{31} + C_{35})$ – ratio of $17\alpha21\beta(\text{H})$ homohopane (epimer22S+22R) to sum of C_{31} and C_{35} homohopanes;

Sterany/Hopany – regular steranes/ hopanes ratio;

Diasterany/Sterany reg. – diasteranes/ regular steranes ratio;

$C_{27}/C_{28}/C_{29}$ S % – percentage of regular steranes;

Stratigraphy: Okat-sandb – Ordovician (Katian-Sandbian); Sla – Silurian (Llandovery)

pod wpływem działań termicznych rośnie grupa diasteranów a zmniejsza się grupa steranów regularnych. Jednocześnie diasterany są związkami, które charakteryzują środowisko sedimentacji w jakim osadzała się wyjściowa materia organiczna, gdyż minerały ilaste są katalizatorem dla tworzenia się diasteranów (van Kaam-Peters i in., 1998).

Materia organiczna w utworach syluru (landower) wykazuje podobne wartości wskaźników dojrzałości. Wskaźnik $T_s/(T_s+T_m)$ i stosunek epimerów hopanu C_{31} jest względnie wysoki pozwalający uznać materię organiczną w tych osadach za dobrze przeobrażoną, natomiast wskaźnik zależności związków z grupy terpanów pomiędzy ilością tricyklicznych do pentacyklicznych osiąga wyjątkowo niskie wartości, co sugeruje, że materia organiczna również zawierała duży udział bakterii w wyjściowej materii organicznej, a nie świadczy bezpośrednio o jej stopniu przeobrażenia (tab. 28). Wartość stosunku $C_{30}H$ -hopanu ($17\alpha 21\beta$ -hopan) do hopanu $17\beta 21\alpha(H)$ (moretan), jest niska, co wskazuje na wysoki stopień przeobrażenia materii organicznej (tab. 28).

W grupie hopanów również stwierdzono wyższą ilość hopanu $17\alpha(H)C_{30}$ nad ilością związku $17\alpha(H)C_{29}$ co wskazuje, że w landowerze sedimentacja materii organicznej zachodziła w facji skał klastycznych (tab. 28).

Wysoki stopień przeobrażenia sugeruje stosunkowo wysoka wartość stosunku ilości diasteranów do ilości steranów regularnych (tab. 28).

W badanych próbkach z ordowiku i syluru steran C_{27} występuje w znacznej ilości, ale w większej ilości oznaczono steran C_{29} . Mimo, że steran C_{29} pochodzi głównie od roślin wyższych jest często spotykany także w znacznej ilości w składnikach labilnych z utworów starszego paleozoiku. Obecność steranu C_{29} w osadach starszego paleozoiku łączona jest z rozkładem alg (Grantham 1986). Grantham i Wakefield (1988) badali pochodzenie znacznej ilości steranów z grupy stigmastanów (C_{29}) łączonych z rozpadem roślin lądowych w materii organicznej występującej w utworach starszego paleozoiku. Wywnioskowali oni, że obecne w tej materii stigmastany powstają z alg morskich.

W utworach tych stwierdzono, że w przypadku związku C_{29} występuje przewaga geologicznej formy C_{29} – epimer $C_{29}S$, którego obecność wskazuje, że materia organiczna została znacznie przetworzona. Forma geologiczna tego epimeru jest odporniejsza na działanie termiczne. Moldowan i in. (1985), badając 5 próbek z ropą ze środkowego i starszego paleozoiku, również zaobserwowali znaczny udział w składzie steranów związków pochodzących z grupy stigmastanu (C_{29}). Przypuszczają oni, że w pewnych warunkach na drodze ewolucji następuje rozwój mikroorganizmów przetwarzających materię organiczną w kierunku przewagi steroli C_{29} nad związkami C_{27} i C_{28} . Wiąże się to prawdopodobnie z rozkładem organizmów takich jak morskie algi lub cyanobakterie (Fowler, Douglas, 1987).

PODSUMOWANIE

Badania geochemiczne materii organicznej w utworach w pionowym profilu wykazały, że za „dobre” skały macierzyste do generowania węglowodorów generalnie mogą być uważane utwory ordowiku (kat-sandb), które jednak mają małą miąższość. W pozostałych badanych utworach zawartość węgla organicznego określa te osady jako „biedne” lub „słabe” skały macierzyste. Badane utwory w całym pionowym profilu charakteryzują się bardzo małą lub nieznacznie podwyższoną ilością składników labilnych w nich występujących. Jedynie niewielki procent bituminów posiada duży udział węglowodorów w swoim skła-

dzie. Bituminy te charakteryzują się wysokimi wartościami współczynnika migracji, co pozwala sądzić, że są one epigenetyczne z osadem.

Materialem wyjściowym do tworzenia się materii organicznej były algi i w dużym stopniu bakterie. W utworach karbonu i mezozoiku (trias, jura) w materii organicznej jest duży udział materiału terygenicznego.

Materia organiczna w utworach paleozoiku jest dobrze przeobrażona, często obserwuje się w badanej materii przejawy biodegradacji, natomiast w utworach mezozoiku materia organiczna jest słabo przeobrażona.

Marcin JANAS

BADANIA GEOCHEMICZNE MATERII ORGANICZNEJ METODAMI ROCK-EVAL, SRA I LECO

Niniejszy rozdział przedstawia zbiorczą interpretację nowych i archiwalnych wyników badań metodami Rock-Eval, SRA (ang. Source Rock Analyzer) i LECO wykonanych na rdzeniu wiertniczym otworu Bodzanów IG 1. Czterdzieści trzy analizy Rock-Eval zostały wykonane w laboratorium PIG-PIB na potrzeby tego opracowania, czterdzieści dwa wyniki Rock-Eval pochodzą z raportu wynikowego IGNiG (obecnie INiG-PIB) załączonego do dokumentacji wynikowej otworu Bodzanów IG 1 (Dokumentacja..., 1982), osiem

wyników SRA oraz czterdzieści pięć oznaczeń TOC aparatem LECO pochodzi z raportu wynikowego laboratorium Weatherford przygotowanego dla firmy Marathon Oil Poland (Conway, 2011).

