

WYNIKI BADAŃ GEOCHEMICZNYCH

Izabella GROTEK

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

WSTĘP

Charakterystykę petrograficzną materii organicznej rozproszonej w profilu osadów paleozoiku i mezozoiku z otworu wiertniczego Budziszewice IG 1 przeprowadzono na podstawie analizy 30 próbek reprezentujących osady jury środkowej (1 próbka), triasu górnego (2 próbki), triasu środkowego (2 próbki), triasu dolnego (5 próbek), permu górnego (12 próbek), permu dolnego (4 próbki) oraz karbonu (4 próbki).

Podstawę analityczną pracy stanowią badania mikroskopowe wykonane w świetle odbitym białym oraz we fluorescencji, umożliwiające identyfikację, nierozróżnialnych często w świetle białym, składników maceralnych grupy liptynitów oraz impregnacji bitumicznych (Teichmüller, 1982). Analizy przeprowadzono 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

oraz stałe bituminy (bitumin) o cechach optycznych wityrnytu. Składniki te charakteryzują się liniowym wzrostem zdolności odbicia światła wraz ze wzrostem stopnia dojrzałości (Stach i in., 1982). Wymagana wielkość ziaren $>5 \mu\text{m}$ jest minimalną, niezbędną do uzyskania właściwego wyniku (Jackob, 1972).

Badania wykonano przy użyciu: wzorców ze szkła optycznego o określonej, stałej refleksyjności 0,9207; 1,1430 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.

Analizę jakościową macerałów grupy liptynitów wykonano przy użyciu niebieskiego filtra wzbudzającego. Przy opisie składników petrograficznych stosowano nomenklaturę i klasyfikację przyjętą przez Międzynarodowy Komitet Petrologii Węgla (ICCP; International..., 1994). Uzyskane wyniki zamieszczono w tabeli 7.

CHARAKTERYSTYKA PETROLOGICZNA MATERII ORGANICZNEJ

Karbon

Utwory karbonu górnego, zbadane w 3 próbkach iłowców i 1 próbce wapienia pobranych na głęb. 5061,0–5450,0 m, są dość zasobne w materię organiczną. Wyjątek stanowi próbka osadów węglanowych z głęb. 5061,0 m, zawierająca niewielką ilość amorficznego bituminu (stałe bituminy) przy śladowej zawartości macerałów wityrnytu i inertynitu (tab. 7; fig. 11A).

Głównym składnikiem organicznym analizowanych osadów ilastych karbonu jest amorficzny bitumin, występujący w postaci cienkich żyłek, drobnych ziaren oraz soczewkowatych ciał o zróżnicowanej wielkości (od 3 do 20 μm). Stanowi on 64–67% materii organicznej w osadzie. Towarzyszy mu silnie przeobrażony wityrnytu (20–27%) oraz macerały inertne (8–10%) reprezentowane przez inertodetrynit, fuzynit i mikrynit (tab. 7; fig. 11B).

Perm

Kompleks osadów permskich przeanalizowano w 16 próbkach iłowców, mułowców, piaskowców i wapieni z interwału głęb. 3706,0–4574,0 m (tab. 7).

Utwory permu dolnego (czerwony spągowiec), występujące na głęb. 4560,5–4574,0 m, zawierają jedynie śladową ilość materii reprezentowanej przez pojedyncze, amorficzne ciała bituminu, bezpostaciowy wityrnytu oraz lokalnie inertodetrynit i niewielkie skupienia asocjacji organiczno-mineralnej typu bitumicznego.

W stropowych warstwach czerwonego spągowca (próbka z głęb. 4560,5 m) obserwuje się wyraźne wzbogacenie w materię organiczną, zbudowaną głównie ze stałych bituminów występujących w formie cienkich laminek (5 × 70 μm), soczewkowatych ciał oraz drobnych (3–5 μm) ziaren (fig. 11C). Stanowią one ok. 77% materiału organicznego, a współwystę-

Tabela 7

Analiza mikroskopowa materii organicznej rozproszonej w utworach paleozoiku i mezozoiku

Microscopic analysis of the organic matter dispersed in the Paleozoic and Mesozoic sediments

Głębokość [m]	Stratygrafia	Litologia	Witrynit [%]	Bitumin/liptynit [%]	Inertynit [%]	AOM [%]	R_o [%]	Zakres pomiarów * [%]	w.m.	Liczba pomiarów	R_o red [%]
610,0	J ₂	iłc	37	15 lip	5	43	0,70	0,55–0,87	0,77	86	1,20
1799,0	T ₃	iłc	70	3 lip	7	20	0,75	0,60–0,98	0,76	36	1,32
1989,0		iłc	68	4 lip	6	22	0,80	0,63–1,14	0,80	42	1,33
2206,0	T ₂	wap	74	2 lip	18	6	0,84	0,67–1,12	0,82	42	1,28
2212,0		wap	73	4 lip	23	–	0,87	0,66–1,27	0,92	48	1,50
2481,0	T ₁	wap	76	6	10	8	0,97	0,80–1,32	0,97	53	1,37
3021,0		wap	75	8	9	8	1,19	0,90–1,27	1,21	43	1,47
3023,0		młc	77	7	11	5	1,17	0,92–1,26	1,20	62	1,56
3093,0		młc	68	6	9	17	1,20	0,87–1,33	1,21	48	1,48
3576,0		wap	46	19	13	22	1,25	1,0–1,43	1,28	54	1,50
3706,0	P ₃	młc	38	31	11	20	1,26	1,0–1,44	1,27	42	1,48
3820,0		iłc	20	20	10	50	1,30	0,98–1,46	1,30	44	1,62
3899,3		wap	16	38	8	38	1,30	1,20–1,42	1,33	32	–
3903,0		iłc	28	22	7	43	1,33	1,18–1,45	1,32	36	1,64
4138,5		iłc	25	32	6	37	1,32	1,18–1,50	1,32	38	–
4139,5		iłc	26	30	15	29	1,40	1,21–1,58	1,37	28	–
4141,5		iłc	32	12	9	47	1,38	1,18–1,56	1,39	40	–
4145,0		iłc	10	35	–	55	1,40	1,20–1,76	1,38	39	–
4167,5		iłc	15	30	5	50	1,42	1,28–1,72	1,40	27	–
4500,0		iłc	10	37	–	53	1,50	1,27–1,79	1,47	33	–
4559,5		wap	12	14	12	62	1,70	1,35–2,03	1,72	40	–
4559,7		wap	12	61	10	17	1,70	1,31–2,06	1,70	36	–
4560,5		P ₁	młc	5	77	11	7	1,75	1,48–1,86	1,72	12
4566,0	psc		48	32	20	–	1,70	1,40–1,84	1,68	18	1,94
4571,2	młc		27	45	18	10	1,72	1,51–1,88	1,63	13	2,10
4574,0	wap		22	78	–	–	1,80	1,68–1,94	1,79	22	2,40
5061,0	C ₂	wap	5	92	3	–	2,28	1,93–2,72	2,30	29	–
5382,0		iłc	20	67	8	5	2,30	2,0–2,67	2,38	53	–
5384,0		iłc	25	65	10	–	2,40	1,85–2,75	2,40	27	–
5450,0		iłc	27	64	9	–	2,60	2,10–2,85	2,53	22	–

Stratygrafia: J₂ – jura środkowa, T₃ – trias górny, T₂ – trias środkowy, T₁ – trias dolny, P₃ – perm górny, P₁ – perm dolny, C₂ – karbon górny; **litologia:** iłc – iłowiec, młc – mułowiec, psc – piaskowiec, wap – wapień; AOM – asocjacja organiczno-mineralna typu bitumicznego i sapropelowego; R_o – średnia refleksyjność witrynitów i bituminów *in situ*; * – zakres pomiarów współczynnika R_o na macerałach witrynitów i bituminów *in situ*; w.m. – wartość modalna; R_o red – średnia refleksyjność witrynitów redeponowanego

Stratigraphy: J₂ – Middle Jurassic, T₃ – Upper Triassic, T₁ – Middle Triassic, T₂ – Lower Triassic, P₃ – Upper Permian, P₁ – Lower Permian, C₂ – Upper Carboniferous; **lithology:** iłc – claystone, młc – mudstone, psc – sandstone, wap – limestone; AOM – organo-mineral association bitumene and sapropelic type; R_o – random value of the vitrinite and bitumene *in situ* reflectivity; * – range of the reflectivity index of the *in situ* vitrinite and bitumene macerals; w.m. – modal value; R_o red – random value of the reworked vitrinite

