

CHARAKTERYSTYKA PETROGRAFICZNA ORAZ DOJRZAŁOŚĆ TERMICZNA MATERII ORGANICZNEJ ROZPROSZONEJ W UTWORACH MEZOZOIKU I PALEOZOIKU

WSTĘP

Charakterystykę petrograficzną materii organicznej rozproszonej w profilu osadów mezozoiku i paleozoiku z otworu wiertniczego Tuchola IG 1, z interwału głębokości 1104,0–4141,9 m, przeprowadzono na podstawie analizy 25 próbek reprezentujących utwory jury dolnej, środkowej i górnej, triasu dolnego, permu górnego oraz dewonu środkowego i górnego.

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, a także 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 macerały wityritu (perm–jura) oraz materiał wityritopodobny, o cechach optycznych wityritu (stałe bituminy/bitumin oraz zooklasty)

(dewon). 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 oraz 1,1413%; 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.

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

Analiza jakościowa macerałów grupy liptynitów wykonana została przy użyciu niebieskiego filtra wzbudzającego. Przy opisie składników petrograficznych stosowano nomenklaturę i klasyfikację przyjętą przez Międzynarodowy Komitet Petrologii Węgla (ICCP). Uzyskane wyniki zamieszczone zostały w tabelach 6, 7.

OMÓWIENIE WYNIKÓW ANALIZ

PALEOZOIK

Dewon

Przeanalizowano materię organiczną pochodzącą z piętnastu próbek osadów węglanowych i nielicznych mułowców **dewonu środkowego i górnego**, z interwału głębokości 3193,7–4141,9 m.

Zawierają one ubogi materiał organiczny stanowiący najczęściej 0,1–0,4% planimetrycznej powierzchni próbki. Podwyższone jego koncentracje 0,5–0,7% występują w osadach dewonu środkowego, z głębokości 3808,0, 4115,7 oraz 4133,0 m (tab. 6).

Materia organiczna, zarówno dewonu środkowego, jak i górnego, jest słabo zróżnicowana pod względem genetycznym. Reprezentują ją mikrokomponenty wityritopodobne,

o cechach optycznych wityritu (stałe bituminy oraz zooklasty). Stanowią one najczęściej 90–100% materii organicznej w skale. Ich obecność związana jest ze szczelinami oraz ilastymi przeławieniami węglanów. Występują w formie pasemek, żyłek i soczewek o zmiennej grubości 3–30 μm , sporadycznie obserwuje się większe (do 50 μm) okruszki (fig. 27A). W niewielkiej ilości występują sfuzynityzowane szczątki organiczne.

Śladowa ilość materiału lipidowego reprezentowana jest przez drobne ciała bituminu oraz nieliczny liptodetrynit rozproszone w asocjacji organiczno-mineralnej typu bitumicznego. W profilu osadów dewonu środkowego, a w szczególności w jego spągowych partiach obserwuje się liczne impregnacje bitumiczne (fig. 27B).

Tabela 6

Analiza mikroskopowa materii organicznej rozproszonej w utworach dewonu

Microscopical analysis of the organic matter dispersed in Devonian sediments

Głębokość [m]	Stratygrafia	R_O średnie [%]	Zakres pomiarów	Liczba pomiarów	WTP [%]	Inertynit [%]	Liptynit [%]	MO [%]
3193,70	D ₃	0,73	0,63–0,89	30	0,2	–	śl	0,2
3214,50		0,74	0,65–0,86	32	0,2	–	–	0,2
3424,40		0,77	0,66–0,91	54	0,2	0,1	0,1	0,4
3550,20	D ₂	0,75	0,65–0,87	22	0,1	0,1	śl	0,2
3611,90		0,83	0,76–1,00	33	0,1	0,1	–	0,2
3678,30		0,85	0,80–0,94	18	0,1	śl	imp.bit.	0,1
3708,00		0,86	0,76–0,98	23	0,2	–	śl	0,2
3716,00		0,85	0,90–1,03	34	0,2	śl	–	0,2
3808,00		0,88	0,85–1,05	50	0,5	0,1	0,1	0,7
3895,70		0,89	0,84–1,21	40	0,3	–	0,1	0,4
4026,00		1,19	1,00–1,50	19	0,2	0,1	–	0,3
4114,00		1,21	0,96–1,36	48	0,3	0,1	imp.bit.	0,4
4115,70		1,22	0,88–1,28	44	0,3	0,2	imp.bit.	0,5
4133,00		1,22	0,85–1,38	70	0,4	0,1	imp.bit.	0,5
4141,90		1,27	0,90–1,50	48	0,3	–	imp.bit.	0,3