Analiza pirolityczna Rock-Eval (R-E) jest najbardziej rozpowszechnioną, wstępną, geochemiczną metodą badania potencjalnych skał macierzystych dla węglowodorów w celu określenia m.in. potencjału węglowodorowego, typu kerogenu zawartego w skałach oraz dojrzałości termicznej

materii organicznej. Metoda ta została opracowana w latach 70. XX w. we Francuskim Instytucie Naftowym – IFP. Zarys metodyki badań został przedstawiony w pracach polskich i zagranicznych autorów (np. Espitalié i in., 1977, 1985; Kottarba, Szafran, 1985; Wilczek, Merta, 1992; Lafargue i in., 1998; Behar i in., 2001; McCarthy i in., 2011).

Analiza SRA jest pokrewną do metody R-E, pirolityczną techniką badania skał macierzystych, która dostarcza analogiczne parametry i wskaźniki (tab. 29). Więcej informacji na temat metody SRA można znaleźć na stronie internetowej producenta analizatora SRA, firmy Weatherford (<https://weatherford.com/en/documents/brochure/products-and-services/formation-evaluation/source-rock-analyzer/>).

Metoda LECO należy do grupy analiz elementarnych. Wykorzystywana jest w przemyśle naftowym do określenia całkowitej zawartości węgla organicznego (ang. *total organic carbon* – TOC) potencjalnych skał macierzystych. W skrócie, metoda LECO polega na spalaniu próbki skalnej i pomiarze powstających ilości tlenków węgla w trakcie jej termicznego rozpadu. Ilość powstałych tlenków węgla przeliczana jest na całkowitą zawartość węgla organicznego w odniesieniu do wzorca. W przeciwieństwie do analiz pirolitycznych, próbki przed analizami są poddawane działaniu kwasu solnego (HCl) w celu rozpuszczenia i pozbycia się węglanów (źródła węgla nieorganicznego w skale). Więcej informacji na temat tej metody badawczej można znaleźć na

Tabela 29

Parametry i wskaźniki dostarczane przez metodę badań LECO, Rock-Eval i SRA

Parameters and indicators delivered by LECO, Rock-Eval and SRA method

LECO	R-E 6	SRA	Mierzone parametry Measured parameters	Jednostka Unit	Nazwa Name
	v	v	S1	mgHC/g skały	wolne węglowodory
	v	v	S2	mgHC/g skały	rezydualny potencjał generacyjny
	v	v	S3	mgCO ₂ /g skały	CO ₂ powiązany z materią organiczną
	v	v	$T_{\max}$	°C	$T_{\max}$ – temperatura maksymalnego generowania węglowodorów w wyniku krakingu kerogenu w trakcie pirolizy
	v	v	PI		wskaźnik generowania
v	v	v	TOC	% wag.	całkowita zawartość węgla organicznego
	v	v	HI	mg HC/g TOC	wskaźnik wodorowy
	v	v	OI	mg CO ₂ /g TOC	wskaźnik tlenowy
	v		PC	% wag.	węgiel organiczny podatny na proces pirolizy
	v		RC	% wag.	węgiel organiczny rezydualny
	v		MinC	%	węgiel mineralny

S1 – zawartość wolnych węglowodorów obecnych w próbce skalnej, uwolnionych w trakcie pirolizy w temperaturze 300°C;

S2 – zawartość węglowodorów powstałych podczas pierwotnego krakingu kerogenu w temperaturze 300–650°C;

S3 – zawartość CO₂ z destrukcji materii organicznej;

$T_{\max}$ – temperatura maksymalnego generowania węglowodorów w wyniku krakingu kerogenu w trakcie pirolizy;

HI – wskaźnik wodorowy liczony ze wzoru: $(S2 \cdot 100) / TOC$;

OI – wskaźnik tlenowy liczony ze wzoru: $(S3 \cdot 100) / TOC$;

PI – wskaźnik produktywności liczony ze wzoru: $S1 / (S1 + S2)$;

TOC – całkowita zawartość węgla organicznego liczona ze wzoru: $PC + RC$;

RC – węgiel organiczny rezydualny;

PC – węgiel organiczny podatny na proces pirolizy;

MinC – węgiel mineralny

S1 – content of free hydrocarbons released during pyrolysis at 300°C;

S2 – content of hydrocarbons released during primary cracking of kerogen at temperature between 300 and 650°C;

S3 – CO₂ content released from organic matter;

$T_{\max}$ – temperature of maximum release of hydrocarbons from cracking of kerogen during pyrolysis;

HI – hydrogen index calculated from the formula as above;

OI – oxygen index calculated from the formula as above;

PI – production index calculated from the formula as above;

TOC – total organic carbon content calculated from the formula as above;

RC – residual carbon;

PC – pyrolyzable carbon;

MinC – mineral carbon

stronie internetowej producenta, firmy LECO (<https://www.leco.com/about-us/corporate/approved-methods#>).

Parametry i wskaźniki dostarczane przez wymienione powyżej metody badawcze zostały podsumowane w tabeli 29.

INTERPRETACJA WYNIKÓW

Interpretacja wyników objęła próbę określenia potencjału węglowodorowego, typu oraz dojrzałości termicznej kerogenu skał mezozoiku i paleozoiku profilu otworu Bodzanów IG 1.