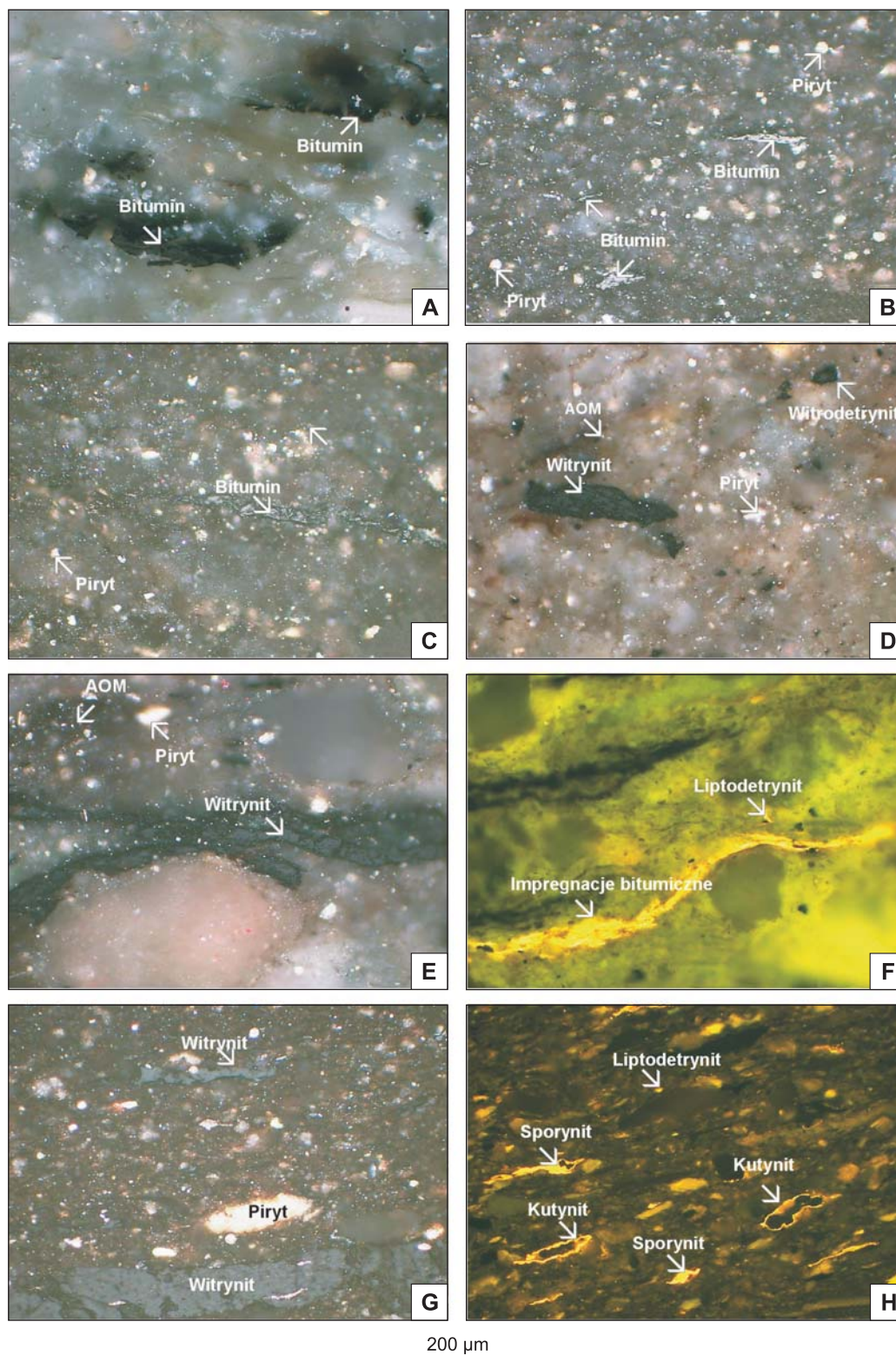


Fig. 11. Mikrofotografie składu petrograficznego materii organicznej

A – karbon, głęb. 5382,0 m; światło białe, imersja; **B** – karbon, głęb. 5061,0 m; światło białe, imersja; **C** – perm dolny, głęb. 4560,5 m; światło białe, imersja; **D** – trias dolny, głęb. 3093,0 m; światło białe, imersja; **E** – trias górny, głęb. 1799,0 m; światło białe, imersja; **F** – trias górny, głęb. 1799,0 m; światło niebieskie, imersja; **G** – jura środkowa, głęb. 610,0 m; światło białe, imersja; **H** – jura środkowa, głęb. 610,0 m; światło niebieskie, imersja

Microphotographs of petrographic composition of organic matter

A – Carboniferous, depth 5382.0 m; white light, immersion; **B** – Carboniferous, depth 5061.0 m; white light, immersion; **C** – Lower Permian, depth 4560.5 m; white light, immersion; **D** – Lower Triassic, depth 3093.0 m; white light, immersion; **E** – Upper Triassic, depth 1799.0 m; white light, immersion; **F** – Upper Triassic, depth 1799.0 m; blue light, immersion; **G** – Middle Jurassic, depth 610.0 m; white light, immersion; **H** – Middle Jurassic, depth 610.0 m; blue light, immersion

pują z nimi nieliczne okruchy wityryny (5%), inertynitu (11%) oraz gniazdowe skupienia asocjacji organiczno-mineralnej typu bitumicznego (7%).

Utwory ilasto-węglanowe cechsztynu są bardzo ubogie w materię organiczną, podobnie jak osady czerwonego spągowca. Jej głównym składnikiem (17–62% planimetrywanej powierzchni próbek) jest asocjacja organiczno-mineralna typu bitumicznego (AOM), stanowiąca mieszaninę minerałów ilastych oraz drobnych, silnie rozproszonych ziaren bituminu. W równej ilości z AOM (12–61%) współwystępują stałe bituminy (bitumin); mniej liczne są macerały wityryny (12–38%) i inertynitu (0–15%).

Trias

Ilasto-węglanowe utwory triasu przeanalizowano w 9 próbkach pochodzących z głęb. 1799,0–3576,0 m.

Osady triasu dolnego, zbadane w 5 próbkach pstrego piaszkowca, są bardzo ubogie w materię organiczną, zarówno *in situ*, jak i pochodzącą z redepozycji. Jedynie próbka mułowca z głęb. 3093,0 m zawiera bogaty materiał organiczny (fig. 11D).

Głównym mikroskładnikiem są macerały grupy wityryny, stanowiące 46–77% materiału organicznego w osadzie. Występują one w postaci cienkich (5–17 μm) laminek, soczewek oraz bezładnie rozproszonych okruchów o wielkości 4–20 μm . Towarzyszą im stałe bituminy (bitumin), najczęściej wypełniające szczeliny w skale (względna zawartość 6–19%), macerały inertynitu (9–13%) oraz nieliczne skupienia asocjacji organiczno-mineralnej typu bitumicznego (8–22%) (tab. 7).

Osady triasu środkowego (wapień muszlowy), przeanalizowane w 2 próbkach węglanów z głęb. 2206,0 i 2212,0 m, zawierają nieliczny materiał organiczny reprezentowany przez macerały grupy wityryny (73–74%) oraz inertynitu (18–23%). W niewielkiej ilości (2–4%) występują macerały liptynytu (liptodetrynit, kutynit, alginit) oraz pojedyncze skupienia bituminu (tab. 7).

DOJRZAŁOŚĆ TERMICZNA ROZPROSZONEJ MATERII ORGANICZNEJ

Materia organiczna rozproszona w analizowanym profilu osadów paleozoiku i mezozoiku wykazuje znaczną zmienność dojrzałości termicznej. Zaznacza się wyraźny wzrost stopnia przeobrażenia wraz z głębokością pograżenia – od 0,70% R_o w utworach jury środkowej na głęb. 610,0 m do 2,60% R_o w utworach karbonu górnego z głęb. 5450,0 m. Wartości te odpowiadają przejściu od głównej fazy generowania ropy naftowej (0,5–1,0% R_o) przez fazę generowania gazów mokrych i kondensatów (1,0–1,30% R_o) oraz główną fazę generowania gazów (1,30–2,00% R_o) po fazę tzw. przejrzalą (>2% R_o) (Robert, 1988) (tab. 7; fig. 12).

Dwie próbki osadów ilastych triasu górnego (kajpru) z głęb. 1799,0 i 1989,0 m są wyraźnie wzbogacone w materię organiczną w stosunku do wcześniej omawianych utworów triasu. Jej podstawowym składnikiem jest również materiał humusowy, reprezentowany przez macerały grupy wityryny typu kolotelinitu (względna zawartość 68–70%), przy niewielkim udziale macerałów inertnych (6–7%) oraz liptynytu (3–4) (tab. 7).

Wityrynit występuje najczęściej w postaci lamin o grubości osiągającej 60 μm oraz zróżnicowanej wielkości okruchów (9–35 μm) (fig. 11E). Towarzyszy mu asocjacja organiczno-mineralna typu bitumicznego, tworząca soczewkowane i gniazdowe skupienia (20–22%). Lokalnie obserwuje się impregnacje bitumiczne fluoryzujące intensywnie w kolorze żółtym i żółtopomarańczowym (fig. 11F).

Jura środkowa

Łupek ilasty aalenu z głęb. 610,0 m zawiera obfity materiał organiczny *in situ* oraz redeponowany materiał zdominowany przez genetyczny typ humusowy. Jego podstawowym składnikiem organicznym są maceraty grupy wityryny, stanowiące 37% materiału organicznego w osadzie (tab. 7; fig. 11G). Wityrynit jest reprezentowany przez bezpostaciowy kolotelinit oraz telinit z zachowaną strukturą komórkową. Światła komórek wypełnione są telinitem, ilem oraz pirytem. Dość licznie występują macerały liptynytu (15%), których głównym składnikiem jest sporynit, kutynit, ciała rezynitu oraz sporadycznie alginit. Fluoryzują one intensywnie w kolorze żółtym oraz żółtopomarańczowym, a ich obecność jest związana z asocjacją organiczno-mineralną typu bitumicznego czy sapropelowego (fig. 11H). Stanowi ona ok. 43% planimetrywanej powierzchni próbki, tworząc lokalnie masę podstawową fluoryzującą słabo w kolorze brunatnym. Macerały inertynitu występują niezbyt licznie (5%) i są reprezentowane przez okruchy inertodetrynytu, cienkościankowego fuzynitu oraz masywnego semifuzynitu.

Karbon

Dojrzałość termiczna analizowanych osadów karbonu górnego, z głęb. 5061,0–5450,0 m, odpowiada fazie przejrzalej, w której mogą tworzyć się głównie gazy suche wysokometanowe.

