

WYNIKI BADAŃ MATERII ORGANICZNEJ

Izabella GROTEK

CHARAKTERYSTYKA PETROGRAFICZNA ORAZ DOJRZAŁOŚĆ TERMICZNA ROZPROSZONEJ MATERII ORGANICZNEJ

WSTĘP

Charakterystykę petrograficzną materii organicznej rozproszonej w profilu osadów mezozoiku i paleozoiku z otworu Słupsk IG 1 przeprowadzono na podstawie analizy 34 próbek reprezentujących utwory górnej kredy (1 próbka); dolnego triasu (1 próbka); górnego permu (2 próbki); syluru (19 próbek), ordowiku (2 próbki), kambru (8 próbek), ediakaru /kambru dolnego (1 próbka). Znaczna część wyników badań zawarta jest w opracowaniach archiwalnych oraz publikacjach (Swadowska, 1994; Grotek, 2004, 2006).

Podstawę analityczną pracy stanowią badania mikroskopowe wykonane w świetle odbitym białym oraz we fluorescencji umożliwiającej identyfikację, nierozróżnialnych często w świetle białym, składników maceralnych grupy liptynitów oraz impregnacji bitumicznych (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, w przypadku utwo-

rów starszego paleozoiku, materiał wityrynitopodobny o cechach optycznych wityrynitów (graptolity i stałe bituminy) oraz na macerałach wityrynitów w osadach młodszych. Składniki te charakteryzują się liniowym wzrostem zdolności odbicia światła wraz ze wzrostem stopnia dojrzałości (Stach i in., 1982). Wymagana wielkość ziarn $>5 \mu\text{m}$ jest minimalną, niezbędną do uzyskania właściwego wyniku (Jacob, 1972).

Badania wykonano przy użyciu:– wzorców ze szkła optycznego o określonej, stałej refleksyjności: 0,4958%; 0,9207%; 1,14130% oraz 1,6618%; – filtru monochromatycznego o długości fali 546 nm; – blendy pomiarowej o wielkości 0,16 mm; – olejku imersyjnego o $n_D = 1,515$ w temp. 20–25°C.

Analiza jakościowa macerałów grupy liptynitów wykonana została przy użyciu niebieskiego filtra wzbudzącego. Przy opisie składników petrograficznych stosowano nomenklaturę i klasyfikację przyjętą przez Międzynarodowy Komitet Petrologii Węgla (ICCP; International..., 1994). Uzyskane wyniki zamieszczone zostały w tabelach.

OMÓWIENIE WYNIKÓW ANALIZ

Kreda

Utwory kredy górnej przebadane w próbcie łożca z głębokości 501,0 m zawierają materię organiczną typu humusowego pochodzącą głównie z redepozycji (95%). Materiał redeponowany reprezentowany jest przez zróżnicowanej wielkości (10–30 μm) ostrokrawędzisty i obtoczony detrytus wityrynitowy (witrodetrynit) i inertynitowy (inertodetrynit) natomiast nieliczny materiał organiczny *in situ* tworzą macerały grupy wityrynitów, huminitów oraz liptynitów. Wityrynit i huminit występują głównie w formie soczewek i lamin o zmiennej grubości od kilku do kilkuset mikromilimetrów. Ich ilość osiąga 47% materiału organicznego w osadzie (tab. 11; fig. 26).

Znaczną rolę w składzie materii organicznej górnej kredy odgrywają macerały grupy liptynitów stanowiące około 26% substancji organicznej w skale. Reprezentowane są one przez mikrospory, okruchy makro i mikrosporynitów, kutynit oraz alginit fluoryzujące w kolorze jasno-żółtym oraz rezynit i lipto-

detrynit fluoryzujące w kolorach od żółtego do pomarańczowo-brunatnego. Skład materii organicznej uzupełnia bezstrukturalna materia organiczna typu bitumicznego (10%). Występuje ona w postaci gniazdowych i soczewkowatych skupień oraz przewarstwień osadu. Znaczną domieszkę (17%) w składzie organiki humusowej, stanowią macerały grupy inertynitów reprezentowane przez inertodetrynit, fragmenty semifuzynitów, fuzynitów oraz sklerocje.

Analizowane osady górnej kredy są bardzo słabo przeobrażone. Wartość wskaźnika R_o pomierzona na autogenicznym huminie i wityrynicie zmienia się od 0,45 do 0,54% (średnia 0,50%) (tab. 11; fig. 27). Materiał redeponowany charakteryzują wartości R_o od 0,72 do 0,87%. Powyższe dane świadczą o niedojrzałości badanych utworów do generowania węglowodorów. Niska temperatura diagenetyzacji analizowanej próbki osadu z górnej kredy, nie przekraczająca najprawdopodobniej 50°C (Lopatin, 1971; Bostic, 1973; Gaup i Batten, 1985) wskazuje, że badany poziom jest niemacierzysty dla generacji węglowodorów (Robert, 1988).

Tabela 11

Analiza mikroskopowa materii organicznej rozproszonej w utworach permu i mezozoiku

Microscopical analysis of the organic master dispersed in the Permian and Mesozoic sediments

Głębokość [m]	Stratygrafia	Litologia	Witrynit [%]	Inertynit [%]	Liptynit [%]	AOM [%]	R_o [%]	Zakres* pomiarów [%]	$R_{o,red}$ [%]
501,0	K ₃	iłowce	47	17	26	10	0,50	0,45–0,54	0,72–0,87
900,7	T ₁	mułowce	41	21	20	18	0,55	0,50–0,65	1,14–1,23
1107,7	P ₃	piaskowce	87	11	2		0,53	0,49–0,67	1,35–1,57
1145,7	P ₃	piaskowce	92	6	2		0,54	0,51–0,69	1,38–1,65

Witrynit – suma witrynit i huminitu; AOM – asocjacja organiczno-mineralna typu bitumicznego; R_o – średnia refleksyjność witrynit/huminitu *in situ*; * – zakres pomiarów współczynnika R_o na macerałach witrynit i huminitu *in situ*; $R_{o,red}$ – średnia refleksyjność witrynit redeponowanego

Witrynit – sum of the vitrinite and huminite; AOM – organo-mineral association bitumene type; R_o – random value of the vitrinite and huminite “in situ” reflectivity; * – range of the reflectivity index of the “in situ” vitrinite and huminite macerals; $R_{o,red}$ – random value of the reworked vitrinite