Potencjał węglowodorowy. Wskaźnik TOC jest jednym z podstawowych wskaźników określających jakość skały macierzystej. Uznaje się, że skała macierzysta zdolna do generowania węglowodorów o znaczeniu ekonomicznym musi zawierać co najmniej 0,5% wag. węgla organicznego (Peters, Cassa, 1994). Warunek wysokiej wartości TOC nie jest wystarczający do wytypowania efektywnej skały macierzystej. Ważne jest, aby wysoka zawartość TOC korelowała się z wysoką wartością parametru S2 (tab. 30), określającego potencjał generacyjny, parametru S1, reprezentującego nasycenie tzw. wolnymi węglowodorami (głównie ropą naftową), oraz wskaźnika HI, stanowiącego pośredni wyznacznik ilości wodoru związanego z materią organiczną (Dembicki, 2009). Ograniczeniem stosowania tej klasyfikacji może być zaawansowany stopień przeobrażenia termicznego materii organicznej, zaniżający wyniki TOC, S1, S2 oraz HI (ma to miejsce, gdy znaczna część węglowodorów została już wygenerowana i skutkuje niższymi niż przed przeobrażeniem, wartościami parametrów (Dembicki, 2017).

Typ kerogenu. Kerogen jest określany mianem prekursora węglowodorów i jest ściślej definiowany jako ta część materii organicznej rozproszona w skałach osadowych, która nie rozpuszcza się w powszechnie używanych rozpuszczalnikach

Tabela 30
Parametry i wskaźniki określające potencjał węglowodorowy (wg Peters, 1986; Dembicki, 2017)

Parameters and indicators describing the hydrocarbon potential (after Peters, 1986; Dembicki, 2017)

Potencjał węglowodorowy Hydrocarbon potential	TOC [% wag.] [wt %]	S1 [mg HC/g skały] [mg HC/g Rock]	S2 [mg HC/g skały] [mg HC/g Rock]
Niski Low	0,0–0,5	0,0–0,5	0,0–2,5
Średni Moderate	0,5–1,0	0,5–1,0	2,5–5,0
Wysoki High	1,0–2,0	1,0–2,0	5,0–10,0
Bardzo wysoki Very high	>2,0	>2,0	>10,0

organicznych (Durand, 1980). Ze względu na odmienny rodzaj organicznego materiału źródłowego oraz jego środowiska depozycji wyróżnia się cztery typy kerogenu: ropotwórczy kerogen typu I, ropo- i gazotwórczy kerogen typu II, gazotwórczy kerogen typu III oraz inertny kerogen typu IV.

Najpraktyczniejszą metodą rozróżnienia typu kerogenu zawartego w skałach macierzystych jest interpretacja wskaźników wodorowych (HI) i tlenowych (OI) wraz z temperaturami maksymalnego generowania węglowodorów ($T_{\max}$) na diagramach klasyfikacyjnych „HI/OI” oraz „HI/ $T_{\max}$ ” (Espitalié i in., 1985).

Dojrzałość termiczna. Temperatura $T_{\max}$ jest wskaźnikiem wyrażającym stopień dojrzałości materii organicznej (fig. 41). Jest to temperatura, w której dochodzi do maksymalnego generowania węglowodorów w wyniku krakingu (termicznego rozkładu w trakcie pirolizy) kerogenu.

INTERPRETACJA WYNIKÓW W POSZCZEGÓLNYCH PRZEDZIAŁACH STRATYGRAFICZNYCH

Wyniki zostały przedstawione w kolejności od spągu do stropu, a w związku ze znaczną ilością oznaczeń TOC wykonanych metodą LECO w dolnopaleozoicznej części profilu, wyniki tej części uśredniono, przedstawiając w tabeli wyłącznie wartości minimalne, maksymalne i medianę (tab. 31).

Wyniki pirolityczne skał łowcowych i piaskowcowych kambru środkowego z głęb. 5754,0–5829,00 m nie wykazują cech macierzystych w związku z bardzo niskimi wartościami parametrów i wskaźników, takich jak TOC, S2 i HI (tab. 30, 31). Próbkę te nie wykazują też nasycenia ropą naftową w związku z niskimi wartościami parametru S1. Wartości $T_{\max}$ nie są wiarygodne, ze względu na wysoki stopień przeobrażenia termicznego materii organicznej.

Łowce lanwiru z głęb. 5750,05–5750,60 m również nie wykazują cech skał macierzystych, choć wartości parametrów i wskaźników pirolitycznych są nieznacznie wyższe od tych reprezentujących utwory kambru środkowego (tab. 30, 31). Wartości $T_{\max}$ nie są wiarygodne, ze względu na wysoki stopień przeobrażenia termicznego materii organicznej.

Łowce niższego katu-sandbu z głęb. 5713,0–5750,0 m cechują się najwyższymi wartościami TOC, S2 i S1 w profilu niższego paleozoiku (TOC – 0,22–3,70% wag, mediana – 0,94% wag.; S2 – 0,07–1,24 mg HC/g skały, mediana – 0,17 mg HC/g skały; S1 – 0,02–0,87 mg HC/g skały, mediana – 0,05 mg HC/g skały; tab. 31). Skały niższego katu-sandbu nie są jednolite, profil można podzielić na trzy części: spągową (5740,0–5750,0 m), wzbogaconą w węgiel organiczny, o niskim potencjale generacyjnym (TOC, mediana – 0,94% wag.; S2, mediana – 0,14 mg HC/g skały; S1, mediana – 0,04 mg HC/g skały), środkową (5730,0–5740,0 m), zubożoną w węgiel organiczny, o niskim potencjale generacyjnym (TOC, mediana – 0,66% wag.; S2, mediana – 0,16 mg HC/g skały; S1, mediana – 0,05 mg HC/g skały) oraz stropową (5713,0–5730,0 m), cechującą się największymi wartościami TOC oraz relatywnie największym potencjałem generacyjnym (TOC, mediana – 2,44% wag.; S2, mediana – 0,26 mg HC/g skały; S1, mediana – 0,05 mg HC/g skały). Wyniki wskazują, że są to współcześnie niskiej jakości skały