D₃ – dewon górny; D₂ – dewon środkowy; R_O – średnia refleksyjność materiału wityrinitopodobnego; WTP – materiał wityrinitopodobny (stałe bituminy, zooklasty); MO – procentowa zawartość materii organicznej; imp.bit. – impregnacje bitumiczne; śl – ilości śladowe

D₃ – Upper Devonian; D₂ – Middle Devonian; R_O – random reflectivity of vitrinite-like organic matter; WTP – vitrinite-like organic matter (solid bitumen; zooclasts); MO – organic matter contents; imp.bit. – bitumen impregnation; śl – trace

Perm

Osady węglanowe **perm**u górnego (**cechsztyn**) z głębokości 2837,2 m zawierają dość ubogi materiał organiczny stanowiący 0,3% planimetrowanej powierzchni próbki (tab. 7). Wypełnia on spękania i szczeliny w węglanach, najczęściej jednak jest związany z materiałem ilastym, tworząc asocjacje organiczno-mineralną typu bitumicznego. Asocjacja ta wykazuje słabe właściwości fluorescencyjne.

Najliczniej reprezentowanym mikroskładnikiem organicznym (0,2%) są pierwotne macerały z grupy liptynitu, których źródłem są niewątpliwie glony. Najczęściej jest to alginity two-

rzący soczewkowate formy, fluoryzujące w kolorze żółtym oraz stowarzyszony z nim bituminit fluoryzujący w kolorze brązowym (fig. 27D). Źródłem bituminitu, uznawanego za prekursora bituminów w skałach macierzystych, są najprawdopodobniej zbiodegradowane algi (Taylor i in., 1998).

Materiał wityrinitowy jest mniej liczny (0,1%) od składników lipidowych. Należą do niego macerały wityrinitu zbudowanego z żelifikowanej tkanki roślinnej (fig. 27C). Najczęściej jest to bezstrukturalny kolotelinit charakteryzujący się słabą fluorescencją w kolorze brązowym. W śladowej ilości występuje inertynit. Są to najczęściej sfuzynityzowane szczątki organiczne.

MEZOZOIK

Trias

Iłowce **triasu dolnego** przebadane w próbce z głębokości 2395,8 m zawierają niezbyt liczny materiał organiczny (0,4% planimetrowanej powierzchni próbki) zdominowany przez typ humusowy. Podstawowym mikrokomponentem jest wityrinit (0,2%) pochodzący w znacznym stopniu z redepozycji (wityrinit). Tworzy on najczęściej drobne okruchy o rozmiarach

na ogół nie przekraczających 30 μm . Wityrinit *in situ* (kolotelinit) występuje w postaci soczewek i laminek, o zmieniającej się grubości (2–40 μm).

Znaczny udział w składzie organiki redeponowanej ma inertynit (0,1%) złożony najczęściej z inertodetrynitu oraz fragmentów fuzytynu i semifuzytynu (fig. 27E).

Macerały liptynitu występują w ilości do 0,1% planimetrowanej powierzchni próbki (fig. 27F). W grupie tej przeważa