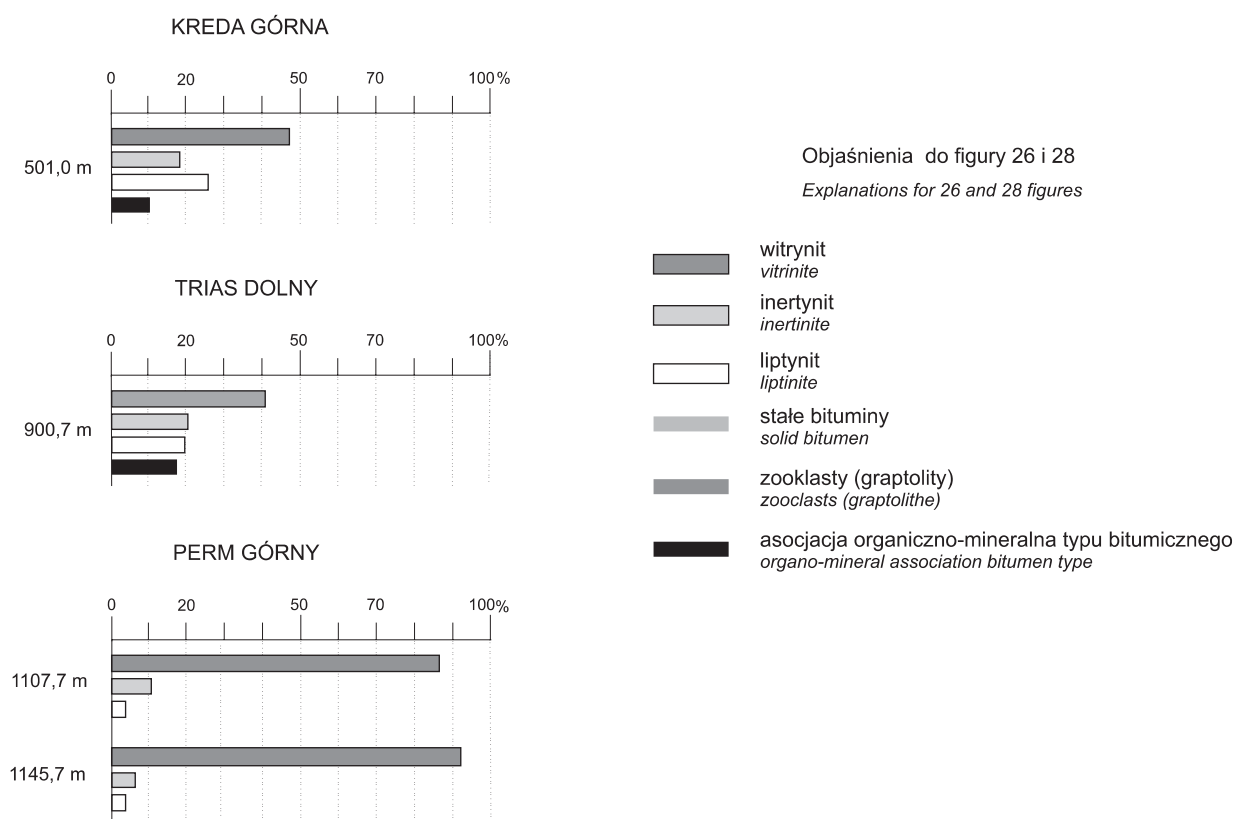


Fig. 26. Skład maceralny materii organicznej w osadach permu i mezozoiku

Distribution of organic master content in the Permian and Mesozoic sediments

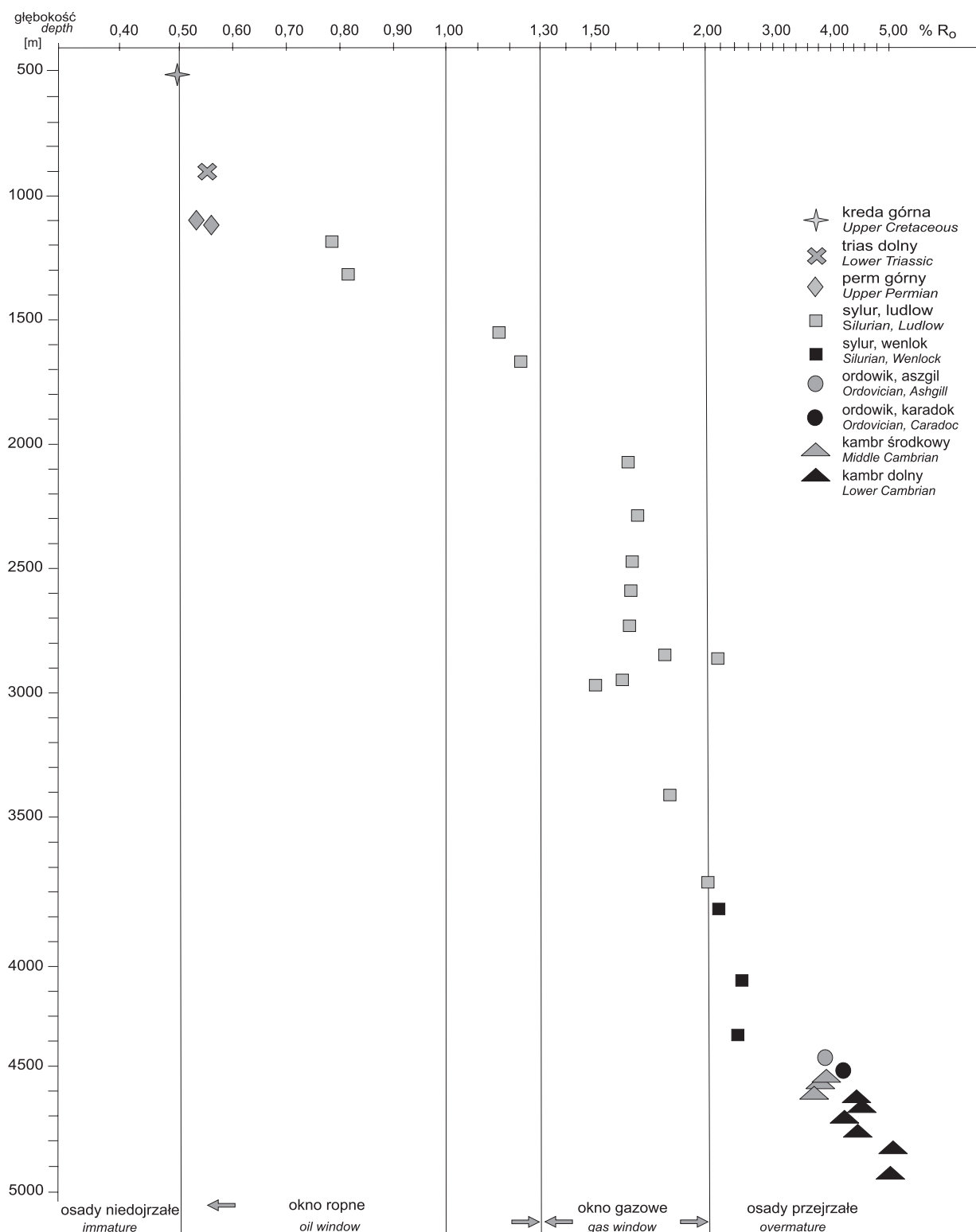


Fig. 27. Zmienność stopnia dojrzałości materii organicznej

Values of vitrinite reflectance index

Trias

Utwory dolnego triasu przebadane w próbce mułowca z głębokości 900,7 m zawierają niewielką ilość materii organicznej typu humusowego zarówno *in situ*, jak i pochodzącej z redepozycji osadów starszych. Głównym składnikiem (41%) jest wityrynit typu telokolinitu występujący w formie soczewek i laminek, wityrydetrynit oraz macerały inertynitu (21%) reprezentowane przez semifuzynit, fuzynit i inertodetrynit. We fluorescencji obserwuje liczną grupę (20%) macerałów liptynitu fluoryzującą w kolorze żółtym (kutynit) oraz pomarańczowym (sporynit, sklerotynit, rezynit, inertodetrynit). Około 18% materii organicznej stanowi asocjacja organiczno-mineralna zbudowana z minerałów ilastych przemieszanych z nieidentyfikowalnymi, silnie zdyspergowanymi ziarnami organicznymi (tab. 11; fig. 26).

Dojrzałość termiczna materii organicznej jest niska (fig. 27). Pomierzone na wityrynie *in situ* wartości refleksyjności zmieniają się w granicach 0,50–0,65% R_o (średnia 0,55%) co odpowiada wczesnej fazie generowania ciekłych węglowodorów i maksymalnym paleotemperaturom diagenetyzacji rzędu 50–60°C. Refleksyjność okruchów redeponowanych wynosi 1,14–1,23% R_o red.

Perm

Utwory górnego permu przeanalizowane zostały w dwóch próbkach piaskowców z głębokości 1107,7 oraz 1145,7 m. Zawierają one skąpą materię organiczną reprezentowaną przez nieliczne skupienia macerałów wityrynitu oraz detrytus o cechach optycznych wityrynitu i inertynitu.

Wityrynit oraz materiał wityrynitopodobny o cechach optycznych wityrynitu stanowi w analizowanych osadach 92 do 96% materii organicznej (tab. 11; fig. 26). Występuje on najczęściej w postaci drobnych, ziarnistych skupień o rozmiarach 2–6 μm , sporadycznie ponad 10 μm . Są to zazwyczaj bezładnie rozproszone ostrokrawędziste okruchy tworzące gniazdowe skupienia w ilasto-żelazistym spoiwie piaskowców. Bardzo rzadko mają one formę drobnych żyłek lub soczewek. Badany materiał organiczny jest pochodzenia zarówno autogenicznego, jak i redeponowany. Odnosi się to do składników wityrynitopodobnych oraz macerałów inertynitu.

Pomierzona zdolność odbicia światła wityrynitu i materiału wityrynitopodobnego *in situ* waha się w granicach 0,47–0,69% R_o (średnia wartość wynosi 0,53–0,54% R_o), natomiast refleksyjność wityrynitopodobnych składników pochodzących z redepozycji jest zdecydowanie wyższa i zmienia się od 1,3 do 1,65% R_o red (tab. 11; fig. 27).

Sylur

Osady ludlowu przeanalizowane w 13 próbkach utworów ilastych, pochodzących z interwału głębokości 1194,9 do 3188,6 m, zawierają zmienną ilość materii organicznej, od bardzo bogatej po ilości śladowe.

Skład petrograficzny materiału organicznego większości próbek jest zdominowany przez asocjację organiczno-mineralną typu bitumicznego (AOM). Wynosi ona najczęściej 50 do 90% materii organicznej w osadzie (jedynie w trzech prób-

kach jej ilość spada do kilkunastu procent) stanowiąc masę podstawową, w której rozproszone są większe, identyfikowalne składniki mineralne i organiczne (stałe bituminy i zooklasty, np. graptolity). W osadach zubożonych w AOM tworzy ona laminy oraz soczewkowate i gniazdowe skupienia.