Tabela 31

Zestawienie wartości parametrów i wskaźników Rock-Eval, SRA i TOC skal dolnego paleozoiku (kambru, ordowiku i syluru; Dokumentacja..., 1982; Conway, 2011; Janas, niepublikowane)

List of the Rock-Eval, SRA and TOC parameters and indicators of the Lower Paleozoic (Cambrian, Ordovician and Silurian) rocks (Dokumentacja..., 1982; Conway, 2011; Janas, unpublished)

Stratygrafia Stratigraphy	Sylur Silurian			Ordowik Ordovician		Kamb Cambrian
	ludlow (ludford i gorst) Ludlow (Ludfordian and Gorstian)	wenlok (homer) Wenlock (Homerian)	landower (telych) Llandoverly (Telychian)	niższy kat-sandb Lower Katian-Sandbian	Darriwil Darrivillian (Llanwrin Llanvirnian)	
Głębokość próbek Depth of samples [m]	4970,00–5314,00	5353,00–5628,00	5686,00–5689,00	5713,00–5750,00	5750,05–5750,60	5754,00–5829,00
S1 [mgHC/gSkaly] [mg HC/gRock]	0,04–0,09 (0,07) [6]	0,02–0,27(0,07) [12]	0,03–0,09 (0,04) [4]	0,02–0,87 (0,05) [29]	0,02–0,09 (0,03) [5]	0,07 [2]
S2	0,01–0,07 (0,04) [6]	0,02–0,92 (0,09) [12]	0,10–0,14 (0,12) [4]	0,07–1,24 (0,17) [29]	0,05–0,29 (0,07) [5]	0,06–0,08 [2]
S3 [mgCO ₂ /gSkaly] [mgCO ₂ /gRock]	0,05–0,13 (0,08) [6]	0–0,61 (0,07) [12]	0–0,13 (0,09) [4]	0,01–0,77 (0,21) [29]	0,03–0,26 (0,08) [5]	0 [2]
T _{max} [°C]	n.w.	n.w.	n.w.	n.w.	n.w.	n.w.
PI [mgHC/gSkaly] [mgHC/gRock]	0,50–1,00 (0,64) [6]	0,21–0,75 (0,37) [12]	0,20–0,41 (0,22) [4]	0,10–0,61 (0,24) [29]	0,02–0,34 (0,29) [5]	0,50–0,58 [2]
TOC [% wag] [wt %]	0,07–0,15 (0,1) [6]	0,07–0,88 (0,20) [20]	0,15–1,15 (0,34) [6]	0,22–3,70 (0,94) [53]	0,06–0,51 (0,39) [5]	0,07–0,24 (0,19) [5]
HI [mgHC/gTOC]	10–70 (45) [6]	7–215 (55,45) [12]	12–67 (39) [4]	3,75–75 (21) [29]	15–80 (54) [5]	31–34 [2]
OI [mgCO ₂ /gTOC]	33–130 (88,50) [6]	0–142 (38,50) [12]	0–51 (21) [4]	1–55 (21) [29]	16–100 (39) [5]	0 [2]
typ kerogenu kerogen type	II	II	II	II	II	II
dojrzałość termiczna thermal maturity	przejrzała overmature	przejrzała overmature	przejrzała overmature	przejrzała overmature	przejrzała overmature	przejrzała overmature
potencjał węglowodorowy hydrocarbon potential	wyczerpany exhausted	wyczerpany exhausted	wyczerpany exhausted	wyczerpany exhausted	wyczerpany exhausted	wyczerpany exhausted

Objaśnienia skrótów jak w tab. 29; x–x – przedział wartości parametrów i wskaźników geochemicznych, mediana (x), liczba wyników [x]; n.w. – wynik T_{max} nie jest wiarygodny
For abbreviations see Tab. 29; x–x – range of geochemical parameters and indicators, median (x), number of results [x]; n.w. – T_{max} not reliable

macierzyste, ale w historii geologicznej stanowiły one zapewne skały macierzyste o bardzo wysokim pierwotnym (początkowym) potencjale węglowodorowym, który w wyniku wysokiego przeobrażenia termicznego został niemal doszczętnie wyczerpany. Oznaczenia T_{max} nie są wiarygodne i nie pozwalają na precyzyjne określenie dojrzałości termicznej materii organicznej. Materia organiczna jest najprawdopodobniej przejrziała termicznie w związku z pogrzebaniem skał w sylurze lub dewonie (I. Grotek, ten tom; P. Kosakowski, ten tom; Botor i in., 2017a, b). Wysoki stopień przeobrażenia termicznego uniemożliwia także poprawną interpretację typu kerogenu za pomocą oznaczeń HI oraz OI, gdyż wartości tych wskaźników odzwierciedlają końcowe stadium przeobrażenia. Skały niższego katu-sandbu zawierają morski kerogen typu II (I. Grotek, ten tom; Więclaw i in., 2010, Botor i in., 2017a, b).

Skały landoweru (telychu), z głęb. 5686,0–5689,0 m, nie wykazują cech skał macierzystych. Średnia (mediana) zawartość węgla organicznego (TOC) wynosi 0,34% wag., a średnia (mediana) wartość potencjału generacyjnego (S2) wynosi zaledwie 0,12 mg HC/g skały (tab. 31). Wyniki nie pozwalają na określenie typu kerogenu i dojrzałości termicznej w związku z wyczerpanym potencjałem węglowodorowym tych skał.

Analizowane skały wenloku (homeru), z głęb. 5353,0–5628,0 m, podobnie nie stanowią skał macierzystych w związku ze zbyt niskimi wartościami TOC (mediana – 0,20% wag.) i S2 (mediana – 0,09 mg HC/g skały; tab. 31). Skały te wyczerpały zapewne swój potencjał generacyjny w wyniku wysokiego przeobrażenia termicznego (P. Kosakowski, ten tom; Botor i in., 2017a, b). Wartości temperatury T_{max} skał wenloku nie są wiarygodne, a wartości wskaźników HI i OI nie pozwalają na poprawne określenie typu kerogenu.