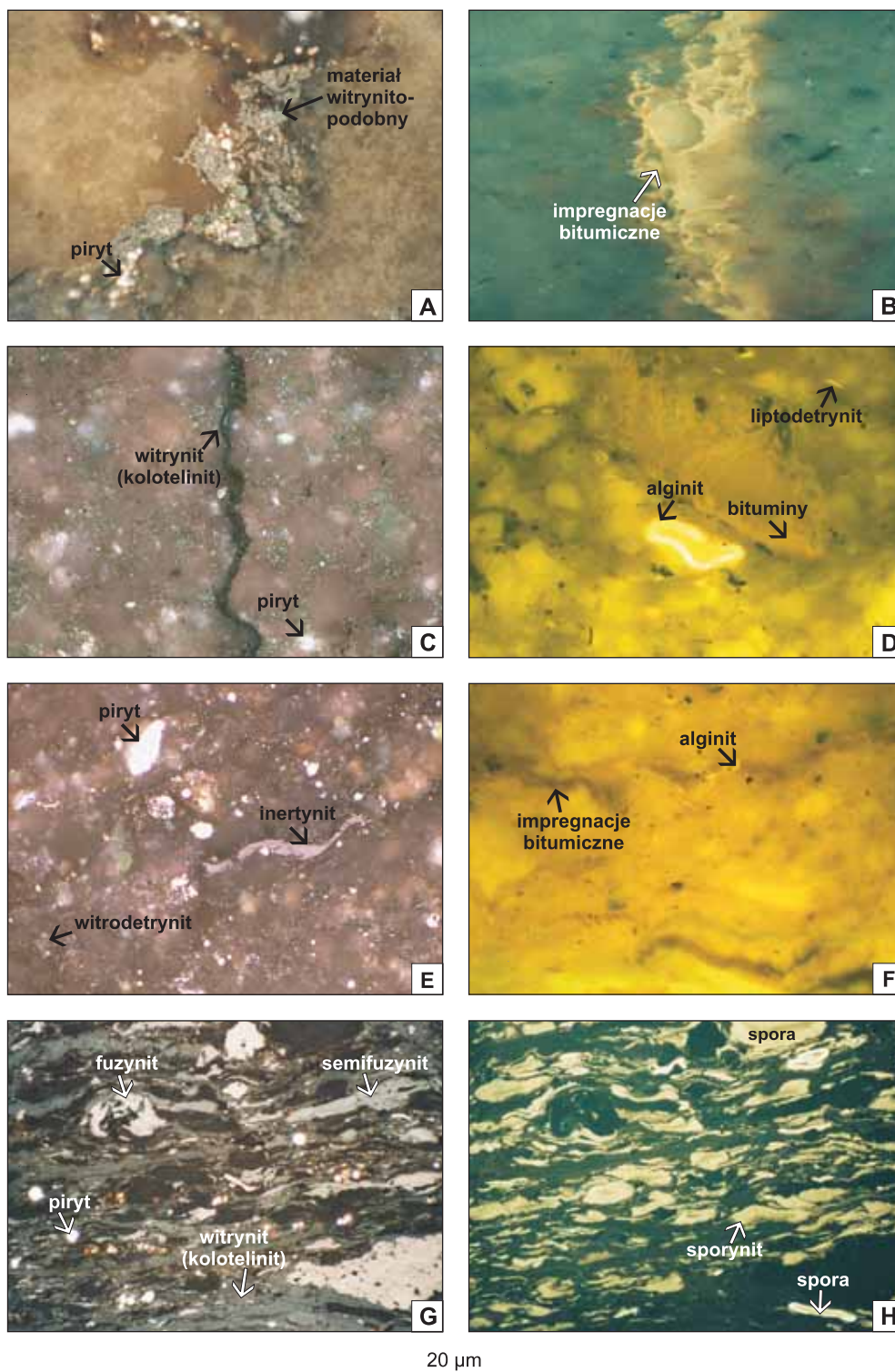


Fig. 27. Materia organiczna w profilu utworów dewonu środkowego–jury górnej

A – dewon środkowy, głęb. 4133,0 m, R_o 1,22%, światło białe, imersja; **B** – dewon środkowy, głęb. 4133,0 m, R_o 1,22%, światło UV, imersja; **C** – perm górny, głęb. 2837,2 m, R_o 0,62%, światło białe, imersja; **D** – perm górny, głęb. 2837,2 m, R_o 0,62%, światło UV, imersja; **E** – trias dolny, głęb. 2395,8 m, R_o 0,63%, światło białe, imersja; **F** – trias dolny, głęb. 2395,8 m, R_o 0,63%, światło UV, imersja; **G** – jura dolna, głęb. 1821,5 m, R_o 0,50%, światło białe, imersja; **H** – jura dolna, głęb. 1821,5 m, R_o 0,50%, światło UV, imersja