Wartość wskaźnika R_o pomierzona na autogenicznym, silnie anizotropowym wityrynicie i bituminie waha się w granicach 1,85–2,85%. Wyliczone wartości średnie zmieniają się od 2,28 do 2,60%, wykazując wyraźną tendencję wzrostową ku spągowi osadów karbonu. Uzyskane dane pozwalają określić

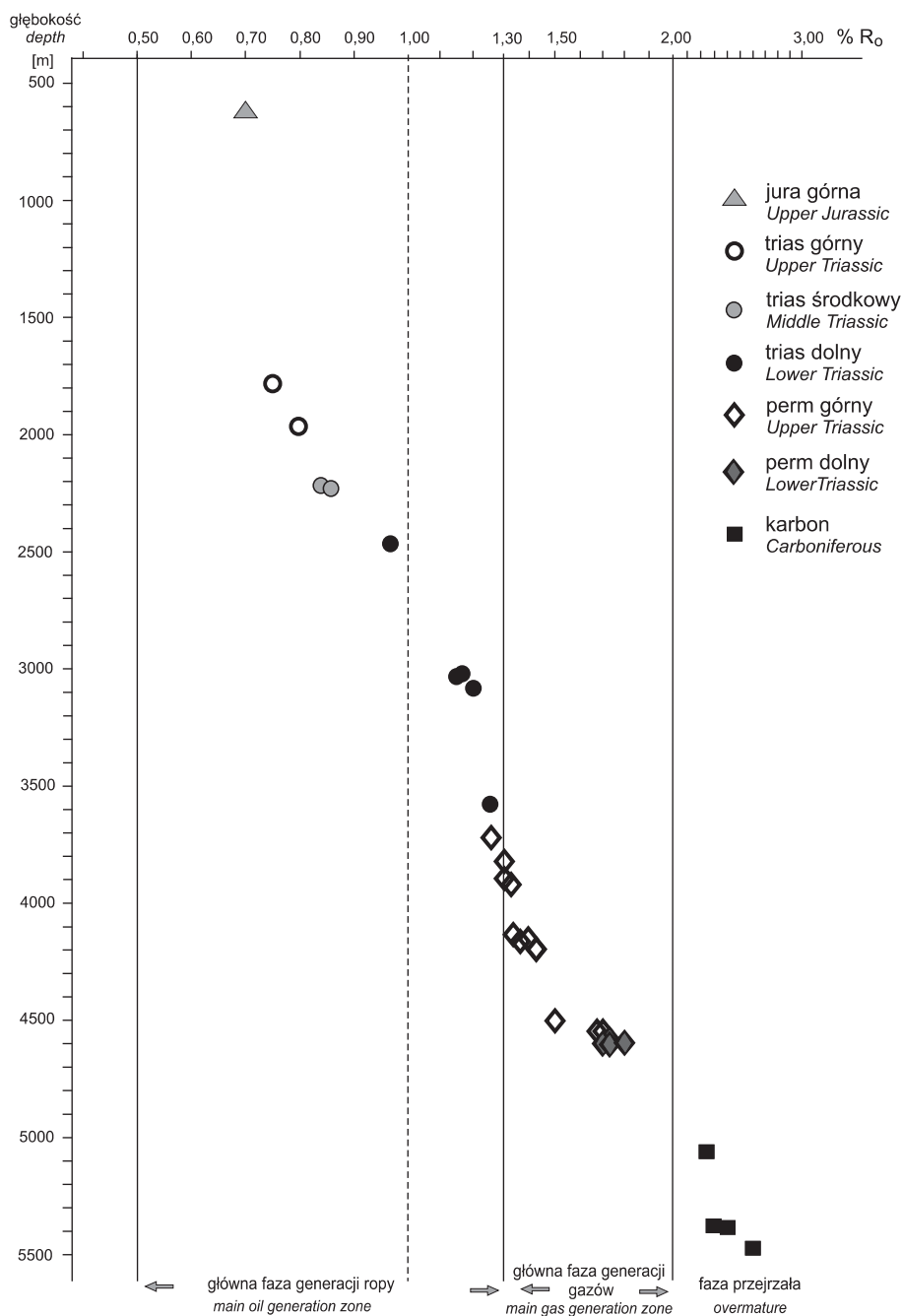


Fig. 12. Zmienność stopnia dojrzałości materii organicznej w profilu osadów z otworu wiertniczego Budziszewice IG 1

Values of vitrinite reflectance index versus depth in Budziszewice IG 1

lic maksymalne paleotemperaturey diagenety osadów karbonu, znacznie przekraczające 200°C (Lopatin, 1971; Bostic, 1973; Gaup, Batten, 1985).

Perm

Materiał organiczny zawarty w utworach permu znajduje się w fazie generowania gazów. Wartości współczynnika refleksyjności witrinitu i bituminu *in situ* wykazują wyraźną tendencję wzrostową w profilu pionowym kompleksu perm-

skiego – od 1,26% R_o na głęb. 3706,0 m (cechsztyń) do 1,80% R_o na głęb. 4574,0 m (czerwony spągowiec) (fig. 12). Pomierzone wartości skrajne zmieniają się w utworach czerwonego spągowca w niezbyt szerokich granicach 1,40–1,94% R_o , natomiast w utworach cechsztyńu ich rozrzut jest bardzo duży od 0,98 do 2,06% R_o , co niewątpliwie jest związane ze znaczną miąższością badanych osadów (tab. 7). Uzyskane dane wskazują, że w stropowej partii utworów cechsztyńu oprócz gazów mogły być generowane również ciekłe węglowodory, gazy mokre oraz kondensaty przy maksymalnych pa-

leotemperaturach diagenety rzędu 120–140°C, podczas gdy utwory spągu czerwonego spągowca mogły podlegać diagenecie w temperaturze osiągającej nawet 190°C.

Trias

W osadach triasu, w interwale głęb. 1799,0–3576,0 m, obserwuje się dalszy spadek dojrzałości termicznej materiału organicznego (tab. 7; fig. 12).

Stopień przeobrażenia utworów triasu dolnego, wyrażony wartością współczynnika R_o rzędu 0,97–1,25%, przy pomierzonych wartościach skrajnych 0,80–1,43%, odpowiada głównej i późnej fazie generowania ciekłych węglowodorów z możliwością generowania gazów mokrych i kondensatów.

Nieco słabiej przeobrażone osady triasu środkowego i górnego znajdują się w głównej fazie generowania ropy naftowej przy średnich wartościach refleksyjnych 0,75–0,87% R_o oraz wartościach skrajnych równych 0,60–1,27% R_o . Powyższe dane wskazują na maksymalne paleotemperature diagenety analizowanych utworów w granicach 80–130°C.

Jura

Dojrzałość termiczną utworów jury środkowej oceniono na podstawie analizy 1 próbki pochodzącej z głęb. 610,0 m. Zakres pomierzonych wartości refleksyjnych oscyluje pomiędzy 0,55 i 0,87% R_o , przy wartości średniej równej 0,70% R_o . Odpowiada to głównej fazie generowania ropy naftowej i maksymalnej paleotemperaturze diagenety osadów rzędu 80°C.

PODSUMOWANIE

Analizowany kompleks osadów paleozoicznych i mezozoicznych charakteryzuje się niewielką zawartością materiału organicznego. Jedynie utwory ilaste karbonu górnego, jury środkowej oraz w mniejszym stopniu triasu górnego zawierają podwyższoną ilość materii organicznej reprezentowanej przez materiał typu humusowego. Jej głównym składnikiem w silnie przeobrażonych utworach karbonu i permu są stałe bituminy (bitumin) oraz bezpostaciowy wityrinit (kolotelinit), przy niewielkim udziale macerałów z grupy inertynitu.

W stropowych, słabiej przeobrażonych partiach utworów cechsztynu oraz w profilu triasu zwiększa się wyraźnie udział wityrinitu. Zaznacza się również obecność pierwotnych mace-

rałów z grupy liptynitu, najliczniej reprezentowanych w iłowcu jury środkowej.

Dojrzałość termiczna analizowanego kompleksu osadów zmienia się w bardzo szerokich granicach wraz z głębokością pograżenia – od głównej fazy generowania ropy naftowej w utworach jury i triasu przy refleksyjności wityrinitu 0,70–1,25% R_o , przez główną fazę generowania gazów w utworach permskich – od 1,26 do 1,80% R_o , po fazę przejrzalą – od 2,28 do 2,60% R_o w utworach karbonu.

Powyższe dane wskazują na zmienne warunki paleotermiczne diagenety badanego profilu osadów – od 80°C w utworach jury środkowej do >200°C w osadach karbonu górnego.

Ewa KLIMUSZKO, Zofia RZEPKOWSKA

CHARAKTERYSTYKA GEOCHEMICZNA MATERII ORGANICZNEJ

WSTĘP

W otworze wiertniczym Budziszewice IG 1 badania geochemiczne materii organicznej przeprowadzono dla utworów karbonu, permu, triasu i jury środkowej (pojedyncza próbka).

Wykonano oznaczenia zawartości węgla organicznego,

ilościowe oznaczenie bituminów, podział na poszczególne frakcje w wydzielonych bituminach (węglowodory nasycone, aromatyczne, asfalteny i żywice), a także oznaczenie potencjału oksydacyjno-redukcyjnego skały (Eh).