Drugim powszechnie występującym składnikiem we wszystkich analizowanych próbkach jest syngenetyczny z osadem, materiał wityrynitopodobny reprezentowany najczęściej przez stałe bituminy (bitumin) oraz zooklasty. Zawartość bituminu zmienia się w bardzo szerokim zakresie od 2 do 37%; ma on najczęściej postać drobnych (3–10 μm) ziarenek lub cienkich żyłek. Bardzo rzadko występuje w formie laminek i soczewek o wielkości do 50 μm . Zooklasty, będące zazwyczaj zwityrynitowanymi szczątkami organicznymi głównie graptolitami, stanowią od 2 do 79% materii organicznej w osadzie. Charakteryzują się znaczną różnorodnością form występowania, najczęściej tworzą pasemka o grubości dochodzącej do 100 μm i długości osiagającej nawet 2 cm.

W najśląbiej przeobrażonych warstwach przystropowych ludlowu z interwału głębokości 1194,9–1326,0 m występuje niewielka ilość macerałów liptynitu (2–3%) reprezentowanych przez alginity oraz liptodetrynity fluoryzujące w kolorze żółtym i żółto-pomarańczowym (tab. 12; fig. 28). W większości próbek obserwuje się niezbyt liczne impregnacje bitumiczne fluoryzujące w kolorze brunatnym.

Stopień przeobrażenia materii organicznej występującej w osadach ludlowu ulega znacznym wahaniom związanym ściśle z głębokością ich pograżenia. Skrajne wartości współczynnika R_o są bardzo silnie zróżnicowane (0,71–3,07%). Tak duży rozrzut pomiarów pomiędzy stropem i spągami utworów ludlowu związany jest niewątpliwie ze zmieniającymi się warunkami termicznymi w głębszych partiach analizowanego kompleksu skał oraz ze zjawiskiem anizotropii cechującym silnie przeobrażony materiał organiczny, występujący w osadach zalegających poniżej 2087 m. Wyliczone średnie wartości zdolności refleksyjnej zmieniają się od 0,79% R_o , na głębokości 1194,9 m do 1,72% R_o na głębokości 3188,6 m (tab. 12). Wzrost dojrzałości materii organicznej nie przebiega jednak stopniowo wraz z pograżaniem osadu, a wyraźny skok uwęglenia zaznacza się na głębokości poniżej 2000 m (fig. 27).

Przystropowe osady ludlowu, do głębokości 1678 m, znajdują się w głównej i późnej fazie generowania ropy naftowej (0,79–1,23% R_o) przy maksymalnych paleotemperaturach diagenetyzacji rzędu 80–140°C. Dojrzałość termiczna utworów zalegających poniżej odpowiada głównej fazie generowania gazów (1,66–1,82% R_o) i maksymalnym paleotemperaturom oddziaływującym na osad rzędu 170–190°C.

Osady wenloku przeanalizowane w 6 próbkach ilowców z interwału głębokości 3401,9–4398,0 m zawierają dość liczną materię organiczną o składzie i formie występowania analogicznej do utworów ludlowu (tab. 12; fig. 28). Najliczniej reprezentowana jest asocjacja organiczno-mineralna typu bitumicznego (44–91%) stanowiąca podstawową masę skalną lub skoncentrowana w laminach oraz soczewkowatych i gniazdowych skupieniach. Współwystępują z nią stałe bituminy (4–25%) oraz zooklasty, głównie graptolity (5–32%).

Stopień dojrzałości termicznej utworów wenloku jest wyraźnie wyższy niż osadów ludlowu, odpowiada w części stro-

Tabela 12
Analiza mikroskopowa materii organicznej rozproszonej
w utworach starszego paleozoiku

Microscopical analysis of the organic matter dispersed
 in the older Palaeozoic sediments

Głębokość [m]	Straty- grafia	Litologia	WTP		L [%]	AOM [%]	R _o [%]	Zakres * pomiarów
			SB	Zoo				
1194,9	Sld	iłowce	4	2	3	91	0,79	0,72–0,93
1326,0	Sld	iłowce	3	8	2	87	0,82	0,71–0,96
1540,0	Sld	iłowce	12	77		11	1,16	0,90–1,43
1678,0	Sld	iłowce	10	22		68	1,23	0,98–1,58
2087,3	Sld	łupki	6	13		81	1,66	1,13–2,28
2292,2	Sld	łupki	9	6		85	1,71	1,25–1,79
2492,2	Sld	iłowce	21	64		15	1,68	1,19–2,22
2591,1	Sld	iłowce	3	1		96	1,68	1,20–2,24
2725,0	Sld	łupki	19	22		59	1,66	1,17–2,19
2729,2	Sld	iłowce	2	5		93	1,73	1,34–2,69
2864,0	Sld	iłowce	37	19		44	1,82	1,57–3,07
2963,5	Sld	łupki	3	79		18	1,53	1,16–1,73
3188,6	Sld	łupki	6	38		56	1,72	1,33–2,65
3401,9	Sw	łupki	20	14		66	1,86	1,42–2,93
3684,9	Sw	iłowce	11	7		82	1,88	1,45–3,05
3750,1	Sw	łupki	4	5		91	2,06	1,47–2,59
3889,4	Sw	iłowce	18	21		61	2,11	1,73–3,14
4156,5	Sw	iłowce	17	13		70	2,47	1,96–3,48
4398,0	Sw	iłowce	25	32		44	2,45	1,94–3,49
4492,8	Oa	iłowce	28	19		53	3,90	2,87–4,72
4507,2	Ok	iłowce	31	12		57	4,20	2,53–5,03
4541,8	Cm ₂	iłowce	23			77	3,95	2,41–4,92
4560,9	Cm ₂	iłowce	34			66	3,70	3,05–4,86
4610,9	Cm ₂	piaskowce	11			89	4,15	2,18–5,10
4623,9	Cm ₁	iłowce	13			87	4,38	2,26–5,33
4661,5	Cm ₁	piaskowce	43			57	4,48	1,83–5,20
4703,5	Cm ₁	mułowce	3			97	4,32	2,30–5,16
4732,7	Cm ₁	piaskowce	12			88	4,50	3,27–5,32
4832,4	Cm ₁	iłowce	24			76	4,75	2,97–5,43
4933,9	Cm ₁ –ECm	piaskowce	93			7	4,92	2,47–5,52

Sld – sylur, ludlow; Sw – sylur, wenlok; Oa – ordowik, aszgil; Ok – ordowik, karadok; Cm₂ – kambry środkowy; Cm₁ – kambry dolny; ECm – ediacar; WTP – materiał organiczny wityrynitopodobny o cechach optycznych wityrynytu; SB – stałe bituminy; Zoo – zooklasty (graptolity); L – liptynit. Pozostałe objaśnienia jak do tabeli 11

Sld – Silurian, Ludlow; Sw – Silurian, Venlock; Oa – Ordovician, Ashgil; Ok – Ordovician, Caradoc; Cm₂ – middle Cambrian; Cm₁ – lower Cambrian; ECm – Ediacaran; WTP – vitrinite-like organic matter; SB – solid bitumen; Zoo – zooclasts (graptolites); L – liptinite. For other explanations see Table 11

powej fazy generacji gazów przechodzącej ku spągowi w fazę generacji gazów suchych, nieekonomicznych, przy średniej refleksyjności 1,86–2,47% R_o (wartości skrajne 1,42–3,49%) i maksymalnych paleotemperaturach rzędu 190–250°C.

Ordowik

Utwory **aszgilu** przeanalizowane w próbkach z głębokości 4492,8 m zawierają niezbyt liczną materię organiczną reprezentowaną przez asocjację organiczno-mineralną typu bitumicznego (53%) z wytrąconymi homogenicznymi ziarnami bituminu (28%) oraz fragmentami graptolitów (12%) występujących w formie okruchów o wielkości od 3 do 24 µm oraz pasemek o długości do 700 µm. We fluorescencji obserwuje się niezbyt liczne impregnacje bitumiczne.

Materia organiczna z osadów **aszgilu** jest bardzo silnie przeobrażona. Rozrzut wartości współczynnika refleksyjności zmienia się w granicach 2,87–4,72% R_o (anizotropia) przy wyliczonej średniej wynoszącej 3,90% R_o (tab. 12; fig. 27). Wartości te wskazują na fazę przejrzalą, w której mogą być wygenerowane jedynie gazy suche wysokometanowe, a maksymalne paleotemperaturey diagenety tych osadów przewyższały najprawdopodobniej 300°C.

Osady **karadoku** przeanalizowane w próbkach z głębokości 4507,2 m charakteryzują się znaczną zawartością substancji organicznej zbudowanej z asocjacji organiczno-mineralnej typu bitumicznego (57%), stanowiącej podstawową masę skalną zawierającą drobne (5–10 µm) ziarna i żyłki bituminu (31%) oraz zwitrynizowane fragmenty zooklastów (12%), najczęściej graptolitów (tab. 12; fig. 28). Występują one zazwyczaj w formie soczewek i pasemek, a ich wielkość osiąga często 100 do 600 µm.