Organic matter in the profile of Middle Devonian–Upper Jurassic deposits

A – Middle Devonian, depth 4133.0 m, R_o 1.22%, white light, immersion; **B** – Middle Devonian, depth 4133.0 m, R_o 1.22%, UV light, immersion; **C** – Upper Permian, depth 2837.2 m, R_o 0.62%, white light, immersion; **D** – Upper Permian, depth 2837.2 m, R_o 0.62%, UV light, immersion; **E** – Lower Triassic, depth 2395.8 m, R_o 0.63%, white light, immersion; **F** – Lower Triassic, depth 2395.8 m, R_o 0.63%, UV light, immersion; **G** – Lower Jurassic, depth 1821.5 m, R_o 0.50%, white light, immersion; **H** – Lower Jurassic, depth 1821.5 m, R_o 0.50%, UV light, immersion

sporynit, częstym składnikiem są fragmenty kutynitu rzadziej natomiast obserwuje się rezynit oraz liptodetrynit. Wykazują one intensywną fluorescencję w kolorach od pomarańczowego (sporynit, kutynit, liptodetrynit) do jasnobrunatnego (rezynit). Forma występowania macerałów liptynitu (okruchy bezładnie rozrzucone w masie skalnej) wskazuje na ich redepozycyjny charakter.

Jura

Wykonano analizę mikroskopową 8 próbek utworów jurajskich (dolna, środkowa i górna) z głębokości 1104,0–1821,5 m. Zawierają one liczny i bardzo liczny materiał organiczny głównie typu humusowego (1,2–10,2% planimetrowanej powierzchni próbki) (tab. 7).

Utwory węglanowe **jury górnej** (głęb. 1104,0–1368,5 m) zawierają bogaty materiał organiczny (1,3–1,5% planimetrowanej powierzchni próbki) reprezentowany przez macerały grupy huminitu i wityrynu (0,6–0,7%) przy znacznym współudziale (0,4–0,5%) składników lipidowych, głównie alginitu, bituminitu i liptodetrynu, fluoryzujących w kolorze żółtym oraz żółtopomarańczowym. Dość licznie (ok. 0,2%) występują również macerały inertynitu (fuzynit, semifuzynit, inertodetrynit). W śladowej ilości spotykane są zooklasty (szczątki organiczne zazwyczaj zwitrynizowane lub sfuzynizowane). Lokalnie obserwuje się asocjację organiczno-mineralną typu sapropelowego zgromadzoną głównie w porach oraz szwach stylolitowych. Zawiera ona często okruchy liptodetrynu i smugi rezynitu.

Utwory klastyczne **jury środkowej** z głębokości 1510,0–1548,2 m zawierają bogaty materiał organiczny zarówno *in situ*, jak i redeponowany, reprezentowany głównie przez hu-

mus. Stanowi on 1,2–4,8% planimetrowanej powierzchni próbek. W składzie petrograficznym dominują macerały huminitu (żelinit) oraz wityrynu (0,9–3,0%).

Występuje on w postaci soczewek i lamin o grubości zmieniającej się w szerokich granicach (kilka–kilkaset μm), zbudowanych z kolotelinitu i telinitu. Światła komórek telinitu wypełnione są rezynitem, żelokolinitem lub pirytem.

Badane osady są dość bogate w macerały liptynitu (0,1–1,2%) reprezentowane przez mikrospory oraz okruchy makrospor i kutikuli, a także rezynit, tworzący najczęściej owalne ciała i formy naciekowe. Składniki te wykazują intensywną fluorescencję w kolorach od jasnożółtego do pomarańczowego. W znacznej ilości występuje liptodetrynit złożony z drobnych okruchów rozproszonych w masie skalnej lub skupionych w materiale sapropelowym.

Macerały grupy inertynitu uzupełniają skład mikrokomponentów organicznych. Ich zawartość zmienia się od 0,2 do 0,8%. Składają się z drobnych okruchów inertynitu oraz dużych soczewek fuzynitu i semifuzynitu, o rozmiarach do 300 μm , ułożonych horyzontalnie w masie skalnej.

Lokalnie znaczny udział w składzie petrograficznym analizowanych osadów ma tzw. asocjacja organiczno-mineralna typu sapropelowego, będąca mieszaniną minerałów ilastych oraz drobnodetrytycznego materiału organicznego, najczęściej bituminitu. Tworzy on przeważnie smużyste, soczewkowate lub gniazdowe skupienia.