Skały ludlowu (ludford i gorst), z głęb. 4970,0–5314,0 m, to skały o wartościach wskaźnika TOC 0,07–0,15% wag. (mediana – 0,1% wag.), parametru S1 0,04–0,09 mg HC/g skały, oraz parametru S2 0,01–0,07 mg HC/g skały (tab. 31). Wyniki te dyskwalifikują mułowce i ilowce ludlowu jako potencjalne skały macierzyste, a wysoki stopień przeobrażenia termicznego ponownie nie pozwala na interpretację wskaźnika T_{max} i typu kerogenu.

Jedenaście wyników analiz utworów karbonu (pensylwanu; tab. 32), to za mało by scharakteryzować niemal 400-m interwał (na głęb. 4534,0–4931,0 m); pozwalają jednak na sformułowanie pewnych wniosków. Wyniki próbek z głęb. 4761,0–4931,5 m oraz 4552,0–4584,0 m cechują się relatywnie podwyższonymi wartościami TOC (powyżej progowej wartości 0,5% wag.) oraz podwyższonymi wartościami potencjału generacyjnego (S2) w stosunku do pozostałych wyników w tym przedziale stratygraficznym. Oznaczenia T_{max} zawierają się w przedziale 433–495°C, ale ich mediana o wartości 456°C wskazuje, że materia organiczna skał karbońskich znajduje się w fazie generowania ropy lub gazu mokrego, w zależności od typu rozproszonego w skałach kerogenu (fig. 41). Wartość wskaźnika T_{max} (495°C) z najgłębszej próby pensylwanu (4931,5 m) może wskazywać na fazę przejrzalą w spągowej części profilu karbonu, natomiast wartość T_{max} (433°C) dla próbki najpłytszej (4534,0 m)

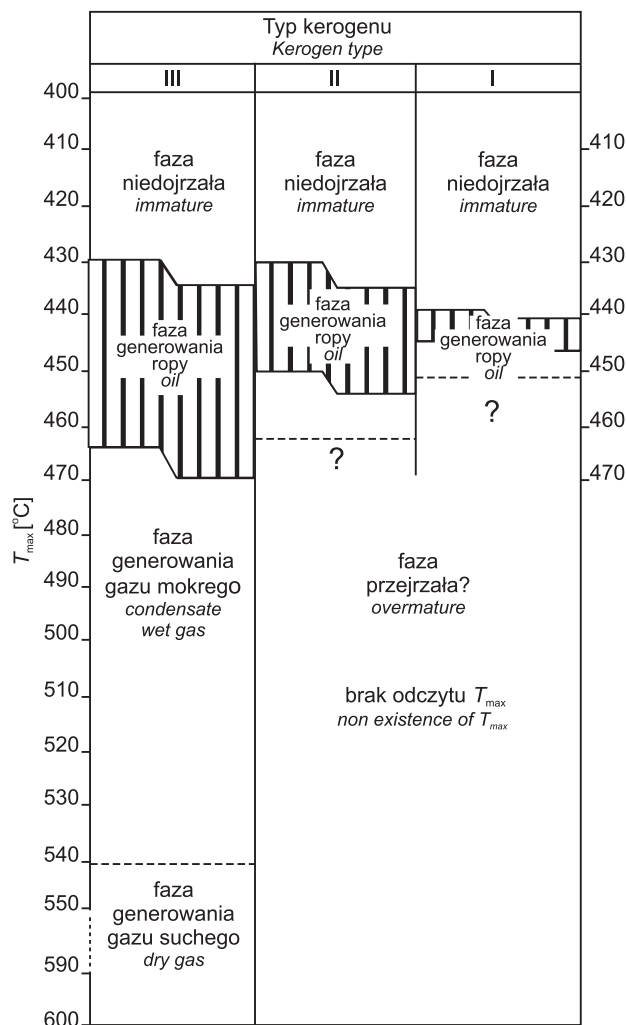


Fig. 41. Zastosowanie wskaźnika T_{max} w celu wytypowania głównych stref generowania ropy i gazu wg Espitalié (1986)

Use of T_{max} to determine the principal zones of oil and gas formation after Espitalié (1986)

jest najprawdopodobniej mało wiarygodna z uwagi na niską zawartość węgla organicznego (TOC), niską wartość potencjału generacyjnego (S2) oraz niezgodność ze stwierdzoną wyżej w profilu dojrzałością termiczną utworów permu. Wartości wskaźników HI (mediana – 65 mg HC/g TOC) i OI (mediana – 33 mg CO₂/g TOC) sugerują III typ kerogenu, choć nie można wykluczyć też udziału innych typów kerogenu (patrz rozdział I. Grotek, ten tom). Wymienioną część przebadanych skał pensylwanu można więc uznać za skały macierzyste o niskim lub średnim potencjale węglowodorowym (tab. 30), mając na uwadze, że część tego potencjału została już zrealizowana w wyniku wcześniejszego uwęglania materii organicznej. Zaobserwowany gaz ziemny w solance z karbońskiego poziomu zbiornikowego 4526,0–4907,0 m (A. Sokołowski i in., ten tom) mógł być więc związany genetycznie z poziomami macierzystymi, występującymi w profilu pensylwanu.