Lokalnie obserwuje się nieliczne impregnacje bituminami, tworzącymi rozmyte smugi fluoryzujące w kolorze pomarańczowym i brązowym.

Dojrzałość termiczna analizowanej próbki jest wyższa od poprzednio omawianej. Pomierzone wartości R_o minimalne i maksymalne (anizotropia) zmieniają się w zakresie 2,53–5,05%. Średnia refleksyjność materiału wityrynitopodobnego wynosi 4,20% R_o, wskazując na fazę przejrzalą z punktu widzenia generowania węglowodorów oraz na bardzo wysokie maksymalne paleotemperaturey diagenety, rzędu 350°C.

Kambry

Utwory **środkowego kambry** przeanalizowane w 3 próbkach (iłowce i piaskowce) z interwału głębokości 4541,8–4610,1 m zawierają dość obfity materiał organiczny *in situ* reprezentowany przez stałe bituminy (bituminy), występujące w postaci drobnych (poniżej 5 µm) strzępiastych ziaren, soczewek oraz cienkich żyłek i laminek o grubości nieprzekraczającej 15 µm. Stanowią one od 11% (próbka piaskowca) do 23–34% (iłowce) materii organicznej w osadzie. Lokalnie sil-

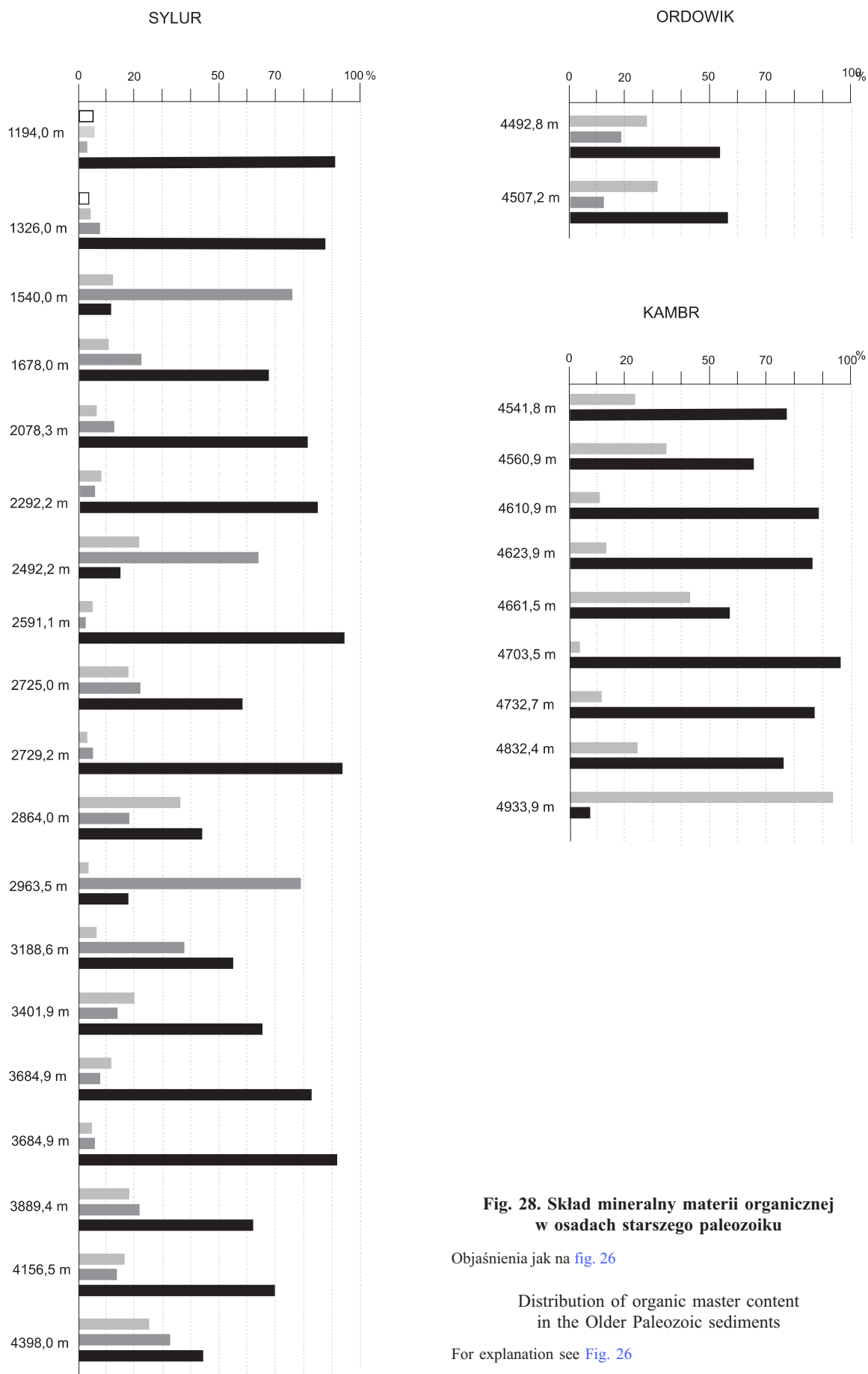


Fig. 28. Skład mineralny materii organicznej w osadach starszego paleozoiku

Objaśnienia jak na [fig. 26](#)

Distribution of organic matter content in the Older Paleozoic sediments

For explanation see [Fig. 26](#)

nie zdyspergowane homogeniczne ciała bituminu przemieszane z łem tworzą asocjację organiczno-mineralną typu bitumicznego, stanowiącą masę podstawową skały (66–89%) (tab. 12; fig. 28). We fluorescencji obserwuje się żółto-pomarańczowe, niezbyt liczne impregnacje bitumiczne.

Stopień dojrzałości termicznej utworów środkowego kambru jest analogiczny do analizowanych osadów ordowiku (fig. 27). Zakres pomiarów obejmuje wartości współczynnika R_o od 2,18 do 5,10% (anizotropia). Średnie wartości zmieniają się w granicach 3,70–4,15% wskazując na przejrziałą fazę generacji węglowodorów i maksymalne paleotemperatury diagenetyzacji sięgające 350°C.

Osady **dolnego kambru**, przeanalizowane w 5 próbkach iłowców i piaskowców o spoiwie ilastym, zawierają skąpą materię organiczną reprezentowaną przez silnie zdyspergowane, drobne (2–5 μm) ziarna bituminu, tworzące wraz z materiałem ilastym asocjację organiczno-mineralną typu bitumicznego stanowiącą 57–97% materii organicznej w skale. W iłowcach występuje ona w postaci smużystych i gniazdowych skupień lub jest bezładnie rozproszona, stanowiąc często podstawową masę skalną. W piaskowcach wypełnia pory w skale albo otacza ziarna kwarcu, tworząc rodzaj spoiwa kontaktowego. Z asocjacją organiczno-mineralną typu bitumicznego współwystępuje zazwyczaj homogeniczny bitumin w ilości 3–43% składu materii organicznej. Ma on najczęściej postać drobnych strzępków, płas-

kich soczewkowatych skupień, rzadziej są to delikatne żyłki o grubości 1–5 μm .

Próbka piaskowca pochodząca z pogranicza **ediakaru** i kambru dolnego jest bardzo uboga w materię organiczną reprezentowaną głównie przez bitumin (93%), występujący w formie drobnych (do 6 μm) ziaren oraz cienkich, krótkich żyłek i nielicznych (7%) gniazdowych skupień asocjacji organiczno-mineralnej typu bitumicznego (tab. 12; fig. 28).

Stopień dojrzałości utworów dolnego kambru jest bardzo wysoki. Materia organiczna wykazuje, podobnie jak w poprzednio omawianych osadach starszego paleozoiku, silne własności anizotropii co powoduje, że wartości pomiarów współczynnika refleksyjności zmieniają się w bardzo szerokim zakresie 1,83% (R_o minimalne)–5,52% (R_o maksymalne). Średnia refleksyjność wzrasta dość regularnie wraz z głębokością pograżenia osadów od 4,38% na głębokości 4623,9 m do 4,75% na głębokości 45832,4 m oraz 4,92% na granicy ediakar/kambr dolny na głębokości 4933,9 m (tab. 12; fig. 27).

Przedstawione średnie wartości refleksyjne wskazują na silne przegrzanie utworów kambryjskich w badanym profilu osadów. O bardzo wysokich temperaturach diagenetyzacji tych osadów (300–350°C) świadczą również liczne ślady odgazowania obserwowane na powierzchni fragmentów organicznych zawartych w utworach dolnego kambru.

PODSUMOWANIE

Analizowany materiał organiczny jest bardzo słabo zróżnicowany pod względem typu genetycznego, składu petrograficznego oraz formy występowania. W utworach kambru i ordowiku reprezentowany jest głównie przez asocjację organiczno-mineralną typu bitumicznego oraz przez związane z nią genetycznie stałe bituminy (bitumin).