Utwory ilasto-piaszczyste **jury dolnej** przeanalizowano w trzech próbkach z głębokości 1621,5–1821,5 m. Zawierają one obfitą materię organiczną (2,5–10,2% planimetrowanej powierzchni próbki) *in situ* i redeponowaną, zdominowaną przez typ humusowy (fig. 27G).

Tabela 7

Analiza mikroskopowa materii organicznej rozproszonej w utworach permu–jury górnej

Microscopical analysis of the organic matter dispersed in Permian–Jurassic deposits

Głębokość [m]	Stratygrafia	R_O średnie [%]	Zakres pomiarów	Liczba pomiarów	Wityrynit [%]	Inertynit [%]	Liptynit [%]	MO [%]
1104,00	J ₃	0,45	0,38–0,57	90,00	0,8	0,3	0,4	1,5
1368,50		0,45	0,37–0,56	88,00	0,6	0,2	0,5	1,3
1510,00	J ₂	0,47	0,38–0,58	95,00	3,0	0,8	1,0	4,8
1547,00		0,47	0,40–0,58	95,00	2,1	0,3	1,2	3,6
1548,20		0,48	0,40–0,61	100,00	0,9	0,2	0,1	1,2
1621,50	J ₁	0,48	0,42–0,60	85,00	0,8	0,2	1,5	2,5
1819,50		0,50	0,43–0,52	90,00	1,7	0,1	2,9	4,7
1821,50		0,50	0,41–0,63	84,00	6,0	1,0	3,2	10,2
2395,80	T ₁	0,63	0,50–0,85	50,00	0,2	0,1	0,1	0,4
2837,20	P ₃	0,62	0,49–0,75	38,00	0,2	śl	0,1	0,3

P₃ – perm górny; T₁ – trias dolny; J₁ – jura dolna; J₂ – jura środkowa; J₃ – jura górna; R_O – średnia refleksyjność wityrynu; MO – procentowa zawartość materii organicznej; śl – ilości śladowe

P₃ – Upper Permian; T₁ – Lower Triassic; J₁ – Lower Jurassic; J₂ – Middle Jurassic; J₃ – Upper Jurassic; R_O – random reflectivity of vitrinite; MO – organic matter contents; śl – trace

W składzie maceralnym zasadniczymi komponentami są wityryt (0,80–6,0%) oraz lokalnie huminit zbudowany głównie z żelinitu. Przechodzi on w wityryt odznaczający się bardzo niską barwą refleksyjną. Zarówno huminit, jak i wityryt (kolotelinit rzadziej telinit) mają postać lamin i soczewek, o zmiennej grubości od kilku do kilkuset mikrometrów oraz okruchów często bardzo silnie zdyspergowanych.

Znaczny udział w składzie dolnojurajskiej materii organicznej mają macerały liptynitu (1,5–3,2%). W grupie tej najliczniej reprezentowany jest sporynit (głównie mikrosporynit),

kutynit, bituminit oraz ciała rezynitu fluoryzujące intensywnie w kolorze żółtym i pomarańczowobrunatnym. Silnie zdyspergowany, nieidentyfikowalny materiał organiczny przemieszany ze składnikami ilastymi tworzy asocjację organiczno-mineralną typu sapropelowego. Występuje ona najczęściej w postaci smug i przeławień w osadzie (fig. 27H).

Powszechnie obserwuje się obecność macerałów grupy inertynitu (0,1–1,0%) zbudowanych z okruchów inertodetrynitu, masywnych ciał semifuzynitu, cienkościankowego fuzytnu oraz nielicznych fragmentów sklerocji.

DOJRZAŁOŚĆ TERMICZNA MATERII ORGANICZNEJ

Dojrzałość termiczna materii organicznej określona została metodą pomiaru zdolności odbicia światła syngenetycznych składników wityrynitopodobnych, w utworach dewonu oraz macerałów wityrytnu *in situ* w osadach młodszych (perm i mezozoik).

Średnia wartość współczynnika refleksyjności (% R_O) wzrasta wraz z głębokością pograżenia osadów, od 0,45% na głębokości 1104,0 m (jura górna) do 1,27% na głębokości 4141,9 m (dewon środkowy), wskazując na przejście od osadów niedojrzałych do generowania ropy naftowej poprzez wczesną i główną fazę generowania ropy naftowej po fazę generowania kondensatów i gazów mokrych (fig. 28; tab. 6, 7).