Permski profil reprezentowany jest przez wyniki R-E dwóch próbek łupku miedzionośnego (T1), dwóch próbek

Tabela 32

Zestawienie wartości parametrów i wskaźników Rock-Eval skal karbonu (pensylwanu; Dokumentacja..., 1982)

List of the Rock-Eval parameters and indicators of Carboniferous (Pennsylvanian) rocks (Dokumentacja..., 1982)

Stratygrafia Stratigraphy	Litologia Lithology	Głęb. Depth [m]	SI	S2	S3	T_{max} [°C]	HI [mgHC/gTOC]	OI [mgCO ₂ /gTOC]	PI [mgHC/g Skały] [mgHC/g Rock]	TOC [% wag] [wt %]	RC	PC	MinC [%]
			[mgHC/g Skały] [mgHC/g Rock]		[mgCO ₂ /g Skały] [mgCO ₂ /g Rock]								
karbon	pensylwan	iłowiec	4534,00	0,10	0,13	433	55	72	0,50	0,18	0,17	0,01	b.o.
			4552,00	0,36	0,24	456	94	33	0,35	0,72	0,64	0,08	b.o.
			4584,00	0,12	0,29	469	56	66	0,30	0,51	0,48	0,03	b.o.
			4615,00	0,13	0,15	n.w.	88	29	0,46	0,17	0,15	0,02	b.o.
			4646,00	0,29	0,23	n.w.	127	116	0,56	0,18	0,14	0,04	b.o.
			4663,50	0,14	0,08	n.w.	80	50	0,64	0,10	0,09	0,01	b.o.
		mulowiec	4761,00	0,11	0,46	462	52	28	0,20	0,87	0,83	0,04	b.o.
			4825,60	0,13	0,69	454	65	13	0,16	1,05	0,99	0,06	b.o.
			4853,80	0,15	1,10	454	70	10	0,12	1,55	1,45	0,10	b.o.
			4906,00	0,20	0,34	n.w.	51	34	0,37	0,66	0,62	0,04	b.o.
			4931,50	0,07	0,64	495	24	2	0,10	2,59	2,54	0,05	b.o.

n.w. – wynik nie jest wiarygodny / result not reliable; b.o. – brak oznaczenia / no result

Tabela 33

Zestawienie wartości parametrów i wskaźników Rock-Eval skal permu (cechszynu; Dokumentacja..., 1982; Janas, niepublikowane)

List of the Rock-Eval parameters and indicators of Permian (Zechstein) rocks (Dokumentacja..., 1982; Janas, unpublished)

Stratygrafia Stratigraphy	Litologia Lithology	Głęb. Depth [m]	SI	S2	S3	T_{max} [°C]	HI [mgHC/gTOC]	OI [mgCO ₂ /gTOC]	PI [mgHC/g Skały] [mgHC/g Rock]	TOC [% wag] [wt %]	RC	PC	MinC [%]
			[mgHC/g Skały] [mgHC/g Rock]		[mgCO ₂ /g Skały] [mgCO ₂ /g Rock]								
perm	dolomit główny	4297,90	0,10	0,32	0,29	n.w.	109	99	0,25	0,30	0,25	0,04	10,64
		4298,00	0,10	0,15	0,18	442	36	43	0,42	0,41	0,39	0,02	b.o.
		4298,70	0,05	0,11	0,20	n.w.	49	90	0,34	0,22	0,20	0,02	12,40
		4299,70	0,09	0,18	0,36	431	55	114	0,34	0,32	0,28	0,03	10,32
		4300,20	0,16	0,29	0,35	436	81	96	0,36	0,36	0,31	0,05	7,02
		4300,40	0,07	0,11	0,25	433	55	122	0,37	0,21	0,18	0,02	11,76
		4300,70	0,09	0,25	0,25	436	104	103	0,28	0,24	0,20	0,04	11,08
		4300,90	0,11	0,21	0,35	439	128	213	0,34	0,16	0,13	0,04	9,80
		4488,60	0,10	0,50	0,31	438	85	52	0,16	0,60	0,53	0,06	0,16
		4489,00	0,32	1,10	0,45	449	119	48	0,23	0,92	0,81	0,11	b.o.
	wapien cechsztyński	4489,20	0,92	3,49	0,30	438	207	18	0,21	1,69	1,31	0,38	9,60
		4489,40	1,75	9,08	0,28	440	223	7	0,16	4,07	3,15	0,91	4,07

n.w. – wynik nie jest wiarygodny / result not reliable; b.o. / no result

Tabela 34

Zestawienie wartości parametrów i wskaźników Rock-Eval skal triasu (Dokumentacja..., 1982)

List of the Rock-Eval parameters and indicators of Triassic rocks (Dokumentacja..., 1982)

Stratygrafia Stratigraphy	Litolgia Lithology	Głęb. Depth [m]	S1	S2	S3	T_{max} [°C]	HI [mgHC/gTOC]	OI [mgCO ₂ /gTOC]	PI [mgHC/g Skaly] [mgHC/g Rock]	TOC [% wag] [wt %]	RC	PC	MinC [%]
			[mgHC/g Skaly] [mgHC/g Rock]		[mgCO ₂ /g Skaly] [mgCO ₂ /g Rock]								
trias	górny	3348,00	0,09	0,06	0,12	n.w.	40	80	0,64	0,15	0,14	0,01	b.o.
	środkowy	3525,00	0,03	0,04	0,09	432	40	90	0,50	0,00	0	0,00	b.o.
	dolny	3630,00	0,11	0,20	0,35	n.w.	80	140	0,37	0,25	0,23	0,02	b.o.
		3718,70	0,12	1,49	0,11	447	310	22	0,07	0,48	0,35	0,13	b.o.
		3838,00	0,05	0,07	0,12	435	140	240	0,42	0,05	0,04	0,01	b.o.
		3974,00	0,04	0,02	0,18	430	50	450	0,67	0,04	0,04	0,00	b.o.
		4027,30	0,09	0,07	0,26	431	30	113	0,56	0,23	0,22	0,01	b.o.

n.w. – wynik nie jest wiarygodny; b.o. – brak oznaczenia

n.w. – result not reliable; b.o. – no result

Tabela 35

Zestawienie wartości parametrów i wskaźników Rock-Eval skal jury (Dokumentacja..., 1982)