ILOŚĆ OZNACZONEJ MATERII ORGANICZNEJ

W utworach **karbonu** zawartość węgla organicznego jest zróżnicowana. W spągu tych utworów ilość węgla organicznego jest duża, średnio ok. 1,0% (tab. 8, fig. 13), co pozwala określić te skały jako „dobre” skały macierzyste do generowania węglowodorów (Peters, 1986), natomiast w stropie kompleksu skalnego zawartość węgla organicznego jest śladowa. Ilość składników labilnych (bituminów) jest mała w całym profilu tych utworów (tab. 8). Zróżnicowany jest udział węglowodorów w bituminach, waha się on od 17 do 83%, przy

czym mała zawartość węglowodorów i duża zawartość żywic i asfaltenów częściej występuje w górnych partiach utworów. Zmienny jest stosunek węglowodorów nasyconych do węglowodorów aromatycznych (tab. 8, fig. 13). Można stwierdzić, że wartość współczynnika migracji ulega zmianie w pionowym profilu tych utworów. W górnych partiach osadów, zawierających bardzo małą ilość węgla organicznego, bituminy obecne w tych skałach mają cechy związków epigenetycznych. W spągu utworów i w ich części centralnej występują

Tabela 8

Dane geochemiczne z materii organicznej
Organic matter geochemical data

Głębokość [m]	Stratygrafia	Litologia	Zawartość bituminów [%]	Zawartość Corg. [%]	Eh mV	Zawartość węglowodorów w bituminiach [%]	Zawartość węglowodorów w skale * [%]	Zawartość węglowodorów nasyc. w węglowod. [%]	Zawartość węglowodorów arom. w węglowod. [%]	Zawartość żywic i asfaltenów [%]	Współczynnik migracji
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
610,0	J ₂	iłc	0,148	5,5	656	45	0,067	17	28	55,0	0,012
1666,0	T ₃	młc	0,001	0,3	666	–	–	–	–	–	–
1799,0		iłc	0,003	0,2	662	–	–	–	–	–	–
1989,0		iłc	0,008	0,6	622	37,0	0,003	9,0	28,0	63,0	0,005
2206,0	T ₂	wap	0,003	0,1	648	–	–	–	–	–	–
2212,0		wap	0,006	0,1	626	24,0	0,001	16,0	8,0	76,0	0,010
2241,0		wap	0,005	0,1	622	48,0	0,002	31,0	17,0	52,0	0,020
2475,0	T ₁	wap	0,019	0,2	684	–	–	–	–	–	–
2481,0		wap	0,036	0,3	666	59,0	0,021	46,0	13,0	41,0	0,070
2700,0		wap	0,003	0,01	636	–	–	–	–	–	–
2888,0		wap	0,005	0,10	664	45,0	0,002	22,0	23,0	55,0	0,020
3023,0		młc	0,010	0,20	670	40,0	0,004	4,0	36,0	60,0	0,020
3093,0		młc	0,068	1,50	732	59,0	0,004	44,0	15,0	41,0	0,003
3098,0		wap	0,027	0,01	680	68,0	0,002	26,0	42,0	32,0	0,200
3165,0		młc	0,007	0,01	726	24,0	0,002	16,0	8,0	76,0	0,200
3171,0		młc	0,028	0,10	664	36,0	0,010	18,0	18,0	64,0	0,100
3325,0		psc	0,008	0,01	702	39,0	0,003	10,0	29,0	61,0	0,300
3468,0		psc	0,006	0,01	674	28,0	0,002	14,0	14,0	72,0	0,200
3576,0		wap	0,012	0,10	656	72,0	0,009	12,0	60,0	28,0	0,090
3614,0		wap	0,010	0,10	684	48,0	0,005	8,0	40,0	52,0	0,500
3675,0		sol	0,010	–	650	–	–	–	–	–	–
3706,0		młc	0,006	0,10	–	41,0	0,002	29,0	12,0	59,0	0,020
3710,7	psc	0,004	0,10	–	56,0	0,002	23,0	33,0	44,0	0,020	
3715,3	sol	0,001	–	–	18,0	0,002	8,0	10,0	82,0	–	
3745,0	sol	0,006	–	–	–	–	–	–	–	–	
3785,0	sol	0,004	–	–	–	–	–	–	–	–	
3791,0	iłc+s	0,001	–	–	10,0	0,0001	5,0	5,0	90,0	–	
3820,0	iłc	0,003	0,10	692	–	–	–	–	–	–	
3825,2	iłc+s	0,004	0,10	666	9,0	0,0004	7,0	2,0	91,0	0,004	
3826,0	iłc	0,003	0,10	700	81,0	0,002	56,0	25,0	19,0	0,020	
3899,3	wap	0,004	0,10	654	–	–	–	–	–	–	
3903,0	iłc	0,006	0,10	642	–	–	–	–	–	–	
4132,0	młc	0,001	0,10	640	–	–	–	–	–	–	

Tabela 8 cd.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4134,5	P ₃	młc	0,003	0,10	658	8,0	0,002	8,0	0,0001	92,0	0,020
4137,0		ilc	0,004	0,10	644	14,0	0,001	14,0	0,0001	86,0	0,010
4137,9		ilc	0,002	0,10	632	–	–	–	–	–	–
4139,5		ilc+s	0,003	0,10	630	–	–	–	–	–	–
4141,5		ilc	0,003	0,10	626	–	–	–	–	–	–
4142,0		ilc	0,004	0,10	638	–	–	–	–	–	–
4145,0		ilc	0,003	0,10	626	–	–	–	–	–	–
4146,5		ilc+s	0,003	0,10	634	–	–	–	–	–	–
4149,0		ilc+s	0,007	0,10	626	–	–	–	–	–	–
4167,5		ilc+s	0,004	0,10	638	–	–	–	–	–	–
4193,0		ilc+s	0,003	0,10	614	–	–	–	–	–	–
4194,3		ilc	0,004	0,10	630	–	–	–	–	–	–
4197,4		ilc	0,003	0,10	614	–	–	–	–	–	–
4269,0		ilc	0,003	0,10	624	–	–	–	–	–	–
4274,0		ilc	0,004	0,01	626	–	–	–	–	–	–
4362,0		and	0,003	0,10	696	26,0	0,001	23,0	3,0	74,0	0,010
4366,0		and	0,005	0,10	662	–	–	–	–	–	–
4372,0		and	0,005	0,10	680	–	–	–	–	–	–
4384,0		and	0,007	0,10	666	4,0	0,001	3,0	1,0	96,0	0,010
4481,0		and+ilc	0,004	0,10	642	21,0	0,001	14,0	7,0	79,0	0,010
4550,0		wap	0,007	0,10	630	21,0	0,001	19,0	2,0	79,0	0,010
4559,5		wap	0,011	0,10	634	21,0	0,002	8,0	13,0	79,0	0,020
4559,7		wap+ilc	0,019	0,20	640	41,0	0,008	33,0	8,0	59,0	0,040
4560,5	P ₁	wap	0,008	1,80	644	41,0	0,003	37,0	4,0	59,0	0,002
4562,0		psc	0,010	0,10	632	21,0	0,002	10,0	11,0	79,0	0,020
4565,6		młc	0,007	0,20	628	–	–	–	–	–	–
4569,5		psc	0,003	0,20	618	–	–	–	–	–	–
4571,2		młc	0,003	0,10	630	14,0	0,001	14,0	0,0001	86,0	0,010
4574,0		wap	0,002	0,01	628	–	–	–	–	–	–
4576,5		psc	0,003	0,01	624	–	–	–	–	–	–
4578,0		młc	0,006	0,10	620	–	–	–	–	–	–
4579,2		psc	0,003	0,01	614	11,0	0,003	11,0	0,0001	89,0	0,300
4580,5		młc	0,002	0,01	632	–	–	–	–	–	–
4582,0		psc	0,003	0,01	616	–	–	–	–	–	–
4584,3		psc	0,003	0,10	624	–	–	–	–	–	–
4619,0		młc	0,003	0,10	634	7,0	0,001	7,0	0,0001	93,0	0,010
4635,0		psc	0,003	0,01	636	–	–	–	–	–	–
4643,3		psc	0,003	0,10	640	–	–	–	–	–	–
4646,0		psc	0,007	0,01	658	6,0	0,001	3,0	3,0	94,0	0,100

Tabela 8 cd.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4649,0	P ₁	psc	0,005	0,01	648	–	–	–	–	–	–
4655,0		psc	0,006	0,01	652	–	–	–	–	–	–
4660,0		psc	0,007	0,01	654	26,0	0,003	15,0	11,0	74,0	0,300
4682,0		psc	0,029	0,01	652	10,0	0,003	2,0	8,0	90,0	0,300
4709,0		psc	0,013	0,10	658	3,0	0,001	3,0	0,0001	97,0	0,030
4771,3		mfc	0,031	0,10	630	–	–	–	–	–	–
4784,0		psc	0,004	0,10	660	–	–	–	–	–	–
4790,0		psc	0,003	0,01	660	24,0	0,001	18,0	6,0	76,0	0,100
4827,0		psc	0,008	0,01	656	7,0	0,001	6,0	1,0	93,0	0,100
4859,2		psc	0,020	0,10	630	–	–	–	–	–	–
4864,0		psc	0,011	0,01	634	46,0	0,005	12,0	33,0	54,0	0,500
4904,5		psc	0,008	0,01	630	37,0	0,003	26,0	11,0	63,0	0,300
4936,0		wap	0,010	0,10	662	36,0	0,004	16,0	20,0	64,0	0,040
4944,0		psc	0,002	0,01	654	–	–	–	–	–	–
4971,1		zlp	0,002	0,01	662	–	–	–	–	–	–
5003,0		psc	0,002	0,01	658	–	–	–	–	–	–
5036,0		wap	0,008	0,01	650	39,0	0,003	29,0	10,0	61,0	0,300
5061,0		C ₂	wap	0,007	0,01	624	33,0	0,002	17,0	16,0	67,0
5062,2	mfc		0,010	0,01	614	17,0	0,002	5,0	12,0	83,0	0,200
5064,0	mfc		0,002	0,01	626	–	–	–	–	–	–
5066,0	psc		0,008	0,10	634	43,0	0,003	7,0	36,0	57,0	0,030
5068,5	mfc		0,015	0,10	624	47,0	0,007	23,0	24,0	53,0	0,070
5070,0	mfc		0,006	0,10	630	24,0	0,001	16,0	8,0	76,0	0,010
5071,2	mfc		0,017	0,30	624	64,0	0,011	51,0	13,0	36,0	0,037
5073,6	ifc		0,012	0,70	628	31,0	0,004	17,0	14,0	69,0	0,006
5085,2	wap		0,015	0,10	626	44,0	0,007	7,0	37,0	56,0	0,070
5116,5	wap		0,014	0,50	620	22,0	0,003	14,0	8,0	78,0	0,006
5153,0	ifc		0,023	0,40	614	38,0	0,009	24,0	14,0	62,0	0,022
5181,0	dol		0,012	0,10	624	32,0	0,004	29,0	3,0	68,0	0,040
5211,0	ifc		0,011	1,80	650	24,0	0,003	12,0	12,0	76,0	0,002
5249,5	ifc		0,005	0,80	632	38,0	0,002	24,0	14,0	62,0	0,002
5282,0	ifc		0,015	0,60	632	21,0	0,003	7,0	14,0	79,0	0,005
5318,0	ifc		0,005	1,20	646	53,0	0,003	39,0	14,0	47,0	0,002
5353,0	ifc		0,008	1,10	628	67,0	0,005	51,0	16,0	33,0	0,004
5382,0	ifc		0,008	1,40	656	57,0	0,005	34,0	23,0	43,0	0,004
5384,0	ifc		0,016	1,30	634	54,0	0,009	42,0	12,0	46,0	0,007
5416,0	ifc		0,008	1,30	634	51,0	0,004	38,0	13,0	49,0	0,003
5450,0	ifc	0,002	0,80	632	–	–	–	–	–	–	
5481,0	ifc	0,006	1,80	616	48,0	0,003	35,0	13,0	52,0	0,002	