Dane te świadczą o stosunkowo niskich maksymalnych paleotemperaturach oddziałujących na kompleks analizowanych osadów w czasie ich diagenety, od 50 do 130°C (Bostic, 1973; Gaupp, Batten, 1985).

Stopień dojrzałości termicznej materii organicznej z osadów dewońskich jest niski, biorąc pod uwagę wiek oraz głębokość ich pograżenia (3193,7–4141,9 m).

Najsilniej przeobrażony materiał organiczny zawarty w utworach środkowego dewonu, w interwale głębokości 3611,9–4141,9 m, charakteryzuje się znacznym rozrzutem granicznych wartości współczynnika refleksyjności (0,76–1,50% R_O) co związane jest z anizotropią materiału wityrynitopodobnego (głównie zooklastów). Średnie, wyliczone wartości refleksyjne wahają się od 0,83 do 1,27% R_O , co odpowiada głównej fazie generowania ropy naftowej z możliwością generowania gazów mokrych i kondensatów w spagowych partiach osadów (poniżej 4000 m) (fig. 28).

Kompleks osadów najwyższego środkowego i górnego dewonu (głęb. 3193,7–3550,2 m) jest zdecydowanie słabiej dojrzały termicznie. Zawiera on materiał organiczny w głównej fazie generowania ropy naftowej, jego średnia refleksyjność zmienia się w granicach 0,73–0,77% R_O , natomiast zakres skrajnych wartości pomiarowych wynosi 0,63–0,91% R_O (tab. 6).

Autogeniczny materiał organiczny górnego permu z głębokości 2837,2 m znajduje się w głównej fazie generowania ropy naftowej. Zakres pomierzonych wartości refleksyjności zmienia się, w obrębie jednej próbki w granicach 0,49–0,76% R_O , a wartość średnia wynosi 0,62%.

Analogicznym stopniem dojrzałości charakteryzuje się niezbyt liczna materia organiczna *in situ* w utworach triasu dolnego, z głębokości 2395,8 m. Średnia wartość współczynnika refleksyjności wityrytnu osiąga 0,63% R_O , przy dużym rozrzucie pomiarów wynoszącym 0,50–0,85% R_O .

Materiał organiczny występujący w kompleksie osadów jurajskich, z inetrwału głębokości 1104,0–1821,5 m, znajduje się w stadium niedojrzałym (jura górna i środkowa) lub we wczesnej fazie generowania ropy naftowej (jura dolna, poniżej głębokości 1800 m).

Średnia wartość współczynnika refleksyjności wityrytnu *in situ* zmienia się od 0,45 do 0,48% R_O , w osadach jury górnej i środkowej, osiągając w spagowych partiach jury dolnej 0,50% R_O . Pomierzone wartości skrajne dla całego kompleksu jurajskiego wynoszą 0,38–0,63% R_O i świadczą o niskich maksymalnych paleotemperaturach diagenety, nie przekraczających 60°C.

PODSUMOWANIE

Analizowany kompleks utworów dewonu środkowego–jury górnej zawiera zmienną (od 0,1 do 10,2% planimetrowanej powierzchni próbki) ilość materiału organicznego.

Najwyższe jego koncentracje występują w osadach jurajskich zawierających od 1,2 do 4,8%, a lokalnie (głęb. 1821,5 m) nawet 10,2% materii organicznej.

W osadach starszych (dewon, perm, trias) ilość materiału organicznego waha się w niewielkim zakresie, osiągając średnio 0,2–0,4%. Jego podwyższone koncentracje uzyskują

wartości 0,5–0,7% w pojedynczych poziomach utworów środkowego dewonu.

Dewońska materia organiczna jest bardzo słabo zróżnicowana pod względem typu genetycznego oraz formy występowania. Reprezentowana jest przez materiał wityrynitopodobny (stałe bituminy i zooklasty). Materiał liptynitowy występuje najczęściej w ilości śladowej, osiągając maksymalnie 0,1% w pojedynczych poziomach dewonu środkowego, w których powszechnie obserwuje się liczne impregregnacje bitumiczne.