List of the Rock-Eval parameters and indicators of Jurassic rocks (Dokumentacja..., 1982)

Stratygrafia Stratigraphy	Litolgia Lithology	Głęb. Depth [m]	S1	S2	S3	T_{max} [°C]	HI [mgHC/gTOC]	OI [mgCO ₂ /gTOC]	PI [mgHC/g Skaly] [mgHC/g Rock]	TOC [% wag] [wt %]	RC	PC	MinC [%]
			[mgHC/g Skaly] [mgHC/g Rock]		[mgCO ₂ /g Skaly] [mgCO ₂ /g Rock]								
jura	oksford	1974,00	0,03	0,12	0,11	423	240	220	0,21	0,05	0,04	0,01	b.o.
		2106,00	0,08	0,21	0,16	424	175	133	0,29	0,12	0,1	0,02	b.o.
	synemur	2795,00	0,09	1,79	0,64	440	64	23	0,05	2,76	2,61	0,15	b.o.

b.o. – brak oznaczenia

b.o. – no result

wapienia cechsztyńskiego (Ca1) oraz ośmiu próbek dolomitu głównego (Ca2; [tab. 33](#)). Próbkę łupku miedzionośnego (4489,20–4489,40 m) to skały wyraźnie wykazujące cechy macierzyste w związku z wysoką zawartością węgla organicznego (TOC) na poziomie od 1,69 do 4,07% wag., podwyższonej koncentracji syngenetycznej ropy naftowej (S1), najwyższej w całym przebadanym profilu otworu Bodzanów IG 1 (0,92–1,75 mg HC/g skały) oraz wysokim potencjale genera-

cyjnym (S2), wynoszącym 3,49–9,08 mg HC/g skały. Wartości $T_{\max}$ na poziomie 438–440°C odpowiadają fazie generowania ropy naftowej ([fig. 41](#)), natomiast wartości wskaźników HI (207–223 mg HC/g TOC) i OI (7–18 mg CO₂/g TOC) sugerują dominację II typu kerogenu (patrz rozdział I. Grotek, ten tom). Próbkę wapienia cechsztyńskiego (Ca1; 4488,6–4489,0 m) podobnie do łupku miedzionośnego wykazują cechy skał macierzystych, choć wartości TOC, S1 i S2 są niższe ([tab. 33](#)).

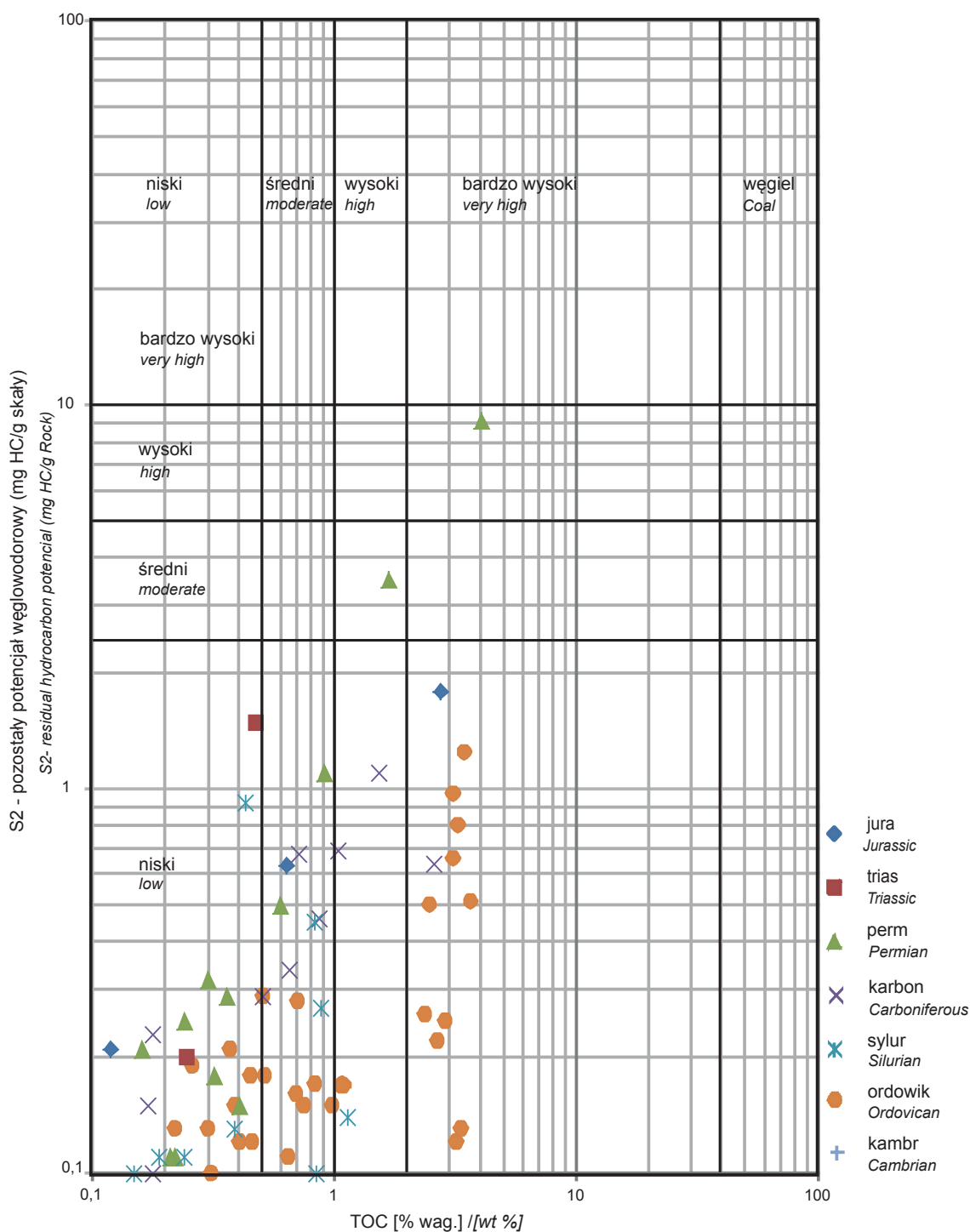


Fig. 42. Diagram zależności S2/TOC próbek w skali logarytmicznej. Linie klasyfikacyjne wg Dembickiego (2017)