Tabela 8 cd.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5494,0	C ₂	iłc	0,009	1,30	618	55,0	0,005	29,0	26,0	45,0	0,004
5527,0		iłc	0,012	1,60	624	52,0	0,006	37,0	15,0	48,0	0,004
5559,0		iłc	0,004	1,50	616	–	–	–	–	–	–
5569,0		iłc	0,086	0,50	606	72,0	0,062	61,0	11,0	28,0	0,124
5576,5		młc	0,005	1,00	634	–	–	–	–	–	–
5582,0		młc	0,010	0,90	610	83,0	0,008	17,0	66,0	17,0	0,009
5586,0		młc	0,012	1,20	604	51,0	0,006	28,0	23,0	49,0	0,005
5593,0		młc	0,012	1,30	640	–	–	–	–	–	–
5600,0		wap	0,010	0,60	598	59,0	0,006	45,0	14,0	41,0	0,010
5618,0		iłc	0,019	1,10	634	56,0	0,011	44,0	12,0	44,0	0,010

* według Gondek (1980); **litologia**: psc – piaskowiec, młc – mułowiec, iłc – ilowiec, zlp – zlepieniec, wap – wapień, dol – dolomit, and – anhydryt, sol – sól, iłc+s – ilowiec i sól, and+iłc – anhydryt z ilowcem, wap+iłc – wapień z ilowcem; **stratygrafia**: J₂ – jura środkowa, T₃ – trias górny, T₂ – trias środkowy, T₃ – trias dolny, P₃ – perm górny, P₁ – perm dolny, C – karbon; „–” – brak danych

* according to Gondek (1980); **lithology**: psc – sandstone, młc – mudstone, iłc – claystone, zlp – conglomerate, wap – limestone, dol – dolomite, and – anhydrite, sol – halite, iłc+s – claystone + halite, and+iłc – anhydrite + claystone, wap+iłc – limestone + claystone; **stratigraphy**: J₂ – Middle Jurassic, T₃ – Upper Triassic, T₂ – Middle Triassic, T₃ – Lower Triassic, P₃ – Upper Permian, P₁ – Lower Permian, C – Carboniferous; “–” – lack of data

natomiast partie zawierające związki epigenetyczne i duży kompleks osadów, w którym bituminy są z nimi syngenetyczne (Gondek, 1980). Wartość potencjału oksydacyjno-redukcyjnego pozwala stwierdzić, że warunki sedymentacji były redukcyjne lub słabo redukcyjne.

Utwory **permu dolnego** zawierają śladową ilość węgla organicznego, jedynie w stropie tych utworów następuje silne wzbogacenie w węgiel organiczny (1,8% Corg.) (tab. 8, 9; fig. 13). Utwory te nie zawierają znacznych ilości bituminów, ich zawartość wzrasta maksymalnie do 0,031%. Zawartość węglowodorów wydzielona z bituminów pochodzących z utworów permu dolnego jest niewielka, ale zmienna i waha się od 3,0 do 46,0%. W związku z niewielką ilością węglowodorów w bituminach, wyższa jest w nich zawartość produktów ciężkich (asfaltenów i żywic) (tab. 8, fig. 14). W składzie węglowodorów przewagę ilościową mają węglowodory nasycone, natomiast węglowodory aromatyczne często występują w śladowej ilości.

Bituminy w utworach permu dolnego wykazują wysoki współczynnik migracji, co sugeruje, że są epigenetyczne w stosunku do osadu.

Wartość potencjału oksydacyjno-redukcyjnego wskazuje, że w basenie sedymentacyjnym w okresie wczesnego permu panowały warunki słabo redukcyjne (tab. 8).

W zmiennym litologicznie kompleksie skalnym **permu górnego** (cechsztynu) zawartość węgla organicznego jest bardzo mała i wynosi średnio 0,10% (tab. 9, fig. 13), co określa te osady jako „biedne” skały macierzyste do generowania węglowodorów. Mała jest też ilość wydzielonych z tych osadów bituminów (tab. 8). W bituminach zawartość węglowodorów jest bardzo zróżnicowana i wynosi od 4,0 do 81,0%. W wyni-

ku bardzo dużej zmienności ilości węglowodorów w bituminach, ulega w nich zmianie zawartość żywic i asfaltenów (tab. 8). W spągu utworów w wydzielonych składnikach labilnych dominują węglowodory nasycone nad aromatycznymi, natomiast w wyższych partiach utworów ta zależność jest odwrotna (fig. 14).

Tabela 9

Średnia zawartość węgla organicznego w skale
Average TOC content

Stratygrafia	Liczba próbek	Średnia Corg [%]	Max. Corg [%]	Min. Corg [%]
J ₂	1	5,50	5,50	5,50
T ₃	3	0,37	0,60	0,20
T ₂	3	0,10	0,10	0,10
T ₁	12	0,21	0,15	0,01
P ₃	32	0,10	0,20	0,01
P ₁	32	0,11	1,80	0,01
C ₂	32	0,80	1,80	0,01

Stratygrafia: J₂ – jura środkowa, T₃ – trias górny, T₂ – trias środkowy, T₁ – trias dolny, P₃ – perm górny, P₁ – perm dolny, C₂ – karbon górny

Stratigraphy: J₂ – Middle Jurassic, T₃ – Upper Triassic, T₁ – Middle Triassic, T₃ – Lower Triassic, P₃ – Upper Permian, P₁ – Lower Permian, C₂ – Upper Carboniferous

Wartość potencjału oksydacyjno-redukcyjnego jest bardzo zróżnicowana, co określa warunki sedymentacji jako redukcyjne i słabo redukcyjne do utleniających (tab. 8).

Klastyczne utwory **triasu dolnego** mają bardzo zróżnicowaną zawartość węgla organicznego, która się waha od ilości śladowej do maksymalnie 1,5% Corg. (tab. 9, fig. 13), jednak zazwyczaj skały te są „biednymi” skałami macierzystymi, gdyż mała zawartość materii organicznej występuje w większej części kompleksu skalnego, a wysoka zawartość jest obserwowana sporadycznie (tab. 8). W utworach tych zawartość bituminów jest niewielka, ale zróżnicowana, podobnie jak zróżnicowany jest udział w nich węglowodorów – od 24,0 do 72,0%. We frakcji węglowodorów zmienny jest też stosunek węglowodorów nasyconych i aromatycznych (fig. 14).

Uwzględniając niewielką ilość węgla organicznego w tych utworach można stwierdzić, że podwyższona zawartość składników labilnych, które mają wysoką wartość współczynnika migracji, jest epigenetyczna w stosunku do osadu. Zestawienie danych geochemicznych pokazuje, że w dolnych partiach profilu obecne w skałach bituminy są związkami pozostałymi po wygenerowaniu i migracji węglowodorów.

Wartość potencjału oksydacyjno-redukcyjnego świadczy o tym, że sedymentacja tych osadów następowała głównie w środowisku utleniającym (tab. 8).

Wapienne utwory triasu środkowego zawierają śladową ilość węgla organicznego i bardzo małą zawartość bituminów (tab. 8, 9; fig. 13).

W mułowcowo-ilastych utworach **triasu górnego** oznaczona zawartość węgla organicznego jest niewielka, klasyfikując te skały jako „biedne” skały macierzyste (tab. 9, fig. 13). Niska jest również w tych utworach zawartość składników labilnych (bituminów), o dużym udziale frakcji żywic

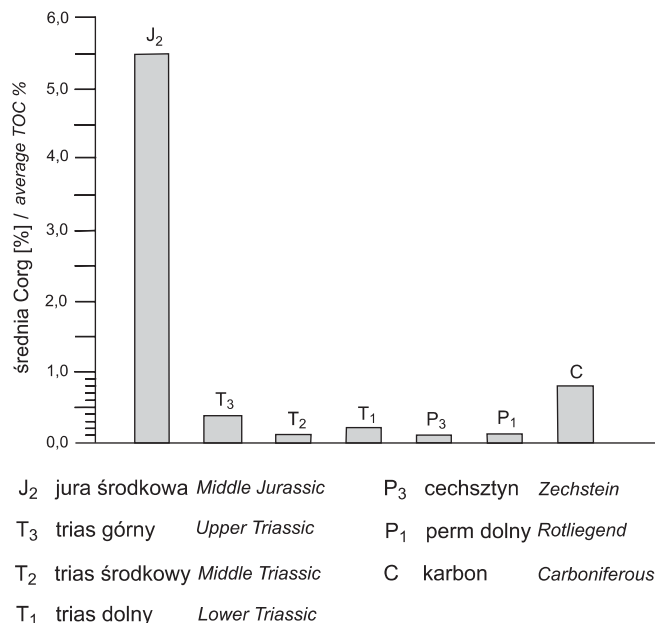


Fig. 13. Średnia zawartość węgla organicznego w skałe

Average TOC content

i asfaltenów, a mniejszym węglowodorów (tab. 8). W składzie węglowodorów dominują węglowodory aromatyczne nad nasyconymi (fig. 14).