W osadach syluru wzrasta udział materiału wityrynitopodobnego reprezentowanego przez zwęglone (zwityrynityzowane) w różnym stopniu szczątki roślinne i zwierzęce (zooklasty, głównie graptolity).

W utworach permu, triasu i kredy dominuje materiał humusowy (maceraty wityrynytu i inertynytu).

Dojrzałość termiczna osadów paleozoiku i mezozoiku w profilu otworu wiertniczego Słupsk IG 1 zmienia się w bardzo szerokim zakresie odzwierciedlając pełen zakres możliwości generacji węglowodorów, od niedojrzałej i wczesnej fazy generowania w utworach permu i mezozoiku poprzez główną fazę generacji ropy naftowej i gazów w utworach syluru (ludlow) po fazę przejrziałą, w której tworzyć się mogą jedynie gazy suche wysokometanowe w utworach kambru oraz syluru (wenlok). Odpowiada to zmianom refleksyjnym i temperaturowym, od około 0,50% R_o przy maksymalnej paleotemperaturze rzędu 50°C do ponad 4,5% R_o i maksymalnej paleotemperaturze przekraczającej 350°C.

Ewa KLIMUSZKO

CHARAKTERYSTYKA GEOCHEMICZNA MATERII ORGANICZNEJ

W otworze Słupsk IG 1 badania geochemiczne materii organicznej przeprowadzone były dla utworów ediakaru–kambru dolnego, kambru środkowego, ordowiku (karadok,

aszgil), syluru (wenlok i ludlow), utworów permu, a także w mezozoiku dla utworów dolnego i górnego triasu oraz pojedyncza próba z utworów górnej kredy.

ILOŚĆ OZNACZONEJ MATERII ORGANICZNEJ

Generalnie należy stwierdzić, że piaskowcowo-mułowcowo-ilasty kompleks utworów wczesnego paleozoiku nie zawiera znacznej ilości węgla organicznego. Większa ilość węgla organicznego (1%) występuje w stropowych partiach utworów kambru środkowego (tab. 13, fig. 29). Ilość bituminów wydzielonych z tych skał jest mała (tab. 13). Podwyższona zawartość

składników labilnych występuje w piaszczysto-zlepieńcowych utworach formacji żarnowieckiej (ediakar–kambr dolny). Uwzględniając niewielką ilość węgla organicznego obecną w tych utworach i wysoką wartość współczynnika migracji można założyć, że bituminy tu zawarte są epigenetyczne w stosunku do osadu (Gondek, 1980).

Tabela 13

Dane geochemiczne z badań materii organicznej
Geochemical data of studies for organic matter

Głębokość [m]	Stratygrafia	Litologia	Zawartość bituminów [%]	Zawartość węgla organicz. [%]	Zawartość % węglow. w bitum.	Zawartość % węglow. w skale	Zawartość % węglow. nasyconych w bitum.	Zawartość % węglow. aromatycz. w bitum.	Zawartość % żywic i asfaltenów w bitum.	Współczynnik migracji
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
501,5	K ₃	iłowce	0,004	1,10						
588,0	T ₃	zlepieńce	0,001	0,30						
655,5	T ₁	wapienie	0,011	0,20	47,0	0,005	12,0	35,0	53,0	0,025
900,7		mułowce	0,006	0,10	26,0	0,001	24,0	2,0	74,0	0,010
989,0		mułowce	0,007	0,10	26,0	0,002	24,0	2,0	74,0	0,020
1107,7		piaskowce	0,004	0,20						
1126,5	P	piaskowce	0,007	0,30	27,0	0,002	21,0	6,0	73,0	0,007
1133,0		piaskowce	0,013	0,30	27,0	0,003	21,0	6,0	73,0	0,010
1145,7		piaskowce	0,008	0,20						
1151,0	Sld	iłowce	0,009	0,30						
1194,0		iłowce	0,023	0,50	13,0	0,003	5,0	8,0	87,0	0,006
1318,1		iłowce	0,032	0,50	47,0	0,015	38,0	9,0	53,0	0,030
1325,2		iłowce	0,035	0,60	38,0	0,013	28,0	10,0	62,0	0,022
1424,0		iłowce	0,014	0,60	30,0	0,004	21,0	9,0	70,0	0,007
1536,6		iłowce	0,011	0,17	56,2	0,006	42,9	13,3	43,8	0,036
1539,9		iłowce	0,024	0,70	26,0	0,006	22,0	4,0	74,0	0,008
1544,5		iłowce	0,030	0,70	42,0	0,013	32,0	10,0	58,0	0,018
1670,2		iłowce	0,020	0,70	36,0	0,007	26,0	10,0	64,0	0,010
1676,2		iłowce	0,020	0,50	36,0	0,007	26,0	10,0	64,0	0,014
1678,0		iłowce	0,015	0,70						
2090,3		ił. mułow.	0,012	0,50	17,0	0,002	12,0	5,0	83,0	0,004
2096,2		ił. mułow.	0,014	0,60	17,0	0,002	12,0	5,0	83,0	0,003
2291,1		ił. mułow.	0,006	0,60						
2296,5		ił. mułow.	0,013	0,70	30,0	0,004	23,0	7,0	70,0	0,006
2491,2		ił.mułow.	0,003	0,90						
2492,1		iłowce	0,006	0,20						
2496,3		ił. mułow.	0,007	0,70						
2596,8		iłowce	0,014	0,50	16,0	0,002	12,0	4,0	84,0	0,004
2725,0		ił.mułow.	0,005	0,60						
2865,0	ił.mułow.	0,006	0,70							
2965,2	iłowce	0,005	1,00							
3083,7	ił.mułow.	0,005	0,60							
3084,7	iłowce	0,006	0,23							
3092,4	ił. mułow.	0,002	0,70							
3188,6	ił. mułow.	0,002	0,50							
3196,4	ił.mułow.	0,006	0,60	17,0	0,001	14,0	3,0	83,0	0,002	
3282,2	ił.mułow.	0,003	0,60							
3289,9	ił.mułow.	0,007	0,50							
3401,9	Sw	ił.mułow.	0,002	0,60						
3479,3		ił. mułow.	0,021	0,50	10,0	0,002	5,0	5,0	90,0	0,004
3482,0		mułowiec	0,008	0,80	28,0	0,002	16,0	12,0	72,0	0,002

Tabela 13 cd.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3544,0	Sw	iłowce	0,008	0,50						
3610,6		iłowce	0,004	0,50						
3684,9		iłowce	0,009	0,50	26,0	0,002	11,0	15,0	74,0	0,004
3691,2		iłowce	0,002	0,50						
3750,1		iłowce	0,012	0,50	22,0	0,003	15,0	7,0	78,0	0,006
3758,9		iłowce	0,017	0,60	19,0	0,003	11,0	8,0	81,0	0,005
3788,8		iłowce	0,005	0,60						
3829,0		iłowce	0,003	0,60						
3876,1		iłowce	0,003	0,50						
3885,2		iłowce	0,002	0,50						
3889,4		iłowce	0,003	0,60						
3910,0		iłowce	0,003	0,60						
3966,2		iłowce	0,008	0,50	27,0	0,002	15,0	12,0	73,0	0,004
4013,7		iłowce	0,004	0,70						
4026,2		iłowce	0,004	0,70						
4028,0		iłowce	0,006	0,22						
4042,0		iłowce	0,011	0,60	26,0	0,003	18,0	8,0	74,0	0,005
4051,0		iłowce	0,005	0,60						
4058,9		iłowce	0,004	0,50						
4075,1		iłowce	0,013	0,50	26,0	0,003	18,0	8,0	74,0	0,004
4088,7		iłowce	0,001	0,50						
4156,5		iłowce	0,001	0,60						
4189,1		iłowce	0,004	0,60						
4195,6		iłowce	0,009	0,60	37,0	0,003	28,0	9,0	63,0	0,005
4199,9		iłowce	0,002	0,60						
4204,0		iłowce	0,001	0,60						
4212,5		iłowce	0,008	0,60						
4220,1		iłowce	0,012	1,40	49,0	0,006	38,0	11,0	51,0	0,004
4233,9		iłowce	0,017	0,90	49,0	0,008	38,0	11,0	51,0	0,009
4240,2		iłowce	0,008	0,48	51,9	0,004	37,6	14,3	48,1	0,009
4249,8		iłowce	0,010	0,70	12,0	0,001	6,0	6,0	88,0	0,001
4262,0		iłowce	0,007	0,60	27,0	0,002	22,0	5,0	73,0	0,003
4269,0		iłowce	0,008	0,50	27,0	0,002	22,0	5,0	73,0	0,004
4278,2		iłowce	0,004	0,60						
4292,2		iłowce	0,003	0,50						
4307,0		iłowce	0,004	0,60						
4323,3		iłowce	0,003	0,70						
4329,4		iłowce	0,008	0,60						
4336,7		iłowce	0,004	0,70						
4343,4		iłowce	0,002	0,90						
4352,8		iłowce	0,011	0,60	45,0	0,005	36,0	9,0	55,0	0,008
4361,0		iłowce	0,009	1,00	27,0	0,002	19,0	8,0	73,0	0,002
4367,3		iłowce	0,005	1,10						
4398,0		iłowce	0,009	1,40	27,0	0,002	21,0	6,0	73,0	0,001
4405,0	iłowce	0,007	1,20	44,8	0,003	31,4	13,4	55,2	0,002	
4407,0	iłowce	0,009	1,00	27,0	0,002	21,0	6,0	73,0	0,002	
4446,0	iłowce	0,004	0,80							