S2/TOC diagram of analyzed samples in logarithmic. Scale Classification lines after Dembicki (2017)

Wartości $T_{\max}$ (438–449°C) mieszczą się w fazie generowania ropy (fig. 41), a typy kerogenu na podstawie samych wskaźników HI (85–119 mg HC/g TOC) i OI (48–52 mg CO₂/g TOC) nie są możliwe do zinterpretowania (patrz rozdział I. Grotek, ten tom). Z kolei próbki dolomitu głównego (Ca2; 4297,9–4300,9 m) nie wykazują cech macierzystych, a niska zawartość węgla organicznego (TOC) oraz niskie wartości potencjału generacyjnego (S2) wpływają zapewne na zaniżone wartości wskaźnika $T_{\max}$, które nie odzwierciedlają wyższej dojrzałości termicznej materii organicznej (patrz rozdział I. Grotek, ten tom).

Wyniki próbek skał triasu (3238,0–4027,3 m) również nie świadczą o ich macierzystości (tab. 34). Mediana wartości TOC wynosi 0,1% wag., a mediany wartości parametrów S1 i S2 wynoszą jedynie 0,07 mg HC/g skały. W związku z powyższym dojrzałość termiczna jest trudna do zinterpretowania, a jedyna próbka na podstawie, której można oprzeć wiarygodną interpretację dojrzałości termicznej, to próbka z głęb. 3718,7 m. Jej wartość $T_{\max}$ wynosi 447°C, lokując materię organiczną w fazie generowania ropy (fig. 41). Ke-

rogen zawarty w tej próbce to najprawdopodobniej kerogen typu II (patrz rozdział I. Grotek, ten tom).

Interpretując wyniki próbek jurajskich (1808,0–2795,0 m) warto skupić się na próbce iłowca z głęb. 2795,0 m oraz próbce mułowca z głęb. 1808,0 m (tab. 35). Pierwsza z próbek to najgłębsza próbka zbadanego profilu jury, charakteryzująca się całkowitą zawartością węgla organicznego (TOC) w wysokości 2,76% wag. i potencjałem generacyjnym (S2) w wysokości 1,79 mg HC/g skały, przy dojrzałości termicznej odpowiadającej fazie generowania ropy (fig. 41), co oznacza, że może reprezentować potencjalne skały macierzyste. Druga próbka, to próbka najpłycej zlokalizowana w profilu, której wartość TOC także przekracza próg macierzystości (TOC > 0,5% wag.), a która znajduje się w strefie przejściowej pomiędzy fazą niedojrzałą i początkową fazą generowania ropy naftowej ($T_{\max}$ – 431°C), przy potencjale generacyjnym (S2) wynoszącym 0,63 mg HC/g skały. Pozostałe dwa wyniki próbek jury (1974,0 i 2106,0 m) nie noszą znamion cech macierzystych, a ich wartości $T_{\max}$ zdają się być przez to zaniżone.

PODSUMOWANIE

Niniejszy rozdział przedstawia zbiorczą interpretację nowych i archiwalnych wyników badań pirolitycznych (metody Rock-Eval i SRA) oraz oznaczeń TOC (metoda LECO) skał paleozoiku (kambru środkowego, ordowiku, syluru, karbonu i permu) i mezozoiku (trias, jura) otworu Bodzanów IG 1. W całym profilu największym potencjałem węglowodorowym charakteryzują się dwie próbki łupku miedzionośnego (tab. 33; fig. 42), który znajduje się w fazie generowania ropy naftowej. Pozostała część profilu cechuje się niskim lub średnim potencjałem węglowodorowym, a cechy macierzyste wykazują częściowo skały ordowiku (niższego katu-sandbu), karbonu (pensylwanu) oraz pojedyncze próbki skał permu (wapień cechsztyński) i jury (synemur i kimeryd dolny; fig. 42). Istotną obserwacją jest dojrzałość termiczna materii organicznej, która wzrasta wraz z głębokością od fazy niedojrzałej lub początkowej fazy generowania ropy naftowej w mezozoicznej części profilu do fazy przejrzalej w całym dolnopaleozoicznym (sylur, or-

dowik, kambr) odcinku. Wysokie przeobrażenie termiczne skutkowało wyczerpaniem współczesnego potencjału węglowodorowego skał niższego katu-sandbu, które zawierają podwyższone ilości węgla organicznego (TOC), zwłaszcza w stropowej części profilu, ale wykazują niski potencjał generacyjny (S2) oraz niskie wartości wskaźnika wodorowego (HI). Brak nasycenia tych skał tzw. wolnymi węglowodorami (S1) wynika zapewne z ich ekspulsji i migracji w trakcie rozwoju basenu sedymentacyjnego (Botor i in., 2017a, b). Wysoki stopień przeobrażenia termicznego nie pozwala również na precyzyjną interpretację dojrzałości termicznej i typu kerogenu dolnego paleozoiku. W przypadku wysokiego przeobrażenia materii organicznej skał dolnego paleozoiku, optyczna metoda rozpoznawania składu maceralnego materii organicznej (rozpoznawania typu kerogenu) oraz pomiaru dojrzałości termicznej (refleksyjność macerałów wityritopodobnych – I. Grotek, ten tom) jest znacznie lepszą metodą badawczą.