Wartość potencjału oksydacyjno-redukcyjnego jednak nieznacznie się zmienia w zakresie, który pozwala określić środowisko sedymentacji osadów triasu górnego jako słabo redukcyjne.

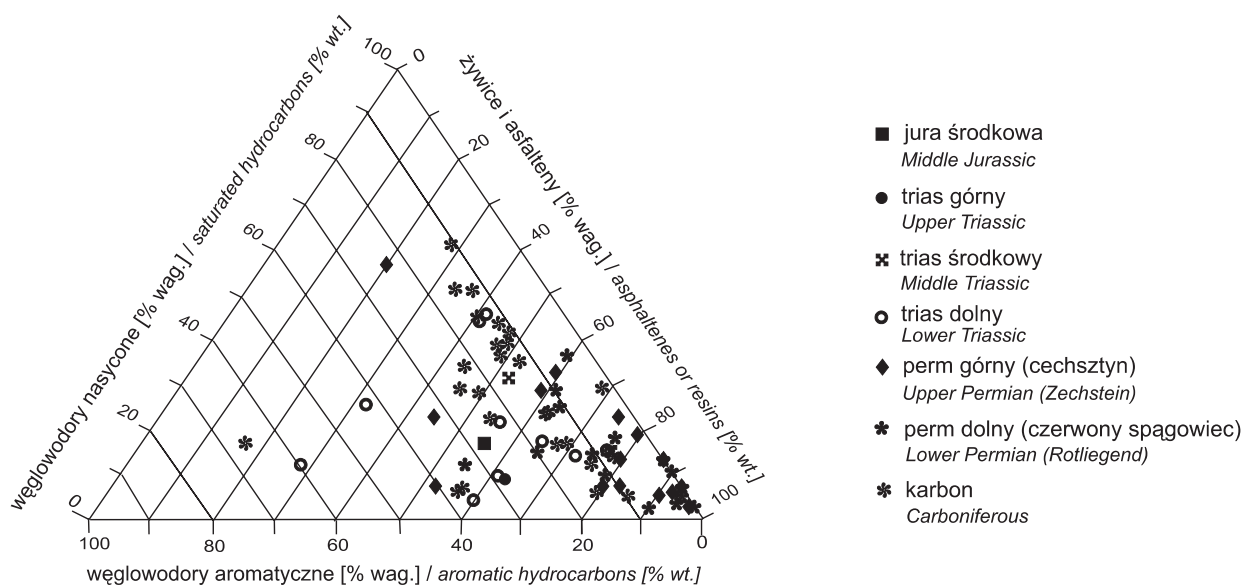


Fig. 14. Diagram trójkątny składu grupowego bituminów

Triangular diagram showing proportions of the fractions of saturated hydrocarbons, aromatics hydrocarbons and asphaltenes or resins in the bitumens

W utworach jury środkowej, przebadanych bardzo słabo, zawartość węgla organicznego jest bardzo wysoka (5,5%) (tab. 9, fig. 13), tak jak i ilość wydzielonych bituminów (tab. 8). Bituminy zawierają stosunkowo dużo węglowodorów, ale wyższy w nich jest procentowy udział żywic i asfaltentów. W składzie węglowodorów przeważają węglowodory aromatyczne nad węglowodorami nasyconymi (fig. 14). Wartość potencjału oksydacyjno-redukcyjnego wskazuje, że środowisko było słabo redukcyjne.

Podsumowując otrzymane wyniki podstawowych badań geochemicznych, można stwierdzić, że dobrymi skałami do generowania węglowodorów są dolne partie kompleksu kar-

bonu i przypuszczalnie utwory jury środkowej. Należy nadmienić, że utwory jury środkowej były badane w pojedynczej próbkę. Utwory permu są bardzo ubogie w materię organiczną, podobnie mało perspektywiczne są przebadane utwory triasu środkowego i górnego. Utwory triasu dolnego przedstawiają zmienną charakterystykę. Zawierają one partie osadów, które przypuszczalnie przeszły już fazę generowania węglowodorów ciekłych.

Brak szczegółowych badań geochemicznych materii organicznej z utworów nawierconych w otworze Budziszewice IG 1 uniemożliwia przeprowadzenie dokładniejszej charakterystyki typu genetycznego i stopnia przeobrażenia tej materii.

Leszek KRZEMIŃSKI

BADANIA GEOCHEMICZNE SKAŁ KARBONU

Analizy chemiczne 6 próbek piaskowców arkozowych i 2 próbek mułowców wykonano w Acme Analytical Laboratories w Vancouver. Wyniki analiz zamieszczono w tabeli 10.

Badane skały charakteryzują się umiarkowaną zawartością SiO_2 w przedziale 58,65–78,94% wag. Ilość krzemionki jest odwrotnie proporcjonalna do zawartości Al_2O_3 , czyli głównie do zawartości illitowo-chlorytowego matriksu. W mułowcach jest ona odpowiednio mniejsza niż w piaskowcach, przy wyższych koncentracjach Al_2O_3 . Stosunek $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ zmienia się w niewielkim zakresie, a zawartość

Na_2O , zależna głównie od ilości skalenia w składzie ziarnowym, mieści się w przedziale od 1,05 do 3,26% wag. (fig. 15A). Koncentracje pierwiastków dopasowanych, reprezentowanych przez nikiel i kobalt, są zazwyczaj niewielkie, co świadczy o ograniczonym udziale składników maficznych w materiale okruszowym badanych skał. Koncentracje Zr i Hf zawierają się w dość wąskich przedziałach, odpowiednio 128,7–246,9 i 3,6–6,9 ppm, wskazujących na nieistotny udział hydraulicznego sortowania minerałów ciężkich w trakcie transportu osadów. Dość dobra korelacja zawartości Al_2O_3

Tabela 10

Wyniki analiz zawartości pierwiastków głównych i śladowych w klastycznych skałach karbonu

Major and trace element analyses of the Carboniferous clastic rocks

Próbka	7-Bu-206	7-Bu-213	7-Bu-221	7-Bu-223	7-Bu-234	7-Bu-244	7-Bu-249	7-Bu-250
Głębokość [m]	5062,2	5067,5	5073,5	5085,5	5352,8	5527,3	5586,0	5593,2
Rodzaj skały	wa	wa	wa	wa	aa	m	wa	m
1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO_2	71,79	70,65	66,73	72,61	71,81	58,65	78,94	69,02
Al_2O_3	14,36	13,46	15,90	13,60	10,90	23,60	10,53	16,99
Fe_2O_3	5,81	5,76	7,45	4,89	5,63	7,79	4,77	6,05
MgO	1,80	1,89	2,54	1,64	2,41	2,44	1,33	1,96
CaO	0,62	3,08	1,83	1,53	4,45	0,35	0,59	0,27
Na_2O	2,93	2,29	2,29	3,26	2,83	1,05	1,68	1,56
K_2O	1,75	1,86	2,11	1,46	1,17	4,66	1,40	2,92
TiO_2	0,74	0,75	0,89	0,79	0,38	1,27	0,57	1,03
P_2O_5	0,16	0,16	0,19	0,18	0,15	0,15	0,14	0,16
MnO	0,03	0,10	0,06	0,05	0,26	0,04	0,04	0,03
Cr_2O_3	0,013	0,014	0,016	0,016	0,007	0,021	0,010	0,016
LOI	2,6	5,3	4,6	3,6	7,0	7,9	3,0	4,9

Tabela 10 cd.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
CT	0,10	0,85	0,52	0,40	1,79	2,17	0,51	1,35
ST	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	0,28	0,83	0,07	0,11
Suma	99,85	99,84	99,83	99,84	99,86	99,83	99,84	99,84
Cu	3,7	3,3	9,6	33,6	9,4	9,4	3,9	13,3
Pb	2,2	1,9	3,0	2,1	6,9	18,8	4,1	3,9
Zn	45	35	57	35	21	50	33	44
Co	16,9	14,6	73,0	11,5	8,4	35,3	12,0	15,5
Ni	48,8	49,2	81,2	42,4	29,7	69,8	40,4	47,3
V	83	83	98	82	34	178	54	126
Ga	17,4	17,4	19,0	15,2	11,8	32,6	12,4	22,7
Cs	3,6	3,7	4,4	2,8	2,2	10,3	2,4	6,9
Rb	61,5	65,8	68,8	50,5	40,3	171,8	51,4	116,9
Ba	261	243	291	216	157	623	230	468
Sr	96,0	82,6	83,3	96,7	136,6	107,4	78,0	95,7
Nb	10,0	8,8	10,3	9,1	6,2	18,1	9,5	15,2
Ta	0,9	0,5	0,8	0,7	0,4	1,6	0,9	1,4
Th	10,9	8,9	10,7	10,6	9,4	16,9	12,0	14,4
U	2,4	3,0	2,6	3,0	3,0	6,2	3,5	4,6
Hf	5,5	6,4	5,2	6,2	3,6	5,9	6,9	5,9
Zr	209,8	233,3	197,1	236,8	128,7	196,5	246,9	226,1
Sc	11	11	16	14	6	21	10	15
Y	23,3	25,1	27,7	22,0	14,6	35,5	20,2	30,9
La	27,3	28,6	25,2	28,5	17,2	47,2	23,8	37,1
Ce	63,0	54,7	50,0	58,1	34,6	94,2	47,3	76,8
Pr	6,34	6,29	5,73	6,52	3,73	11,16	5,43	8,74
Nd	27,0	26,3	25,4	24,9	16,3	43,3	22,1	38,4
Sm	4,6	5,0	5,5	5,0	3,0	8,0	4,5	7,2
Eu	0,95	1,37	1,21	1,08	0,78	1,78	0,89	1,36
Gd	4,24	5,08	5,21	3,08	3,34	5,90	3,85	5,32
Tb	0,54	0,70	0,88	0,52	0,47	0,78	0,57	0,80
Dy	3,61	4,37	5,08	3,51	2,92	5,20	2,98	4,80
Ho	0,84	0,79	1,02	0,72	0,54	1,21	0,64	1,06
Er	2,18	2,11	2,61	2,12	1,29	3,03	2,05	2,77
Tm	0,37	0,37	0,38	0,28	0,24	0,55	0,31	0,52
Yb	2,36	2,42	2,57	2,35	1,56	3,12	1,80	2,78
Lu	0,38	0,34	0,41	0,32	0,22	0,56	0,36	0,50
(La/Yb) _N	7,71	7,88	6,54	8,09	7,35	10,09	8,81	8,90
(La/Gd) _N	5,39	4,71	4,05	7,74	4,31	6,69	5,17	5,83