Tabela 13 cd.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
4450,0	Sw	iłowce	0,006	0,44							
4461,0		iłowce	0,004	0,80	45,0	0,002	24,0	21,0	55,0	0,002	
4466,4		iłowce	0,009	0,70	45,0	0,004	24,0	21,0	55,0	0,006	
4492,8	Oa	iłowce	0,003	0,70							
4497,7	Ok	iłowce	0,004	0,80							
4507,2		iłowce	0,004	0,90							
4510,1		iłowce	0,004	1,00							
4514,8		iłowce	0,015	1,00	21,0	0,003	9,0	12,0	79,0	0,003	
4518,5	Cm ₂	iłowce	0,002	0,60							
4521,7		iłowce	0,003	0,90							
4533,3		iłowce	0,001	0,70							
4541,8		iłowce	0,005	0,70							
4549,3		iłowce	0,012	0,70	4,0	0,005	1,0	3,0	96,0	0,007	
4556,3		iłowce	0,009	0,70							
4563,7		iłowce	0,005	0,80							
4571,8		iłowce	0,003	1,00							
4582,6		iłowce	0,006	0,70	22,0	0,001	8,0	14,0	78,0	0,001	
4586,0		iłowce	0,011	0,70	22,0	0,002	8,0	14,0	78,0	0,003	
4593,8		iłowce	0,004	0,60							
4601,5		iłowce	0,009	0,60	33,0	0,003	25,0	8,0	67,0	0,005	
4604,7		iłowce	0,006	0,10	33,0	0,002	25,0	8,0	67,0	0,020	
4610,5		iłowce	0,006	0,50	33,0	0,002	25,0	8,0	67,0	0,004	
4613,0		Cm ₁	iłowce	0,006	0,10						
4614,5			iłowce	0,001	0,50						
4623,9			iłowce	0,005	0,30						
4633,3			iłowce	0,006	0,50						
4642,5	iłowce		0,001	0,70							
4653,6	iłowce		0,007	0,60	21,0	0,001	15,0	6,0	79,0	0,002	
4666,3	iłowce		0,008	0,50	21,0	0,002	15,0	6,0	79,0	0,004	
4676,5	iłowce		0,011	0,70	31,0	0,003	29,0	2,0	69,0	0,004	
4683,1	iłowce		0,004	0,70							
4691,3	iłowce		0,014	0,20	21,0	0,003	15,0	6,0	79,0	0,015	
4700,2	mułowiec		0,010	0,60	18,0	0,002	12,0	6,0	82,0	0,003	
4708,3	mułowiec		0,010	0,30	18,0	0,002	12,0	6,0	82,0	0,007	
4712,2	mułowiec		0,006	0,20							
4716,3	piaskowce		0,004	0,30							
4718,1	piaskowce		0,006	0,60							
4722,9	iłowce		0,035	0,20	19,0	0,007	14,0	5,0	81,0	0,035	
4727,3	iłowce		0,007	0,50	24,0	0,002	18,0	6,0	76,0	0,004	
4729,2	piaskowce		0,009	0,10	24,0	0,002	18,0	6,0	76,0	0,020	
4750,2	piaskowce		0,011	0,20	27,0	0,003	19,0	8,0	73,0	0,015	
4764,2	piaskowce		0,006	0,10							
4775,4	iłowce	0,007	0,30								
4786,3	piaskowce	0,014	0,30	11,0	0,001	7,0	4,0	89,0	0,003		
4793,0	piaskowce	0,001	0,10								
4800,2	piaskowce	0,010	0,20	39,0	0,004	30,0	9,0	61,0	0,020		
4815,1	mułowce	0,005	0,50								
4829,9	iłowce	0,010	0,10	28,0	0,003	21,0	7,0	72,0	0,030		

Tabela 13 cd.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4832,3	Cm ₁	iłowce	0,001	0,60						
4856,2		piaskowce	0,022	0,20	18,0	0,004	16,0	2,0	82,0	0,020
4865,0		piaskowce	0,007	0,10	29,0	0,002	27,0	2,0	71,0	0,020
4871,7		piaskowce	0,007	0,10	29,0	0,002	27,0	2,0	71,0	0,020
4888,4		piaskowce	0,018	0,10	62,0	0,011	50,0	12,0	38,0	0,110
4893,3	Cm ₁ -Ed	piaskowce	0,007	0,20	27,0	0,002	22,0	5,0	73,0	0,020
4901,8		piaskowce	0,008	0,10	27,0	0,002	22,0	5,0	73,0	0,020
4911,8		piaskowce	0,015	0,10	32,0	0,005	24,0	8,0	68,0	0,050
4924,9		piaskowce	0,014	0,10	8,0	0,001	7,0	1,0	92,0	0,010
4927,6		piaskowce	0,001	0,30						
4933,9		piaskowce	0,004	0,10						
4938,5		piaskowce	0,008	0,40	30,0	0,002	18,0	12,0	70,0	0,005
4943,7		piaskowce	0,014	0,10	61,0	0,008	49,0	12,0	39,0	0,080
4951,6		piaskowce	0,017	0,30	17,0	0,003	8,5	8,5	83,0	0,010
4964,7		piaskowce	0,040	0,10	20,0	0,008	11,0	9,0	80,0	0,080
4977,0		piaskowce	0,013	0,30	24,0	0,003	16,0	8,0	76,0	0,010
4988,0		piaskowce	0,007	0,20						
4990,1		piaskowce	0,008	0,20	66,0	0,005	51,0	15,0	34,0	0,025
5000,0		piaskowce	0,009	0,10	21,0	0,002	12,0	9,0	79,0	0,020
5019,0		zlepieńce	0,032	0,30	33,0	0,011	27,0	6,0	67,0	0,037
5031,5		zlepieńce	0,007	0,20	19,0	0,001	9,0	10,0	81,0	0,005
5044,6		piaskowce	0,008	0,20	19,0	0,001	9,0	10,0	81,0	0,005
5049,5		piaskowce	0,007	0,10	19,0	0,001	9,0	10,0	81,0	0,010

Małej miąższości utwory ordowiku zawierają od 0,7 do 1,0% (głęb. 4514,8 i 4510,1 m) węgla organicznego i niewielką ilość bituminów (tab. 13).

Podwyższona zawartość węgla organicznego (1,0–1,4%) została stwierdzona w ilastych utworach syluru – wenloku (głęb. 4407,0–4361,0 m), utwory te wykazują cechy „dobrych skał macierzystych”. Zawartość bituminów występująca w skałach syluru jest niska (tab. 13).

Udział węglowodorów w bituminach w utworach wczesnego paleozoiku jest mały, a ich skład jest podobny w całym badanym profilu. Zaznacza się duży udział produktów ciężkich (asfaltyny i żywice) (fig. 30). Ogólnie w składzie węglowodorów przeważają węglowodory nasycone nad węglowodarami aromatycznymi (tab. 13).

W utworach permu, jak również dolnego i górnego triasu zawartość węgla organicznego i zawartość bituminów jest mała (tab. 13, fig. 31). Udział węglowodorów w bituminach jest także niewielki, wysoki jest natomiast udział żywic i asfaltynów (fig. 32). Wyższa ilość węglowodorów w bituminach została stwierdzona jedynie w wapieniach górnego triasu. W bituminach tych stwierdzono znaczną przewagę węglowodorów aromatycznych nad węglowodarami nasyconymi, co odróżnia je od pozostałych wystąpień bituminów w badanych osadach triasu w tym otworze (fig. 32).

Utwory górnej kredy reprezentowane są przez pojedynczą próbkę, zawierającą 1,10% węgla organicznego i śladową ilość bituminów (tab. 13).

ŚRODOWISKO DEPOZYCJI MATERII ORGANICZNEJ, JEJ TYP GENETYCZNY I STOPIEŃ DOJRZAŁOŚCI

Analiza n-alkanów wykazała, że materia organiczna występująca w utworach kambru zawiera w przeważającej ilości związki o parzystej liczbie węgla, co sugeruje, iż głównym materiałem wyjściowym były bakterie (Maliński, Witkowski, 1988). Jednocześnie znaczna ilość n-alkanów o parzystej liczbie węgla w łańcuchu w zakresie od n-C₂₀ do n-C₂₄ pozwala przypuszczać, że w osadach zachodziło zjawisko biodegradacji szczątków sinic (fig. 33 A–D).