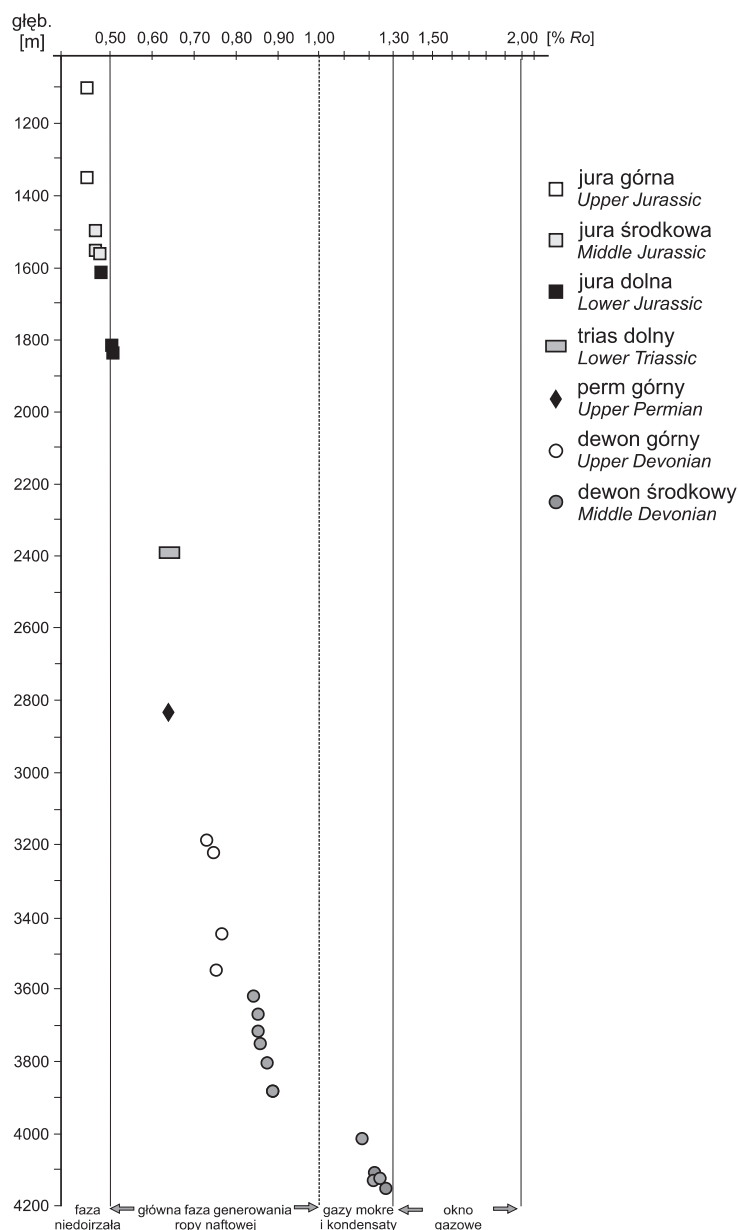


Fig. 28. Zmienność stopnia dojrzałości materii organicznej w profilu utworów dewonu środkowego–jury górnej

Values of vitrinite reflectance index versus depth in the profile of Middle Devonian–Upper Jurassic deposits

W osadach młodszych (perm–jura) występuje liczny humusowy oraz humusowo-sapropelowy materiał organiczny, którego głównym mikrokomponentem są macerały witytnitu i liptynitu, przy wyraźnym udziale grupy macerałów inertynitu.

Dojrzałość termiczna materii organicznej, określona na podstawie wielkości współczynnika refleksyjności witytnitu i/lub materiału witytnitopodobnego wzrasta niezbyt intensywnie w profilu pionowym badanego kompleksu osadów od 0,45% R_o na głębokości 1104,0 m (jura górna) do 1,27% R_o na głębokości 4141,9 m (dewon środkowy).

Odpowiada to przejściu od stadium niedojrzałego do generowania ciekłych węglowodorów (jura górna i środkowa), przez wczesną (jura dolna, 0,50% R_o) oraz główną fazę generowania ropy naftowej (trias dolny, perm górny, 0,62–0,63% R_o ; dewon górny i środkowy 0,83–0,89% R_o), po fazę mokrych gazów i kondensatów (dewon środkowy poniżej 4000 m, 1,19–1,27% R_o).

Wartości te świadczą o wzrastającej maksymalnej paleotemperaturze diagenety osadów w analizowanym profilu od 50 do 130°C.