Tabela 10 cd.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
lt(Gd/Yb) _N	1,43	1,67	1,62	1,04	1,71	1,51	1,70	1,53
Eu/Eu*	0,66	0,84	0,69	0,85	0,76	0,80	0,66	0,68
Th/Sc	0,99	0,81	0,67	0,76	1,57	0,80	1,20	0,96
Th/U	4,54	2,97	4,12	3,53	3,13	2,73	3,43	3,13

Analizy wykonano w Acme Analytical Laboratories, Vancouver. Tlenki pierwiastków głównych, Ba i Sc oznaczono metodą ICP-AES w próbkach stapianych z LiBO₂; pozostałe pierwiastki śladowe oznaczono metodą ICP-MS w próbkach stapianych z LiBO₂ lub roztwarzanych w wodzie królewskiej. Zawartości tlenków podano w % wag. (znormalizowane do 100% z pominięciem strat prażenia, LOI), pierwiastków śladowych – w ppm; Fe całkowite – jako Fe₂O₃; Eu/Eu* = Eu_N/(Sm_N × Gd_N)^{0,5}; N – wartości normalizowane do chondrytu (koncentracje REE w chondrycie według Nakamury, 1974); wa – waka arkozowa, aa – arenit arkozowy, m – mułowiec

The analyses were performed at the Acme Analytical Laboratories, Vancouver. The major oxides, Ba and Sc were determined by ICP-AES after LiBO₂ fusion; remaining trace elements were determined by ICP-MS from a LiBO₂ fusion or aqua regia digestion. Oxides contents in wt. % (normalized to 100% volatile free), trace elements in ppm; total Fe as Fe₂O₃; Eu/Eu* = Eu_N/(Sm_N × Gd_N)^{0,5}; N – chondrite normalized (normalizing values from Nakamura, 1974); wa – arkosic wacke, aa – arkosic arenite, m – mudstone

z koncentracjami pierwiastków ziem rzadkich (REE) dowodzi, że głównie krzemiany warstwowe (chloryt, łyszczyki, minerały ilaste) kontrolują zawartość REE.

Powszechnie przyjmowanym standardem odniesienia w badaniach formacji osadowych jest średni skład górnej skorupy kontynentalnej (UCC) (Taylor, McLennan, 1985). Na diagramie wielopierwiastkowym normalizowanym do UCC (fig. 16A) pierwiastki są uszeregowane od lewej do prawej, zgodnie z malejącym czasem pozostawania w wodzie oceanicznej (*ocean residence time*). Obejmują one grupę pierwiastków potencjalnie bardziej mobilnych – od K do Ni oraz grupę pierwiastków bardziej niemobilnych – od Ta do Th. W celach porównawczych pokazano na diagramie także średnie charakterystyki późnoproterozoicznych i fanerozoicznych szarowak z środowisk pasywnej krawędzi (PM) oraz kontynentalnego łuku wysp/aktywnej krawędzi kontynentalnej (CAAM) (Floyd i in., 1991). Diagram pokazuje relatywnie niewielkie zróżnicowanie charakterystyk badanych próbek piaskowców. Typowe dla nich są ujemne anomalie Ta–Nb i Sr oraz dodatnia anomalia V–Ni. Pozostałe pierwiastki najczęściej mają koncentracje zbliżone do UCC. Widoczna jest znaczna zbieżność kształtu charakterystyki sukcesji karbońskiej ze średnią charakterystyką CAAM, przy nieco większych zawartościach uranu, fosforu i potasu oraz mniejszych ilościach strontu w badanych skałach.

Koncentracja pierwiastków ziem rzadkich (REE) jest powszechnie stosowanym wskaźnikiem proveniencji klastycznych skał osadowych, z powodu prawie ilościowego przeniesienia lantanowców przez materiał okrucowy z obszarów źródłowych do basenów osadowych oraz ich względnej niemobilności w czasie diagenety i metamorfizmu (Taylor, McLennan, 1985). Osady terygeniczne pochodzące z dojrzałej skorupy kontynentalnej i łuków magmowych rozwiniętych na skorupie kontynentalnej charakteryzują się wzbogaceniem w lekkie pierwiastki ziem rzadkich (LREE), manifestującym się wysokimi wartościami (La/Gd)_N i (La/Yb)_N, wysoką koncentracją sumy REE i ujemną anomalią europową

Eu/Eu*. W odróżnieniu od nich, osady pochodzące z młodych, niezdyferencjowanych łuków oceanicznych mają niższe wartości (La/Gd)_N i (La/Yb)_N, sumę REE i mogą nie mieć anomalii Eu. Charakterystyki pierwiastków ziem rzadkich szarowak karbońskich przedstawiono na diagramie normalizowanym do chondrytu, na którym dla celów porównawczych pokazano także średnią charakterystykę postarchaicznymi łuków ilastych z Australii, uważanych za osad o proveniencji kratonicznej (Taylor, McLennan, 1985) (fig. 16B). Charakterystyki skał karbonu mają kształt podobny do PAAS z wyraźnym wzbogaceniem w LREE ((La/Yb)_N w zakresie 6,54–10,09; (La/Gd)_N w zakresie 4,05–7,74), prawie płaskim przebiegiem w zakresie ciężkich pierwiastków ((Gd/Yb)_N w zakresie 1,04–1,71) i średniej wielkości ujemną anomalią europową (Eu/Eu* w zakresie 0,66–0,85) (tab. 10). Zubożenie badanych piaskowców w REE w stosunku do PAAS jest spowodowane rozcieńczającym wpływem kwarcu.

W celu określenia paleośrodowiska tektonicznego obszarów źródłowych materiału detrytycznego piaskowców wykorzystano diagram dyskryminacyjny Th–Sc–(Zr/10) Bhatii i Crooka (1986), oparty na zawartości wskaźnikowych pierwiastków śladowych i ich stosunkach w fanerozoicznych szarowakach z dobrze zdefiniowanych środowisk tektonicznych (fig. 15D). Na podstawie dużej liczby danych autorzy ci wyróżnili cztery typy środowisk: (1) oceaniczny łuk wysp (OIA); (2) kontynentalny łuk wysp (CIA) z basenami osadowymi sąsiadującymi z łukami wysp uformowanymi na dobrze rozwiniętej skorupie kontynentalnej lub cienkiej krawędzi kontynentu; (3) aktywną krawędź kontynentalną (ACM) z basenami osadowymi grubych krawędzi kontynentalnych typu andyjskiego lub typu przesuwczego oraz (4) krawędź pasywną (PM). Położenie punktów projekcyjnych piaskowców i mułowców karbonu na diagramie Th–Sc–(Zr/10) jednoznacznie wskazuje na związek ich obszarów źródłowych z aktywną krawędzią kontynentalną lub łukiem wysp rozwiniętym na skorupie kontynentalnej (fig. 15D).