Charakterystyczny przebieg krzywej dystrybucji n-alkanów pozwala sądzić, że materia organiczna obecna w badanych utworach kambru (dolny i środkowy) jest pozostałością

po generowaniu i migracji węglowodorów. Znaczny udział związków o parzystej liczbie atomów węgla został stwierdzony także w węglowodorach nasyconych wydzielonych z utworów syluru (fig. 33 E, F; 34).

Stosunek węglowodorów izoprenoidowych pristanu i fitanu sugeruje, że materia organiczna pochodząca z utworów wenloku tworzyła się w silnie redukcyjnym środowisku (fig. 34). Obserwowane zjawisko biodegradacji, które miało miejsce w badanych osadach nie pozwala jednoznacznie oznaczyć stopnia przeobrażenia materii organicznej obecnej w badanych utworach dolnego paleozoiku.

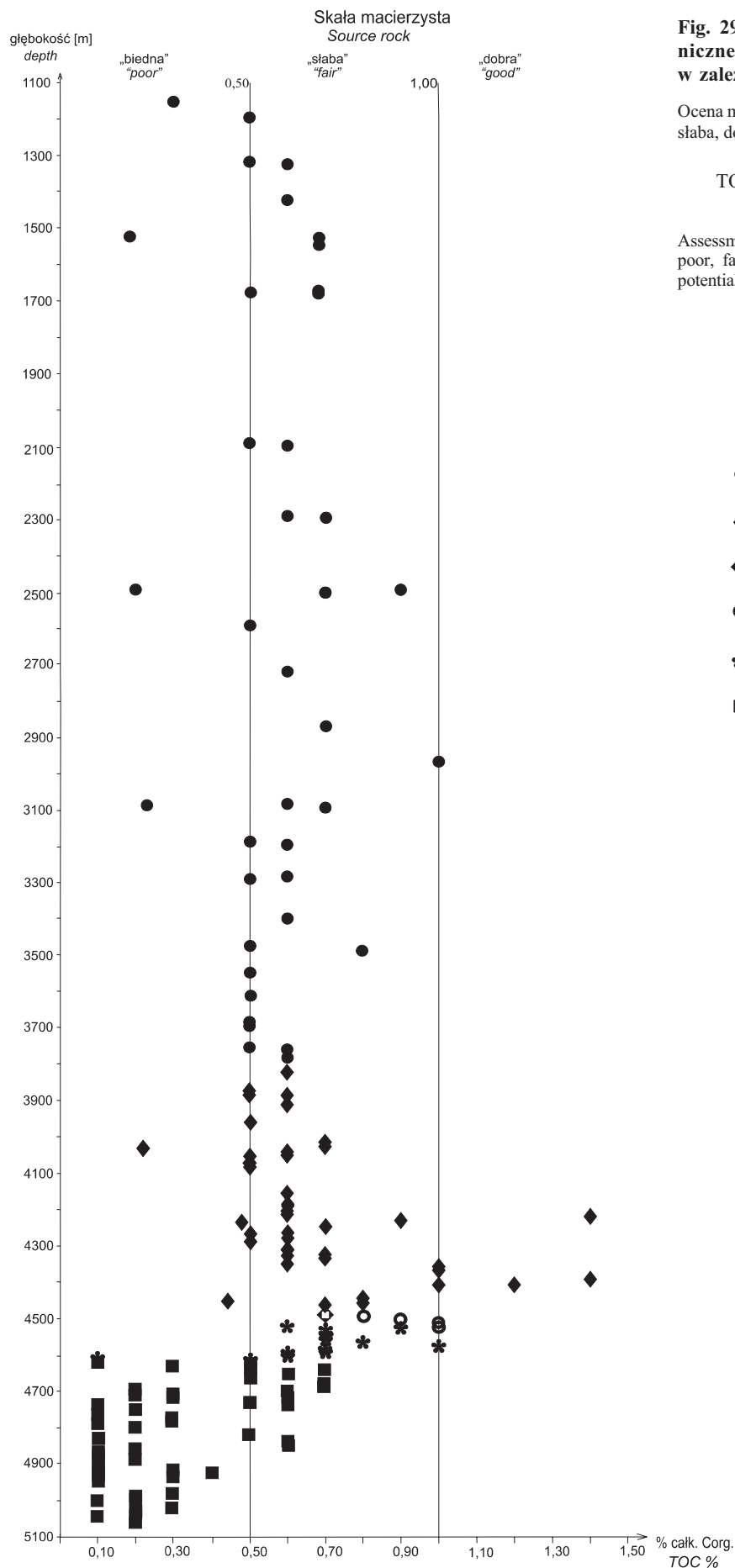


Fig. 29. Zawartość procentowa węgla organicznego w utworach dolnego paleozoiku w zależności od głębokości

Ocena macierzystości skał wg Peters'a (1986): biedna, słaba, dobra – skala macierzystości skał klastycznych

TOC (%) content in Lower Paleozoic sediments versus depth

Assessment of quality source rocks after Peters (1986): poor, fair, good – describing source rock generative potential

- sylur ludlow
Silurian, Ludlow
- ◆ sylur wenlok
Silurian, Wenlock
- ◇ ordowik aszgil
Ordovician, Ashgillian
- ordowik karadok
Ordovician, Caradoc
- * kambry środkowy
Middle Cambrian
- kambry dolny
Lower Cambrian

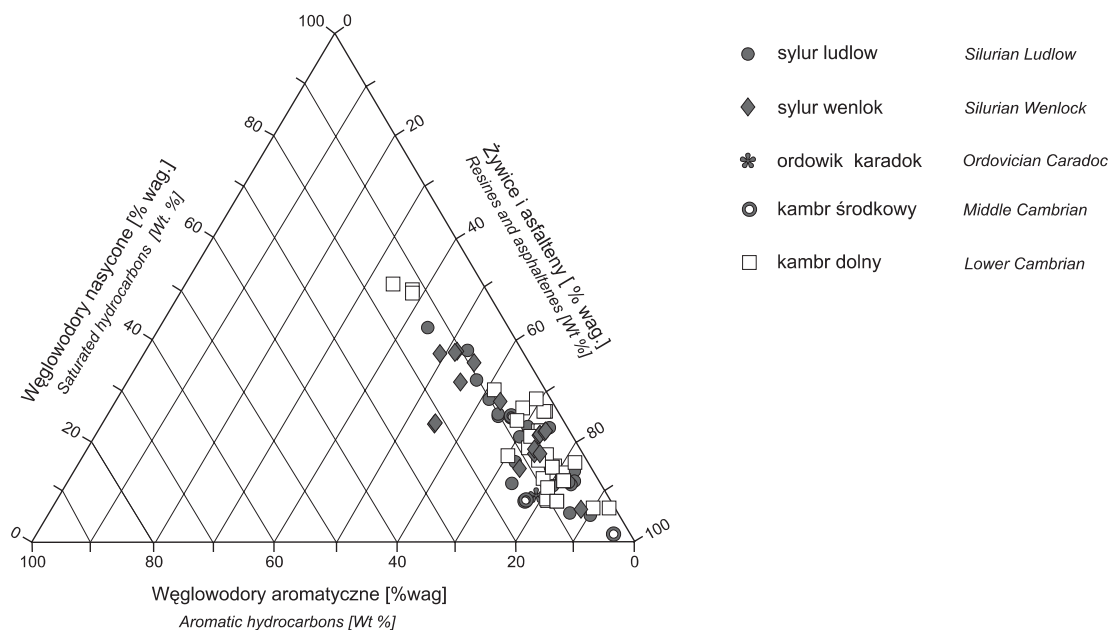


Fig. 30. Diagram trójkątny składu grupowego bituminów z utworów dolnego paleozoiku

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

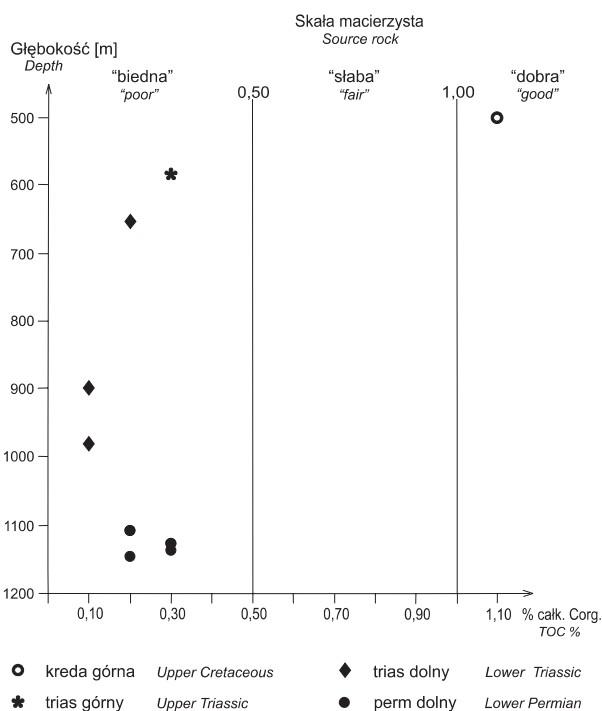


Fig. 31. Zawartość procentowa węgla organicznego w utworach triasu i permu w zależności od głębokości