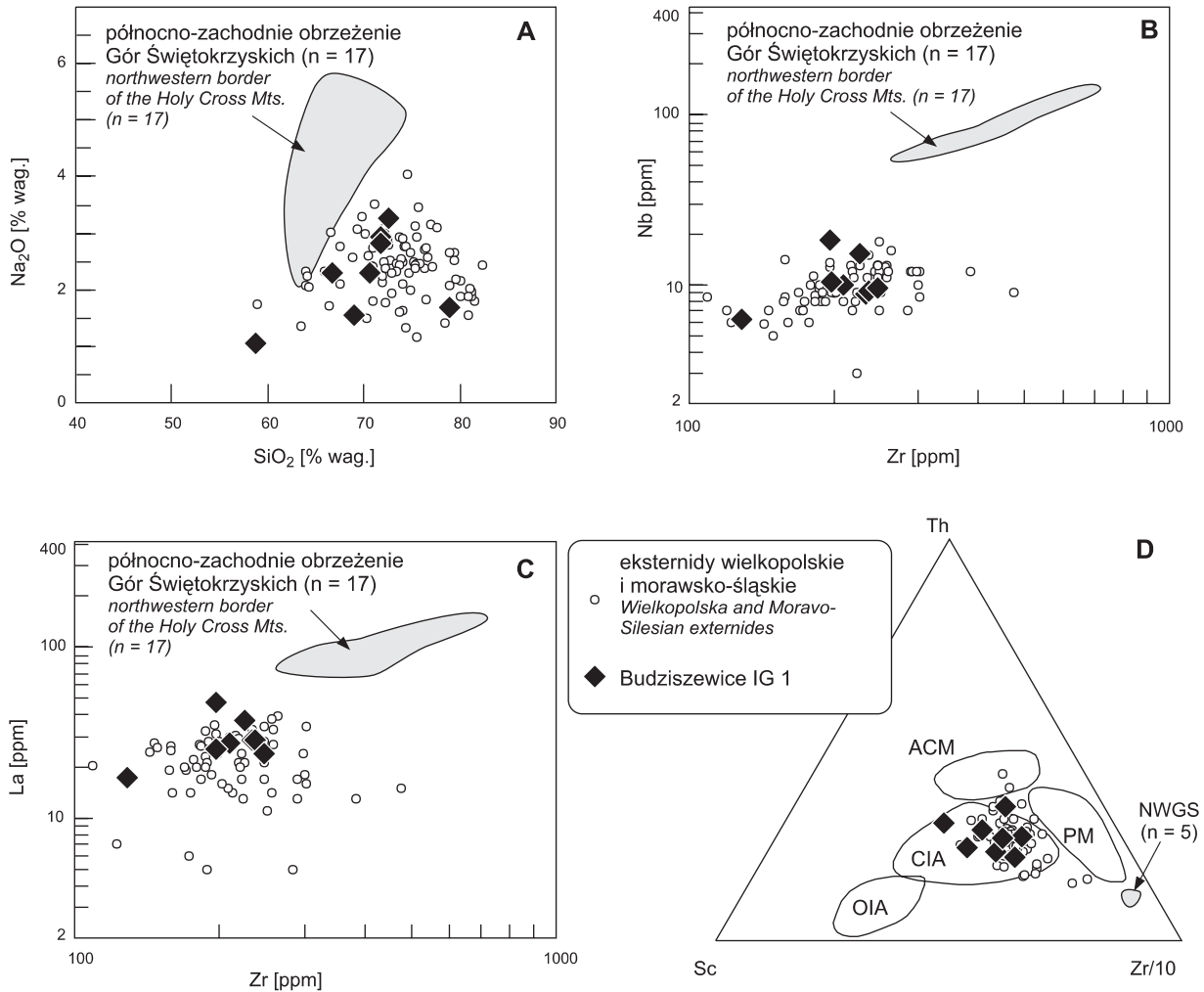


Fig. 15. A–C. Diagramy zmienności składu chemicznego synorogenicznych szarowak karbońskich z otworu wiertniczego Budziszewice IG 1. D. Diagram dyskryminacyjny środowisk tektonicznych Th–Sc–(Zr/10) (Bhatia, Crook, 1986)

n – liczba próbek; OIA – oceaniczny łuk wysp; CIA – kontynentalny łuk wysp; ACM – aktywna krawędź kontynentalna; PM – pasywna krawędź; dla porównania pokazano skład szarowak z innych otworów wiertniczych w obrębie eksternidów wielkopolskich i z odsłoneń w strefie morawsko-śląskiej (Krzemiński, 1999, 2002, 2005) oraz pola składów wulkanoklastycznych piaskowców turneju górnego–najniższego wizenu z północno-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich (NWGS) (Krzemiński, 1998, 1999)

A–C. Chemical variation diagrams for synorogenic Carboniferous greywackes from the Budziszewice IG 1 borehole.

D. Th–Sc–(Zr/10) discriminant plot of tectonic setting (Bhatia, Crook, 1986)

n – number of samples; OIA – oceanic island arc; CIA – continental island arc; ACM – active continental margin; PM – passive margin; data for greywackes from other boreholes within Wielkopolska externides and from the outcrops in the Moravo-Silesian Zone (Krzemiński, 1999, 2002, 2005), and compositional fields of Upper Tournaisian–lowermost Viséan volcanoclastic sandstones from the northwestern border of the Holy Cross Mts. (NWGS) (Krzemiński, 1998, 1999) are shown for comparison

Z powyższej analizy wynika, że głównym obszarem źródłowym materiału okrucowego sukcesji karbońskiej w profilu Budziszewice IG 1 była stara górna skorupa kontynentalna (OUC, *sensu* McLennan i in., 1993), budująca fundament w środowisku tektonicznie aktywnym. Przykładem osadów, których proveniencja jest zdominowana przez OUC, są turbidyty basenów przedpola. Tym niemniej niektóre wskaźniki geochemiczne (Th/Sc, Th/U, Eu/Eu*) zdają się wskazywać na udział dodatkowego źródła w postaci młodego zdyferencjowanego łuku magmowego, którego skały podlegały dyferencjacji wewnątrzskorupowej. Badane skały mają często

mniejszą niż OUC anomalię europową (Eu/Eu* do 0,85) oraz zmienne i na ogół niewielkie wartości stosunków Th/Sc i Th/U (tab. 10). Większe zróżnicowanie składu chemicznego osadów ze znaczącym udziałem młodego składnika łukowego, w porównaniu z osadami pochodzącymi wyłącznie z OUC, wynika z faktu, że ich skały źródłowe mają bardziej lokalny charakter. Taki składnik łukowy reprezentują młode skały wulkaniczne i plutoniczne w dojrzałych łukach wysp i łukach kontynentalnych, rozciętych przez erozję lub z obfitym wulkanizmem felsytowym (Dabard, 1990; McLennan i in., 1990; Floyd, Leveridge, 1987).

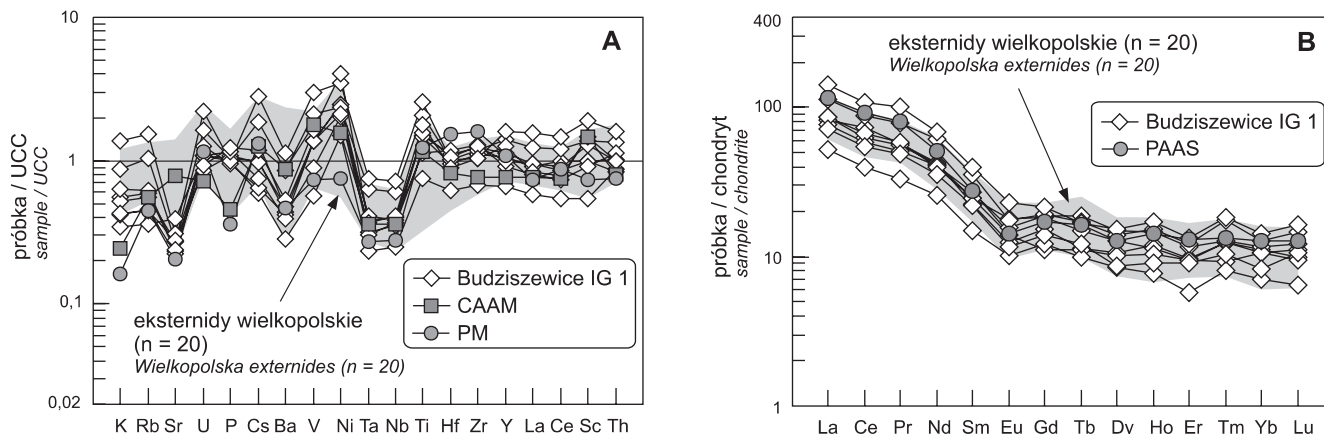


Fig. 16. Diagram wielopierwiastkowy normalizowany do średniego składu górnej skorupy kontynentalnej (UCC; Taylor, McLennan, 1985) (A) oraz normalizowane do chondrytu charakterystyki pierwiastków ziem rzadkich (B) synorogenicznych szarowak karbońskich z otworu wiertniczego Budziszewice IG 1

Pokazano także pola składów szarowak z innych otworów wiertniczych w obrębie waryscyjskich eksternidów wielkopolskich (Krzemiński, 2005). Średni skład szarowak ze środowisk kontynentalnego łuku magmowego i aktywnej krawędzi kontynentalnej (CAAM) oraz krawędzi pasywnej (PM) według Floyda i in. (1991). Pokazano średnią charakterystykę postarchaicznych łupków ilastych z Australii (PAAS; Taylor i McLennan, 1985) jako standard odniesienia. Wartości normalizacyjne chondrytu według Nakamury (1974)

n – liczba próbek

Multi-element plot normalized against an average upper continental crust composition (UCC; Taylor, McLennan, 1985) (A) and chondrite-normalized rare earth element patterns (B) of the synorogenic Carboniferous greywackes from the Budziszewice IG 1 borehole

Also shown are the fields for greywackes from other boreholes within Variscan Wielkopolska externides (Krzemiński, 2005). Average compositions of greywackes from continental magmatic arc and active continental margin (CAAM) and passive margin (PM) settings from Floyd *et al.* (1991). Post-Archean Australian average shale plotted for reference (PAAS; Taylor, McLennan, 1985). Chondrite normalization values are from Nakamura (1974)

n – number of samples

Diagramy geochemiczne (fig. 15, 16) pokazują ściśle pokrewieństwo karbońskich piaskowców z otworu Budziszewice IG 1 z asocjacją fliszową wizenu górnego–namuru dolnego, budującą pasmo fałdowo-nasunięciowe eksternidów wielkopolskich i morawsko-śląskich. Materiał detrytyczny tej synorogenicznej sukcesji pochodził w całości z obszarów źródłowych wchodzących w skład waryscyjskiego orogenu kolizyjnego, przy małej na ogół intensywności wietrzenia chemicznego (Krzemiński, 1999, 2002, 2005). Jednocześnie jest widoczny jaskrawy kontrast geochemiczny (i petrofacjalny) między osadowym wypełnieniem peryferyjnego basenu

przedpola eksternidów waryscyjskich a wulkanoklastycznymi piaskowcami turneju górnego–najniższego wizenu, występującymi w północno-zachodniej części obrzeżenia Gór Świętokrzyskich (fig. 15). Osady wulkanoklastyczne, rozpoznane w położonych 30–70 km na południowy wschód od Budziszewic otworach wiertniczych Studzianna IG 2, Ostałów PIG 2 i Opoczno PIG 2, należą już do domeny epikontynentalnych basenów perykratonicznych, do których materiał detrytyczny był dostarczany z obszarów źródłowych położonych na krawędzi kratonu wschodnioeuropejskiego (Krzemiński, 1999; Jaworowski, 2002).