Ocena macierzystości skał wg Peters'a (1986)

TOC (%) content in Triassic and Permian sediments versus depth

Assessment of quality source rocks after Peters (1986)

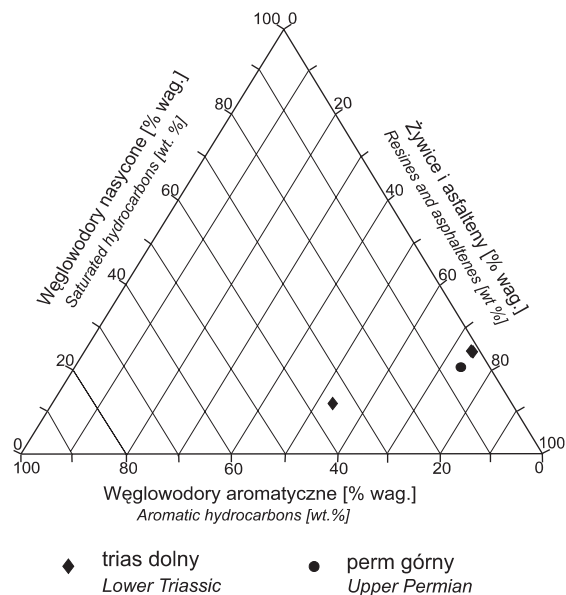


Fig. 32. Diagram trójkątny składu grupowego bituminów z utworów permu i triasu

Triangular diagram showing proportions of the fractions of saturated hydrocarbons aromatic hydrocarbons and asphaltenes or resins in the bitumens extracted from the Permian and Triassic sediments

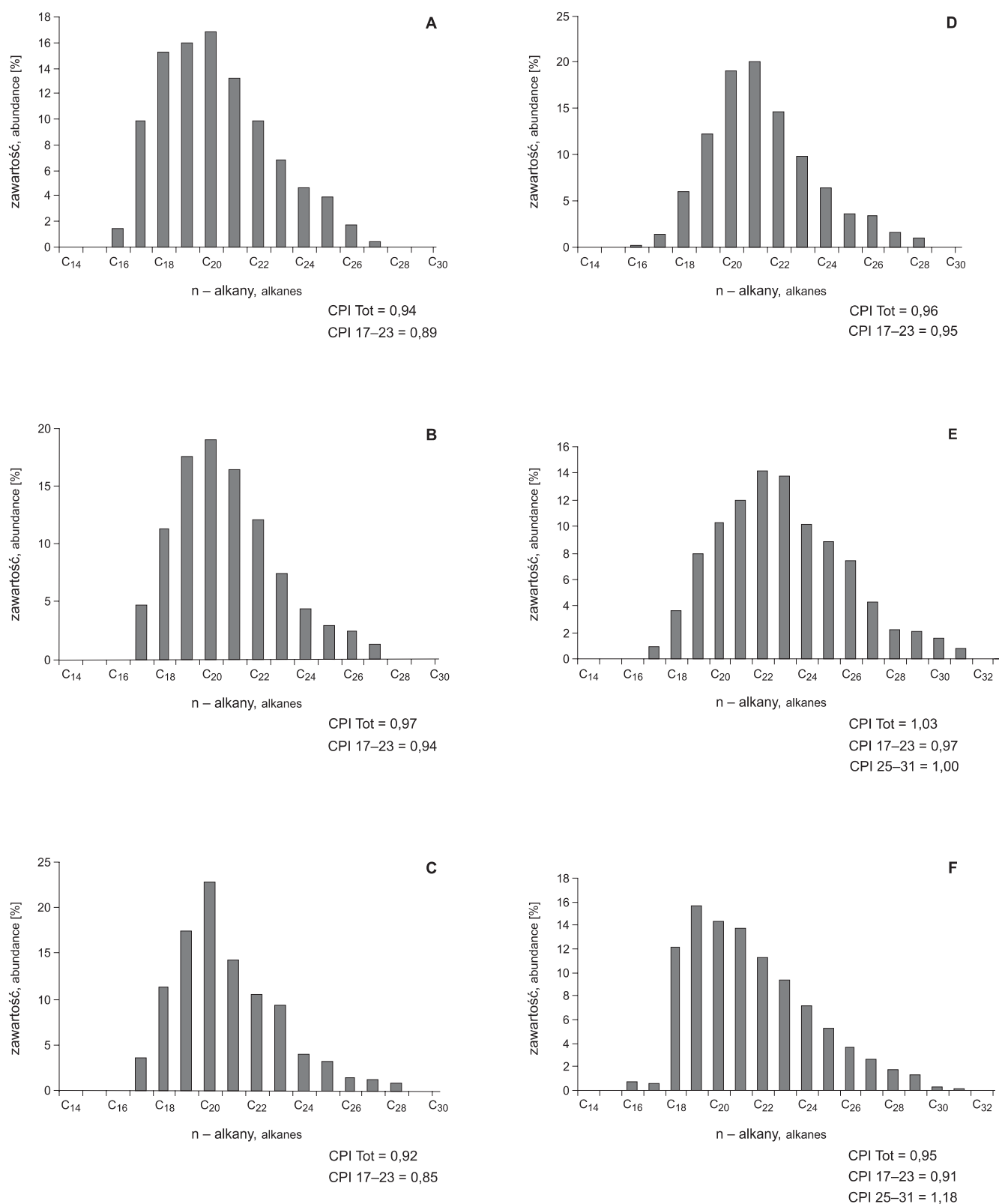


Fig. 33. Dystrybucja n-alkanów

A–C – kambry dolny; D – kambry środkowy, E, F – sylur (ludlow). Głębokość [m]: A – 4990,1; B – 4964,7; C – 4722,9; D – 4601,5; E – 1539,9; F – 1325,2

Distribution n-alkanes

A–C – Lower Cambrian; D – Middle Cambrian; E, F – Silurian (Ludlow). Depth [m] A – 4990.1; B – 4964.7; C – 4722.9; D – 4601.5; E – 1539.9; F – 1325.2

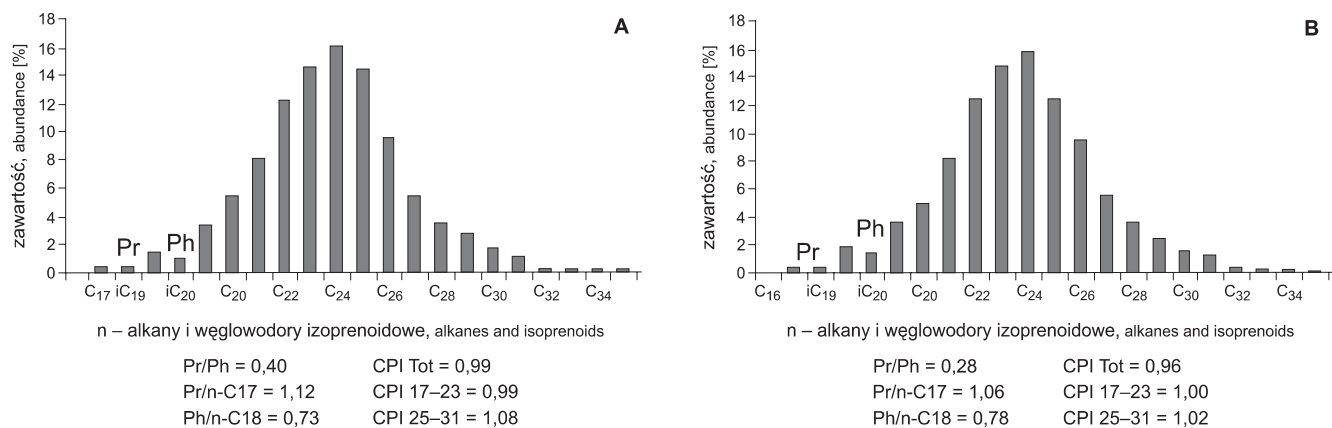


Fig. 34. Dystrybucja n-alkanów i węglowodorów izoprenoidowych w osadach syluru (wenlok)

Głębokość: A – 4405,0; B – 4240,2 m

Distribution n-alkanes and isoprenoids in the Silurian (Wenlock) sediments

Depth: A – 4405.0; B – 4240.2 m